



**Biodiversity
Greece**

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

Tel: +30 210 5241903 (int.: 129)
Email: info@biodiversity-greece.gr



PROJECT	LIFE18 GIE/GR/000899
PROJECT TITLE	Hellenic Biodiversity Information System: An innovative tool for biodiversity conservation
ACRONYM	LIFE EL-BIOS
ACTION	B3
DELIVERABLE NUMBER	B3
DELIVERABLE TITLE	EO services development and Validation Report
REPORT STATUS	DELIVERED
COMPLETION DATE	OCTOBER 2024
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:

- ΧΡΥΣΑΦΗ ΕΙΡΗΝΗ, ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
- ΦΩΤΑΚΙΔΗΣ ΒΑΓΓΕΛΗΣ, ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
- ΜΑΛΛΙΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ:ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
-

ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ:

- ΑΠΘ: ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΜΠΑΚΑΛΟΥΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΚΑΒΒΑΔΙΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ, ΒΑΓΙΩΝΑ ΔΗΜΗΤΡΑ, ΤΣΕΛΕΠΗΣ ΑΣΤΕΡΙΟΣ
- ΕΚΒΥ: ΦΥΤΩΚΑ ΕΛΕΝΗ, ΤΟΥΜΠΟΥΛΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΧΑΤΖΗΙΟΡΔΑΝΟΥ ΛΕΝΑ, ΑΝΤΩΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ, ΧΡΥΣΟΠΟΛΙΤΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ, ΧΑΤΖΗΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ ΈΛΕΝΑ, ΚΑΚΟΥΡΟΣ ΠΕΤΡΟΣ, ΚΑΡΑΔΗΜΟΥ ΕΛΠΙΔΑ
- ΟΛΥΜΠΟΣ: ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ: ΑΛΕΞΙΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΘΩΜΑΣ ΛΑΓΚΑΣ, ΜΑΡΙΑ ΚΑΡΑΜΟΥΖΑ, ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΣΚΑ, ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΓΓΡΑΦΟΥ:

ΕΛΛΗΝΙΚΑ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ

ΑΓΓΛΙΚΑ: EO SERVICES DEVELOPMENT AND VALIDATION REPORT

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., Φωτακίδης Β. και Μαλλίνης Γ. 2024. Ανάπτυξη υπηρεσιών παρατήρησης γης και έκθεση επικύρωσης Παραδοτέο Δράσης Β.3. Έργο LIFE EL-BIOS: Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για τη Βιοποικιλότητα: ένα καινοτόμο εργαλείο για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. ΑΠΘ. Σελίδες 199, Θεσσαλονίκη.

SUGGESTED CITATION:

- Chrysafis I., Fotakidis V. and Mallinis G. 2024. EO services development and validation report. Action B3. LIFE EL-BIOS: Hellenic Biodiversity Information System: an innovative tool for biodiversity conservation. ΑΥΤΗ, Pages 199, Thessaloniki



Biodiversity
Greece

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

Tel: +30 210 5241 903 (int.: 129)
Email: info@biodiversity-greece.gr



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΩΝ		3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ		6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ		7
ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ		15
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		17
EXECUTIVE SUMMARY		19
1B3.1	Μοντελοποίηση	δεικτών
βιοποικιλότητας		21
1.1	Εισαγωγή	21
1.1.1		Δορυφορικά
δεδομένα		22
1.1.2		Πάροχοι
δεδομένων		23
1.1.3		Επεξεργασί
α εικόνων		25
1.1.4		A
λγόριθμοι		25
1.2	Υποψήφιοι Δείκτες Βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ)	32
1.2.1		Παρουσία
επιφανειακών υδάτων		32
1.2.2	Οικολογική κατάσταση	των
επιφανειακών υδάτων		39
1.2.3	Επιπτώσεις	της
ξηρασίας		43
1.2.4		Κατάσταση
βλάστησης		45
1.2.5		Λ
ευκαύγεια		48
1.2.6	Κατάσταση βλάστησης-περιεκτικότητα	της
βλάστησης σε νερό		50



1.2.7 Κατάσταση χλωροφύλλη	βλάστησης-περιεκτικότητα	της	βλάστησης	σε	55
1.2.8 Καθαρή παραγωγή				πρωτογενής	58
1.2.9 Εποχικότητα άνθρακα		των		ροών	59
1.2.10 Φαινολογία βλάστησης				της	61
1.2.11 βλάστησης				Δομή	64
1.2.12					75
1.2.13 Πυκνότητα δένδρων	εδαφοκάλυψη	από	την	κόμη	των 73
1.2.14 φυτοκάλυψη				Κλασματική	77
1.2.15 Παραγωγικότητα βλάστησης				υπέργειας	80
1.2.16					Π
οικιότητα					82
1.2.17					Κ
άλυψη γης					85
1.2.18 Αλλαγή γης/κάλυψης γης				χρήσεων	96
1.2.19 Διαπερατότητα αδιαπερατότητας		και		αλλαγές	99
1.2.20					Δο
μή τοπίου					102
1.2.21 Δυναμικοί ενδιατημάτων				δείκτες	109
1.2.22					Κατ
άληψη γης					112
1.2.23 Πράσινη περιοχών		κάλυψη		ορεινών	115



1.3	Αξιολόγηση					117
	2B.3.2 Προσδιορισμός των αλγορίθμων δεικτών βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ)					135
2.1.1	Καθαρή του NDVI	πρωτογενής	παραγωγή	-	Ετήσιο	ολοκλήρωμα 135
2.1.2	Εποχικότητα εύρος NDVI	των	ρών	άνθρακα	-Ενδοετήσιο	σχετικό 136
2.1.3	Φαινολογία μέγιστου NDVI	της	βλάστησης	-	Ημερομηνία	του ετήσιου 138
2.1.4	Δείκτης επιφάνειας					φυλλικής 139
2.1.5	φυτοκάλυψη					Κλασματική 141
2.1.6	για φυτών					Φαινολο 142
2.1.7	κατάληψη γης					Καθαρή 144
2.1.8	Αδιαπερατότητα αδιαπερατότητα		και	αλλαγές		στην 146
2.1.9	ός Τοπίου					Κατακερματισμ 148
2.1.10	Μεταβολές οικοσυστημάτων					τύπων 150
	3B.3.3 Σχεδιασμός βιοποικιλότητας		αλγορίθμων	για		δείκτες 152
3.1.1	Καθαρή του NDVI	πρωτογενής	παραγωγή	-	Ετήσιο	ολοκλήρωμα 152
3.1.2	Εποχικότητα εύρος NDVI	των	ρών	άνθρακα	-Ενδοετήσιο	σχετικό 154
3.1.3	Ημερομηνία μέγιστου NDVI			του		ετήσιου 156
3.1.4	Δείκτης επιφάνειας					φυλλικής 159
3.1.5	φυτοκάλυψη					Κλασματική 161



3.1.6									Φαινολο
γία φυτών									164
3.1.7									Καθαρή
κατάληψη γης									166
3.1.8	Αδιαπερατότητα			και					αλλαγές
αδιαπερατότητας									168
3.1.9									Κατακερματισμ
ός τοπίου									170
3.1.10	Μεταβολές								τύπων
οικοσυστημάτων									172
4B.3.4	Κατασκευή	υπηρεσιων	EL	BIOS	για	την	παραγωγή	ΕΟ	δεικτων
βιοποικιλότητας									174
5B.3.5	Επικύρωση		και		τεχνική		επαλήθευση		των
υπηρεσιών EL BIOS									175
5.1	Μέτρα επικύρωσης								175
5.1.1	Στατιστικά								μέτρα
σύγκρισης									175
5.1.2									
Πληρότητα									177
5.2	Επικύρωση των τελικών προϊόντων EL-BIOS								178
5.2.1	Ετήσιο								ολοκλήρωμα
του NDVI									178
5.2.2	Ενδοετήσιο								σχετικό
εύρος NDVI									179
5.2.3	Ημερομηνία			του					ετήσιου
μέγιστου NDVI									180
5.2.4	Δείκτης								φυλλικής
επιφάνειας									180
5.2.5	Φυτοκάλυψη								Κλασματική
									181
5.2.6	βλάστησης								Φαινολογία
									182
5.2.7	Δείκτης								καθαρής
κατάληψης γης									183



5.2.8Αδιαπερατότητα αδιαπερατότητας	και	αλλαγές
5.2.9		184
ός τοπίου		Κατακερματισμ 184
5.2.10Μεταβολές οικοσυστημάτων		τύπων 184
Βιβλιογραφία		186



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Κατηγορίες κάλυψης γης CORINE Land Cover	85
Πίνακας 2 Προϊόντα CORINE Land Cover	87
Πίνακας 3 Κατηγορίες κάλυψης γης ESA WorldCover	88
Πίνακας 4 Κατηγορίες κάλυψης γης ESRI Land Use-Land Cover	89
Πίνακας 5 Τύποι οικοσυστημάτων MAES	90
Πίνακας 6 Τύποι Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA	91
Πίνακας 7 Τύποι οικοσυστημάτων EUNIS Επίπεδο 1	95
Πίνακας 8 Αξιολόγηση των προσωρινών δεικτών	118
Πίνακας 9 Κατηγορίες χρήσης κάλυψης γης Urban Atlas	145
Πίνακας 10 Στοιχεία κατακερματισμού	148
Πίνακας 11 Αξιολόγηση του δείκτη ετήσιου ολοκλήρωματος του NDVI (annual NDVI integral NDVI-I)	178
Πίνακας 12 Αξιολόγηση του δείκτη ενδοετήσιου σχετικού εύρους NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI)	179
Πίνακας 13 Αξιολόγηση του δείκτη ημερομηνίας μέγιστου NDVI (Date of annual max DoM-NDVI)	180
Πίνακας 14 Αξιολόγηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας	181
Πίνακας 15 Αξιολόγηση του δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης	182
Πίνακας 16 Αξιολόγηση του δείκτη φαινολογίας βλάστησης	183



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Αλγόριθμος μηχανικής μάθησης Random Forest (RF)	28
Εικόνα 2 Τεταρτημόρια διανύσματος μεταβολής (Maeda et al., 2011) και τύπος αλλαγής σύμφωνα με τη θέση του διανύσματος μεταβολής	29
Εικόνα 3 Σχηματική αναπαράσταση τυπικής αρχιτεκτονικής νευρωνικού δικτύου ("What Is Deep Learning?," n.d.)	30
Εικόνα 4 Αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης FG-UNET, για την δημιουργία μοντέλων κάλυψης γης με δορυφορικές εικόνες και δεδομένα ασθενούς εποπτείας (Stoian et al., 2019)	31
Εικόνα 5 Παρουσία επιφανειακών υδάτων του προϊόντος Surface Water Occurrence (SWO) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 30μ, για το έτος 2021, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	33
Εικόνα 6 Κατάσταση νερού και υγρασίας του προϊόντος Water and Wetness status (WaW) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το έτος 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	34
Εικόνα 7 Παραποτάμιες ζώνες του προϊόντος Riparian zones του Copernicus, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	35
Εικόνα 8 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (Normalized Difference Water Index -NDWI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	36
Εικόνα 9 Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος δείκτης νερού (Modified Normalized Difference Water Index -MNDWI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	37
Εικόνα 10 Αυτοματοποιημένος δείκτης νερού Automated water extraction index no shade-AWEI_nsh), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	38
Εικόνα 11 Αυτοματοποιημένος δείκτης νερού Automated water extraction index with shade-AWEI_sh), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	38
Εικόνα 12 Δείκτης νερού Sentinel-2 Water Index, σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	39
Εικόνα 13 Δείκτης θολότητας "Δείκτης κανονικοποιημένης θερμικής διαφοράς (Normalized Difference Thermal Index -NDTI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	40
Εικόνα 14 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς χλωροφύλλης (Normalized Difference Chlorophyll Index -NDCI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	41



Εικόνα 15 Δείκτης διαλυτού οργανικού άνθρακα (dissolved organic carbon - C _{DOC}), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	42
Εικόνα 16 Δείκτης συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α, σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	43
Εικόνα 17 Δείκτης χρώματος νερού (C_color), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	43
Εικόνα 18 Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly -SMA) στο Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας (European Drought Observatory - EDO), σε χωρική ανάλυση 5χλμ, για την 21/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	44
Εικόνα 19 Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	46
Εικόνα 20 Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index -EVI)), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	47
Εικόνα 21 Δείκτης κατάστασης βλάστησης (Vegetation Condition Index - VCI) σε χωρική ανάλυση 10μ, για τον Ιούλιο 2023, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	48
Εικόνα 22 Δείκτης Albedo σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	49
Εικόνα 23 Δείκτης Albedo σε χωρική ανάλυση 10μ, με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)	50
Εικόνα 24 Περιεχόμενο νερό (g/m ²) σε επίπεδο κόμης (CWC) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	51
Εικόνα 25 Ισοδύναμο πάχος νερού (Equivalent Water Thickness EWT) (gm/cm ²) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)	51
Εικόνα 26 Δείκτης νερού (Water Ratio Index -WRI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	52
Εικόνα 27 Παγκόσμιος δείκτης υγρασίας βλάστησης (Global Vegetation Moisture Index – GVMI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	53



Εικόνα 28 Κανονικοποιημένος δείκτης υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index -NDMI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	54
Εικόνα 29 Δείκτης πίεσης υγρασίας (Moisture Stress Index -MSI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	55
Εικόνα 30 Τριγωνικός δείκτης βλάστησης Sentinel-2 (Sentinel-2 Triangular Vegetation Index - STVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	56
Εικόνα 31 Δείκτης χλωροφύλλης εδάφους του προϊόντος OLCI Terrestrial Chlorophyll Index – ΟΤCI σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	57
Εικόνα 32 Περιεχόμενη χλωροφύλλη (Cab) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	58
Εικόνα 33 Περιεχόμενη χλωροφύλλη (CHL) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)	58
Εικόνα 34 Ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI (annual NDVI integral Sum NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	59
Εικόνα 35 Ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	61
Εικόνα 36 Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	62
Εικόνα 37 Δείκτης φαινολογίας Plant Phenology Index (PPI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	63
Εικόνα 38 Δείκτης φαινολογίας του προϊόντος Plant Phenology Index (PPI) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 31/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	63
Εικόνα 39 Πράσινος δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Green Leaf Area Index LAIgreen -LAIgreen) σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	65
Εικόνα 40 Δείκτης ειδική φυλλικής επιφάνειας (Specific leaf area vegetation index -SLAVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	66



Εικόνα 41 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index - LAI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	67
Εικόνα 42 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <= 0.5)	68
Εικόνα 43 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	68
Εικόνα 44 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index HRL- LAI του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	69
Εικόνα 45 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index Sentinel-3/OLCI Collection 300m LAI του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για την 1/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	70
Εικόνα 46 Κλάσμα ηλιακής ακτινοβολίας του προϊόντος Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (HRL- FAPAR) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	71
Εικόνα 47 Κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	72
Εικόνα 48 Κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <= 0.5)	72
Εικόνα 49 Πράσινο στιγμιαίο κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας του προϊόντος Green Instantaneous FAPAR -GIFAPAR της υπηρεσίας Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	73
Εικόνα 50 Πυκνότητα κάλυψης δέντρων του προϊόντος (Tree Cover Density HRL-TCD) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	74
Εικόνα 51 Ποσοστιαία κάλυψη δένδρων του προϊόντος Global 2010 Tree Cover, σε χωρική ανάλυση 30μ, για το έτος 2010, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	75
Εικόνα 52 Ποσοστιαία κάλυψη δένδρων, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων Super Learner και χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	77
Εικόνα 53 Η κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) του προϊόντος FCOVER Collection 300m Version 1.1 της υπηρεσίας Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)	78



Εικόνα 54 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	78
Εικόνα 55 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)	79
Εικόνα 56 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) μέσω του δείκτη NDVI και εικόνες Sentinel 2 MSI για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	80
Εικόνα 57 Τάσεις στην ετήσια παραγωγικότητα της υπέργειας βλάστησης με βάση το προϊόν Trends in annual above ground vegetation productivity 2000-2016 της ΕΕΑ, σε χωρική ανάλυση 500μ, για το διάστημα 2000-2016, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	82
Εικόνα 58 Εκτίμηση ξυλώδη όγκου (κυβικά μέτρα ανά εκτάριο) όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και τη χρήση δεδομένων πεδίου και εικόνων Sentinel 2 MSI, σε χωρική ανάλυση 10μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	82
Εικόνα 59 Εκτίμηση δείκτη ποικιλότητας Shannon για τα δένδρα όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και τη χρήση δεδομένων πεδίου και εικόνων Sentinel 2 MSI για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	84
Εικόνα 60 Εκτίμηση δείκτη ποικιλότητας Shannon με εφαρμογή του μοντέλου biodivMapR για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)	85
Εικόνα 61 Χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος CORINE Land Cover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	87
Εικόνα 62 Χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος ESA WorldCover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	88
Εικόνα 63 Χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος ESRI_land_cover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	89
Εικόνα 64 Χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων MAES (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	91
Εικόνα 65 Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	93
Εικόνα 66 Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων EUNIS (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	95
Εικόνα 67 Τύποι Οικοσυστημάτων, όπως προέκυψαν από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	96
Εικόνα 68 Χαρτογράφηση αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος CORINE Land Cover Changes (CLCC) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, όπου και δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές εντός των ορίων των πάρκων	98



Εικόνα 69 Χαρτογράφηση των αλλαγών Τύπων Οικοσυστημάτων MAES (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	99
Εικόνα 70 c του προϊόντος Imperviousness Density (HRL-IMD) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	100
Εικόνα 71 Δείκτης αλλαγών αδιαπερατότητας του προϊόντος Imperviousness Change (HRL-IMC) 2015-2018, του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 20μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	101
Εικόνα 72 Οικιστικά συστήματα, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	102
Εικόνα 73 Δείκτης Shannon Diversity Index (SHDI), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	104
Εικόνα 74 Δείκτης Simpson (Simpson index -SIDI), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	105
Εικόνα 75 Ο Δείκτης Effective Mesh Size (MESH), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	106
Εικόνα 76 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major anthropogenic fragmenting elements (FGA1-M) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2016	107
Εικόνα 77 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major and medium anthropogenic fragmenting elements (FGA2-M) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2016	107
Εικόνα 78 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Effective Mesh Density (seff) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	109
Εικόνα 79 Κατανομή των κλάσεων κατακερματισμού για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. Οι κλάσεις αντιπροσωπεύουν την τιμή seff (αριθμό meff ανά 1000 km ²).	109
Εικόνα 80 Δείκτης αθροιστικής ετήσιας παραγωγικότητας (Cumulative Annual Productivity-DHICum) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	111
Εικόνα 81 Δείκτης ετήσιας ελάχιστης παραγωγικότητας (Annual Minimum Productivity -DHlmin) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	111
Εικόνα 82 Δείκτης εποχιακής διακύμανσης της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity -DHlvar) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων	



MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.	112
Εικόνα 83 Σύνθεση Δυναμικών Δεικτών Ενδιαιτημάτων (Dynamic Habitat Index DHIs) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς	112
Εικόνα 84 Κατάληψη γης με βάση τα προϊόντα Urban Atlas Land CoverLand Use 2012 και 2018, για την περιοχή Ιωαννίνων.	114
Εικόνα 85 Χάρτης πράσινης κάλυψης για το Εθνικό Πάρκο Πίνδου.	116
Εικόνα 86 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας Sum NDVI	136
Εικόνα 87 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας IARR- NDVI	138
Εικόνα 88 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας Dom- NDVI	139
Εικόνα 89 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index -LAI)	140
Εικόνα 90 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FVC)	142
Εικόνα 91 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας φαινολογίας φυτών (Plant Phenology Index - PPI)	144
Εικόνα 92 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Καθαρή κατάληψη γης (Net land take in cities and commuting zones)	146
Εικόνα 93 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αδιαπερατότητας (Imperviousness)	147
Εικόνα 94 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αλλαγών αδιαπερατότητας (Imperviousness change)	147
Εικόνα 95 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Κατακερματισμού Τοπίου (Landscape fragmentation pressure in Greece)	150
Εικόνα 96 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes)	151
Εικόνα 97 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Sum NDVI, όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	154
Εικόνα 98 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	156
Εικόνα 99 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	159
Εικόνα 100 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index -LAI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	161
Εικόνα 101 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης (Fractional Vegetation Cover -FVC), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	163
Εικόνα 102 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Φαινολογίας Φυτών (Plant Phenology Index-PPI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	166
Εικόνα 103 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Καθαρή κατάληψη γης (Net land take in cities and commuting zones) όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	167



Εικόνα 104 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αδιαπερατότητας (Imperviousness), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	168
Εικόνα 105 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Αλλαγών αδιαπερατότητας (Imperviousness), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	170
Εικόνα 106 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη κατακερματισμού τοπίου (Landscape fragmentation), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	171
Εικόνα 107 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS	173
Εικόνα 108 Αξιολόγηση του δείκτη ετήσιου ολοκλήρωματος του (annual NDVI integral NDVI-I)	178
Εικόνα 109 Αξιολόγηση του δείκτη ενδοετήσιου σχετικού εύρους NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI)	179
Εικόνα 110 Αξιολόγηση του δείκτη ημερομηνίας μέγιστου NDVI (Date of annual max DoM-NDVI)	180
Εικόνα 111 Αξιολόγηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας	181
Εικόνα 112 Αξιολόγηση του δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης (Fractional Vegetation Cover - FCover)	182
Εικόνα 113 Αξιολόγηση του δείκτη φαινολογίας βλάστησης (Plant Phenology Index -PPI)	183



ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΓΓΛΙΚΑ	
ANPP	Annual net primary production
API	Application Programming Interface
ARD	Analysis Ready Data
ATBD	Algorithm Theoretical Baseline Document
AWEI	Automated water extraction index
AWS	Amazon Web Services
AWS	Amazon Web Services
CC	Chlorophyll content
CDOC	dissolved organic carbon
CLC	CORINE Land Cover
CLCC	CORINE Land Cover Changes
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service
COGs	Cloud Optimized GeoTIFF
CWC	Canopy water content
DHI	Dynamic Habitat Index
DHIcum	Cumulative Annual Productivity
DHImin	Annual Minimum Productivity
DHIvar	Seasonal Variation in Productivity
Dom-NDVI	Date of annual maximum NDVI
ECV	Essential Climate Variable
ESA	European Space Agency
EUNIS	EUropean Nature Information System
EVI	Enhanced Vegetation Index
EWT	Equivalent Water Thickness
FAPAR	Fraction of absorbed photosynthetic active radiation
FCOVER	Fractional Vegetation Cover
FGs	Fragmentation Geometries
GBM	Gradient Boosting Machine
GCOS	Global Climate Observing System
GEE	Google Earth Engine
GIFAPAR	Green Instantaneous FAPAR
GIS	Geographic Information System
GLM	Generalized Linear Model
GPP	Gross Primary Production
GVMI	Global Vegetation Moisture Index
HRL	High Resolution Layer
IARR-NDVI	Intra-relative range IARR-NDVI



LAI	Leaf Area Index
LAIgreen	Green Leaf Area Index
LULC	Land Use and Land Cover
meff	Effective Mesh Size
MGRS	Military Grid Reference System
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index
MSI	Moisture Stress Index
N2k	Natura 2000
NBP	net biome productivity
NDCI	Normalized Difference Chlorophyll Index
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDTI	Normalized Difference Thermal Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI-I	Annual NDVI integral
NDWI	Normalized Difference Water Index
NEP	net ecosystem productivity
NPP	Net Primary Production
NPP	Net Primary Production
OSM	Open Street Map
PAR	Photosynthetic Active Radiation
PPI	Plant Phenology Index
RF	Random Forest
RTM	Radiative Transfer Models
seff	Effective Mesh Density
SHDI	Shannon Diversity Index
SIDI	Simpson index
SITS	Satellite Image Time Series
SLA	Specific leaf area
SLC	Single Look Complex
SMA	Soil Moisture Anomaly
STVI	Sentinel-2 Triangular Vegetation Index
SWI	Sentinel-2 Water Index
TCD	Tree Cover Density
TCI	Terrestrial Chlorophyll Index
VCI	Vegetation Condition Index
VI	Vegetation Index
WRI	Water Ratio Index
EEA	European Environment Agency
EO	Earth observation



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν τεύχος συντάχθηκε στα πλαίσια της ΔΡΑΣΗΣ Β.3 «Εφαρμογή ροών εργασιών που βασίζονται σε Παρατήρηση Γης με βάση δορυφορικά δεδομένα και παραγωγή δεικτών βιοποικιλότητας», 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 ΔΡΑΣΗ Β.3 συνδέεται με την προπαρασκευαστική ΔΡΑΣΗ Α.3 «Καθορισμός της δομής και θεματικής οργάνωσης του Πληροφοριακού Συστήματος EL-BIOS», η οποία προσδιορίζει τις ανάγκες των χρηστών σε όλους τους θεματικούς τομείς/κοινότητες όσον αφορά τους δείκτες βιοποικιλότητας. Η Δράση έχει σκοπό να σχεδιάσει ροές εργασιών επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΕΟ) για την παραγωγή δεικτών βιοποικιλότητας, σε εθνική κλίμακα, οι οποίες υλοποιούνται στο πίσω μέρος της εφαρμογής (back-end) του EL-BIOS και θα διατίθενται στους χρήστες του EL-BIOS. Η περιγραφή των ροών επεξεργασίας και η κωδικοποίηση επιστημονικών μεθόδων και τεχνογνωσίας για την παραγωγή Δεικτών Βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ), θα επιτρέψουν την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καθώς και την χρήση των παραγόμενων προϊόντων από χρήστες του EL-BIOS για σκοπούς πέρα από αυτών για τους οποίους κατασκευάστηκαν αρχικά.

Η Δράση αποτελείται από πέντε επιμέρους υποδράσεις:

B.3.1 Μοντελοποίηση των δεικτών βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ)

B.3.2 Προσδιορισμός των αλγορίθμων των δεικτών βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ).

B.3.3 Σχεδιασμός αλγορίθμων για τους δείκτες βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ).

B.3.4 Κατασκευή των υπηρεσιών EL-BIOS Παρατήρησης Γης για την παραγωγή των δεικτών βιοποικιλότητας (ΔΒΠΓ).

B.3.5 Επικύρωση και τεχνική επαλήθευση των υπηρεσιών EL-BIOS Παρατήρησης Γης

Η παρούσα έκθεση με τίτλο «Ανάπτυξη Υπηρεσιών Παρατήρησης Γης και έκθεση επικύρωσης», παρουσιάζει τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια των υπο-δράσεων Β.3, και διαρθρώνεται σε πέντε κύριες ενότητες:

Η Ενότητα 1 επικεντρώνεται στα αποτελέσματα της υποδράσης Β.3.1 και αφορά την ανάλυση υφιστάμενων αλγορίθμων και δορυφορικών δεδομένων παρατήρησης γης για την παραγωγή



δεικτών βιοποικιλότητας. Με βάση την ανάλυση των απαιτήσεων των διαφόρων θεματικών τομέων από την ΔΡΑΣΗ Α.3 εξετάστηκαν 23 υποψήφιοι δείκτες Βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης ΔΒΠΓ, αξιολογήθηκαν διάφοροι αλγόριθμοι και διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας δεδομένων, προκειμένου να προσδιοριστεί η πιο ακριβής και αξιόπιστη προσέγγιση για την ενσωμάτωσή τους στο σύστημα του EL-BIOS.

Η Ενότητα 2 επικεντρώνεται στα αποτελέσματα της υποδράσης Β.3.2 και αφορά τον προσδιορισμό των αλγορίθμων των ΔΒΠΓ και την κατάρτιση της θεωρητικής τους (Algorithm Theoretical Baseline Document-ATBD) για την κατασκευή των δεικτών όπως έχουν προγραμματιστεί στη βιβλιοθήκη επεξεργασίας EL-BIOS. Δίνεται ο ορισμός του δείκτη, αναλύεται η μεθοδολογία, και τα στάδια επεξεργασίας δεδομένων, καθώς παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των εργασιών.

Η Ενότητα 3 εστιάζει στα αποτελέσματα της υποδράσης Β.3.3 και αφορά τον σχεδιασμό αλγορίθμων για τους ΔΒΠΓ. Περιλαμβάνει το σχεδιασμό των ρών για την ανάλυση των δεδομένων Παρατήρησης Γης, οι οποίες υλοποιούνται στο back end του EL-BIOS και θα διατίθενται στους χρήστες του EL-BIOS μέσω του front-end.

Η Ενότητα 4 αναφέρεται στα αποτελέσματα της υποδράσης Β.3.4 και περιγράφει εν συντομία την κατασκευή των υπηρεσιών EL BIOS για την παραγωγή των ΔΒΠΓ.

Τέλος, η Ενότητα 5 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της υποδράσης Β.3.5 σχετικά με την επικύρωση και τεχνική επαλήθευση των υπηρεσιών Παρατήρησης Γης του EL-BIOS. Οι ΔΒΠΓ που δημιουργήθηκαν μέσω του συστήματος EL-BIOS αξιολογήθηκαν σε σχέση με τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τα συνηθισμένα εργαλεία επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων ή με έτοιμα προϊόντα από δεδομένα Παρατήρησης Γης. Τα μέτρα επικύρωσης περιλαμβάνουν τα μέτρα ακρίβειας και πληρότητας.



EXECUTIVE SUMMARY

This report has been prepared in the framework of ACTION B.3 “Implementation of EO workflows based on satellite data and production of EO biodiversity indicators” of the project EL-BIOS hELlenic BIODiversity Information System: an innovative tool for biodiversity conservation, which is co-funded by the LIFE Programme of the European Union and implemented by the Green Fund and co-beneficiaries, the Organisation for the Natural Environment and Climate Change (NECCA), the Aristotle University of Thessaloniki-Department of Surveying and Surveying Engineering, The Goulandris Natural History Museum/Greek Biotope Wetland Centre (EKBY), the University of Thessaly - Department of Electrical and Computer Engineering (DECE), the European Topic Centre of the University of Malaga (ETC-UMA) in Spain and OLYMPOS CONSULTING P. C.

ACTION B.3 is linked to the preparatory ACTION A.3 "Definition of structure, thematic domains, indicators (EO based and traditional) to be included in EL-BIOS", which identified the needs of users in all thematic sectors/communities regarding biodiversity indicators. The ACTION aims to design and develop workflows for EO data processing at national scale to extract prioritized EO-based indicators which are implemented in the back-end of EL-BIOS and will be made available to EL-BIOS users. The description of the processing chains and the encoding of scientific methods and know-how for the production of EO biodiversity indicators will allow the assessment of the reproducibility of the results, as well as facilitate their use by users with different levels of expertise and in all geographical areas of Greece and could be be reused for objectives other than those for which they were originally developed.

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

B.3.1 Biodiversity indicators modelling

B.3.2 Specification of the EO Biodiversity indicators algorithms

B.3.3 Design of the Biodiversity indicators algorithms

B.3.4 Construction of EL-BIOS EO services for the production of biodiversity indicators.

B.3.5 Validation and Technical verification of EL-BIOS EO services

This report entitled “EO services development and Validation Report” summarizes work carried out under sub-actions B.3

This deliverable is divided into five main sections.

Section 1 focuses on the results of sub-action B.3.1 and concerns the analysis of available geospatial algorithms (GIS and image processing) and EO data for the production of biodiversity indicators. Based on the analysis of the requirements of the different thematic areas from Action A.3, 23 EO indicators were examined, different algorithms and different levels of data processing were evaluated in order to determine the most accurate and reliable approach for integration into the EL-BIOS system.



Section 2 is concerned with the results of sub-action B.3.2, which pertains to the identification of the algorithms of the EO biodiversity indicators and the preparation of the Algorithm Theoretical Baseline Document (ATBD) for the construction of the indicators as programmed in the EL-BIOS processing library. The definition of the index is provided, the methodology is presented, and the data processing steps are outlined, along with the workflow diagrams.

Section 3 is concerned with the results of sub-action B.3.3, which pertains to the design of algorithms for biodiversity indicators. This includes the design of the EO processing chains, which are implemented in the back end of EL BIOS and will be made available to EL-BIOS users.

Section 4 presents the results of sub-action B.3.4 and provides a brief description of the construction of the EL BIOS services for the production of EO biodiversity indicators.

Finally, Section 5 presents the results of sub-action B.3.5 which pertains to the validation and technical verification of the EL-BIOS EO services. The EO biodiversity indicators generated through the EL-BIOS information system were validated against results obtained with standard geospatial data processing tools (GIS and imagery) or with ready products of very high spatial resolution. The validation statistics include four measures of accuracy.



1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Για τις ανάγκες της δράσης και την αξιολόγηση των δεικτών βιοποικιλότητας, όπως προέκυψαν από τις προηγούμενες δράσεις (A.2- A.3) χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαλεία:



ArcGIS (Geographic Information System) είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, τη διαχείριση, την ανάλυση και την εμφάνιση γεωχωρικών δεδομένων. Περιλαμβάνει διάφορα εργαλεία για τη διαχείριση χωρικών δεδομένων, τη δημιουργία χαρτών, την ανάλυση γεωχωρικών σχέσεων, και την εκτέλεση γεωχωρικών επερωτήσεων.



QGIS (Quantum GIS) είναι ένα δωρεάν και ανοικτού κώδικα λογισμικό GIS που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, την επεξεργασία, την ανάλυση και την απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων.



Το λογισμικό SNAP αναπτύχθηκε από την ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (European Space Agency - ESA) και παρέχει εργαλεία για την επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών εικόνων, ειδικά των Sentinel-1 και Sentinel-2.



Το GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) είναι μια βιβλιοθήκη λογισμικού που παρέχει εργαλεία και βιβλιοθήκες για την ανάγνωση, την εγγραφή και την επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων και δορυφορικών εικόνων.



Η Python προσφέρει ένα πλούσιο σύστημα βιβλιοθηκών για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης δεδομένων, της μηχανικής μάθησης, της ανάπτυξης ιστοσελίδων, του επιστημονικού υπολογισμού και της γεωχωρικής ανάλυσης.



Το GeoPandas είναι μια βιβλιοθήκη Python ανοικτού κώδικα που επεκτείνει τις δυνατότητες της βιβλιοθήκης Pandas για τον χειρισμό γεωχωρικών δεδομένων.



Η Xarray είναι μια βιβλιοθήκη Python ανοικτού κώδικα που έχει σχεδιαστεί για την εργασία με πολυδιάστατους πίνακες με ετικέτες. Βασίζεται πάνω στη βιβλιοθήκη NumPy και παρέχει πρόσθετη λειτουργικότητα για την εργασία με επισημασμένες δομές δεδομένων, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για την ανάλυση πολυδιάστατων πινάκων



Η R είναι μια γλώσσα προγραμματισμού και ένα περιβάλλον σχεδιασμένο για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικά. Χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων, τη στατιστική μοντελοποίηση και την οπτικοποίηση δεδομένων με τη πολλών στατιστικών πακέτων και πακέτων ανάλυσης δεδομένων.



Το Google Earth Engine είναι μια πλατφόρμα βασισμένη στο υπολογιστικό νέφος που αναπτύχθηκε από την Google για γεωχωρική ανάλυση παγκόσμιας κλίμακας. Παρέχει ένα τεράστιο και ποικίλο σύνολο δορυφορικών εικόνων και συνόλων γεωχωρικών δεδομένων μαζί με ισχυρές



υπολογιστικές δυνατότητες, επιτρέποντας την ανάλυση, την οπτικοποίησης και την ερμηνεία δεδομένων ΕΟ

1.1.1 Δορυφορικά δεδομένα

Σε συνέχεια των υπο-δράσεων A.2.2 και A.2.3 και την ενδελχής ανασκόπηση δεδομένων Παρατήρησης Γης, για την υλοποίηση της δράσης B.3 επιλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα του Προγράμματος Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Συγκεκριμένα εξετάστηκαν ως προς τη χωρική, φασματική και χρονική τους ανάλυση και την εξυπηρέτηση των αναγκών του έργου EL-BIOS, δεδομένα των αποστολών Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 και προϊόντα υψηλής ανάλυσης (HRL) (όπως περιγράφονται στο παραδοτέο «A.2.3 State of the art Review - Environmental Information Systems and EO systems» της Δράσης A.2.

1.1.1.1 Έτοιμα προς ανάλυση δεδομένα τηλεπισκόπησης

Τα έτοιμα προς ανάλυση δεδομένα (Analysis Ready Data-ARD) στη επιστήμη της τηλεπισκόπησης αναφέρονται σε προ-επεξεργασμένα δεδομένα Παρατήρησης Γης που έχουν ήδη υποστεί ορισμένες διαδικασίες επεξεργασίας, προκειμένου να είναι έτοιμα για ανάλυση ή χρήση με ελάχιστη πρόσθετη προσπάθεια. Τα ARD μπορεί να έχουν υποστεί διάφορους τύπους επεξεργασίας, όπως βαθμονόμηση, γεωμετρική αναγωγή, μείωση θορύβου κ.α. Αυτό κάνει τα ARD κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση περιβαλλοντικών αλλαγών και η ανάλυση εδαφών. Τα ARD είναι συνήθως προσβάσιμα μέσω διαφόρων διαδικτυακών εφαρμογών.

Οι εικόνες Sentinel-2 επιπέδου 1C (Level-1C): Πρόκειται για προ-επεξεργασμένες εικόνες από τους δορυφόρους Sentinel-2 της ESA στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus, στις οποίες έχει εφαρμοστεί ορθοαναγωγή και υπολογισμός της ανάκλασης στην κορυφή της ατμόσφαιρας.

Οι εικόνες Sentinel-2 επιπέδου 2A (Level-2A) αναφέρονται σε προεπεξεργασμένες εικόνες στις οποίες έχει εφαρμοστεί ατμοσφαιρική διόρθωση και παρέχουν τιμές επιφανειακής ανάκλασης. Η επεξεργασία Level-2A διασφαλίζει ότι οι εικόνες έχουν διορθωθεί για ατμοσφαιρικά σφάλματα, επιτρέποντας πιο ακριβή και αξιόπιστη ανάλυση.

Το σύνολο δεδομένων **Sentinel-2 Level-2A Cloud Optimized** είναι το ίδιο με το σύνολο δεδομένων Sentinel-2 Level-2A, με τη διαφορά ότι τα αρχεία JP2K μετατράπηκαν σε Cloud-Optimized GeoTIFFs (COGs). Επιπλέον, τα μεταδεδομένα του SpatioTemporal Asset Catalog έχουν συμπεριληφθεί σε μορφή αρχείου JSON μαζί με τα δεδομένα STAC API με την ονομασία Earth-search, το οποίο προσφέρει ελεύθερη αναζήτηση στο αρχείο. Αυτό το σύνολο δεδομένων περιέχει όλες τις σκηνές του αρχικού συνόλου δεδομένων Sentinel-2 και είναι διαθέσιμα δωρεάν από τον Απρίλιο του 2017 για την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και παγκοσμίως από τον Δεκέμβριο του 2018

Τα **προϊόντα υψηλής ανάλυσης (HRL)** του Copernicus παρέχουν πληροφορία που προέρχεται από δορυφορικές εικόνες υψηλής έως πολύ υψηλής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων από Sentinel-1 και Sentinel-2. Τα προϊόντα HRLs περιγράφονται αναλυτικά στο παραδοτέο «A.2.3 State of the art Review - Environmental Information Systems and EO systems» της Δράσης A.2.



1.1.2 Πάροχοι δεδομένων

Για τη διασφάλιση της δωρεάν παροχής δορυφορικών δεδομένων εξετάστηκαν οι παρακάτω πάροχοι:

Amazon Web Services της Amazon¹

	<p>· Διαθέτει ανοικτά δεδομένα παρατήρησης της Γης και παρέχει υποδομή για τη δημιουργία εφαρμογών επεξεργασίας. Δεν παρέχονται ειδικά εργαλεία παρατήρησης της Γης.</p>	<p><u>Πρόσβαση</u> AWS account εγγραφή</p>	<p>Δωρεάν πρόσβαση σε δεδομένα, εμπορική υποδομή</p>
---	--	--	--

Η Amazon Web Services (AWS) είναι μια θυγατρική της Amazon, η οποία παρέχει κατά παραγγελία πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους και API σε ιδιώτες, εταιρείες και κυβερνήσεις. Η AWS προσφέρει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους, όπως υπολογιστική ισχύ, αποθήκευση, βάσεις δεδομένων, μηχανική μάθηση, ανάλυση και άλλα.

Όσον αφορά τις δορυφορικές εικόνες, η AWS παρέχει πρόσβαση σε τεράστιο όγκο δορυφορικών δεδομένων μέσω της υπηρεσίας AWS Ground Station, η οποία επιτρέπει στους πελάτες να κατεβάσουν δεδομένα απευθείας από τους δορυφόρους στα κέντρα δεδομένων της AWS για άμεση επεξεργασία και ανάλυση. Επιπλέον, η AWS φιλοξενεί στην πλατφόρμα της διάφορα σύνολα δεδομένων δορυφορικών εικόνων, όπως δεδομένα Sentinel, δεδομένα Landsat και εμπορικές δορυφορικές εικόνες από παρόχους όπως η DigitalGlobe (τώρα Maxar) και η Airbus Defence and Space. Αυτά τα σύνολα δεδομένων διατίθενται στους χρήστες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, της γεωργίας, του αστικού σχεδιασμού και της αντιμετώπισης καταστροφών.

Planetary Computer της Microsoft²

	<p>Διαθέτει ανοικτά δεδομένα παρατήρησης της Γης και παρέχει υποδομή για τη δημιουργία εφαρμογών επεξεργασίας. Δεν παρέχονται ειδικά εργαλεία παρατήρησης της Γης.</p>	<p><u>Πρόσβαση</u> Microsoft Azure εγγραφή</p>	<p>Δωρεάν πρόσβαση σε δεδομένα, εμπορική υποδομή</p>
---	--	--	--

Ο Planetary Computer της Microsoft είναι μια πλατφόρμα που επιτρέπει στους χρήστες να αξιοποιήσουν τη δύναμη του νέφους και αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: α) τον Κατάλογο Δεδομένων ο οποίος περιλαμβάνει petabytes δεδομένων περιβαλλοντικής παρακολούθησης, σε συνεκτικές, έτοιμες για ανάλυση μορφές. Όλα τα σύνολα δεδομένων είναι προσβάσιμα μέσω του Azure Blob Storage και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από προγραμματιστές είτε εργάζονται εντός είτε εκτός του Planetary Computer Hub, β) APIs που επιτρέπουν στους χρήστες να αναζητούν τα δεδομένα που χρειάζονται στο χώρο και στο χρόνο, γ) Το Hub, ένα πλήρως διαχειριζόμενο υπολογιστικό περιβάλλον που επιτρέπει την επεξεργασία τεράστιων συνόλων γεωχωρικών δεδομένων, δ) διάφορες εφαρμογές σχετικά με το περιβάλλον.

¹ <https://aws.amazon.com/>

² <https://planetarycomputer.microsoft.com/>



Google Earth Engine³

	<ul style="list-style-type: none">· Φιλοξενεί αρχείο δεδομένων Landsat, Copernicus και άλλων ελεύθερων δεδομένων παρατήρησης της Γης.· Παρέχει APIs και άλλα εργαλεία που επιτρέπουν την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων	<u>Πρόσβαση</u> Google account εγγραφή	Δωρεάν με εμπορική άδεια
---	---	--	--------------------------------

Το Google Earth Engine (GEE) είναι μια πλατφόρμα στο νέφος (cloud-based) για γεωχωρική ανάλυση σε παγκόσμια κλίμακα. Προσφέρει πρόσβαση σε ένα τεράστιο αρχείο δεδομένων Παρατήρησης Γης, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών εικόνων Sentinel και Landsat. Η πρόσβαση στο GEE μπορεί να γίνει μέσω μιας διαδικτυακής διεπαφής ή προγραμματιστικά μέσω του JavaScript API και του Python API. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να πραγματοποιούν αναλύσεις και να αναπτύσσουν εφαρμογές χρησιμοποιώντας την τεράστια συλλογή δεδομένων και υπολογιστικών πόρων του. Αξίζει να σημειωθεί ότι το GEE προσφέρει σημαντικό μέρος της λειτουργικότητάς του δωρεάν σε ερευνητές, εκπαιδευτικούς και μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς. Τα premium χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα μέσω συνδρομητικών μοντέλων για εμπορικούς χρήστες. Η προσβασιμότητα, η επεκτασιμότητα και οι πλούσιες προσφορές συνόλων δεδομένων του GEE το έχουν καταστήσει δημοφιλή επιλογή για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών της επιστήμης της Γης.

Copernicus Sentinel Hub⁴

	<ul style="list-style-type: none">· Παρέχει δεδομένα πολυφασματικών και πολυχρονικών δορυφορικών εικόνων.· Προσφέρει πρόσβαση σε δεδομένα από τους δορυφόρους Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 και Landsat.· Προσφέρει συνδρομητικά πακέτα προσαρμοσμένα στις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών, με μια δωρεάν βαθμίδα διαθέσιμη για ερευνητές και εκπαιδευτικούς	<u>Πρόσβαση</u> Συνδρομητικά, περιορισμένη δωρεάν
---	--	---

Το Sentinel Hub είναι μια υπηρεσία δορυφορικών εικόνων μεγάλου όγκου δεδομένων, ικανή για πλήρως αυτοματοποιημένη αρχειοθέτηση, επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και διανομή δεδομένων τηλεπισκόπησης και συναφών προϊόντων ΕΟ. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν APIs για να ανακτούν δορυφορικά δεδομένα για τις περιοχές ενδιαφέροντος τους, με συγκεκριμένο χρονικό εύρος σε λίγα δευτερόλεπτα. Το Sentinel Hub API είναι μια διεπαφή RESTful API σε διάφορα αρχεία δορυφορικών εικόνων. Παρέχει πρόσβαση σε ακατέργαστα δορυφορικά δεδομένα, εικόνες, στατιστικές αναλύσεις και άλλα.

Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια ποικιλία δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εικόνων από τους δορυφόρους Sentinel-1, Sentinel-2 και Sentinel-3, καθώς και δεδομένων από άλλες πηγές όπως ο Landsat. Το Sentinel Hub προσφέρει διάφορα συνδρομητικά πακέτα προσαρμοσμένα στις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών, καθώς και μια δωρεάν βαθμίδα με περιορισμένη λειτουργικότητα, καθιστώντας το προσβάσιμο σε ερευνητές και εκπαιδευτικούς που θέλουν να εξερευνήσουν και να χρησιμοποιήσουν δεδομένα παρατήρησης της Γης για διάφορες εφαρμογές.

³ <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>

⁴ <https://docs.sentinel-hub.com/api/>



1.1.3 Επεξεργασία εικόνων

1.1.3.1 Φίλτρο Savitzky-Golay

Για την κατασκευή μιας υψηλής ποιότητας χωροχρονικής χρονοσειράς με τη χρήση δεδομένων Παρατήρησης Γης ειδικά για εφαρμογές όπως η ανίχνευση της φαινολογίας, ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η διασφάλιση της συνέχειας και της πληρότητας του συνόλου δεδομένων της χρονοσειράς (Pan et al., 2015). Οι δορυφορικές εικόνες που λαμβάνονται από οπτικούς αισθητήρες περιέχουν συνήθως θόρυβο λόγω των καιρικών συνθηκών και του μεταβαλλόμενου ηλιακού φωτισμού (Hird and McDermid, 2009; Sakamoto et al., 2010).

Για την παραγωγή υψηλής ποιότητας χρονοσειρών εικόνων, μετά από δοκιμή μεθόδων εξομάλυνσης επιλέχθηκε το φίλτρο Savitzky-Golay (Savitzky and Golay, 1964). Το φίλτρο Savitzky-Golay είναι μια δημοφιλής μέθοδος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνας για την εξομάλυνση δεδομένων και τη μείωση του θορύβου σε δεδομένα χρονοσειρών. Με την εφαρμογή του φίλτρου μειώνονται τυχαίες διακυμάνσεις ή θόρυβος που προκαλείται από ατμοσφαιρικές παρεμβολές, σφάλματα αισθητήρων ή άλλες πηγές.

