



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 B4.1
DELIVERABLE TITLE	Review Report: Information extraction results over the Northern Pindus National Park (pilot site A)
REPORT STATUS	FINAL
COMPLETION DATE	March 2025
RESPONSIBLE	Aristotle University of Thessaloniki (AUTH)



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, ΥΠΟΨΗΦΙΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΙΩΝ-ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΡΟΛΟΣ, ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΥΠΟΨΗΦΙΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΕΙΡΗΝΗ ΧΡΥΣΑΦΗ, ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΛΛΙΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ

ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ:

- ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΑΓΙΩΝΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΌΛΓΑ ΓΕΩΡΓΟΥΛΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΠΕΤΡΟΣ ΠΑΤΙΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΤΣΙΟΥΚΑΣ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΒΑΤΙΤΣΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΒΕΡΔΕ ΝΑΤΑΛΙΑ, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
- ΚΑΒΒΑΔΙΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ, 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 το Εθνικό Πάρκο της Βόρειας Πίνδου (πιλοτική τοποθεσία Α)

ΑΓΓΛΙΚΑ: Review Report: Information extraction results over the Northern Pindus National Park (pilot site A)

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., 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., 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

1.	15	
1.1	15	
2.	16	
3.	17	
3.1	18	
3.2	19	
3.3	20	
3.4	21	
3.5	22	
4.	25	
4.1	26	
4.1.1		26
4.1.2		27
4.1.3		30
4.1.4		31
4.2	33	
4.3	42	
5.	45	
5.1	45	
5.2	45	
5.2.1		46
5.2.2		50
5.2.3		53
6.	56	
6.1	56	
6.2	58	
Παράρτημα Ι: 3Δ μορφή/θέση των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM σε σύγκριση με τις μετρήσεις επίγειων δεδομένων με κλασικές μεθόδους		67
Αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων (ITD)		67



Αποτελέσματα μετρήσεων SLAM και UAV LiDAR	67
Δειγματοληπτική επιφάνεια P01	67
Δειγματοληπτική επιφάνεια P02	71
Δειγματοληπτική επιφάνεια P03	74
Δειγματοληπτική επιφάνεια P05	77
Αποτελέσματα μετρήσεων SLAM και UAV εικόνων	79
Παράρτημα II: Στάδια και εξισώσεις για την ανάπτυξη μοντέλων παραμέτρων σχετικών με την ποικιλότητα με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων υψηλής/πολύ υψηλής ανάλυσης και δεδομένων πεδίου	83
Ανάπτυξη μοντέλων	83
Μοντέλα και χαρτογράφηση υψηλής χωρικής ανάλυσης με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2	85
Μοντέλα και χαρτογράφηση πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης Planet scope	86
Μοντέλα με οπτικό αισθητήρα σε μη επανδρωμένο όχημα (UAV)	87
Παράρτημα III: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης του δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων	89
Συλλογή φασματικών δεδομένων	89
Ροή εργασιών	89
Παράρτημα IV: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης δυναμικών δεικτών ενδιαιτημάτων	92
Συλλογή φασματικών δεδομένων	92
Ροή εργασιών	92



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA-2000 ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΙΝΔΟΥ	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΡΕΜ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΚΤΑΡΙΟ, ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ, ΓΙΑ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΙΘΜΟΥ ΔΕΝΔΡΩΝ, DETECTION RATE (DR%), COMMISSION ERROR (C%) ΚΑΙ OVERALL ACCURACY (OA%) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΎΨΟΥΣ (H) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV, ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΑ ΎΨΟΥΣ (H) ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΑ ΔΕΝΔΡΑ SLAM, SLAM & UAV ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΌΛΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 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 ΠΙΝΔΟΥ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΜΠΕΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-2, PLANETSCOPE, ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ RGB ΣΕ UAV ΓΙΑ ΤΙΣ 10 ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (PLOT) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ, ΤΥΠΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΛΥ ΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ SENTINEL-2	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PLANET SCORE ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΑΛΙΑ ΚΑΛΑΝΤΑ)	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ UAV ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΑΛΙΑ ΚΑΛΑΝΤΑ)	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΜΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (TREE COVER DENSITY-TCD).	90



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΤΥΠΟΙ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΙΝΔΟΥ	17
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	18
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	19
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΒΙΟΜΑΖΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	20
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΑΦΘΟΝΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΚΡΟΥ ΞΥΛΟΥ ΌΠΩΣ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	20
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΌΓΚΟΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	21
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ	22
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΠΛΗΘΟΣ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	23
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑ ΕΚΤΑΡΙΟ ΣΕ ΚΑΘΕ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	24
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (SLAM), (SLAM & UAV_LIDAR) ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΪΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	27
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΎΨΟΥΣ (M) ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ (SLAM), (SLAM + UAV_LIDAR) ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΪΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	28
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΑ ΎΨΟΥΣ (P-25 ΤΟ P-95) ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (PLOTS) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	30
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) (M) ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (SLAM), (SLAM & UAV_LIDAR) ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΪΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ	31
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ TLS (ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ) ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ #P14. ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.	32
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P06	34
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΑ ΎΨΟΥΣ (H- PERCENTILE)S: A) P-25, B) P-50, Γ) P-75, Δ) P-95 ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P06	35
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΎΨΟΥΣ ΚΟΜΗΣ (M), ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΟΜΗΣ (%), ΑΣΥΜΕΤΡΙΑ, ΚΥΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΚΆΘΕΤΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P06	36
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΎΨΟΥΣ ΚΟΜΗΣ (M), ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΟΜΗΣ (%), ΑΣΥΜΕΤΡΙΑ, ΚΥΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΚΆΘΕΤΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P08	38
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΎΨΟΥΣ ΚΟΜΗΣ (M), ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΟΜΗΣ (%), ΑΣΥΜΕΤΡΙΑ, ΚΥΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΚΆΘΕΤΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P10	39
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΎΨΟΥΣ ΚΟΜΗΣ (M), ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΟΜΗΣ (%), ΑΣΥΜΕΤΡΙΑ, ΚΥΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΚΆΘΕΤΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ (VCI) (VCI) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SLAM ΚΑΙ UAV LIDAR (ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ) ΣΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P11	40
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΧΆΡΤΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ, ΞΥΛΩΔΗ ΌΓΚΟ, ΒΙΟΜΆΖΑ, ΝΕΚΡΗ ΞΥΛΕΙΑ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL	45
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΧΆΡΤΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ, ΞΥΛΩΔΗ ΌΓΚΟ, ΒΙΟΜΆΖΑ, ΝΕΚΡΗ ΞΥΛΕΙΑ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANET	46
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΟΜΆΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΟΡΕΙΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΨΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΨΨΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΆΞΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΆΣΗ ΟΞΨΆΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΆΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΨΠΕΥΚΆ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΆΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΨΨΨΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHII Ή PINUS PEUCE) (95A0)	47
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΧΆΡΤΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL	49
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΧΆΡΤΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΙΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANET	50
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΨΝ ΚΑΤΆ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΟΡΕΙΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΨΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ	



ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0).	50
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΧΆΡΤΕΣ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ (ΚΟΙΛΌΤΗΤΕΣ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΌΙ ΚΑΙ ΠΛΗΓΕΣ, ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ, ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΆΡΚΟΥ ΠΊΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΉΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL	51
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΧΆΡΤΕΣ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ (ΚΟΙΛΌΤΗΤΕΣ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΌΙ ΚΑΙ ΠΛΗΓΕΣ, ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ, ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΟ ΜΙΚΡΟ-ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΆΡΚΟΥ ΠΊΝΔΟΥ (ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ), ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΉΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ PLANET	52
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ ΚΑΤΆ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 2023, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΟΡΕΪΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΏΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0).	53
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΠΥΚΝΌΤΗΤΆ ΕΔΑΦΟΚΆΛΥΨΗΣ ΑΠΌ ΚΌΜΗ ΔΕΝΔΡΩΝ	55
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΚΝΌΤΗΤΆΣ ΕΔΑΦΟΚΆΛΥΨΗΣ ΑΠΌ ΤΗΝ ΚΌΜΗ ΔΕΝΔΡΩΝ, ΚΑΤΆ ΤΟ ΈΤΟΣ 2020, ΕΝΤΌΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΟΥΣ (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΟΡΕΪΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΏΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0) ΚΑΙ ΠΟΤΑΜΌΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΡΌΗΣ ΧΩΡΙΣ ΒΛΆΣΤΗΣΗ (1064).	56
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΔΥΝΑΜΙΚΌΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ	57
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΌΣ ΔΥΝΑΜΙΚΌΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ, ΚΑΤΆ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΌΔΟ 2020-2024, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΟΡΕΪΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΏΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0).	58
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΕΠΟΧΙΚΌΣ ΔΥΝΑΜΙΚΌΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ, ΚΑΤΆ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΌΔΟ 2020-2024, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΟΡΕΪΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΏΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0).	58
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΕΛΆΧΙΣΤΌΣ ΔΥΝΑΜΙΚΌΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΆΤΩΝ, ΚΑΤΆ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΌΔΟ 2020-2024, ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΆΛΙΑ ΚΆΛΝΤΑ (GR1310003) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΟΡΕΪΝΆ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΧΕΡΣΆ ΕΔΆΦΗ ΜΕ ΑΚΑΝΘΏΔΕΙΣ ΘΆΜΝΟΥΣ (4090), ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΥΠΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΞΗΡΕΣ ΧΛΩΔΕΙΣ ΔΙΑΠΛΑΣΕΙΣ (SCORZONETALIA VILLOSAE) (62A0), ΔΑΣΗ ΟΞΥΑΣ ΤΗΣ ASPERULO-FAGETUM (9130), (ΥΠΟ-)ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΠΕΥΚΟΔΑΣΗ ΜΕ ΕΝΔΗΜΙΚΆ ΜΑΥΡΟΠΕΥΚΑ (9530) ΚΑΙ ΟΡΟ-ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΆ ΔΑΣΗ ΠΕΥΚΗΣ ΜΕΓΆΛΩΝ ΥΦΟΜΕΤΡΩΝ (PINUS HELDREICHIIΉ PINUS PEUCE) (95A0).	59
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΤΡΙΣΔΪΆΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΪΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΪΩΝ ΑΠΌ ΕΠΪΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΆ SLAM (ΆΝΩ ΣΕΪΡΆ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΆ (ΚΆΤΩ ΣΕΪΡΆ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΪΦΆΝΕΙΑ (P01)	68
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΕΞΕΤΆΣΗ ΤΗΣ ΓΡΆΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΪΣΗΣ ΜΕΤΆΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΪΣΘΕΪΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΪΆΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΌ ΤΆ ΔΕΔΟΜΕΝΆ SLAM (ΠΆΝΩ ΣΕΪΡΆ) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΆΣΜΟΥ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΆ (ΚΆΤΩ ΣΕΪΡΆ), ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΪΆΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΉΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΕΠΪΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΉΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΪΦΆΝΕΙΑ 1-P01): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΆ ΠΑΡΟΥΣΪΆΖΕΤΑΙ Η ΓΡΆΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΪΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΪΆ ΕΙΚΟΝΆ ΤΆ ΥΠΌΛΟΪΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΆΞΥ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΜΕΤΡΉΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΪΣΤΙΚΆ ΕΞΆΧΘΕΝΤΩΝ ΤΪΜΩΝ DBH.	69
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΪΣΤΟΓΡΆΜΜΆ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΆΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΪΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΪΦΆΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΆ ΜΕ ΤΪΣ ΜΕΤΡΉΣΕΪΣ ΠΕΔΪΟΥ ΚΑΙ ΤΪΣ ΕΞΆΓΟΜΕΝΕΣ ΤΪΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΑΠΌ ΜΕΤΡΉΣΕΪΣ SLAM (ΠΆΝΩ ΣΕΪΡΆ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΆΣΜΟ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΆ (ΚΆΤΩ ΣΕΪΡΆ)	70
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΤΡΙΣΔΪΆΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΪΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΪΩΝ ΑΠΌ ΕΠΪΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΆ SLAM (ΆΝΩ ΣΕΪΡΆ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΆ (ΚΆΤΩ ΣΕΪΡΆ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΪΦΆΝΕΙΑ P02	71
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΕΞΕΤΆΣΗ ΤΗΣ ΓΡΆΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΪΣΗΣ ΜΕΤΆΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΪΣΘΕΪΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΪΆΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΌ ΤΆ ΔΕΔΟΜΕΝΆ SLAM (ΠΆΝΩ ΣΕΪΡΆ) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΆΣΜΟΥ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΆ (ΚΆΤΩ ΣΕΪΡΆ), ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΪΆΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΉΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΕΠΪΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΉΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΪΦΆΝΕΙΑ 2 - P02): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΆ ΠΑΡΟΥΣΪΆΖΕΤΑΙ Η ΓΡΆΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΪΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΪΆ ΕΙΚΟΝΆ ΤΆ ΥΠΌΛΟΪΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΆΞΥ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΜΕΤΡΉΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΪΣΤΙΚΆ ΕΞΆΧΘΕΝΤΩΝ ΤΪΜΩΝ DBH.	72



ΕΙΚΟΝΑ 41	ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ SLAM (ΠΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ)	73
ΕΙΚΟΝΑ 42	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P03	74
ΕΙΚΟΝΑ 43	ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΠΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ), ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 3 - P03): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.	75
ΕΙΚΟΝΑ 44	ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ SLAM (ΠΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ)	76
ΕΙΚΟΝΑ 45	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ SLAM (ΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ) ΣΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P05	77
ΕΙΚΟΝΑ 46	ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM (ΠΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ SLAM ΚΑΙ UAV ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΚΑΤΩ ΣΕΙΡΑ), ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 5-P05): ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.	78
ΕΙΚΟΝΑ 47	ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ SLAM (ΠΑΝΩ ΣΕΙΡΑ) ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ SLAM ΚΑΙ	79
ΕΙΚΟΝΑ 48	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 ΈΝΩΣΗ (FUSION) ΤΩΝ ΔΥΟ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ. ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΎΨΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤ'ΑΤΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ #P02	80
ΕΙΚΟΝΑ 49	ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (DBH) ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SLAM ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΗΘΙΑΙΑΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΌΠΩΣ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ P02). ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ (RESIDUALS) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ «ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ» ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΧΘΕΝΤΩΝ ΤΙΜΩΝ DBH.	81
ΕΙΚΟΝΑ 50	ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΎΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ	82
ΕΙΚΟΝΑ 51	ΡΘΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΜΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ (TREE COVER DENSITY-TCD)	91
ΕΙΚΟΝΑ 52	ΡΘΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ (DYNAMIC HABITAT INDEX - DHI)	93



ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΓΓΛΙΚΑ	
IMU	Inertial Measurement Unit
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) «hELlenic 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 Μάλαγα (ETC-UMA) στην Ισπανία και την εταιρεία OLYMPOS CONSULTING P.C.

Η Δράση αποτελείται από τρεις **(3) επιμέρους** 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 B.4.1 επικεντρώνεται στα αποτελέσματα εξαγωγής πληροφοριών από το Εθνικό Πάρκο Πίνδου. Σε δειγματοληπτικές επιφάνειες που κάλυψαν το εύρος της μεταβλητότητας των οικοτόπων και της δυναμικής κατανομής της βιοποικιλότητας του Εθνικού Πάρκου, συλλέχθηκαν δεδομένα τηλεπισκόπησης 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. Παράλληλα, σε αυτές τις επιφάνειες διεξήχθη καταγραφή παραμέτρων που σχετίζονται με τη μελέτη και απογραφή της βιοποικιλότητας, ώστε να αναλυθούν σε πολλαπλές κλίμακες με τα τηλεσκοπικά δεδομένα και να συνδεθούν με οικολογικές πληροφορίες. 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 B.4.1 βασίστηκε στον τεχνικό οδηγό της υποδράσης B.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 το Εθνικό Πάρκο της Βόρειας Πίνδου (πilotική τοποθεσία Α)», παρουσιάζει τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της B.4.1 και διαρθρώνεται σε **έξι (6) κύριες ενότητες**:



Η Ενότητα 1 επικεντρώνεται στο θεωρητικό πλαίσιο χρήσης φασματικών δεδομένων μέσω δορυφορικών αισθητήρων και δεδομένων νέφους σημείων μέσω τεχνικής LiDAR, για την εξαγωγή πληροφορίας σχετικά με τη βιοποικιλότητα.

Η Ενότητα 2 περιγράφει εν συντομία την περιοχή που διεξήχθη η παρούσα έρευνα για τους σκοπούς του EL BIOS δηλαδή το «Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου».

Η Ενότητα 3 εστιάζει στις μετρήσεις με καινοτόμες μεθόδους από διαφορετικούς επίγειους και ενεργητικούς σαρωτές και πλατφόρμες.

Η Ενότητα 4 παρουσιάζει την ανάλυση νέφους σημείων και συγκεκριμένα τα αποτελέσματα μετρήσεων από 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 βάσης περιοχής (area-based). Η ενότητα ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα των αναλύσεων.

Η Ενότητα 5 αφορά την ανάπτυξη μοντέλων χαρτογράφησης παραμέτρων και δεικτών βιοποικιλότητας με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων όπως εικόνες Sentinel, PlanetScope και UAV. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η χαρτογραφική απεικόνιση των παραμέτρων βιοποικιλότητας για την περιοχή της Βάλια Κάλντα.

Η Ενότητα 6 παρουσιάζει την ανάπτυξη μοντέλων δεικτών με τη χρήση φασματικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης (Sentinel και Planet scope) Οι δείκτες 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 BIOodiversity 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.4.1 focuses on Information extraction results over the Northern Pindus 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 Northern Pindus National Park (pilot site A)”, provides a synopsis of the work undertaken under sub-actions B.4.1.

This deliverable is divided into **six (6) 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 briefly describes the study area where the present research was conducted for the purposes of the EL BIOS project, namely the "Northern Pindos National Park."



Section 3 focuses on the measurements carried out through innovative methods and different terrestrial, airborne scanners and platforms.

Section 4 presents the analysis of point cloud data, specifically the measurement results 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 focuses on the development of mapping models for biodiversity parameters and indices using spectral data, such as Sentinel, Planet Scope, and UAV imagery. This section also presents maps of biodiversity parameters for the Valia Kalda region.

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



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Χρήση φασματικών δεδομένων για την εξαγωγή πληροφορίας σχετικά με την βιοποικιλότητα

Η βιοποικιλότητα αποτελεί τη βάση για την υγεία των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών που παρέχουν στην κοινωνία. Ωστόσο, η βιοποικιλότητα μειώνεται ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο, παρά τις δεσμεύσεις των κυβερνήσεων να μειώσουν τον ρυθμό απώλειας (Butchart et al., 2010). Η παρακολούθηση είναι βασικό στοιχείο της διατήρησης της βιοποικιλότητας, καθώς επιτρέπει στις κυβερνήσεις και την κοινωνία των πολιτών να εντοπίζουν προβλήματα, να αναπτύσσουν λύσεις και να αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των δράσεων και την πρόοδο προς την επίτευξη των στόχων της Aichi, που τέθηκαν από τη Σύμβαση για τη Βιολογική Ποικιλότητα (O'Connor et al., 2015)(Turner et al., 2015)

Η αξιολόγηση της δασικής 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, οι περιορισμοί τους καθιστούν αναγκαία την εξερεύνηση καινοτόμων προσεγγίσεων για τη βελτίωση της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας των δεδομένων.



2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

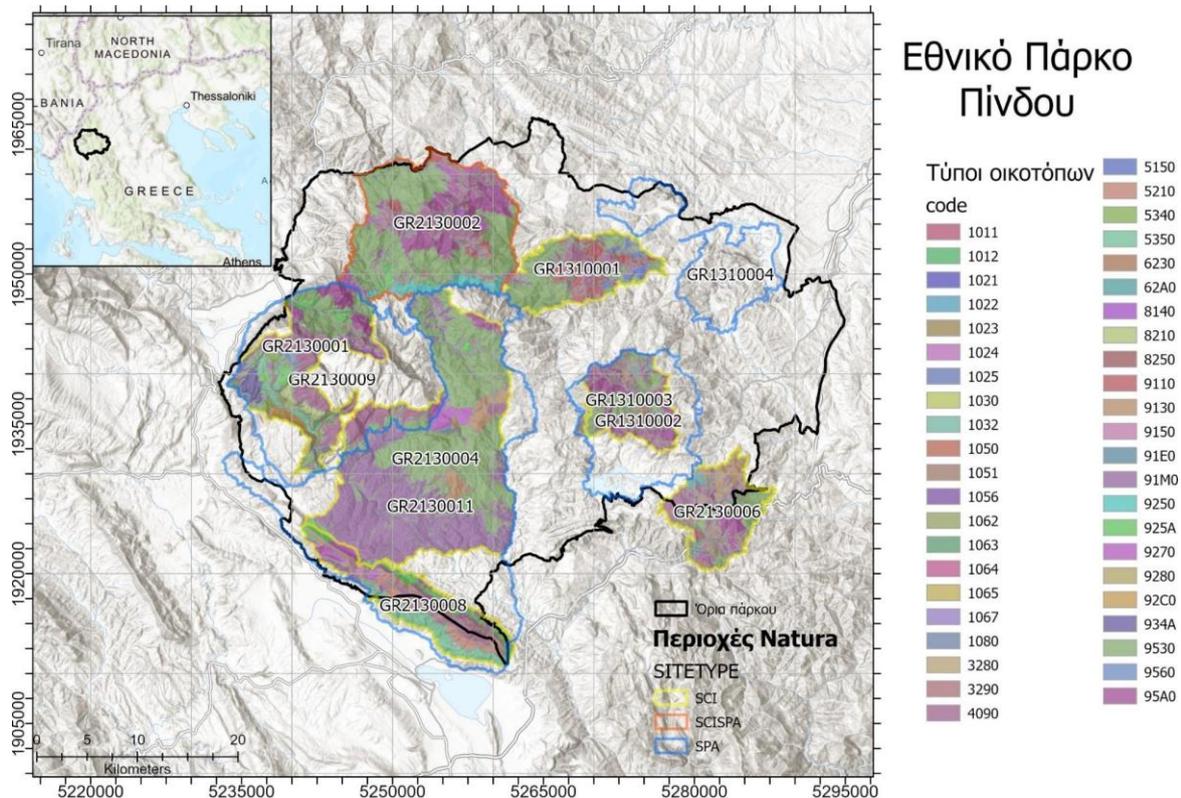
Ένα από τα δύο πιλοτικά Εθνικά Πάρκα στα οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα για τους σκοπούς του EL BIOS είναι το «Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου» στις περιοχές της Ηπείρου.

Το Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου είναι το μεγαλύτερο εθνικό Πάρκο της χώρας, με έκταση περίπου 2000 τ.χιλ. και συμπεριλαμβάνει δύο Εθνικούς Δρυμούς: τον Εθνικό Δρυμό της Πίνδου (Βάλια Κάλντα) και τον Εθνικό Δρυμό του Βίκου- Αώου. Στα όρια του υπάρχουν 11 περιοχές Natura-2000: έξι «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI), τέσσερις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas – SPA), και μια περιοχή SCI/SPA (Πίνακας 1).

Το Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου έχει αναγνωριστεί για τη φυσική οικολογική του αξία σε εθνικό, ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο (Εικόνα 1). Η περιοχή φιλοξενεί πολλά σπάνια, ενδημικά και ενδημικά είδη, υπάρχουν περίπου 2.100 είδη φυτών και πάνω από 60 είδη θηλαστικών, ορισμένα από τα οποία είναι σπάνια.

Πίνακας 1 Περιοχές Natura-2000 Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου

Κωδικός Τόπου	Ονομασία	Χαρακτηρισμός
GR2130001	Εθνικός Δρυμός Βίκου – Αώου	ΤΚΣ (SCI)
GR1310003	Εθνικός Δρυμός Πίνδου (Βάλια Κάλντα),	ΤΚΣ (SCI)
GR2130004	Κεντρικό Τμήμα Ζαγορίου	ΤΚΣ (SCI)
GR2130006	Περιοχή Μετσόβου (Ανήλιο-Κατάρα)	ΤΚΣ (SCI)
GR1310001	Όρος Βασιλίτσα	ΤΚΣ (SCI)
GR2130008	Όρος Μιτσικέλι	ΤΚΣ (SCI)
GR2130002	Κορυφές Όρους Σμόλικα	ΤΚΣ (SCI)/ΖΕΠ (SPA)
GR1310002	Βάλια Κάλντα και Τεχνητή Λίμνη Αώου	ΖΕΠ (SPA)
GR2130011	Κεντρικό Ζαγόρι και ανατολικό τμήμα όρους Μιτσικέλι	ΖΕΠ (SPA)
GR1310004	Όρη Όρλιακας και Τσούργιακας	ΖΕΠ (SPA)
GR2130009	Όρος Τύμφη (Γκαμήλα)	ΖΕΠ (SPA)

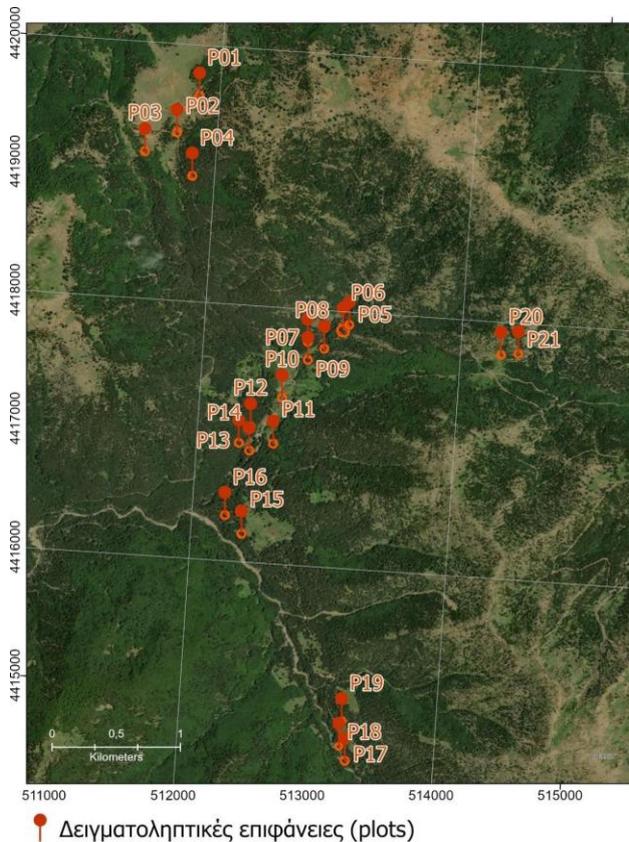


Εικόνα 1 Τύποι οικοτόπων Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου

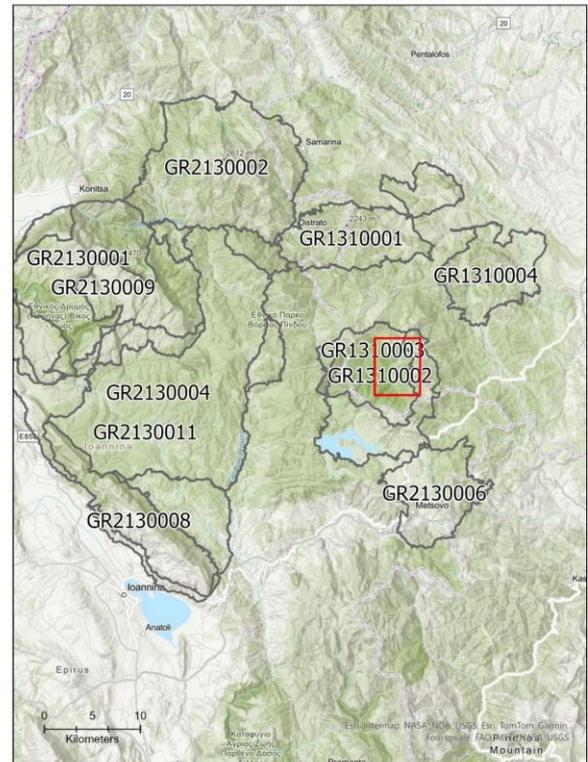
3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η συλλογή δεδομένων πεδίου στο Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2023 και περιελάμβανε μετρήσεις με κλασικές μεθόδους (βλ. Παραδοτέο 4.3), τη λήψη LiDAR και φωτογραμμετρικών δεδομένων με τη χρήση UAV (βλ. Παραδοτέο 4.3), αλλά και επίγειες μετρήσεις εντός των επιφανειών με τη χρήση συσκευής SLAM (βλ. Παραδοτέο 4.3) και επίγειου αισθητήρα TLS (βλ. Παραδοτέο 4.3).

Επιλέχθηκαν συγκεκριμένες δασικές 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 ποικίλο ανάγλυφο. 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 22 επιφάνειες, αντιπροσωπευτικές για τη βιοποικιλότητα και τα είδη βλάστησης της περιοχής (Εικόνα 2).