Το φίλτρο Savitzky-Golay λειτουργεί προσαρμόζοντας διαδοχικά υποσύνολα γειτονικών σημείων δεδομένων με μια πολυωνυμική συνάρτηση χαμηλού βαθμού (συνήθως τετραγωνική ή κυβική) και στη συνέχεια χρησιμοποιεί τους συντελεστές αυτών των πολυωνυμικών προσαρμογών για την εξομάλυνση των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία φιλτραρίσματος μπορεί να βελτιώσει την ερμηνεία και την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, καθιστώντας τις σαφέστερες και πιο ελκυστικές οπτικά, ενώ παράλληλα διατηρεί αποτελεσματικά τα σημαντικά χαρακτηριστικά του σήματος, τα χωρικά χαρακτηριστικά και μοτίβα ενώ μειώνει το θόρυβο και τις ακραίες τιμές.

1.1.3.2 Φασματικοί δείκτες

Οι φασματικοί δείκτες αντιπροσωπεύουν εικόνες που προκύπτουν από μαθηματικές πράξεις που εφαρμόζονται στα κανάλια μίας ή διαφορετικών εικόνων. Κυρίως, αποτελούνται από λόγους των καναλιών, οι οποίοι κατασκευάζονται με βάση τις φασματικές ιδιότητες των αντικειμένων παρατήρησης.

Οι φασματικοί δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Πολλές μελέτες έχουν επισημάνει τη ραγδαία αύξηση της χρήσης των φασματικών δεικτών βλάστησης -κυρίως του (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI)- στη μελέτη της οικολογίας, καθώς και τις μεγάλες δυνατότητες των δεικτών για την κατανόηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών αλλαγών στα είδη και τους πληθυσμούς (Gillespie et al., 2008; Pettorelli et al., 2011, 2005), για την πιο άμεση εξαγωγή των υποκείμενων οικολογικών διεργασιών (Cabello et al., 2012) και για την κατανόηση των προτύπων της χερσαίας βλάστησης (Goward et al., 1985).

Οι δείκτες βλάστησης ως δεδομένα χρονοσειρών προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για το γήινο σύστημα και τη δυναμική της επιφάνειας της γης (Guyet and Nicolas, 2016).

1.1.4 Αλγόριθμοι

Για τους σκοπούς της δράσης B3, διάφοροι διαθέσιμοι αλγόριθμοι μελετήθηκαν ως προς την χρησιμότητα και ορθότητά τους για την κατασκευή των μοντέλων δεικτών βιοποικιλότητας όπως αυτοί προσδιορίστηκαν από τις Δράσεις A.2 και A.3.



1.1.4.1 Ο αλγόριθμος SNAP L2B

Η ελεύθερα διαθέσιμη πλατφόρμα εφαρμογών SNAP (Sentinel Application Platform), επιτρέπει στους χρήστες να παράγουν τα λεγόμενα προϊόντα επίπεδου επεξεργασίας L2B. Από τα κανονικοποιημένα δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης, εξάγεται ένα σύνολο βιοφυσικών παραμέτρων:

- - Leaf Area Index - LAI: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας
- - Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation - FAPAR: κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας
- - Fraction of Vegetation Cover - FCover: Κλάσμα πράσινης φυτοκάλυψης
- - Cab Leaf Chlorophyll - Cab : περιεκτικότητα του φύλλου σε χλωροφύλλη
- - Canopy Water Content - CWC: Περιεκτικότητα νερού σε επίπεδο κόμης

Ο αλγόριθμος SNAP L2B αναπτύχθηκε από τους Weiss και Baret (Weiss and Baret, 2016) και βασίζεται σε μια υβριδική προσέγγιση, κάνοντας χρήση μιας σειράς νευρωνικών δικτύων (Artificial Neural Networks -ANN) τα οποία έχουν προ-εκπαιδευτεί χρησιμοποιώντας μοντέλα RTM (Radiative Transfer Models) όπως το Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves (SAIL) και Leaf Optical Properties Spectra (PROSPECT) (Ferret et al., 2008; Verhoef et al., 2007).

Ο αλγόριθμος SNAP L2B, λόγω της ευκολίας χρήσης του και της ενσωμάτωσής του στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας SNAP, υιοθετείται συχνά σε μελέτες βιοφυσικών παραμέτρων, περιγράφεται ως γενικός και παρέχει λογικές ακρίβειες ανάκτησης σε όλους τους τύπους βλάστησης (Weiss and Baret, 2016) και αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματικός για περιοχές καλλιεργείων (Djamai et al., 2019; Vanino et al., 2018; Vuolo et al., 2016).

1.1.4.2 Ο αλγόριθμος παλινδρόμησης Ridge

Ο αλγόριθμος παλινδρόμησης Ridge (Ridge regression) (Tikhonov, 1943) είναι ένας επιβλεπόμενος αλγόριθμος μηχανικής μάθησης. Ο αλγόριθμος συρρικνώνει τους συντελεστές παλινδρόμησης θέτωντας περιορισμό (penalizing) ή, ισοδύναμα, θέτοντας έναν όριο στις πιθανές (μη μηδενικές) τιμές τους (Lazaridis et al., 2011). Ο αλγόριθμος παλινδρόμησης Ridge είναι από τις πιο κοινές μεθόδους για την εκτίμηση των συντελεστών παλινδρόμησης μεταβλητών με υψηλή συσχέτιση (Breiman, 1996).

1.1.4.3 Ο αλγόριθμος Gradient Boosting Machine (GBM)

Ο αλγόριθμος Gradient Boosting Machine (GBM) (Friedman, 2001) είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης για προβλήματα ταξινόμησης όσο και για προβλήματα παλινδρόμησης. Ο GBM συνδυάζει τις προβλέψεις πολλών "αδύναμων" μοντέλων μάθησης, προκειμένου να δημιουργήσει ένα ισχυρό μοντέλο που ενισχύει την ακρίβεια των προβλέψεων (Biau and Cadre, 2017). Δημιουργεί διαδοχικά «ρηχά» και αδύναμα δέντρα απόφασης με κάθε δέντρο να μαθαίνει και να βελτιώνει το προηγούμενο. Ελαχιστοποιεί το παραμένον σφάλμα (residual error) θέτωντας περιορισμό (penalizing) στη μεγάλη απόκλιση και επαναπροσαρμόζοντας τα υπόλοιπα (residuals) (Jozdani et al., 2019; Natekin and Knoll, 2013). Κατά συνέπεια, ο GBM μειώνει αποτελεσματικά τη διακύμανση (deviation) του μοντέλου χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο πολλών δέντρων απόφασης και το συστηματικό σφάλμα (bias) μέσω της μοντελοποίησης του διαδοχικού σφάλματος (Touzani et al., 2018).



1.1.4.4 Ο αλγόριθμος Generalized Linear Model (GLM)

Ο αλγόριθμος Generalized linear model (GLM) (Wang and Yang 2000) αποτελεί επέκταση της μοντελοποίησης παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων για μεταβλητές απόκρισης μη κανονικής (no Gaussian) κατανομής σφάλματος (Landry, 2018; Schwarz and Zimmermann, 2005). Ο GLM χρησιμοποιεί μια τεχνική κανονικοποίησης, συνδυάζοντας διάφορα στατιστικά μοντέλα (Poisson, linear, logistic) (Landry, 2018), προσθέτοντας μεροληψία στη συνάρτηση κόστους (cost function) και θέτωντας περιορισμούς (penalizing) στους μεγάλους συντελεστές του μοντέλου καθιστώντας έτσι το τελικό μοντέλο λιγότερο πολύπλοκο.

1.1.4.5 Ο αλγόριθμος Random Forest (RF)

Ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης Random Forest (RF) (Breiman, 2001), χρησιμοποιείται σε προβλήματα ταξινόμησης και ανάλυσης παλινδρόμησης. Αποτελεί μια μέθοδο εκμάθησης συνόλου (ensemble learning), η οποία συνδυάζει τα αποτελέσματα πολλών απλών μοντέλων μηχανικής μάθησης, γνωστών ως δέντρα αποφάσεων. Ο αλγόριθμος λειτουργεί δημιουργώντας πολλά δέντρα αποφάσεων κατά την εκπαίδευση, κάθε ένα από τα οποία κατασκευάζεται με τυχαίο τρόπο χρησιμοποιώντας διαφορετικά υποσύνολα των δεδομένων εισόδου και χαρακτηριστικών. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ο αλγόριθμος RF συνδυάζει τις προβλέψεις από κάθε δέντρο για να προβλέψει το τελικό αποτέλεσμα (Εικόνα 1).

Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου RF, σημαντικές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν περιλαμβάνουν:

1. Αριθμός δέντρων (ntree): Ο αριθμός των δέντρων που θα χρησιμοποιηθούν στο σύνολο των δέντρων του δάσους. Μεγαλύτερος αριθμός δέντρων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη γενίκευση, αλλά μπορεί να αυξήσει τον χρόνο εκπαίδευσης και τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής.

2. Αριθμός των μεταβλητών εισόδου (Mtry): Ο αριθμός των χαρακτηριστικών που θα ληφθούν υπόψη κάθε φορά που διαμορφώνεται ένας κόμβος στο δέντρο. Η επιλογή λιγότερων χαρακτηριστικών μπορεί να μειώσει τον χρόνο εκπαίδευσης και να αποτρέψει την υπερπροσαρμογή.

3. Μέγιστο βάθος δέντρων (Maximum Tree Depth): Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος κάθε δέντρου. Μεγαλύτερο βάθος μπορεί να οδηγήσει σε πιο λεπτομερείς μοντέλα, αλλά μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής.

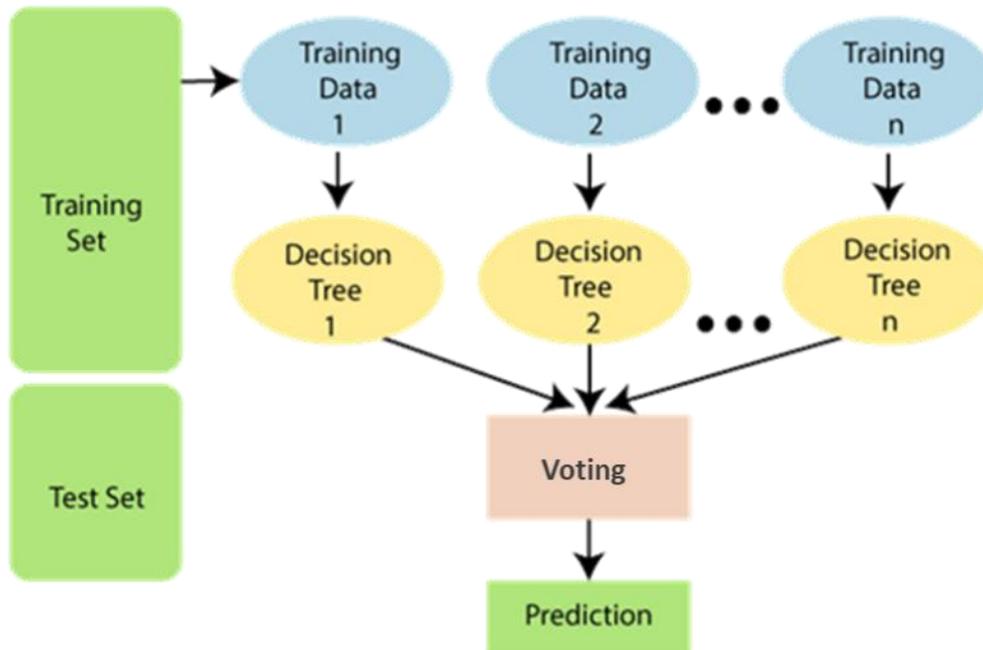
4. Μέγεθος του κόμβου (Node size): Το ελάχιστο αριθμό δειγμάτων που απαιτούνται για να δημιουργηθεί ένα κόμβος κατά την ανάπτυξη του δέντρου. Μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων μπορεί να μειώσει τον αριθμό των κόμβων, αλλά μπορεί να αυξήσει τον χρόνο εκπαίδευσης.

Η τεχνική αυτή του ensemble learning καθιστά τον Random Forest έναν ισχυρό αλγόριθμο με εξαιρετική ανθεκτικότητα στην υπερπροσαρμογή και υψηλή ακρίβεια στις προβλέψεις.

Ο RF χρησιμοποιείται ευρέως για τη χαρτογράφηση κάλυψης της γης (Deur et al., 2020; Ma et al., 2021; Quan et al., 2023; Sittaro et al., 2022; Upadhyay et al., 2020; Wicaksono and Lazuardi, 2019), λόγω της ικανότητάς του να διαχωρίζει σύνθετα πρότυπα στα δεδομένα και να αντιμετωπίζει την ανισορροπία των κλάσεων. Επίσης, παρέχει εκτιμήσεις πιθανότητας για κάθε κατηγορία, προσφέροντας έτσι πληροφορίες για τη βελτίωση της εμπιστοσύνης στις προβλέψεις του. Στις επιστήμες περιβάλλοντος ο RF είναι επίσης πολύ δημοφιλής σε προβλήματα παλινδρόμησης όπως



εκτίμηση δασικών παραμέτρων (Chrysafis et al., 2017), εκτίμηση βιοποικιλότητας (Chrysafis et al., 2020a; Mallinis et al., 2020), φυλλικής επιφάνειας (Wang et al., 2019a)



Εικόνα 1 Αλγόριθμος μηχανικής μάθησης Random Forest (RF)

1.1.4.6 Ο αλγόριθμος Super Learner Stacked Ensemble

Η μέθοδος stacking, είναι μια προσέγγιση μηχανικής μάθησης γνωστή και ως “Stacked Generalizations (Wolpert 1992). Πρώτα εκπαιδεύονται οι εκπαιδευτές βάσης (base learners) χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα εκπαίδευσης και στη συνέχεια εκπαιδεύεται ένας συνδυαστής ή μετααλγόριθμος, που ονομάζεται Super Learner, για να κάνει μια τελική πρόβλεψη με βάση τις προβλέψεις των base learners. Ο αλγόριθμος Super Learner (SL) οικοδομεί τον καλύτερο σταθμισμένο συνδυασμό προβλέψεων των base learners χρησιμοποιώντας διασταυρούμενη επικύρωση V-πτυχών (V-fold cross-validation) και αποφεύγοντας να δίνει αδικαιολόγητη βαρύτητα σε μοντέλα με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα (Fu et al., 2019; Naimi and Balzer, 2018). Τα στοιβαγμένα σύνολα (stacked ensembles) τείνουν να υπερτερούν σε απόδοση από τους μεμονωμένους base learners (π.χ. RF ή GBM) και έχει αποδειχθεί ότι αντιπροσωπεύουν ένα ασυμπτωτικά βέλτιστο σύστημα μάθησης.

1.1.4.7 Αλγόριθμος ανίχνευσης διανυσματικής αλλαγής

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης διανυσματικής αλλαγής (Change Vector Analysis-CVA) βασίζεται σε φασματικές μεταβλητές πριν και μετά από μια αλλαγή, οι οποίες όταν σχεδιαστούν σε ένα δισδιάστατο χώρο, το διάνυσμα που δημιουργείται εκφράζει μια αλλαγή. Χρησιμοποιώντας δύο φασματικούς διαύλους (π.χ. τον κόκκινο (R) και τον εγγύς υπέρυθρο (NIR)), υπολογίζεται το μέγεθος και η κατεύθυνση του διανύσματος για την ανίχνευση φασματικών αλλαγών, αντίστοιχα για τα ζευγη εικόνων πριν και μετά την αλλαγή (Maeda et al., 2011). Για τον υπολογισμό του μεγέθους του διανύσματος (μέγεθος αλλαγής) χρησιμοποιείται η ευκλείδεια απόσταση στον δισδιάστατο χώρο (π.χ. NIR-R), η οποία εκφράζεται από τον τύπο:



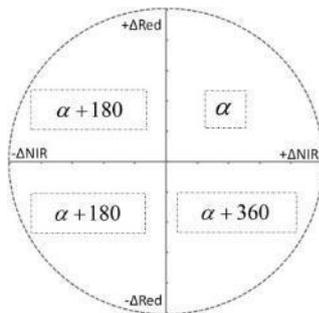
$$\mu = \sqrt{\Delta R^2 + \Delta NIR^2}$$

Η κατεύθυνση του διανύσματος (είδος αλλαγής) υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta R}{\Delta NIR}$$

όπου $\Delta R = R_{t2} - R_{t1}$, $\Delta NIR = NIR_{t2} - NIR_{t1}$ για τα έτη $t1$ και $t2$.

Για τις λαμβανόμενες ευκλείδειες αποστάσεις εφαρμόζεται ένα όριο (mean-std έως mean + std) μεταξύ των οποίων το μέγεθος της μεταβολής θεωρείται αμελητέο. Πχ για περίπτωση δυναμικής αλλαγής της κάλυψης γης, ο χαρακτηρισμός του τύπου της αλλαγής βασίζεται στο τεταρτημόριο στο οποίο ανήκε το κάθε διάνυσμα μεταβολής σύμφωνα με τα φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης και του νερού.

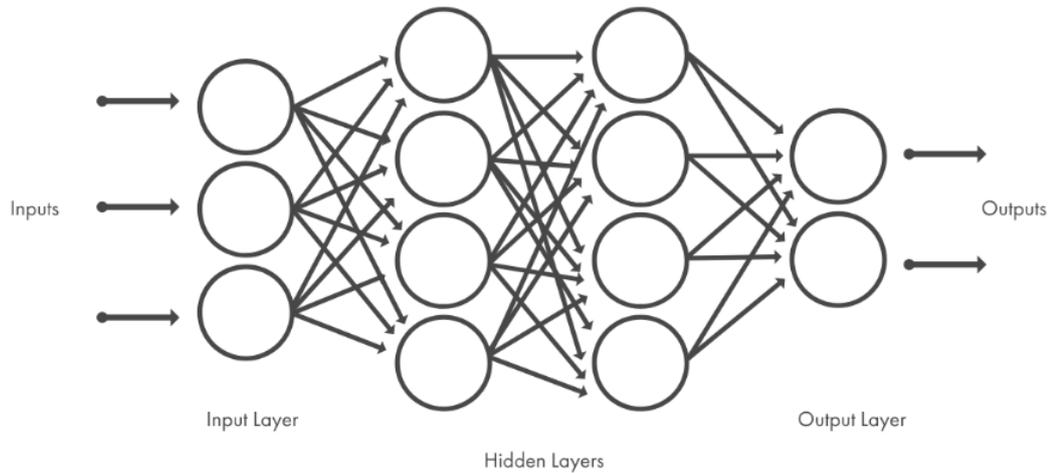


NIR	R	Τύπος μεταβολής
+	+	Μικρές αλλαγές στη βλάστηση
+	-	Αύξηση υγειούς βλάστησης
-	+	Μικρή αύξηση υγρασίας
-	-	Υποβάθμιση βλάστησης

Εικόνα 2 Τεταρτημόρια διανύσματος μεταβολής (Maeda et al., 2011) και τύπος αλλαγής σύμφωνα με τη θέση του διανύσματος μεταβολής

1.1.4.8 Μάθηση ασθενούς εποπτείας και η αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης FG-UNET

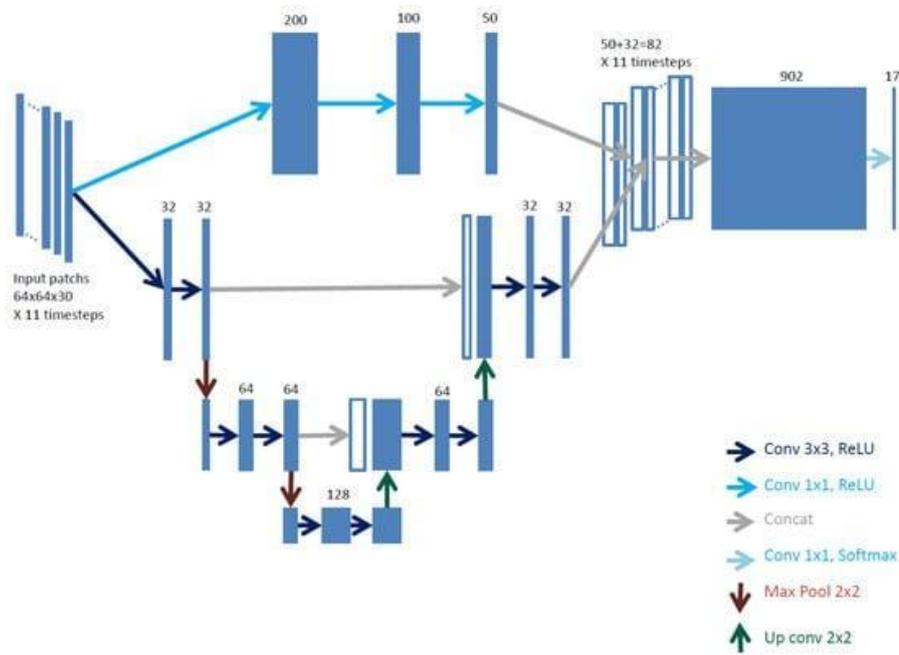
Η βαθιά μάθηση (Deep Learning – DL) είναι ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που βασίζεται στα νευρωνικά δίκτυα, εμπνευσμένα από τη δομή του εγκεφάλου. Τα δίκτυα DL αποτελούνται από διασυνδεδεμένα επίπεδα δεσμών (νευρώνων) που επεξεργάζονται δεδομένα εισόδου για να εντοπίζουν μοτίβα και να κάνουν προβλέψεις. Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν την εμπροσθοδιάδοση για τη δημιουργία εξόδων και την οπισθοδιάδοση για την προσαρμογή των βαρών, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα που προκύπτουν για να μάθουν από τα δεδομένα. Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks - CNNs), ένας εξειδικευμένος τύπος νευρωνικού δικτύου, επεξεργάζονται δεδομένα εικόνας χρησιμοποιώντας συνελκτικά και συγκεντρωτικά επίπεδα για την εξαγωγή ιεραρχικών χαρακτηριστικών, ακολουθούμενα από πλήρως συνδεδεμένα στρώματα για τις τελικές ταξινομήσεις. Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει εξαιρετικά αποτελεσματικές δυνατότητες αναγνώρισης εικόνων και προτύπων (“What Is Deep Learning?,” n.d.).



Εικόνα 3 Σχηματική αναπαράσταση τυπικής αρχιτεκτονικής νευρωνικού δικτύου (“What Is Deep Learning?,” n.d.)

Η DL ξεπερνά σε επιδόσεις τη μηχανική μάθηση, ωστόσο, απαιτεί πολύ μεγάλο αριθμό δειγμάτων για την εκπαίδευση μοντέλων. Λύση σε αυτό το ζήτημα έρχεται να προσφέρει η ασθενής εποπτεία στις μεθόδους DL, η οποία περιλαμβάνει τη δημιουργία μοντέλων με δεδομένα αναφοράς είτε i) μικρό σε αριθμό, ii) ανακριβή ή iii) που περιέχουν σφάλματα (Schmitt et al., 2020). Με τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου για την εκπαίδευσή τους, τέτοια δίκτυα έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας ισχυρών μοντέλων χαρτογράφησης κάλυψης γης.

Στην πρόσφατη βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση κάλυψης γης με δεδομένα ασθενούς εποπτείας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο Fine-Grained U-Net (FG-UNET) . Το δίκτυο FG-UNET βασίζεται στο UNET, προσαρμόζοντας το πεδίο υποδοχής και το βάθος του δικτύου για την καλύτερη καταγραφή λεπτομερειών σε εικόνες υψηλής ανάλυσης. Περιλαμβάνει ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο ανά εικονοστοιχείο για βελτιωμένη οριοθέτηση στοιχείων στην εικόνα και χειρίζεται τα διαχρονικά δεδομένα αναπαράγοντας το δίκτυο σε υποσύνολα χρονοσειρών. Αυτές οι προσαρμογές επιτρέπουν στο FG-UNET να παράγει ακριβέστερους και λεπτομερέστερους χάρτες κάλυψης γης, ιδιαίτερα χρήσιμους για εφαρμογές τηλεπισκόπησης υψηλής ανάλυσης.



Εικόνα 4 Αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης FG-UNET, για την δημιουργία μοντέλων κάλυψης γης με δορυφορικές εικόνες και δεδομένα ασθενούς εποπτείας (Stoian et al., 2019)



1.1.4.9 Το μοντέλο PROSPEC-SAIL

Το μοντέλο PROSPECT (leaf optical PROPERTIES SPECtra) PROSPECT (Jacquemoud and Baret, 1990) είναι σήμερα το πιο δημοφιλές φυσικό μοντέλο για την προσομοίωση των οπτικών ιδιοτήτων των φύλλων. Το PROSPECT προσομοιώνει την κατευθυντική-ημισφαιρική ανάκλαση (Black-sky Albedo - directional hemispherical reflectance) και διαπερατότητα των φύλλων από ένα συνδυασμό χημικών συστατικών και των αντίστοιχων ειδικών συντελεστών απορρόφησης, χρησιμοποιώντας μια απλουστευμένη αναπαράσταση της δομής των φύλλων για να λαμβάνει υπόψη τη σκέδαση (Allen et al., 1970).

Το PROSPECT συνδυάζεται με μοντέλα βλάστησης, όπως το COSINE (Jay et al., 2016) για τη φασματοσκοπία απεικόνισης κοντινής εμβέλειας και το SAIL (Verhoef, 1984) για τη μοντελοποίηση της ανακλαστικότητας της κόμης (Jacquemoud et al., 2009). Το συνδυασμένο μοντέλο PROSPECT και SAIL, που αναφέρεται επίσης ως PROSAIL (Jacquemoud et al., 2009), είναι το πλέον γνωστό για της μοντελοποίηση της ανακλαστικότητας της κόμης και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη λήψη βιοχημικών και δομικών μεταβλητών των φυτών (Féret and de Boissieu, 2024). Συνδέει τη φασματική μεταβολή της ανακλαστικότητας της βλάστησης, η οποία σχετίζεται κυρίως με το βιοχημικό περιεχόμενο των φύλλων, με την κατευθυντική μεταβολή της, η οποία σχετίζεται κυρίως με την αρχιτεκτονική της κόμης και την αντίθεση εδάφους/φυτικής βλάστησης.

Το PROSAIL έχει γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία μεταφοράς ακτινοβολίας (radiative transfer) λόγω της ευκολίας χρήσης, της γενικής ευρωστίας και της συνεπούς επικύρωσής του και μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με δεδομένα παρατήρησης της Γης (Féret and de Boissieu, 2024).

Μια έκδοση του prospect σε συνδυασμό με το SAIL είναι διαθέσιμη στο πακέτο της R prosail (Féret and de Boissieu, 2024). Το R prosail κατασκευάστηκε για εφαρμογές που εστιάζουν στην ανάλυση εικόνων παρατήρησης της Γης και επιτρέπει την προσομοίωση της ανάκλασης της κόμης για πολυφασματικούς και υπερφασματικούς αισθητήρες. Στο R prosail υλοποιούνται επίσης υβριδικές αντιστροφές που βασίζονται σε φυσική μοντελοποίηση και μηχανική μάθηση για την αξιολόγηση χαρακτηριστικών της βλάστησης από δεδομένα δορυφορικών εικόνων, συγκεκριμένα εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Support Vector Regression (SVR) σε δεδομένα raster προκειμένου να εκτιμηθούν οι βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης (Féret and de Boissieu, 2024).

1.2 Υποψήφιοι Δείκτες Βιοποικιλότητας βάσει δεδομένων Παρατήρησης Γης (ΔΒΠΓ)

1.2.1 Παρουσία επιφανειακών υδάτων

1.2.1.1 Περιγραφή

Τα επιφανειακά ύδατα είναι ζωτικής σημασίας για τα χερσαία οικοσυστήματα και αποτελούν κρίσιμο δείκτη της περιβαλλοντικής και κλιματικής αλλαγής (Zhang et al., 2019). Το εύρος και η εποχικότητα των επιφανειακών υδάτων (εσωτερικών και παράκτιων) επηρεάζεται τόσο από το κλίμα όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Vörösmarty et al., 2000) και επηρεάζει το κλίμα (Holgerson and Raymond, 2016), τη βιοποικιλότητα (Gardner et al., 2015) την πληθυσμιακή κατανομή και τον σχηματισμό οικοτόπων (Li et al., 2023).

Παγκόσμια σύνολα δεδομένων που τεκμηριώνουν το εύρος και την εποχικότητα των επιφανειακών υδάτων έχουν παραχθεί από απογραφές και εθνικές περιγραφές (Lehner and Döll, 2004), στατιστικές αναλύσεις περιφερειακών δεδομένων (Downing et al., 2006) και δορυφορικές



εικόνας (Feng et al., 2016; Li et al., 2023; Pekel et al., 2016). Ωστόσο, η μέτρηση των μακροπρόθεσμων αλλαγών σε υψηλή ανάλυση παραμένει πρόκληση. Η μηνιαία ή ετήσια έκταση των επιφανειακών υδάτων είναι δύσκολο να αντικατοπτρίζει την ενδομηνιαία δυναμική των επιφανειακών υδάτων, ιδίως για πλημμυρικές ή ξηρές περιόδους, όταν η έκταση των επιφανειακών υδάτων μπορεί να αλλάξει δραματικά σε σύντομο χρονικό διάστημα (Li et al., 2023).

1.2.1.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

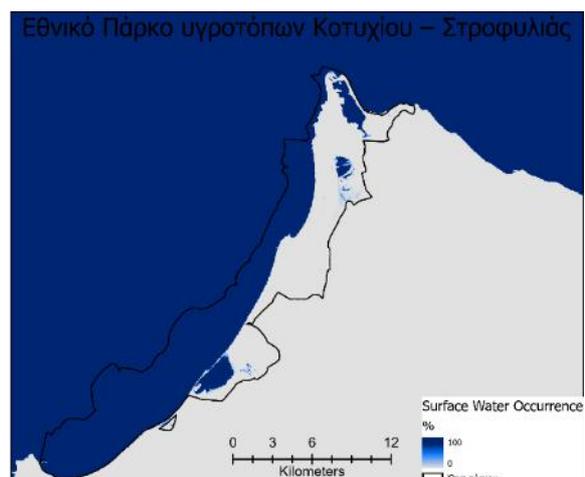
1.2.1.2.1 Προϊόν Παρατήρησης Γης για την παρουσία επιφανειακών υδάτων

Οι χωρικές και χρονικές μεταβολές της παρουσίας επιφανειακών υδάτων αποτυπώνονται στο προϊόν Surface Water Occurrence⁵ (SWO) και το οποίο έχει παραχθεί από το Joint Research Center της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το SWO δείχνει πού παρουσιάζονται επιφανειακά ύδατα μεταξύ 1984 και 2021 και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη συνολική δυναμική των υδάτων. Το προϊόν αυτό καταγράφει τόσο την ενδοετήσια όσο και τη διετή μεταβλητότητα και τις μεταβολές (Εικόνα 5).

Τα δεδομένα SWO έχουν προέρθει από την ανάλυση εικόνων Landsat, καλύπτουν τα έτη από 1984 έως 2021 και καταγράφουν τα επιφανειακά ύδατα σε μηνιαία βάση, σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων (Pekel et al., 2016). Ορισμένες εκτάσεις καλύπτονται από νερό καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου παρατήρησης (το 100% όλων των παρατηρήσεων ταξινομείται ως νερό), άλλες είναι πλημμυρισμένες για λίγους μήνες κάθε χρόνο (συχνά για τους ίδιους μήνες κάθε χρόνο), άλλες μόνο μετά από ακραία φαινόμενα και άλλες ποτέ (Pekel et al., 2016).

Το σύνολο δεδομένων SWO, υποστηρίζει εφαρμογές όπως η διαχείριση των υδάτινων πόρων, η μοντελοποίηση του κλίματος, η διατήρηση της βιοποικιλότητας και η επισιτιστική ασφάλεια.

Η Εικόνα 5 εμφανίζει παρουσία επιφανειακών υδάτων του προϊόντος Surface Water Occurrence (SWO) του Copernicus σε χωρική ανάλυση 30μ, για το έτος 2021, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



⁵ <https://global-surface-water.appspot.com/>

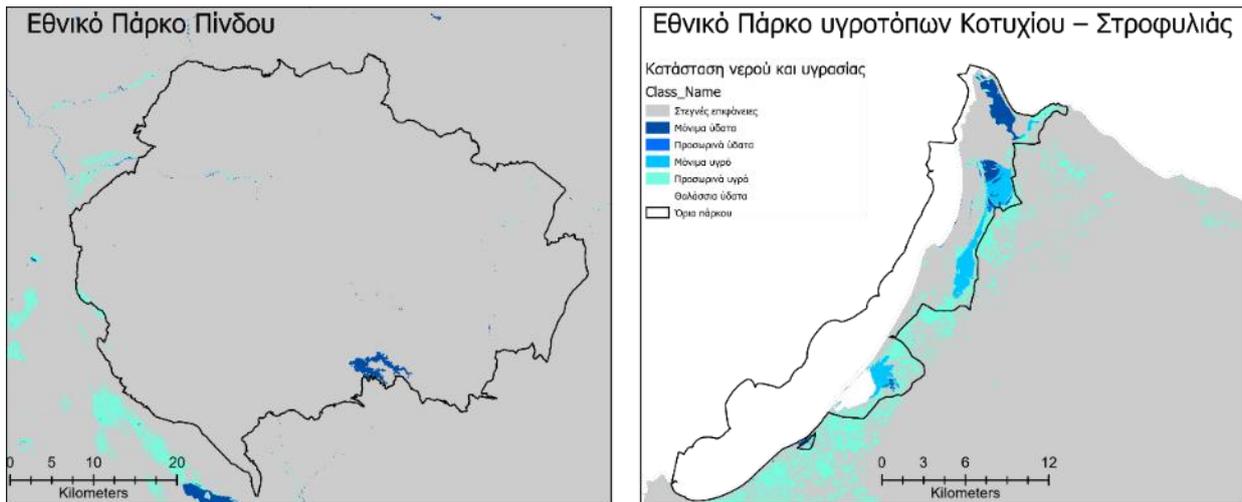


Εικόνα 5 Παρουσία επιφανειακών υδάτων του προϊόντος Surface Water Occurrence (SWO) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 30μ, για το έτος 2021, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.1.2.2 Προϊόν Παρατήρησης Γης για την παρουσία νερού και υγρασίας

Το προϊόν υψηλής χωρικής ανάλυσης νερού και υγρασίας (Water and Wetness-WaW 2018) της υπηρεσία Copernicus⁶ είναι ένα θεματικό προϊόν, το οποίο δείχνει την εμφάνιση νερού και εκτάσεων με υγρασία κατά την περίοδο από το 2012 έως το 2018. Το κύριο προϊόν Water and Wetness (WAW) ταξινομεί την υδατοκάλυψη και την υγρασία σε τέσσερις καθορισμένες κατηγορίες: (1) μόνιμα ύδατα, (2) προσωρινά ύδατα, (3) μόνιμη υγρασία και (4) προσωρινή υγρασία. Το σύνολο δεδομένων WAW παρέχεται ως εικόνες raster 10μ.

Η Εικόνα 6 εμφανίζει το προϊόν Water and Wetness (WaW) του Copernicus, για το έτος 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 6 Κατάσταση νερού και υγρασίας του προϊόντος Water and Wetness status (WaW) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το έτος 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.1.2.3 Προϊόν Παρατήρησης Γης για τις παραποτάμιες ζώνες

Οι παραποτάμιες ζώνες χρησιμεύουν ως ρυθμιστικές περιοχές μεταξύ της ξηράς και των υδάτινων οδών. Χαρακτηρίζονται από το μοναδικό συνδυασμό υδάτινων και χερσαίων ενδιαιτημάτων που είναι κρίσιμα για πολλά είδη φυτών και ζώων και παρέχουν ένα ευρύ φάσμα σημαντικών οικοσυστημικών υπηρεσιών, όπως το φιλτράρισμα των ρύπων από το νερό, η ρύθμιση των πλημμυρών και η αύξηση της υγείας του εδάφους (Weissteiner et al., 2016). Παίζουν επίσης κρίσιμο

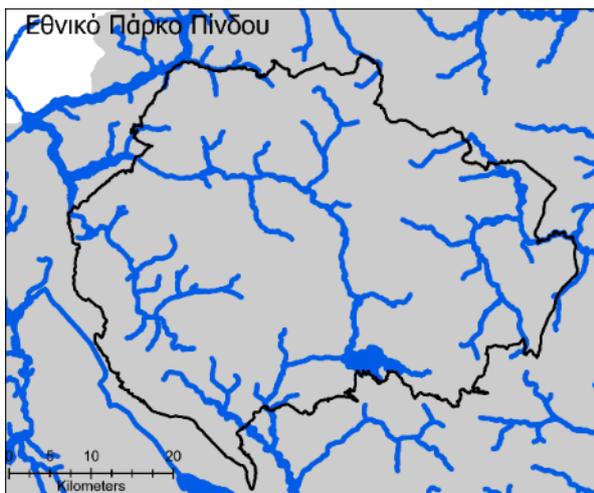
⁶ https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-water-and-wetness/water-and-wetness-status-2018#general_info



ρόλο στη ρύθμιση του τοπικού κλίματος, παρέχοντας δροσερές, πλούσιες σε υγρασία, σκιερές περιοχές στα γύρω οικοσυστήματα (ΕΕΑ., 2023).

Λόγω της πολυπλοκότητας και του δυναμικού χαρακτήρα τους, οι παρόχθιες ζώνες είναι δύσκολο να χαρτογραφηθούν με παραδοσιακές μεθόδους. Το προϊόν Riparian Zones Land Cover and Land Use της υπηρεσία Copernicus⁷ είναι σε θέση να προσφέρει στους χρήστες τυποποιημένους, ακριβείς χάρτες κάλυψης χρήσης και κάλυψης γης που αναδεικνύουν τις παρόχθιες ζώνες σε ολόκληρη την ευρωπαϊκή ήπειρο. Το προϊόν αυτό έχει μια σειρά εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση των χαρακτηριστικών των πλημμυρικών πεδίων, η παρακολούθηση ευαίσθητων οικοσυστημάτων και η ενημέρωση για πολιτικές αποφάσεις που σχετίζονται με τις ευρωπαϊκές υδάτινες οδούς και την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων γλυκού νερού. Ενημερώνεται κάθε έξι χρόνια και επί του παρόντος αποτελείται από τρία επίπεδα - για το 2012, το 2018 και των αλλαγών 2012-2018 (ΕΕΑ., 2023).

Η Εικόνα 7 εμφανίζει παραποτάμιες ζώνες του προϊόντος Riparian zones του Copernicus, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 7 Παραποτάμιες ζώνες του προϊόντος Riparian zones του Copernicus, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.1.2.4 Φασματικός δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (Normalized Difference Water Index NDWI) είναι ένας δείκτης για την διάκριση και οριοθέτηση των χαρακτηριστικών ανοικτών υδάτων, ενώ μπορεί επίσης να παρέχει εκτιμήσεις θολότητας υδάτινων σωμάτων (McFEETERS, 1996). Ο NDWI εκμεταλλεύεται την υψηλή ανακλαστικότητα του νερού στο πράσινο μήκος κύματος, την χαμηλή ανακλαστικότητα των υδάτινων περιοχών στο εγγύς υπέρυθρο, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη την μεγάλη του ανακλαστικότητα του εγγύς υπέρυθρου στη χερσαία βλάστηση.

Η εξίσωση υπολογισμού του NDWI για εικόνες Sentinel 2είναι

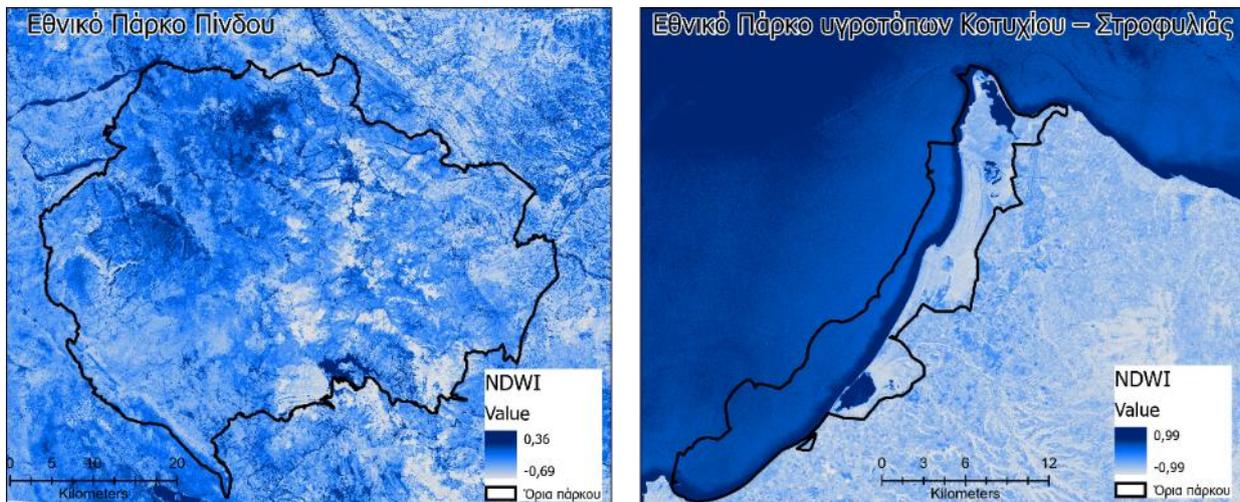
⁷ <https://land.copernicus.eu/en/products/riparian-zones>



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

Οι τιμές NDWI κυμαίνονται μεταξύ -1 και +1. Οι μεγαλύτερες από 0.5 τιμές αντιστοιχούν συνήθως σε υδάτινα σώματα. Η βλάστηση αντιστοιχεί συνήθως σε πολύ μικρότερες τιμές ενώ οι δομημένες περιοχές παίρνουν τιμές μεταξύ μηδέν και 0.2.

Η Εικόνα 8 παρουσιάζει τον δείκτη NDWI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς



Εικόνα 8 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (Normalized Difference Water Index -NDWI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.1.2.5 Φασματικός τροποποιημένος κανονικοποιημένος δείκτης νερού

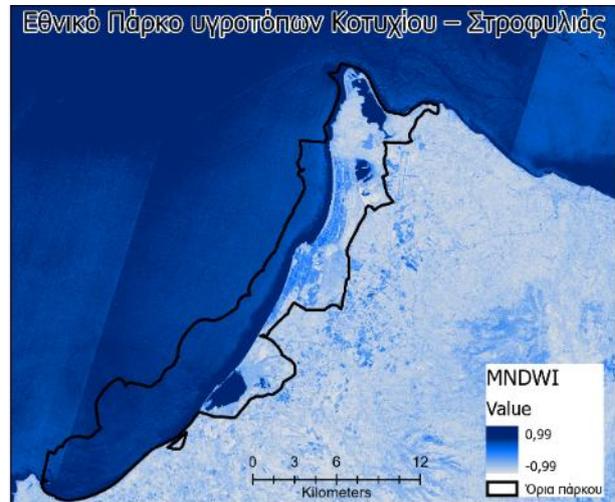
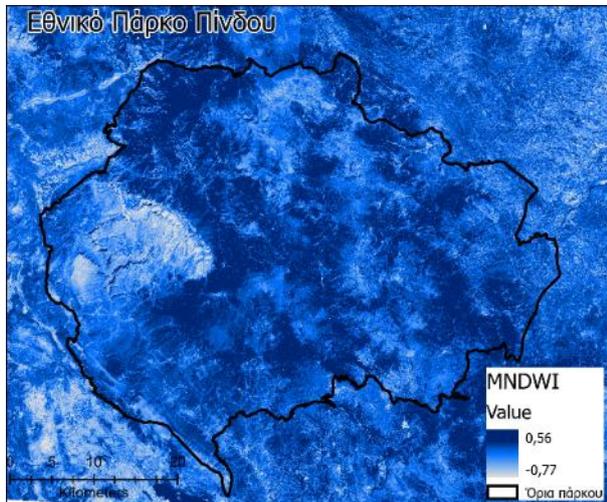
Ο τροποποιημένος κανονικοποιημένος δείκτης νερού (Modified Normalized Difference Water Index -MNDWI)(Χυ, 2006) είναι μια τροποποίηση του NDWI (McFEETERS, 1996) που χρησιμοποιεί το κοντίνο υπέρυθρο αντί το εγγύς υπέρυθρο. Ο MNDWI μπορεί να ενισχύσει τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων, ενώ μειώνει το θόρυβο λόγω της ύπαρξης δομημένων περιοχών, βλάστησης και εδάφους (Χυ, 2006)(Pan et al., 2020). Ο δείκτης MNDWI έχει εφαρμοστεί ευρέως για την παραγωγή χαρτών υδάτινων σωμάτων σε διάφορες κλίμακες (Du et al., 2016).

Η εξίσωση υπολογισμού του MNDWI για εικόνες Sentinel 2 είναι

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

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

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει τον δείκτη MNDWI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 9 Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος δείκτης νερού (Modified Normalized Difference Water Index -MNDWI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.1.2.6 Φασματικός αυτοματοποιημένος δείκτης νερού

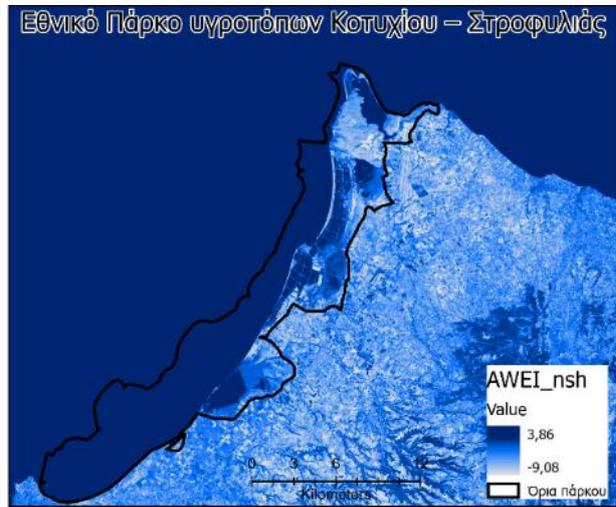
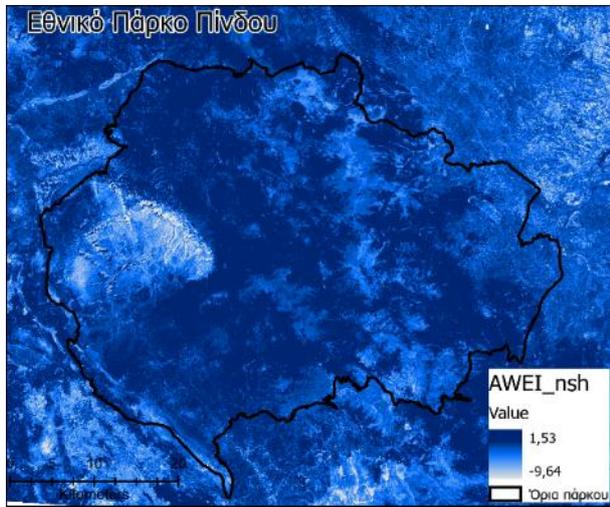
Για τη βελτίωση της ακρίβειας διάκρισης νερού παρουσία αντικειμένων υψηλής ανακλαστικότητας, όπως το χιόνι και οι αστικές περιοχές, αναπτύχθηκαν δυο αυτοματοποιημένοι δείκτες νερού (Automated Water Extraction Index-AWEI_nsh και_sh) (Feyisa et al., 2014). Ο AWEI_nsh (AWEI χωρίς σκιά) που χρησιμοποιείται όταν οι σκιές δεν επιφέρουν θόρυβο στην εικόνα ενώ, ο AWEI_sh (AWEI με σκιά) εφαρμόζεται για τη βελτίωση της ακρίβειας στην εξαγωγή υδάτινων σωμάτων όταν στη σκηνή υπάρχουν περιοχές με σκιές (Feyisa et al., 2014).