● Δειγματοληπτικές επιφάνειες (plots)



□ Natura 2000

Εικόνα 2 Δειγματοληπτικές περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

3.1 Δομή βλάστησης

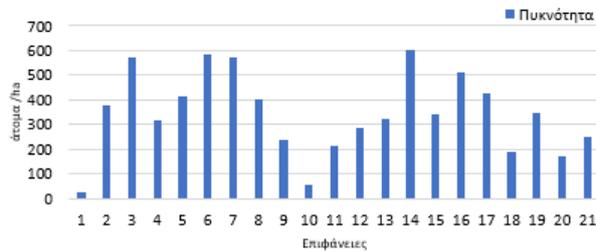
Στα πλαίσια του έργου, για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια και για κάθε είδος, μετρήθηκε η σθηθαία διάμετρος ($d_{1,3}$) και ο αριθμός των δέντρων με σθηθαία διάμετρος ($d_{1,3}$) μεγαλύτερη των 8 εκατοστών, η σθηθαία διάμετρος και το ύψος (L) του κάθε ατόμου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι παρακάτω δασικοί παράμετροι

Για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια μετρήθηκε:

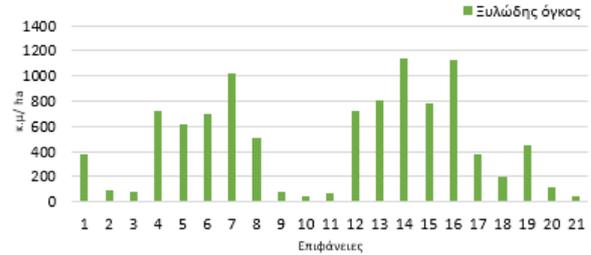
- ο συνολικός αριθμός ατόμων με σθηθαία διάμετρο άνω των 8εκ και πραγματοποιήθηκε αναγωγή της πυκνότητας στο εκτάριο (Εικόνα 3)
- η κυκλική επιφάνεια κάθε ατόμου και η συνολική κυκλική επιφάνεια τους ανά εκτάριο (Εικόνα 3)
- ο ξυλώδης όγκος κάθε ατόμου και ο συνολικός ξυλώδης όγκος ανά εκτάριο (Εικόνα 3)



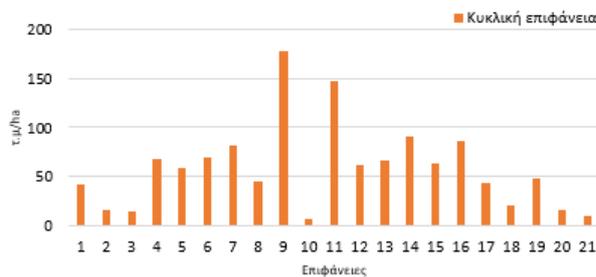
Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου



Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου



Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου



	Πυκνότητα (άτομα /ha)	Κυκλική επιφάνεια (τ.μ/ha)	Ξυλώδης όγκος (κ.μ/ha)
Μέσος όρος	344	58,74	479,43
Ελάχιστες τιμές	25	6,68	44,48
Μέγιστες τιμές	601	178,62	1143,85
Τυπική απόκλιση	162	42,53	365,17

Εικόνα 3 Χαρακτηριστικά δομής δειγματοληπτικών επιφανειών στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

3.2 Βιομάζα

Για τους σκοπούς των εργασιών εξετάστηκαν διάφορες αλλομετρικές εξισώσεις ανά είδος όπως εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία (βλ. Παραδοτέο 4.3) και επιλέχτηκε ο γενικός τύπος εκτίμηση της βιομάζας, ο οποίος συσχετίζει την βιομάζα ανωρόφου με την διάμετρο του δέντρου.

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

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

Για κάθε είδος οι συντελεστές βρέθηκαν βιβλιογραφικά

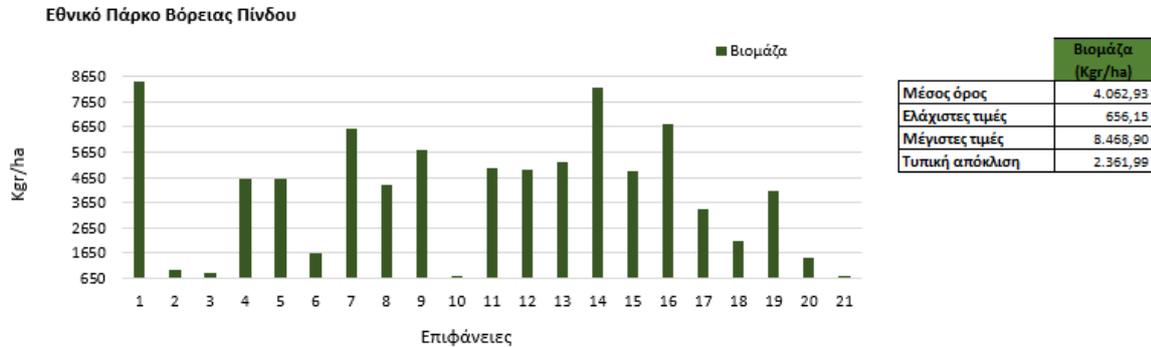
Fagus

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

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 4).

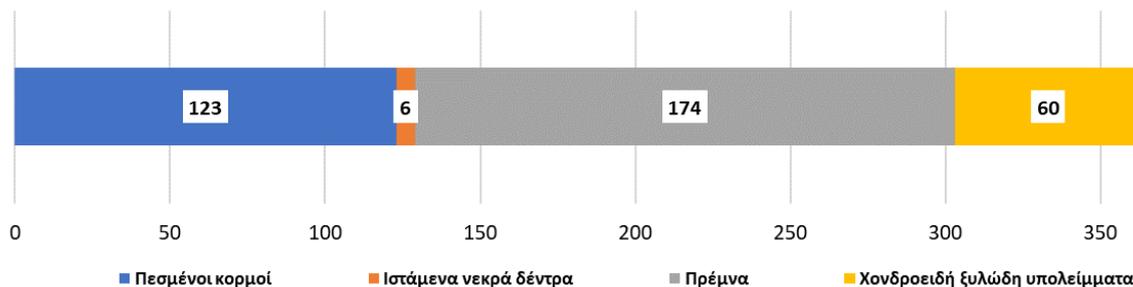


Εικόνα 4 Βιομάζα δειγματοληπτικών επιφανειών στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

3.3 Νεκρή ξυλεία

Για τις ανάγκες εργασιών του EL BIOS, σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου, καταμετρήθηκε η νεκρή ξυλεία (ιστάμενα νεκρά δέντρα, πρέμνα, πεσμένους κορμούς, χονδροειδή ξυλώδη υπολείμματα) και καταγράφηκαν οι διαστάσεις, το στάδιο αποσύνθεσης, αιτία νέκρωσης, παρουσία κοιλοτήτων/κουλοτήτων, βλάστηση (μύκητες, μανιτάρια βρύα κ.α.) που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του νεκρού ξύλου και ποσότητα φλοιού που έχει απομείνει (βλ. Παραδοτέο 4.3).

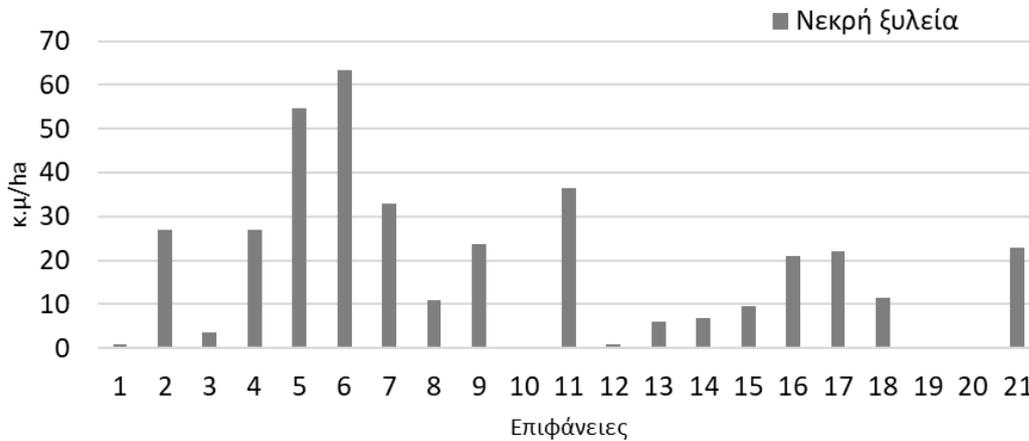
Η Εικόνα 5 παρουσιάζει την αφθονία και τις κατηγορίες νεκρού ξύλου όπως καταμετρήθηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου. Η Εικόνα 6 εμφανίζει τον όγκο της δασικής ξυλείας όπως υπολογίστηκε για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου.



Εικόνα 5 Αφθονία και κατηγορίες νεκρού ξύλου όπως καταμετρήθηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου



Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου



Εικόνα 6 Όγκος δασικής ξυλείας δειγματοληπτικών επιφανειών στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

3.4 Ποικιλότητα

Για τις ανάγκες εργασιών του EL BIOS αφού μετρήθηκαν όλα τα είδη δασικών δέντρων με στηθαία διάμετρο άνω των 8 εκατοστών, εκτιμήθηκε η ποικιλότητα των δέντρων σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια με τη χρήση δεικτών βιοποικιλότητας (βλ. Παραδοτέο 4.3). Υπολογίστηκαν διάφοροι δείκτες όπως αφθονία (richness), ποικιλότητα Shannon's (Shannon's diversity), ποικιλότητα Simpson's (Simpson's diversity), κυριαρχία και ισομέρεια Simpson's (Simpson's dominance και Simpson's evenness).

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) $E = \frac{D_2}{S}$

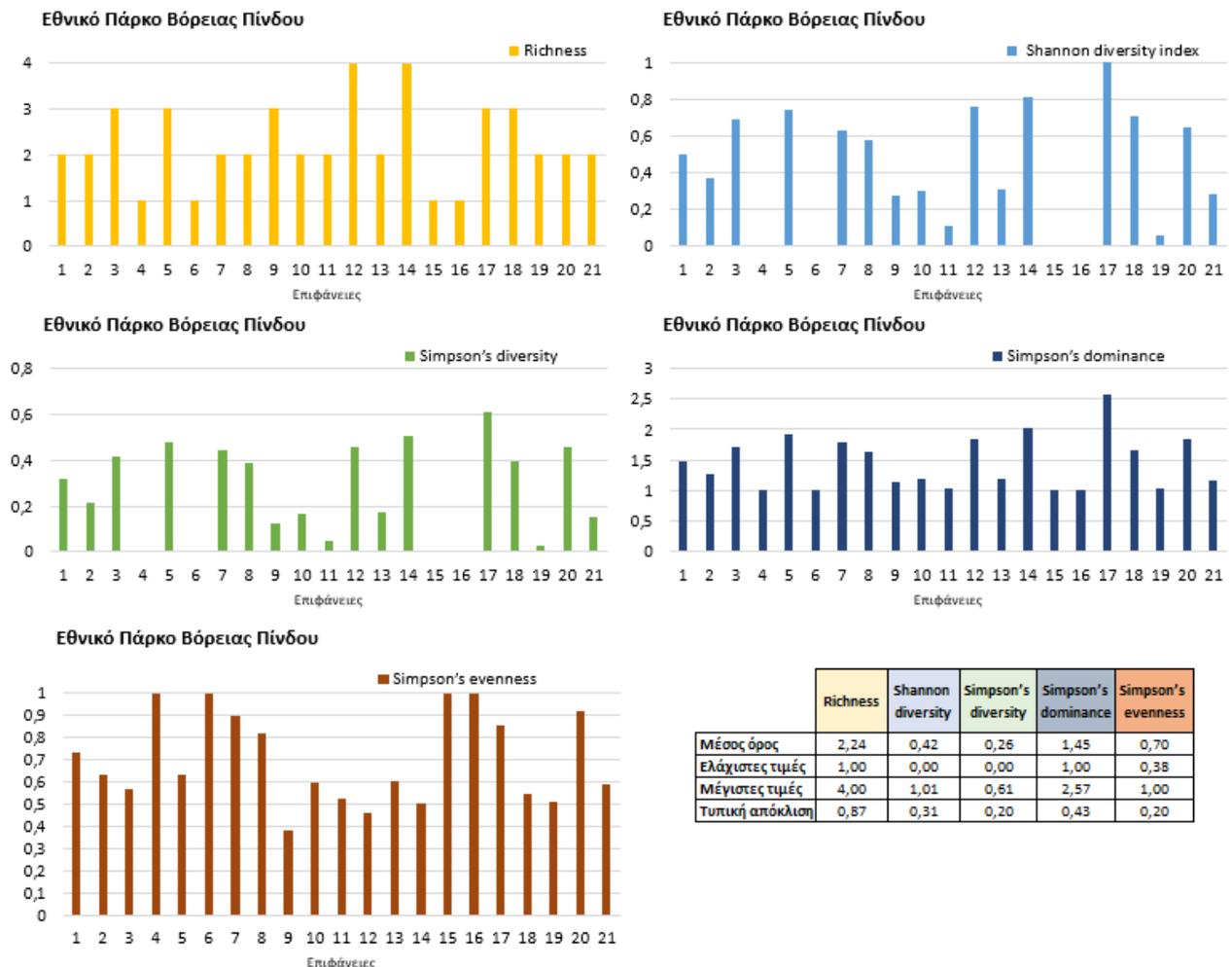
Όπου

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, τα στατιστικά στοιχεία για τους δείκτες βιοποικιλότητας παρατίθενται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7 Μετρήσεις βιοποικιλότητας δειγματοληπτικών επιφανειών στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

3.5 Μικροενδιαίτηματα

Με βάση την τυπολογία Trem (βλ. Παραδοτέο 4.3), καταγράφηκε στο πεδίο η παρουσία και η συχνότητα των μικροενδιαιτημάτων στα δέντρα. Τα αποτελέσματα των καταγραφών ανά κατηγορία μικροενδιαιτηματος για το σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών του Πάρκου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) και την Εικόνα 8.

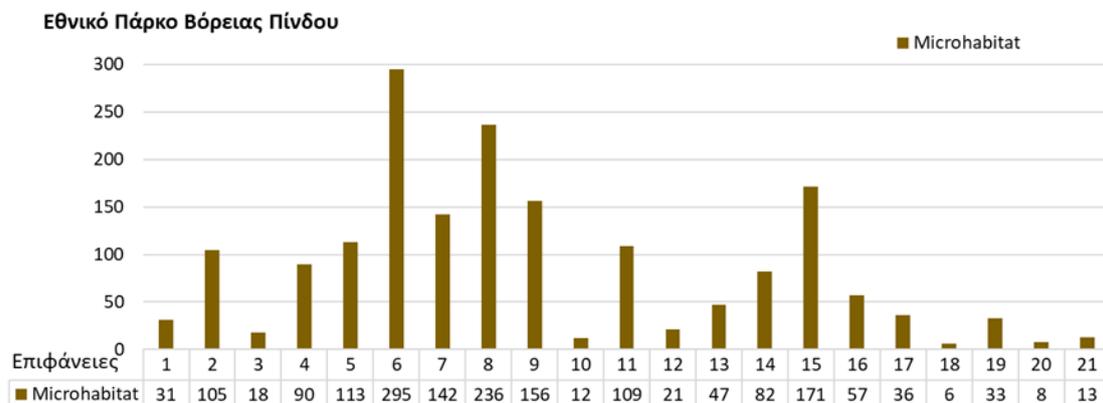
Στατιστικά στοιχεία και ο αριθμός μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο που καταγράφηκαν σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια εμφανίζονται στη συνέχεια (Πίνακας 3) και Εικόνα 9.

Πίνακας 2 Καταγραφή μικροενδιαιτημάτων ανά κατηγορία Trem στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών

Μικροενδιαίτημα	Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου
Άλλα (OT)	51
Microsoil	41
Ρητίνη και χυμοί	10
Επίφυτα (EP)	305



Επιφυτικά κρυπτό- και φανερόγαμα	277
Μύκητες κτλ	26
Μυξομύκητες	2
Κοιότητες (CV)	663
Dendrotelms και κοιότητες/οπές συγκράτησης νερού	123
Κοιότητες δρυκολάπτη	29
Κορμός και κοιότητες μούχλας	55
Οπές κλαδιών	401
Στοές και οπές εντόμων	55
Νεκρό ξύλο (DE)	91
Νεκρά κλαδιά και κλαδίσκοι / νεκρό ξύλο κόμης	91
Παραμόρφωση / ανάπτυξη (GR)	105
Καρκινώματα	13
Κοιότητες ρίζας	91
Σκούπα μάγισσας	1
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	133
Απώλεια φλοιού / εκτεθειμένο σομφό ξύλο	84
Ρωγμές και ουλές	49
Φλοιός (BA)	427
Φλοιός	427
Φωλιές (NE)	6
Φωλιές	6
Σύνολο	1781

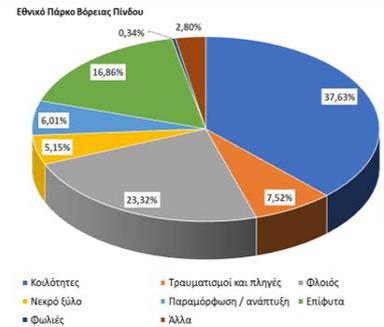


Εικόνα 8 Πλήθος μικροενδιαιτημάτων ανά δειγματοληπτική επιφάνεια του Εθνικού Πάρκου Πίνδου

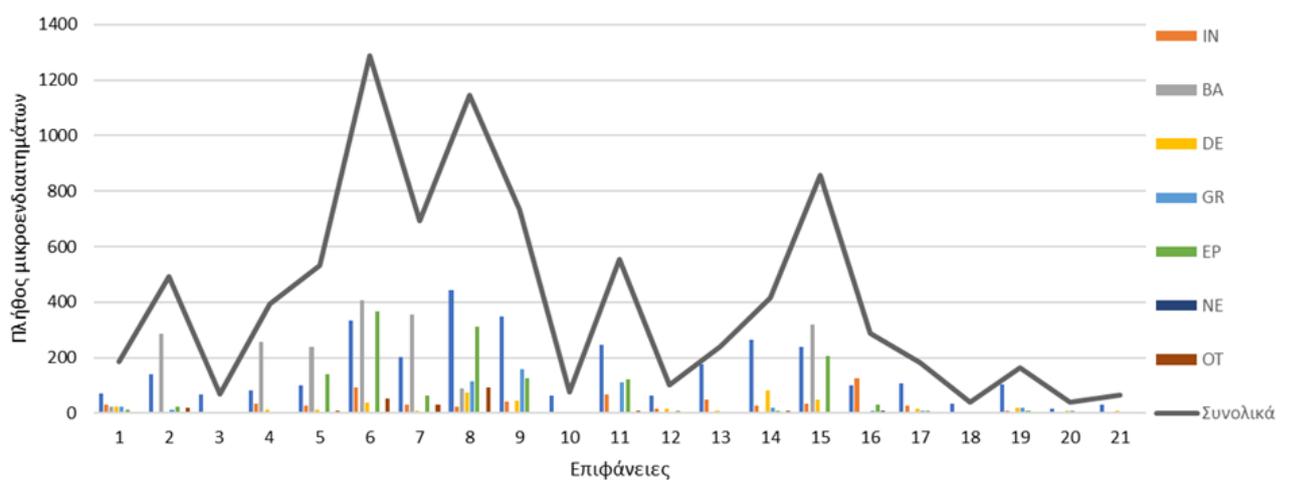


Πίνακας 3 Στατιστικά στοιχεία μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο, στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών, για το Εθνικό Πάρκο Πίνδου

	Μέσος όρος	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές	Τυπική απόκλιση
CV	154	15	442	115
IN	31	0	127	31
BA	95	0	406	141
DE	21	0	82	23
GR	25	0	160	44
EP	69	0	367	105
NE	1	0	10	3
OT	12	0	92	22
Συνολικά	408	39	1288	356



Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου



Εικόνα 9 Μικροενδιαιτήματα ανά εκτάριο σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια του Εθνικού Πάρκου Πίνδου



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 πλατφόρμες¹:

1. Επίγειους κινητούς σαρωτές με ενεργητικούς αισθητήρες LiDAR που υποστηρίζουν σύγχρονες μεθόδους Ταυτόχρονης Ανίχνευσης και Δημιουργίας Χάρτη (Simultaneous Localization and Mapping - **SLAM**)
2. Επίγειους στατικούς σαρωτές με ενεργητικούς αισθητήρες **LiDAR Terrestrial Laser Scanning - TLS**
3. Αερομεταφερόμενους ενεργητικούς αισθητήρες LiDAR σε πλατφόρμα μη διακατεχόμενου εναέριου οχήματος (Unoccupied Air Vehicle - UAV) **UAV –LiDAR**
4. 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. Παραδοτέο 4.3), 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.

¹ Για περαιτέρω πληροφορίες για τα καινοτόμα συστήματα καταγραφής μπορείτε να δείτε την αναφορά B4.3.



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

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις πεδίου, του επίγειου SLAM (βλ. Παραδοτέο 4.3) και του εναέριου UAV LiDAR για επιλεγμένες περιοχές του Εθνικού Πάρκου Πίνδου.

4.1.1 Θέση και αριθμός ατόμων

Η θέση του δέντρου στις «παραδοσιακές» απογραφές πεδίου νοείται συνήθως ως η θέση του κέντρου της βάσης του δέντρου. Στα πλαίσια του έργου και μετά από συγκριτική αξιολόγηση δύο μεθόδων (βλ. Παραδοτέο 4.3), χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία μέχρι ένα καθορισμένο από τον χρήστη ύψος (πχ. στο 3D Forest η προεπιλογή είναι 60cm) πάνω από το χαμηλότερο σημείο του δέντρου και υπολογίστηκαν οι διάμεσες 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 και επιτυγχάνοντας καλύτερη προσαρμογή στις απαιτήσεις του έργου.

Στη συνέχεια (Πίνακας 4) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των δέντρων που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες του Εθνικού Πάρκου Πίνδου μέσω των νεφών σημείων, που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM και UAV LiDAR και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις πεδίου

Ως μέτρα ακρίβειας χρησιμοποιήθηκαν:

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

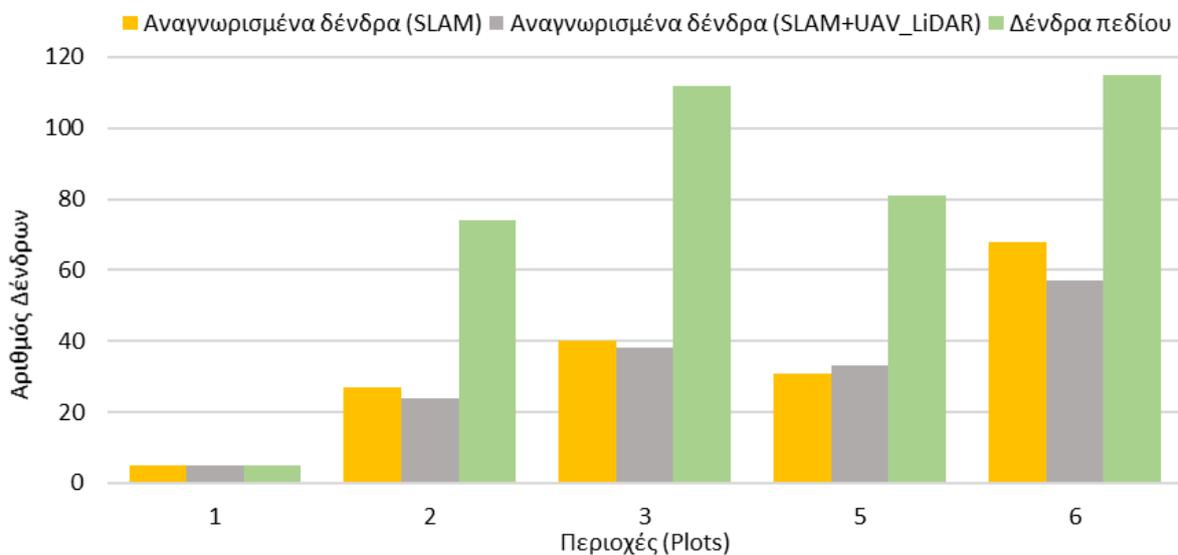
Πίνακας 4 Συγκεντρωτικά στοιχεία αριθμού δέντρων, detection rate (dr%), Commission Error (c%) και Overall Accuracy (OA%) από τα αναγνωρισμένα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

Plots (Περιοχές)	Αριθμός αναγνωρισμένων Δέντρων			Αριθμός Δέντρων αυτόματης εξαγωγής		Εκτίμηση Ακρίβειας					
	ΠΕΔΙΟ	SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM & UAV	Detection Rate (Dr%)		Commission Error (c%)		Overall Accuracy (acc%)	
						SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM_UAV	SLAM	SLAM_UAV
1	5	5	5	5	5	100	100	0	0	100	100
2	74	27	24	30	27	36,49	32,43	10	11,11	26,49	21,32
3	112	40	38	48	41	35,71	33,93	16,67	7,32	19,05	26,61
5	81	31	33	45	44	38,27	40,74	31,11	25	7,16	15,74
6	115	48	57	69	72	41,74	49,57	30,43	20,83	11,3	28,73
8	79	27	25	35	33	34,18	31,65	22,86	24,24	11,32	7,4
10	11	5	5	5	5	45,45	45,45	0	0	45,45	45,45
11	42	20	22	26	27	47,62	52,38	23,08	18,52	24,54	33,86



14	118	77	80	117	117	65,25	67,8	34,19	31,62	31,07	36,17
18	84	32	33	57	55	38,1	39,29	43,86	40	-5,76	-0,71

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η σύγκριση του αριθμού δέντρων που αναγνωρίστηκαν με τα δεδομένα SLAM, τα δεδομένα SLAM & UAV_LiDAR και τις μετρήσεις πεδίου για διάφορες περιοχές. Στην P01, όπου ο αριθμός δέντρων που καταγράφηκαν στο πεδίο είναι πολύ μικρός δεν υπάρχει διαφορά στα σετ δεδομένων. Σε επιφάνειες με μεγαλύτερο αριθμό δέντρων παρατηρούνται και σημαντικές διαφορές στα σετ δεδομένων



Εικόνα 10 Σύγκριση αριθμού αναγνωρισμένων δένδρων (SLAM), (SLAM & UAV_LiDAR) με δεδομένα πεδίου στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Πίνδου

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

4.1.2 Ύψος δέντρου

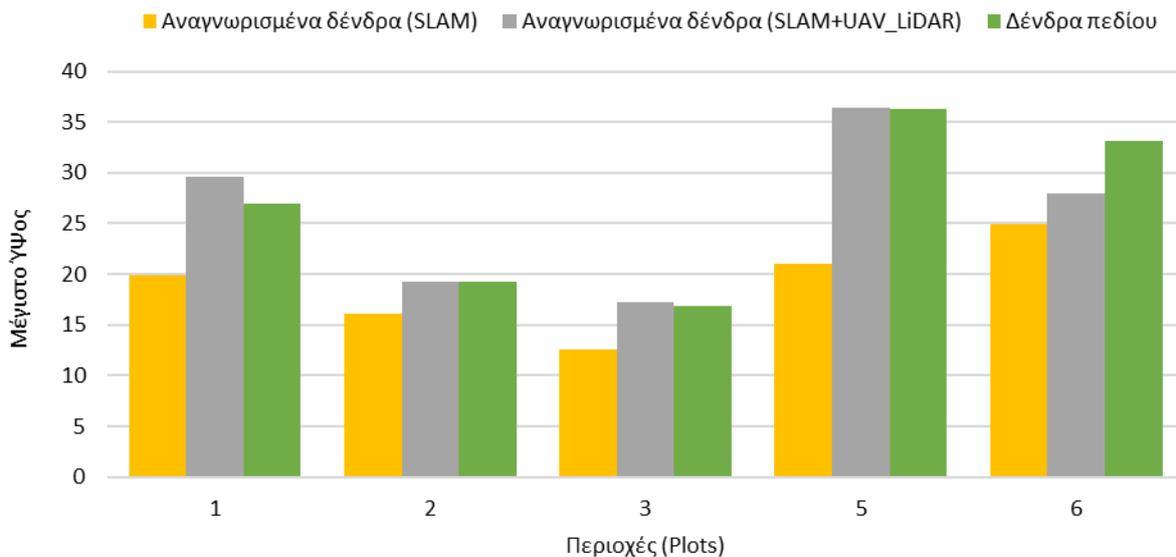
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία το εκτιμώμενο ύψος (Tree Height) των δένδρων που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες του Εθνικού Πάρκου Πίνδου μέσω των νεφών σημείων που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM & UAV LiDAR και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις πεδίου.

Πίνακας 5 Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων ύψους (H) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου



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
1	19,83	28,59	26,9	14,23	21,34	11,3	17,96	26,42	21,9	89,8	132,09	109,4
2	16,06	19,2	19,3	10,89	12,1	4,8	1434	16,3	12,2	316	276,3	268,7
3	12,19	17,27	16,9	7,47	9,47	6,5	9,57	14,66	12,3	163	249,28	209,6
5	13,4	36,46	36,3	21,06	15,38	6,6	17,84	32,37	23,2	538	906,22	697,3
6	24,95	31,81	33,1	16,37	19,73	6	20,73	25,75	20,5	1431	1853,8	2354
8	17,1	33,36	31,2	9,71	10,75	5,9	13,75	22,82	20,9	481	753,02	1650
10	19,07	20,48	20,1	12,76	19,56	4,2	15,58	19,8	10,8	77,9	40,51	118,5
11	20,1	33,41	42,3	14,12	18,47	9,4	16,68	28	27,7	434	756,23	1162
14	18,85	39,57	43,1	8,8	7,96	9,8	14,84	29,19	24,7	1736	3415,7	2911
18	19,6	29	28,2	11,87	14,61	5,8	16,03	23,49	17,9	914	1292,5	1504

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται η σύγκριση του μέγιστου ύψους από τα αναγνωρισμένα δένδρα από τα δεδομένα SLAM, τα δεδομένα SLAM+UAV_LiDAR και τις μετρήσεις πεδίου για διάφορες περιοχές. Στην P01, τα δεδομένα από SLAM+UAV_LiDAR κατέγραψε το μεγαλύτερο αριθμό δέντρων με το μέγιστο ύψος, περίπου 35 δέντρα, ενώ οι μετρήσεις πεδίου ακολουθούν κοντά στα 30 δέντρα. Το SLAM κατέγραψε σημαντικά λιγότερα δέντρα, κοντά στα 15. Στις P02, P03 και P05 παρατηρείται μια πολύ σημαντική σύγκλιση των τιμών από τα δεδομένα από SLAM & UAV_LiDAR σε σύγκριση με τα δεδομένα πεδίου. Στην P06 παρατηρείται ότι τα εξαγόμενα στοιχεία από τα δεδομένα SLAM & UAV_LiDAR πλησιάζουν τις μετρήσεις πεδίου. Γενικά, οι μετρήσεις πεδίου και τα δεδομένα SLAM & UAV_LiDAR καταγράφουν παρόμοιες τιμές μέγιστου ύψους δέντρων στις περισσότερες περιοχές, με τα δεδομένα SLAM να καταγράφουν συστηματικά χαμηλότερες τιμές.



Εικόνα 11 Σύγκριση μέγιστου ύψους (μ) αναγνωρισμένων δένδρων με (SLAM), (SLAM + UAV_LiDAR) με δεδομένα πεδίου στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Πίνδου



Γενικά συμπεράσματα:

- Οι μετρήσεις SLAM & UAV εμφανίζονται πιο συνεπείς σε σχέση με τη μέθοδο SLAM
- Σχεδόν σε όλες τις επιφάνειες οι μετρήσεις μέγιστου ύψους από SLAM & UAV (πχ. P14) πλησιάζουν πολύ κοντά τις μετρήσεις πεδίου,
- Η τιμή του μέσου ύψους από SLAM & UAV φαίνεται να υπερεκτιμάτε όμως στις αρκετές επιφάνειες σε σχέση με τις μετρήσεις πεδίου.

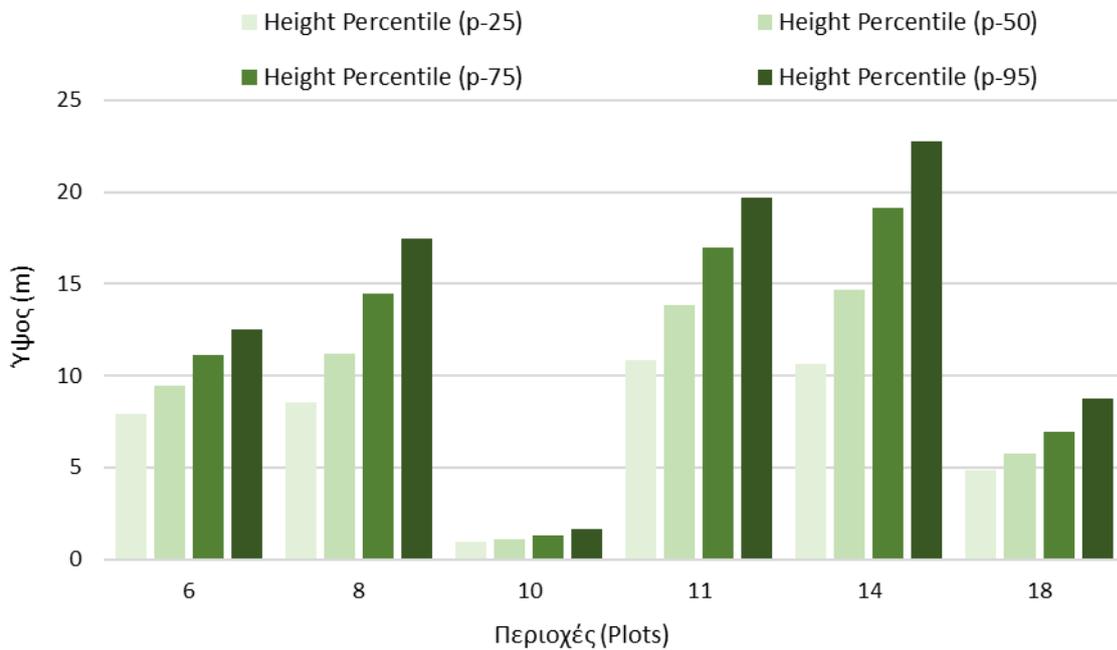
Εκατοστημότητα ύψους

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία αναφορικά με τα percentiles ύψους δένδρων που αναγνωρίστηκαν στα δύο διαφορετικά νέφη σημείων, όπως προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM & UAV LiDAR.

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

Plots (Περιοχές)	Height Percentile (p-25)		Height Percentile (p-50)		Height Percentile (p-75)		Height Percentile (p-95)	
	SLAM	SLAM & UAV						
1	2,19	2,46	2,45	3,04	2,83	3,97	3,42	5,33
2	1,36	1,67	1,6	2,10	1,92	2,65	2,35	3,22
3	1,7	3,09	1,95	3,86	2,27	4,75	2,69	5,63
5	3,07	9,87	3,56	12,47	4,2	15,33	5,11	18,21
6	4,66	8,37	5,14	9,44	5,75	11,12	6,61	12,54
8	4,1	8,59	4,58	11,17	5,33	14,47	6,49	17,42
10	0,9	0,9	0,94	1,04	1,04	1,27	1,24	1,58
11	4,85	10,85	5,27	13,18	5,95	16,91	7,19	19,64
14	4,49	10,62	5,15	14,64	6,14	19,08	7,63	22,69
18	2,98	4,86	3,33	5,73	3,83	6,97	4,59	8,72

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζονται τα εκατοστημότητα ύψους (p-25, p-50, p-75 και p-95) για επιλεγμένες περιοχές (plots) και δείχνει την κατανομή των τιμών ύψους των δέντρων στις συγκεκριμένες περιοχές. Οι επιφάνειες P11 και P14 εμφανίζουν τα ψηλότερα δέντρα (p-95 κοντά ή πάνω από τα 20 μέτρα), υποδεικνύοντας ότι σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν αρκετά ψηλά δέντρα. Αντίθετα, οι επιφάνειες P10 και P18 δείχνουν μικρότερα δέντρα, με το p-95 να είναι πολύ χαμηλότερο σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές. Η ανάλυση των εκατοστημορίων δείχνει την ποικιλία στις κατανομές ύψους των δέντρων, δίνοντας μια καλύτερη εικόνα της διάταξης του ύψους των δέντρων σε κάθε περιοχή.



Εικόνα 12 Εκατοστημόρια ύψους (p-25 to p-95) σε επιλεγμένες περιοχές (plots) στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Πίνδου

4.1.3 Στηθιαία διάμετρος

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία της εκτιμώμενης στηθιαίας διαμέτρου (dbh) για τα δένδρα που αναγνωρίστηκαν στις δειγματοληπτικές επιφάνειες του Εθνικού Πάρκου Πίνδου μέσω των νεφών σημείων που προέκυψαν από μετρήσεις SLAM και του συνδυασμού SLAM και UAV LiDAR, στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις πεδίου.

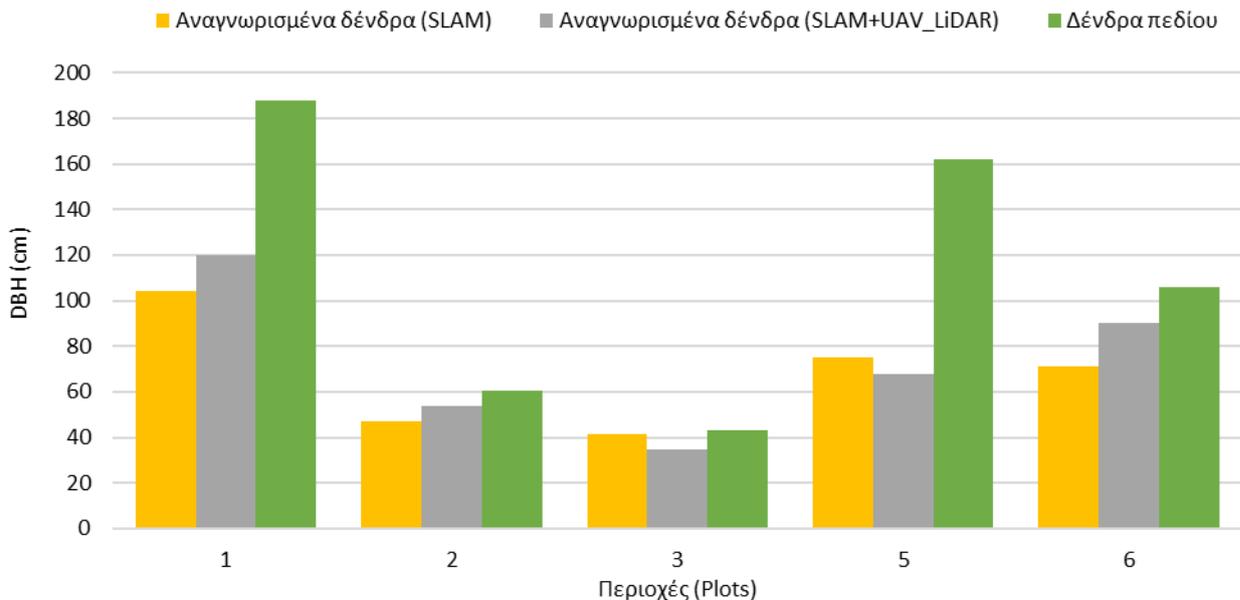
Πίνακας 7 Συγκεντρωτικά στοιχεία μετρήσεων στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα αναγνωρισμένα δένδρα SLAM, SLAM & UAV, και των μετρήσεων πεδίου για όλες τις περιοχές (plots) στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου

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
1	104	120	187,9	102	102	106,7	62	111	142	309	122	708,6
2	46	54	60,7	9	6	10,1	27,77	24,8	24,8	611	421	545,9
3	34	35	40,2	6	8	10	17	17	21,8	292	290	370,8
5	75	68	70,5	9	9	10,5	37	46	36,9	1118	1048	1107
6	71	71	106,1	13,25	13,49	10,3	28	39,4	34,9	1933	1891,2	4009
8	79,06	68,61	74,5	6	7.1	10	28,44	33,28	33,7	996	798,7	2662
10	60,96	62,61	79	0	10	12	23,86	62,61	32,3	119	626,17	355,1
11	86,16	86,33	97	9,52	9,38	11,6	47,6	47,89	41,1	524	526,81	1724
14	84,84	88,12	88,3	5,99	0,66	5,2	42,36	44,64	37,2	2627	2767,9	4386
18	68,19	67,97	87,5	16,18	15,86	10,3	37,13	0,36	32,3	1151	1194,7	2713

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται η σύγκριση της στηθιαίας διαμέτρου (DBH) μεταξύ των αναγνωρισμένων δένδρων από τις μετρήσεις SLAM, τις SLAM & UAV_LiDAR και τις μετρήσεις πεδίου. Παρατηρείται, ότι οι μετρήσεις πεδίου καταγράφουν συστηματικά μεγαλύτερες στηθιαίες



διαμέτρους σε σύγκριση με τα δεδομένα SLAM και SLAM & UAV_LiDAR. Ωστόσο, τα δεδομένα SLAM συνδυαστικά με τα UAV_LiDAR φαίνεται να προσφέρουν πιο ακριβείς τιμές συγκριτικά με το απλό SLAM, πλησιάζοντας αρκετά τα δεδομένα πεδίου σε αρκετές περιοχές. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην P01, όπου η διαφορά μεταξύ πεδίου και SLAM είναι σημαντική.



Εικόνα 13 Σύγκριση στηθιαίας διαμέτρου (DBH) (m) αναγνωρισμένων δένδρων (SLAM), (SLAM & UAV_LiDAR) με δεδομένα πεδίου στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Πίνδου

Γενικά συμπεράσματα:

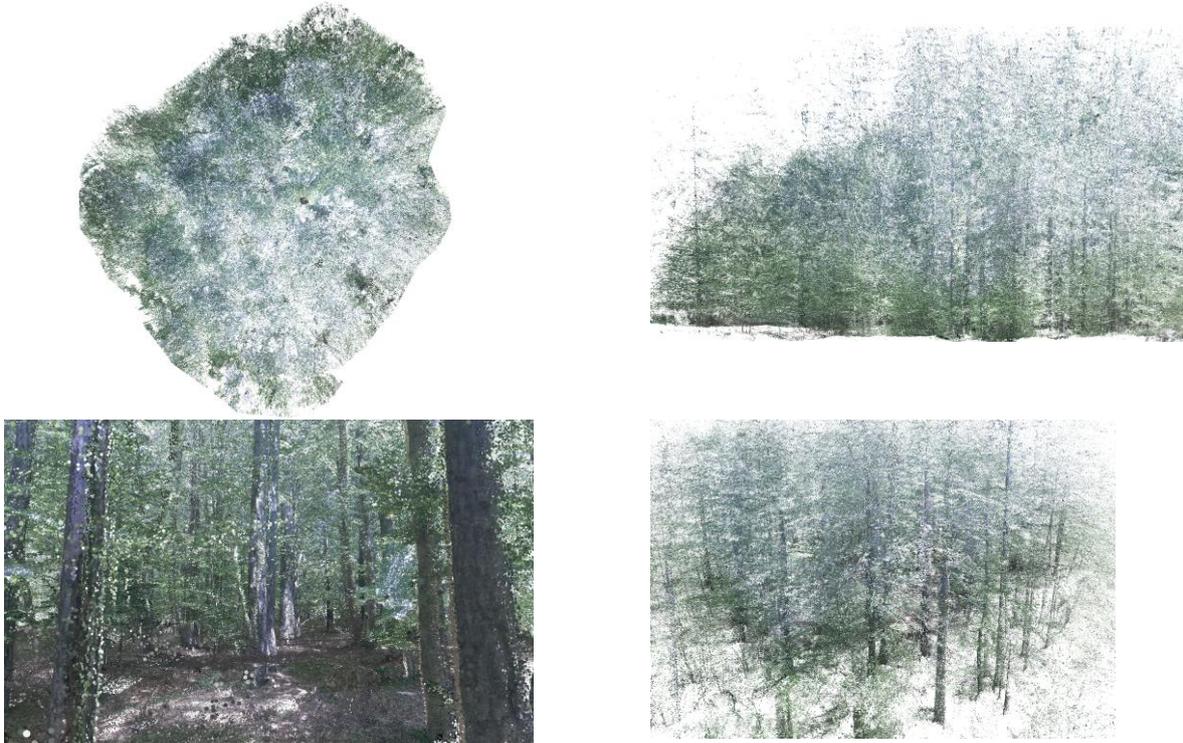
- Το συνδυασμένο νέφος SLAM & UAV LiDAR φαίνεται να παρέχει γενικά πιο ακριβείς μετρήσεις σε σύγκριση με τις μετρήσεις SLAM μόνο,
- Σε πολλές περιοχές η μέγιστη τιμή DBH (π.χ. P01) δεν ανιχνεύθηκε σωστά στα νέφη σημείων από SLAM και SLAM & UAV LiDAR,
- Στις ελάχιστες τιμές (min DBH) δένδρων από τα δύο νέφη σημείων πλησιάζουν τις επιτόπιες μετρήσεις (π.χ. P05) που σημαίνει ότι μπορούν να ανιχνεύσουν μικρά δέντρα με παρόμοια ακρίβεια,
- Η συνολική διάμετρος (Sum DBH) είναι πολύ μεγαλύτερη στις επιτόπιες μετρήσεις με την αντίστοιχη από SLAM & UAV LiDAR να είναι πολύ κοντά,
- Σε ορισμένες περιοχές (π.χ. P02, P08), η χρήση UAV φαίνεται να διορθώνει το πρόβλημα της χαμηλής ανίχνευσης μικρότερων δέντρων από το SLAM μόνο.

4.1.4 TLS LiDAR

Στην περίπτωση του Εθνικού Πάρκου Πίνδου-Βάλια Κάλντα, πραγματοποιήθηκε η σάρωση της δειγματοληπτικής επιφάνειας P14 με τη χρήση στατικού αισθητήρα TLS LiDAR. Όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 14), η συγκεκριμένη επιφάνεια φέρει πλούσιο υπόροφο με έντονο ανάγλυφο και ψηλή βλάστηση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το νέφος σημείων να είναι πυκνό και δυσδιάκριτο κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης μεμονωμένων δένδρων. Παρά τις προσπάθειες εφαρμογής



συμβατικών μεθόδων ανάλυσης σημειακών νεφών, όπως clustering και ground normalization, η αναγνώριση των δέντρων παραμένει περιορισμένη, απαιτώντας περαιτέρω επεξεργασία με εξελιγμένες τεχνικές segment-based tree detection.



Εικόνα 14 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων με τη χρήση αισθητήρα TLS (πάνω αριστερή και δεξιά) του νέφους σημείων της δειγματοληπτικής επιφάνειας #P14. Στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας εμφανίζεται η δομή του νέφους σημείων εντός της επιφάνειας.

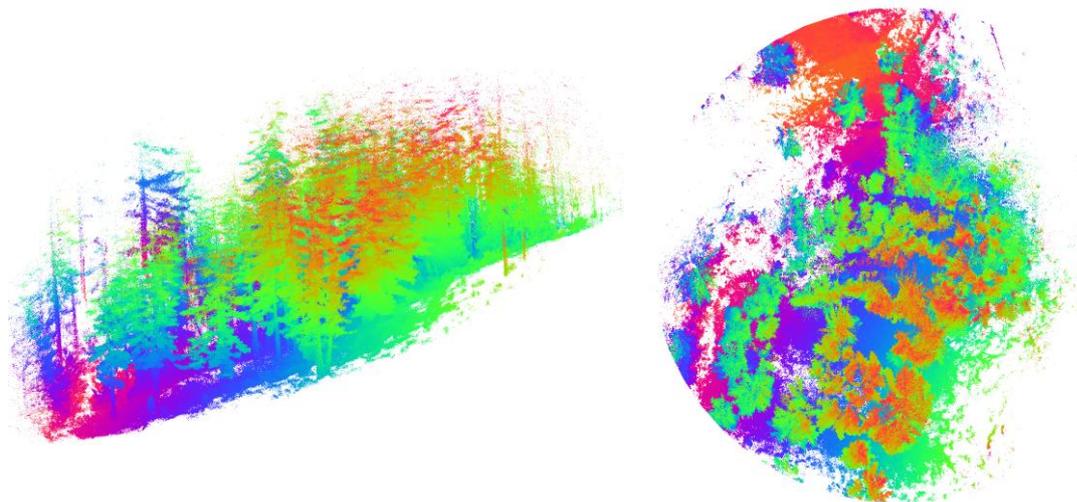


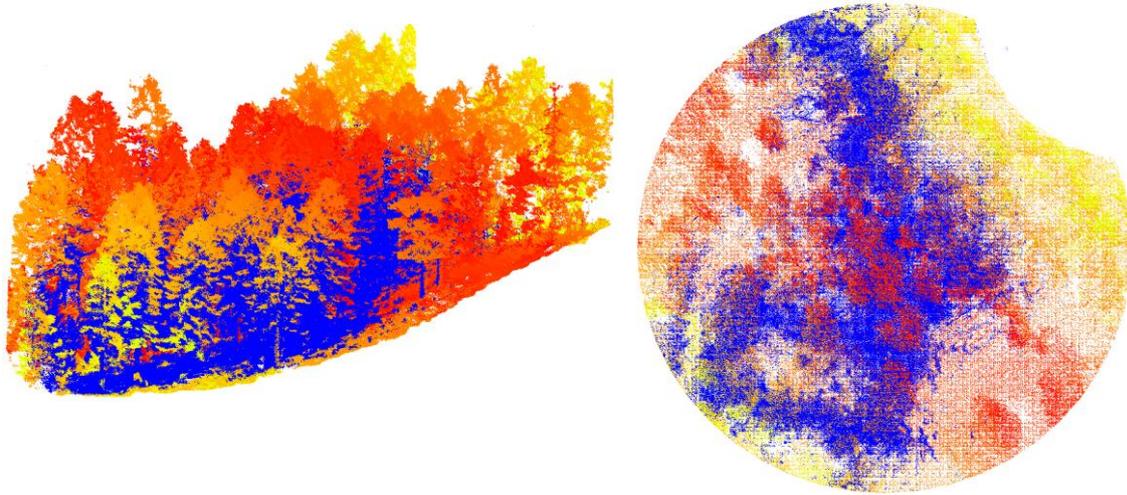
4.2 Συνδυασμός τεχνολογίας LiDAR SLAM και UAV/ για ανάλυση νέφους σημείων σε επίπεδο περιοχής

Όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων σε επίπεδο ανάλυσης βάσης περιοχής (area-based), πραγματοποιήθηκε στο σύνολο των επιφανειών με τον υπολογισμό επιμέρους παραμέτρων, όπως αυτές παρουσιάζονται παρακάτω σε επιλεγμένες δειγματοληπτικές επιφάνειες.

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.

Στην Εικόνα 15 απεικονίζονται τα τρισδιάστατα νέφη σημείων για την επιφάνεια 06, όπως καταγράφηκαν από τον επίγειο αισθητήρα SLAM, καθώς και από τον συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV drone LiDAR. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται ορισμένα κενά στις απεικονίσεις, τα οποία πιθανώς οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς περιλαμβάνουν την ελλειπή κάλυψη κατά τη διάρκεια της σάρωσης, η οποία μπορεί να προκύψει από περιορισμούς της τεχνολογίας ή από την παρουσία εμποδίων, όπως η πυκνή βλάστηση. Επιπλέον, οι ανακλάσεις της ακτινοβολίας και οι απότομες μεταβολές στη γεωμορφολογία του εδάφους ενδέχεται να έχουν επηρεάσει τη συλλογή των δεδομένων, οδηγώντας σε απώλειες ή αποκλίσεις στην καταγραφή της δομής του δάσους.

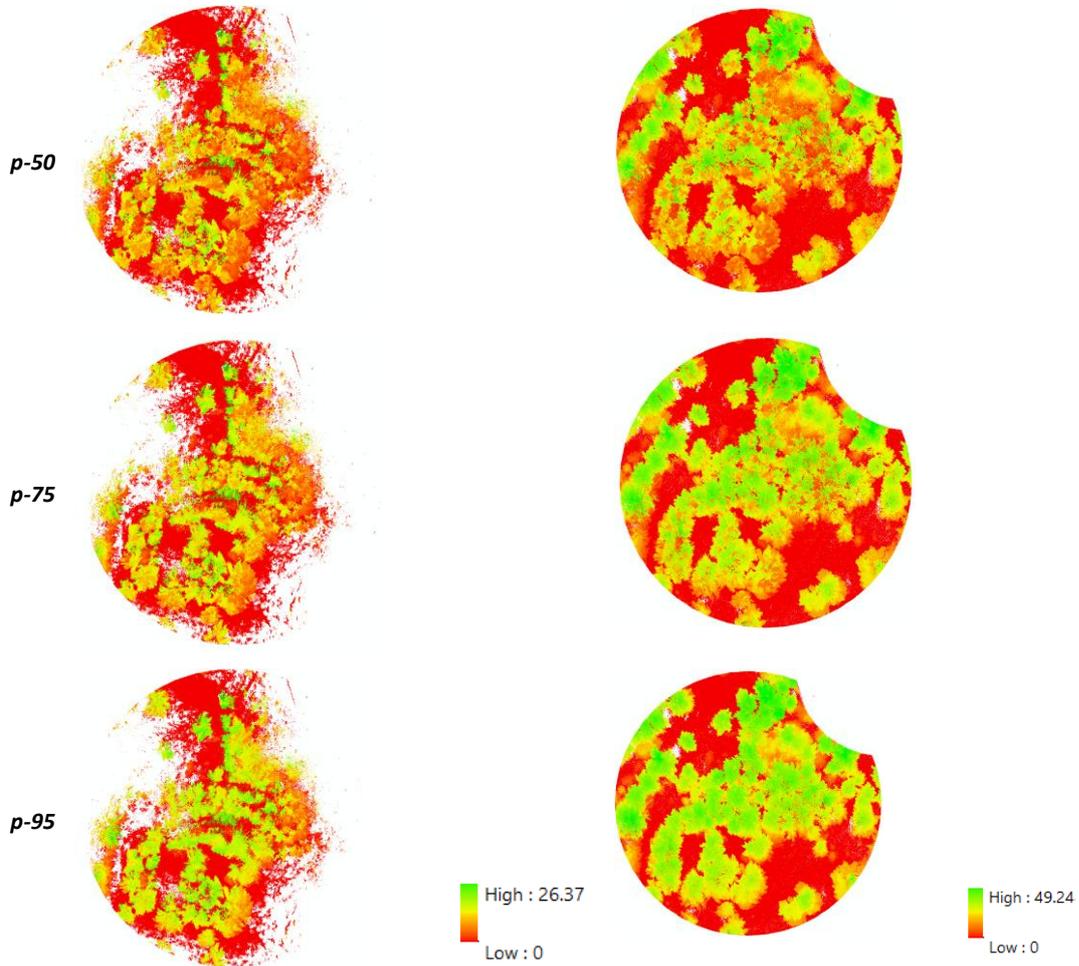




Εικόνα 15 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια P06

Στις παρακάτω εικόνες για τη δειγματοληπτική επιφάνεια 06, αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής όπως εκατοστημόρια ύψους (Εικόνα 16), ύψος κόμης (canopy height), ασυμμετρία (skewness), κύρτωση (kurtosis) και κάθετη πολυπλοκότητα (vertical complexity index) καθώς και της δομής της κόμης (canopy density) (Εικόνα 17). Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμη πληροφορία βάσης στη διαχείριση του οικοσυστήματος της Βάλια Κάλντα καθώς διαφορετική δομή μπορεί να συσχετισθεί με ανάγκες για ενδιαιτήματα διαφορετικών ειδών πανίδας.