Οι εξισώσεις υπολογισμού του δεικτών AWEI για εικόνες Sentinel 2 είναι

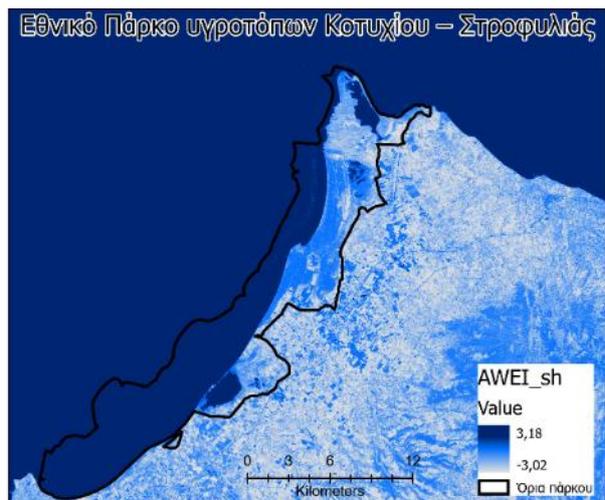
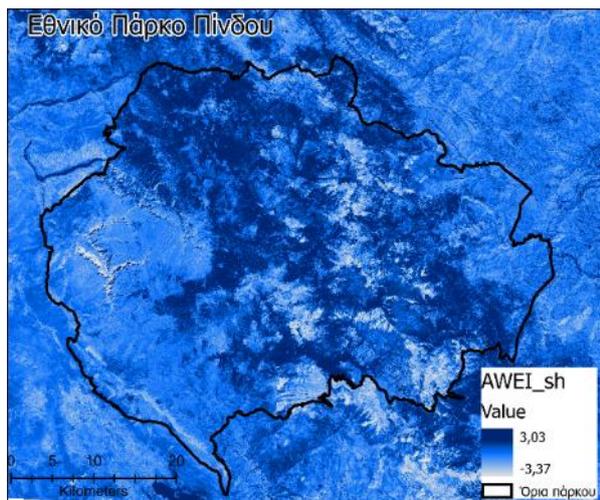
$$AWEI_{nsh} = 4 \times (Green - SWIR_1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR_2)$$

$$AWEI_{sh} = Blue + 2.5 \times Green - 1.5(NIR + SWIR_1) - 0.25 \times SWIR_2$$

Η Εικόνα 10 και η Εικόνα 11 παρουσιάζουν τους δείκτες AWEI_nsh και AWEI_sh αντίστοιχα, όπως υπολογίστηκαν από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 10 Αυτοματοποιημένος δείκτης νερού Automated water extraction index no shade-AWEI_nsh), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς



Εικόνα 11 Αυτοματοποιημένος δείκτης νερού Automated water extraction index with shade-AWEI_sh), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

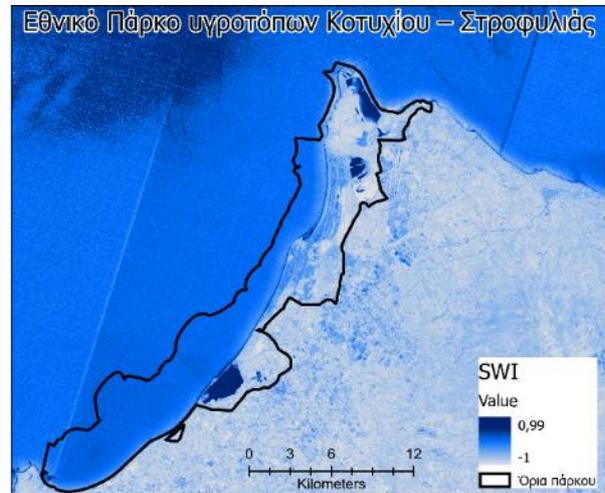
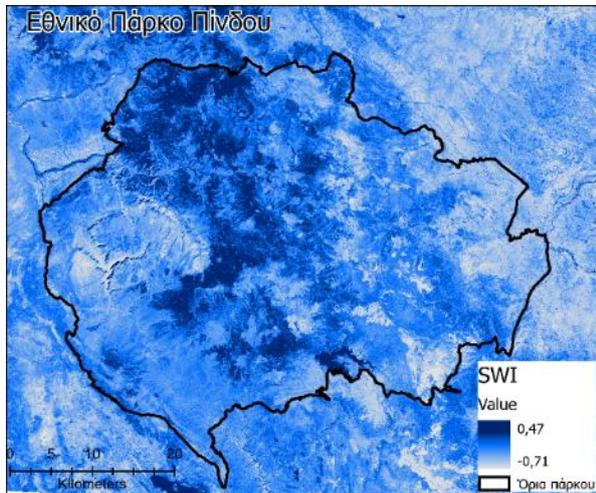
1.2.1.2.7 Φασματικός δείκτης νερού Sentinel

Με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά του Sentinel-2, κατασκευάστηκε ο δείκτης νερού Sentinel-2 Water Index (SWI) για τα δεδομένα Sentinel-2 (Jiang et al., 2020).

Η εξίσωση υπολογισμού του SWI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$SWI = \frac{RE_1 - SWIR_1}{RE_1 + SWIR_1}$$

Η Εικόνα 12 παρουσιάζει τον δείκτη SWI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 12 Δείκτης νερού Sentinel-2 Water Index, σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.2 Οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων

1.2.2.1 Περιγραφή

Τα επιφανειακά ύδατα είναι σημαντικοί οικότοποι στους οποίους εμφανίζονται πιέσεις λόγω της απόρριψης αποβλήτων, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η ποιότητα τους. Οι κύριες επιπτώσεις των πιέσεων στα επιφανειακά υδάτινα σώματα είναι η υπεραύξηση των θρεπτικών συστατικών, η χημική ρύπανση και η αλλοίωση τους λόγω μορφολογικών αλλαγών (ΕΕΑ, 2018). Η διασφάλιση της καλής οικολογικής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων αποτελεί μια από τις βασικές προκλήσεις των κοινοτήτων και έναν από τους στόχους της ευρωπαϊκής οδηγίας-πλασιού για τα ύδατα (Arrighi and Castelli, 2023).

Η αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων είναι μια αξιολόγηση της ποιότητας της δομής και της λειτουργίας των οικοσυστημάτων των επιφανειακών υδάτων. Δείχνει την επίδραση των πιέσεων (π.χ. ρύπανση και υποβάθμιση των οικότοπων), με βάση βιολογικά στοιχεία ποιότητας και υποστηρίζεται από φυσικοχημικά και υδρομορφολογικά στοιχεία ποιότητας (ΕΕΑ, 2018).

Οι παράμετροι παρακολούθησης ποιότητας νερού αποτελούνται από φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του νερού, οι οποίες παραδοσιακά συλλέγονται στο πεδίο και αναλύονται στο εργαστήριο. Ωστόσο, η συλλογή δεδομένων πεδίου, εκτός του ότι αποτελεί επίπονη, χρονοβόρα και ακριβή πρακτική, εξαρτάται από τις καιρικές και τοπογραφικές συνθήκες, και η ακρίβειά της επηρεάζεται από το ανθρώπινο σφάλμα. Επιπλέον, από μετρήσεις πεδίου, είναι αδύνατον να εξαχθούν πληροφορίες για το σύνολο της επιφάνειας υδάτινων σωμάτων μεγάλης έκτασης. Οι μετρήσεις της ποιότητας των υδάτων που προκύπτουν από τη δορυφορική παρατήρηση μπορούν να συμπληρώσουν τη συμβατική δειγματοληψία υδάτων, ιδίως για την επίτευξη πολύ καλύτερης χωρικής και χρονικής κάλυψης μεσαίων (αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα) και μεγαλύτερων υδάτινων σωμάτων (Parathanaourou et al., 2019).



1.2.2.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.2.2.1 Φασματικός δείκτης θολότητας

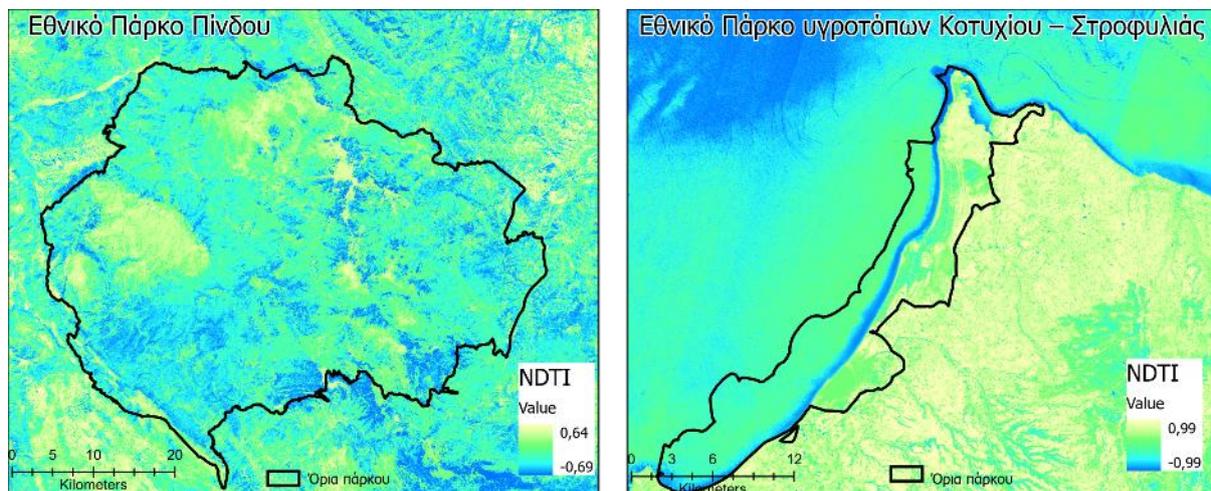
Ο δείκτης κανονικοποιημένης θερμικής διαφοράς (Normalized Difference Thermal Index - NDTI) (Lacaux et al., 2007) περιγράφει τη μείωση της διαύγειας του νερού λόγω της παρουσίας ανόργανων και οργανικών ρύπων. Ο δείκτης NDTI χρησιμοποιείται τόσο για την ανίχνευση της θολότητας του νερού, όσο και για την πρόβλεψη της ξηρασίας, δεδομένου ότι ο δείκτης είναι ευαίσθητος στις μεταβολές της περιεκτικότητας των φυτών σε υγρασία.

Η εξίσωση υπολογισμού του NDTI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$NDTI = \frac{Red - Green}{Red + Green}$$

Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1, οι πιο συνηθισμένες τιμές είναι από -0,2 έως πάνω από + 0,25, ενώ η χαμηλότερη τιμή υποδηλώνει καθαρό νερό και η υψηλότερη τιμή είναι αντιπροσωπευτική του νερού υψηλής θολότητας (0,4 έως 1) (Bid and Siddique, 2019) (Lizcano-Sandoval et al., 2022).

Η Εικόνα 13 παρουσιάζει τον δείκτη NDTI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 13 Δείκτης θολότητας "Δείκτης κανονικοποιημένης θερμικής διαφοράς (Normalized Difference Thermal Index - NDTI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.2.2.2 Φασματικός δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς χλωροφύλλης

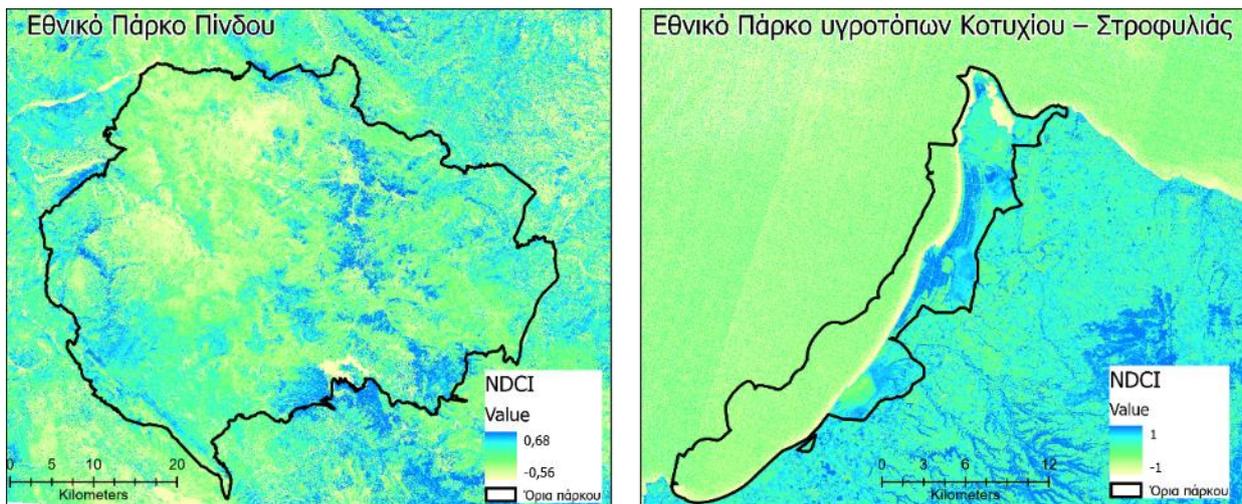
Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς χλωροφύλλης (Normalized Difference Chlorophyll Index - NDCI) (Mishra and Mishra, 2012) προτάθηκε αρχικά για την πρόβλεψη της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων σε εκβολές ποταμών και παράκτια θολά παραγωγικά ύδατα και. Έκτοτε έχει εφαρμοστεί για την αξιολόγηση εσωτερικών υδάτων, την και την ποιοτική εξαγωγή συμπερασμάτων για τα εύρος συγκέντρωσης chl-a (παρόμοια με την εφαρμογή του NDVI σε μελέτες χερσαίας βλάστησης) (Mishra and Mishra, 2012).



Για τις εικόνες Sentinel-2, ο NDCI υπολογίζεται ως εξής:

$$NDCI = \frac{RE1 - RED}{RE1 + RED}$$

Η Εικόνα 14 παρουσιάζει τον δείκτη NDCI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



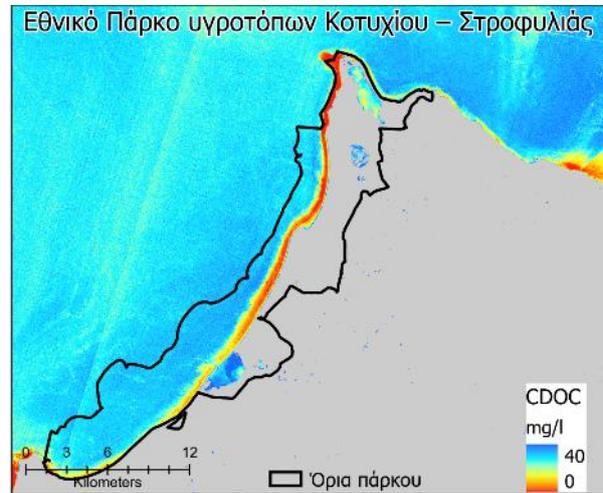
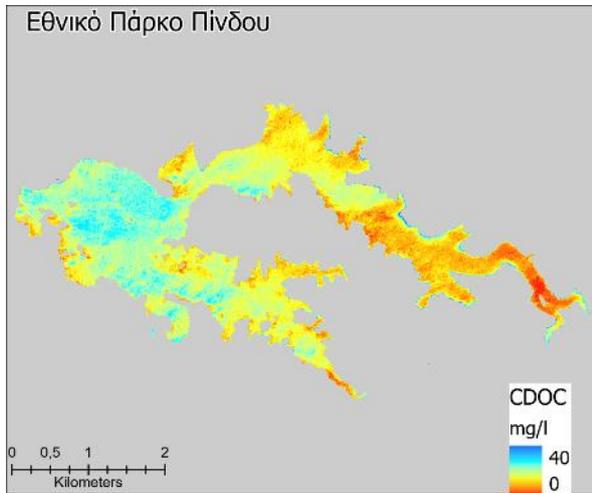
Εικόνα 14 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς χλωροφύλλης (Normalized Difference Chlorophyll Index - NDCI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.2.2.3 Φασματικός δείκτης διαλυτού οργανικού άνθρακα

Ο διαλυτός οργανικός άνθρακας (dissolved organic carbon - C_{DOC}) αναφέρεται στον άνθρακα της διαλυτής οργανικής ύλης. Ο C_{DOC} που εισέρχεται στις λίμνες, τις εκβολές των ποταμών και τις παράκτιες περιοχές διεγείρει την ανάπτυξη βακτηρίων, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει άλλα τροφικά επίπεδα στα υδάτινα τροφικά δίκτυα (Harvey et al., 2015). Η εξίσωση υπολογισμού DOC με βάση εμπειρικούς τύπους προηγούμενων μελετών (Potes et al., 2018; Toming et al., 2016) είναι:

$$C_{DOC} = 432 * e^{-2.24 \frac{GREEN}{RED}} [mg/l]$$

Η Εικόνα 15 παρουσιάζει τον δείκτη C_{DOC} όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



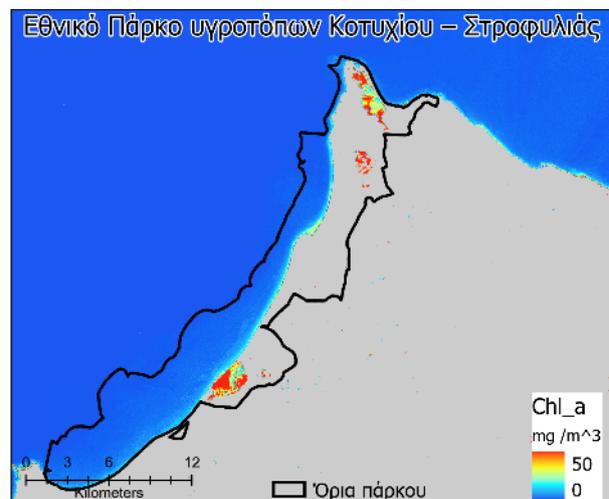
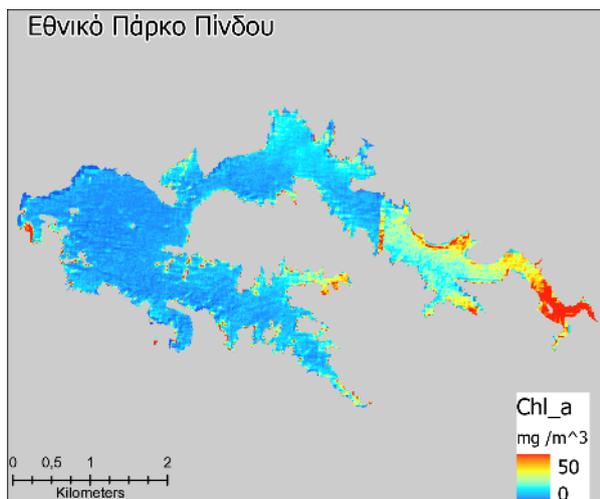
Εικόνα 15 Δείκτης διαλυτού οργανικού άνθρακα (*dissolved organic carbon - C_{DOC}*), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.2.2.4 Φασματικός δείκτης χλωροφύλλης-α

Η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α (*CHLa*) παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη συνολική υγεία των υδάτινων σωμάτων, αποτελώντας ενδεικτική για τα επίπεδα ευτροφισμού, της εκτίμησης της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και της επιβλαβούς άνθησης μικροφυκών (*harmful algal blooms*) (Σουλακέλλης, 2018). Η εξίσωση υπολογισμού (*CHLa*) (Potes et al., 2018; Toming et al., 2016) είναι:

$$CHLa = 4.23 \times \left(\frac{GREEN}{COASTAL} \right)^{3.94} [mg\ m^{-3}]$$

Η Εικόνα 16 παρουσιάζει τον δείκτη *CHLa*, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.





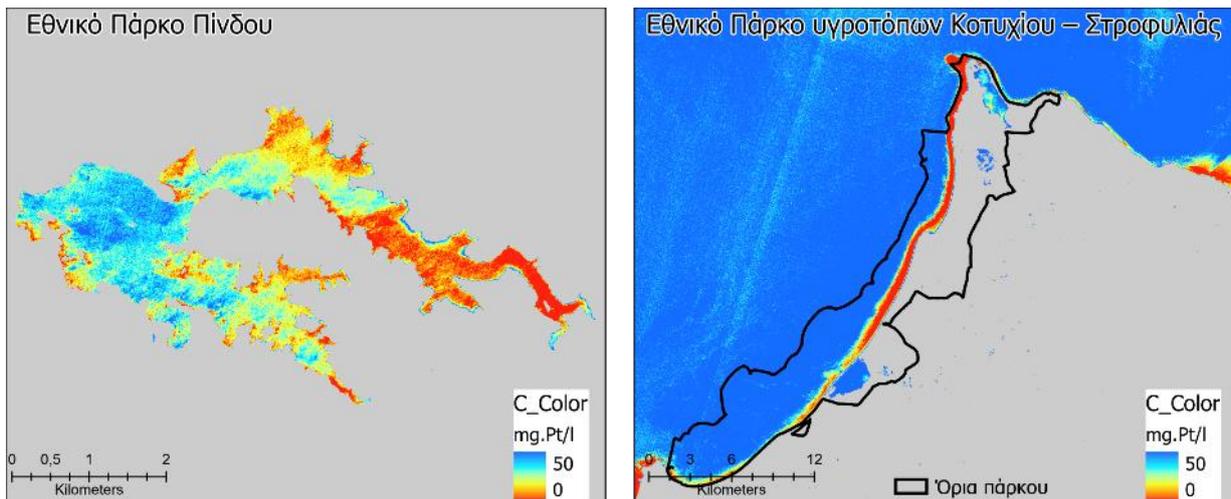
Εικόνα 16 Δείκτης συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α, σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.2.2.5 Φασματικός δείκτης χρώμα νερού

Το χρώμα του νερού παρέχει παρόμοιες πληροφορίες για την ποιότητα του νερού όπως και ο διαλυτός οργανικός άνθρακας αλλά θεωρείται πιο αξιόπιστη παράμετρος στα αποτελέσματα που δίνει (Toming et al., 2016). Η εξίσωση υπολογισμού χρώματος νερού (C_{color}) (Potes et al., 2018; Toming et al., 2016) είναι:

$$C_{color} = 25,366 * e^{-4.53 \frac{GREEN}{RED}} [mg.Pt/l]$$

Η Εικόνα 17 παρουσιάζει τον δείκτη C_{color} , όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 17 Δείκτης χρώματος νερού (C_{color}), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Ιουλίου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου (Λίμνη Αώου) και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.3 Επιπτώσεις της ξηρασίας

1.2.3.1 Περιγραφή

Η ξηρασία είναι ακραίο κλιματικό φαινόμενο που προκαλείται από προσωρινά ελλείμματα νερού και μπορεί να σχετίζεται με την έλλειψη βροχοπτώσεων, εδαφικής υγρασίας, ροής υδατορευμάτων ή με οποιονδήποτε συνδυασμό των τριών που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Η ξηρασία έχει σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τις υπηρεσίες τους, στη βιοποικιλότητα και στο έδαφος (ΕΕΑ, 2023). Η διαφορά στην απόκριση της βλάστησης λόγω της έλλειψης νερού, συνεπάγεται διαφοροποιημένη ευαισθησία και στην ανθεκτικότητα των χερσαίων οικοσυστημάτων στην ξηρασία και τελικά επηρεάζει τους τύπους των επιπτώσεων που θα έχει το φαινόμενο της ξηρασίας (ΕΕΑ, 2023). Γενικότερα ωστόσο η παρακολούθηση και η αξιολόγηση των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι πολύπλοκη, επειδή αυτές ποικίλλουν χωροχρονικά ως προς τη σφοδρότητά τους και συχνά εξαρτώνται από τις διάφορες φάσεις του φαινομένου.



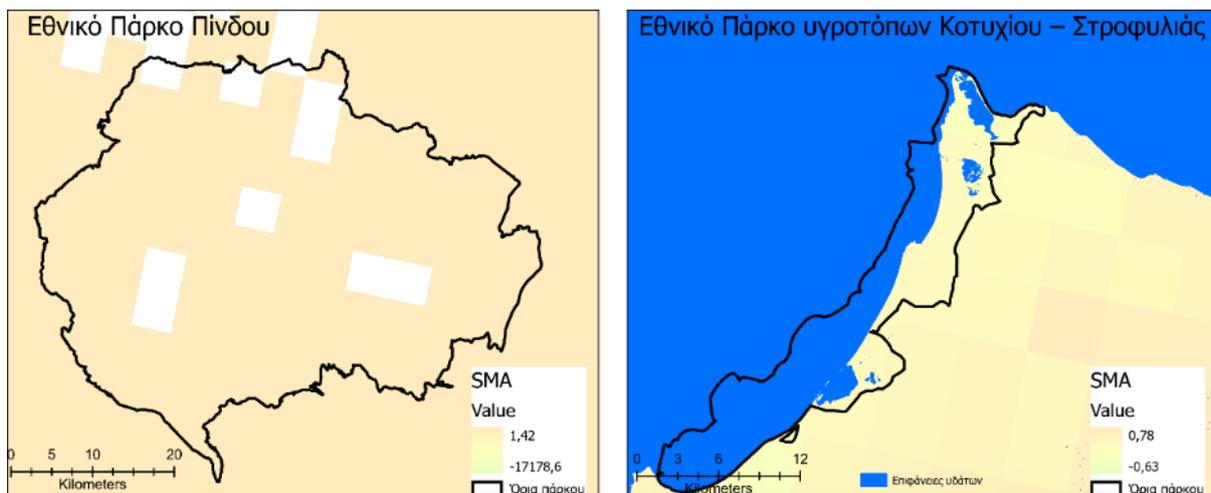
1.2.3.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.3.2.1 Διαθέσιμα προϊόντα Παρατήρησης Γης εδαφικής υγρασίας

Ο δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly -SMA) (European Commission, 2022) εφαρμόζεται στο Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας (European Drought Observatory - EDO)⁸ του Κοινού Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της έναρξης και της διάρκειας των συνθηκών ξηρασίας στη γεωργία και εξετάζει τις μακροπρόθεσμες τάσεις της παραγωγικότητας της βλάστησης που προκύπτουν από τις παρατηρούμενες με τηλεπισκόπηση χρονοσειρές δεικτών βλάστησης σε περιοχές που πλήττονται από την ξηρασία (European Commission, 2022). Οι μετρήσεις προκύπτουν όταν η διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας στη βλάστηση πέφτει σε τέτοιο επίπεδο που επηρεάζει αρνητικά την απόδοση των καλλιεργειών και, ως εκ τούτου, τη γεωργική παραγωγή.

Συγκεκριμένα, ο δείκτης GDO-SMA προέρχεται από τις ανωμαλίες της εκτιμώμενης περιεκτικότητας σε εδαφική υγρασία (ή εδαφικό νερό) - οι οποίες παράγονται μέσω τριών συνόλων δεδομένων: του υδρολογικού μοντέλου LISFLOOD του ΚΚΕρ (De Roo et al., 2000), της επιφανειακής θερμοκρασίας όπως προκύπτει από εικόνες MODIS (Zhengming Wan and Zhao-Liang Li, 1997) και της επιφανειακής εδαφικής υγρασίας όπως εκτιμάται μέσω ενεργητικών/παθητικών αισθητήρων της ESA (Liu et al., 2012). Ο δείκτης υπολογίζεται σε μονάδες τυπικής απόκλισης (standard deviation) έχοντας ως περίοδο βάσης το 1995-2020 και το προϊόν SMA – GDO διατίθεται σε ανάλυση 5km*5km.

Η Εικόνα 18 παρουσιάζει τον δείκτη SMA, όπως εφαρμόζεται στο GDO σε χωρική ανάλυση 5χλμ, για την 21/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 18 Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly -SMA) στο Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας (European Drought Observatory - EDO), σε χωρική ανάλυση 5χλμ, για την 21/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

⁸ <https://www.copernicus.eu/en/european-drought-observatory>



1.2.4 Κατάσταση βλάστησης

1.2.4.1 Περιγραφή

Η κατάσταση της βλάστησης είναι κρίσιμος παράγοντας για την παρακολούθηση της κατάστασης των ενδιαιτημάτων και της βιοποικιλότητας. Υπάρχει η υπόθεση ότι η "κατάσταση" είναι ένα έμμεσο μέτρο της υγείας του οικοσυστήματος και της καταλληλότητας των ενδιαιτημάτων, και επομένως ένα μέτρο για τη βιοποικιλότητα.

Οι Keith and Gorrod, (2006) ορίζουν την κατάσταση της βλάστησης ως "τη σχετική ικανότητα ενός οικοσυστήματος να υποστηρίξει μια σειρά ειδών που αναμένεται να εμφανιστούν στην κατάσταση αναφοράς του" (Keith and Gorrod, 2006).

Οι φασματικοί δείκτες βλάστησης έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ποσοτικοποιήσουν τις χωρό/χρονικές διακυμάνσεις της παρουσίας/ποσότητας βλάστησης, επιτρέποντας, έτσι έμμεσα τον προσδιορισμό της κατάστασής της (Huete and Justice, 1999).

1.2.4.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.4.2.1 Φασματικός δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης

Μεταξύ όλων των δεικτών βλάστησης, ο κανονικοποιημένος διαφοράς της βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) (Tucker, 1979) είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος. Ο NDVI έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται στενά με την κάλυψη της βλάστησης και είναι αξιόπιστος για την παρακολούθηση της υγείας και της πυκνότητας της βλάστησης σε παγκόσμια, εθνική και περιφερειακή κλίμακα (Yan et al., 2022), καθώς και για την εύκολη διάκριση της υγιούς βλάστησης από τη μη φωτοσυνθέτουσα.

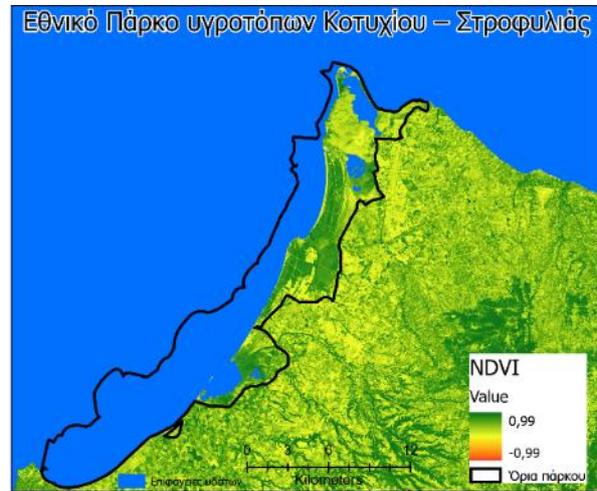
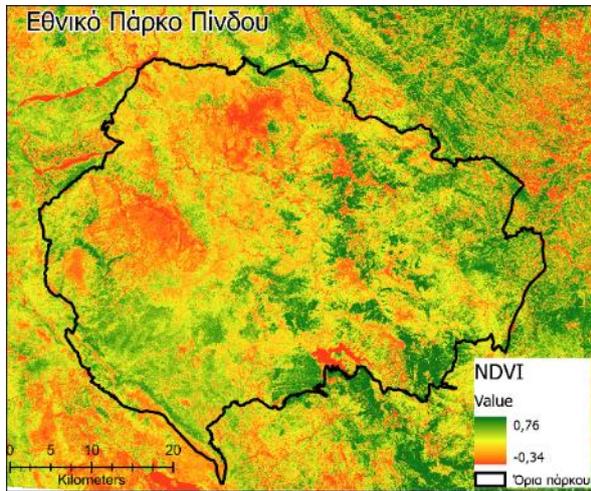
Ο NDVI βασίζεται στο γεγονός ότι η χλωροφύλλη απορροφά την κόκκινη ακτινοβολία, ενώ η δομή του μεσοφύλλου των φύλλων σκεδάζει το εγγύς υπέρυθρο (NIR) μέρους του φάσματος.

Η εξίσωση υπολογισμού του NDVI για εικόνες Sentinel 2 είναι:

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

Το αποτέλεσμα αυτού του τύπου παράγει μια τιμή μεταξύ -1 και +1. Η χαμηλή στο κόκκινο και υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος, προσδίδει μια υψηλή τιμή NDVI και το αντίστροφο, έτσι υψηλές τιμές NDVI, συνήθως αντιπροσωπεύουν υγιέστερη βλάστηση και κοντά στο +1, πιθανών να βρίσκεται πυκνή πράσινη βλάστηση. Οι αρνητικές τιμές, συνήθως είναι ενδεικτικές της παρουσίας υδάτινων επιφανειών ή απουσίας βλάστησης. Ενώ στις τιμές NDVI που είναι κοντά στο μηδέν, είναι πιθανό να υπάρχει αστικοποιημένη περιοχή ή να μην υπάρχει πράσινη υγιής βλάστησης.

Η Εικόνα 19 παρουσιάζει τον δείκτη NDVI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 19 Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.4.2.2 Φασματικός ενισχυμένος δείκτης βλάστησης

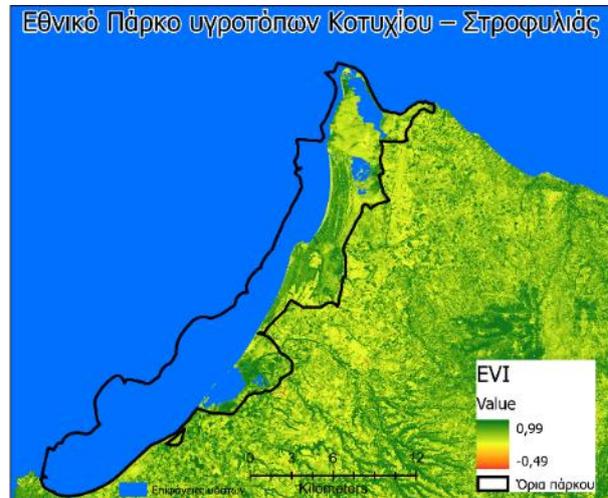
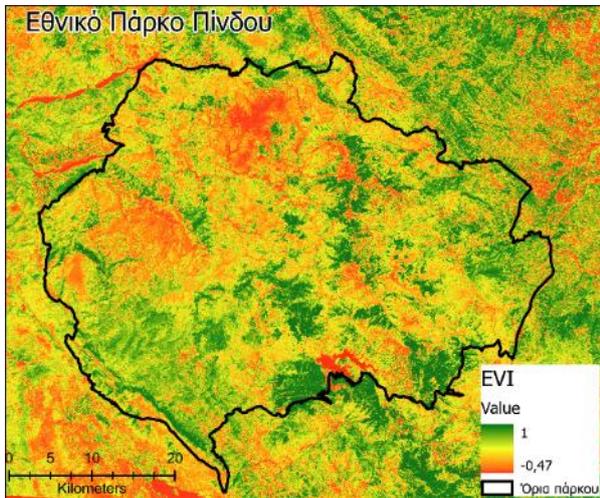
Ο ενισχυμένος δείκτης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index -EVI) αναπτύχθηκε αρχικά για χρήση με δεδομένα MODIS ως βελτίωση του NDVI σε περιοχές με υψηλό δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) όπου παρατηρείται κορεσμός του NDVI. Ο EVI χρησιμοποιεί την περιοχή μπλε ανάκλασης για τη διόρθωση ανάκλασης υποβάθρου του εδάφους και τη μείωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, συμπεριλαμβανομένης της σκέδασης αερολύματων (Huete et al., 2002).

Η εξίσωση υπολογισμού του EVI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$EVI=2.5 \times \frac{NIR-RED}{NIR+6RED-7.5BLUE+1}$$

Οι τιμές EVI για τα εικονοστοιχεία βλάστησης κυμαίνονται από 0 έως 1, ενώ φωτεινά χαρακτηριστικά, όπως σύννεφα και λευκά κτίρια, μαζί με σκοτεινά χαρακτηριστικά, όπως το νερό, μπορούν να οδηγήσουν σε ανώμαλες τιμές εικονοστοιχείων σε μια εικόνα EVI (Huete et al., 2002).

Η Εικόνα 20 παρουσιάζει τον δείκτη EVI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 20 Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index -EVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.4.2.3 Φασματικός δείκτης κατάστασης βλάστησης Sentinel 2

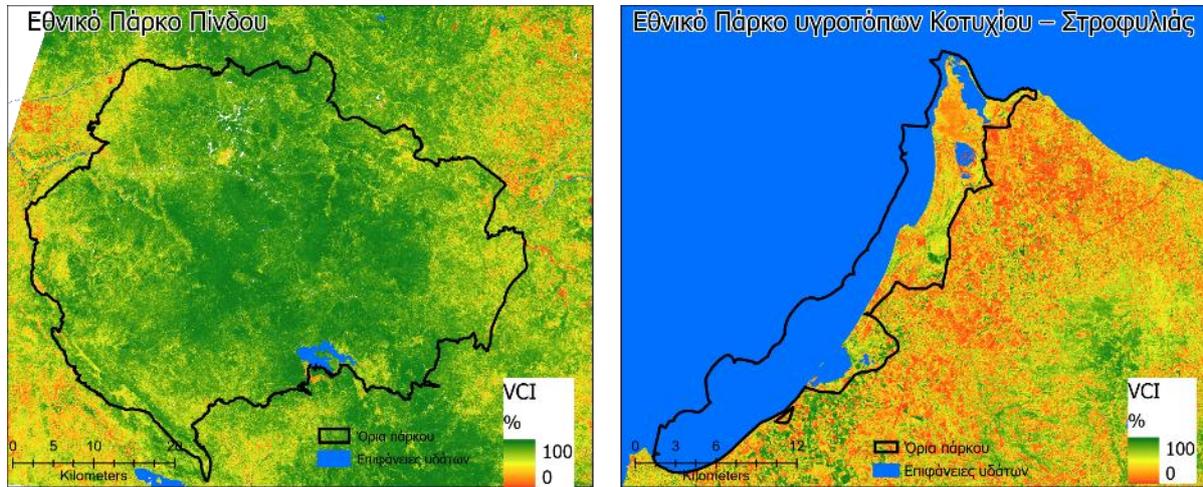
Ο δείκτης κατάστασης της βλάστησης (Vegetation Condition Index - VCI) συγκρίνει την τρέχουσα τιμή του δείκτη NDVI με το εύρος τιμών που παρατηρήθηκαν την ίδια περίοδο προηγούμενων ετών. Όπως και άλλοι δείκτες της διαφοράς μεταξύ των σημερινών και των ιστορικών τιμών ο VCI χρησιμοποιείται κυρίως με ποιοτικό τρόπο, για την ανίχνευση και τη χωρική οριοθέτηση ανωμαλιών στην κατάσταση και την ανάπτυξη της βλάστησης, τόσο σε έκταση όσο και σε ένταση.

Ο VCI υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (Kogan, 1990):

$$VCI = 100 \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

Ο δείκτης εκφράζεται σε % και δίνει μια ιδέα για το πού βρίσκεται η παρατηρούμενη τιμή μεταξύ των ακραίων τιμών (ελάχιστη και μέγιστη) των προηγούμενων ετών. Οι τιμές κυμαίνονται από 0-100. Χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν κακές και καλές συνθήκες κατάστασης της βλάστησης, αντίστοιχα. Έτσι, τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες και τιμές κοντά στο 100 υποδηλώνουν βέλτιστες συνθήκες βλάστησης.

Η Εικόνα 20 παρουσιάζει τον δείκτη VCI σε χωρική ανάλυση 10μ, για τον Ιούλιο 2023, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 για το τετράμηνο Μάιο-Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 21 Δείκτης κατάστασης βλάστησης (Vegetation Condition Index - VCI) σε χωρική ανάλυση 10μ, για τον Ιούλιο 2023, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

Δεδομένου ότι ο VCI είναι προϊόν που προκύπτει από τον NDVI, η ποιότητά του εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την ποιότητα του NDVI και τη διάρκεια της διαθέσιμης ιστορικής χρονοσειράς. Ο δείκτης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην καλυψη από σύννεφα στο αρχικό σύνολο δεδομένων NDVI. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια τιμή κάτω του φυσιολογικού που δεν οφείλεται σε χαμηλή δραστηριότητα της βλάστησης.

Σημειώνεται, όπως κάθε άλλος τελεστής σχετικής διαφοράς, ο VCI μπορεί να εμφανίσει απρόβλεπτα και έντονα κυμαινόμενα αποτελέσματα για περιοχές με μάλλον σταθερά προφίλ δείκτη βλάστησης. Γιαυτό ο δείκτης εξετάζεται αποτελεσματικά μόνο τις περιοχές/εικονοστοιχεία με σαφή φαινολογικά προφίλ.

1.2.5 Λευκαύγεια

1.2.5.1 Περιγραφή

Εκτός από τους δείκτες βλάστησης, και άλλες φασματικές μεταβλητές, έχουν χρησιμοποιηθεί ως ενδείκτες της ποικιλότητας των οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας (Fernández et al., 2010)(Cabello et al., 2012). Η λευκαύγεια (albedo) αποτελεί δείκτη του ενεργειακού ισοζυγίου των οικοσυστημάτων, με ευρείες επιπτώσεις στο τοπικό κλίμα και την εσωτερική δυναμική των οικοσυστημάτων (Bala et al., 2007). Ως Βασική Κλιματική Μεταβλητή (Essential Climate Variable-ECV), ο προσδιορισμός του albedo είναι ουσιαστικής σημασίας για την παρακολούθηση και τη μοντελοποίηση της επιφανειακής ενέργειας και της υδρολογικής και βιογεωχημικής λειτουργίας των χερσαίων και παράκτιων οικοσυστημάτων. Καθώς το albedo μεταβάλλεται χρονικά και χωρικά ως συνάρτηση του τύπου και της δομής της επιφάνειας, της δυναμικής του οικοσυστήματος, της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εξερχόμενης ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια γης (Li et al., 2018), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της οικολογικής υποβάθμισης των οικοσυστημάτων, λόγω υπερβόσκησης ή δασικών πυρκαγιών ή αποψίλωσης δασών ή άλλων αλλαγών βλάστησης. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις αποψίλωσης δασών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, οι μεταβολές του albedo σε εικόνες διαφορετικών χρονικών περιόδων για την ίδια περιοχή μπορούν να ποσοτικοποιήσουν την απώλεια δασών.



1.2.5.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.5.2.1 Φασματικός δείκτης λευκαύγειας μέσω εμπειρικού μοντέλου

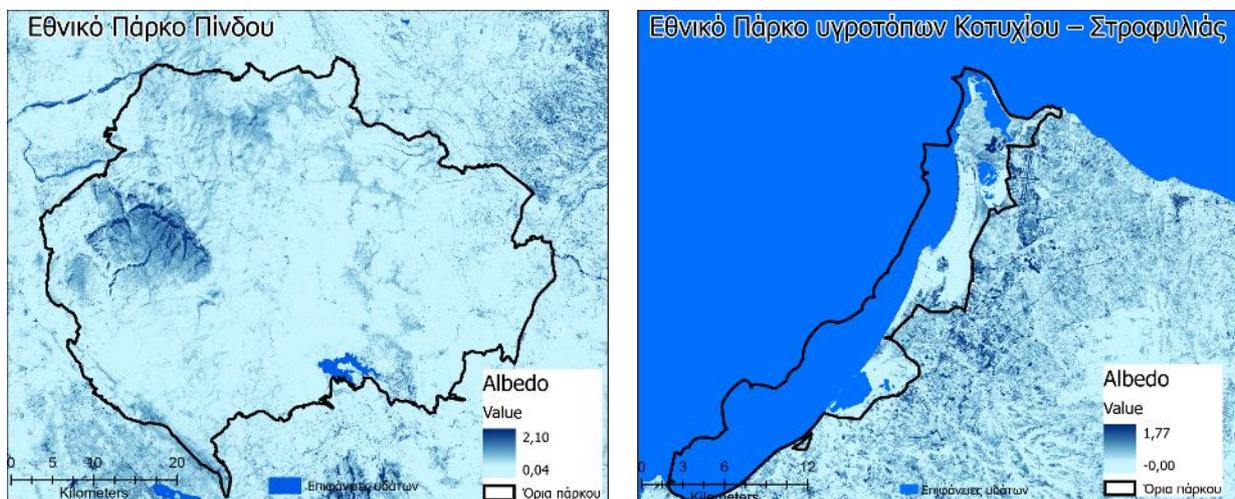
Ο υπολογισμός του albedo για εικόνες Sentinel 2 (Li et al., 2018) προκύπτει από την εξίσωση

$$Albedo = 0.5673 \times Blue + 0.1407 \times Green + 0.2359 \times Red - 0.0048$$

Οι τιμές albedo κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1, αναφέρονται συνήθως στη "λευκότητα" μιας επιφάνειας, με το 0 να σημαίνει μαύρο και το 1 λευκό. Η τιμή 0 σημαίνει ότι η επιφάνεια είναι "τέλειος απορροφητής" που απορροφά όλη την εισερχόμενη ενέργεια. Η τιμή 1 σημαίνει ότι η επιφάνεια είναι "τέλειος ανακλαστήρας" που ανακλά όλη την εισερχόμενη ενέργεια.

Η ορθή εφαρμογή του αλγόριθμου albedo περιορίζεται σε δορυφορικές εικόνες απαλλαγμένες από σύννεφα, διότι οι τιμές albedo σε περιοχές με νεφοκάλυψη albedo είναι υψηλές και συγχέονται με τις τιμές που αντιστοιχούν σε περιοχές δόμησης. Ωστόσο, ο περιορισμός αυτός μπορεί να αναιρεθεί με την επιλογή εικόνων με τη μικρότερη δυνατή κάλυψη από χιόνι και σύννεφα και τη δημιουργία σύνθετων εικόνων με το καλύτερο διαθέσιμο χρονικό εύρος, αντί της χρήσης μεμονωμένων εικόνων.

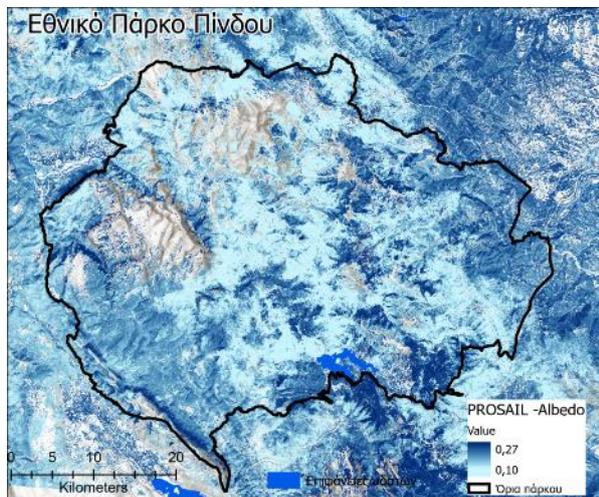
Η Εικόνα 22 παρουσιάζει τον δείκτη albedo, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 22 Δείκτης Albedo σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.5.2.2 Φασματικός δείκτης λευκαύγειας μέσω του μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας PROSAIL

Περαιτέρω υπολογίστηκε το albedo, όπως προύπτει από το μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας PROSAIL και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 23).