Εικόνα 16 Εκατοστημόρια ύψους (H- Percentile)s: α) p-25, β) p-50, γ) p-75, δ) p-95 από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια P06

SLAM

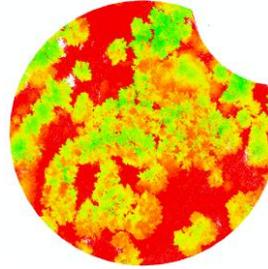
SLAM & UAV LiDAR



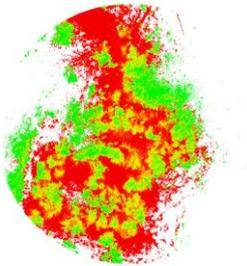
Υ
ψ
ο
ς
κ
ό
μ
η
ς
(
m
)
Π
υ
κ
ν
ό
τ
η
τ
α
κ
ό
μ
η
ς
(
%
)
Α
σ
σ
υ
μ
ε
ρ
ί
α
Κ
ύ
ρ
τ
ω
σ
η



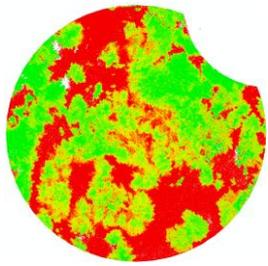
High : 26.38
Low : 0



High : 49.25
Low : 0

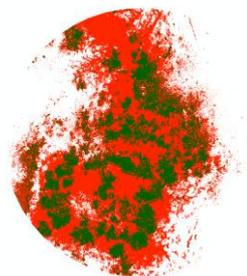


High : 100
Low : 0

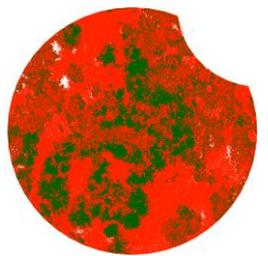


High : 100
Low : 0

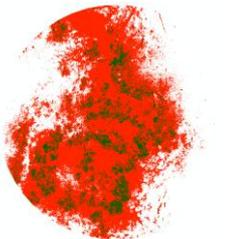
negative values
0
positive values



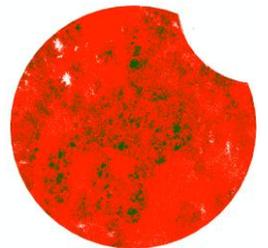
negative values
3
positive values



negative values
0
positive values



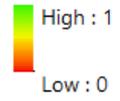
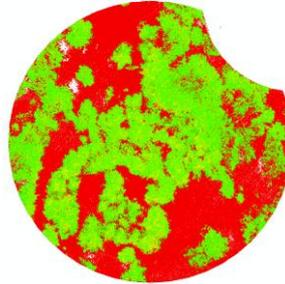
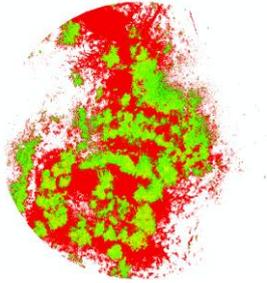
High : 1
Low : 0



negative values
3
positive values



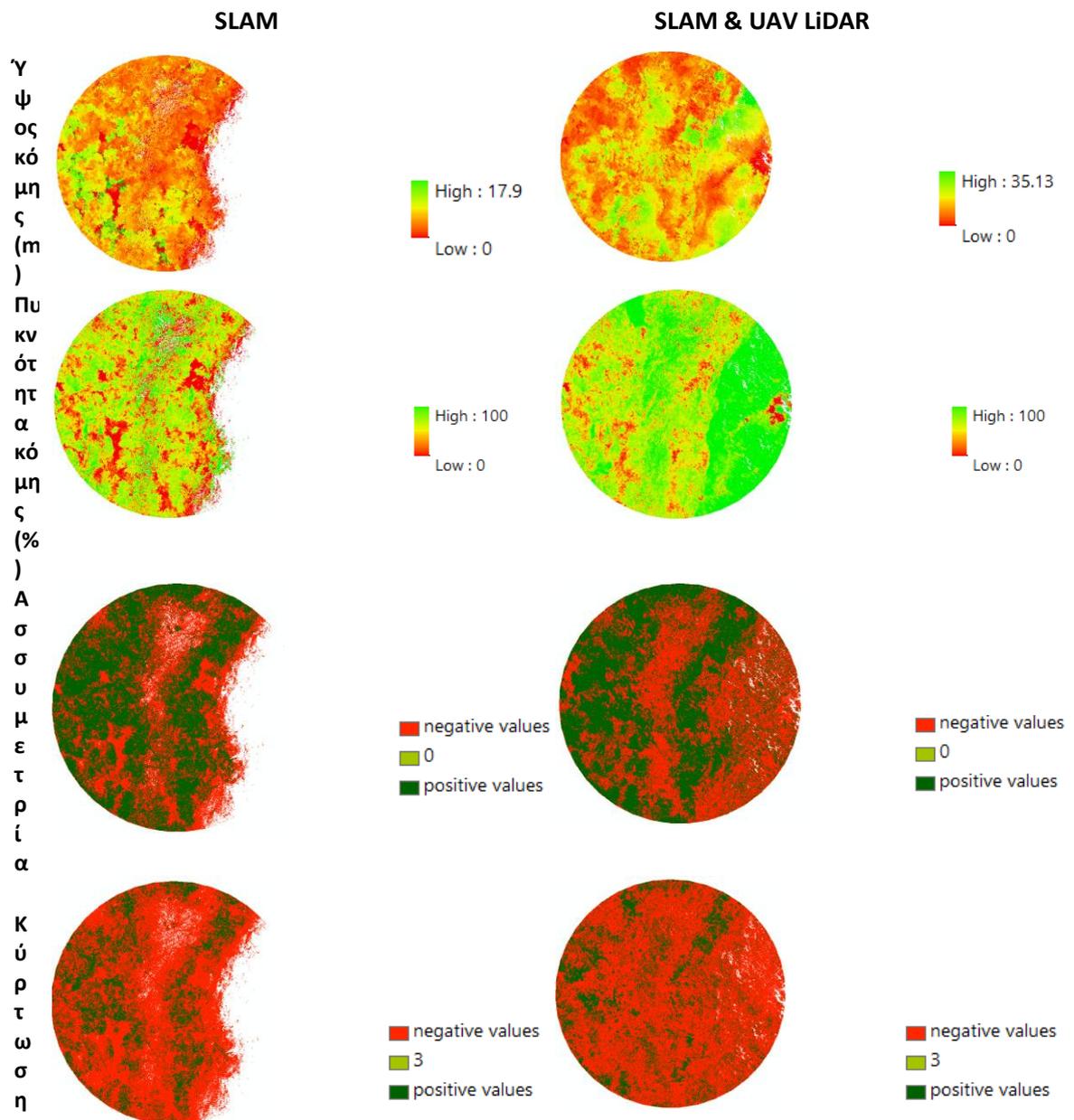
Κ
ά
θ
ε
τ
η
π
ο
λ
υ
π
λ
ο
κ
ό
τ
η
τ
α



Εικόνα 17 Υπολογισμός ύψους κόμης (m), πυκνότητα κόμης (%), ασυμετρία, κύρτωση και κάθετη πολυπλοκότητα (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P06

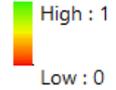
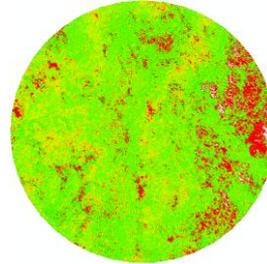
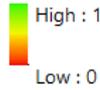
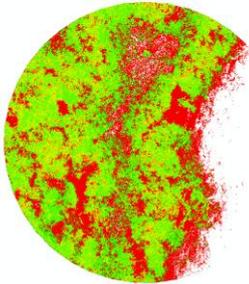


Στις παρακάτω εικόνες για τη δειγματοληπτική επιφάνεια 08, αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής όπως (Εικόνα 18), ύψος κόμης (canopy height), ασυμμετρία (skewness), κύρτωση (kurtosis) και κάθετη πολυπλοκότητα (vertical complexity index) καθώς και της δομής της κόμης (canopy density). Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμη πληροφορία βάσης στη διαχείριση του οικοσυστήματος της Βάλια Κάλντα καθώς διαφορετική δομή μπορεί να συσχετισθεί με ανάγκες για ενδιαιτήματα διαφορετικών ειδών πανίδας.



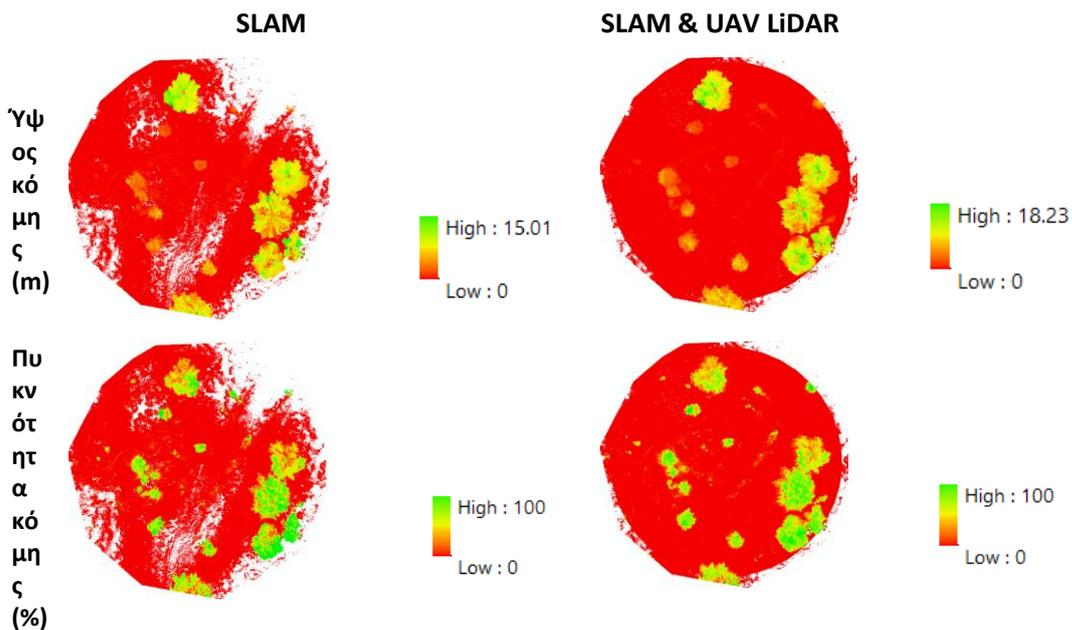


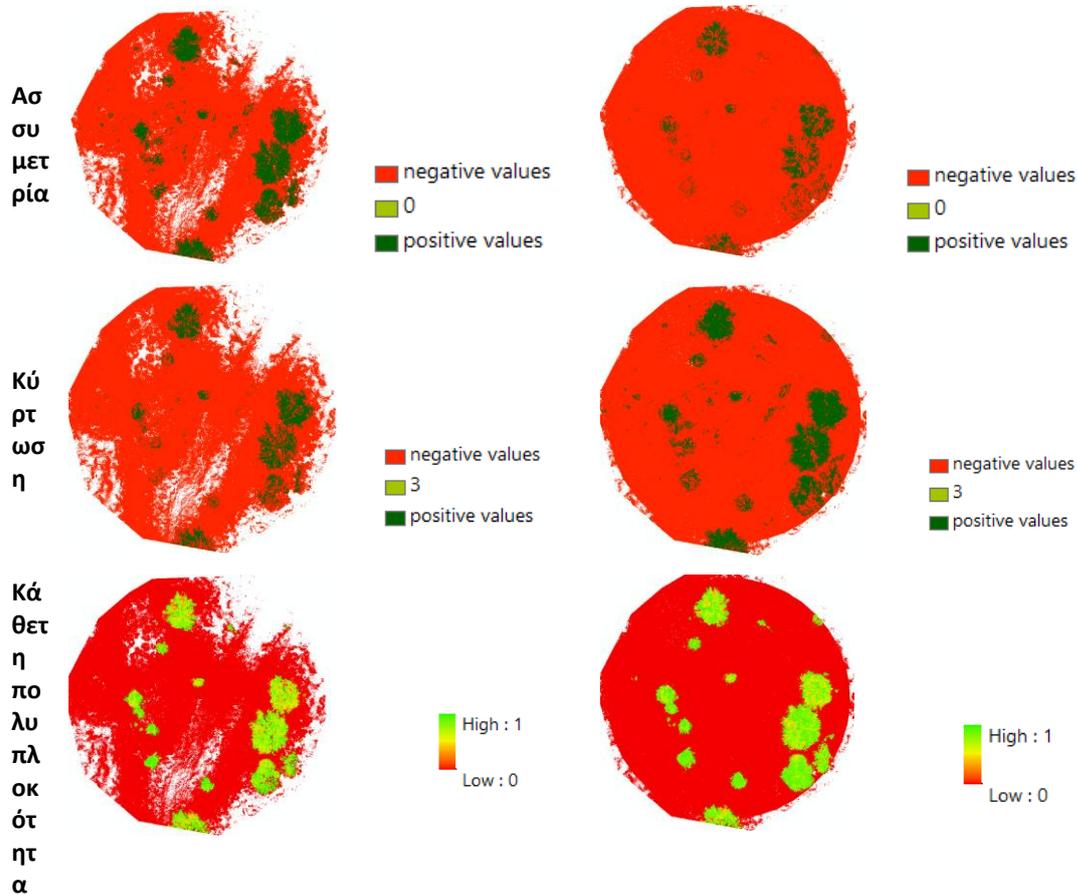
Κ
ά
θ
ε
τ
η
π
ο
λ
υ
π
λ
ο
κ
ό
τ
η
τ
α



Εικόνα 18 Υπολογισμός ύψους κόμης (m), πυκνότητα κόμης (%), ασυμετρία, κύρτωση και κάθετη πολυπλοκότητα (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P08

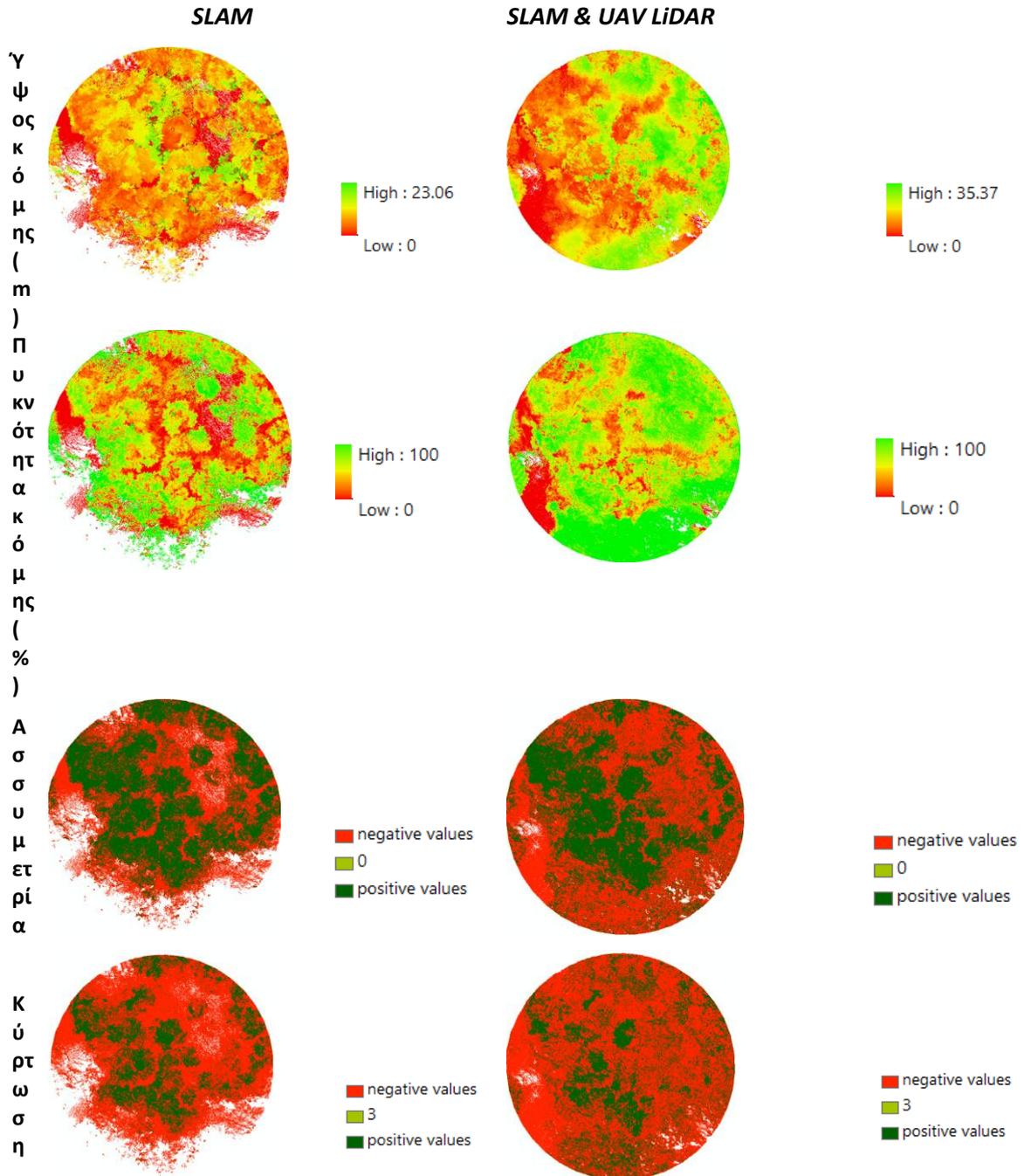
Στις παρακάτω εικόνες για τη δειγματοληπτική επιφάνεια 10, αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής όπως (Εικόνα 19), ύψος κόμης (canopy height), ασυμετρία (skewness), κύρτωση (kurtosis) και κάθετη πολυπλοκότητα (vertical complexity index) καθώς και της δομής της κόμης (canopy density). Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμη πληροφορία βάσης στη διαχείριση του οικοσυστήματος της Βάλια Κάλντα καθώς διαφορετική δομή μπορεί να συσχετισθεί με ανάγκες για ενδιαιτήματα διαφορετικών ειδών πανίδας.





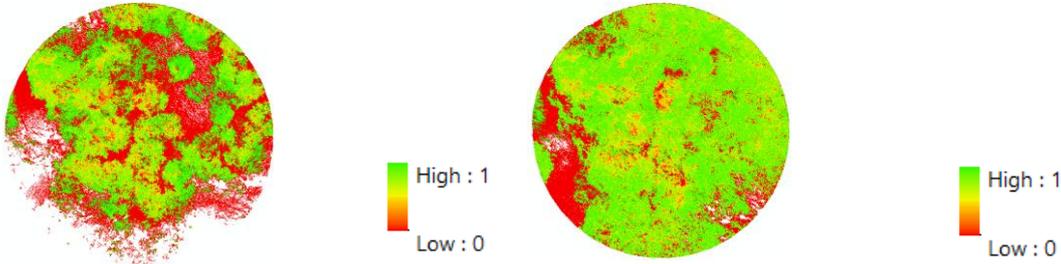
Εικόνα 19 Υπολογισμός ύψους κόμης (m), πυκνότητα κόμης (%), ασυμετρία, κύρτωση και κάθετη πολυπλοκότητα (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P10

Στις παρακάτω εικόνες για τη δειγματοληπτική επιφάνεια 11, αποτυπώνονται χαρακτηριστικά της κατακόρυφης δομής όπως (Εικόνα 20), ύψος κόμης (canopy height), ασυμετρία (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 της Βάλια Κάλντα καθώς διαφορετική δομή μπορεί να συσχετισθεί με ανάγκες για ενδιαιτήματα διαφορετικών ειδών πανίδας.





Κ
ά
θ
ε
τ
η
π
ο
λ
υ
π
λ
ο
κ
ό
τ
η
τ
α



Εικόνα 20 Υπολογισμός ύψους κόμης (m), πυκνότητα κόμης (%), ασυμετρία, κύρτωση και κάθετη πολυπλοκότητα (VCI) (VCI) από δεδομένα SLAM (αριστερή στήλη) και συνδυασμό δεδομένων SLAM και UAV LiDAR (δεξιά στήλη) στη δειγματοληπτική επιφάνεια P11

4.3 Συμπεράσματα- προτάσεις

Από τα αποτελέσματα της 1η μεθόδου αναγνώρισης μεμονωμένων δένδρων (Individual Tree Detection) στο σύνολο των επιφανειών του Εθνικού Πάρκου Πίνδου προκύπτουν ορισμένα γενικά και σημαντικά συμπεράσματα.

- 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.
- 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 SLAM & UAV LiDAR.
- Η αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων από τις μετρήσεις του TLS ήταν μια 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.
- 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.
- Η μορφολογία του εδάφους επηρεάζει την ακρίβεια των τηλεπισκοπικών μετρήσεων. Σε απόκρημνες περιοχές με έντονο ανάγλυφο, το SLAM εμφανίζει χαμηλή απόδοση λόγω σκιών και χαμηλού ποσοστού επιστροφών σημείων (return points) του αισθητήρα LiDAR.



- Η διαφορά στην κάλυψη της φυτοκάλυψης μεταξύ χαμηλού και ψηλού δάσους δημιουργεί προκλήσεις στην ανίχνευση της δομής των δέντρων. Το SLAM & UAV εμφανίζει σημαντικές βελτιώσεις στη σύλληψη των υψομετρικών μεταβολών σε σχέση με το SLAM.
- Το SLAM & UAV τείνει να υποεκτιμά τις μέγιστες τιμές DBH σε σχέση με τις επιτόπιες μετρήσεις, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις να εντοπίζονται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και πολύ υψηλά δέντρα.

Από τα αποτελέσματα της 2η μεθόδου ανάλυσης βάσης περιοχής (area-based) προκύπτουν ορισμένα γενικά και σημαντικά συμπεράσματα:

- Τα δεδομένα Canopy Cover και Canopy Height 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 τα δεδομένα 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 kurtosis 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, προκύπτουν 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 βιοποικιλότητας αλλά 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 βιοποικιλότητας, μειώνοντας τις αποκλίσεις και βελτιώνοντας την απόδοση των μεθόδων τηλεπισκόπησης, όπου το SLAM & UAV αποτελεί την πιο αποτελεσματική τεχνολογία για εκτεταμένες δασικές περιοχές.



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

5.1 Πολυφασματικά δεδομένα από δορυφορικές εικόνες Sentinel-2, PlanetScore και οπτικό αισθητήρα UAV

Τα σύνολα φασματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση των παραμέτρων και των δεικτών βιοποικιλότητας βασίστηκαν σε εικόνες υψηλής ανάλυσης Sentinel-2 MSI και πολύ υψηλής ανάλυσης PlanetScore (βλ. Παραδοτέο 4.3) και εικόνων UAV.

Συγκεκριμένα για τις εργασίες του Παραδοτέου χρησιμοποιήθηκαν:

1. 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).
2. δεδομένα ανάκλασης επιφάνειας (Surface Reflectance- SR) PlanetScore Analytic Ortho Scene (επίπεδου 3B), με ημερομηνία λήψης τον Αύγουστο, 2022. Οι εικόνες καλύπτουν τέσσερις φασματικές ζώνες (μπλε, πράσινη, κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη) με χωρική ανάλυση στα 3 m.
3. Δεδομένα από οπτικό αισθητήρα RGB σε UAV

Επίσης υπολογίστηκαν:

- διάφοροι φασματικοί δείκτες (βλ. Παραδοτέο 4.3) Εξετάστηκαν κοινοί δείκτες 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).
- υπολογίστηκαν οκτώ μέτρα υφής (texture measures) GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix -GLCMs) για κάθε κανάλι των εικόνων Sentinel-2 και Planet score, 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° (βλ. Παραδοτέο 4.3).

5.2 Ανάπτυξη μοντέλων και παραγωγή χαρτών

Αναλυτικά αποτελέσματα για τα στάδια ανάπτυξης μοντέλων από φασματικά δεδομένα Sentinel, PlanetScore, και UAV κάμερα παρατίθενται στο Παράρτημα II. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) 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 8 Αποτελέσματα των εμπειρικών μοντέλων με τη χρήση εικόνων Sentinel-2, PlanetScope, και οπτικού αισθητήρα RGB σε UAV για τις 10 βέλτιστες μεταβλητές

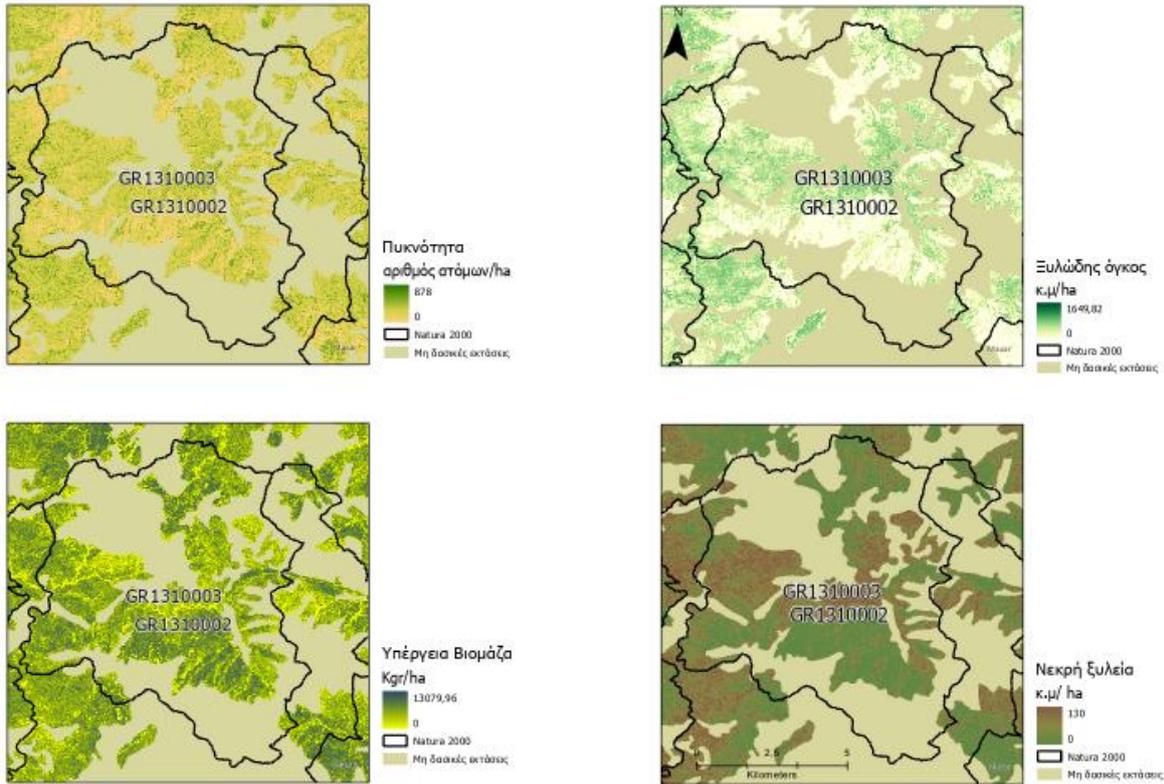
Παράμετρος/μεταβλητές		Sentinel		PlanetScope		Αισθητήρας UAV	
		R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
ΔΟΜΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	Πυκνότητα (N)	0,397	111	0,341	116	0,42	101
	Ξυλώδης όγκος (V)	0,546	240,13	0,582	230,53	0,392	277,99
	Βιομάζα (B)	0,368	1878,25	0,448	1754,88	0,286	1995,81
ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ	Species richness (S)	0,446	0,64	0,195	0,77	0,044	0,848
	Shannon diversity Index (H)	0,277	0,263	0,09	0,29	0,185	0,279
	Simpson's evenness (E)	0,400	0,154	0,411	0,152	0,084	0,19
ΜΙΚΡΟΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΑ	Σύνολο μικροενδιαιτημάτων (MICRO)	0,249	404	0,344	378	0,204	416
	Κοιλότητες (CV)	0,563	97	0,457	108	0,327	120
	Τραυματισμοί και πληγές (IN)	0,313	32	0,412	30	0,184	35
	Παραμόρφωση και ανάπτυξη (GR)	0,602	35	0,536	37	0,296	46
	Νεκρή ξυλεία (DW)	0,180	240,13	0,293	15,54	0,027	18,23

5.2.1 Δείκτες δομής βλάστησης & βιομάζας

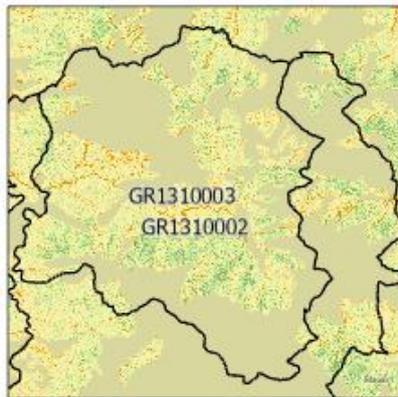
Οι παράμετροι της δομής βλάστησης: πυκνότητα (συνολικός αριθμός δέντρων ανά εκτάριο), ξυλώδης όγκος, και υπέργεια βιομάζα, αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες με την κατανομή τους στην πιλοτική περιοχή βάσει της ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης Sentinel



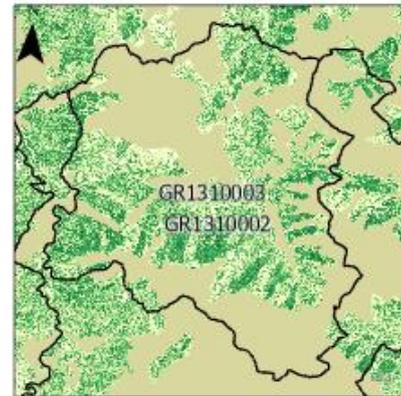
και PlanetScore και των εκτιμήσεων από τα αντίστοιχα μοντέλα παλινδρόμησης (Εικόνα 21 και Εικόνα 22)



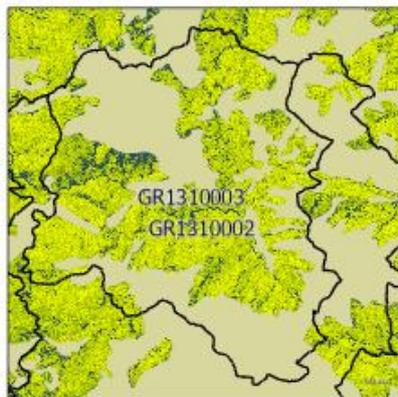
Εικόνα 21 Χάρτες δασικών παραμέτρων (πικνότητα, ξυλώδη όγκο, βιομάζα, νεκρή ξυλεία) για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Sentinel



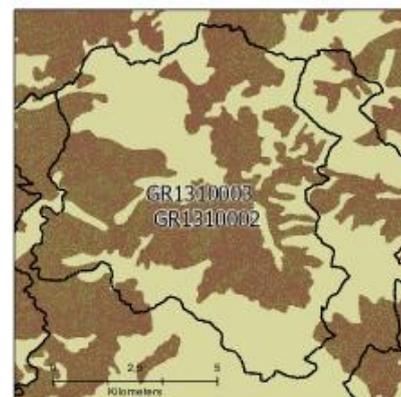
Πικνότητα
αριθμός ατόμων/ha
751
0
Μη δασικές εκτάσεις
Natura 2000



Ξυλώδης όγκος
κ.μ/ha
1484,64
0
Μη δασικές εκτάσεις
Natura 2000



Υπέργεια Βιομάζα
kg/ha
6655,24
0
Μη δασικές εκτάσεις
Natura 2000



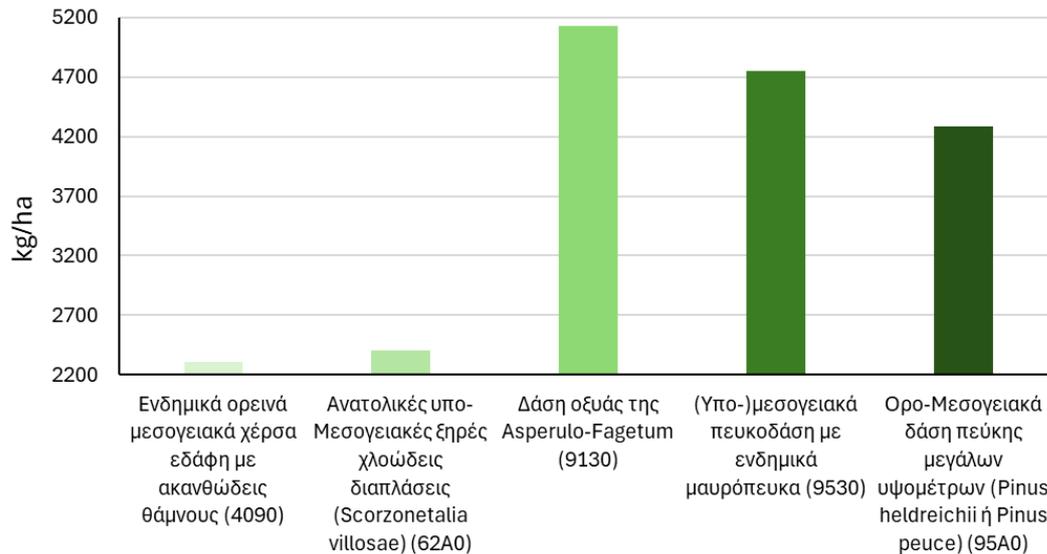
Νεκρή Ξυλεία
κ.μ/ha
127,18
0
Μη δασικές εκτάσεις
Natura 2000

Εικόνα 22 Χάρτες δασικών παραμέτρων (πικνότητα, ξυλώδη όγκο, βιομάζα, νεκρή ξυλεία) για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Planet

Ο δείκτης “Βιομάζας” υπολογίστηκε εντός της προστατευόμενης περιοχής Βάλια Κάλντα (GR1310003) και για πέντε τύπους οικοτόπων. Οι τιμές κυμαίνονται από 2312,34 - 5124,10 Kg/ha. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στους οικοτόπους “Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους” (4090) και “Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωδείς διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*)” (62A0), ενώ τη μεγαλύτερη τιμή βιομάζας ανά εκτάριο παρουσιάζει ο οικοτόπος “Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130)” (Εικόνα 23).



Δείκτης Βιομάζας- 2023
Βάλια Κάλντα GR1310003



Εικόνα 23 Δείκτης βιομάζας κατά τον Αύγουστο 2023, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (Scorzonetalia villosae) (62A0), Δάση οξυάς της Asperulo-Fagetum (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (Pinus heldreichii ή Pinus peuce) (95A0)

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 υπέργειας 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 μέτρησής 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



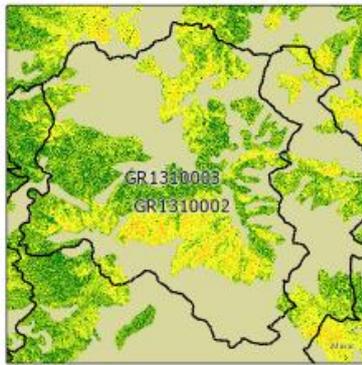
πολυδιάστατη και επομένως κανένας μεμονωμένος δείκτης ή στατιστικό μέτρο (συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας) δεν μπορεί να την αποτυπώσει πλήρως.

5.2.2 Δείκτες ποικιλότητας

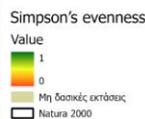
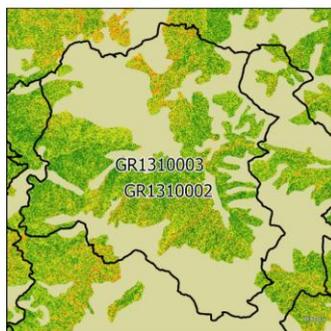
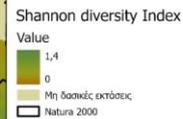
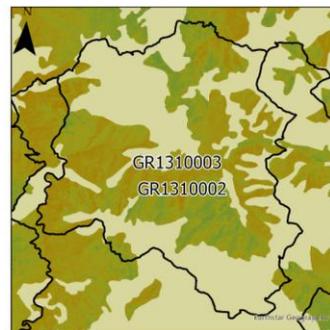
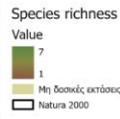
Η ποικιλότητα των δασικών δένδρων αποτελεί θεμελιώδες συστατικό των δασικών οικοσυστημάτων και μπορεί να παρέχει βασικές πληροφορίες για τη συνολική βιοποικιλότητα. Η αφθονία και η ποικιλότητα στα δασικά είδη δένδρων καθορίζει για παράδειγμα τους πόρους που είναι διαθέσιμοι για τον υπόροφο, επηρεάζει τη χωρική τους διακύμανση, και συνεπώς μπορεί να διαμορφώσει την ποικιλότητα και την αφθονία του υπορόφου (Zilliox & Gosselin, 2014). Συνεπώς μπορεί να χρησιμεύσει ως προσεγγιστικός δείκτης για την πολυπλοκότητα των ενδιαιτημάτων 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 (Linser, 2024) καθώς και ότι ένας δείκτης μόνος του δεν μπορεί να καταγράψει ή να εκφράσει το σύνολο της βιοποικιλότητας.

Οι παράμετροι της ποικιλότητας: Species richness (S), Shannon diversity Index (H) και Simpson's dominance (D2) (βλ κεφ. 3.4) 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 (Εικόνα 24 και Εικόνα 25). 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.

Στα δεδομένα Παρατήρησης Γης που αξιολογήθηκαν περιλαμβάνονται δεδομένα του δορυφορικού αισθητήρα Sentinel-2 MSI, δεδομένα του δορυφορικού αισθητήρα SuperDove, και δεδομένα από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα UAV. Μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τα άλλα μοντέλα επιτεύχθηκε με τη χρήση δεδομένων SuperDove.



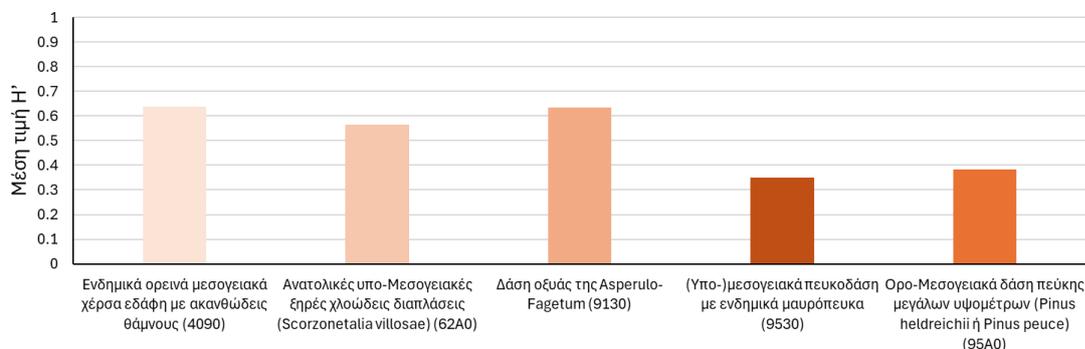
Εικόνα 24 Χάρτες μέτρων ποικιλότητας για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Sentinel



Εικόνα 25 Χάρτες μέτρων βιοποικιλότητας για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Planet

Η μέση τιμή του δείκτη Shannon's diversity υπολογίστηκε για πέντε τύπους οικοτόπων εντός της προστατευόμενης περιοχής Βάλια Κάλντα (GR1310003). Οι τιμές κυμαίνονται από 0,349 – 0,638. Την χαμηλότερη τιμή παρουσιάζει ο οικοτόπος (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530). Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν οι οικοτόποι Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130) και Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090) με τιμές 0,636 και 0,638 αντίστοιχα (Εικόνα 26).

Δείκτης ποικιλότητας δασικών ειδών- 2023
Βάλια Κάλντα GR1310003

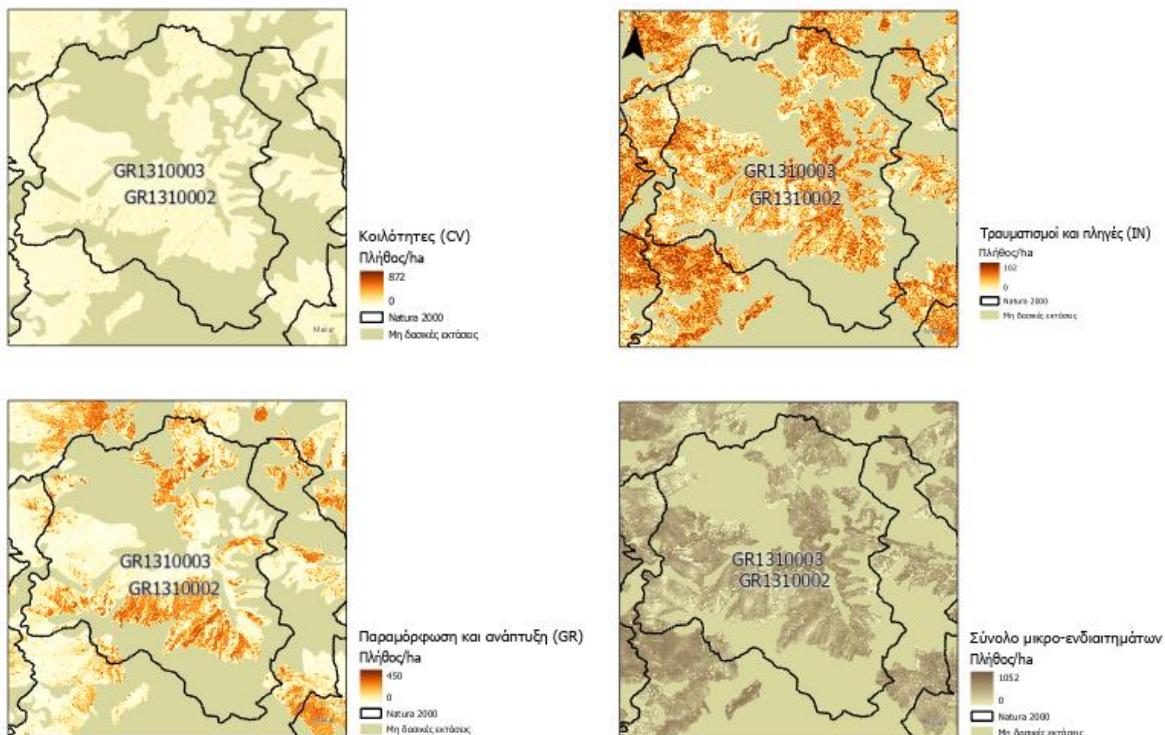


Εικόνα 26 Δείκτης ποικιλότητας δασικών ειδών κατά τον Αύγουστο 2023, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*) (95A0).



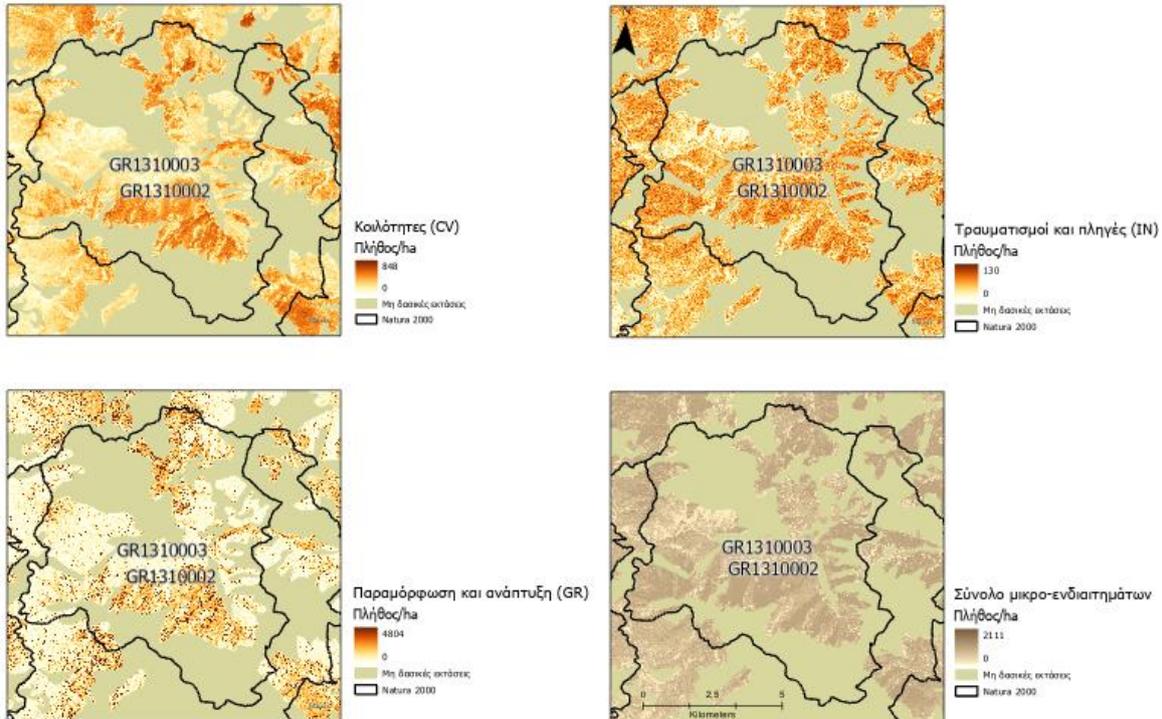
5.2.3 Δείκτες μικροενδιαιτημάτων

Το σύνολο των μικροενδιαιτημάτων (βλ. κεφ. 3.5) και τρία επιμέρους μικροενδιαιτήματα: κοιλότητες, τραυματισμοί και πληγές, φλοιός, αναπαρίστανται χωρικά δημιουργώντας θεματικούς χάρτες με την κατανομή τους στην πιλοτική περιοχή, βάσει της ανάλυσης των δεδομένων τηλεπισκόπησης Sentinel, PlanetScore και από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα UAV, και των εκτιμήσεων από τα αντίστοιχα μοντέλα παλινδρόμησης (Εικόνα 27 και Εικόνα 28). Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτεύχθηκε με τη χρήση δεδομένων PlanetScore (SuperDove) Οι δείκτες υπολογίζουν τον αριθμό μικροενδιαιτημάτων ανά εκτάριο.



Εικόνα 27 Χάρτες μικρο-ενδιαιτημάτων (κοιλότητες, τραυματισμοί και πληγές, παραμόρφωση, και σύνολο μικρο-ενδιαιτημάτων) για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Sentinel

Τα μικροενδιαιτήματα που σχετίζονται με τα δέντρα αναγνωρίζονται ευρέως ως βασικά χαρακτηριστικά για τη βιοποικιλότητα (Bütler et al., 2020). Ένα μικροενδιαίτημα 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).

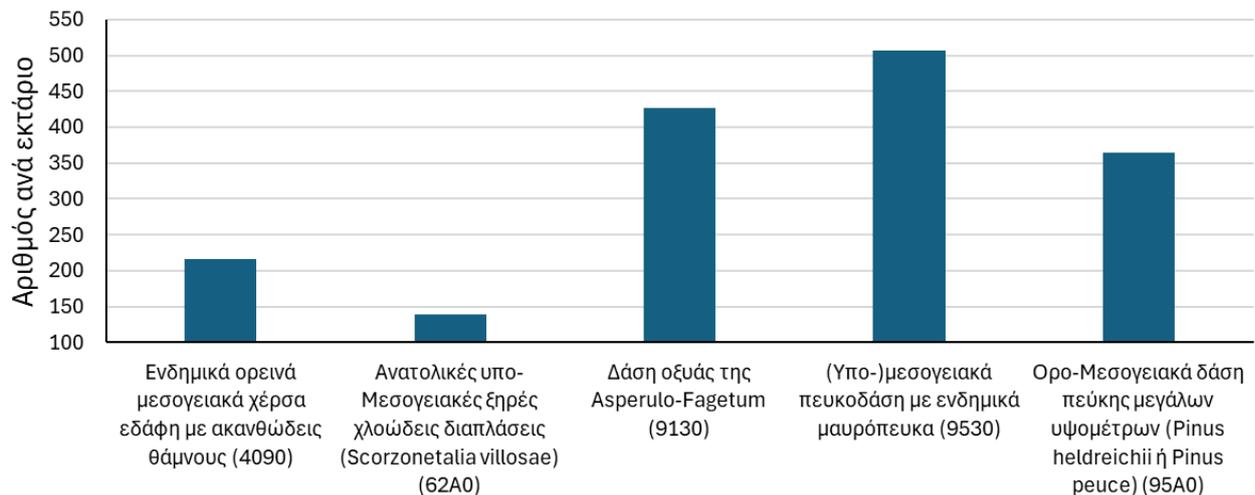


Εικόνα 28 Χάρτες μικρο-ενδιατημάτων (κοιλότητες, τραυματισμοί και πληγές, παραμόρφωση, και σύνολο μικρο-ενδιατημάτων) για την περιοχή Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα), με την χρήση εικόνων Planet

Η τιμή του δείκτη μικροενδιατημάτων υπολογίστηκε για πέντε τύπους οικοτόπων στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003). Οι τιμές κυμαίνονται από 139,734– 507,037 μικροενδιατημάτα ανά εκτάριο. Τον μικρότερο αριθμό μικροενδιατημάτων φέρει ο οικοτόπος Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0) και τον μεγαλύτερο αριθμό ο οικοτόπος (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530). Συνολικά τρεις οικοτόποι φέρουν περισσότερα από 350 μικροενδιατημάτα ανά εκτάριο ενώ δύο οικοτόποι λιγότερο από 250 μικροενδιατημάτα ανά εκτάριο (Εικόνα 29).



Δείκτης μικροενδιαιτημάτων- 2023
Βάλια Κάλντα GR1310003



Εικόνα 29 Δείκτης μικροενδιαιτημάτων κατά τον Αύγουστο 2023, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*) (95A0).



6. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

6.1 Πυκνότητα εδαφοκάλυψης από κόμη δένδρων

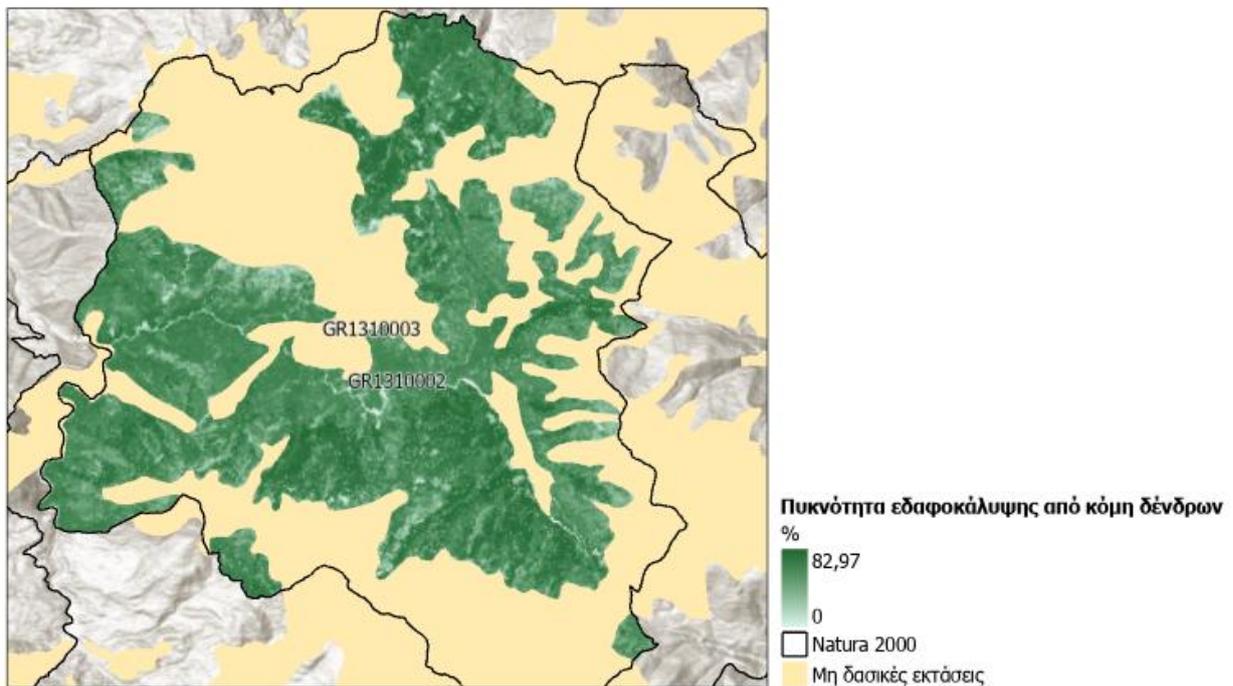
Η πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (Tree Cover Density-TCD), είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό που περιγράφει τη δομή ενός οικοσυστήματος, επηρεάζοντας μεταξύ των άλλων τις βιογεωχημικές διεργασίες, τα ενδιαιτήματα, την παραγωγικότητα και την αποθήκευση άνθρακα (Vallecillo et al., 2022). Η πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων, ορίζεται ως η "κάθετη προβολή της κόμης των δέντρων σε μια οριζόντια επιφάνεια της γης" (Vallecillo et al., 2022). Η εδαφοκάλυψη από την κόμη των δένδρων, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας σε μεσογειακά οικοσυστήματα, επηρεάζοντας την ποικιλότητα ειδών τόσο της χλωρίδας όσο και της πανίδας. Για παράδειγμα οι συστάδες με σύμπυκτη συγκόμωση (και άρα με συνήθως με πάνω από 70% εδαφοκάλυψη από την κόμη) τείνουν να φιλοξενούν λιγότερα είδη σε σύγκριση με συστάδες με ανοικτή κόμη ή θαμνώδεις εκτάσεις (Gil-Tena et al., 2007). Σε άλλες μελέτες στη Μεσόγειο διαπιστώθηκε, ότι η μέγιστη ποικιλότητα σε είδη ερπετών (σαύρες και φίδια) παρατηρείται σε ενδιαιτήματα με χαμηλή ως μέτρια εδαφοκάλυψη από την κόμη (5–49%), όπου καταγράφεται σχεδόν διπλάσιος αριθμός ειδών σε σχέση με πυκνά δάση (Escoriza & Amat, 2024). Αντίστοιχα, έρευνες σε μεσογειακά δάση δείχνουν ότι μέτρια πυκνότητα κόμης και αυξημένη ποικιλότητα στα δασικά είδη ευνοούν την αφθονία της ορνιθοπανίδας, ενώ πολύ κλειστές συστάδες (>70% κάλυψη) την περιορίζουν σημαντικά (Gil-Tena et al., 2007) .

Η εδαφοκάλυψη από την κόμη των δένδρων μειώνει επίσης την ποικιλότητα της ποώδους βλάστησης και ορισμένων ταξινομικών ομάδων της πανίδας. Καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των δένδρων, μειώνεται το φως και αυξάνεται η ξηρότητα στο δασικό τάπητα, οδηγώντας σε μείωση της ποικιλότητας των ειδών του υπορόφου. Ψηλή βιομάζα, φυλλική επιφάνεια και πυκνότητα δάσους συσχετίζεται με σημαντικά χαμηλότερη ποικιλότητα ειδών ποώδους βλάστησης (Carter & Buma, 2024). Οι κοινότητες εντόμων ευνοούνται συνήθως από μωσαϊκά συστάδων με ανοικτή και μέτρια εδαφοκάλυψη— πολλά μεσογειακά έντομα προτιμούν ενδιαιτήματα με αραιή δασοκάλυψη και πλούσια ποώδη βλάστηση. Για παράδειγμα, μελέτη σε ένα είδος σκαθαριών (Scarabaeidae) έδειξε σαφώς μεγαλύτερη αφθονία και ποικιλία σε ανοικτά δασολίβαδα σε σχέση με πυκνά δάση, υποδεικνύοντας γενικά την προτίμηση σε συνθήκες χαμηλής εδαφοκάλυψης (Mantoni et al., 2021). Ομοίως, η ποικιλότητα μικρών θηλαστικών μπορεί να μειωθεί σε δασικά τοπία με πυκνή εδαφοκάλυψη χωρίς διαταραχές, καθώς τα κλειστά δάση χωρίς ανεπτυγμένο υπόροφο παρέχουν λιγότερους πόρους και καταφύγια· έρευνες από μεσογειακές περιοχές έδειξαν ότι η επέκταση του δάσους μετά από εγκατάλειψη παραδοσιακών χρήσεων (χωρίς φωτιά ή βόσκηση) έχει μειώσει την καταλληλότητα του ενδιαιτήματος για μικρά θηλαστικά (Torre et al., 2022).

Σε μια άλλη μελέτη από τους Lombardi et al (2018), σε δάση οξυάς στη Β. Ιταλία, μετά από διαφορετικές διαχειριστικές παρεμβάσεις-αραιώσεις, αυξήθηκε η χλωριδική ποικιλότητα, αυξήθηκε το νεκρό ξύλο, ενώ για τα μικροενδιαιτήματα, υπήρξαν διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα, ανάλογα με το είδος της διαχειριστικής παρέμβασης. Παρόμοια θετική επίδραση σε δείκτες βιοποικιλότητας, διαπιστώθηκε σε μια μελέτη πάνω από 7500 δειγματοληπτικές επιφάνειες στην Ισπανία (Torras et al., 2012).



Συνοπτικά, η βιβλιογραφία δείχνει ότι **μια μέτρια πυκνότητα** εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων, **όπως αυτή που παρατηρείται σε παραδοσιακά μεσογειακά μωσαϊκά τοπίων και αραιά δάση, είναι η πλέον ευνοϊκή κατάσταση για την παρουσία υψηλής βιοποικιλότητας.** Ένα ετερογενές τοπίο –με εναλλαγή συστάδων με πυκνή και αραιή πυκνότητα– μεγιστοποιεί τη διαθεσιμότητα διαφορετικών μικροενδιαιτημάτων, υποστηρίζοντας την ποικιλία φυτών, εντόμων, πουλιών και θηλαστικών. Αντίθετα, ομοιόμορφα, πολύ πυκνά δάση συνήθως φιλοξενούν λιγότερα είδη σε αυτά τα οικοσυστήματα. Ως εκ τούτου, η πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας στη Μεσόγειο: περιοχές με μέτρια κάλυψη δένδρων έχουν γενικά υψηλότερη ποικιλότητα, ενώ τόσο οι τελείως ανοικτές όσο και οι εξαιρετικά πυκνές συστάδες εμφανίζουν μειωμένη ποικιλότητα σε ορισμένες ομάδες οργανισμών. Τυχόν αναδασώσεις μετά από φυσικές καταστροφές, και τα μέτρα διαχείρισης θα πρέπει να στοχεύουν στη διατήρηση ισορροπίας στην κατανομή των διαφόρων κλάσεων πυκνότητας (και όχι στη δημιουργία αμιγών, πυκνών συστάδων), προκειμένου να διαφυλαχθεί η συνολική βιοποικιλότητα της περιοχής. Στο Παράρτημα III 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 30).



Εικόνα 30 Πυκνότητα εδαφοκάλυψης από κόμη δένδρων

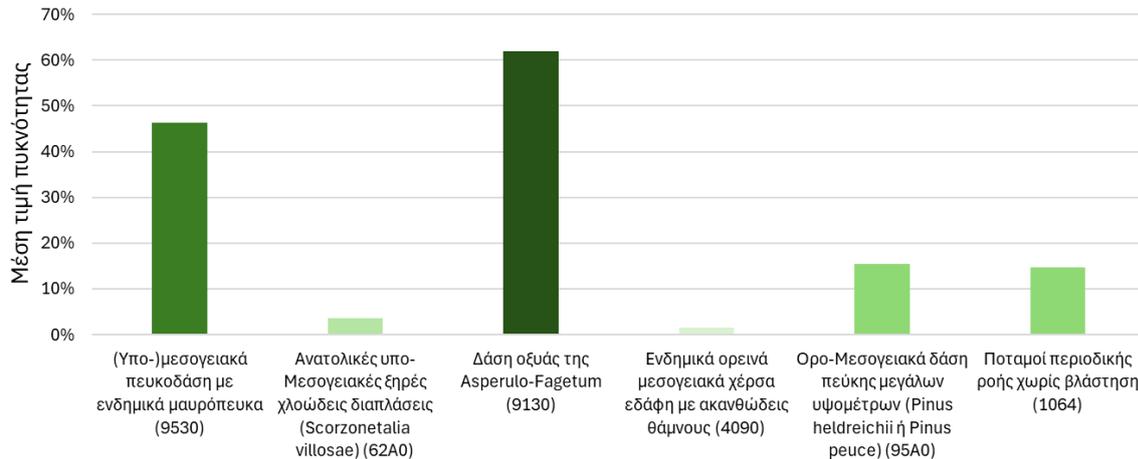
Κατά το έτος 2020, η μέση τιμή του δείκτη εντός της προστατευόμενης περιοχής Βάλια Κάλντα (GR1310003) για πέντε οικοτόπους κυμαίνεται από 3,60% έως 62,02%. Οι οικοτόποι «Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum*» (9130) και «(Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530)» παρουσιάζουν μέση πυκνότητα μεγαλύτερη του 45%, οι οικοτόποι «Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*)» (95A0) και «Ποταμοί περιοδικής ροής χωρίς βλάστηση» (1064) εμφανίζουν μέση πυκνότητα της τάξεως του 15 %, ενώ την χαμηλότερη μέση



πυκνότητα παρουσιάζουν οι οικοτόποι «Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (Scorzonetalia villosae)» (62A0) και «Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους» (4090) (< 4%) (Εικόνα 31).