Εικόνα 23 Δείκτης Albedo σε χωρική ανάλυση 10μ, με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγρατόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση $NDVI_Thresh < -0.5$)

1.2.6 Κατάσταση βλάστησης-περιεκτικότητα της βλάστησης σε νερό

1.2.6.1 Περιγραφή

Η λειτουργική κατάσταση της βλάστησης μπορεί να επηρεάζεται από φυσικούς παράγοντες (π.χ. ξηρασία) ή από ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. διαχείριση του αστικού πρασίνου ή ατμοσφαιρική ρύπανση). Η λειτουργική κατάσταση της βλάστησης συνδέεται στενά με τη διαθεσιμότητα νερού. Υψηλή διαθεσιμότητα σε νερό συνδέεται συνήθως με καλύτερη λειτουργία του οικοσυστήματος και ενισχυμένη ικανότητα παροχής οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Για την εκτίμηση της περιεκτικότητας της βλάστησης σε νερό μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης, έχει προταθεί μεγάλη ποικιλία μεθόδων. Μέρος των προσπάθειών αυτών ήταν η ανάπτυξη πολυφασματικών δεικτών και η καθιέρωση εμπειρικών σχέσεων με την περιεκτικότητα σε νερό (Clevers et al., 2008; Jiang et al., 2009; Yilmaz et al., 2008). Οι σχέσεις αυτές είναι ωστόσο ειδικές για κάθε τύπο βλάστησης (Cernicharo et al., 2013). Άλλες προσεγγίσεις στηρίζονται στην εφαρμογή μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας (radiative transfer) και τεχνικών αντιστροφής (inversion techniques), για την εκτίμηση της περιεκτικότητας της βλάστησης από νερό. Οι φυσικές ωστόσο προσεγγίσεις περιορίζονται, τόσο από τον ρεαλισμό των μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας αλλά και με τις ίδιες τις μεθόδους αντιστροφής (Cernicharo et al., 2013).

1.2.6.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

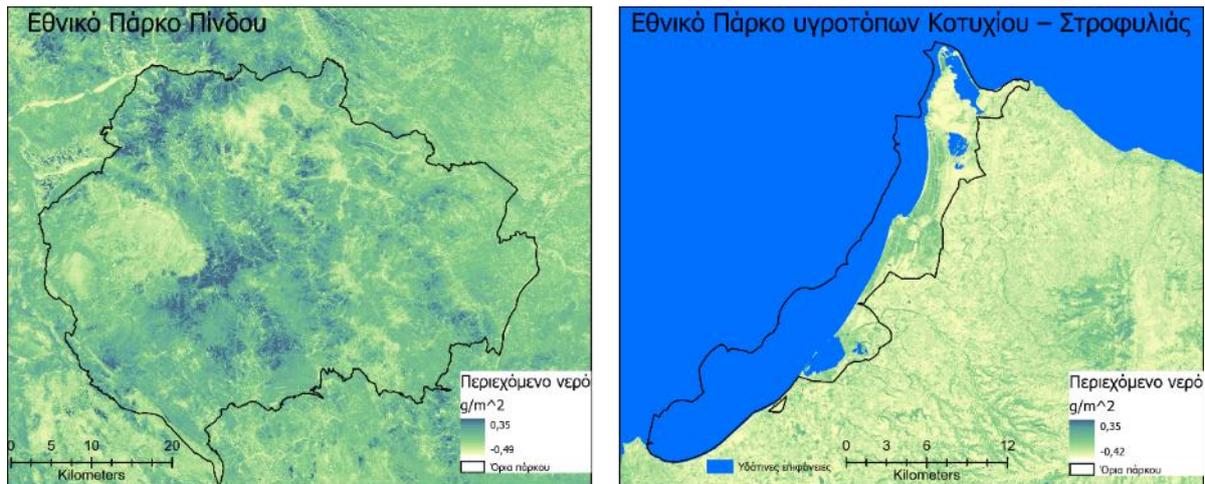
1.2.6.2.1 Φασματικός δείκτης περιεκτικότητας της κόμης σε νερό μέσω μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας

Η περιεκτικότητα της κόμης σε νερό (Canopy water content -CWC), δηλαδή η ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται στην κόμη της βλάστησης, προσδιορίζεται συνήθως πολλαπλασιάζοντας την περιεκτικότητα σε νερό των φύλλων με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Ο δείκτης CWC ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του νερού των φύλλων και τη δομή της κόμης (García-Haro et al., 2020), και αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρος για την



αξιολόγηση της ανάπτυξης της βλάστησης και την παρακολούθηση του στρες ξηρασίας (L. Liu et al., 2023).

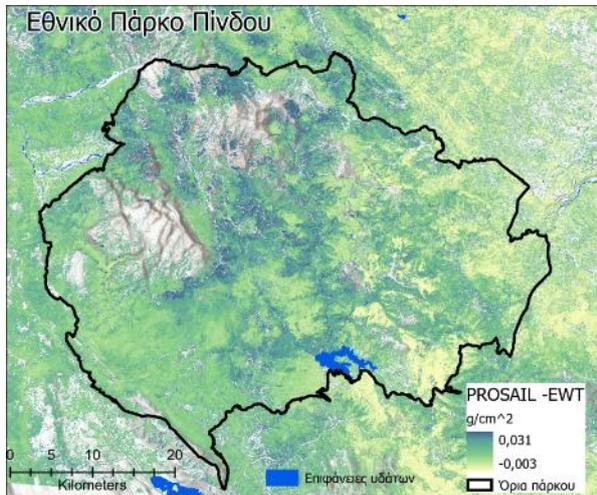
Για της ανάγκες της παρούσας δράσης, υπολογίστηκε το CWC ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), όπως προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B σε περιβάλλον SNAP Toolbox και τη χρήση εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Περιεχόμενο νερό (g/m^2) σε επίπεδο κόμης (CWC) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.6.2.2 Φασματικός δείκτης ισοδύναμου πάχους νερού

Το ισοδύναμο πάχος νερού (Equivalent Water Thickness EWT) είναι ένας σημαντικός βιοφυσιικός δείκτης της κατάστασης του νερού στις καλλιέργειες (Traore et al., 2021). Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε υπολογίστηκε το EWT, μέσω του μοντέλου PROSAIL, σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R, την εφαρμογή του πακέτου R prosail και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 25).



Εικόνα 25 Ισοδύναμο πάχος νερού (Equivalent Water Thickness EWT) (g/cm^2) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (Λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση $NDVI_Thresh < -0.5$)

1.2.6.2.3 Φασματικός δείκτης αναλογίας νερού

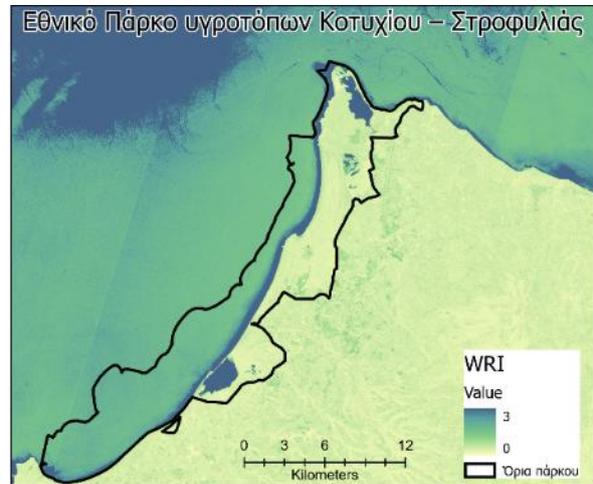
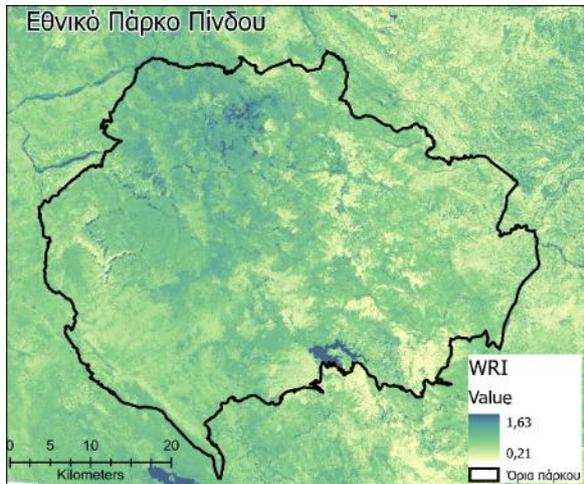
Ο δείκτης αναλογίας νερού (Water Ratio Index - WRI) (Ouma and Tateishi, 2006) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας υγρασίας στην βλάστηση. Η βιβλιογραφία (Khalid et al., 2021; Laonamsai et al., 2023; S. Liu et al., 2023; Shen and Li, 2010) έχει επιβεβαιώσει την αποτελεσματικότητα του δείκτη για τη μελέτη της φυσιολογίας των οικοσυστημάτων αλλά και για τον προσδιορισμό των υδάτινων σωμάτων.

Για τον υπολογισμό του δείκτη αυτού λαμβάνεται υπόψη η φασματική ανάκλαση στο πράσινο, κόκκινο, εγγύς και μέσο υπέρυθρο του φάσματος. Η εξίσωση υπολογισμού του WRI για εικόνες Sentinel 2 είναι:

$$WRI = \frac{Green + Red}{Red + SWIR_2}$$

Τυπικά οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0 έως 3. Τυπικά, οι τιμές από 1 και πάνω αντιπροσωπεύουν υδάτινα σώματα ή αντικείμενα που περιέχουν υψηλή υγρασία.

Η Εικόνα 26 παρουσιάζει τον δείκτη WRI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



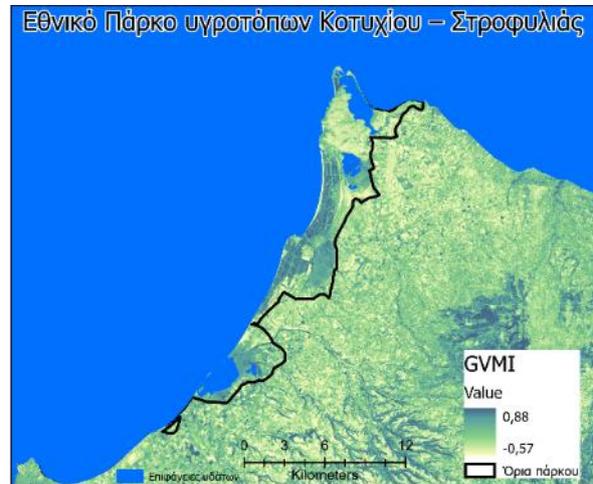
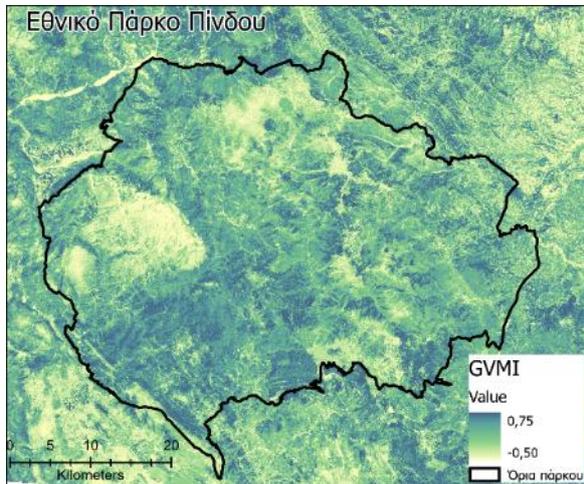
Εικόνα 26 Δείκτης νερού (Water Ratio Index -WRI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.6.2.4 Φασματικός παγκόσμιος δείκτης υγρασίας βλάστησης

Ο παγκόσμιος δείκτης υγρασίας βλάστησης (Global Vegetation Moisture Index -GVMI) προσδιορίζει την περιεκτικότητα σε νερό της βλάστησης όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 2. Για τις περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου ο LAI είναι μικρότερος από 2, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την κατανόηση του ρόλου των επιδράσεων του εδάφους στην ανάκλαση που μετράτε στο ολικό οπτικό φάσμα (Ceccato et al., 2002). Επίσης, μελέτες αναφέρουν ότι ο δείκτης GVMI είναι κατάλληλος για εκτίμηση περιεκτικότητας σε νερό διαφορετικών τύπων βλάστησης με διαφορετικό ποσοστό κάλυψης βλάστησης (Liu et al., 2009). Η εξίσωση υπολογισμού του GVMI (Ceccato et al., 2002) για εικόνες Sentinel 2 είναι:

$$GVMI = \frac{(NIR + 0.1) - (SWIR_2 + 0.02)}{(NIR + 0.1) + (SWIR_2 + 0.02)}$$

Η Εικόνα 27 παρουσιάζει τον δείκτη GVMI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 27 Παγκόσμιος δείκτης υγρασίας βλάστησης (Global Vegetation Moisture Index – GVM) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.6.2.5 Φασματικός κανονικοποιημένος δείκτης υγρασίας

Ο κανονικοποιημένος δείκτης υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index - NDMI) αρχικά χρησιμοποιήθηκε από τους (Hardisky et al., 1984) και (Gao, 1996) για την εκτίμηση περιεκτικότητας σε υγρασία της βιομάζας της βλάστησης. Η βιβλιογραφία (Chen et al., 2021; Fornacca et al., 2018; Khalid et al., 2021; Schultz et al., 2018) έχει επιβεβαιώσει την αποτελεσματικότητα του δείκτη για

- την παρακολούθηση των μεταβολών στην περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό,
- την ανάλυση της επικινδυνότητας πυρκαγιάς,
- την ανίχνευση επιφανειακών υδάτων,
- τη μέτρηση του βαθμού κάλυψης από επιφανειακό νερό,

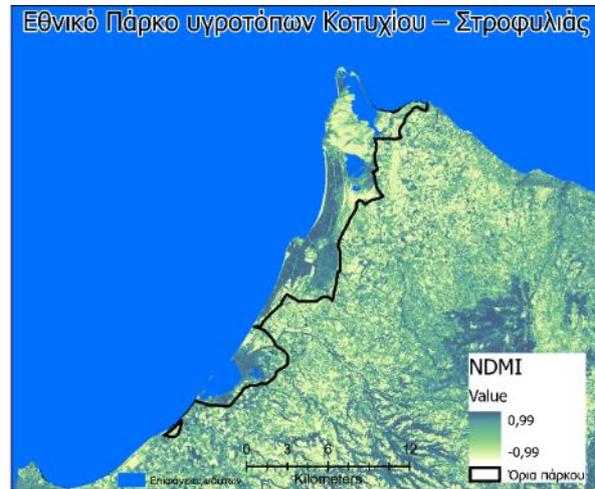
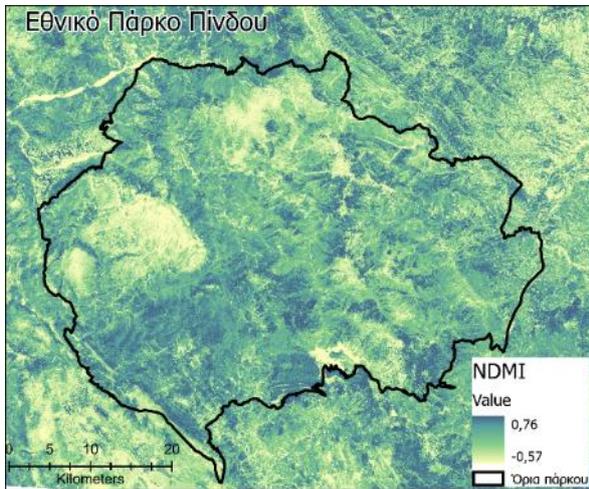
Η εξίσωση υπολογισμού του NDMI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR_2}{NIR + SWIR_2}$$

Ο δείκτης λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι τιμές του δείκτη μεταξύ -1 και 0 αντιστοιχούν σε φωτεινές επιφάνειες χωρίς βλάστηση ή περιεκτικότητα σε νερό, το κανονικό εύρος για πράσινη βλάστηση είναι -0.1 έως 0.4, υψηλότερες τιμές δείκτη αντιστοιχούν σε περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του NDMI είναι η δυνατότητα εντοπισμού των υδάτινων σωμάτων και περιοχές υψηλής υγρασίας. Το μειονέκτημα της χρήσης του δείκτη NDMI είναι η υψηλή ευαισθησία του σε τεχνητές επιφάνειες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα σφάλματα κατά τον υπολογισμό του NDMI.

Η Εικόνα 28 παρουσιάζει τον δείκτη NDMI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 28 Κανονικοποιημένος δείκτης υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index -NDMI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.6.2.6 Φασματικός δείκτης πίεσης υγρασίας

Ο δείκτης πίεσης υγρασίας (Moisture Stress Index -MSI) (Huntjr and Rock, 1989) είναι ευαίσθητος στην περιεκτικότητα των φύλλων σε νερό. Καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα της βλάστησης σε νερό αυξάνεται και η απορρόφηση στο κοντινό υπέρυθρο. Η απορρόφηση στο εγγύς υπέρυθρο χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς, καθώς είναι σχεδόν ανεπηρέαστη από τις αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό (Huntjr and Rock, 1989).

Οι εφαρμογές του MSI περιλαμβάνουν

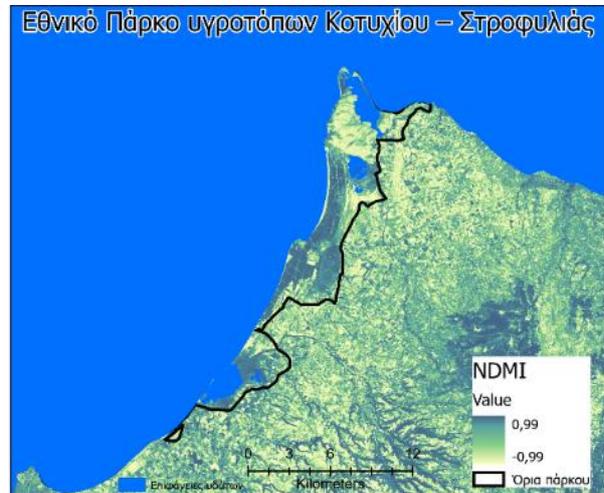
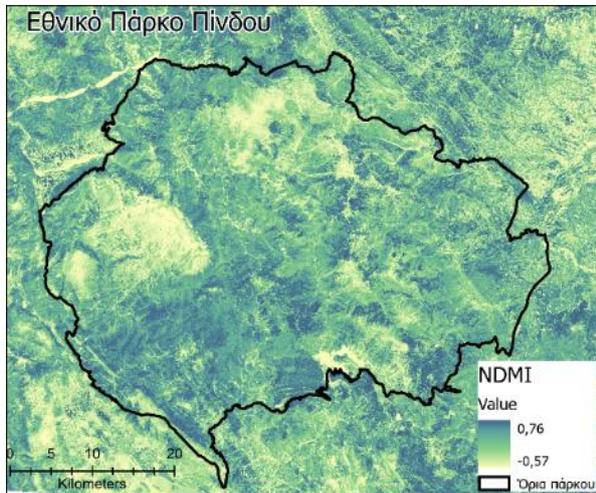
- την ανάλυση της καταπόνησης της βλάστησης,
- την πρόβλεψη και μοντελοποίηση της παραγωγικότητας,
- την ανάλυση του κινδύνου πυρκαγιάς
- μελέτες της φυσιολογίας των οικοσυστημάτων.

Ο δείκτης MSI είναι ανεστραμμένος σε σχέση με τους άλλους δείκτες υδατικής βλάστησης. Δηλαδή, υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση και μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0 έως πάνω από 3. Το κοινό εύρος τιμών για την πράσινη βλάστηση είναι 0,4 έως 2 (Ceccato et al., 2001).

Η εξίσωση υπολογισμού του MSI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$MSI = \frac{SWIR_1}{NIR}$$

Η Εικόνα 29 παρουσιάζει τον δείκτη MSI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 29 Δείκτης πίεσης υγρασίας (Moisture Stress Index -MSI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.7 Κατάσταση βλάστησης-περιεκτικότητα της βλάστησης σε χλωροφύλλη

1.2.7.1 Περιγραφή

Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (Chlorophyll content - CC) είναι ένας δείκτης για την καταπόνηση της βλάστησης λόγω έλλειψης αζώτου (Weiss et al., 2020) και τη φωτοσυνθετική της ικανότητα (Gitelson et al., 2014). Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλης έχει ενδιαφέρον στα μοντέλα πρωτογενούς παραγωγής, επειδή καθορίζει εν μέρει τη φωτοσυνθετική απόδοση (Green et al., 2003), έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημαντική μεταβλητή εισόδου για μοντέλα χειρσαίας βίωσης για την ποσοτικοποίηση των ροών άνθρακα και νερού, της πρωτογενούς παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας χρήσης του φωτός.

Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μπορεί να υπολογιστεί τόσο σε επίπεδο φύλλου όσο και σε επίπεδο κόμης, μέσω της σύνδεσης της περιεκτικότητας σε επίπεδο φύλλου σε χλωροφύλλη με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Weiss et al., 2020). Η περιεκτικότητα της κόμης σε χλωροφύλλη (Chlorophyll canopy content -CCC) περιγράφει την κατανομή των χρωστικών χλωροφύλλης στην τρισδιάστατη επιφάνεια της κόμης. Η παρακολούθηση της δυναμικής του CCC παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τη φυσιολογία των φυτών, και τις διεργασίες ή λειτουργίες του οικοσυστήματος σε διάφορες κλίμακες, υποστηρίζοντας έτσι τις εκτιμήσεις της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής και άλλων ανθρωπογενών και φυσικών παραγόντων στις λειτουργίες των φυτών (Croft et al., 2020).

Μέχρι στιγμής, η χαρτογράφηση του CCC βασίζεται σε εμπειρικές μεθόδους μέσω της εξαγωγής στατιστικών σχέσεων μεταξύ των φασματικών δεικτών βλάστησης και της περιεκτικότητας της κόμης σε χλωροφύλλη (le Maire et al., 2004; Sims and Gamon, 2002).

Μια εναλλακτική προσέγγιση για την εξαγωγή της είναι η χρήση φυσικών μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας. Τα μοντέλα μεταφοράς ακτινοβολίας παρέχουν μια άμεση φυσική σχέση μεταξύ της ανακλαστικότητας της κόμης και της CC σε επίπεδο φύλλου, επειδή στηρίζονται σε φυσικούς νόμους που καθορίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της κόμης της βλάστησης (Croft et al., 2020). Για το σκοπό αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μοντέλα κόμης, όπως π.χ. SAIL (Verhoef, 1984). Σε επίπεδο φύλλου, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο οπτικό



μοντέλο είναι το PROSPECT (Jacquemoud and Baret, 1990), το οποίο έχει εφαρμοστεί και επικυρωθεί σε διάφορους τύπους βλάστησης (Malenovsky et al., 2006). Προηγούμενες έρευνες έχουν αποδείξει της δυνατότητες αυτής της μεθόδου για διάφορα οικοσυστήματα, ωστόσο, η προσέγγιση αυτή δεν έχει ακόμη εφαρμοστεί σε παγκόσμια κλίμακα (Croft et al., 2020).

1.2.7.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.7.2.1 Φασματικός δείκτης βλάστησης Sentinel-2

Ο τριγωνικός δείκτης βλάστησης Sentinel-2 (Sentinel-2 Triangular Vegetation Index - STVI) (Qian et al., 2022) βελτιώνει την ακρίβεια της ανάκτησης της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη ενισχύοντας τη σχέση με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και μετριάζοντας το φαινόμενο κορεσμού (Qian et al., 2022).

Η εξίσωση υπολογισμού του STVI είναι:

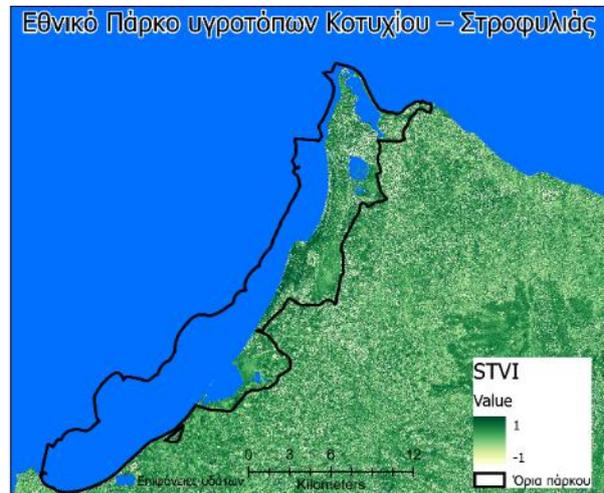
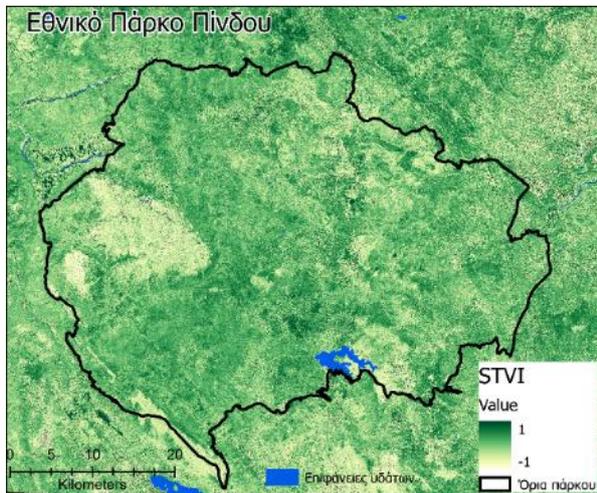
$$STVI = \frac{S_{AT} - S_{RT}}{S_{AT} + S_{RT}}$$

όπου

$$S_{AT} = 0.5 \times (105 \times (RE_1 - Green) - 145 \times (Red - Green))$$

$$S_{RT} = 0.5 \times (125 \times (NIR_{n1} - RE_2) - 43 \times (NIR_{n2} - RE_2))$$

Η Εικόνα 30 παρουσιάζει τον δείκτη STVI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 30 Τριγωνικός δείκτης βλάστησης Sentinel-2 (Sentinel-2 Triangular Vegetation Index - STVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.7.2.2 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης χλωροφύλλης εδάφους

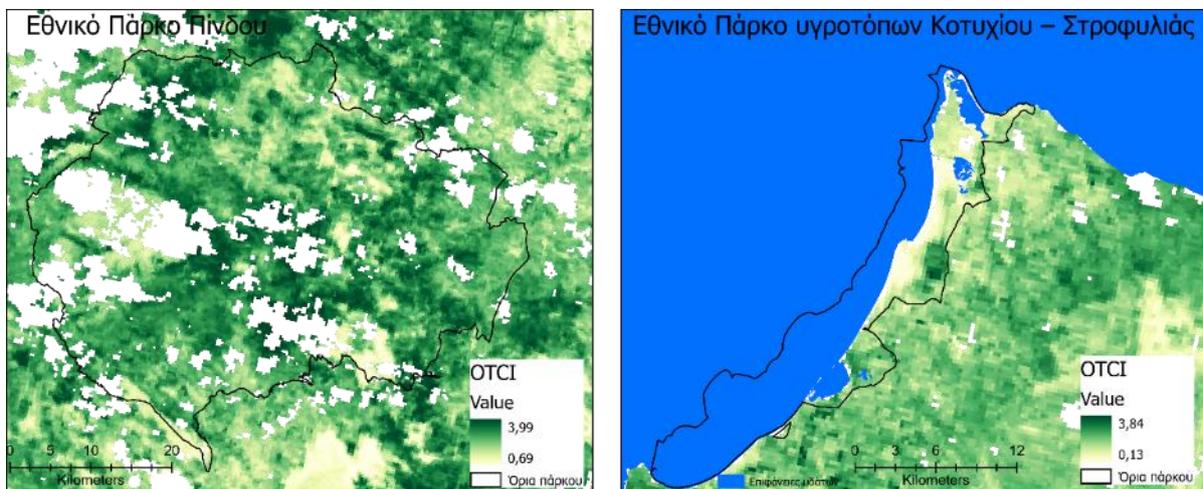
Ο δείκτης χλωροφύλλης εδάφους (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index - OTCI) παράγεται σε παγκόσμιο επίπεδο με χωρική ανάλυση 300m από τα δεδομένα OLCI της αποστολής Sentinel 3 της



ESA. Πρόκειται για τη συνέχεια του δείκτη χλωροφύλλης εδάφους MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) (Dash and Vuolo, 2012).

Ο ΟΤCI παρέχει εκτιμήσεις της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη στη χερσαία βλάστηση, με στόχο την παρακολούθηση της κατάστασης και της υγείας της βλάστησης. Οι τιμές ΟΤCI κυμαίνονται από 1-6,5. Η επικύρωση του ΟΤCI βρίσκεται σε εξέλιξη, αλλά τα αποτελέσματα διαφόρων περιοχών μελέτης, έδειξαν συσχέτιση περίπου 0,9 μεταξύ του Canopy Chlorophyll Content CCC (ESA, 2021).

Η Εικόνα 31 παρουσιάζει τον δείκτη ΟΤCI, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αυγούστου 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 31 Δείκτης χλωροφύλλης εδάφους του προϊόντος OLCI Terrestrial Chlorophyll Index – ΟΤCI σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

1.2.7.2.3 Δείκτης Cab μέσω μοντέλου νευρωνικού αλγόριθμου στην εργαλειοθήκη SNAP

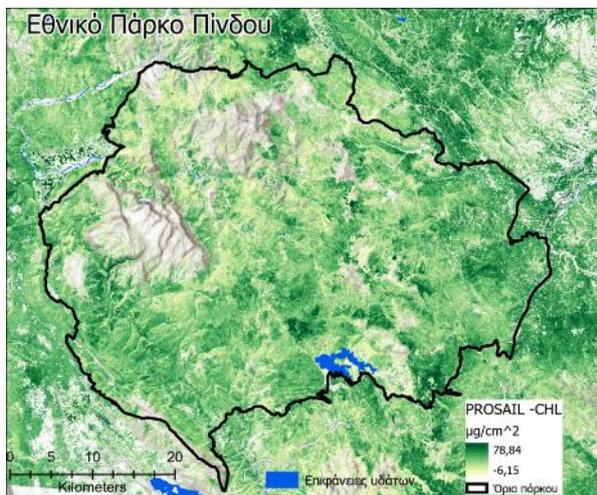
Για της ανάγκες της παρούσας Δράσης, εξετάστηκε το προϊόν Περιεχόμενη χλωροφύλλη –(Canopy chlorophyll content -Cab) σε επίπεδο κόμης, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B σε περιβάλλον SNAP Toolbox και την χρήση εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς σε χωρική ανάλυση 10 m (Εικόνα 32).



Εικόνα 32 Περιεχόμενη χλωροφύλλη (Cab) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.7.2.4 Φασματικός δείκτης μέσω μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας P PROSAIL-CHL

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε το προϊόν CHL: chlorophylls, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη του μοντέλου PROSAIL σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R, την εφαρμογή του πακέτου R prosail και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 33).



Εικόνα 33 Περιεχόμενη χλωροφύλλη (CHL) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (Λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση NDVI_Thresh <- 0.5)



1.2.8 Καθαρή πρωτογενής παραγωγή

1.2.8.1 Περιγραφή

Πέρα από τον χαρακτηρισμό της δομής της βλάστησης που σχετίζεται με τη χλωριδική σύνθεση, ο λειτουργικός χαρακτηρισμός της βλάστησης περιγράφει την αλληλεπίδραση της ενέργειας και της ύλης μεταξύ του οικοσυστήματος και της ατμόσφαιρας, η οποία είναι επίσης κρίσιμη, καθώς αποκαλύπτει ταχύτερες αντιδράσεις στις περιβαλλοντικές αλλαγές (Alcaraz-Segura et al., 2009). Το ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI (integral NDVI-I) είναι ένας γραμμικός εκτιμητής της φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) (Sellers et al., 1996) και συνεπώς της ετήσιας καθαρής πρωτογενής παραγωγής (annual net primary production – ANPP) (Paruelo et al., 1997). Πολλές μελέτες σε υγρά, εύκρατα τροπικά δάση έως και μεσογειακά δάση και θαμνώνες, ακόμη και σε θερμές ερήμους (Alcaraz et al., 2006; Hoare and Frost, 2004; Stoms and Hargrove, 2000), έχουν αποδείξει ότι τιμές NDVI-I μπορούν να αντικατοπτρίζουν πλήρως τη συνολική κατάσταση ανάπτυξης της βλάστησης (Ma et al., 2011) και την καθαρή πρωτογενή παραγωγή (net primary production – NPP) (Goward et al., 1985; Pettorelli et al., 2005). Ο δείκτης ορίζεται ως το άθροισμα των θετικών τιμών NDVI σε μια δεδομένη περίοδο και ως λειτουργικός δείκτης προκύπτει από την ετήσια καμπύλη NDVI (Alcaraz et al., 2006).

1.2.8.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

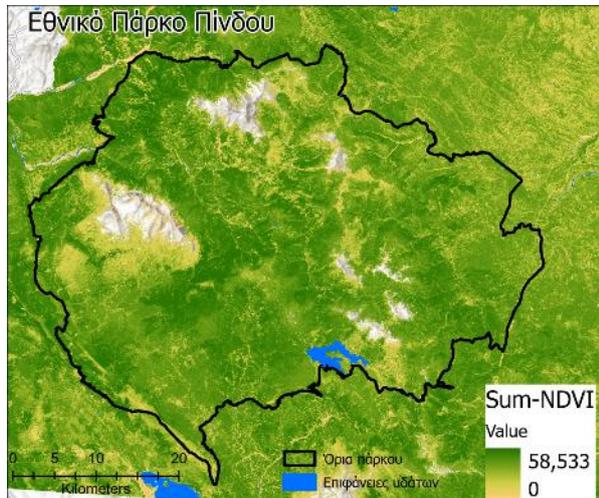
1.2.8.2.1 Φασματικός δείκτης του ετήσιου ολοκληρώματος NDVI

Ο NDVI-I αντιπροσωπεύει το ετήσιο ολοκλήρωμα NDVI που υπολογίζεται από δορυφορικές εικόνες ή άλλα δεδομένα τηλεπισκόπησης που συλλέγονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η εξίσωση υπολογισμού του NDVI-I για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$NDVI - I = \sum_{1}^{12} NDVI$$

Γενικά, οι υψηλότερες τιμές του NDVI-I υποδηλώνουν πιο ισχυρή κάλυψη και παραγωγικότητα της βλάστησης, η οποία μπορεί να παρέχει ενδιαιτήματα και πόρους για διάφορα είδη, ενισχύοντας τη βιοποικιλότητα. Οι περιοχές με υψηλότερες τιμές NDVI-I μπορεί να υποστηρίζουν μεγαλύτερη ποικιλία φυτικών ειδών, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να υποστηρίξουν ποικίλους ζωικούς πληθυσμούς. Στη παρούσα δράση χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel 2 MSI Level 2A, για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 34).



Εικόνα 34 Ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI (annual NDVI integral Sum NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.9 Εποχικότητα των ροών άνθρακα

1.2.9.1 Περιγραφή

Το ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI) παρέχει μια περιγραφή της ενδοετήσιας διακύμανσης της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και έχει χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό των κυριότερων τύπων βλάστησης (Alcaraz-Segura et al., 2009) τον προσδιορισμό λειτουργικών τύπων οικοσυστημάτων (Alcaraz et al., 2006) και ως δείκτης της εποχικότητας των ροών άνθρακα (Guerschman et al., 2003)(Cabello et al., 2012).

Οι τιμές του NDVI συνήθως αυξάνονται κατά τη διάρκεια περιόδων ενεργού ανάπτυξης της βλάστησης, όπως η άνοιξη και το καλοκαίρι, και μειώνονται κατά τη διάρκεια περιόδων αδράνειας ή γήρανσης, όπως το φθινόπωρο και ο χειμώνας. Κατά τη διάρκεια περιόδων ενεργού ανάπτυξης, τα φυτά απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα και αποθηκεύουν άνθρακα στη βιομάζα, συμβάλλοντας στη δέσμευση άνθρακα. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της γήρανσης ή των περιόδων στρες, η βλάστηση μπορεί να απελευθερώσει τον αποθηκευμένο άνθρακα μέσω της αναπνοής ή των διαδικασιών αποσύνθεσης. Ο IARR-NDVI αποτυπώνει αυτές τις εποχιακές διακυμάνσεις του πρασίνου της βλάστησης και τις μετατοπίσεις στις ροές άνθρακα, αντανακλώντας την ισορροπία μεταξύ απορρόφησης και απελευθέρωσης άνθρακα με την πάροδο του χρόνου και τις αλλαγές στην πρόσληψη και απελευθέρωση άνθρακα από τα φυτά.

Η παρακολούθηση των μεταβολών του NDVI εντός του σχετικού εύρους μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της υγείας και της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων σε περιβαλλοντικούς παράγοντες πίεσης και διαταραχές. Οι μεταβολές στη διακύμανση του NDVI μπορεί να υποδηλώνουν αλλαγές στη δυναμική της βλάστησης, τη φαινολογία και τα μοτίβα του κύκλου του άνθρακα, οι οποίες μπορεί να έχουν επιπτώσεις στη λειτουργία και τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος. Συνολικά, η εποχικότητα των ροών άνθρακα, όπως προσεγγίζεται από τον IARR-NDVI παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση της δυναμικής του άνθρακα στα οικοσυστήματα, την αξιολόγηση των αντιδράσεων της βλάστησης στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και την ενημέρωση για τη μοντελοποίηση του κύκλου του άνθρακα και τις στρατηγικές διαχείρισης.



1.2.9.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

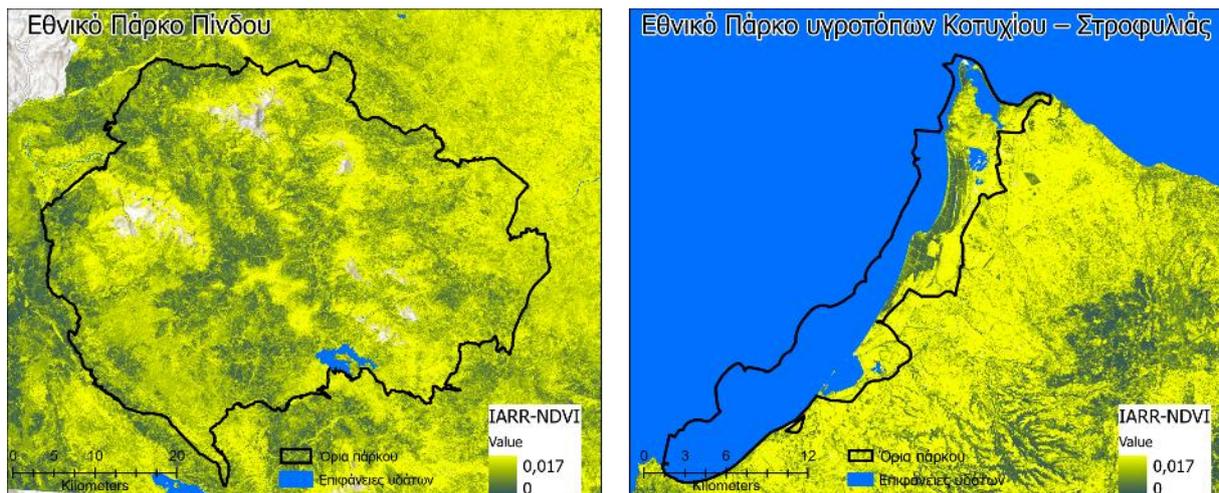
1.2.9.2.1 Φασματικός δείκτης ετήσιου σχετικού εύρους

Το ετήσιο σχετικό εύρος (IARR-NDVI) ορίζεται ως η διαφορά του ελάχιστου NDVI από το μέγιστο NDVI, διαιρούμενο με το NDVI-I (Alcaraz et al., 2006). Η εξίσωση υπολογισμού του IARR-NDVI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$IARR_NDVI = \frac{NDVI_{max} - NDVI_{min}}{SumNDVI}$$

Γενικά, οι υψηλότερες τιμές του IARR-NDVI υποδηλώνουν πιο ισχυρή διακύμανση ροών άνθρακα δηλαδή αλλαγές στη δυναμική της βλάστησης, τη φαινολογία και τα μοτίβα του κύκλου του άνθρακα, οι οποίες μπορεί να έχουν επιπτώσεις στη λειτουργία και τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος

Στη παρούσα δράση χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel 2 MSI Level 2A, για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 35).



Εικόνα 35 Ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.10 Φαινολογία της βλάστησης

1.2.10.1 Περιγραφή

Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI) συνήθως ταυτίζεται με τη χρονική στιγμή της μέγιστης διαθεσιμότητας της βλάστησης (Pettorelli et al., 2005). Ο Dom-NDVI είναι ένας καλός περιγραφικός δείκτης της φαινολογίας της βλάστησης, υποδεικνύοντας την ενδοετήσια κατανομή της περιόδου με τη μέγιστη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Alcaraz et al., 2006)(Hoare and Frost, 2004), παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για το χρόνο των βασικών σταδίων του ετήσιου κύκλου ανάπτυξης καθώς και για τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης της βλάστησης.



Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο φαινολογικό μεταβατικό σημείο, όταν η βλάστηση μεταβαίνει από το πρώιμο στάδιο ανάπτυξης στο ώριμο στάδιο, και τελικά στη γήρανση. Αυτές οι μεταβάσεις καθοδηγούνται υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, και η φωτοπερίοδος.

Η χρονική στιγμή Dom-NDVI επηρεάζει τις διεργασίες του οικοσυστήματος, όπως η δέσμευση άνθρακα, η ανακύκλωση του νερού και η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, διαμορφώνοντας τελικά τη λειτουργία και την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος.

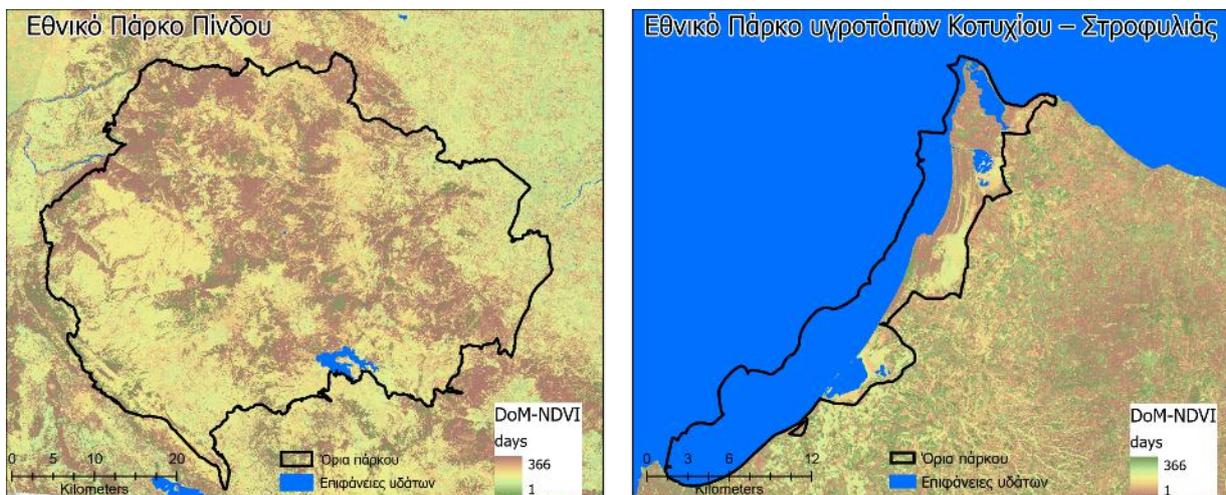
1.2.10.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.10.2.1 Φασματικός δείκτης ημερομηνίας ετήσιου μέγιστου NDVI

Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI / Dom-NDVI) ορίζεται ως η ημερομηνία κατά την οποία εμφανίζεται η μέγιστη τιμή NDVI εντός του έτους (Alcaraz et al., 2006). Η εξίσωση υπολογισμού του Dom-NDVI για εικόνες Sentinel 2 είναι

$$Dom - NDVI = argmax(NDVI_{max}[t])$$

Στη παρούσα δράση χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel 2 MSI Level 2, για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 36).



Εικόνα 36 Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI) σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 για το έτος 2020 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.10.2.2 Δείκτης φαινολογίας φυτών με βιοφυσική βάση

Ο φασματικός δείκτης φαινολογίας φυτών (PPI) για την ανάκτηση της φαινολογίας των φυτών έχει σχεδόν γραμμική σχέση με το δείκτη πράσινης φυλλικής επιφάνειας (LAI), δεδομένης μιας σταθερής επίδρασης του εδάφους (Jin and Eklundh, 2014). Η έκφραση του PPI χρησιμοποιεί την ανακλαστικότητα του κόκκινου και του NIR και βασίζεται στον τροποποιημένο νόμο του Beer που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της ανακλαστικότητας του θόλου και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI)(Jin and Eklundh, 2014). Ο PPI (μονάδα: $m^2 m^{-2}$) ορίζεται ως εξής:



$$PPI = -K \times \ln \left(\frac{DVI_{max} - DVI}{DVI_{max} - DVI_s} \right)$$

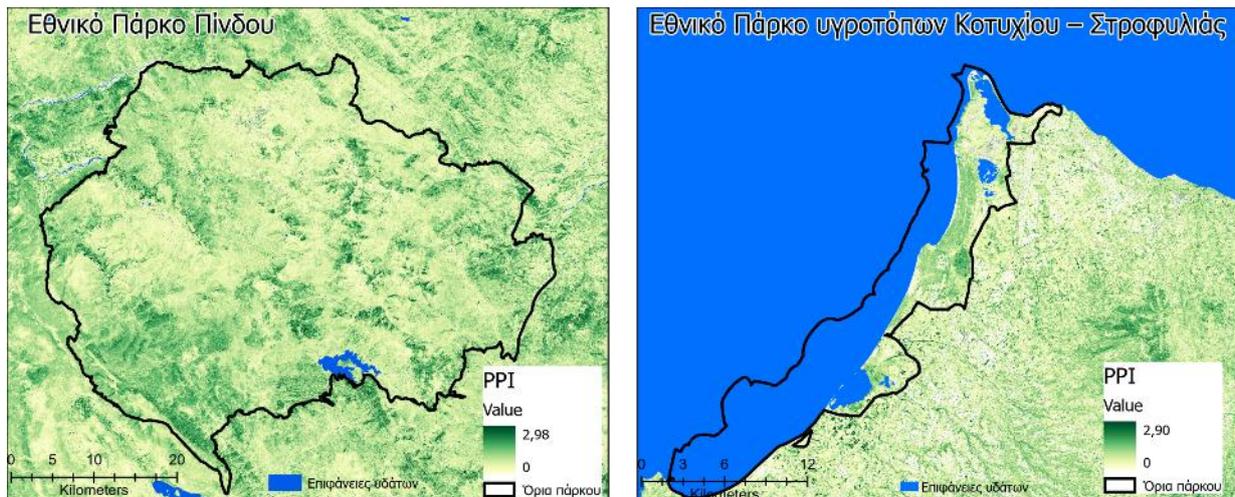
Όπου

$$DVI = NIR - RED$$

- *DVI* (Difference Vegetation Index) είναι η διαφορά μεταξύ της NIR και της κόκκινης ανάκλασης-
- DVI_{max} είναι η μέγιστη τιμή *DVI*
- DVI_s είναι το *DVI* του εδάφους
- *K* είναι ο συντελεστής κέρδους που διαμορφώνεται ως συνάρτηση της ζενίθιας γωνίας του ήλιου θ , μια γεωμετρική συνάρτηση της γωνιακής κατανομής των φύλλων και του στιγμιαίου διάχυτου κλάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας (Jin and Eklundh, 2014).

Οι φυσικές τιμές PPI κυμαίνονται από 0 έως 3.

Η Εικόνα 37 παρουσιάζει τον δείκτη PPI, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 37 Δείκτης φαινολογίας Plant Phenology Index (PPI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.10.2.3 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης για τη φαινολογία φυτών -Copernicus

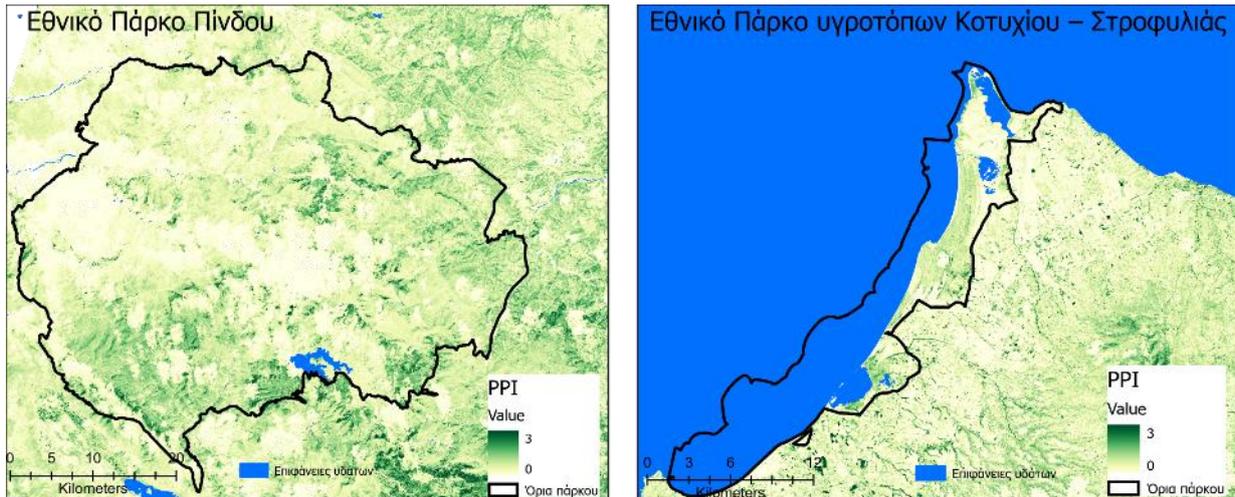
Το σύνολο δεδομένων Plant Phenology Index (PPI) της υπηρεσίας Copernicus⁹, είναι ένα από τα προϊόντα δείκτη βλάστησης υψηλής ανάλυσης το οποίο αναπτύσσεται από την απλουστευμένη εξίσωση της μεταφοράς ακτινοβολίας (radiative transfer) των (Jin and Eklundh, 2014). Το προϊόν διατίθεται ως αρχεία εικόνων (raster) χωρικής ανάλυσης 10 x 10m, σε προβολή

⁹ <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/high-resolution-plant-phenology-index>



UTM/WGS84 για την περίοδο από τον Οκτώβριο του 2016 έως σήμερα, με καθημερινές ενημερώσεις.

Για την εν λόγω δράση εξετάστηκε το προϊόν Plant Phenology Index (PPI) Αυγούστου 2023 για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 38).



Εικόνα 38 Δείκτης φαινολογίας του προϊόντος Plant Phenology Index (PPI) του *Coreopsis*, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 31/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.11 Δομή βλάστησης

1.2.11.1 Περιγραφή

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index LAI) είναι ένας βιοφυσιτικός δείκτης που αναγνωρίζεται ως Βασική Κλιματική Μεταβλητή (Essential Climate Variable ECV). Ο LAI ορίζεται ως η ποσότητα της φυλλικής επιφάνειας (m^2) ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους (m^2) (Asner et al., 2003). Επειδή είναι ένα μέγεθος χωρίς διαστάσεις, ο LAI μπορεί να ποσοτικοποιηθεί σε πολλές κλίμακες, από μεμονωμένα δέντρα ή συστάδες δέντρων έως ολόκληρες περιοχές ή ηπείρους. Ως αποτέλεσμα, ο LAI έχει γίνει ένας κεντρικός και βασικός περιγραφικός δείκτης της κατάστασης της βλάστησης (Asner et al., 2003) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης και των λειτουργιών των χερσαίων οικοσυστημάτων (Dash and Ogutu, 2016), την αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας της βλάστησης (Brede et al., 2020), και την μοντελοποίηση πολλών διεργασιών της γήινης επιφάνειας, όπως η πρωτογενής παραγωγικότητα και η ροές άνθρακα (Meyer et al., 2019).

Για την εκτίμηση του LAI, οι άμεσες μετρήσεις πεδίου θεωρούνται η προσέγγιση με τη μεγαλύτερη ακρίβεια-ωστόσο οι διαδικασίες αυτές συχνά περιορίζονται από περιορισμούς σε σχέση με την όχι πάντα εύκολη προσβασιμότητα στο πεδίο αλλά και υλικοτεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες (Gower et al., 1999). Επίσης, οι έμμεσες τεχνικές πεδίου, μέσω επίγειων αισθητήρων αν και είναι οικονομικά αποδοτικότερες, δεν μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για μεγάλες εκτάσεις και εκτεταμένες χρονικές περιόδους (Brown et al., 2019). Από αυτήν την άποψη, τα δορυφορικά δεδομένα Παρατήρησης Γης παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρουν επαναλαμβανόμενες, συνοπτικές παρατηρήσεις (Brown et al., 2019).



Ο LAI μπορεί να εκτιμηθεί από τέτοια δεδομένα χρησιμοποιώντας είτε στατιστικές είτε βιοφυσικές μεθόδους. Οι βιοφυσικές μέθοδοι προσδιορίζουν το LAI με βάση τις διαδικασίες μεταφοράς φωτός εντός της κόμης και οι στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούν την εμπειρική σχέση μεταξύ του LAI και της επιφανειακής ανακλαστικότητας. Στατιστικές μέθοδοι μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένων μη γραμμικών και γραμμικών, μη παραμετρικών μοντέλων όπως η παλινδρόμηση διανυσμάτων υποστήριξης (support vector regression-SVR)(Wang et al., 2019b)(Omer et al., 2016), τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks NN) (Wang et al., 2018; Xiao et al., 2016), η παλινδρόμηση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (partial least squares regression-PLSR) (Wang et al., 2018) (Kiala et al., 2017), το τυχαία δάση (random forest RF) (Campos-Taberner et al., 2016; Houborg and McCabe, 2018; Wang et al., 2019b) και η παλινδρόμηση διαδικασίας Gauss (Gaussian process regression GPR) (Campos-Taberner et al., 2016; Chrysafis et al., 2020b; Verrelst et al., 2016) είναι εναλλακτικές λύσεις μοντελοποίησης που έχουν εφαρμοστεί για τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων του LAI (Ali et al., 2020) Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση για την εκτίμηση του LAI μέσω δεδομένων Παρατήρησης Γης βασίζεται στη χρήση φασματικών δεικτών βλάστησης και είναι μια σχετικά απλή και υπολογιστικά αποδοτική προσέγγιση (Cohrs et al., 2020; Song, 2012). Στη σχετική βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί αρκετές προσπάθειες μελέτης της σχέσης μεταξύ του LAI και των δορυφορικών παραγόμενων φασματικών δεικτών βλάστησης (Myneni et al., 2002) (Wang et al., 2005).

Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί έτοιμα προϊόντα από δορυφορικά δεδομένα Παρατήρησης Γης, όπως π.χ. μέσω του Copernicus Global Land Service (Fuster et al., 2020; Yan et al., 2016). Ωστόσο, η χωρική ανάλυση των εν λόγω προϊόντων μεταξύ 500 και 300 μέτρων δεν είναι κατάλληλη για μελέτες τοπικής κλίμακας.

1.2.11.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.11.2.1 Φασματικός πράσινος δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) διακρίνεται σε δύο τύπους: τον πράσινο δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Green Leaf Area Index - LAI_{green}), ο οποίος αντιπροσωπεύει τα φύλλα που είναι φωτοσυνθετικά ενεργά και είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος LAI (Daughtry et al., 1992) και ο καφέ δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI_{brown}), ο οποίος αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη φυλλική επιφάνεια με μειούμενη φωτοσυνθετική λειτουργία (Delegido et al., 2015). Ο δείκτης LAI_{green} αποτελεί σημαντικό δεδομένο εισόδου σε κλιματικά μοντέλα (Zaroug et al., 2013), μοντέλα οικολογικών (Richardson et al., 2011) και βιογεωχημικών (Breda, 2003) κύκλων, καθώς και για την εκτίμηση της κατάστασης της βλάστησης των καλλιεργειών (Sakamoto et al., 2012).

Για την εκτίμηση LAI_{green} έχει αναπτυχθεί ο δείκτης Sentinel-2 LAI Index (SeLI) (Pasqualotto et al., 2019). Ο SeLI είναι ένας κανονικοποιημένος δείκτης που χρησιμοποιεί ένα δίαυλο κόκκινης ακμής (705 nm), του Sentinel-2-μια φασματικής περιοχής που εξισορροπεί την επίδραση της ισχυρής απορρόφησης της χλωροφύλλης και της ελάχιστης σκέδασης σε μέτριες-υψηλές τιμές LAI, και της ζώνης του εγγύς υπέρυθρου NIR (865 nm) που επηρεάζεται από τη σκέδαση των φύλλων, ως ζώνη αναφοράς.

Η εξίσωση υπολογισμού του LAI_{green} για εικόνες Sentinel 2 είναι η παρακάτω (Pasqualotto et al., 2019):

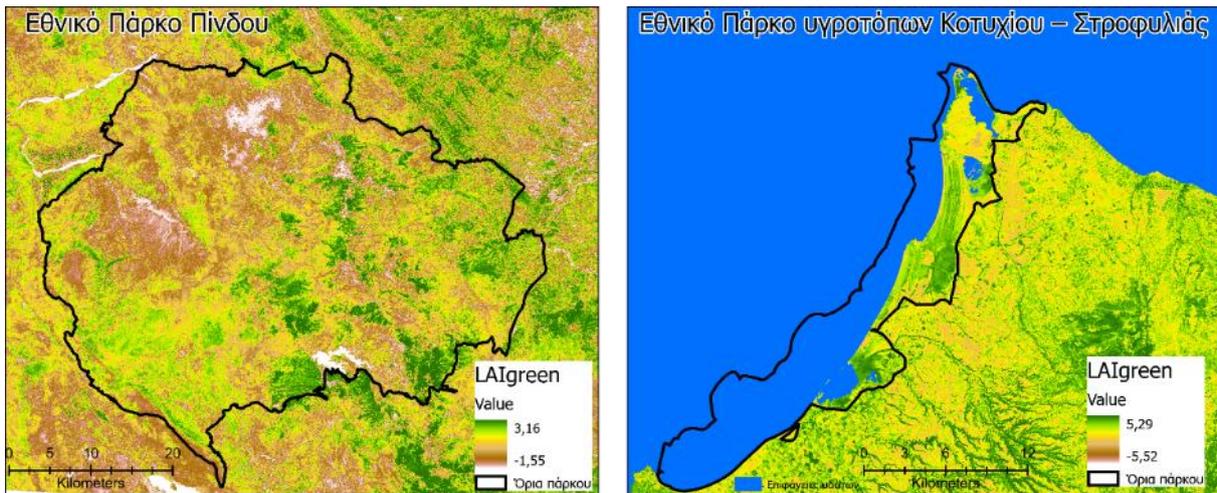
$$LAI = 5.405 \times SeLI - 0.114$$



όπου

$$SeLI = \frac{NIR_{n1} - RE1}{NIR_{n1} + RE1}$$

Η Εικόνα 39 παρουσιάζει τον δείκτη LAIgreen, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 39 Πράσινο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Green Leaf Area Index LAIgreen -LAIgreen) σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.11.2.2 Φασματικός δείκτης ειδικής φυλλικής επιφάνειας

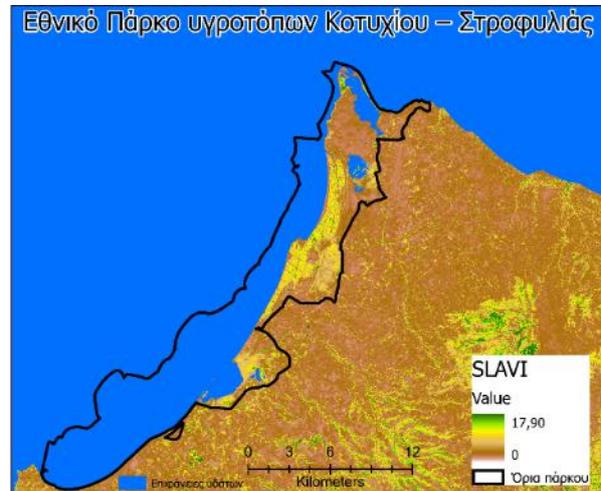
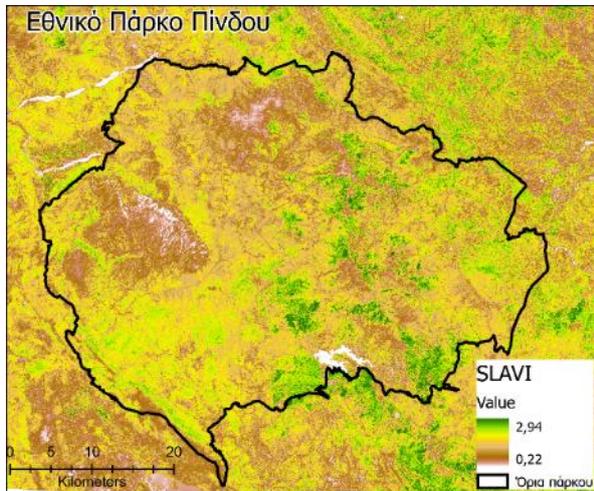
Η ειδική φυλλική επιφάνεια (Specific leaf area -SLA), η οποία ορίζεται ως η φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα ξηρής φυλλικής μάζας, είναι ένα από τα θεμελιώδη λειτουργικά χαρακτηριστικά των φύλλων που αποδίδονται στη λειτουργική συνιστώσα της βιοποικιλότητας (Wilson et al., 1999)(Asner et al., 2011) και συγκαταλέγεται μεταξύ των δέκα βασικών μεταβλητών βιοποικιλότητας που προτάθηκαν από τους (Pettorelli, 2015) για την καταγραφή των αλλαγών της βιοποικιλότητας (Lyburner et al., 2000).

Ο φασματικός δείκτης ειδικής φυλλικής επιφάνειας βλάστησης (SLAVI) συνδέει τους κύκλους άνθρακα και νερού των φυτών, καθώς και στην ποσοτικοποίηση των φυσιολογικών διεργασιών των φυτών (Ali et al., 2017).

Η εξίσωση υπολογισμού της SLA για τις εικόνες Sentinel 2 είναι:

$$SLAVI = \frac{Water\ vapour}{RE1 + SWIR_2}$$

Η Εικόνα 40 παρουσιάζει τον δείκτη SLAVI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 40 Δείκτης ειδική φυλλικής επιφάνειας (Specific leaf area vegetation index -SLAVI), σε χωρική ανάλυση 10μ, από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.11.2.3 Φασματικός δείκτης LAI Sentinel 2

Από τους διαθέσιμους δείκτες βλάστησης για την εκτίμηση του LAI, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index -NDVI) και ο ενισχυμένος δείκτης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index -EVI) (Wang et al., 2005). Ένα σημαντικό μειονέκτημα που σχετίζεται με τη χρήση του NDVI είναι ο κορεσμός του δείκτη σε υψηλές τιμές LAI. Ο EVI έχει βελτιωμένη ευαισθησία σε περιοχές με υψηλή βιομάζα και είναι πιο ευαίσθητος στις μεταβολές της δομής του θόλου της κόμης (Chen and Sun, 2010). Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι ο EVI χρησιμοποιεί την ανάκλαση στην μπλε ζώνη ελαχιστοποιώντας έτσι τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις (Huete, 1997).

Στα πλαίσια των εργασιών της δράσης, για την κατασκευή μοντέλου LAI και την παραγωγή του αντίστοιχου προϊόντος εξετάστηκε η εμπειρική εξίσωση όπως αναπτύχθηκε από τον (Boegh et al., 2002), σε περιβάλλον προγραμματισμού R.

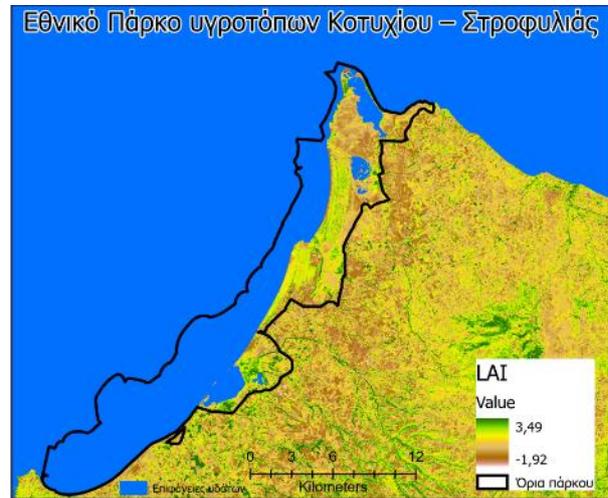
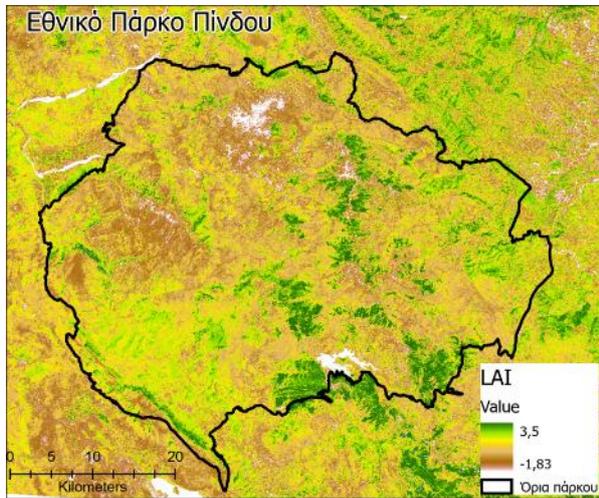
Η εξίσωση υπολογισμού του LAI για εικόνες Sentinel 2είναι

$$LAI = 3.618 \times EVI - 0.118$$

$$\text{Όπου } EVI = 2.5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1}$$

Οι τιμές LAI κυμαίνονται από 0 (γυμνό έδαφος) έως πάνω από 10 (πυκνά δάση κωνοφόρων).

Η Εικόνα 41. παρουσιάζει τον δείκτη LAI, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 41 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index - LAI), σε χωρική ανάλυση 10μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.11.2.4 Δείκτης LAI μέσω μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας PROSAIL

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε το προϊόν LAI, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη του μοντέλου PROSAIL σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R, την εφαρμογή του πακέτου R *prosail* και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 42).



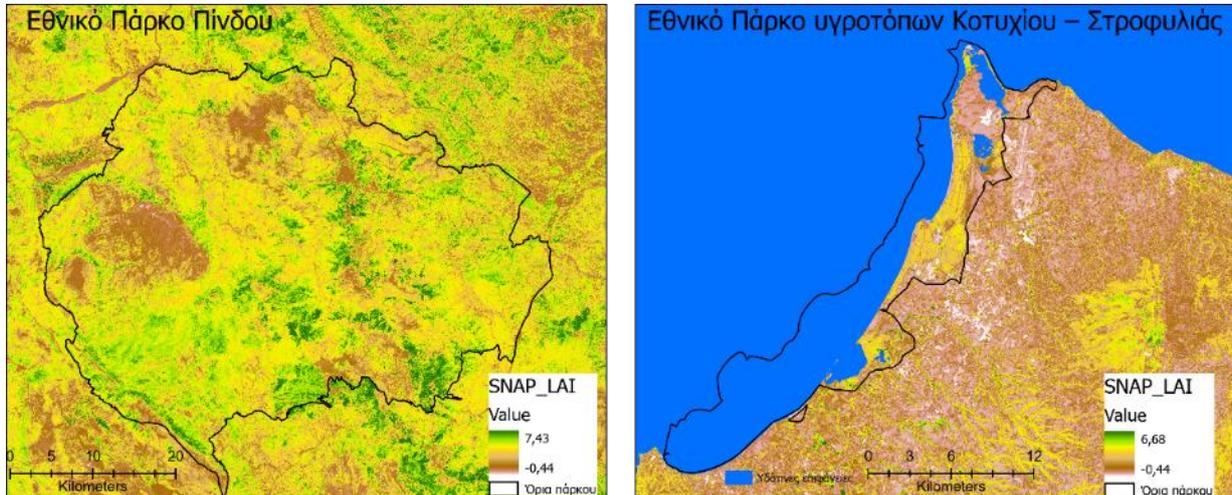
Εικόνα 42 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) με εφαρμογή του μοντέλου R *prosail* για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς θλάση NDVI_Thresh < -0.5)

1.2.11.2.5 Δείκτης LAI μέσω μοντέλου νευρωνικού αλγόριθμου στην εργαλειοθήκη SNAP

Για της ανάγκες της παρούσας Δράσης, εξετάστηκε το προϊόν LAI, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B σε περιβάλλον SNAP Toolbox και την χρήση εικόνων



Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς σε δύο χωρικές αναλύσεις (10 m και 20 m) (Εικόνα 43).



Εικόνα 43 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

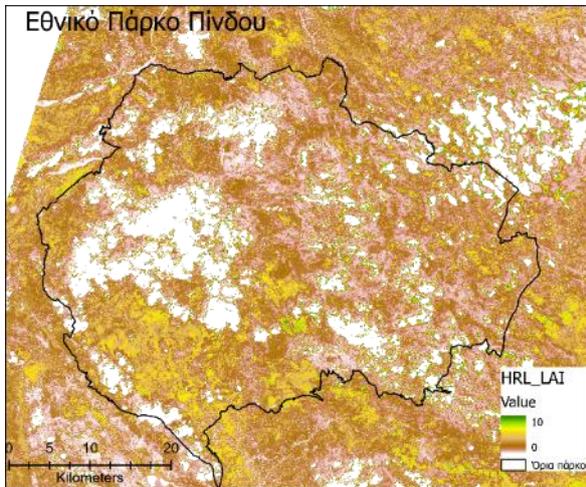
1.2.11.2.6 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης LAI μέσω του CLMS -HRLs

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας παρέχεται σε πανευρωπαϊκό επίπεδο από την υπηρεσία Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)¹⁰. Το σύνολο δεδομένων LAI για την περίοδο 2016 έως σήμερα, διατίθεται ως αρχεία raster σε προβολή UTM/WGS84 και χωρική ανάλυση 10 m x 10 m. Κάθε αρχείο διαθέτει έναν σχετικό δείκτη ποιότητας (QFLAG2) για να βοηθήσει τους χρήστες με τον έλεγχο των νεφών, των σκιών από τα σύννεφα και της τοπογραφίας, του χιονιού και των υδάτινων επιφανειών.

Η τιμές LAI αντιστοιχούν στο συνολικό πράσινο LAI όλων των επιπέδων κόμης, συμπεριλαμβανομένου του υπορόφου, ο οποίος μπορεί να έχει πολύ σημαντική συμβολή, ιδίως για τα δάση.

Η Εικόνα 44 εμφανίζει τον Δείκτη φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index HRL- LAI του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

¹⁰ <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/high-resolution-leaf-area-index>



Εικόνα 44 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index HRL- LAI του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

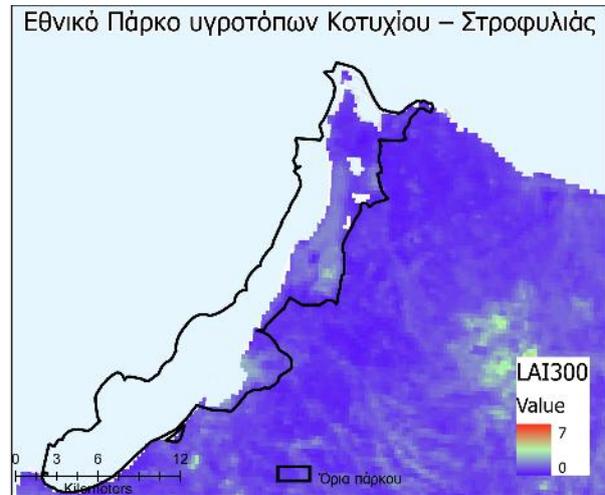
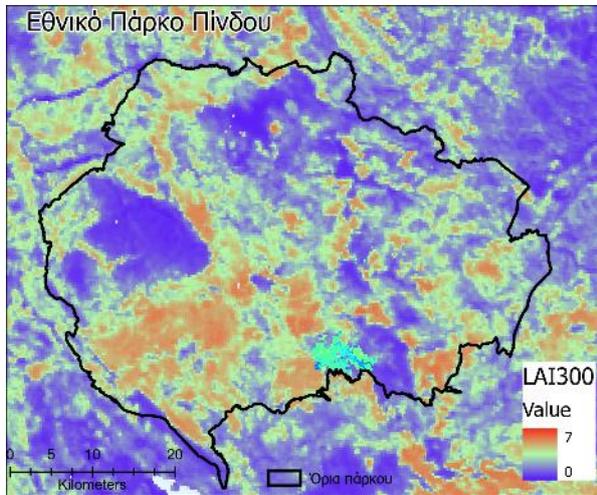
1.2.11.2.7 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης LAI μέσω του CLMS

Το προϊόν LAI Collection 300m διατίθεται δωρεάν από την υπηρεσία Copernicus¹¹. Βασίζεται σε δεδομένα Sentinel-3/OLCI, έχει επικυρωθεί σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που προτάθηκαν από την ομάδα επικύρωσης προϊόντων γης (LPV) του CEOS. Αποτελείται από μια δια-σύγκριση με τα υπάρχοντα παγκόσμια προϊόντα (PROBA-V LAI 300m V1.0, VIIRS LAI C1 και LSA-SAF EPS VEGA LAI) με τη χρήση του δικτύου LANDVAL για την εκτέλεση της στατιστικής ανάλυσης και μια άμεση σύγκριση με επίγειους χάρτες αναφοράς από την υπηρεσία Ground-Based Observations for Validation¹². Η έκδοση 1.1 του Sentinel-3/OLCI Collection 300m LAI παρέχει μια εκτίμηση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (NRT) με την εφαρμογή ενός Νευρωνικού Δικτύου στις στιγμιαίες ανακλάσεις Top-of-Canopy από το Sentinel-3 OLCI (προϊόντα v1.1) ή στις ημερήσιες ανακλάσεις Top-of-Aerosol από το PROBA-V (v1.0).

Η Εικόνα 45 εμφανίζει τον Δείκτη φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index Sentinel-3/OLCI Collection 300m LAI, για την 31/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

¹¹ <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>

¹² <https://land.copernicus.eu/global/gbov>



Εικόνα 45 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας του προϊόντος Leaf Area Index Sentinel-3/OLCI Collection 300m LAI του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για την 1/08/2023, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγρατόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.12 Κατάσταση βλάστησης

1.2.12.1 Περιγραφή

Το κλάσμα της απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) συνδέει την φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (Photosynthetic Active Radiation - PAR) με την απορρόφηση από την κόμη των φυτών, χαρακτηρίζοντας τη δομή της βλάστησης, καθώς και τον κύκλο του άνθρακα (Liang and Wang, 2020a) (Putzenlechner et al., 2022). Το FAPAR αποτελεί κρίσιμο δεδομένο εισόδου για κλιματικά και οικολογικά μοντέλα, που επιτρέπουν την παρακολούθηση της καθαρής παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων και την αξιολόγηση των παγκόσμιων ισοζυγίων άνθρακα (Ryu et al., 2019). Λόγω του βασικού του ρόλου στις διεργασίες και την παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων, περιλαμβάνεται στον κατάλογο των χερσαίων Βασικών Κλιματικών ΜΝεταβλητών (Essential climate Variables ECVs) του Παγκόσμιου Συστήματος Παρατήρησης του Κλίματος (Global Climate Observing System GCOS).

Εως σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμοι αλγόριθμοι ανάκτησης του FAPAR μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης (Gitelson, 2019; Liu et al., 2019) και υπάρχει αυξανόμενη διαθεσιμότητα συνόλων δεδομένων FAPAR. Ωστόσο η ακριβής και αποτελεσματική επικύρωσή τους αποτελεί πρόκληση σε δασικά περιβάλλοντα και επιπλέον τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα είναι διαθέσιμα σε σχετικά αδρές χωρικές αναλύσεις, και συνεπώς είναι κατάλληλα μόνο για περιφερειακές έως παγκόσμιες μελέτες FAPAR (Putzenlechner et al., 2022).

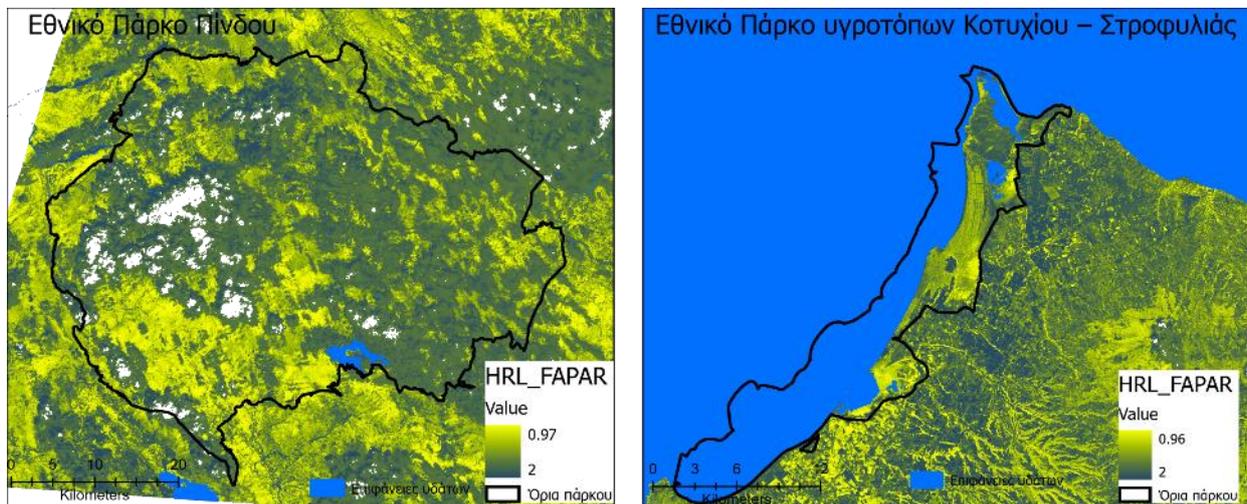


1.2.12.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.12.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης FAPAR μέσω του CLMS-HRLs

Η υπηρεσία Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)¹³ παρέχει σε πανευρωπαϊκό επίπεδο και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο καθημερινές ενημερώσεις του κλάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας (FAPAR) που απορροφάται από τα ζωντανά φύλλα για τη δραστηριότητα της φωτοσύνθεσης. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε χωρική ανάλυση 10 m x 10 m με χρονικό εύρος κάλυψης από τον Οκτώβριο του 2016 έως σήμερα σε προβολή UTM/WGS84.

Η Εικόνα 46 εμφανίζει το κλάσμα ηλιακής ακτινοβολίας του προϊόντος HRL- FAPAR του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



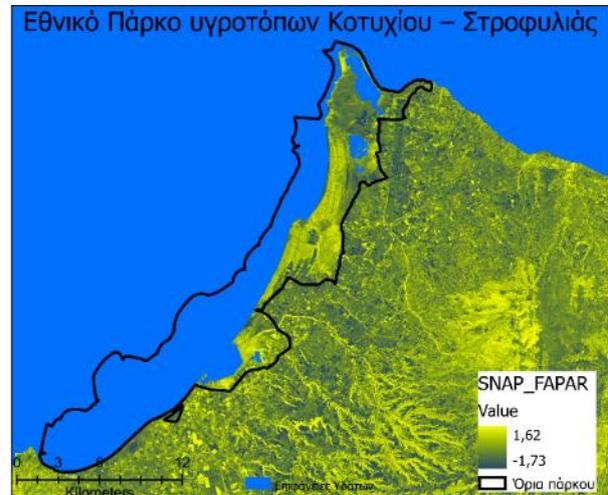
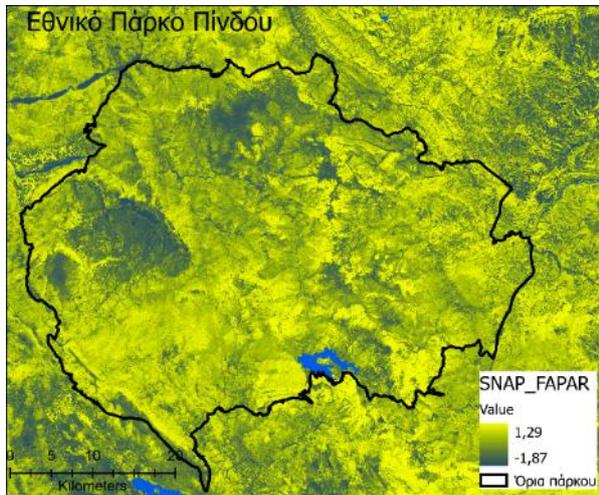
Εικόνα 46 Κλάσμα ηλιακής ακτινοβολίας του προϊόντος Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (HRL-FAPAR) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για την 1/08/2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

1.2.12.2.2 Δείκτης FAPAR μέσω μοντέλου νευρωνικού αλγόριθμου στην εργαλειοθήκη SNAP

Για της ανάγκες της παρούσας δράσης, εξετάστηκε το προϊόν FAPAR, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B σε περιβάλλον SNAP Toolbox και την χρήση εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς σε χωρική ανάλυση 10 m (Εικόνα 47).

¹³

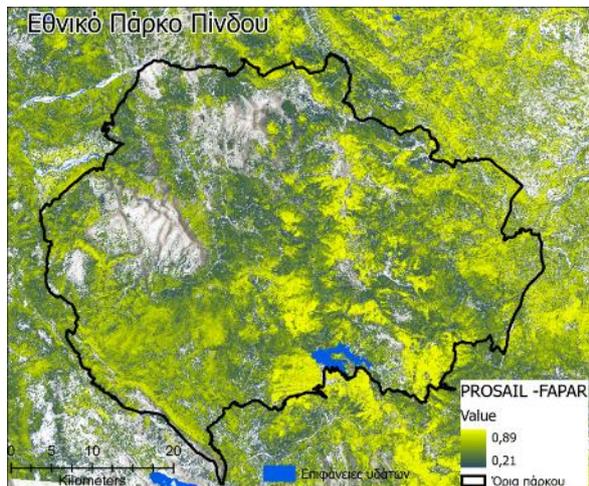
<https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/high-resolution-fraction-of-absorbed-photosynthetically-active-radiation>



Εικόνα 47 Κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.12.2.3 Δείκτης FAPAR μέσω μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας PROSAIL

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε το προϊόν FARAR, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη του μοντέλου PROSAIL σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R, την εφαρμογή του πακέτου R prosail και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 48).



Εικόνα 48 Κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (Fraction of absorbed photosynthetic active radiation – FAPAR) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς θλάση NDVI_Thresh < -0.5)

1.2.12.2.4 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης για το πράσινο στιγμιαίο FAPAR

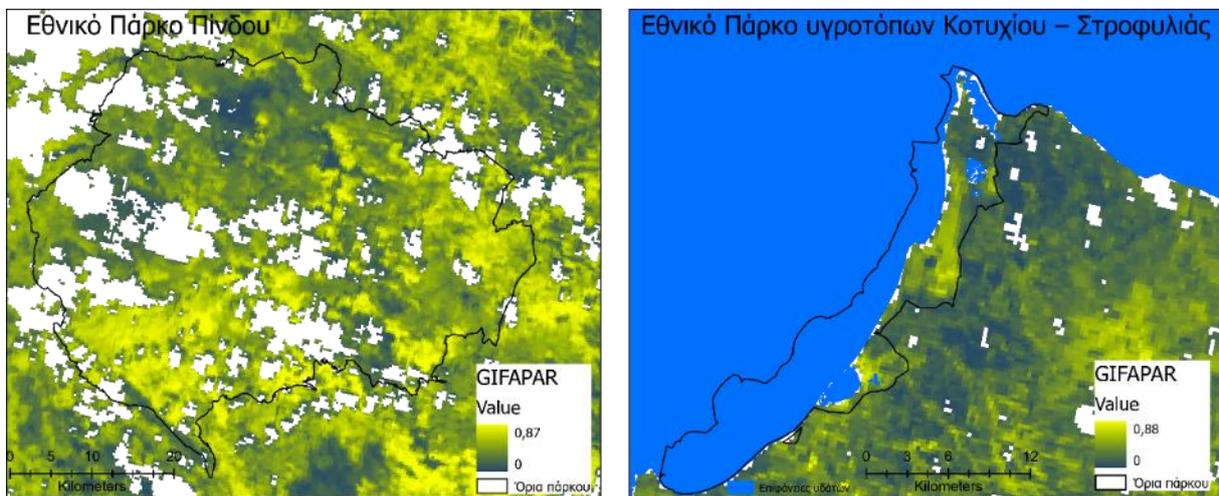
Το πράσινο στιγμιαίο κλάσμα της απορροφούμενης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (Green Instantaneous FAPAR- GIFAPAR) αναφέρεται στον ορισμό της στιγμιαίας πράσινης τιμής (Bourg et



al., 2023) και μόνο για τα πράσινα μέρη της κόμης (που θεωρούνται τα φύλλα με περιεκτικότητα χλωροφύλλης μεγαλύτερη από $15\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) (Weiss et al., 2020). Το βιο-γεωφυσικό προϊόν πράσινο στιγμιαίο κλάσμα της απορροφούμενης φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (Green Instantaneous FAPAR- GIFAPAR) της υπηρεσία Copernicus¹⁴ παράγεται σε παγκόσμιο επίπεδο με χωρική ανάλυση 300m για τη γη από τα δεδομένα OLCI της αποστολής Sentinel 3 της ESA. Οι τιμές GIFAPAR κυμαίνεται από 0-1. Η επικύρωση του GIFAPAR βρίσκεται σε εξέλιξη (ESA, 2021).

Το προϊόν χρησιμοποιείται για τη μελέτη της φωτοσυνθετικής διαδικασίας των φυτών και συχνά σε προγνωστικά μοντέλα πρωτογενής παραγωγικότητας της φυτοκάλυψης. Επιπλέον, η παράμετρος αυτή αποτελεί εισροή για την εκτίμηση της αφομοίωσης του CO₂ στη βλάστηση.

Η Εικόνα 49 εμφανίζει το προϊόν FAPAR -GIFAPAR της υπηρεσία Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2018, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 49 Πράσινο στιγμιαίο κλάσμα απορροφούμενης φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας του προϊόντος Green Instantaneous FAPAR -GIFAPAR της υπηρεσία Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (Λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

1.2.13 Πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων

1.2.13.1 Περιγραφή

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 ενδαιτήματα, 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 TCD επηρεάζει την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών, καθορίζοντας έτσι τη φύση της βλάστησης και τα ενδαιτήματα της άγριας ζωής (Jennings, 1999). Η παρακολούθηση της εδαφοκάλυψης είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση της κατάστασης των δασικών οικοσυστημάτων. Η TCD είναι απαραίτητη για την ανάλυση της πραγματικής

¹⁴ <https://land.copernicus.eu/global/products/fapar>



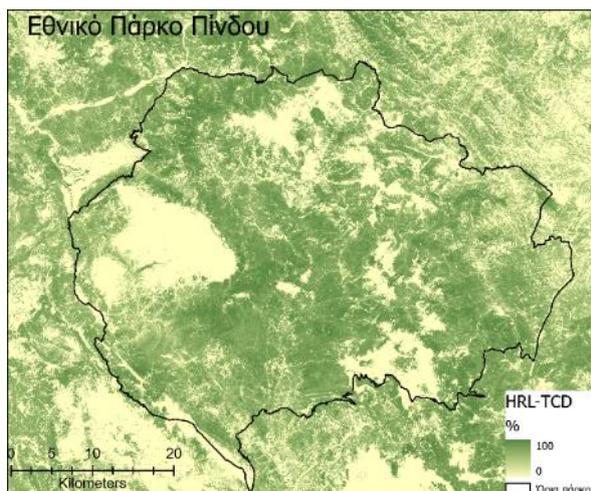
κατάστασης δασικών εκτάσεων και αποτελεί ένας από τους σημαντικούς δείκτες που χρησιμοποιούνται για τους δασικούς πόρους και τη διαχείριση (Urquiza, 1998). Επιπλέον, πληροφορίες σχετικά με πυκνότητα κάλυψης, σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τη διάβρωση του εδάφους, την υποβάθμιση των υδάτινων πόρων, τη δέσμευση άνθρακα, την απώλεια της βιοποικιλότητας και τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής. Οι αλλαγές στην πυκνότητα εδσοκάλυψης συσχετίστηκαν με την απώλεια και την αύξηση των δασών, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη δομή και την κατάσταση των δασών (Dantas de Paula et al., 2016) (Hansen et al., 2013) (Miles et al., 2006). Η αλλαγή της πυκνότητας εδσοκάλυψης από την κόμη των δένδρων μπορεί να είναι αποτέλεσμα φυσικών ή/και ανθρωπογενών παραγόντων.

1.2.13.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.13.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης μέσω του CLMS -HRLs

Το προϊόν υψηλής χωρικής ανάλυσης Tree Cover Density (HRL-TCD) της υπηρεσία Copernicus¹⁵ χαρτογραφεί το βαθμό (0-100% ανά εικονοστοιχείο) πυκνότητα εδσοκάλυψης από την κόμη των δένδρων, σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, με χωρική ανάλυση 10 m και 100 m για το έτη αναφοράς 2012, 2015 και 2018. Τα διαθέσιμα αρχεία συμπεριλαμβάνουν δύο προϊόντα για την αλλαγή κάλυψης δέντρων (Tree Cover Mask Change) για τα έτη 2012-2015 και 2015-2018 σε ανάλυση 20 m. Για τα έτη αναφοράς 2012 και 2015 το προϊόν είναι διαθέσιμο σε ανάλυση 20 m και ως συγκεντρωτικό επίπεδο ανάλυσης 100 m. Για το έτος αναφοράς 2018 το προϊόν είναι διαθέσιμο σε ανάλυση 10 m και ως συγκεντρωτικό επίπεδο ανάλυσης 100 m.

Ενώ η επικύρωση της έκδοσης V01 του προϊόντος HRL-TCD ξεπέρασε ήδη την ελάχιστη ακρίβεια σε πανευρωπαϊκό επίπεδο για σφάλματα συμπερίληψης (commission error) ή σφάλματα αποκλεισμού (omission error), μετά από αξιολόγηση αξιοπιστίας, η υποεκτίμηση της εδσοκάλυψης από την κόμη των δένδρων σε χαμηλές και υψηλές τιμές πυκνότητας κάλυψης βελτιώθηκε σημαντικά στην έκδοση V02 του προϊόντος HRL-TCD.



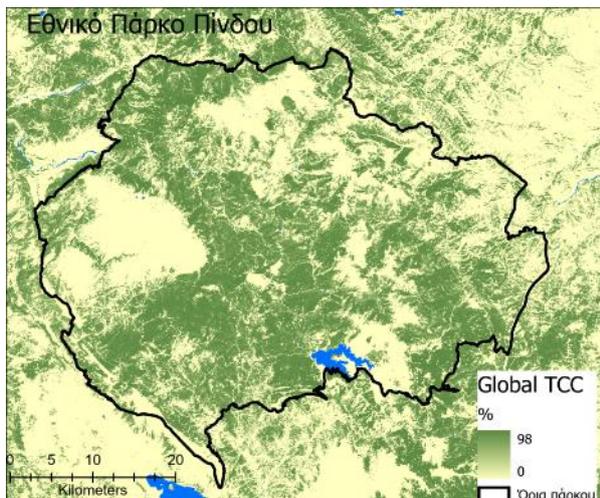
Εικόνα 50 Πυκνότητα κάλυψης δέντρων του προϊόντος (Tree Cover Density HRL-TCD) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

¹⁵ <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-tree-cover-density>



1.2.13.2.2 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης Global 2010 Tree Cover

Το προϊόν Global 2010 Tree Cover¹⁶ είναι εκτιμήσεις ανά εικονοστοιχείο του ποσοστού μέγιστης εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (αιχμή της αυξητικής περιόδου) σε ακέραιες τιμές (1-100), για το έτος 2010, σε παγκόσμιο επίπεδο. Προέρχεται από σύνθετα δεδομένα Landsat 7 ETM+, από το 2000 έως το 2012 και την εφαρμογή μοντέλου δέντρων παλινδρόμησης (Hansen et al., 2013). Τα προϊόντα Global 2010 Tree Cover διατίθενται δωρεάν σε αρχεία εικόνων 8-bit σε χωρική ανάλυση περίπου 30 μέτρα από το εργαστήριο Global Land Analysis and Discovery (GLAD)¹⁷ του Τμήματος Γεωγραφικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Maryland. Για την εκτίμηση της εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων χρησιμοποιείται η διάμεσος από τις ετήσιες τιμές κάλυψης του θόλου της κόμης των δένδρων από το 2009 έως το 2011. Τα κενά δεδομένων και ο θόρυβος από μεμονωμένα έτη αντικαταστούνται με τη χρήση πολυετών διάμεσων και τα τυχόν εναπομείναντα κενά συμπληρώνονται με τιμές κάλυψης κόμης δένδρων που προκύπτουν από ένα μοντέλο δένδρων παλινδρόμησης με χρήση όλων των δεδομένων Landsat ETM+ κατά την αυξητική περίοδο. Η Εικόνα 51 εμφανίζει την ποσοστιαία κάλυψη δένδρων του προϊόντος Global 2010 Tree Cover, σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων, για το έτος 2010, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 51 Ποσοστιαία κάλυψη δένδρων του προϊόντος Global 2010 Tree Cover, σε χωρική ανάλυση 30μ, για το έτος 2010, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

1.2.13.2.3 Εμπειρικό φασματικό μοντέλο εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων

Για την εκτίμηση της πυκνότητας εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων (Tree Cover Density - TCD) στις περιοχές μελέτης αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα μηχανικής μάθησης (super learner ensemble) (ένα για κάθε περιοχή) με δεδομένα εισόδου την φασματική πληροφορία εικόνων Sentinel 2 L2A (level-2A). Τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων προήλθαν με τη φωτοερμηνεία

¹⁶ <https://glad.umd.edu/dataset/global-2010-tree-cover-30-m>

¹⁷ <https://glad.umd.edu/>



σημείων LUCAS 2018 (Land Use and Coverage Area frame Survey) εντός των περιοχών ενδιαφέροντος.

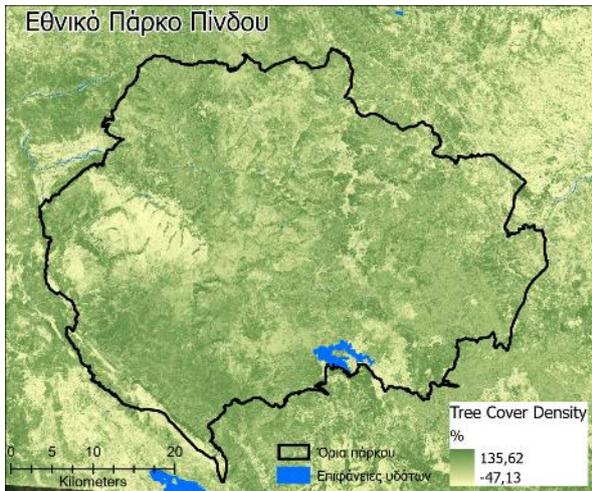
Το πρόγραμμα LUCAS¹⁸ αποτελεί μια έρευνα πεδίου, η οποία παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για συγκεκριμένα σημεία, καθώς και εναρμονισμένες και συγκρίσιμες στατιστικές για τη χρήση και την κάλυψη γης στην επικράτεια της ΕΕ. Η φωτοερμηνεία των σημείων αυτών διεξήχθη σε υπόβαθρο εικόνων Google Earth στο περιβάλλον του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Collect Earth Open Foris¹⁹ του Διεθνούς Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO).