Δείκτης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από κόμη δένδρων- 2020

Βάλια Κάλντα GR1310003



Εικόνα 31 Δείκτης πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη δένδρων, κατά το έτος 2020, εντός της προστατευόμενης περιοχής Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους οικοτόπους (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (Scorzonetalia villosae) (62A0), Δάση οξυάς της Asperulo-Fagetum (9130), Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (Pinus heldreichii ή Pinus peuce) (95A0) και Ποταμοί περιοδικής ροής χωρίς βλάστηση (1064).

6.2 Δυναμικοί δείκτες ενδιατημάτων

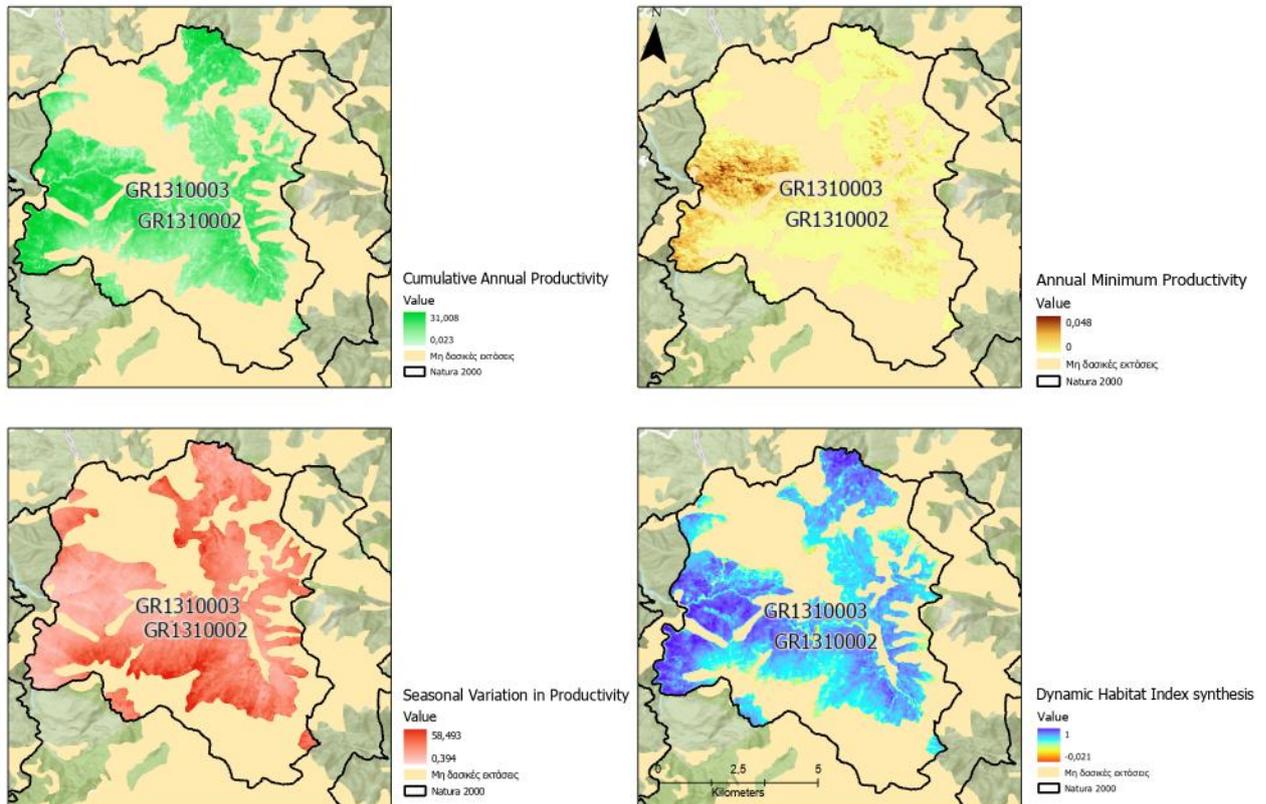
Οι δυναμικοί δείκτες ενδιατημάτων (Dynamic Habitat Index-DHI) αποτελούν μέτρα παραγωγικότητας της βλάστησης κατά τη διάρκεια ενός έτους και έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση τηλεπισκοπικών προϊόντων, όπως οι φασματικοί δείκτες βλάστησης (πχ NDVI, EVI) και οι βιοφυσικές παράμετροι (πχ fAPAR, GPP, LAI). Οι 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.



Ο δείκτης υπολογίζει την παραγωγικότητα της βλάστησης και εφαρμόστηκε σε τοπική κλίμακα εντός του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000 στην προστατευόμενη περιοχή της Βάλια Κάλντα για τη χρονική περίοδο 2020-2024. Από τη σύνθεση των τριών συνιστωσών προκύπτει ο τελικός δείκτης DHI με εύρος τιμών 0 έως 1 (Εικόνα 32).

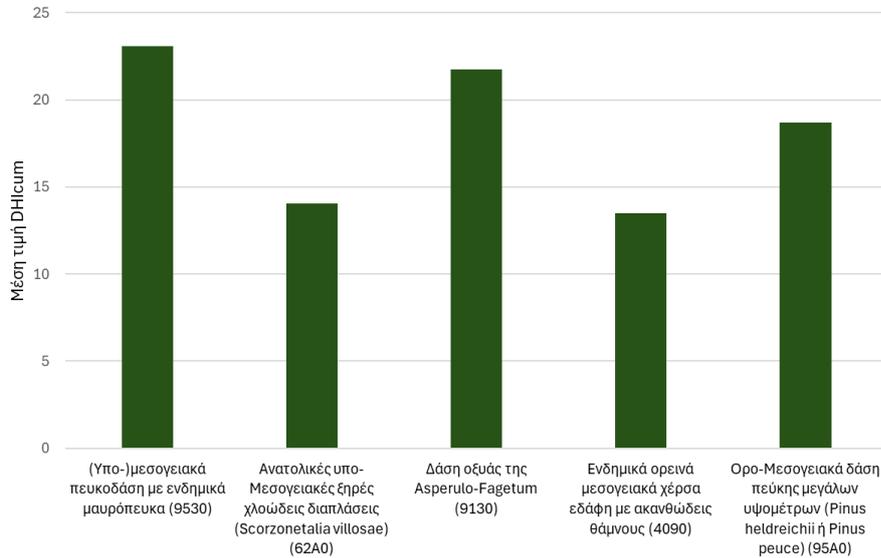


Εικόνα 32 Δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων

Κατά την χρονική περίοδο 2020-2024 υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των δεικτών Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{cum}), Εποχικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{var}), Ελάχιστος δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων (DHI_{min}) εντός της προστατευόμενης περιοχής Βάλια Κάλντα (GR1310003) για πέντε τύπους οικοτόπων και κυμαίνονται από 13,493-23,076, από 14,651-57,608 και 0,0005-0,0045 αντίστοιχα. Ο οικοτόπος Υπο- μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) παρουσιάζει τη μέγιστη αθροιστική ετήσια παραγωγικότητα και τη μέγιστη ετήσια ελάχιστη παραγωγικότητα. Τη μέγιστη εποχιακή διακύμανση παραγωγικότητας παρουσιάζει ο οικοτόπος Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), ενώ τη μικρότερη ο οικοτόπος (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) (Εικόνα 33).

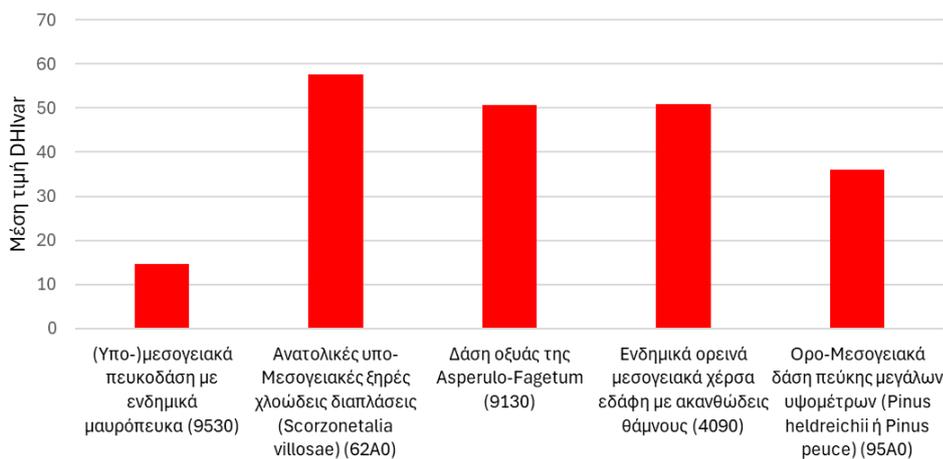


Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων- 2020 έως 2024
Βάλια Κάλντα (GR1310003)



Εικόνα 33 Αθροιστικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*) (95A0).

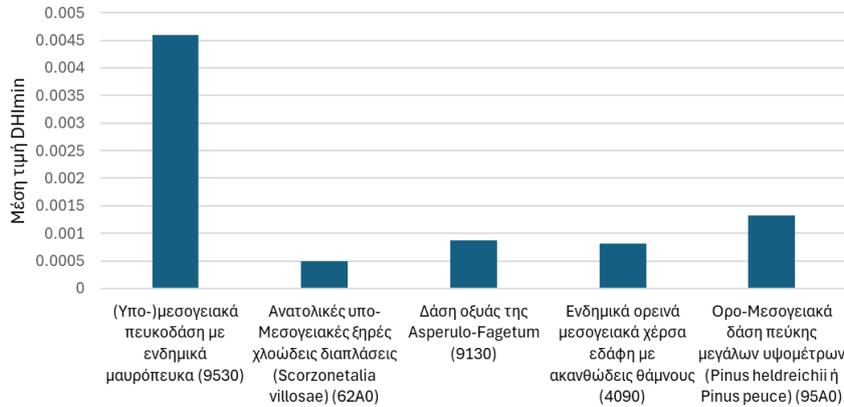
Εποχικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων- 2020 έως 2024
Βάλια Κάλντα (GR1310003)



Εικόνα 34 Εποχικός δυναμικός δείκτης ενδιαιτημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*) (95A0).



Ελάχιστος δυναμικός δείκτης ενδiciaτημάτων- 2020 έως 2024
Βάλια Κάλντα (GR1310003)



Εικόνα 35 Ελάχιστος δυναμικός δείκτης ενδiciaτημάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2020-2024, στην προστατευόμενη περιοχή Βάλια Κάλντα (GR1310003) για τους τύπους οικοτόπων Ενδημικά ορεινά μεσογειακά χέρσα εδάφη με ακανθώδεις θάμνους (4090), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*) (62A0), Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum* (9130), (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα (9530) και Ορο-Μεσογειακά δάση πεύκης μεγάλων υψομέτρων (*Pinus heldreichii* ή *Pinus peuce*) (95A0).



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’.



Biodiversity
Greece

LIFE EL-BIOS
Hellenic Biodiversity Information System
www.biodiversity-greece.gr

Tel: +30 210 5241903 (int.: 129)

Email: info@biodiversity-greece.gr



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

Αναγνώριση μεμονωμένων δένδρων (ITD)

Αποτελέσματα μετρήσεων SLAM και UAV LiDAR

Παρακάτω παρουσιάζονται η ανάλυση και τα συμπεράσματα για τις επιλεγμένες δειγματοληπτικές περιοχές που μετρήθηκαν με αισθητήρες SLAM και συνδυασμού SLAM & UAV-LiDAR (Πίνακας 9).

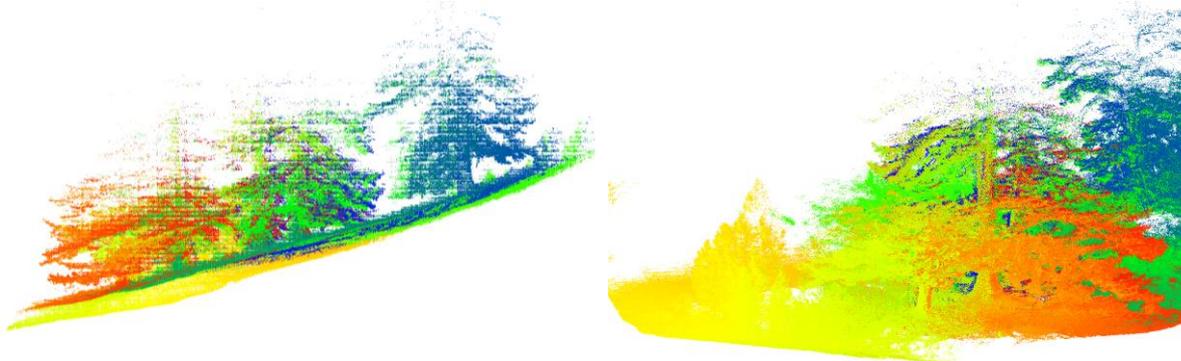
Πίνακας 9 Συγκεντρωτικός πίνακας ανά δειγματοληπτική επιφάνεια (plot) στο Εθνικό Πάρκο Πίνδου, τύπος δεδομένων και λογισμικό για την εξαγωγή παραμέτρων σχετικών με τη βιοποικιλότητα

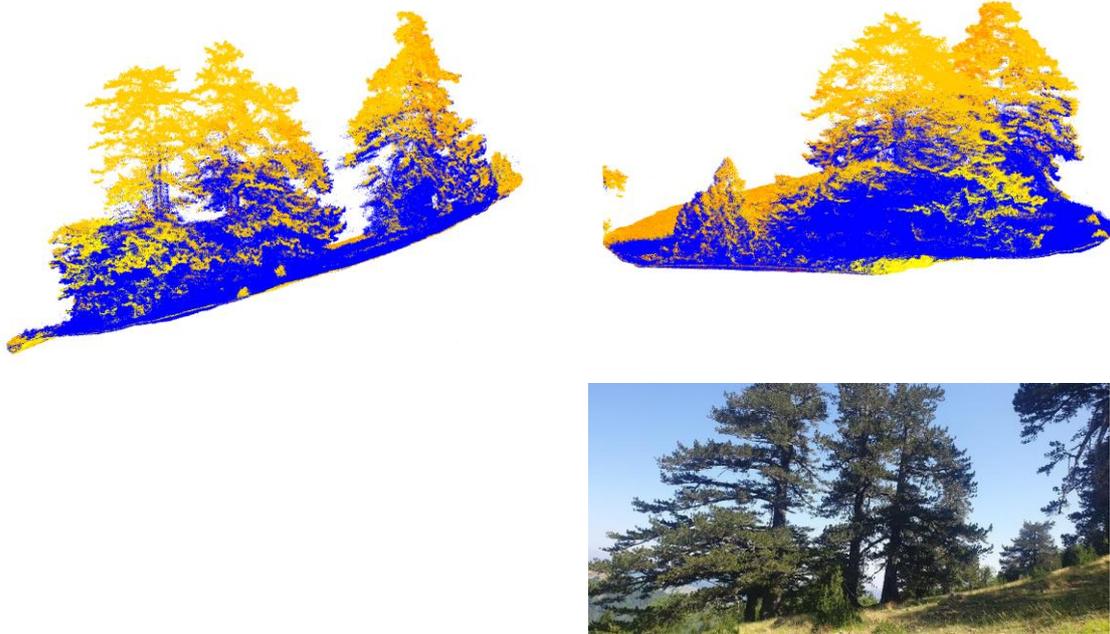
Επιφάνειες (Plots)	Δεδομένα	Λογισμικό
1	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin
2	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin
3	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin
4	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin
5	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin
6	SLAM, SLAM&UAV_LIDAR	3D Fin

Αναλυτικά παρουσιάζονται οι επιμέρους μετρήσεις των δύο αισθητήρων και οι συγκρίσεις με τα επίγεια δεδομένα.

Δειγματοληπτική επιφάνεια P01

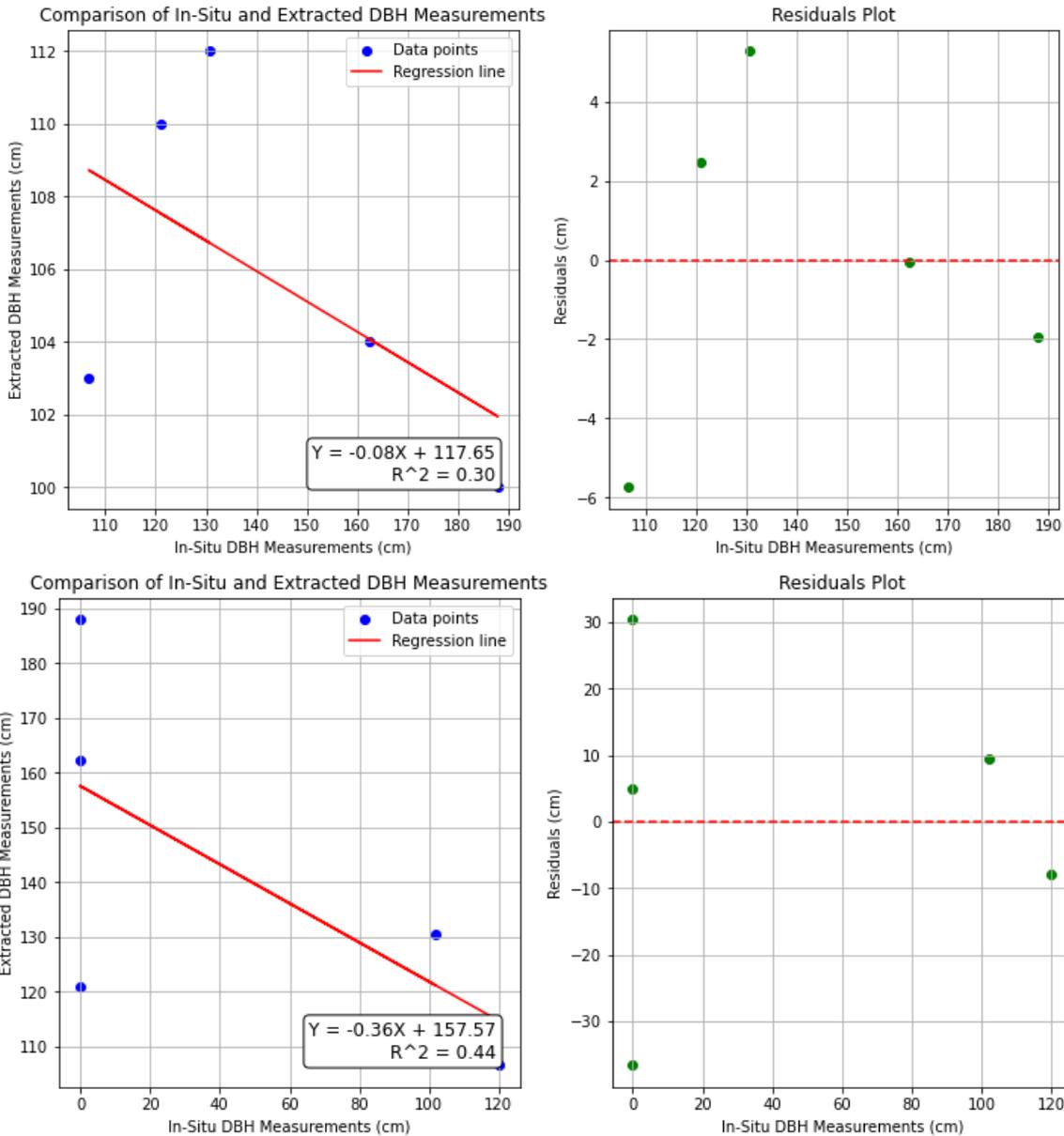
Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η 3D μορφή του καταγεγραμμένου νέφους σημείων των δένδρων της επιφάνειας, όπως καταγράφηκε από τις επίγειες μετρήσεις με τον αισθητήρα SLAM και τον συνδυασμό μετρήσεων SLAM με UAV δεδομένα.





Εικόνα 36 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια (P01)

Η Εικόνα 37 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της σθηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε «παραδοσιακά» στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλ. Παραδοτέο 4.3).

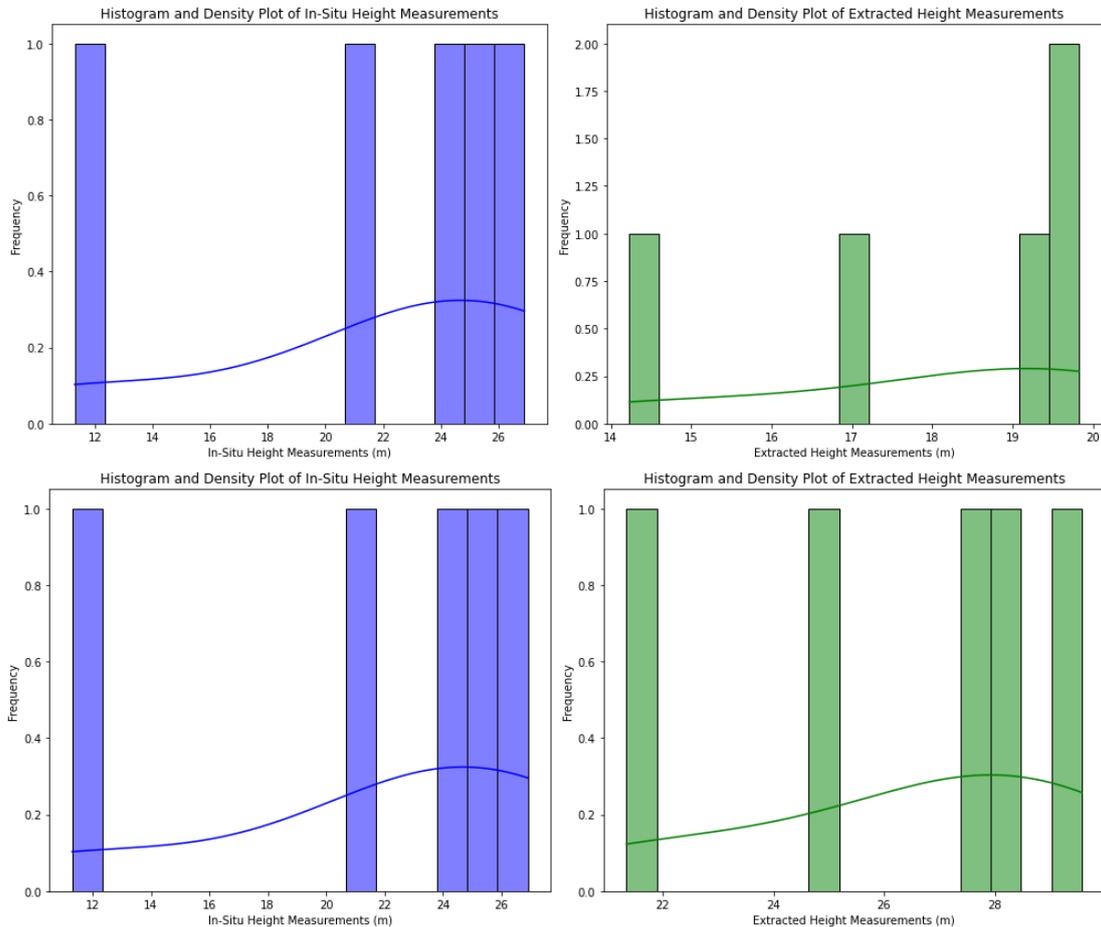


Εικόνα 37 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM (πάνω σειρά) και του συνδυασμού SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά), και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των «παραδοσιακών» επίγειων μετρήσεων για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 1-P01): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των «παραδοσιακών» μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

Η Εικόνα 38 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 Fin (Ενότητα 7.3.4 D B4.3). Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν μία ομαλή κορυφή, γύρω στα 24 και 26 μέτρα.



Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους είναι ελαφρώς πιο ομαλή και μετατοπισμένη προς τα δεξιά, με μια αξιοσημείωτη κορυφή γύρω στα 28 μέτρα.

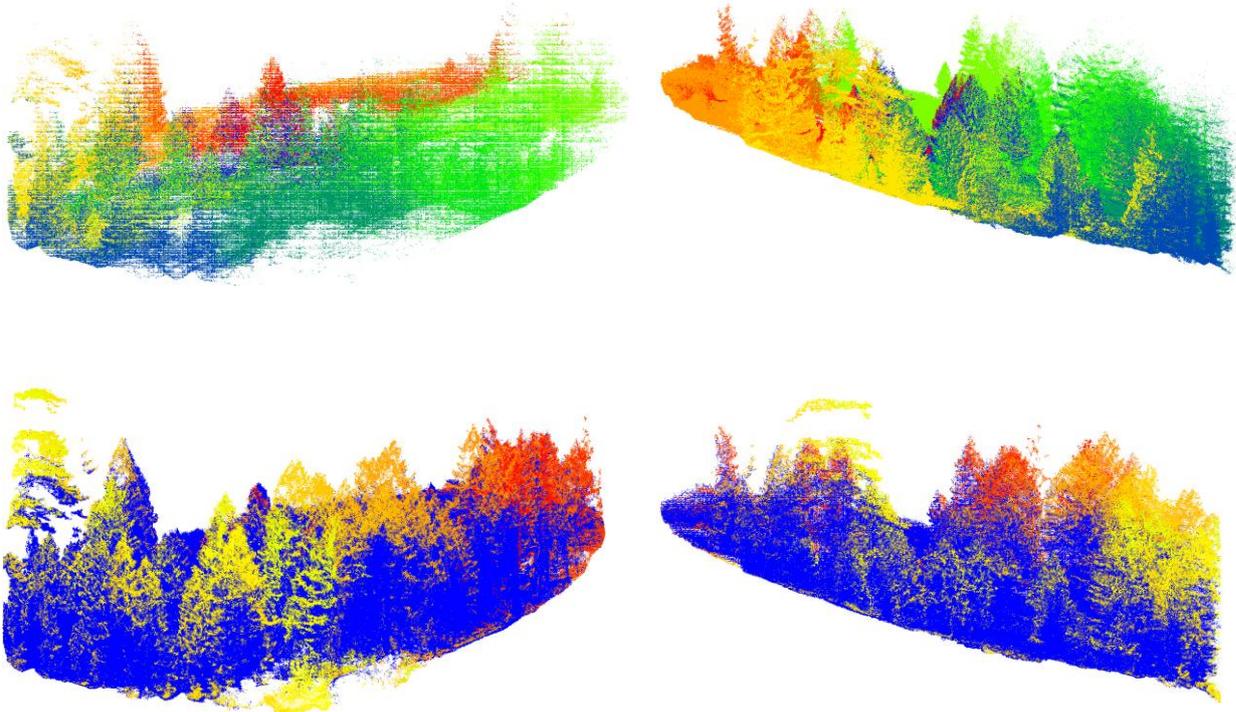


Εικόνα 38 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων από μετρήσεις SLAM (πάνω σειρά) και συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά)



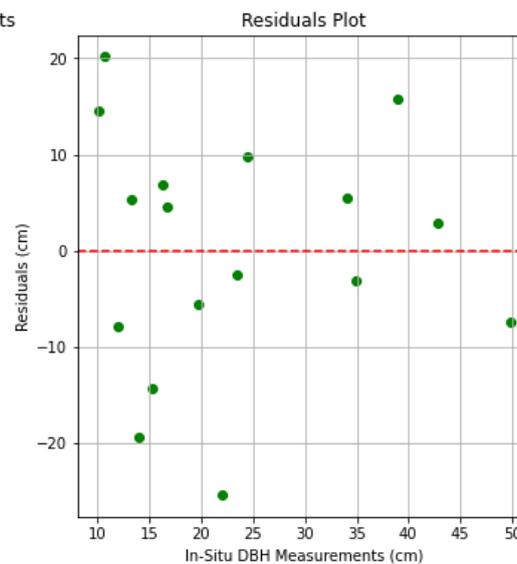
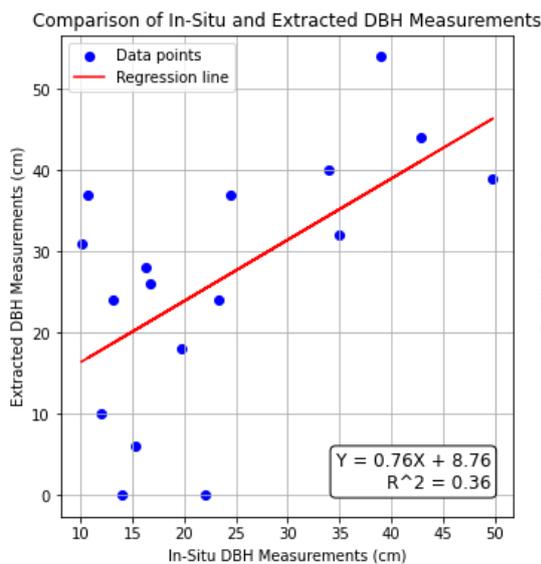
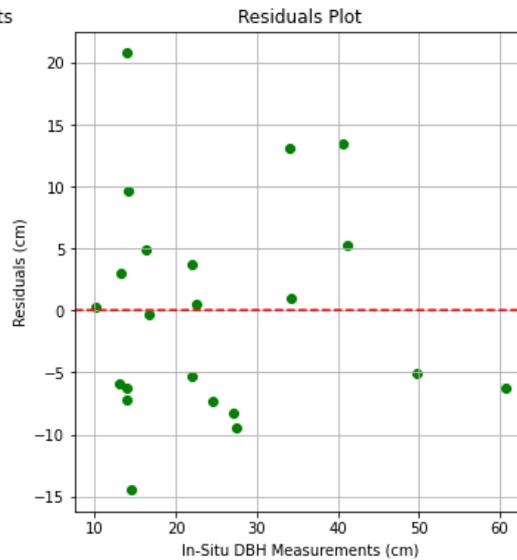
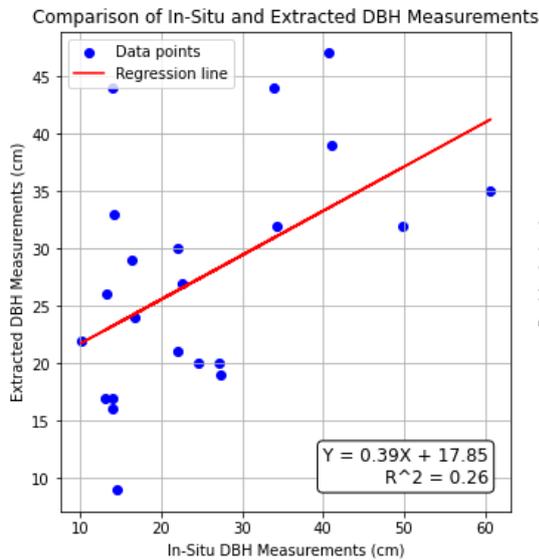
Δειγματοληπτική επιφάνεια P02

Στην Εικόνα 39 παρουσιάζεται η 3D μορφή του καταγεγραμμένου νέφους σημείων των δένδρων της επιφάνειας, όπως καταγράφηκε από τις επίγειες μετρήσεις με τον αισθητήρα SLAM και τον συνδυασμό μετρήσεων SLAM με UAV δεδομένα.