Για τη ανάπτυξη του μοντέλου Super Learner, αρχικά εκπαιδεύτηκαν τρεις base learners (Generalized Linear Model (GLM) Random Forest (RF) και Gradient Boosting Machine (GBM) με τα αρχικά δεδομένα εκπαίδευσης (δεδομένα επιπέδου-0). Πραγματοποιήθηκε 10 φορές διασταυρωμένη επικύρωση (10-fold cross-validation) σε καθέναν από αυτούς και συλλέχτηκαν οι cross-validated τιμές από κάθε έναν από τους αλγόριθμους, οι οποίες και αποτέλεσαν τα δεδομένα επιπέδου 1. Στη συνέχεια, εκπαιδεύτηκε ο αλγόριθμος metalearning στα δεδομένα επιπέδου-1. Στην παρούσα μελέτη επιλέχτηκε ο αλγόριθμος ridge regression. Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους επιλέχτηκε ο αλγόριθμος ridge regression είναι πρώτον ότι στις μεθόδους στοίβαξης (stacking), η μέθοδος metalearning επιλέγεται συχνά να είναι κάποιο είδος κανονικοποιημένου γραμμικού μοντέλου (Hothorn, 2017), καθώς η κανονικοποίηση αυξάνει τη γενίκευση του μοντέλου στοίβαξης (Wu et al., 2019). Επιπλέον, δεδομένου ότι όλα τα μοντέλα επρόκειτο να προβλέψουν το ίδιο πράγμα, οι προβλεπόμενες τιμές αναμένεται να είναι έντονα συσχετισμένες, και η παλινδρόμηση κορυφογραμμής (ridge regression) είναι από τις πιο κοινές μεθόδους για την εκτίμηση των συντελεστών παλινδρόμησης μεταβλητών με υψηλή συσχέτιση (Breiman, 1996). Όλα τα μοντέλα παλινδρόμησης καθώς και η αξιολόγηση των καλύτερων παραμέτρων υλοποιήθηκαν με τη χρήση του πακέτου H2O (Landry, 2018) και τις συναρτήσεις H2O για GLM, RF και GBM, σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R (R Core Team, 2020).

Η Εικόνα 52 παρουσιάζει την πυκνότητα εδαφοκάλυψης από την κόμη των δένδρων, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων Super Learner για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

¹⁸ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>

¹⁹ <http://www.openforis.org/>



Εικόνα 52 Ποσοστιαία κάλυψη δένδρων, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων *Super Learner* και χρήση εικόνων *Sentinel 2 Level 2* Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.14 Κλασματική φυτοκάλυψη

1.2.14.1 Περιγραφή

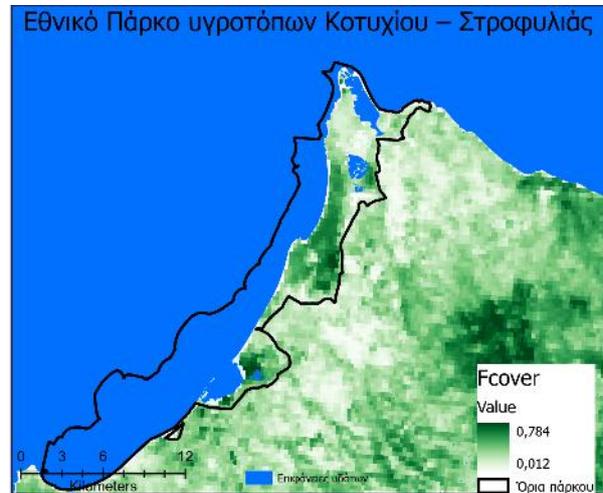
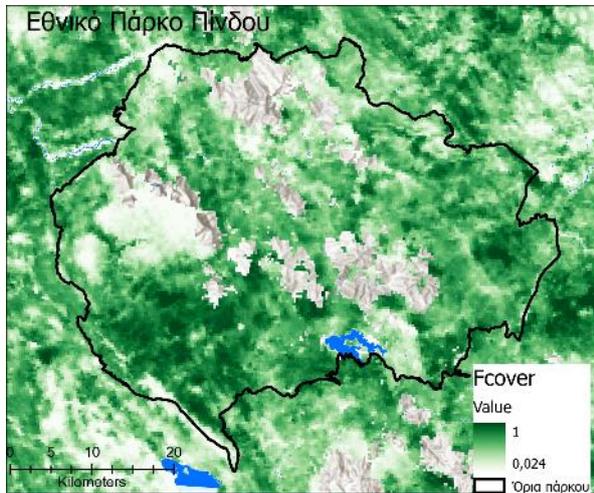
Η κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) ορίζεται ως το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από την κατακόρυφη προβολή της κόμης της βλάστησης. Η μεταβλητή FCover είναι μια βασική βιοφυσική μεταβλητή και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις μελέτες για τον κύκλο του άνθρακα, τη γεωργία, τη δασοκομία, την παρακολούθηση της υγείας της φυτικής βλάστησης, την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας και την κατανόηση της δυναμικής των οικοσυστημάτων (Gutman and Ignatov, 1998; Zeng et al., 2000). Το FCOVER ανακτάται από οπτικές δορυφορικές εικόνες τηλεπισκόπησης χρησιμοποιώντας κυρίως εμπειρικά μοντέλα (π.χ. με βάση τον NDVI) ή προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης (Liang and Wang, 2020b).

1.2.14.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.14.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης FCOVER μέσω του CLMS

Το προϊόν FCOVER Collection 300m Version 1.1 της υπηρεσίας Copernicus²⁰, ποσοτικοποιεί τη χωρική κλασματική φυτοκάλυψη σε παγκόσμιο επίπεδο, με χωρική ανάλυση 300 μέτρων από το 2014 έως σήμερα, με χρονική συχνότητα 10 ημερών. Στην τρέχουσα έκδοσή του (v1.1), το προϊόν αναπτύσσεται με την εφαρμογή ενός νευρωνικού δικτύου σε εικόνες Sentinel-3 OLCI. Η Εικόνα 53 εμφανίζει το προϊόν FCOVER Collection 300m Version 1.1 της υπηρεσίας Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

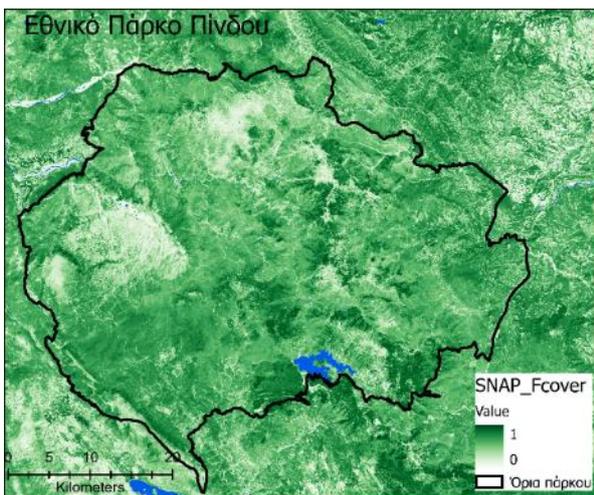
²⁰ <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/fraction-of-green-vegetation-cover-v1-0-300m>
<https://land.copernicus.eu/global/products/fcover>



Εικόνα 53 Η κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -Fcover) του προϊόντος FCOVER Collection 300m Version 1.1 της υπηρεσία Copernicus, σε χωρική ανάλυση 300μ, για τον Αύγουστο 2022, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. (λευκές περιοχές σημεία χωρίς δεδομένα)

1.2.14.2.2 Δείκτης FCOVER μέσω μοντέλου νευρωνικού αλγόριθμου στην εργαλειοθήκη SNAP

Για της ανάγκες της παρούσας δράσης, εξετάστηκε το προϊόν FCOVER ,όπως προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B σε περιβάλλον SNAP ToolBox και την χρήση εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς σε χωρική ανάλυση 10 m (Εικόνα 54). Το προϊόν υπολογίζεται από το δείκτη φυλλικής επιφάνειας και άλλες δομικές μεταβλητές της κόμης και δεν εξαρτάται από μεταβλητές όπως η γεωμετρία του φωτισμού.

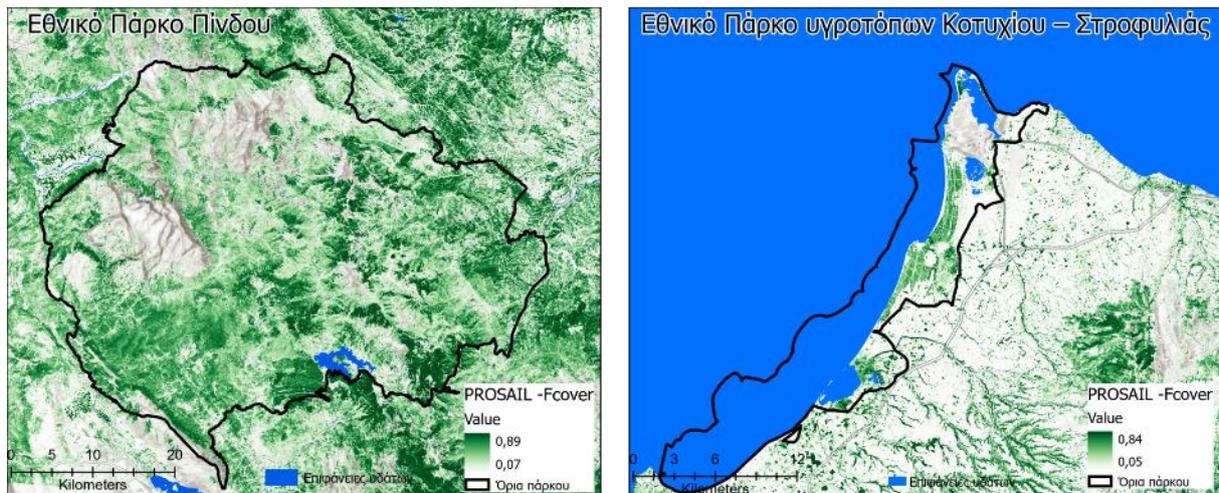


Εικόνα 54 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -Fcover) με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς



1.2.14.2.3 Δείκτης FCOVER μέσω μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας PROSAIL

Για της ανάγκες της Δράσης εξετάστηκε το προϊόν FCOVER, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη του μοντέλου PROSAIL (κεφάλαιο Ανάπτυξη μοντέλου PROSAIL) σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R, την εφαρμογή του πακέτου R prosail και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 55).



Εικόνα 55 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -Fcover) με εφαρμογή του μοντέλου R prosail για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς θλάσσηση $NDVI_Thresh < -0.5$)

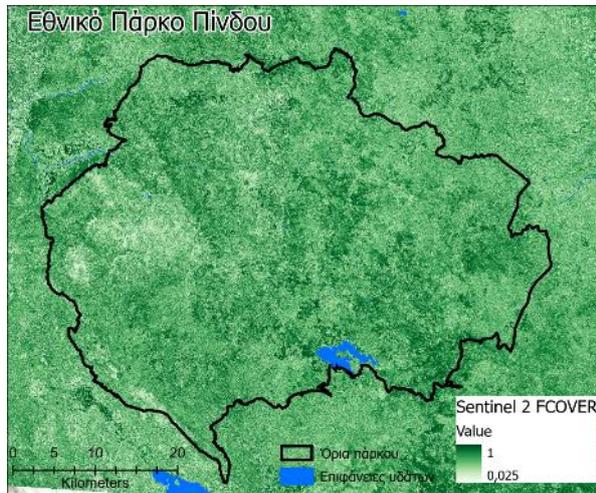
1.2.14.2.4 Φασματικός δείκτης FCOVER Sentinel 2

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτίμηση μιας μεγάλης ποικιλίας χαρακτηριστικών του θόλου των φυτών συμπεριλαμβανομένης της κλασματικής κάλυψη βλάστησης (Fcover). Έρευνες έχουν επίσης δείξει ισχυρές γραμμικές (Ormsby et al., 1987) ή μη γραμμικές (Li et al., 2005) σχέσεις μεταξύ VIs και Fcover σε διάφορους τύπους τοπίων.

Στην παρούσα δράση, ερευνήθηκε η εκτίμηση του κλάσματος φυτοκάλυψης μέσω του δείκτη NDVI (Baret et al., 1995) σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level, σε χωρική ανάλυση 10 μέτρων:

$$FVC = 1 - \left(\frac{NDVI_{median} - NDVI_{max}}{NDVI_s - NDVI_{max}} \right)$$

Η Εικόνα 18 παρουσιάζει τον δείκτη FVC, όπως υπολογίστηκε από εικόνες Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 56 Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover) μέσω του δείκτη NDVI και εικόνες Sentinel 2 MSI για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.15 Παραγωγικότητα υπέρβειας βλάστησης

1.2.15.1 Περιγραφή

Η παραγωγικότητα της βλάστησης αποτελεί κρίσιμο δείκτη της υγείας των οικοσυστημάτων και επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και την κλιματική αλλαγή (Kooistra et al., 2024). Ως βασικό χαρακτηριστικό των συνθηκών του οικοσυστήματος, η παραγωγικότητα της βλάστησης αντικατοπτρίζει τόσο τη χωρική κατανομή όσο και τη μεταβολή της κάλυψης της βλάστησης. Η παραγωγικότητα της βλάστησης περιγράφεται συνήθως με τέσσερις μετρήσεις: ακαθάριστη πρωτογενής παραγωγικότητα (Gross Primary Production GPP), καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα (Net Primary Production NPP), καθαρή παραγωγικότητα του οικοσυστήματος (net ecosystem productivity NEP) και καθαρή παραγωγικότητα των διαπλάσεων (net biome productivity NBP) (Kooistra et al., 2024). Οι πιο κοινές μετρικές για την έκφραση της παραγωγικότητας οποιουδήποτε οικοσυστήματος είναι η NPP και η GPP.

Στη βιβλιογραφία μπορεί να βρεθούν διαφορετικοί ορισμοί για την παραγωγικότητα. Για παράδειγμα, στα αγροτικά συστήματα, η παραγωγικότητα αναφέρεται συχνά στην υπέρβεια (και υπόβεια) βιομάζα και στην απόδοση (Chopping et al., 2011)(Mariotto et al., 2013). Στη δασοκομία, η παραγωγικότητα σχετίζεται επίσης συχνά με την υπέρβεια βιομάζα ή τον ιστάμενο ξυλώδη όγκο (Whittaker et al., 1974). Συγκριτικά, η βιομάζα αναφέρεται στη συνολική οργανική ύλη που παράγεται από όλους τους οργανισμούς ανά μονάδα επιφάνειας του οικοσυστήματος σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ενώ η παραγωγικότητα βλάστησης, ως βασικό χαρακτηριστικό της κατάστασης του οικοσυστήματος δείχνει τη χωρική κατανομή και τη μεταβολή της οργανικής ύλης μέσα σε μια ορισμένη περίοδο. Από βιολογική άποψη, η παραγωγικότητα βλάστησης υπολογίζεται από τη μέτρηση της βιομάζας του οικοσυστήματος και αποτελεί επίσης βασικό δείκτη της υγείας και της βιωσιμότητας ενός οικοσυστήματος. Μια υψηλή βιομάζα υποδηλώνει ένα παραγωγικό οικοσύστημα με πλούσια ποικιλομορφία ειδών, ενώ μια χαμηλή βιομάζα μπορεί να υποδηλώνει περιβαλλοντικό στρες ή υποβάθμιση. Οι μεταβολές της βιομάζας με την πάροδο του χρόνου μπορούν να σηματοδοτήσουν μεταβολές στη δυναμική του οικοσυστήματος, όπως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, της ρύπανσης ή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.



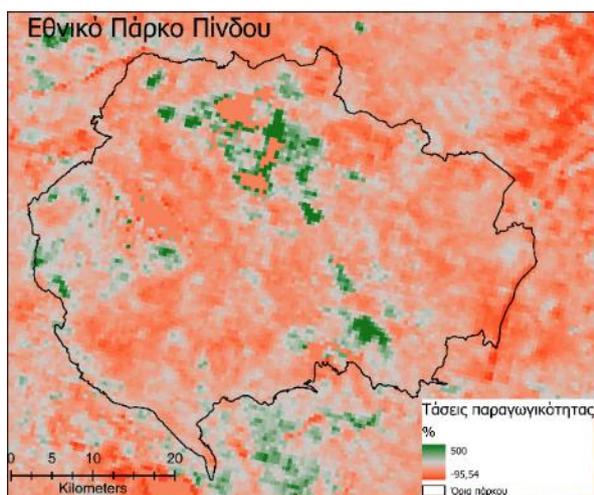
Σχετικά με τον υπολογισμό της παραγωγικότητας βλάστησης και της βιομάζας των οικοσυστημάτων, λόγω της ανομοιογένειας της ποικίλων οικοσυστημάτων όσον αφορά τη δομή και τη λειτουργία, οι προσεγγίσεις μέτρησης διαφέρουν για διαφορετικά οικοσυστήματα, από απλά στατιστικά μοντέλα, τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης, ή/και τη προσομοίωση μοντέλων ("Estimate of vegetation production of terrestrial ecosystem," 2020).

1.2.15.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.15.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης μέσω του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος ΕΕΑ

Το προϊόν «Τάσεις στην ετήσια παραγωγικότητα της υπέργειας βλάστηση» (Trends in annual above ground vegetation productivity²¹), του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος²² αφορά τις τάσεις στην παραγωγικότητα της επιφάνειας του εδάφους και τη διαχρονική τάση στην παραγωγικότητα της υπέργειας βιομάζας της βλάστησης. Για τις τάσεις της παραγωγικότητας της επιφάνειας γης, τα δεδομένα προέρχονται από παρατηρούμενες χρονοσειρές δεικτών βλάστησης. Τα δεδομένα για την παραγωγικότητα της βιομάζας της βλάστησης βασίζονται στις χρονοσειρές του δείκτη φαινολογίας των φυτών (PPI) που προέρχονται από το προϊόν MODIS BRDF-Adjusted Reflectance (MODIS MCD43 NBAR). Ο δείκτης παραγωγικότητας υπολογίζεται το λογισμικό TIMESAT. Στη συνέχεια υπολογίζεται η σχετική μεταβολή της παραγωγικότητας της βλάστησης και εκφράζεται σε ποσοστιαία κλίμακα [%]. Οι αρνητικές τιμές αναφέρονται σε μείωση της παραγωγικότητας της βλάστησης, ενώ οι θετικές τιμές αναφέρονται σε αύξηση της παραγωγικότητας της βλάστησης. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι μια μετρική παραγωγικότητας για κάθε έτος της χρονοσειράς 2000-2016 (17 έτη). Η χωρική ανάλυση του συνόλου δεδομένων είναι 500 μέτρα.

Η Εικόνα 57 παρουσιάζει το σχετικό προϊόν, σε χωρική ανάλυση 500 μέτρων, για το διάστημα 2000-2016, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



²¹ <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/geoss/api/records/29ae2d47-7af2-4c09-ba5f-e2fbb7c2b0d1>

²² <http://www.eea.europa.eu/legal/copyright>)

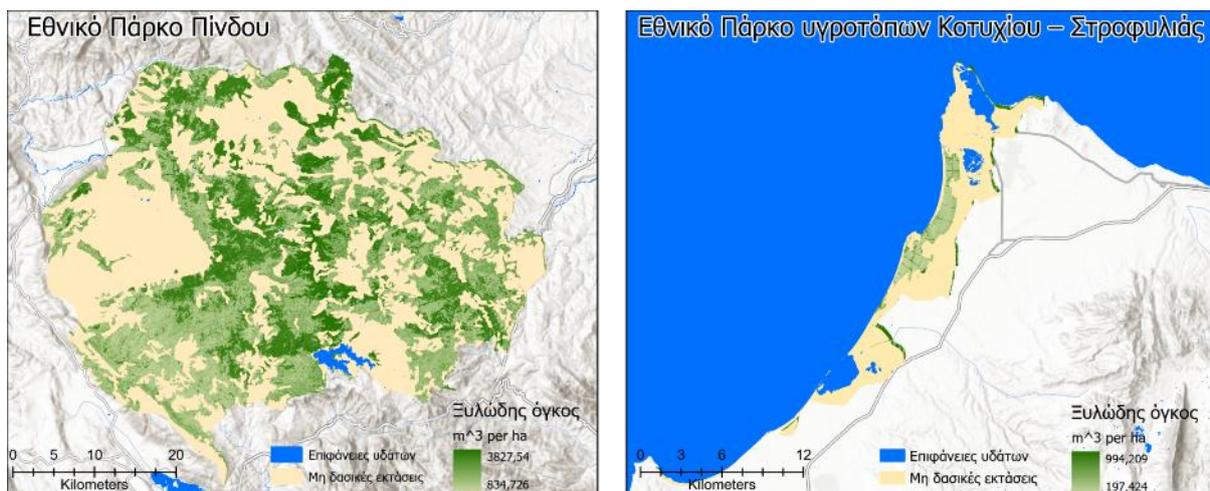


Εικόνα 57 Τάσεις στην ετήσια παραγωγικότητα της υπέργειας βλάστησης με βάση το προϊόν *Trends in annual above ground vegetation productivity 2000-2016* της ΕΕΑ, σε χωρική ανάλυση 500μ, για το διάστημα 2000-2016, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.15.2.2 Εμπειρικό μοντέλο ξυλώδους αποθέματος

Το ξυλώδες απόθεμα ή ιστάμενος ξυλώδης όγκος, αντιπροσωπεύει την παραγωγικότητα της βλάστησης σε ξυλεία και μπορεί να είναι ένας σημαντικός δείκτης της υγείας και της βιωσιμότητας του οικοσυστήματος, το δυναμικό των δασικών λειτουργιών και υπηρεσιών και βιοποικιλότητας καθώς επίσης αποτελεί θεμελιώδη δείκτη των δασικών απογραφών (Vallecillo et al., 2022). Για την εκτίμηση του ξυλώδη όγκου στις περιοχές μελέτης αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα Random Forest με δεδομένα εισόδου την φασματική πληροφορία εικόνων Sentinel 2 L2A (level-2A) (Αύγουστος 2023). Τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων προήλθαν μετά την επεξεργασία δεδομένων πεδίου που συλλέχτηκαν κατά τη διάρκεια εργασιών της Δράσης B4.1 και B4.2.

Η Εικόνα 58 παρουσιάζει το χάρτη εκτίμησης ξυλώδη όγκου, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη των μοντέλων RF σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R και την εφαρμογή του πακέτου R “randomForest”, για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 58 Εκτίμηση ξυλώδη όγκου (κυβικά μέτρα ανά εκτάριο) όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και τη χρήση δεδομένων πεδίου και εικόνων Sentinel 2 MSI, σε χωρική ανάλυση 10μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

1.2.16 Ποικιλότητα

1.2.16.1 Περιγραφή

Η σημασία της μέτρησης της ποικιλότητας των ειδών ως δείκτης της υγείας των οικοσυστημάτων έχει αναγνωριστεί από σημαντικές πρωτοβουλίες παγκοσμίως (Pettorelli, 2015). Η ποικιλότητα των ειδών συσχετίζεται θετικά με την υγεία και τη λειτουργία του οικοσυστήματος (Tilman et al., 2014). Τα υψηλότερα επίπεδα ποικιλότητας συνδέονται με υψηλότερη σταθερότητα και ανθεκτικότητα του οικοσυστήματος (Vallecillo et al., 2022). Η αξιολόγηση της ποικιλότητας σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα βασίζεται παραδοσιακά στην εκτίμηση τόσο της τοπικής ποικιλότητας (άλφα-ποικιλότητα) όσο και του κύκλου λειτουργιών των ειδών (βήτα-ποικιλότητα) (Rocchini et al., 2016). Η άλφα ποικιλότητα αποτελεί μέτρο της ποικιλομορφίας των ειδών που βρίσκονται εντός



μιας περιοχής (σε μικρή ή τοπική κλίμακα, ή γενικά στο μέγεθος ενός οικοσυστήματος) και περιγράφει τον αριθμό των διαφορετικών ειδών και την πυκνότητά τους.

Αρκετές μελέτες έχουν αξιολογήσει τη χρήση διαφόρων αισθητήρων και μεθοδολογικών προσεγγίσεων σε διαφορετικά περιβάλλοντα, εστιάζοντας στην εκτίμηση της α-ποικιλότητας (Whittaker, 1972). Η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έμμεση χαρτογράφηση της κατανομής των ειδών (Gillespie et al., 2008) ή για την άμεση συσχέτιση μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων και της ποικιλότητας που μετρήθηκε στο πεδίο (Chrysafis et al., 2019; Mallinis et al., 2020; Rocchini et al., 2015). Αυτή η διαδικασία εμπειρικής μοντελοποίησης μεταξύ των τιμών ποικιλότητας που μετρήθηκαν στο πεδίο και των δεδομένων τηλεπισκόπησης, είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση και σχετίζεται στενά με την υπόθεση της φασματικής μεταβολής που διατυπώθηκε αρχικά από τον Palmer (Palmer et al., 2002).

1.2.16.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.16.2.1 Εμπειρικό μοντέλο δείκτη ποικιλότητας Shannon με τη χρήση μετρήσεων πεδίου

Ένας μεγάλος αριθμός δεικτών έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της άλφα-ποικιλότητας (species richness, Simpson, Berger–Parker, Shannon–Wiener κ.α). Ο δείκτης Shannon, ή δείκτης ποικιλότητας του Shannon ή εντροπία του Shannon, είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς δείκτες ποικιλότητας στην οικολογική βιβλιογραφία. Ο δείκτης αναδεικνύει τόσο την αφθονία όσο και τον πλούτο των ειδών με βάση την αναλογία p_i κάθε i είδους που απαντάται σε μια περιοχή:

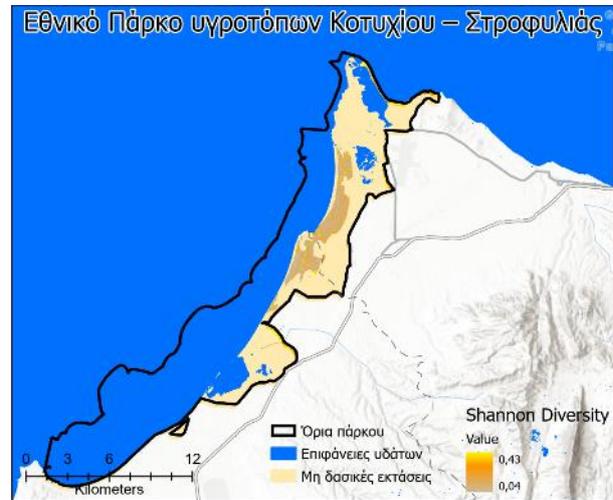
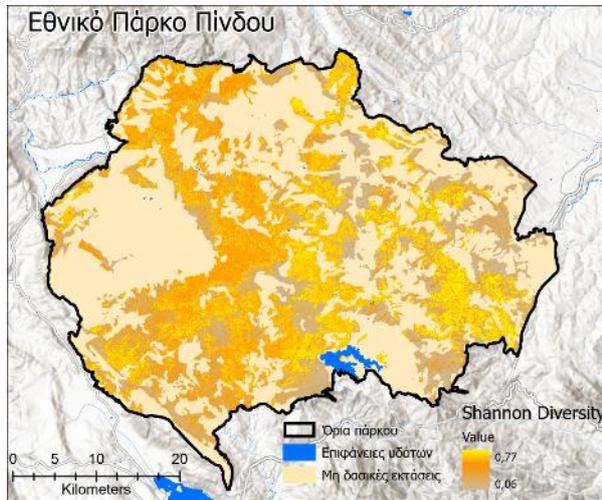
Η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη ποικιλότητας Shannon είναι:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$$

όπου P_i είναι η αναλογία κάθε είδους στο δείγμα i ειδών

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0 έως 5, συνήθως από 1,5 έως 3,5. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του H , τόσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα των ειδών σε μια συγκεκριμένη κοινότητα. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του H , τόσο χαμηλότερη είναι η ποικιλότητα. Η τιμή $H = 0$ υποδηλώνει μια κοινότητα που έχει μόνο ένα είδος.

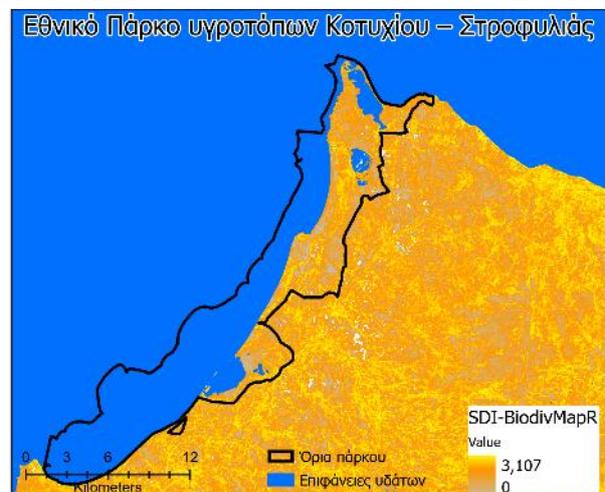
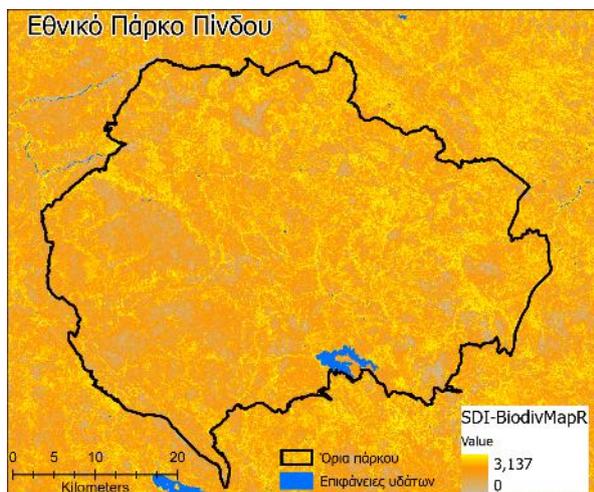
Για την χαρτογράφηση της ποικιλότητας των δασικών ειδών δένδρων στις περιοχές ενδιαφέροντος εκτιμήθηκε ο δείκτης Shannon με την ανάπτυξη δύο μοντέλων παλινδρόμησης Random Forest (ένα για κάθε περιοχή). Δεδομένα εισόδου των μοντέλων ήταν η φασματική πληροφορία εικόνων Sentinel 2 L2A (level-2A) και τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων προήλθαν μετά την επεξεργασία δεδομένων πεδίου που συλλέχτηκαν κατά τη διάρκεια εργασιών της Δράσης B4.1 και B4.2. Η Εικόνα 59 παρουσιάζει τον χάρτη εκτίμησης του δείκτη ποικιλότητας Shannon, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλων RF σε περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού R και την εφαρμογή του πακέτου R “randomForest”, για τις περιοχές μελέτης, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 59 Εκτίμηση δείκτη ποικιλότητας Shannon για τα δένδρα όπως προέκυψε από την ανάπτυξη μοντέλου Random Forest και τη χρήση δεδομένων πεδίου και εικόνων Sentinel 2 MSI για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

1.2.16.2.2 Δείκτες φασματικής ποικιλότητας

Για την εκτίμηση α ποικιλότητας και συγκεκριμένα του δείκτη ποικιλότητας Shannon εξετάστηκε το πακέτο biodivMapR (Féret and de Boissieu, 2020). Το πακέτο biodivMapR αποτελεί προσαρμογή της μεθόδου που προτάθηκε από τους Féret and Asner, (2014) σε δεδομένα Sentinel-2 (Féret and de Boissieu, 2020). Η μέθοδος βασίζεται στην υπόθεση της φασματικής διακύμανσης και εκμεταλλεύεται την πολυφασματική πληροφορία υψηλής χωρικής ανάλυσης για τη διαφοροποίηση ειδών ή ομάδων ειδών με βάση τα οπτικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στην ανακλαστικότητα κάθε εικονοστοιχείου (Homolová et al., 2013) (Ustin and Gamon, 2010), χωρίς να απαιτούνται μετρήσεις πεδίου. Για τις περιοχές μελέτης αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα του δείκτη ποικιλότητας Shannon Diversity (ένα για κάθε περιοχή μελέτης) με δεδομένα εισόδου την φασματική πληροφορία καλοκαιρινών (Αυγούστος 2020) εικόνων Sentinel 2 L2A (level-2A) (Εικόνα 60).





Εικόνα 60 Εκτίμηση δείκτη ποικιλότητας Shannon με εφαρμογή του μοντέλου *biodivMarR* για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (λευκές περιοχές σημεία χωρίς βλάστηση $NDVI_Thresh < -0.5$)

1.2.17 Κάλυψη γης

1.2.17.1 Περιγραφή

Ο τύπος κάλυψης και χρήσης γης (LULC) αποτελεί σημαντική βάση για τον χαρακτηρισμό της οικολογικής κατάστασης και των βιοφυσικών ιδιοτήτων των επιφανειών γης. Οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές και αλλαγές χρήσεων γης έχουν οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στην εδαφοκάλυψη σε τοπική έως παγκόσμια κλίμακα. Συνεπώς, οι υψηλής ποιότητας και έγκαιρες πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη και τη χρήση γης είναι σημαντικές για την παρακολούθηση μεταβολών των οικοσυστημάτων και κατ'επέκταση της βιοποικιλότητας τους (Sulla-Menashe et al., 2019). Ο δείκτης LULC βασίζεται σε προϊόντα χαρτογράφησης της κάλυψης γης και των χρήσεων γης, τα οποία και αποτελούν θεμελιώδη προϊόντα γεωχωρικών δεδομένων και δεδομένων τηλεπισκόπησης.

1.2.17.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.17.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης CORINE Land Cover

Το προϊόν CORINE Land Cover (CLC)²³ προσφέρει μια πανευρωπαϊκή απογραφή της κάλυψης και των χρήσεων γης με 44 θεματικές κατηγορίες, που κυμαίνονται από ευρείες δασικές εκτάσεις έως μεμονωμένους αμπελώνες (Πίνακας 1). Το προϊόν ενημερώνεται με νέα επίπεδα κατάστασης και αλλαγών κάθε έξι χρόνια -με την πιο πρόσφατη ενημέρωση να έχει γίνει το 2018. Το CLC εξυπηρετεί ένα πλήθος χρηστών και έχει σχεδόν απεριόριστες δυνητικές και πραγματικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, του σχεδιασμού χρήσεων γης, των αξιολογήσεων της κλιματικής αλλαγής και της διαχείρισης έκτακτων αναγκών.

Πίνακας 1 Κατηγορίες κάλυψης γης CORINE Land Cover

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση 1.1.2 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη 1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών 1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής

²³ <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>



2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδεύσιμη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας 2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Παλιρροιακά επίπεδα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων 5.1.2 Συλλογές υδάτων
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσα και ωκεανός

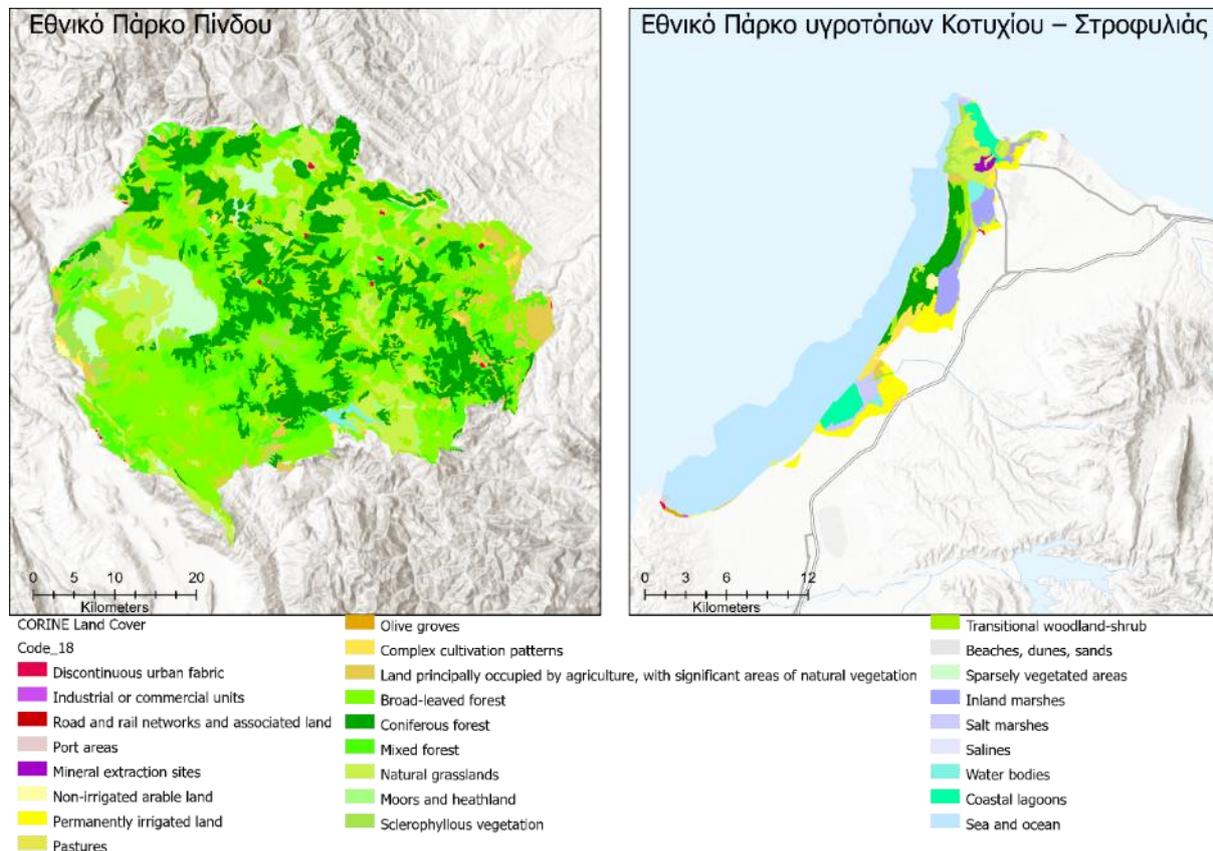
Τα προϊόντα CLC είναι διαθέσιμα ως διανυσματικά αρχεία και ως δεδομένα raster σε χωρική ανάλυση 100 m. Το σύνολο δεδομένων προέκυψε από μια σειρά δορυφορικών αποστολών (Πίνακας 2) από τότε που καθιερώθηκε για πρώτη φορά, έχει ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (MMU) 25 εκτάρια (ha) και για τα γραμμικά φαινόμενα ελάχιστο πλάτος χαρτογράφησης (MMW) 100 m.



Πίνακας 2 Προϊόντα CORINE Land Cover

Προϊόν CLC	Δορυφορικά δεδομένα
CLC1990	Landsat-5 MSS/TM
CLC2000	Landsat-7 ETM
CLC2006	SPOT-4/5 and IRS P6 LISS III
CLC2012	IRS P6 LISS III RapidEye
CLC2018	Sentinel-2 and Landsat for gap filling

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος CORINE Land Cover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 61).



Εικόνα 61 Χαρτογράφηση χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος CORINE Land Cover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.17.2.2 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης ESA WorldCover

Το προϊόν ESA WorldCover²⁴ αποτελεί ένα βασικό παγκόσμιο προϊόν κάλυψης γης σε ανάλυση 10 m, για το 2021. Περιλαμβάνει 11 κλάσεις κάλυψης γης (Πίνακας 3), σύμφωνα με το

²⁴ <https://zenodo.org/records/7254221>

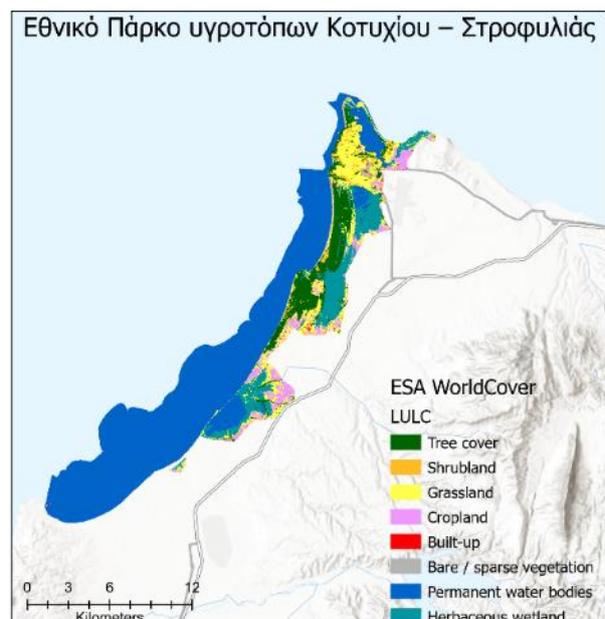


Σύστημα Ταξινόμησης Κάλυψης Γης του UN-FAO, και δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του έργου WorldCover της ESA. Βασίζεται στα δεδομένα Sentinel-1 και 2 και παράγεται με τη χρήση βελτιωμένης έκδοσης αλγορίθμου (v200) σε σύγκριση με τον χάρτη του 2020. Έχει επικυρωθεί από το Πανεπιστήμιο Wageningen (στατιστική ακρίβεια) και το IASA (χωρική ακρίβεια) και επιτυγχάνει συνολική ακρίβεια 76,7% (Zanaga et al., 2022).

Πίνακας 3 Κατηγορίες κάλυψης γης ESA WorldCover

Κατηγορίες κάλυψης	Land Cover
1. Κάλυψη δένδρων	1. Tree cover
2. Θαμνώνες	2. Shrubland
3. Λιβάδια	3. Grassland
4. Καλλιέργειες	4. Cropland
5. Τεχνητές επιφάνειες	5. Built up
6. Γυμνή/αραιή βλάστηση	6. Bare/sparse vegetation
7. Χιόνι Πάγος	7. Snow Ice
8. Μόνιμα υδάτινα σώματα	8. Permanent water bodies
9. Πλώδης υγροβιότοπος	9. Herbaceous wetland
10. Μαγγρόβια	10. Mangroves
11. Βρύα και λειχήνες	11. Moss and lichens

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος ESA WorldCover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 62).



Εικόνα 62 Χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος ESA WorldCover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς



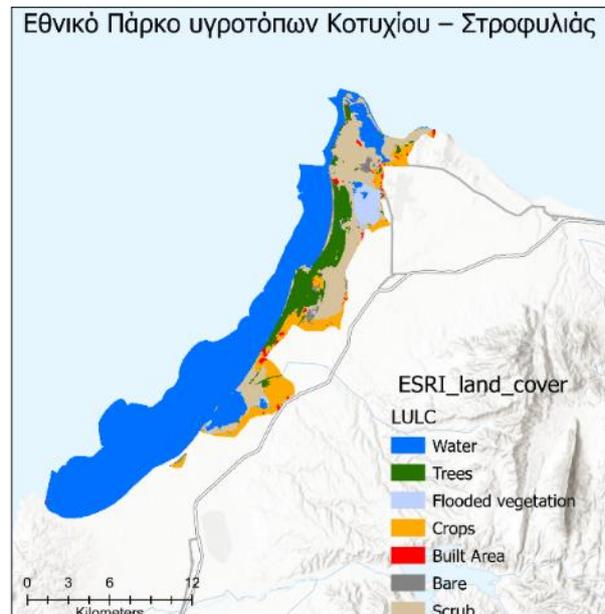
1.2.17.2.3 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης ESRI

Το ESRI Land Use-Land Cover²⁵ είναι ένα παγκόσμιο σύνολο δεδομένων κάλυψης γης χωρικής ανάλυσης 10 μέτρων που αναπτύχθηκε από την ESRI με βάση δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης του Sentinel-2, για κάθε έτος από το 2017-2021. Το προϊόν κατασκευάζεται με τη χρήση ενός μοντέλου βαθιάς μάθησης (deep learning) καταγράφει 9 κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης (Πίνακας 4) και η συνολική ακρίβεια του είναι 85% (Karra et al., 2021).

Πίνακας 4 Κατηγορίες κάλυψης ESRI Land Use-Land Cover

Κατηγορίες κάλυψης	Land Cover
1. Επιφάνειες υδάτων	1. Water
2. Κάλυψη δένδρων	2. Trees
3. Καλλιέργειες	3. Crops
4. Θαμνότοποι	4. Scrubs
5. Χιόνια/πάγοι	5. Snow/Ice
6. Λιβάδια	6. Rangeland
7. Υγρότοποι	7. Flooded vegetation
8. Γυμνό έδαφος	8. Bare Ground
9. Τεχνητές επιφάνειες	9. Built Area

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος ESRI_land_cover για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 63).



²⁵ <https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>



Εικόνα 63 Χαρτογράφηση κάλυψης γης του προϊόντος *ESRI_land_cover* για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.17.2.4 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης CORINE Land Cover-αντιστοίχιση σε τύπους οικοσυστημάτων MAES

Η χαρτογράφηση οικοσυστημάτων είναι η χωρική οριοθέτηση των οικοσυστημάτων σύμφωνα με μια συμφωνημένη τυπολογία οικοσυστημάτων (τύποι οικοσυστημάτων), που πρέπει επίσης να ικανοποιεί μια προοπτική διαχείρισης και καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων (Maes et al., 2013). Για πρακτικούς λόγους, κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας δεδομένων, και λόγω των ισχυρών δεσμών με τις αναδυόμενες υπηρεσίες παρακολούθησης της γης Copernicus, η μέθοδος χαρτογράφησης των οικοσυστημάτων "Χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους" (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services-MAES) βασίζεται στην προσέγγιση EU Biodiversity 2010 Baseline. Αυτό σημαίνει ότι οι κλάσεις CORINE Land Cover (CLC) που παρακολουθούνται στο Copernicus συγκεντρώνονται σε τύπους οικοσυστημάτων για τους σκοπούς του MAES, με τον πιο ουσιαστικό τρόπο που είναι δυνατόν να αντιπροσωπεύουν οικοσυστήματα ευρείας κλίμακας και συνδυάζονται με πληροφορίες σχετικές με το οικοσύστημα. Η συνάθροιση αυτή βασίζεται σε λεπτομερή ανάλυση από εμπειρογνώμονες των σχέσεων μεταξύ των κλάσεων κάλυψης γης και των συστημάτων ταξινόμησης οικοτόπων (π.χ. EUNIS), ώστε να διασφαλίζεται η συνοχή μεταξύ αυτών των προσεγγίσεων (Maes et al., 2013).

Η τυπολογία οικοσυστημάτων MAES διακρίνει τρία επίπεδα και ακολουθεί, με ορισμένες διαφορές, την ταξινόμηση της EUNIS: ενώ το επίπεδο 2 της πρότασης MAES αντιστοιχεί στο επίπεδο 1 της EUNIS, το επίπεδο 3 της πρότασης MAES ακολουθεί πιστά το επίπεδο 2 της EUNIS. Οι κατηγορίες οικοσυστημάτων MAES αντιστοιχούν στις ακόλουθες υποκατηγορίες CORINE (Πίνακας 5).

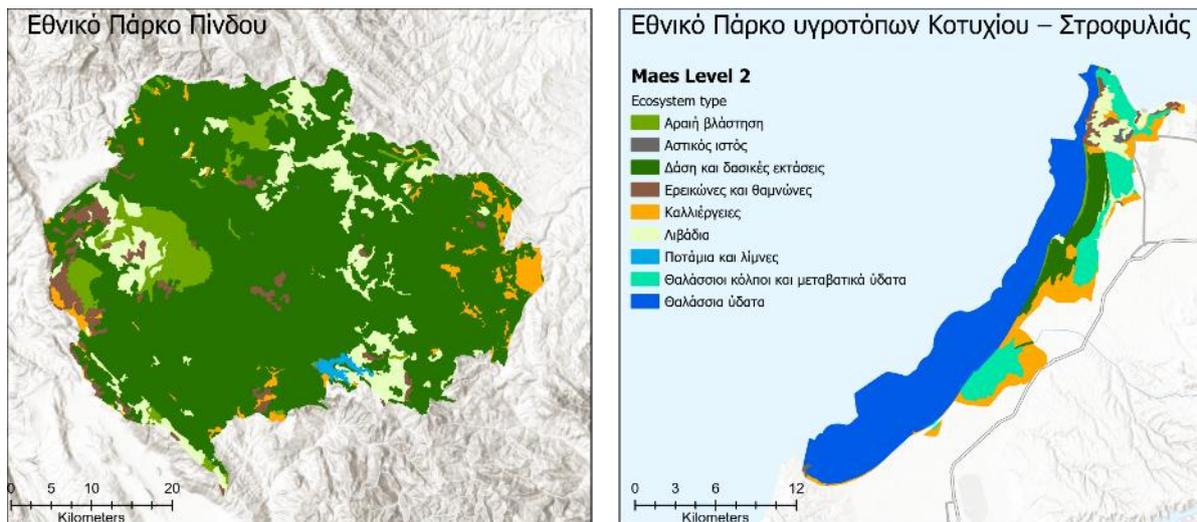
Πίνακας 5 Τύποι οικοσυστημάτων MAES

MAES Τύποι οικοσυστημάτων Επίπεδο 1	MAES Τύποι οικοσυστημάτων Επίπεδο 2	CORINE sub-classes
Χερσαία Terrestrial	Αστικός ιστός Urban	1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 1.3.1., 1.3.2., 1.3.3., 1.4.1., 1.4.2
	Καλλιέργειες Cropland	2.1.1., 2.1.2., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.3., 2.4.4
	Λιβάδια Grassland	2.3.1., 3.2.1.,
	Δάση και δασικές εκτάσεις Woodland and Forest	3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.2.4.,
	Ερεικώνες και θαμνώνες Heathland and shrub	3.2.2., 3.2.3.,
	Αραιή βλάστηση Sparsely vegetated land	3.3.1., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.4., 3.3.5.,
	Υγρότοποι Wetlands	4.1.1., 4.1.2.,
Γλυκά Υδατα Freshwater	Ποτάμια και λίμνες Rivers and lakes	5.1.1., 5.1.2



Θαλάσσια Marine	Θαλάσσιοι κόλποι και μεταβατικά ύδατα Marine inlets and transitional waters	4.2.1., 4.2.2., 4.2.3., 5.2.1., 5.2.2.,
	Θαλάσσια ύδατα Marine	5.2.3.

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων MAES (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 64).



Εικόνα 64 Χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων MAES (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.17.2.5 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης τύπων οικοσυστημάτων LIFE-IP 4 NATURA

Οι Τύποι Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA είναι ένα σύνολο χωρικών δεδομένων που απεικονίζουν πληροφορίες σχετικά με τους τύπους Οικοσυστημάτων της Ταξινόμησης MAES, για τον ελληνικό χώρο. Το προϊόν αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου LIFE-IP 4 Natura και διατίθεται μέσα από το διαδικτυακό συμμετοχικό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών του έργου²⁶ Το προϊόν κατασκευάστηκε με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και το συνδυασμό δορυφορικών δεδομένων Copernicus και βοηθητικών γεωχωρικών δεδομένων σε ανάλυση 250x250m (Verde et al., 2020). Στην τυπολογία χαρτογράφησης διακρίνονται 21 διαφορετικοί τύποι οικοσυστημάτων (Πίνακας 6).

Πίνακας 6 Τύποι Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA

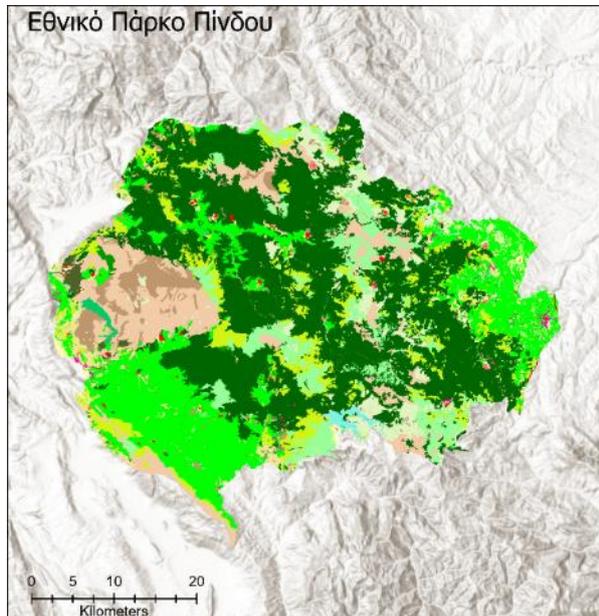
Τύποι οικοσυστημάτων -	Ecosystem types
<u>Αστικός ιστός</u>	<u>Urban</u>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Πυκνός έως μέτρια πυκνός αστικός ιστός (IM.D. 30-100%) 2. Χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός (IM.D. 0-30%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dense to medium dense Urban Fabric (IM.D. 30-100% + industrial, commercial, public, military and private units) 2. Low density Urban Fabric (IM.D. 0-30%)

²⁶ <https://gis-perslab.topo.auth.gr/portal/apps/sites/#/gis-natura-gr>



<p><u>Καλλιέργειες</u></p> <p>3. Αρόσιμη γη 4. Μόνιμες καλλιέργειες</p> <p><u>Δάση και δασικές εκτάσεις:</u></p> <p>5. Εύκρατα δάση φυλλοβόλων 6. Μεσογειακά φυλλοβόλα δάση 7. Παρόχθια δάση 8. Ορεινά εύκρατα δάση κωνοφόρων 9. Μεσογειακά κωνοφόρα δάση 10. Μεσογειακά σκληροφυλλικά δάση 11. Μικτά δάση</p> <p><u>Λιβάδια:</u></p> <p>12. Λιβάδια</p> <p><u>Ερεικώνες και θαμνώνες:</u></p> <p>13. Θάμνοι και χερσότοποι 14. Σκληρόφυλλη βλάστηση</p> <p><u>Εκτάσεις με αραιή βλάστηση:</u></p> <p>15. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 16. Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές 17. Απογυμνωμένοι βράχοι, αποτεφρωμένες εκτάσεις, λατομεία</p> <p><u>Υγρότοποι:</u></p> <p>18. Βάλτοι στην ενδοχώρα και παράκτιοι βάλτοι 19. Τυρφώνες</p> <p><u>Θαλάσσιες εκτάσεις:</u></p> <p>20. Θαλάσσιες εκτάσεις</p> <p><u>Ποτάμια και λίμνες:</u></p> <p>21. Ποτάμια και λίμνες</p>	<p><u>Croplands</u></p> <p>3. Arable land 4. Permanent crops</p> <p><u>Woodland and forest</u></p> <p>5. Temperate deciduous forests 6. Mediterranean deciduous forests 7. Floodplain forests 8. Temperate mountainous coniferous forests 9. Mediterranean coniferous forests 10. Mediterranean sclerophyllous forests 11. Mixed Forest</p> <p><u>Grassland</u></p> <p>12. Grasslands</p> <p><u>Heathland and shrub</u></p> <p>13. Moors and heathland 14. Sclerophyllous vegetation</p> <p><u>Sparsely vegetated</u></p> <p>15. Sparsely vegetated areas 16. Beaches, dunes, sands 17. Bare rocks, burnt areas, mines, dump, land without current use</p> <p><u>Wetlands</u></p> <p>18. Inland freshwater and saline marshes 19. Peat bogs</p> <p><u>Marine</u></p> <p>20. Marine</p> <p><u>Freshwater</u></p> <p>21. Rivers and lakes</p>
---	---

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 65).



Τύποι Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA gridcode	8 - Temperate mountainous coniferous forests	17 - Bare rocks, burnt areas, mines, dump, land without current use
1 - Dense to medium dense Urban Fabric	9 - Mediterranean coniferous forests	18 - Inland freshwater marshes
2 - Low density Urban Fabric	10 - Mediterranean sclerophyllous forests	19 - Inland saline marshes
3 - Arable land	11 - Mixed Forest	20 - Peat bogs
4 - Permanent crops	12 - Grasslands	21 - Marine
5 - Temperate deciduous forests	13 - Moors and heathland	22 - Rivers and Lakes
6 - Mediterranean deciduous forests	14 - Sclerophyllous vegetation	23 - Transportation
7 - Floodplain forests	15 - Sparsely vegetated areas	24 - Sport facilities
	16 - Beaches, dunes, sands	30 - Mixed crop, natural vegetation, impervious

Εικόνα 65 Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων MAES LIFE_IP 4 NATURA για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.17.2.6 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης τύπων οικοσυστημάτων EUNIS

Τα σύνολα δεδομένων "Τύποι οικοσυστημάτων της Ευρώπης Ecosystem types of Europe"²⁷ έχουν ως στόχο να συμβάλουν σε έναν καλύτερο χαρακτηρισμό των χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων σε ολόκληρη την Ευρώπη και αντιπροσωπεύουν τις πιθανότητες παρουσίας οικοτόπων EUNIS (European Nature Information System) σε χερσαία, γλυκά και θαλάσσια οικοσυστήματα. Η χαρτογράφηση βασίζεται στη σύνδεση των μη χωρικά περιγραφικών πληροφοριών οικοτόπων του EUNIS με χωρικά σαφείς πληροφορίες (περιγράφεται στο ETC/BD, 2018) και υποστηρίζει τη χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους (MAES), δράση 5 του στόχου 2 της στρατηγικής της ΕΕ για τη βιοποικιλότητα έως το 2020, που θεσπίστηκε για την επίτευξη των στόχων Aichi της σύμβασης για τη βιοποικιλότητα (CBD)(ΕΕΑ, 2019).

Τα δεδομένα «Ecosystem types of Europe» διατίθενται σε ανάλυση 1km και 100m²⁸, και καταγράφουν 10 τύπους οικοσυστημάτων σε Επίπεδο 1 (Πίνακας 7) και 51 τύπους σε Επίπεδο 2

²⁷ <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/idp/eng/catalog.search#/metadata/faff2281-1fca-4548-89d8-c8ec0c507bc7>

²⁸ <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/573ff9d5-6889-407f-b3fc-cfe3f9e23941?activeAccordion=1069817%2C1069816%2C1069818>



(Εικόνα 66). Η τυπολογία οικοσυστημάτων (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) MAES διακρίνει τρία επίπεδα και ακολουθεί, με ορισμένες διαφορές, την ταξινόμηση της EUNIS: ενώ το επίπεδο 2 της πρότασης MAES αντιστοιχεί στο επίπεδο 1 της EUNIS, το επίπεδο 3 της πρότασης MAES ακολουθεί πιστά το επίπεδο 2 της EUNIS.

Ο πρώτος Χάρτης Ευρωπαϊκών Τύπων Οικοσυστημάτων (Ecosystem Type Map v2.1, ETM) δημοσιεύθηκε το 2014 και βασίστηκε κυρίως σε σύνολα δεδομένων εισόδου από το έτος αναφοράς 2006 (π.χ. CLC 2006). Στόχος του συνόλου δεδομένων ήταν να συνδυάσει πληροφορίες κάλυψης γης με χωρική σαφήνεια με πληροφορίες οικοτόπων χωρίς χωρική αναφορά, ώστε να βελτιωθούν οι γνώσεις μας για τα οικοσυστήματα και την κατανομή τους σε ολόκληρη την Ευρώπη. Εν τω μεταξύ, έγιναν διαθέσιμες επικαιροποιημένες εκδόσεις με βελτίωση των κανόνων χαρτογράφησης, χρήση επικαιροποιημένων συνόλων δεδομένων εισόδου, ενσωμάτωση νέων διαθέσιμων δεδομένων Copernicus, που περιλαμβάνονται στο Update Ecosystem Type Map 2012 v3.1 με έτος αναφοράς 2012.

Αν και απλή στη θεμελιώδη προσέγγιση, η μεθοδολογία για την παραγωγή του χάρτη τύπων οικοσυστημάτων, αναπτύσσει πολυπλοκότητα μέσω του χειρισμού διαφορετικών συνόλων κανόνων χαρτογράφησης και της διαχείρισης πολυάριθμων συνόλων δεδομένων εισόδου και εξόδου. Βασικά, η διαδικασία χαρτογράφησης βασίζεται σε τέσσερα στοιχεία, καθένα από τα οποία αποτελείται από έναν κατάλογο πολλών συνόλων δεδομένων: Κάλυψη γης, σταθερά βασικά σύνολα δεδομένων εισόδου, μεταβλητά σύνολα δεδομένων εισόδου και διαφορετικά σύνολα κανόνων χαρτογράφησης (Weiss and Banko, 2018).

Κύρια αρχική πηγή δεδομένων εισόδου κάλυψης γης είναι ²⁹:

- Corine Land Cover με έτος αναφοράς το 2012
- Αστικός Άτλας (Urban Atlas)
- Παραποτάμιες ζώνες (Riparian Zones)
- Natura 2000 (N2k) (Natura 2000 (N2k))
- High Resolution Layer Forest (Copernicus)
- High Resolution Layer Grassland (Copernicus)
- High Resolution Layer Imperviousness (Copernicus)
- High Resolution Layer Permanent Water Bodies (Copernicus)
- OpenStreetMap Roads
- OpenStreetMap Landuse

Πίνακας 7 Τύποι οικοσυστημάτων EUNIS Επίπεδο 1

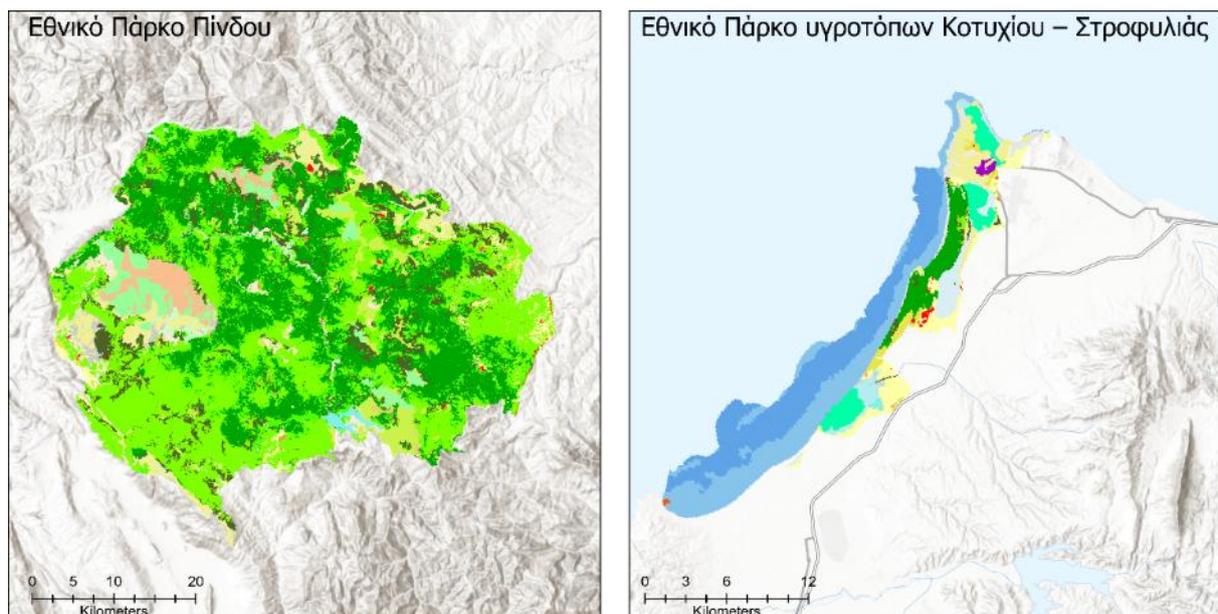
²⁹

<https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/datahub/api/records/2f117cba-a2dd-49d2-af86-4cb52ba56ed0/formatters/xsl-view?output=pdf&language=eng&approved=true>



Ευnis Τύποι οικοσυστημάτων Επίπεδο 1	Eunis Ecosystem types Level 1
A. Αστικός ιστός B. Καλλιέργειες C. Λιβάδια D. Δάση και δασικές εκτάσεις E. Ερεικώνες και θαμνώνες F. Αραιή βλάστηση G. Υγρότοποι H. Ποτάμια και λίμνες I. Θαλάσσιοι κόλποι και μεταβατικά ύδατα J. Θαλάσσια ύδατα	A – Marine B - Coastal C - Waters D - Mires E - Grassland F - Heathland G -Forest H - Unvegetated I - Agricultural J - Constructed

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων EUNIS για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς (Εικόνα 66).



ΕUNIS Τύποι οικοσυστημάτων	
EUNIS A100 - Littoral undetermined substrate with no sea ice presence A105 - Littoral sand with no sea ice presence A205 - Infralittoral sand with no sea ice presence A206 - Infralittoral mud with no sea ice presence A305 - Circalittoral sand with no sea ice presence A306 - Circalittoral mud with no sea ice presence B1 - Coastal dunes and sandy shores C1 - Surface standing waters C2 - Surface running waters D5 - Sedge and reedbeds, normally without free-standing water	D6 - Inland saline and brackish marshes and reedbeds E1 - Dry grasslands E2 - Mesic grasslands E3 - Seasonally wet and wet grasslands E4 - Alpine and subalpine grasslands E7 - Sparsely wooded grasslands F2 - Arctic, alpine and subalpine scrub F3 - Temperate and mediterranean-montane scrub F5 - Maquis, arborescent matorral and thamo-Mediterranean brush F8 - Shrub plantations G1 - Broadleaved deciduous woodland G2 - Broadleaved evergreen woodland G3 - Coniferous woodland G4 - Mixed deciduous and coniferous woodland G5 - Lines of trees, small anthropogenic woodlands, recently felled woodland, early stage woodland and coppice H2 - Scrubs H3 - Inland cliffs, rock pavements and outcrops H5 - Miscellaneous inland habitats with very sparse or no vegetation I1 - Arable land and market gardens I2 - Cultivated areas of gardens and parks I3 - Buildings of cities, towns and villages I4 - Low density buildings I5 - Extractive industrial sites I6 - Transport networks and other constructed hard-surfaced areas I7 - Highly artificial man-made waters and associated structures X2.3 - Coastal lagoons

Εικόνα 66 Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοσυστημάτων EUNIS (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.17.2.7 Εμπειρικό μοντέλο χρήσης γης/κάλυψης γης

Στα πλαίσια της δράσης και για την παραγωγή προϊόντος χρήσης γης/κάλυψης γης εξετάστηκε ο αλγόριθμος Random Forest (Breiman, 2001). Η ανάπτυξη μοντέλου ταξινόμησης RF



εξετάστηκε για τις δύο περιοχές Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel 2 MSI και δεδομένα εκπαίδευσης λήφθηκαν αξιοποιώντας πρόσφατες δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, διαθέσιμες ως έγχρωμα υπόβαθρα μέσω προτύπων Web Map Service (WMS), και δεδομένα πεδίο από τις εργασίες πεδίου της ομάδας έργου. Οι κατηγορίες κάλυψης γης που επιλέχθηκαν ήταν

- I. Τεχνητές επιφάνειες
- II. Γεωργικές περιοχές
- III. Δάση και ημιφυσικές εκτάσεις
- IV. Λιβάδια
- V. Ερεικώνες και θαμνώνες
- VI. Χερσαία ύδατα
- VII. Θαλάσσια ύδατα

Η Εικόνα 67 παρουσιάζει τους τύπους οικοσυστημάτων, όπως προέκυψαν από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 67 Τύποι Οικοσυστημάτων, όπως προέκυψαν από την ανάπτυξη μοντέλων Random Forest και χρήση εικόνων Sentinel 2 Level 2 Αυγούστου 2023, σε χωρική ανάλυση 10μ για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.18 Αλλαγή χρήσεων γης/κάλυψης γης

1.2.18.1 Περιγραφή

Η αλλαγές κάλυψης συμβαίνουν μέσω της αλληλεπίδρασης περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης του πληθυσμού, της αστικής εξάπλωσης, της βιομηχανικής ανάπτυξης και των περιβαλλοντικών πολιτικών (Roy et al., 2015). Οι μεσογειακές χώρες από την Ισπανία έως την Ελλάδα γνώρισαν έντονη αστική ανάπτυξη από τη δεκαετία του 1970 και μετά, ενώ προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί ένας μέτριος ρυθμός ανάπτυξης (Benoit and Comeau, 2012).



Οι μεταβολές στην επιφάνεια της Γης έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο παγκόσμιο ισοζύγιο ακτινοβολίας και στις ροές ενέργειας, συμβάλλουν σε αλλαγές στους βιογεωχημικούς κύκλους, μεταβάλλουν τους υδρολογικούς κύκλους και επηρεάζουν τις οικολογικές ισορροπίες. Οι αλλαγές στη χρήση γης και οι συναφείς αλλαγές στη δομή του τοπίου αποτελούν επίσης μια σημαντική αιτία της μείωσης της βιοποικιλότητας.

Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η κατανόηση των αλλαγών στη χρήση γης και την κάλυψη γης (LULC) είναι κρίσιμη για τη συζήτηση περί αειφορίας και η συνεχή παρατήρηση και παρακολούθηση των αλλαγών είναι αναγκαία. Η ακριβής χαρτογράφηση των αλλαγών στη χρήση/κάλυψη γης (land use/land cover changes LULCC) παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση της επίδρασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον σε περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα και ίσως αποτελεί ένα από τα καλύτερα διαθέσιμα μέτρα για την παρακολούθηση των πιέσεων στα χερσαία οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν δεδομένα δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τον χαρακτηρισμό αυτών των αλλαγών (Shimizu et al., 2023). Η Ευρώπη έχει μακρά κληρονομιά σε δραστηριότητες χαρτογράφησης της κάλυψης χρήσεων γης. Η κάλυψη γης CORINE υφίσταται ήδη την τέταρτη ενημέρωση (Manakos and Braun, 2014).

1.2.18.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

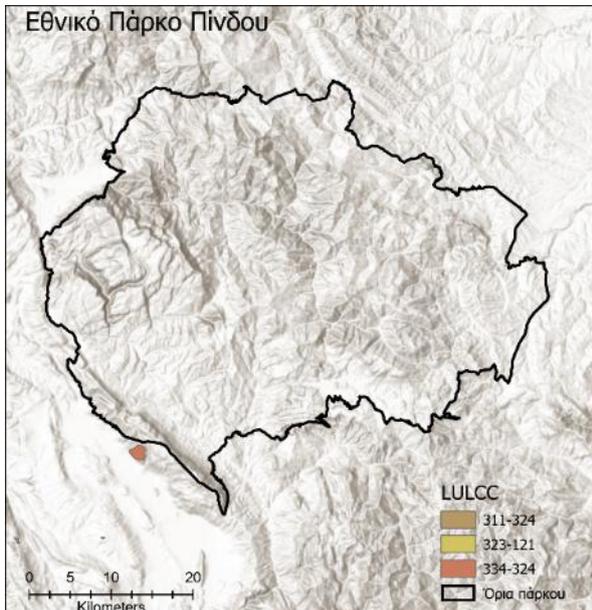
1.2.18.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης CORINE Land Cover

Το προϊόν Corine Land Cover Change 2012-2018 (CHA1218)³⁰ είναι ένα από τα σύνολα δεδομένων Corine Land Cover (CLC) που παράγονται στο πλαίσιο της υπηρεσίας CLMS και αναφέρονται στις αλλαγές στην κατάσταση κάλυψης/χρήσης γης μεταξύ των ετών 2012 και 2018 (European Environment Agency, 2020a).

Το προϊόν CORINE Land Cover Changes (CLCC) παράγεται από τη δεύτερη απογραφή CLC (CLC2000). Το CLCC προέρχεται από δορυφορικές εικόνες με άμεση χαρτογράφηση των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ δύο διαδοχικών απογραφών, με βάση τη μεταξύ τους σύγκριση. Η χαρτογράφηση των αλλαγών εφαρμόζει ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (Minimum Map Unit MMU) πέντε εκταρίων για να συλλέξει περισσότερες λεπτομέρειες στο επίπεδο CLCC από ό,τι στο επίπεδο κατάστασης CLC. Δύο ευρωπαϊκές μελέτες επικύρωσης έδειξαν ότι η επιτευχθείσα θεματική ακρίβεια είναι πάνω από το καθορισμένο ελάχιστο όριο (85 %)(European Environment Agency, 2020a).

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος Corine Land Cover Change 2012-2018 για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, όπου και δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές εντός των ορίων των πάρκων (Εικόνα 61).

³⁰ <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/lcc-2012-2018>



Εικόνα 68 Χαρτογράφηση αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης του προϊόντος CORINE Land Cover Changes (CLCC) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, όπου και δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές εντός των ορίων των πάρκων

1.2.18.2.2 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης CORINE Land Cover-αντιστοίχιση σε τύπους οικοσυστημάτων MAES

Οι αλλαγές στην έκταση των οικοσυστημάτων επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα, την κατάσταση και τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων. Ο δείκτης αλλαγών τύπων οικοσυστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τις στρατηγικές της ΕΕ και τις παγκόσμιες στρατηγικές για τη βιοποικιλότητα, καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιοποικιλότητα, υποδεικνύοντας την έκταση των διαθέσιμων οικοτόπων και οικοσυστημάτων, που είναι κρίσιμος παράγοντας για την υγεία των οικοσυστημάτων και τη διατήρηση των ειδών. Εάν μια έκταση μειωθεί δραστικά, αυτό θα έχει αρνητική επίδραση στα είδη που εξαρτώνται από τον εν λόγω βιότοπο. Υπό αυτή την έννοια, ο δείκτης αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για εξειδικευμένα είδη και ενδημικά είδη που εξαρτώνται από συγκεκριμένα ενδιαίτηματα του οικοσυστήματος και δεν μπορούν να επιβιώσουν σε άλλα οικοσυστήματα.

Ο δείκτης υπολογίζει τις μεταβολές στους τύπους οικοσυστημάτων MAES. Η χαρτογράφηση των μεταβολών βασίζεται στα προϊόντα CORINE Land Cover για τα έτη 2012 και 2018 και την συνάθροιση των κατηγοριών κάλυψης γης CORINE ώστε να σχετίζονται με τους τύπους οικοσυστημάτων MAES (Πίνακας 5).

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκε η χαρτογράφηση μεταβολών τύπων οικοσυστημάτων MAES για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, όπου και δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές εντός των ορίων των πάρκων (Εικόνα 69).



Εικόνα 69 Χαρτογράφηση των αλλαγών Τύπων Οικοσυστημάτων MAES (Επίπεδο 2) για τις περιοχές ενδιαφέροντος, Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.19 Αδιαπερατότητα και αλλαγές αδιαπερατότητας

1.2.19.1 Περιγραφή

Ο όρος αδιαπέρατη επιφάνεια αναφέρεται σε επιφάνειες εδάφους που καλύπτονται από αδιαπέρατα υλικά, λόγω της αστικής ανάπτυξης και της κατασκευής υποδομών αλλά και σε εκτάσεις που καλύπτονται από πλαστικό και χρησιμοποιούνται για τη γεωργία. Η αύξηση των «σφραγισμένων» εκτάσεων θεωρείται ως μία από τις σημαντικότερες απειλές για τα ευρωπαϊκά εδάφη και τοπία και αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη Μεσόγειο. Η επιταχυνόμενη αστικοποίηση συνεχίζει να μετατρέπει τα φυσικά εδάφη σε αδιαπέρατες επιφάνειες, με αποτέλεσμα σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον τη βιοποικιλότητα, την αποθήκευση και δέσμευση άνθρακα, τις υδρολογικές ιδιότητες του εδάφους, τις υπηρεσίες οικοσυστημάτων και τη διατήρηση της φύσης. Η «σφράγιση» υποδηλώνει αυξημένο κίνδυνο απορροής, διάβρωσης και πλημμύρας, απώλεια της βιοποικιλότητας και αύξηση της θερμοκρασίας επειδή υπάρχει λιγότερη ψύξη από την εξάτμιση των εδαφών και εν μέρει αποτελεί μια εξήγηση για τις υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στις πόλεις. Οι περιοχές που καλύπτονται από αδιαπέρατες επιφάνειες δεν παρέχουν πλέον τις οικολογικές και οικονομικές λειτουργίες και τα αγαθά και τις υπηρεσίες που συνδέονται με αυτές. Η συμπίεση του εδάφους είναι επίσης μια σημαντική αιτία υποβάθμισης της γης, καθώς μειώνει την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει νερό (European Soil Data Centre (ESDAC), 2024)

Η αδιαπερατότητα είναι μια γνωστή μεταβλητή υποβάθμισης των (Marando et al., 2022; Vallecillo et al., 2022) και ως δείκτης κατάστασης οικοσυστημάτων αποτελεί βασική εισροή στη βιοφυσική μοντελοποίηση του δυναμικού ελέγχου των πλημμυρών (La Notte et al., 2022). Επιπλέον, οι αλλαγές αδιαπερατότητας και η καταγραφή της αύξησης των αδιαπέρατων επιφανειών αποτελεί δείκτη των πιέσεων στο περιβάλλον που προκύπτουν από την ανάπτυξη των υποδομών αλλά επίσης και του γενικού επιπέδου ρύπανσης και χρήσης ενέργειας.

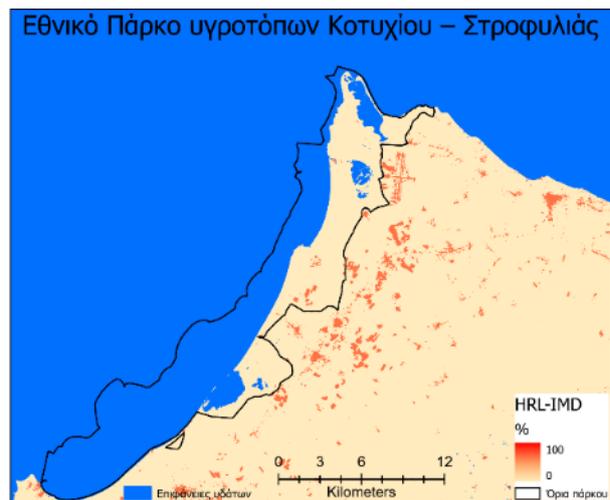
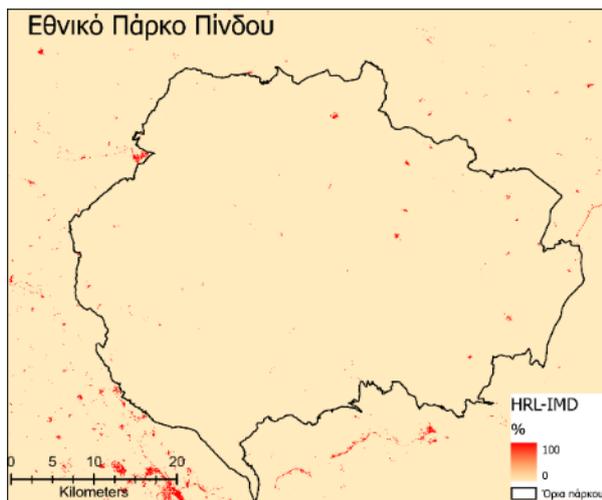


1.2.19.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.19.2.1 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης για την αδιαπερατότητα μέσω του CLMS-HRLs

Το προϊόν υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness (HRL-IMD) της υπηρεσίας Copernicus³¹ αποτυπώνει σε πανευρωπαϊκό επίπεδο τη χωρική κατανομή των τεχνητά αδιαπέρατων εδαφών, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου σφράγισης του εδάφους ανά μονάδα έκτασης, στο εύρος από 0-100% (European Environment Agency, 2018). Το προϊόν έχει τριετή κύκλο παραγωγής και είναι διαθέσιμο για τα έτη αναφοράς 2006, 2009, 2012, 2015 (ανάλυση 20μ) και 2018 (ανάλυση 10μ). Τα HRL-IMD 2018 παρέχονται ως αρχεία εικόνων (raster) χωρικής ανάλυσης 10 μέτρων (πλήρως συμβατά με το πλέγμα αναφοράς του ΕΟΧ) σε κάρναβο 100 x 100 χιλιομέτρων

Η Εικόνα 70 παρουσιάζει την πυκνότητα αδιαπερατότητας του προϊόντος HRL-IMD, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 70 c του προϊόντος Imperviousness Density (HRL-IMD) του Copernicus, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.19.2.2 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης για τις αλλαγές στην αδιαπερατότητα μέσω του CLMS-HRLs

Τα προϊόντα υψηλής ανάλυσης αλλαγών αδιαπερατότητας (Imperviousness Change HRL-IMC) 2015-2018 της υπηρεσίας Copernicus³², διατίθενται σε ανάλυση 20m x 20m, ώστε να είναι συμβατά με την ανάλυση του προϊόντος κατάστασης 20m του 2015. Το προϊόν αυτό εξάγεται από δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης και άλλες διαθέσιμες πηγές δεδομένων και βασίζεται κυρίως στην ανάλυση του NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Το HRL-IMC απεικονίζει την αλλαγή Imperviousness σε συνεχές εύρος τιμών (European Environment Agency, 2018).

³¹ <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-imperviousness>

³² <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-imperviousness/imperviousness-change-2012-2015>



- οι τιμές μείωσης κυμαίνονται από 0-99 και αντιστοιχούν από 100% έως 1% μείωση αδιαπερατότητας
- οι τιμές αύξησης κυμαίνονται από 101-200 και αντιστοιχούν από 1% έως 100% αύξηση αδιαπερατότητας (European Environment Agency, 2018).

Η Εικόνα 71 παρουσιάζει τις αλλαγές αδιαπερατότητας το προϊόντος HRL-IMC, για τα έτη 2015-2018, σε χωρική ανάλυση 20 μέτρων, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, όπως ομαδοποιήθηκαν στις κατηγορίες «Μείωση αδιαπερατότητας»- «Αύξηση αδιαπερατότητας» και «Μόνιμα δομημένες επιφάνειες».



Εικόνα 71 Δείκτης αλλαγών αδιαπερατότητας του προϊόντος *Imperviousness Change* (HRL-IMC) 2015-2018, του *Corpernicus*, σε χωρική ανάλυση 20μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.19.2.3 Διαθέσιμο προϊόν Παρατήρησης Γης για την αδιαπερατότητα μέσω του CLMS - Οικιστικά συστήματα

Η αστικοποίηση και η επέκταση των ανθρώπινων οικισμών αποτελούν ισχυροί προσδιοριστικοί παράγοντες των επιπτώσεων των αλλαγών χρήσεων γης στη βιοποικιλότητα (Beckmann et al., 2019) (Walz and Syrbe, 2013) (Malkinson et al., 2018) και στις κοινωνικο-οικολογικές δραστηριότητες (Shaw et al., 2020). Η επιρροή της αστικής ζώνης φτάνει πολύ έξω από τα όριά της μέσω των ροών ανθρώπων, ενέργειας, ύλης, καθώς και του κλίματος και της βιοποικιλότητας (Chen et al., 2019; Seto et al., 2012; van Vliet, 2019). Στις περιαστικές περιοχές η δόμηση γης δεν είναι πυκνή, ωστόσο συχνά η διαταραχή λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των υποδομών προκαλεί πολύ μεγαλύτερη μείωση της βιοποικιλότητας από ό,τι υποδηλώνει μια πυκνά δομημένη έκταση (Buczowski and Richmond, 2012)(Concerción et al., 2016).

Τα οικιστικά συστήματα αναφέρονται στα πρότυπα και στην οργάνωση των οικισμών σε μια γεωγραφική περιοχή. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν διάφορους τύπους οικισμών, όπως πόλεις, κωμοπόλεις, χωριά και αγροτικές περιοχές, καθώς και τις υποδομές, τις χρήσεις γης και τη χωρική κατανομή του πληθυσμού που συνδέονται με αυτούς. Η κατανόηση των οικιστικών συστημάτων παρέχει έμμεσες πληροφορίες σχετικά με τις οικολογικές συνθήκες και το δυναμικό βιοποικιλότητας μιας περιοχής, τη διαχείριση των χρήσεων γης και τον βιώσιμο αστικό σχεδιασμό με βασική συνιστώσα τη βιοποικιλότητα.

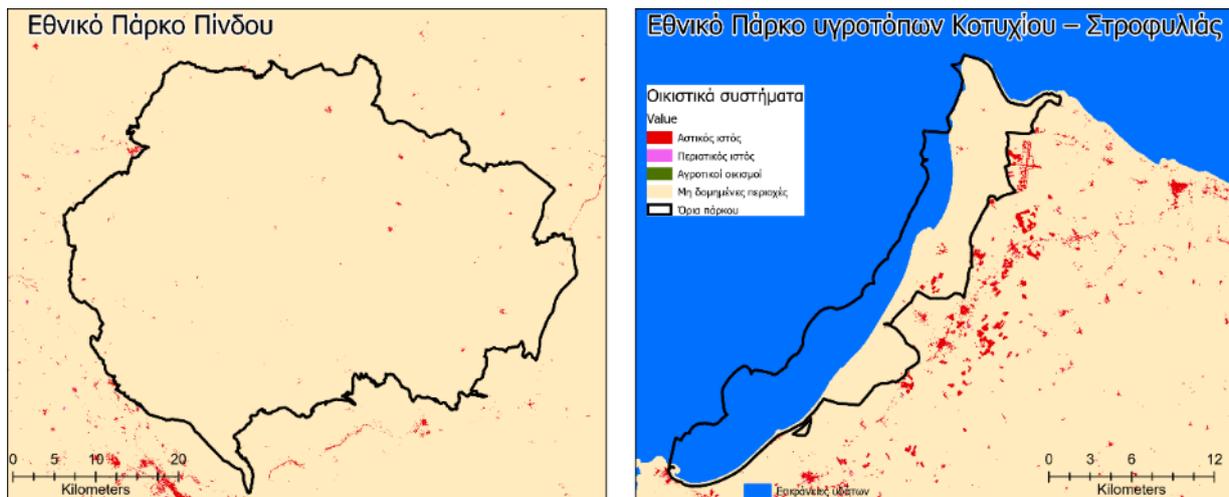


Για την εξέταση του οικιστικών συστημάτων πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των εδαφών σε τρία επίπεδα έντασης αστικοποίησης, με βάση το βαθμό αδιαπερατότητας (0-100%) του προϊόντος υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness (HRL-IMP) (Demuzere et al., 2019; Linard et al., 2012; van Asselen and Verburg, 2012)(Dou et al., 2021).

- Τάξη 1: Αστικός ιστός (υψηλή ένταση δόμησης): $HRL-IMP \geq 25\%$,
- Τάξη 2: Δομημένες εκτάσεις (μεσαία ένταση δόμησης): $5\% < HRL-IMP \leq 25\%$,
- Τάξη 3: Μη δομημένες εκτάσεις (χαμηλής έντασης δόμησης): $5\% < HRL-IMP \leq 25\%$,

Στη συνέχεια, οι δομημένες εκτάσεις μεσαίας έντασης (Class 2) διακρίθηκαν με βάση τη γειτνίαση τους στον αστικό ιστό (Τάξη 1) (Linard et al., 2012; Stürck et al., 2018) (Dou et al., 2021). Έτσι όταν εντοπίστηκαν περισσότεροι από ένας αστικοί πυρήνες εντός της γειτονιάς 5km (500×500 κελιών) τότε η περιοχή (εικονοστοιχείο 10×10m) χαρακτηρίστηκε ως περιαστικός ιστός (Τάξη 2.1) Τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία δομημένων εκτάσεων ταξινομήθηκαν ως αγροτικοί οικισμοί (Τάξη 2.2).

Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS και τη χρήση αλγορίθμων χωρικής ανάλυσης. Η Εικόνα 72 εμφανίζει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς, σε χωρική ανάλυση 10μ.



Εικόνα 72 Οικιστικά συστήματα, σε χωρική ανάλυση 10μ, για το 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.20 Δομή τοπίου

1.2.20.1 Περιγραφή

Οι δείκτες τοπίου έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλείς για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του τοπίου, τόσο των δομικών όσο και των λειτουργικών. Η δομή τους περιγράφεται από δείκτες που σχετίζονται με τη διαμόρφωση και τη σύνθεση του τοπίου. Χρησιμοποιούνται συχνότερα για την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας, της γεωποικιλότητας, των οικοτόπων, της ετερογένειας και της αισθητικής του τοπίου, των επιπτώσεων της διαχείρισης και του σχεδιασμού (π.χ. οι επιπτώσεις της σύνθεσης και της διαμόρφωσης του τοπίου στην ποιότητα του νερού), καθώς και της λειτουργίας του τοπίου (π.χ αξιολόγηση του μωσαϊκού του τοπίου και των αλλαγών του και παρακολούθηση του τοπίου) (Walz and Syrbe, 2013).



Ο κατακερματισμός του τοπίου (Landscape fragmentation -LF) ορίζεται συνήθως ως η διάσπαση ενός οικοτόπου ή ενός οικοσυστήματος σε μικρότερα τμήματα. Στην οικολογία του τοπίου, είναι κοινώς αποδεκτό ότι ο κατακερματισμός του τοπίου μπορεί να εξομοιωθεί με το αντίστροφο της δομικής συνδεσιμότητας, δηλαδή με το βαθμό στον οποίο ένα μωσαϊκό τοπίου διευκολύνει ή όχι τη μετακίνηση των ειδών μεταξύ των περιοχών. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται επίσης ότι ο κατακερματισμός αντιπροσωπεύει το αντίστροφο της δομικής συνδεσιμότητας (Vallecillo et al., 2022).

Ο κατακερματισμός του τοπίου θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αφορούν την εδαφική ανάπτυξη και έχουν αρνητικό αντίκτυπο στη βιοποικιλότητα, στα οικοσυστήματα και στην ποιότητα ζωής σε παγκόσμιο, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο (Ibáñez et al., 2014). Ο κατακερματισμός του τοπίου δε μειώνει μόνο την έκταση που είναι διαθέσιμη στα φυτά και τα ζώα, αλλά μεταβάλλει επίσης την αρχική ροή των πόρων, τη μετακίνηση των οργανισμών, την κατανομή των κατάλληλων ενδιαιτημάτων και συχνά διαταράσσει τις αλληλεπιδράσεις των ειδών. Μια σημαντική συνέπεια του κατακερματισμού του τοπίου είναι η αυξημένη απομόνωση των οικοσυστημάτων που διακόπτει τις δομικές συνδέσεις και μειώνει την ανθεκτικότητα και την ικανότητα των οικοτόπων να παρέχουν οικοσυστημικές υπηρεσίες. Ο κατακερματισμός επηρεάζει επίσης τις ανθρώπινες κοινότητες, τη γεωργία, την αναψυχή και τη συνολική ποιότητα ζωής. Η παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο ο κατακερματισμός μειώνει την ποιότητα του τοπίου και αλλάζει την οπτική αντίληψη των τοπίων παρέχει πληροφορίες για μέτρα πολιτικής που αποσκοπούν στη βελτίωση της κατάστασης των οικοσυστημάτων και την αποκατάσταση, καθώς και στη διατήρηση της ελκυστικότητας των τοπίων για δραστηριότητες αναψυχής (European Environment Agency, 2011).

1.2.20.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

Για τις ανάγκες της παρούσας δράσης εξετάστηκαν τρεις δείκτες τοπίου (Shannon Diversity Index (SHDI), Simpson's diversity index (SIDI) και Effective Mesh Size). Οι δείκτες υπολογίστηκαν με τη χρήση του πακέτου R "landscape metrics" (Hesselbarth et al., 2019) και το προϊόν CORINE Land Cover 2018.

1.2.20.2.1 Δείκτης ποικιλότητας τοπίου Shannon

Ο δείκτης ποικιλότητας του Shannon (Shannon Diversity Index-SHDI) (Shannon, 1948) είναι ίσως ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης τοπίου. Για τον υπολογισμό του SHDI, το πακέτο "landscape metrics" (Hesselbarth et al., 2019) χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τον αριθμό των διαφορετικών κλάσεων κάλυψης γης όσο και τη σχετική αφθονία τους εντός του τοπίου.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$$

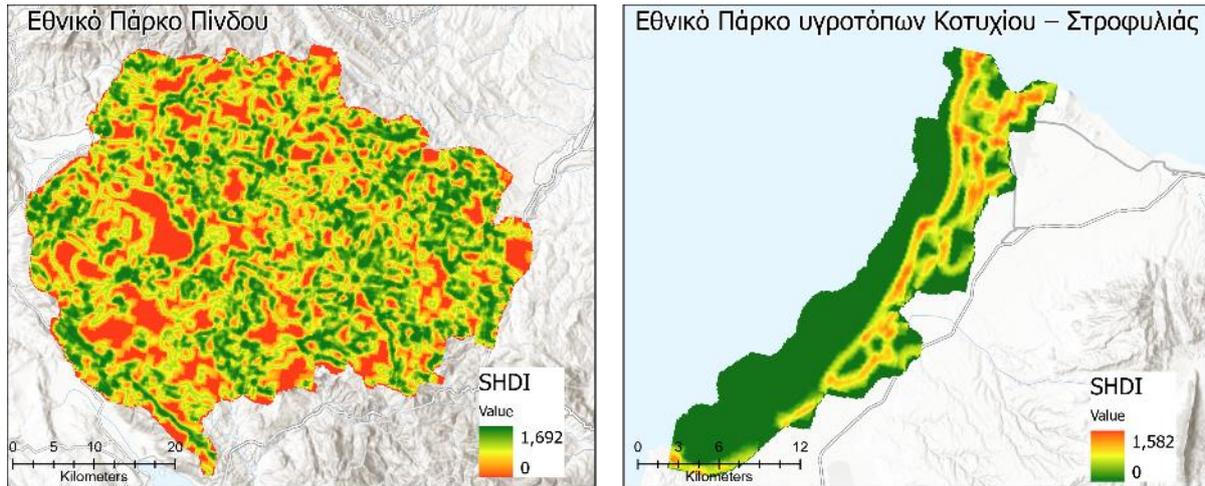
όπου m είναι ο αριθμός των κλάσεων κάλυψης γης και P_i είναι η αναλογία κάθε κλάσης κάλυψης γης i στο τοπίο.

Οι τιμές του δείκτη SHDI, κυμαίνονται θεωρητικά από 0 (όταν υπάρχει μόνο ένα patch) και μπορεί να αυξάνονται έως άπειρο, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των τάξεων, ενώ οι αναλογίες είναι ισομερώς κατανομημένες (Hesselbarth et al., 2021). Ο δείκτης γενικά εκτιμά τη μέση αβεβαιότητα



στην πρόβλεψη του τύπου κάλυψης γης στον οποίο θα ανήκει μια τυχαία επιλεγμένη υπομονάδα του τοπίου.

Η Εικόνα 73 παρουσιάζει το δείκτη SHDI, όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 73 Δείκτης Shannon Diversity Index (SHDI), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.