Εικόνα 39 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια P02

Η Εικόνα 40 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της σθηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε «παραδοσιακά» στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλ. Παραδοτέο 4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.26 και 0.36, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 26% και 36% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων από SLAM και το συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένων, μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις

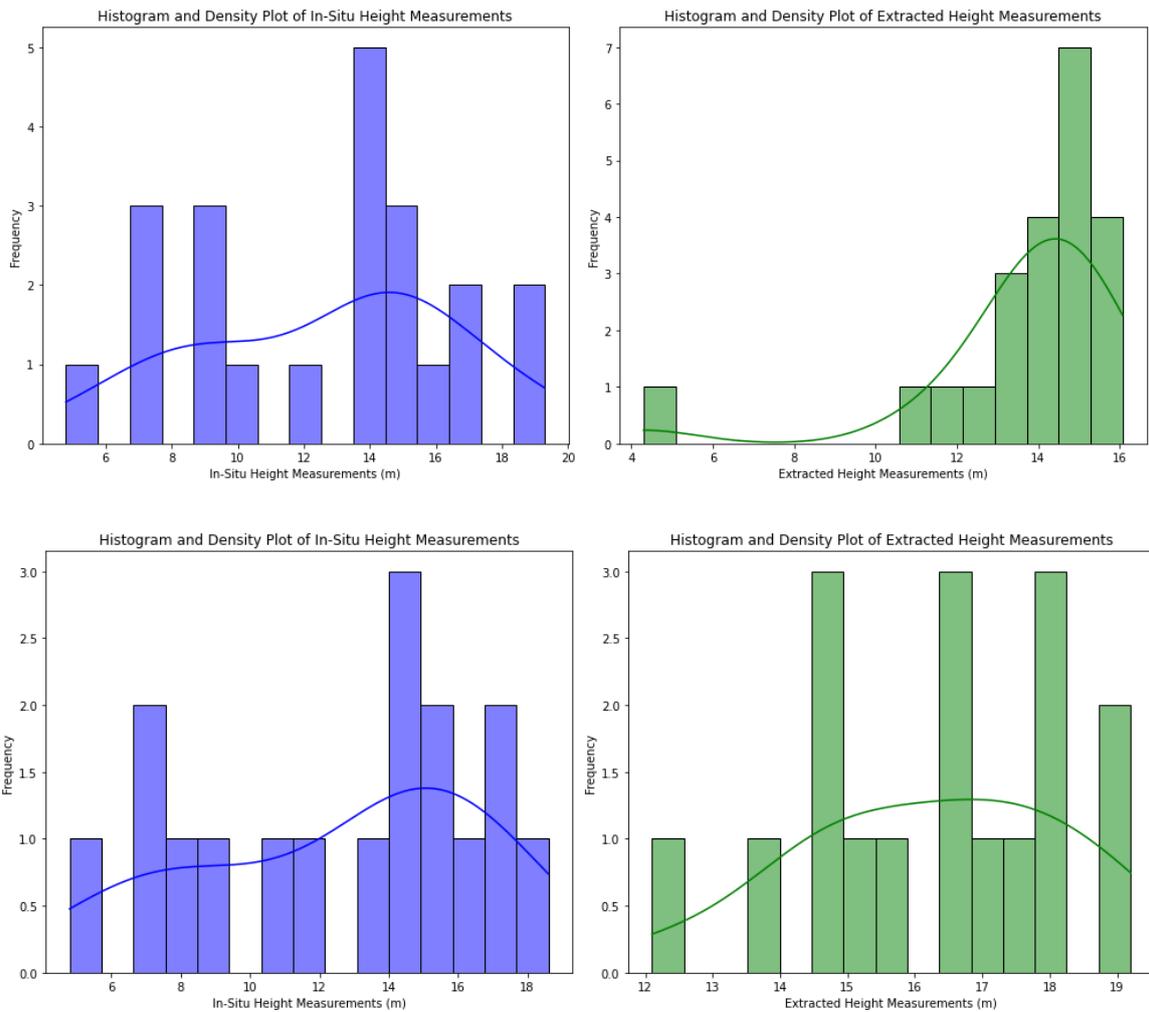


Εικόνα 40 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας σθηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM (πάνω σειρά) και του συνδυασμού SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά), και της σθηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των «παραδοσιακών» επίγειων μετρήσεων για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 2 - P02): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των «παραδοσιακών» μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

Η Εικόνα 41 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 FIN (βλ. Παραδοτέο 4.3).. Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν μία κορυφή μεταξύ των 14 και 16 μέτρων. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτή την κορυφή, υποδηλώνοντας ότι υπάρχει μία κοινή περιοχή ύψους στα δεδομένα in-situ, ενώ υπάρχει αρκετή διασπορά στις επιτόπιες μετρήσεις ύψους, η οποία κυμαίνεται από περίπου 5 έως 18 μέτρα. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται



ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους από τον συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένων είναι ελαφρώς πιο ομαλή και μετατοπισμένη προς τα δεξιά, με μια αξιοσημείωτη κορυφή γύρω στα 17 μέτρα. Αντίστοιχα, η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους από το SLAM παρουσιάζουν μια απότομη καμπύλη αύξησης στα 15 μέτρα.

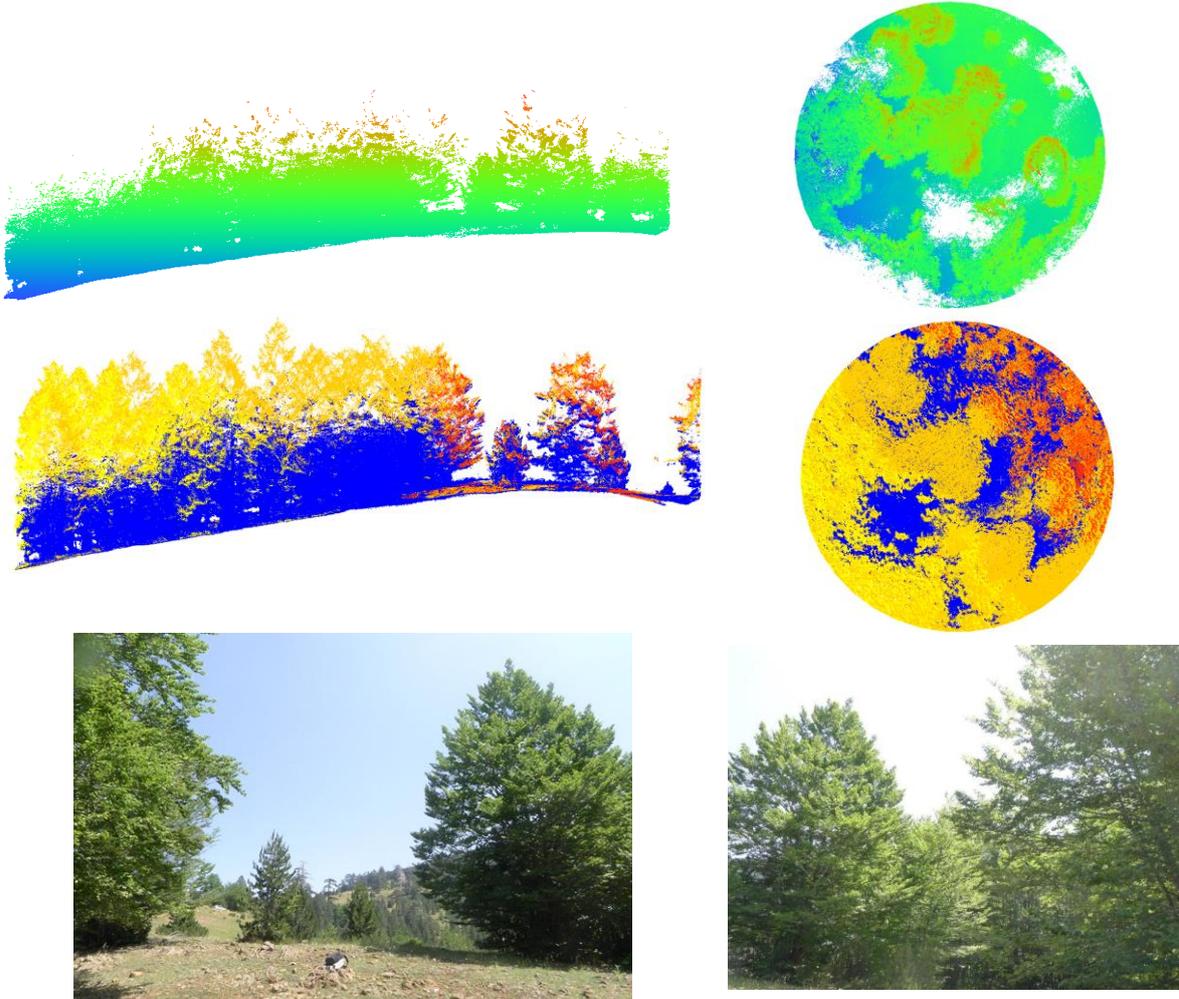


Εικόνα 41 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων από μετρήσεις SLAM (πάνω σειρά) και συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά)



Δειγματοληπτική επιφάνεια P03

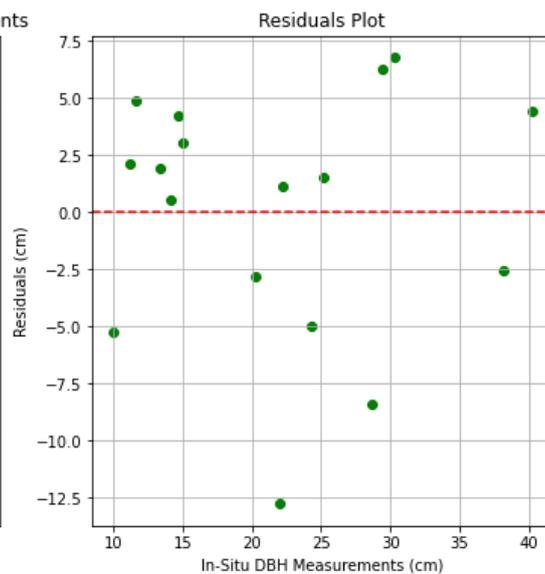
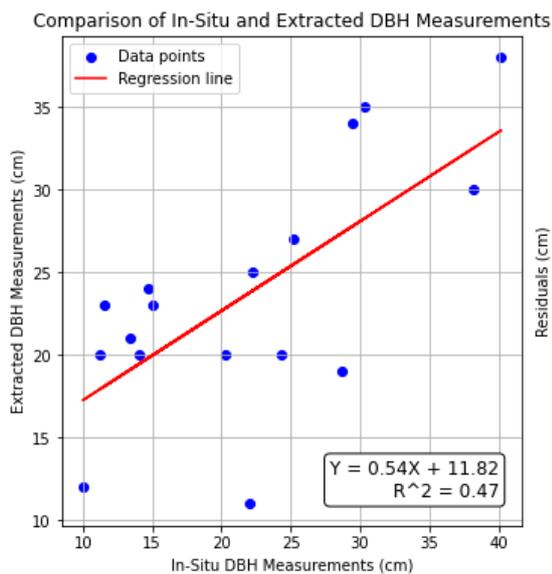
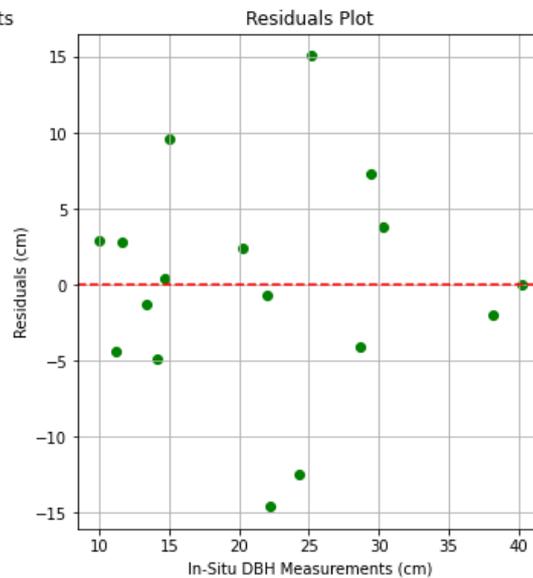
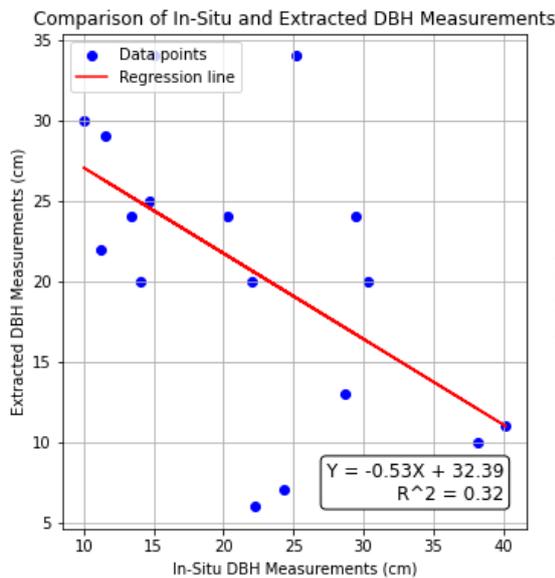
Στην Εικόνα 42 παρουσιάζεται η 3D μορφή του καταγεγραμμένου νέφους σημείων των δένδρων της επιφάνειας, όπως καταγράφηκε από τις επίγειες μετρήσεις με τον αισθητήρα SLAM και τον συνδυασμό μετρήσεων SLAM με UAV δεδομένα.



Εικόνα 42 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια P03



Η Εικόνα 43 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στηθιαίας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε «παραδοσιακά» στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλ. Παραδοτέο 4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.32 και 0.47, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 32% και 47% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων από SLAM και το συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένων, μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις.

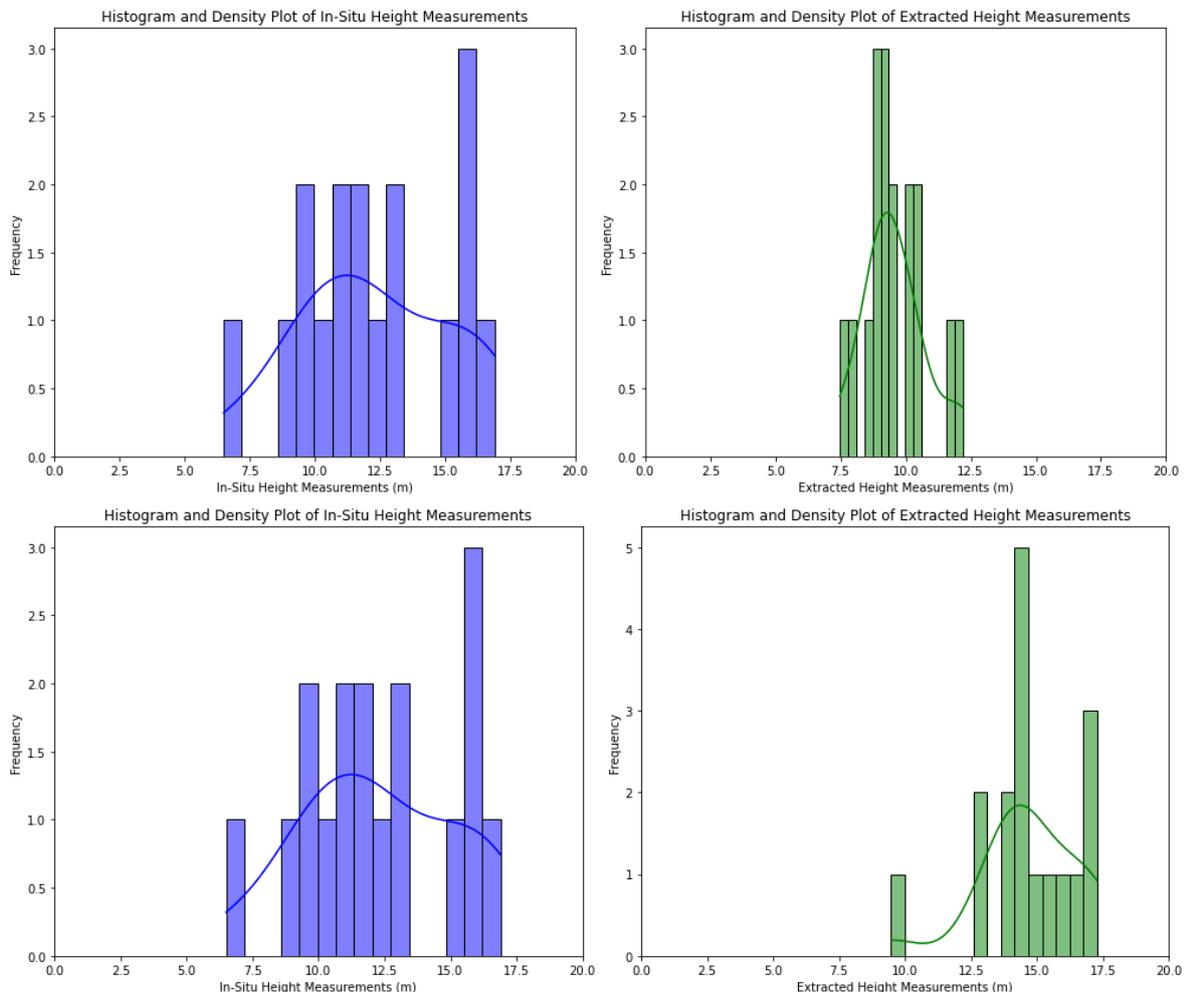


Εικόνα 43 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM (πάνω σειρά) και του συνδυασμού SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά), και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των «παραδοσιακών» επίγειων μετρήσεων για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 3 - P03): Στην



αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (*residuals*) μεταξύ των «παραδοσιακών» μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

Η Εικόνα 44 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 Fin (βλ. Παραδοτέο 4.3). Συγκεκριμένα, στην αριστερή εικόνα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα πεδίου παρουσιάζουν μία κορυφή μεταξύ των 11 και 12 μέτρων. Το διάγραμμα πυκνότητας (ομαλή μπλε καμπύλη) αναδεικνύει αυτή την κορυφή, υποδηλώνοντας ότι υπάρχει μία κοινή περιοχή ύψους στα δεδομένα in-situ. Στην δεξιά εικόνα, παρατηρείται ότι η κατανομή των εξαγόμενων μετρήσεων ύψους από τον συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένων είναι ελαφρώς πιο ομαλή και μετατοπισμένη προς τα δεξιά, με μια αξιοσημείωτη κορυφή γύρω στα 15 μέτρα. Αντίστοιχα, η κατανομή των εξαγόμενες μετρήσεων ύψους από το SLAM παρουσιάζουν μια απότομη καμπύλη αύξησης στα 9 μέτρα.

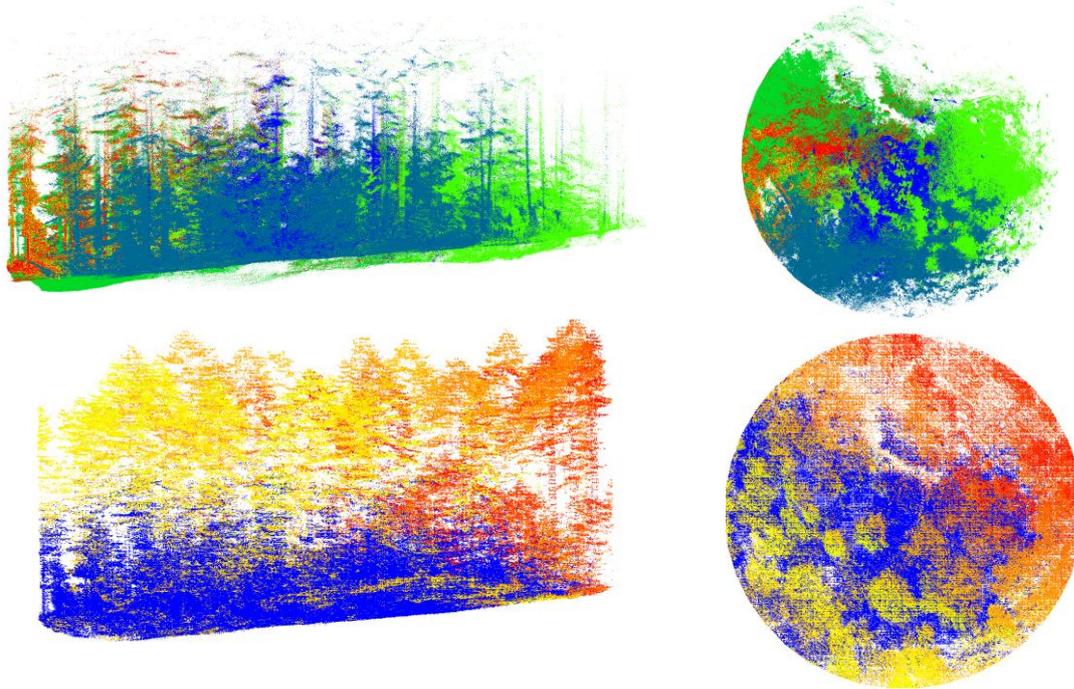


Εικόνα 44 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων από μετρήσεις SLAM (πάνω σειρά) και συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά)



Δειγματοληπτική επιφάνεια P05

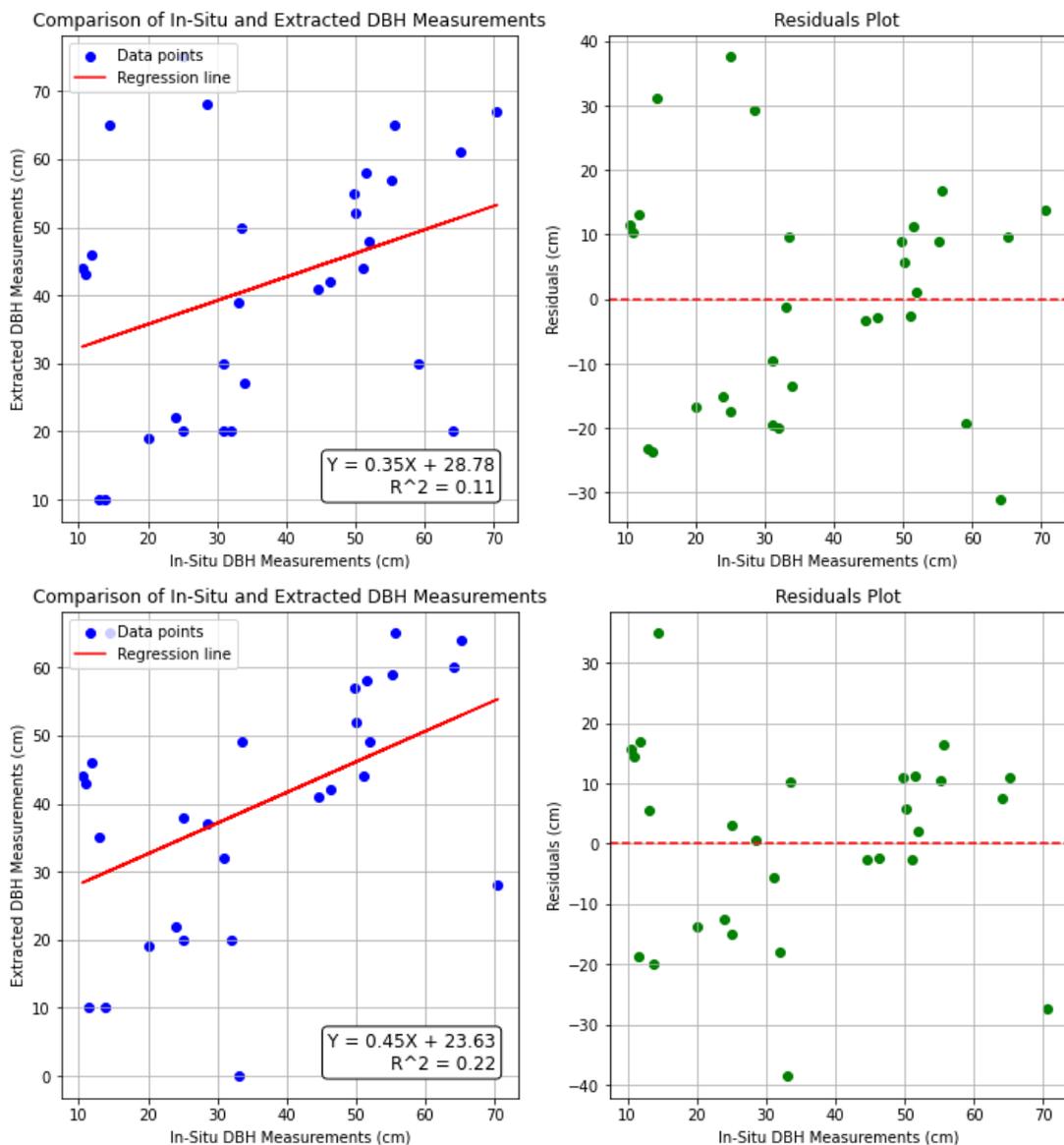
Στην Εικόνα 45 παρουσιάζεται η 3D μορφή του καταγεγραμμένου νέφους σημείων των δένδρων της επιφάνειας, όπως καταγράφηκε από τις επίγειες μετρήσεις με τον αισθητήρα SLAM και τον συνδυασμό μετρήσεων SLAM με UAV δεδομένα.



Εικόνα 45 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων του νέφους σημείων από επίγειο αισθητήρα SLAM (άνω σειρά) και SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά) στην δειγματοληπτική επιφάνεια P05



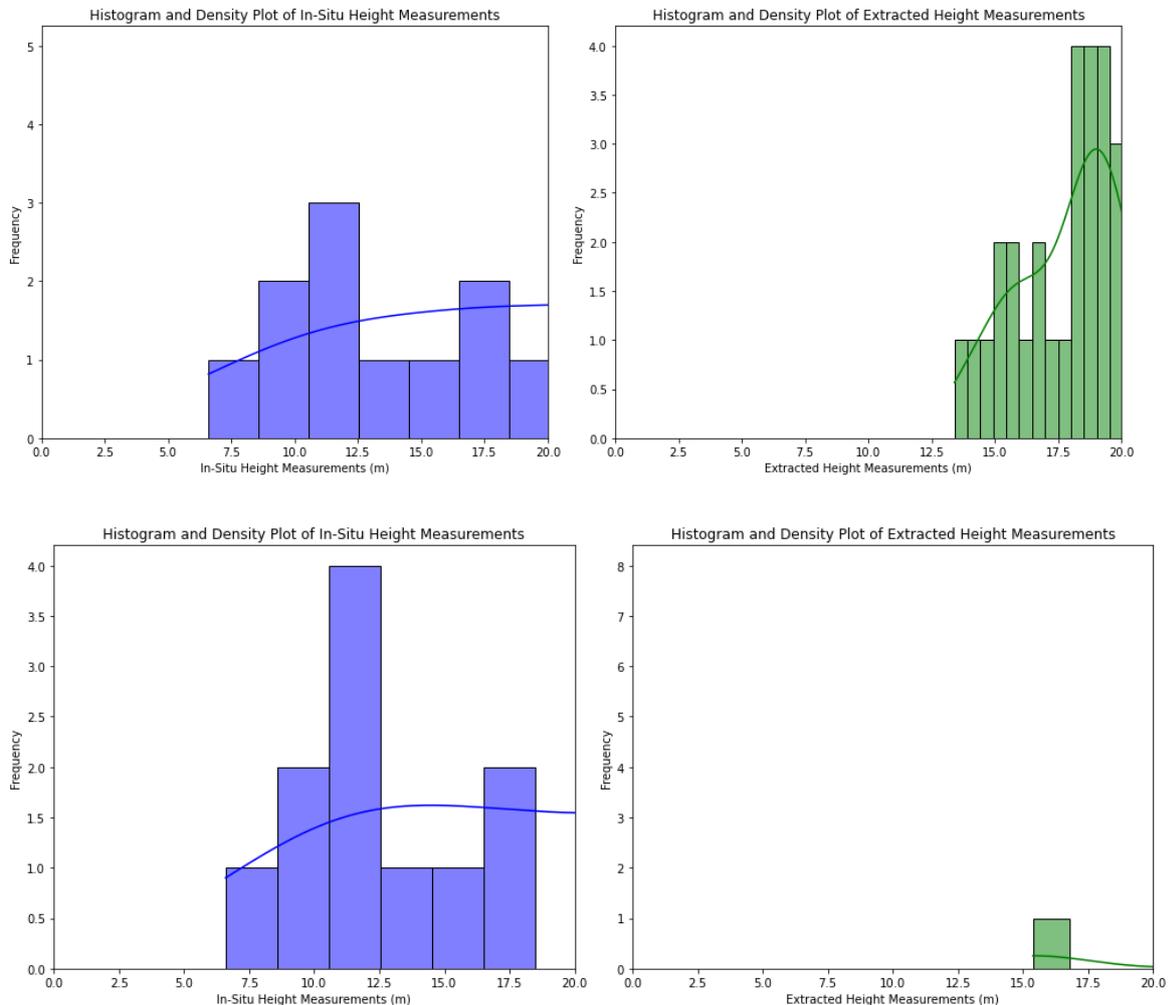
Η Εικόνα 46 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στήθιας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε «παραδοσιακά» στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλ. Παραδοτέο 4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.11 και 0.22, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 11% και 22% της μεταβλητότητας της DBH που υπολογίστηκε μέσω αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων από SLAM και το συνδυασμό SLAM και UAV δεδομένων, μπορεί να ερμηνευτεί από τις επίγειες μετρήσεις.



Εικόνα 46 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στήθιας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM (πάνω σειρά) και του συνδυασμού SLAM και UAV δεδομένα (κάτω σειρά), και της στήθιας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των «παραδοσιακών» επίγειων μετρήσεων για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια 5-P05): Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των «παραδοσιακών» μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.



Η Εικόνα 47 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 FIN (βλ. Παραδοτέο 4.3).



Εικόνα 47 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων από μετρήσεις SLAM (πάνω σειρά) και συνδυασμό SLAM και

Αποτελέσματα μετρήσεων SLAM και UAV εικόνων

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 του δασικού περιβάλλοντος. 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.

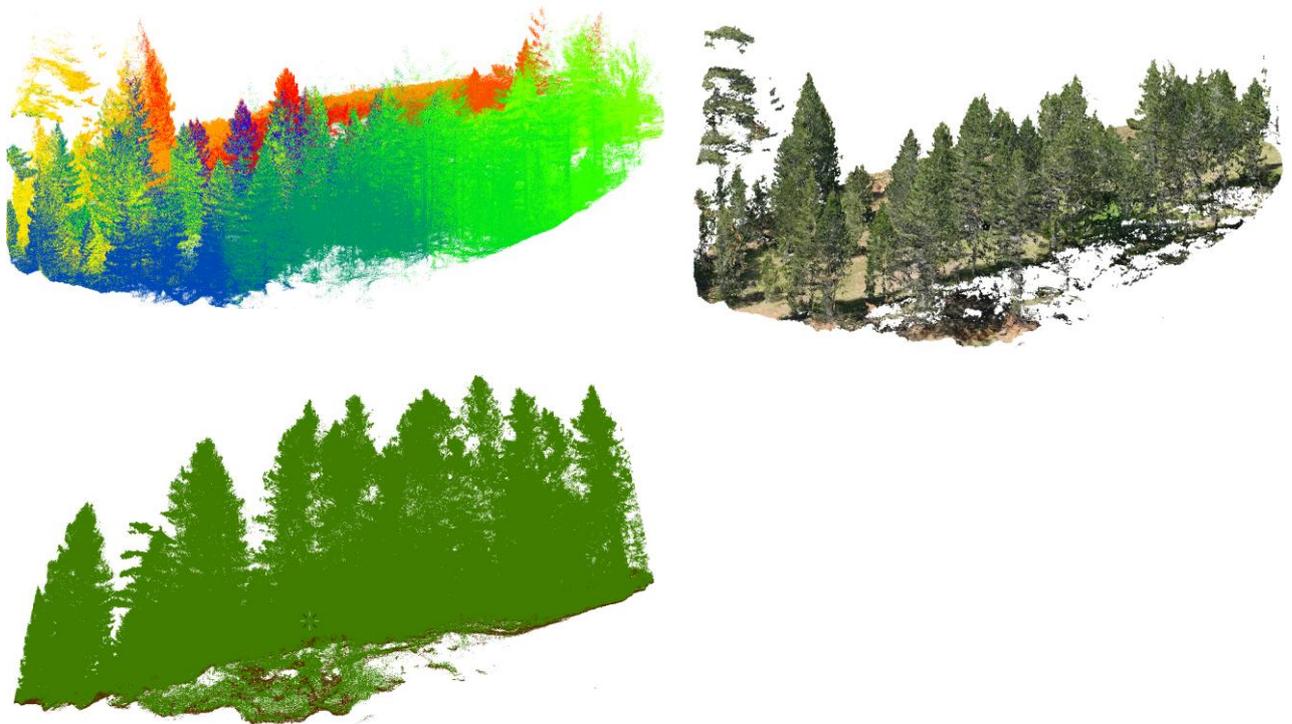
Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν παρείχαν ολοκληρωμένη και συνεκτική αποτύπωση της βλάστησης, καθώς παρατηρήθηκαν κενά (τρύπες) στη χωρική κάλυψη και



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 μία δειγματοληπτική επιφάνεια P02 όπως προκύπτουν παρακάτω.

Στην Εικόνα 48 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



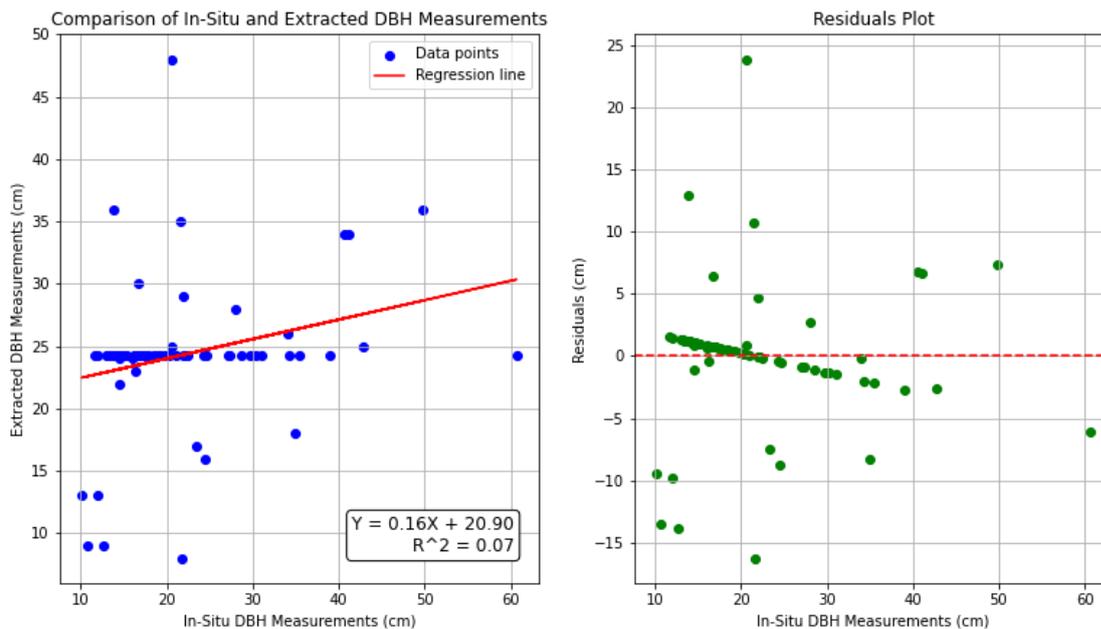
Εικόνα 48 Τρισδιάστατη απεικόνιση των δένδρων με τη χρήση αισθητήρα SLAM (πάνω αριστερή) και φωτογραμμετρικού νέφους UAV οπτικό (πάνω δεξιά). Στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας εμφανίζεται η ένωση (fusion) των δύο νεφών σημείων. Στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας παρουσιάζεται η θέση και το εκτιμώμενο ύψος των αναγνωρισμένων δένδρων της αυτοματοποιημένης κατάτμησης του νέφους σημείων της δειγματοληπτικής επιφάνειας #P02

Η Εικόνα 49 περιλαμβάνει δύο γραφήματα, εξετάζοντας τη γραμμική σχέση μεταξύ των μετρήσεων της στήθιας διαμέτρου κάθε μεμονωμένου δένδρου (όπως μετρήθηκε «παραδοσιακά» στο πεδίο) και της αντίστοιχης που εκτιμήθηκε μετά από κατάτμηση μέσω του λογισμικού 3D Forest (βλ. Παραδοτέο 4.3). Τα σημεία του αριστερού γραφήματος αντιπροσωπεύουν την σχέση αυτών των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι περίπου 0.07, το οποίο υποδηλώνει ότι περίπου το 7% 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 «παραδοσιακές» μετρήσεις πεδίου 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 παραδοσιακών και των μετρήσεων 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.

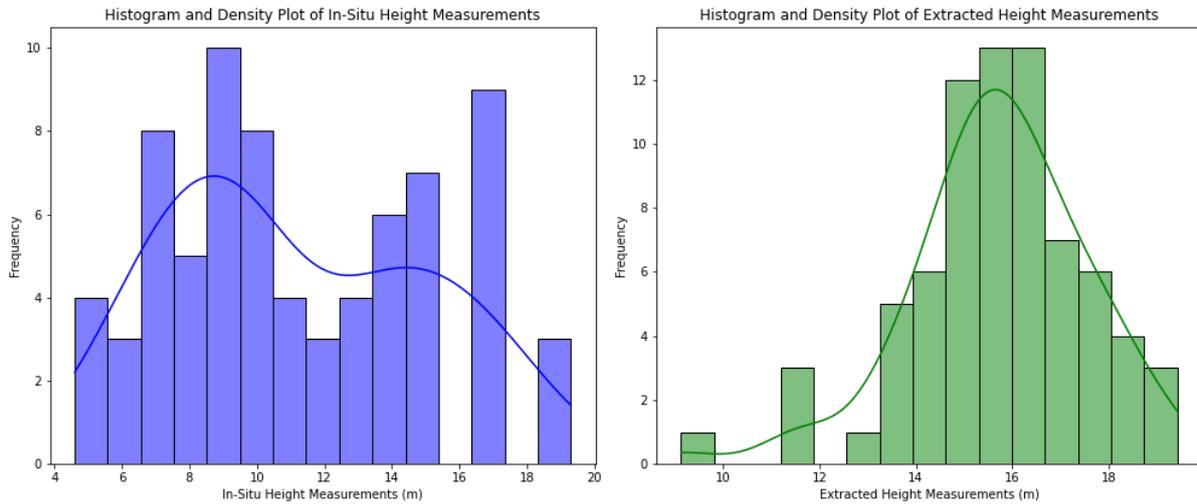


Εικόνα 49 Εξέταση της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισθείσας στηθιαίας διαμέτρου (DBH) από τα δεδομένα SLAM και της στηθιαίας διαμέτρου όπως μετρήθηκε μέσω των «παραδοσιακών» επίγειων μετρήσεων για την δειγματοληπτική περιοχή (Επιφάνεια P02). Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση και στην δεξιά εικόνα τα υπόλοιπα (residuals) μεταξύ των «παραδοσιακών» μετρήσεων και των υπολογιστικά εξαχθέντων τιμών DBH.

Στην παρακάτω Εικόνα 50 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 υπερεκτίμηση ύψους.



Εικόνα 50 Ιστόγραμμα με την κατανομή του ύψους των δένδρων στην επιλεγμένη επιφάνεια σύμφωνα με τις μετρήσεις πεδίου και τις εξαγόμενες τιμές των μεμονωμένων δένδρων



Παράρτημα II: Στάδια και εξισώσεις για την ανάπτυξη μοντέλων παραμέτρων σχετικών με την ποικιλότητα με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων υψηλής/πολύ υψηλής ανάλυσης και δεδομένων πεδίου

Ανάπτυξη μοντέλων

Οι φασματικές πληροφορίες και οι πληροφορίες υψής εξήχθησαν για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια και εφαρμόστηκε ανάλυση απλής 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

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι 10 βέλτιστες μεταβλητές (μεγαλύτερη συσχέτιση) για την ανάπτυξη μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης μεγαλύτερης ακρίβειας, με το κριτήριο VIF για την αποφυγή συν-μεταβλητότητας (multicollinearity).

Βήμα 1 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.

Βήμα 2 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.

Βήμα 3 Ανάπτυξη Μοντέλων Πολλαπλής Παλινδρόμησης

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)

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

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή,

\underline{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 R^2 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.

Βήμα 4 Παραγωγή χαρτών εκτίμησης δεικτών ποικιλότητας

Η παραγωγή χαρτών εκτίμησης των δεικτών ποικιλότητας 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 ένα δείκτη ποικιλότητας και παρουσιάζει την κατανομή του δείκτη στην περιοχή μελέτης



Μοντέλα και χαρτογράφηση υψηλής χωρικής ανάλυσης με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2

Συνολικά αξιολογήθηκαν 129 μεταβλητές για την εκτίμηση 11 δεικτών. Τα αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης Sentinel-2 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10).

Πίνακας 10 Αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης Sentinel-2

Παράμετρος	Εξίσωση	R ²	RMSE
Πυκνότητα (N)	$N = 685,86 - 4675,75 \times B03 - 4675,75 \times NLI_RE1 + 602,80 \times glcm_second_moment_B04 - 455,30 \times glcm_homogeneity_B04 - 204,82 \times glcm_second_moment_B02$	0,397	111
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = -1353,52 - 3987,72 \times NLI_RE1 - 2254,64 \times B11$	0,546	240,13
Βιομάζα (B)	$B = -9,48e^{+03} + 9,17e^{+03} \times glcm_homogeneity_B02 - 57524,58 \times glcm_entropy_B04 + 1,61e^{+04} \times NDWI_NIRn2 + 3,63e^{+04} \times B03$	0,368	1878,253
Νεκρή ξυλεία (DW)	$DW = 82,44 + 63,88 \times glcm_second_moment_B11 - 0,68 \times glcm_dissimilarity_B06 - 4,99 \times glcm_entropy_B06 - 314,05 \times IRECI + 51,88 \times NLI_RE1$	0,180	16,738
Species richness (S)	$S = -12,78 + 2,40 \times glcm_entropy_B07 + 0,05 \times glcm_entropy_B8A + 0,92 \times glcm_entropy_B08 + 3,27 \times glcm_homogeneity_B06 + 6,5 \times NDWI_RE1 + 8,25 \times SWIR2.RE1 - 0,07 \times glcm_dissimilarity_B8A$	0,446	0,64
Shannon diversity Index (H)	$H = -1,72 + 0,43 \times glcm_entropy_B07 + 0,81 \times glcm_homogeneity_B8A + 6,28e-03 \times glcm_contrast_B8A + 1,01 \times glcm_homogeneity_B06 + 1,52 \times SWIR2.RE1 - 0,15 \times glcm_entropy_B08$	0,277	0,263
Simpson's evenness (E)	$E = 1,20 - 0,15 \times SWIR2.RE1 + 0,69 \times glcm_second_moment_B06 + 1,99 \times NDWI_RE1 - 0,42 \times glcm_second_moment_B07 - 0,35 \times glcm_mean_B11$	0,400	0,154
Μικρο-ενδιαιτήματα (MICRO)	$MICRO = 1173,76 - 7116,51 \times glcm_mean_B03 - 1,18 \times glcm_variance_B02$	0,249	404
Κοιλότητες (CV)	$CV = 781,94 + 14,26 \times glcm_contrast_B06 + 297,58 \times MAVI + 7,10 \times glcm_contrast_B08 - 5790,86 \times B02 - 6,66 \times glcm_contrast_B8A$	0,563	97



Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$IN = 108,68 - 481,95 \times \text{glcm_mean_B03} + 6,04 \times B12 - 29,20 \times \text{glcm_entropy_B01}$	0,31 3	32
Παραμόρφωση και ανάπτυξη (GR)	$GR = -173,06 + 110,47 \times \text{CI_green} + 232,20 \times \text{DVI}$	0,6 02	35

Μοντέλα και χαρτογράφηση πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης Planet score

Συνολικά αξιολογήθηκαν 73 μεταβλητές για την εκτίμηση 11 παραμέτρων. Τα αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης Planet score παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11).

Πίνακας 11 Αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης Planet score Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα)

Παράμετρος	Εξίσωση	R ²	RMSE
Πυκνότητα (N)	$N = -479,14 + 203,77 \times \text{glcm_second_moment_BLUE} + 227,76 \times \text{glcm_second_moment_GREEN1} - 180,39 \times \text{glcm_contrast_BLUE} - 112,2 \times \text{glcm_second_moment_yellow} + 864,91 \times \text{GNDVI} + 1865,05 \times \text{green}$	0.341	116
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = -903,80 + 2062,01 \times \text{glcm_homogeneity_BLUE} + 6354,72 \times \text{rededge} + 365,82 \times \text{glcm_second_moment_RED}$	0,582	230,534
Βιομάζα (B)	$B = 1,68e^{+03} - 17,35 \times \text{glcm variance GREEN} + 5,16e^{+03} \times \text{glcm homogeneity RED} - 172,77 \times \text{glcm variance COASTALB}$	0.448	1754,88
Νεκρή ξυλεία (DW)	$DW = -7,07 + 92,20 \times \text{glcm_second_moment_GREEN1} + 19,70 \times \text{glcm_entropy_REDEDGE} - 190,34 \times \text{EVI_RE1} - 64,70 \times \text{glcm_mean_NIR}$	0,293	15,541
Species richness (S)	$S = -1,6 + 4,36 \times \text{DVI} + 4,5 \times \text{nir} - 0,05 \times \text{glcm_contrast_NIR} + 1,11 \times \text{glcm_entropy_NIR}$	0,195	0,77
Shannon diversity Index (H)	$H = -0,24 + 2,26 \times \text{glcm_mean_NIR} - 1,51 \times \text{DVI}$	0,09	0,29



Simpson's evenness (E)	$E = 0,89 + 0,47 \times \text{glcm_homogeneity_REDEGE} + 0,96 \times \text{glcm_second_moment_GREEN} + 0,62 \times \text{glcm_homogeneity_GREEN} - 0,97 \times \text{nir} - 1,29 \times \text{glcm_homogeneity_GREEN1} - 0,05 \times \text{glcm_contrast_NIR}$	0,411	0,152
Μικρο-ενδαιτήματα (MICRO)	$\text{MICRO} = 1323,58 - 22807,4 \times \text{glcm_mean_BLUE} + 455,0 \times \text{glcm_dissimilarity_COASTALB}$	0,344	378
Κοιλότητες (CV)	$\text{CV} = -154,00 + 72,18 \times \text{CI_green} - 890,56 \times \text{glcm_mean_BLUE}$	0,457	108
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$\text{IN} = 141,24 - 657,12 \times \text{glcm_mean_GREEN1} - 32,56 \times \text{glcm_entropy_yellow}$	0,412	30
Παραμόρφωση και ανάπτυξη (GR)	$\text{GR} = -78,95 + 632,13 \times \text{EVI} + 43,12 \times \text{glcm_contrast_NIR} - 515,98 \times \text{DVI} - 82,32 \times \text{glcm_entropy_NIR}$	0,536	37

Μοντέλα με οπτικό αισθητήρα σε μη επανδρωμένο όχημα (UAV)

Συνολικά αξιολογήθηκαν 3 μεταβλητές για την εκτίμηση 11 παραμέτρων. Τα αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης Sentinel-2 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12).

Πίνακας 12 Αποτελέσματα των μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης με τη χρήση εικόνων UAV Εθνικού Πάρκου Πίνδου (Βάλια Κάλντα)

Παράμετρος	Εξίσωση	R ²	RMSE
Πυκνότητα (N)	$N = 968,53 - 12,12 \times \text{BLUE} - 2,45 \times \text{GREEN} + 12,12 \times \text{RED}$	0,42	101
Ξυλώδης όγκος (V)	$V = 1505,20 - 31,41 \times \text{BLUE} - 0,47 \times \text{GREEN} + 30,67 \times \text{RED}$	0,392	277,99
Βιομάζα (B)	$B = 5.27e^{+03} - 234,70 \times \text{BLUE} - 133,26 \times \text{GREEN} + 108,27 \times \text{RED}$	0,286	1995,81,
Νεκρή ξυλεία (DW)	$\text{DW} = 1505,20 - 31,41 \times \text{BLUE} - 0,47 \times \text{GREEN} + 30,67 \times \text{RED}$	0,027	18,23
Species richness (S)	$S = 3,51 - 0,02 \times \text{BLUE} + 5.66e^{-03} \times \text{GREEN} - 7.01e^{-04} \times \text{RED}$	0,044	0,848



Shannon diversity Index (H)	$H = 2,23 - 7,80e^{-03} \times \text{BLUE} - 0,03 \times \text{GREEN} - 4.45e^{-03} \times \text{RED}$	0,185	0,279
Simpson's evenness (E)	$E = 1,38 - 1.04e^{-04} \times \text{BLUE} - 0,01 \times \text{GREEN} - 8.70e^{-03} \times \text{RED}$	0,084	0,19
Μικρο-ενδιαιτήματα (MICRO)	$\text{MICRO} = 1117,05 - 36,73 \times \text{BLUE} + 22,11 \times \text{GREEN} + 9,78 \times \text{RED}$	0,204	416
Κοιλότητες (CV)	$\text{CV} = 223,58 - 15,20 \times \text{BLUE} + 12,72 \times \text{GREEN} + 1,42 \times \text{RED}$	0,327	120
Τραυματισμοί και πληγές (IN)	$\text{CV} = -37,91 - 3,27 \times \text{BLUE} + 3,42 \times \text{GREEN} + 0,33 \times \text{RED}$	0,184	35
Παραμόρφωση και ανάπτυξη (GR)	$\text{GR} = -150,76 - 4,51 \times \text{BLUE} + 7,11 \times \text{GREEN} - 2,18 \times \text{RED}$	0,296	46



Παράρτημα III: Φασματικά δεδομένα και ροή εργασιών εκτίμησης του δείκτη πυκνότητας 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 11), 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.

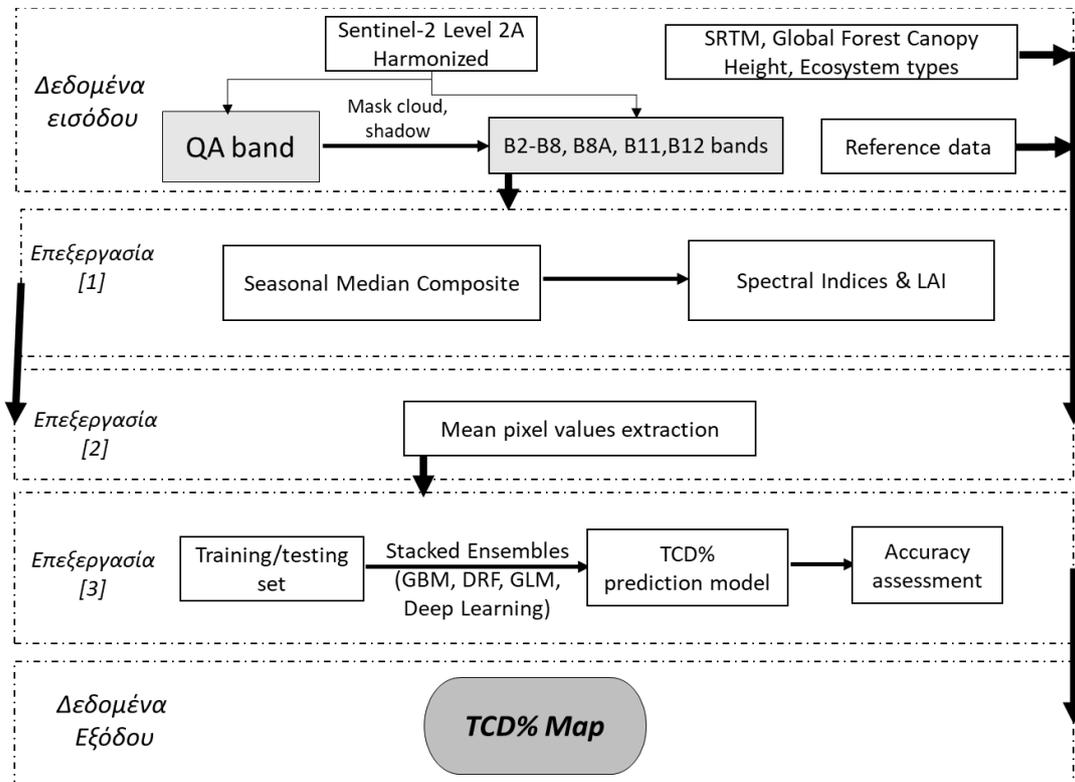
Πίνακας 13 Φασματικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο πρόβλεψης δείκτη πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δέντρων (Tree Cover Density-TCD).

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 42).





Εικόνα 51 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του δείκτη πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (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 % (Εικόνα 43).



Παράρτημα IV: 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:

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

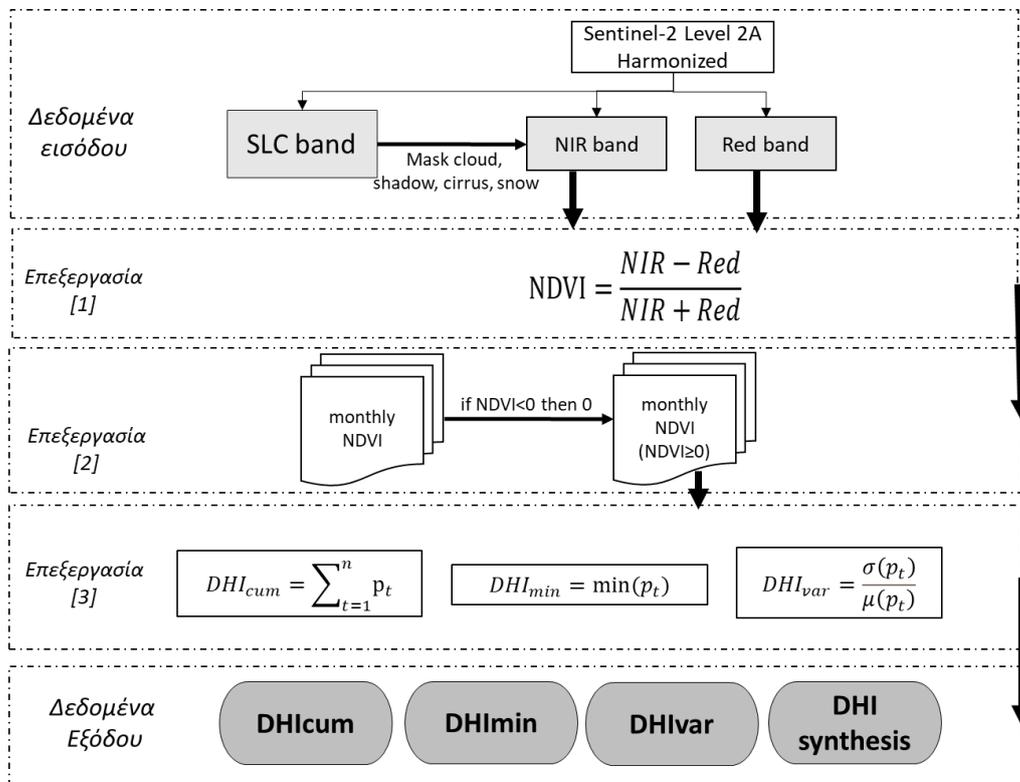
Στη συνέχεια (Εικόνα 44) δημιουργούνται μηνιαία NDVI μωσαϊκά (monthly median composites). Από τα μωσαϊκά αυτά υπολογίζονται οι τρεις επιμέρους δείκτες DHI_{cum} , DHI_{min} και DHI_{var} σύμφωνα με τις εξισώσεις:

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

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

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

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



Εικόνα 52 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)

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