1.2.20.2.2 Δείκτης ποικιλότητας τοπίου Simpson (SIDI)

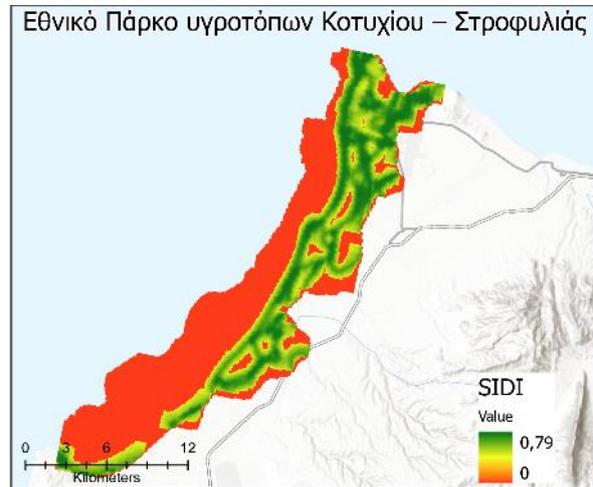
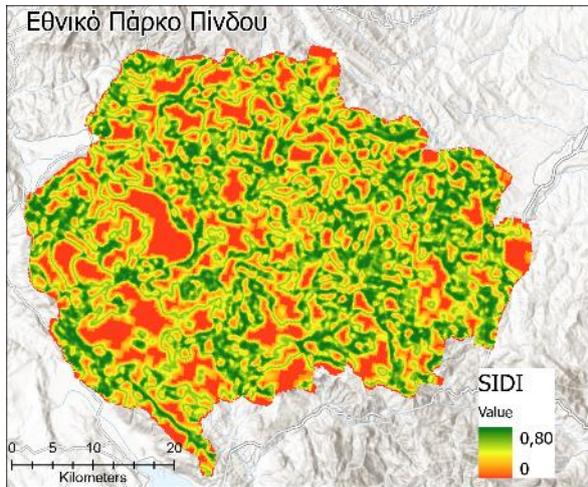
Επίσης ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης τοπίου είναι ο δείκτης Simpson (Simpson index -SIDI) (Simpson, 1949). Για τον υπολογισμό του SIDI, το πακέτο "landscape metrics" (Hesselbarth et al., 2019) χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

όπου m είναι ο αριθμός των κλάσεων κάλυψης γης και P_i είναι η αναλογία κάθε κλάσης κάλυψης γης i στο τοπίο.

Οι τιμές του δείκτη SIDI κυμαίνονται από 0 έως 1, και ορίζουν την πιθανότητα δύο ίσου μεγέθους υπομονάδες του τοπίου, που επιλέγονται τυχαία, να ανήκουν σε διαφορετικούς τύπους κάλυψης (Nagendra, 2002). Οι μηδενικές τιμές δείχνουν ότι υπάρχει μόνο ένα patch και τιμές κοντά 1 δηλώνουν ότι ο αριθμός των τύπων τάξης αυξάνεται, συνεπώς και η ποικιλομορφία του τοπίου, ενώ οι αναλογίες είναι ισομερώς κατανομημένες (Hesselbarth et al., 2021).

Η Εικόνα 74 παρουσιάζει τον δείκτη SIDI, όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 74 Δείκτης Simpson (Simpson index -SIDI), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.20.2.3 Δείκτης μεγέθους αποτελεσματικού πλέγματος

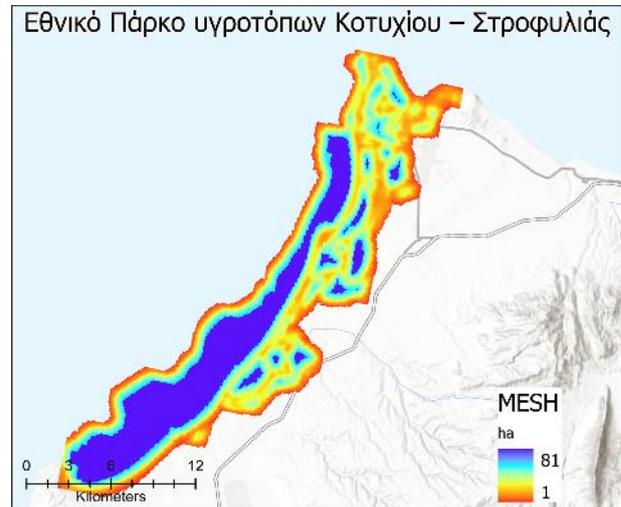
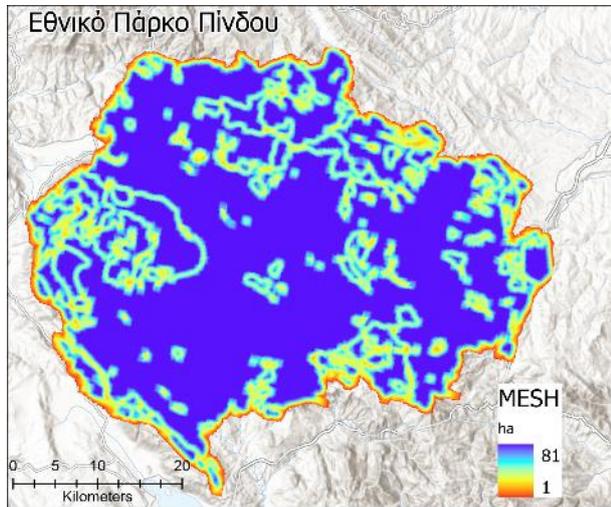
Ο δείκτης μεγέθους αποτελεσματικού πλέγματος (κατακερματισμός) (Effective Mesh Size-MESH) είναι ένας δείκτης συνάθροισης και βασίζεται στην πιθανότητα δύο σημεία που επιλέγονται τυχαία σε μια περιοχή να συνδέονται. Εάν ένα από τα σημεία (ή και τα δύο) βρίσκεται εντός ενός κατακερματισμένου στοιχείου του τοπίου, για παράδειγμα σε αστική περιοχή, τότε διαχωρίζεται από το άλλο σημείο (Hesselbarth et al., 2021). Για τον υπολογισμό του MESH, το πακέτο "landscape metrics" (Hesselbarth et al., 2019) χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση

$$MESH = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} \times \frac{1}{1000}$$

όπου a_{ij} είναι η έκταση του patch σε τετραγωνικά μέτρα και A είναι η συνολική έκταση του τοπίου σε τετραγωνικά μέτρα.

Η μονάδα μέτρησης του είναι τα εκτάρια (ha), και το ευρος τιμών εξαρτάται από το μέγεθος των εικονοστοιχείων και της συνολικής έκταση του τοπίου. Εάν υπάρχει μόνο ένα patch τότε η τιμή MESH είναι η συνολική έκταση του τοπίου.

Η Εικόνα 75 παρουσιάζει τον δείκτη MESH, όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 75 Ο Δείκτης Effective Mesh Size (MESH), όπως υπολογίστηκε από προϊόν CORINE Land Cover 2018, σε χωρική ανάλυση 100μ και μέγεθος παραθύρου 9x9 για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.20.2.4 Διαθέσιμο προϊόν για το πραγματικό μέγεθος πλέγματος μέσω ΕΕΑ

Το μέγεθος meff εκφράζει την πιθανότητα δύο σημεία που επιλέγονται τυχαία σε μια περιοχή να συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή να μην χωρίζονται από γεωμετρικές κατακερματισμού (Fragmentation Geometries -FGs), όπως διαδρομές μεταφοράς ή δομημένες περιοχές. Το μέγεθος meff μπορεί να ερμηνευθεί ως η περιοχή που είναι προσβάσιμη κατά την κίνηση κάποιου είδους μέσα σε ένα τοπίο χωρίς να συναντήσει ένα φυσικό εμπόδιο (γεωμετρία κατακερματισμού). Ως εκ τούτου, το meff είναι ένα μέτρο της συνεκτικότητας του τοπίου, δηλαδή του βαθμού στον οποίο είναι δυνατές οι μετακινήσεις μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του τοπίου (Jaeger, 2000). Το meff μετράται ως έκταση (km^2), εντός κανονικών πλεγμάτων μεγέθους 1 km^2 ως μονάδες αναφοράς.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environmental Agency-EEA) διαθέτει δύο προϊόντα ως δείκτες για την αξιολόγηση του κατακερματισμού του τοπίου.

- Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major anthropogenic fragmenting elements (FGA1-M)³³ και
- Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major and medium anthropogenic fragmenting elements (FGA2-M)³⁴ Ο υπολογισμός τους βασίζεται στη μέθοδο Effective Mesh Size (meff) (Jaeger, 2000).

Πηγή πληροφοριών για τα προϊόντα FGA1-M και FGA2-M αποτελεί το προϊόν Imperviousness degree (HRL-IMD) της υπηρεσίας Copernicus (το 30% του IMD είναι το όριο για την επιλογή της περιοχής δόμησης) και η βάση δεδομένων Open Street Map (OSM) για τις διαδρομές μεταφορών.

Η διαφορά του FGA1-M με το FGA2-M, είναι στα στοιχεία που περιλαμβάνονται υπολογισμό του δείκτη meff. Στο μείζονα ανθρωπογενή κατακερματισμό (FGA1-M) περιλαμβάνονται μόνο:

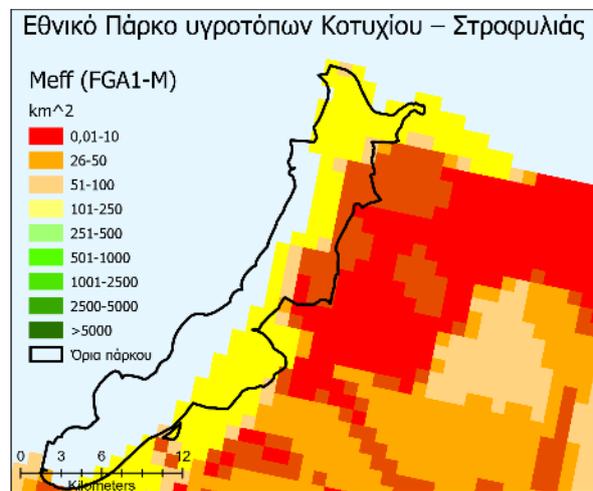
³³ <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/api/records/4a038ec2-f132-485e-a8e7-bc1043d8ca2f>

³⁴ <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/api/records/53bb9d36-0e28-4486-aa06-dc488671c84e>

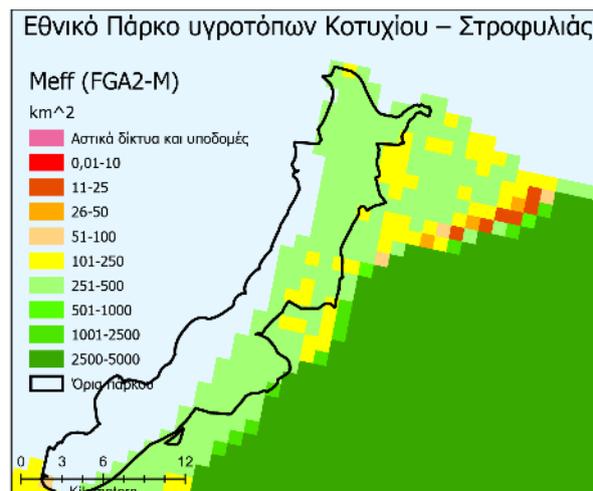
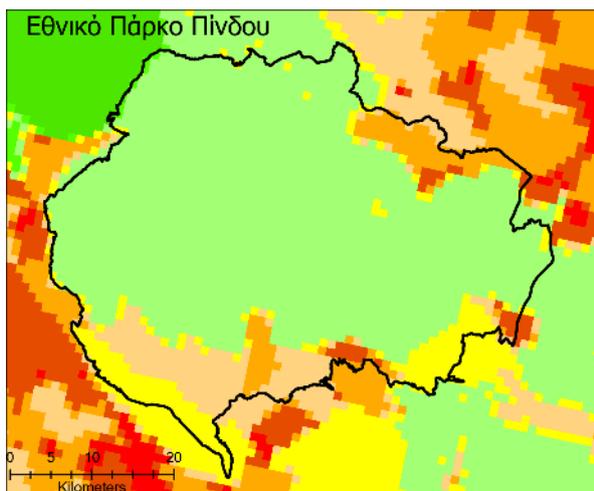


αυτοκινητόδρομοι και συνδέσεις αυτοκινητόδρομων, κεντρικές συνδέσεις, κύριες οδικές αρτηρίες, συνδέσεις κύριων οδικών αρτηριών και σιδηροδρομικές αρτηρίες. Στο προϊόν FGA2-M συνηπολογίζονται: αυτοκινητόδρομοι και συνδέσεις αυτοκινητόδρομων, κύριοι δρόμοι και συνδέσεις κύριων δρόμων, δευτερεύοντες οδικοί άξονες και δευτερεύουσες οδικές συνδέσεις, τριτεύοντες οδικοί άξονες και τριτεύοντες οδικοί άξονες, καθώς και σιδηρόδρομοι. Οι σήραγγες εξαιρούνται και από τα δυο σύνολα δεδομένων. Τα προϊόντα FGA1-M με το FGA2-M διατίθενται για το χρονικό διάστημα 2011-2016.

Η Εικόνα 76 και Εικόνα 77 παρουσιάζουν τον κατακερματισμό τοπίου με βάση τα προϊόντα FGA1-M και FGA2-M, για το έτος 2016 σε χωρική ανάλυση 100μ, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 76 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major anthropogenic fragmenting elements (FGA1-M) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2016



Εικόνα 77 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Landscape fragmentation Effective Mesh Size: major and medium anthropogenic fragmenting elements (FGA2-M) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2016



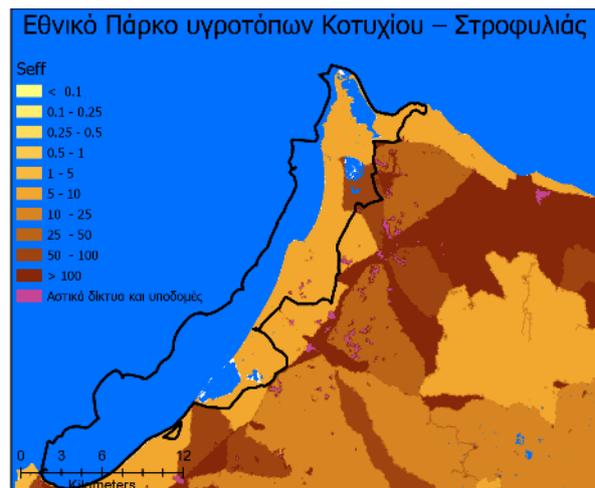
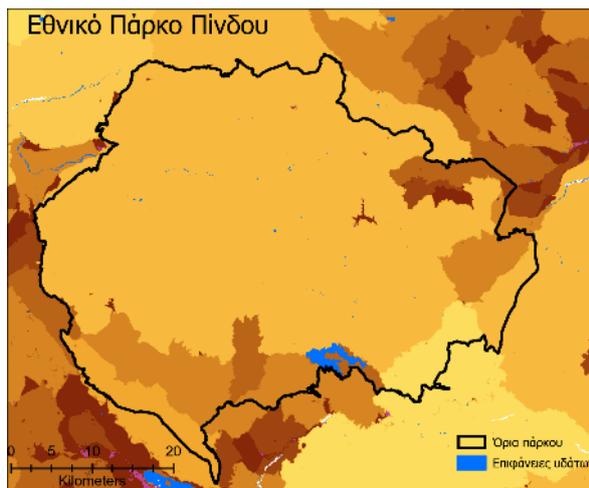
1.2.20.2.5 Διαθέσιμο γεωχωρικό προϊόν για την πυκνότητα αποτελεσματικού πλέγματος (κατακερματισμός) μέσω ΕΕΑ

Η πυκνότητα αποτελεσματικού πλέγματος (κατακερματισμός) (Effective Mesh Density -seff)³⁵ είναι ένα μέτρο του κατακερματισμού του τοπίου, δηλαδή του βαθμού στον οποίο η μετακίνηση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του τοπίου διακόπτεται από γεωμετρικές κατακερματισμού (Fragmentation Geometry FGs). Ετσι, όσο περισσότερες FG κατακερματίζουν το τοπίο, τόσο υψηλότερη είναι η seff, άρα τόσο υψηλότερος είναι ο κατακερματισμός. Η τιμή seff υπολογίζεται με βάση το μέγεθος meff ως $1000 \text{ km}^2 / \text{meff}$, άρα seff είναι το πλήθος meff ανά 1000 km^2 .

Το προϊόν του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος Landscape fragmentation Effective Mesh Density 2018: major and medium anthropogenic fragmenting elements (FGA2-S)³⁶ αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων Effective Mesh Density (seff) με βελτιωμένα δεδομένα εισόδου, για το έτος 2018. Χρησιμοποιεί ως γεωμετρικές κατακερματισμού τα σύνολα δεδομένων 10m Copernicus Imperviousness Density (HRL-IMD) 2018 και τα σύνολα δεδομένων TomTom TeleAtlas. Τα προϊόντα FGA2-S διατίθενται για το χρονικό διαστήματα 2016-2018.

Το HRL-IMD (30% του IMD) αποτελεί η πηγή για την επιλογή της περιοχής δόμησης και η βάση δεδομένων του οδικού δικτύου TomTom TeleAtlas είναι η πηγή για την υποδομή μεταφορών. Το αρχικό σύνολο δεδομένων TeleAtlas φιλοξενείται στην ESTAT και δεν είναι διαθέσιμο στο κοινό. Multinet: <https://www.adci.com/tomtom/gis/>.

Η Εικόνα 78 δείχνει την κατανομή των κλάσεων κατακερματισμού στις περιοχές ενδιαφέροντος. Οι κλάσεις αντιπροσωπεύουν την τιμή seff (αριθμό meff ανά 1000 km^2). Τα ανοιχτά χρώματα σημαίνουν λιγότερη πίεση κατακερματισμού και τα σκούρα χρώματα σημαίνουν υψηλότερη πίεση κατακερματισμού από την επέκταση των αστικών και μεταφορικών υποδομών.



³⁵ <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/9d0b51f9-047d-4af1-89eb-3756e46ffc53>

³⁶ <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/eng/catalog.search#/metadata/67110f21-39cb-48be-878e-d08b64a72256>

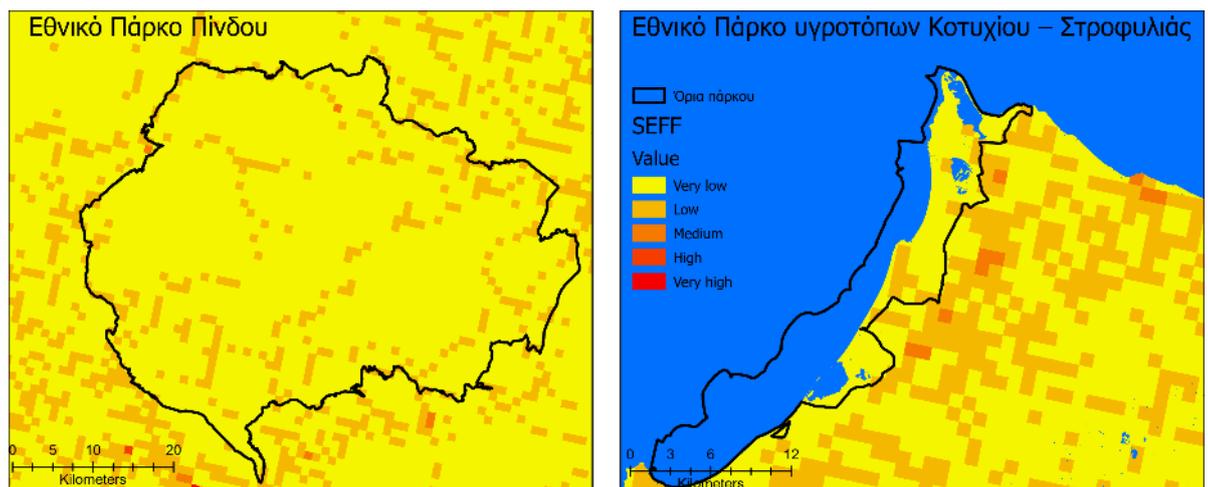


Εικόνα 78 Κατακερματισμός τοπίου με βάση το προϊόν Effective Mesh Density (seff) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, σε χωρική ανάλυση 100μ, για το έτος 2018, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.20.2.6 Ανάπτυξη μοντέλου για την αποτελεσματική πυκνότητα πλέγματος

Για τον υπολογισμό της αποτελεσματικής πυκνότητας πλέγματος (Effective Mesh Density -seff) εξετάστηκε η μεθοδολογία του (Jaeger, 2000) με τη χρήση του προϊόντος Copernicus HRL-IMD και της βάσης δεδομένων Open Street Map (OSM), σε περιβάλλον ΣΓΠ. Από τα δεδομένα OSM επιλέχθηκαν συγκεκριμένες κατηγορίες δρόμων και εφαρμόστηκαν αντίστοιχα ζώνες επιρροής (Wandl, 2017), ενώ ως περιοχές δόμησης θεωρήθηκαν περιοχές όπου Imperviousness degree (HRL-IMD)>30%. Η τιμή seff υπολογίστηκε με βάση το μέγεθος meff ως $1000 \text{ km}^2 / \text{meff}$, συνεπώς η τιμή seff δηλώνει το πλήθος meff ανά 1000 km^2 . Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS και τη χρήση αλγορίθμων χωρικής ανάλυσης.

Η Εικόνα 79 δείχνει την κατανομή των κλάσεων κατακερματισμού για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. Οι κλάσεις αντιπροσωπεύουν την τιμή seff (αριθμό meff ανά 1000 km^2).



Εικόνα 79 Κατανομή των κλάσεων κατακερματισμού για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς. Οι κλάσεις αντιπροσωπεύουν την τιμή seff (αριθμό meff ανά 1000 km^2).

1.2.21 Δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων

1.2.21.1 Περιγραφή

Οι δυναμικοί δείκτες ενδιαιτημάτων (Dynamic Habitat Index DHIs) αναπτύχθηκαν για την πρόβλεψη του πλούτου των ειδών (Radeloff et al., 2019) και θεωρούνται πλέον ισχυροί προγνωστικοί δείκτες βιοποικιλότητας (Hobi et al., 2021; Radeloff et al., 2019; Wu and Liang, 2018). Οι DHIs αναπτύσσονται τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο (Zhu and Guo, 2022) με τη χρήση τηλεπισκοπικών προϊόντων, όπως δείκτες βλάστησης (πχ NDVI, EVI) και βιοφυσικές παράμετροι (πχ fAPAR, GPP, LAI), συμπεριλαμβανομένων των προϊόντων του φασματοραδιόμετρου απεικόνισης μέτριας ανάλυσης (MODIS), των δορυφόρων Terra και Aqua της NASA (Savtchenko et al., 2004).



Οι DHIs συνοψίζουν τρία μέτρα παραγωγικότητας της βλάστησης (Coops et al., 2009; Hobi et al., 2017; Radeloff et al., 2019; Zhang et al., 2016):

- την αθροιστική ετήσια παραγωγικότητα (Cumulative Annual Productivity-DHI_{cum}), όπου οι τιμές παραγωγικότητας αθροίζονται για όλες τις χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια ενός έτους
- την ετήσια ελάχιστη παραγωγικότητα (Annual Minimum Productivity -DHI_{min}), η οποία αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή παραγωγικότητας εντός ενός έτους
- και την εποχιακή διακύμανση της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity -DHI_{var}), 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.

1.2.21.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.21.2.1 Διαθέσιμα προϊόντα Παρατήρησης Γης

Για της ανάγκες της δράσης εξετάστηκαν οι δείκτες DHI_{cum} (Εικόνα 80), DHI_{min} (Εικόνα 81) και DHI_{var} (Εικόνα 82), σε περιβάλλον Google Earth Engine για το έτος 2022, με βάση τις παρακάτω εξισώσεις (Coops et al., 2009; Hobi et al., 2017; Radeloff et al., 2019; Zhang et al., 2016):

- Δείκτης αθροιστικής ετήσιας παραγωγικότητας (Cumulative Annual Productivity-DHI_{cum}),

$$DHI_{cum} = \sum p_t$$

- Δείκτης ετήσιας ελάχιστης παραγωγικότητας (Annual Minimum Productivity -DHI_{min}),

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

- Δείκτης εποχιακής διακύμανσης της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity -DHI_{var})

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

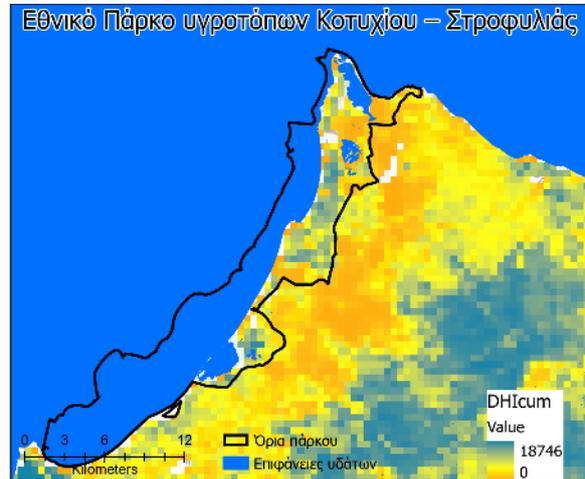
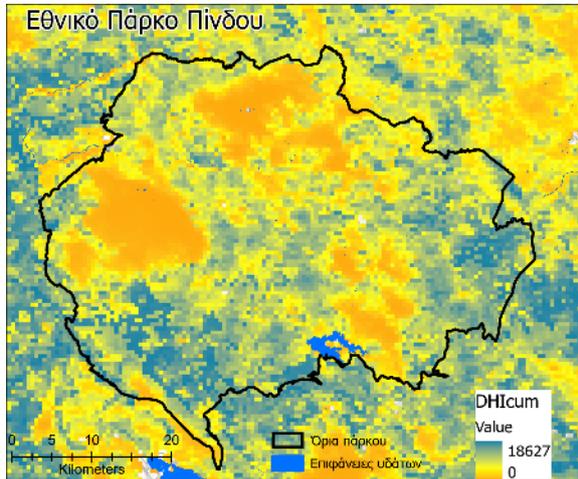
όπου, p η τιμή της ακαθάριστης πρωτογενούς παραγωγικότητας (GPP) ανά χρονική περίοδο t .

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η σύνθεση των τριών αυτών επί μέρους δεικτών (Εικόνα 83) έπειτα από κανονικοποίηση τους (0 έως 1).

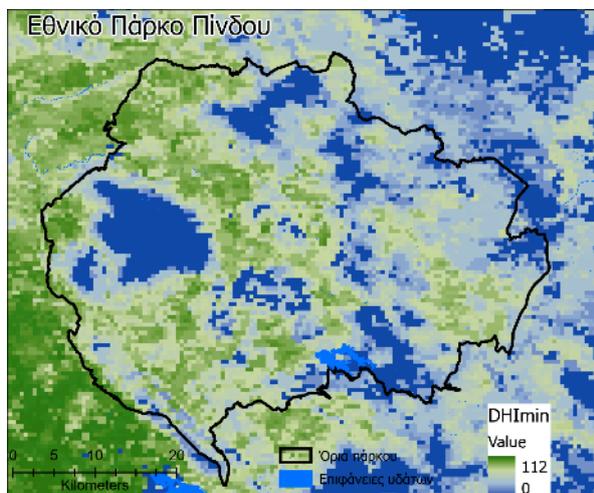
Για τον υπολογισμό των DHIs χρησιμοποιήθηκε το προϊόν MODIS/006/MOD17A2H. Το προϊόν MODIS/006/MOD17A2H, είναι ένα αθροιστικό 8ήμερο σύνθετο προϊόν τιμών με χωρική ανάλυση 500 μέτρων (m) που βασίζεται στην έννοια της αποδοτικότητας της χρήσης της ακτινοβολίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο εισόδου σε μοντέλα υπολογισμού χερσαίας ενέργειας, άνθρακα, διεργασιών του κύκλου του νερού και της βιογεωχημείας της βλάστησης. Το προϊόν περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την Gross Primary Productivity GPP και την καθαρή



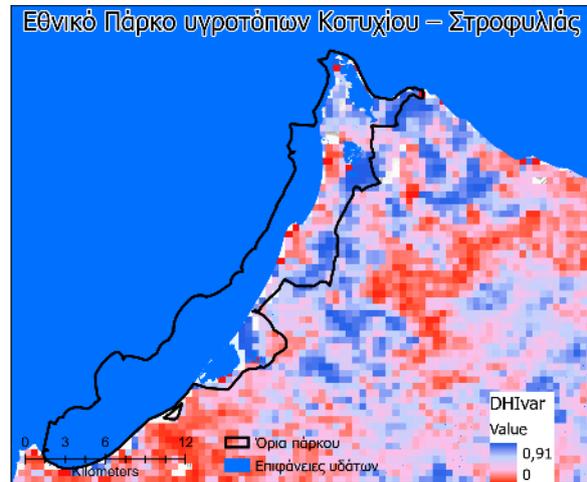
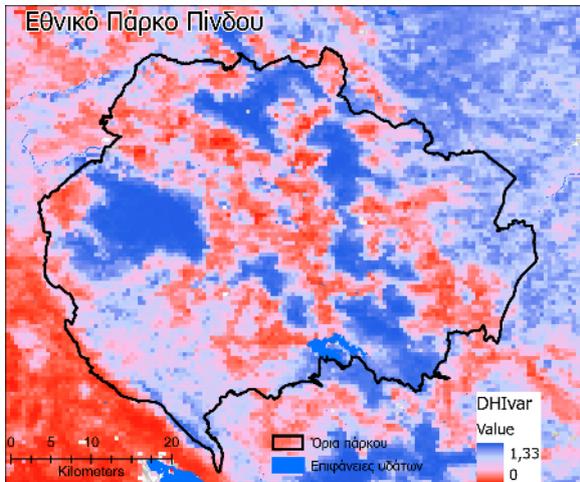
φωτοσύνθεση (Net Photosynthesis PSN), καθώς διαθέτει και ένα επίπεδο ελέγχου ποιότητας PSN (QC). Για την συγκεκριμένο υπολογισμό των DHIs χρησιμοποιήθηκε το προϊόν GPP.



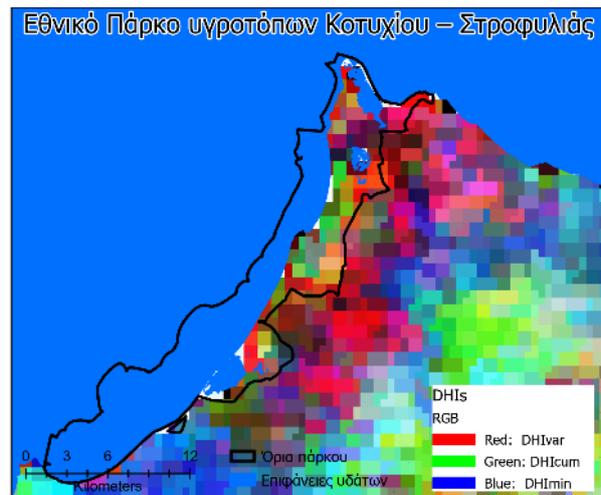
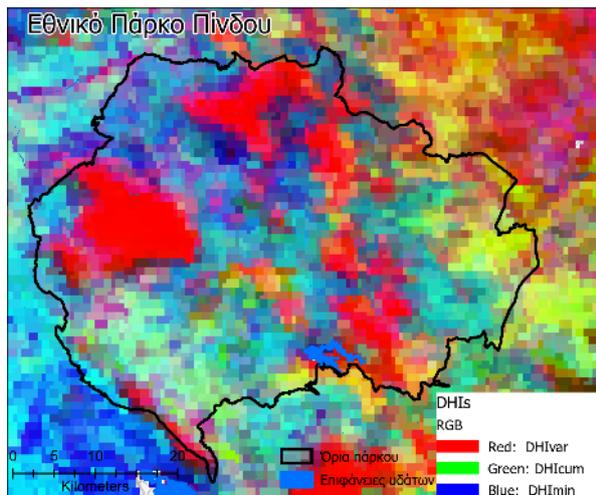
Εικόνα 80 Δείκτης αθροιστικής ετήσιας παραγωγικότητας (Cumulative Annual Productivity-DHIcum) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 81 Δείκτης ετήσιας ελάχιστης παραγωγικότητας (Annual Minimum Productivity -DHImin) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 82 Δείκτης εποχιακής διακύμανσης της παραγωγικότητας (Seasonal Variation in Productivity -DHivar) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς.



Εικόνα 83 Σύνθεση Δυναμικών Δεικτών Ενδιατημάτων (Dynamic Habitat Index DHIS) για το έτος 2022, σε χωρική ανάλυση 500μ, όπως αναπτύχθηκε με χρήση εικόνων MODIS/006/MOD17A2H, για τις περιοχές ενδιαφέροντος: Εθνικό Πάρκο Πίνδου και Εθνικό Πάρκο υγροτόπων Κοτυχίου – Στροφυλιάς

1.2.22 Κατάληψη γης

1.2.22.1 Περιγραφή

Η γη είναι ένας πεπερασμένος πόρος και ο τρόπος χρήσης της αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες περιβαλλοντικής αλλαγής με σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής και στα οικοσυστήματα (ΕΕΑ, 2021). Η μετατροπή της γης σε τεχνητές επιφάνειες υποβαθμίζει τις οικολογικές λειτουργίες της γης και καθιστά τα οικοσυστήματα λιγότερο ανθεκτικά, μειώνει τις δυνατότητες αποθήκευσης άνθρακα και διατήρησης της βιοποικιλότητας, ενώ αυξάνει την επιφανειακή απορροή κατά τη διάρκεια πλημμυρών και των επιπτώσεων των κυμάτων καύσωνα



στις πόλεις³⁷. Η στρατηγική της ΕΕ για τη βιοποικιλότητα έως το 2030 (EU's biodiversity strategy for 2030) (EC, 2020) αντιμετωπίζει την κατάληψη γης ως μία από τις σημαντικότερες απειλές για τη βιοποικιλότητα, ενώ η στρατηγική για το έδαφος έως το 2030 (EC, 2021) θέτει ως στόχο "να μην υπάρξει καθαρή κατάληψη γης έως το 2050".

Η κατάληψη γης πραγματοποιείται κυρίως σε περιαστικές περιοχές, όπου η ζήτηση για νέες υποδομές είναι υψηλή και η ποιότητα του εδάφους είναι καλή. Η μετατροπή της γης σε τεχνητές επιφάνειες, μέσω της άμεσης απώλειας φυσικών περιοχών υποβαθμίζει τις πολύτιμες οικολογικές λειτουργίες των εδαφών, οδηγώντας σε μειωμένη ποιότητα ζωής σε λιγότερο ανθεκτικά οικοσυστήματα, σε μειωμένες δυνατότητες αποθήκευσης άνθρακα και διατήρησης της βιοποικιλότητας, σε αυξημένη επιφανειακή απορροή κατά τη διάρκεια πλημμυρών και σε αυξημένες επιπτώσεις των κυμάτων καύσωνα στις πόλεις (European Environment Agency, 2023).

Ο δείκτης κατάληψης γης αφορά τη μεταβολή των εκτάσεων γεωργικής, δασικής και άλλης ημιφυσικής γης που λαμβάνονται για αστική και άλλη τεχνητή ανάπτυξη. Η κατάληψη γης περιλαμβάνει περιοχές που «σφραγίζονται» από κατασκευές και αστικές υποδομές, τις αστικές περιοχές πρασίνου και τις εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής και πραγματοποιείται κυρίως σε περιαστικές περιοχές, όπου η ζήτηση για νέες υποδομές είναι υψηλή και η ποιότητα του εδάφους είναι καλή. Οι αλλαγές στη χρήση γης που αφορούν την επέκταση των αστικών περιοχών μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν αγροτεμάχια που δεν έχουν «σφραγιστεί» (π.χ. περιοχές αστικού πρασίνου και εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής). Αυτό ισχύει ιδίως για τον ασυνεχή αστικό ιστό, ο οποίος εξετάζεται στο σύνολό του. Η παρακολούθηση του δείκτη με δορυφορικές εικόνες οδηγεί στον αποκλεισμό ορισμένων γραμμικών υποδομών μεταφορών, οι οποίες είναι πολύ στενές για να παρατηρηθούν άμεσα (European Environment Agency, 2023).

1.2.22.2 Δυνητικές μεταβλητές για την ανάπτυξη ενός δείκτη

1.2.22.2.1 Διαθέσιμο γεωχωρικό προϊόν καθαρής κατάληψη γης

Το προϊόν "Urban Atlas" της υπηρεσίας Copernicus (Urban Atlas³⁸), αποτελούν μια βάση δεδομένων χρήσης γης/ κάλυψης γης για τις λειτουργικές αστικές περιοχές και την μελέτη των χαρακτηριστικών αυτών των περιοχών σε σύγκριση με τις μεγάλες αστικές περιοχές στην ΕΕ και στις χώρες της Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελευθέρων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ)(European Commission, 2020).

Η ταξινόμηση Urban Atlas Land Use / Land Cover βασίζεται στο προϊόν CORINE Land Cover, την φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων (Pléiades, KOMPSAT, Planet, SPOT6, SuperView, κ.λπ. - με ανάλυση 2 ή 4 μέτρα) και την χρήση βοηθητικών δεδομένων (Google Earth, OpenStreet Map). Συνολικά, αποτελείται από 27 κλάσεις που κατανομούνται σε 5 θεματικές τάξεις:

1. Τεχνητές επιφάνειες
2. Γεωργικές εκτάσεις
3. Φυσικές και (ημι)φυσικές εκτάσεις
4. Υγρότοποι

³⁷ <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/net-land-take-in-cities>

³⁸ <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas>



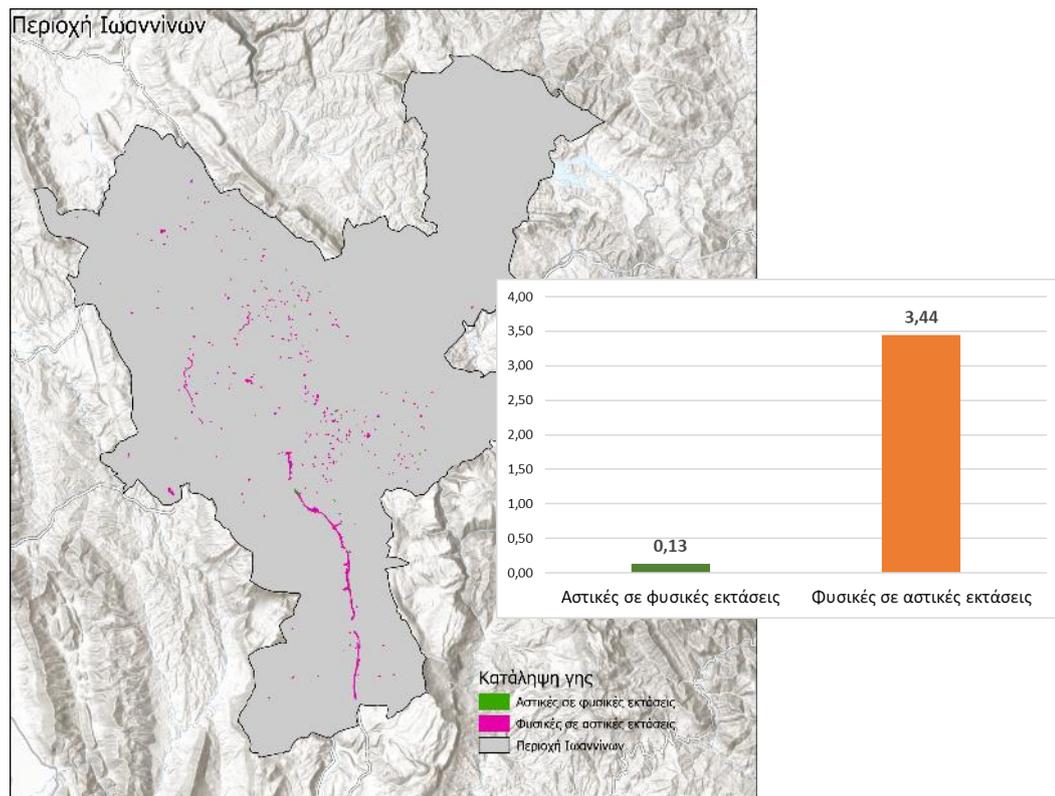
5. Νερό

Το ελάχιστο πλάτος χαρτογράφησης είναι 0,25 εκτάρια σε αστικές περιοχές (τάξη 1), 1 εκτάριο στις τάξεις 2-5 και 10 m μεταξύ των αντικειμένων.

Η κατάληψη γης υπολογίζεται με το συνδυασμό των δεδομένων Urban Atlas Land CoverLand Use 2012 και 2018 (UA2012 και UA2018), ομαδοποιώντας τις αλλαγές από γεωργικές, δασικές και ημιφυσικές/φυσικές εκτάσεις, υγροτόπους ή ύδατα σε αστικές περιοχές.

Η καθαρή κατάληψη γης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την "αντίστροφη διαδικασία κατάληψης γης", δηλαδή όταν αστικές περιοχές (θεματική τάξη 1) μετατρέπονται σε ημιφυσικές εκτάσεις (θεματικές τάξεις 2-5). Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, όταν η κάλυψη γης αλλάζει από περιοχή εξόρυξης ορυκτών σε δάσος. Συνεπώς, η καθαρή κατάληψη γης είναι το αποτέλεσμα της κατάληψης γης μείον την αντίστροφη κατάληψη γης, εκφρασμένη σε έκταση km².

Η Εικόνα 84 παρουσιάζει την κατάληψη γης με βάση τα προϊόντα UA2012 και UA2018, για την περιοχή Ιωαννίνων. Ο δείκτης καθαρής κατάληψης γης για την περιοχή Ιωαννίνων υπολογίζεται σε 3,31km².



Εικόνα 84 Κατάληψη γης με βάση τα προϊόντα Urban Atlas Land CoverLand Use 2012 και 2018, για την περιοχή Ιωαννίνων.



1.2.23 Πράσινη κάλυψη ορεινών περιοχών

1.2.23.1 Περιγραφή

Τα ορεινά οικοσυστήματα αποτελούν απαραίτητο στοιχείο για την παγκόσμια βιοποικιλότητα αλλά και για την κοινωνική ευημερία, ωστόσο στις μέρες μας υφίστανται ραγδαίες αλλοιώσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής και της ανθρώπινης επιρροής. Ο δείκτης πράσινης κάλυψης ορεινών περιοχών (Mountain Green Cover Index - MGCI), μετρά το ποσοστό πράσινης βλάστησης στις ορεινές περιοχές, με στόχο την αξιολόγηση και την παρακολούθηση της υγείας και της διατήρησης των ορεινών οικοσυστημάτων. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του ποσοστού πράσινης βλάστησης σε όλες τις ορεινές περιοχές (δάση, λιβάδια, καλλιεργήσιμες εκτάσεις και υγρότοποι). Υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο (United Nations, 2021):

$$MGCI = \frac{\text{mountain green cover area}}{\text{total mountain area}} \times 100$$

Τα δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης είναι καθοριστικής σημασίας για τη χαρτογράφηση του MGCI, ωστόσο, η χαρτογράφηση του πρασίνου σε ορεινές περιοχές παραμένει πρόκληση λόγω περιορισμένων δειγμάτων σε δύσβατες και δυσπρόσιτες περιοχές, απώλεια δεδομένων από τη νεφοκάλυψη και διαφορές στους φαινολογικούς κύκλους της βλάστησης στα διαφορετικά υψόμετρα.

1.2.23.2 Μοντέλο χαρτογράφησης πράσινης κάλυψης ορεινών περιοχών

Στα πλαίσια της δράσης και για την παραγωγή προϊόντος πράσινης κάλυψης ορεινών περιοχών εκπαιδεύτηκε ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης FG-UNET με δεδομένα ασθενούς εποπτείας από το γεωχωρικό προϊόν Copernicus CORINE Land Cover (CLC) για το 2018. Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel-2 L2A του 2018, για τις οποίες δημιουργήθηκαν 2 συνθετικές εικόνες διάμεσων τιμών για τις εποχές άνοιξη και καλοκαίρι. Για να ελαχιστοποιηθεί η δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία της χειροκίνητης δειγματοληψίας, χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από το ανοικτά του 2018, με αυτοματοποιημένο τρόπο.

Οι κατηγορίες κάλυψης γης που επιλέχτηκαν για την χαρτογράφηση πράσινης κάλυψης ήταν με βάση τις κατηγορίες κάλυψης γης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), αφού έγινε η αντιστοίχισή τους με τις κατηγορίες του προϊόντος CLC, και αφήνοντας εκτός ανάλυσης τις κατηγορίες μεικτής κάλυψης του CLC:

- I. Δάση
- II. Θαμνώδης εκτάσεις και λιβάδια
- III. Καλλιεργημένες εκτάσεις
- IV. Υγρότοποι

Στην Εικόνα 85 φαίνεται το αποτέλεσμα χαρτογράφησης πράσινης κάλυψης για το Εθνικό Πάρκο Πίνδου. Η συνολική πράσινη κάλυψη σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγορίες υπολογίστηκε σε 99% ενώ η άλλη κάλυψη σε 1%.



Εικόνα 85 Χάρτης πράσινης κάλυψης για το Εθνικό Πάρκο Πίνδου.



1.3 Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση των προσωρινών δεικτών σχετικά με την καταλληλότητα τους για την ενσωμάτωση τους στο σύστημα του EL-BIOS, συντάχθηκε ο Πίνακας 8 και εξετάστηκαν τα παρακάτω κριτήρια:

- Η κατηγορία ή η περιοχή εστίασης του προσωρινού δείκτη (κατάσταση, πίεση, απόκριση/υποστήριξη)
- Εάν ο δείκτης αποτελεί έτοιμο προϊόν
- Η μονάδα μέτρησης του δείκτη/ παραγόμενου προϊόντος
- Η μορφή των αρχικών δεδομένων του παραγόμενου προϊόντος
- Η απλή ή η σύνθετη απαίτηση επεξεργασία των αρχικών δεδομένων
- Η χωρική ανάλυση του παραγόμενου προϊόντος
- Η χρονική ανάλυση του παραγόμενου προϊόντος
- Η ύπαρξη μεταδεδομένων
- Η απλή η σύνθετη ερμηνεία του παραγόμενου προϊόντος
- Η χρονική διαθεσιμότητα των αρχικών δεδομένων του παραγόμενου προϊόντος
- Η δυνατή συχνότητα ενημέρωσης του παραγόμενου προϊόντος
- Εάν έχει πραγματοποιηθεί ή απαιτείται έλεγχος ακρίβειας (NAI/OXI)
- Ο πάροχος του τελικού προϊόντος
- Συνάφεια του προσωρινού δείκτη με με εθνικές, ευρωπαϊκές και διεθνείς πολιτικές (policy relevance)

Πίνακας 8 Αξιολόγηση των προσωρινών δεικτών

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Παρουσία υδάτων	Παρουσία επιφανειακών υδάτων	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	30	μηνας	ΝΑΙ	Απλή	1984-2021	
	Κατάσταση νερού και υγρασίας	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	10	3 έτη	ΝΑΙ	Απλή	2015-2018	3 έτη
	Παραποτάμιες ζώνες	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	vector	Απλή	10	6 έτη	ΝΑΙ	Απλή	2012 & 2018	
	Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (NDWI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες		Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης
	Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος δείκτης νερού (MNDWI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	Αυτοματοποιημένος δείκτης νερού (AWEI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	Δείκτης βερού Sentinel-2	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
Οικολογική κατάσταση επιφανειακών υδάτων	Δείκτης θολότητα; (NDTI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς χλωροφύλλης (NDCI)I	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες


LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Διαλυτός οργανικός άνθρακας (dissolved organic carbon)	Κατάσταση	ΌΧΙ	mg/l	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες	
Χλωροφύλλη-α	Κατάσταση	ΌΧΙ	$[(\text{mg m})^{-3}]$	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες	
Χρώμα νερού	Κατάσταση	ΌΧΙ	mg.Pt/l	raster	Απλή	11	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες	
Αντίκτυπος της ξηρασίας	Δείκτης ανωμαλίας εδαφικής υγρασίας (GDO -SMA)	Κατάσταση & Πίεση	ΝΑΙ	μονάδες τυπικής απόκλισης	raster	Απλή	5000	10 ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	1995-2020	10 ημέρες
Κατάσταση βλάστησης	Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Sentinel 2 Δείκτης κατάστασης νερού	Κατάσταση	ΌΧΙ	%	raster	Απλή	10	4 μήνες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες	
Albedo	Albedo Sentinel 2	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	PROSAIL -Albedo	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
Περιεκτικότητα νερού βλάστησης	Περιεκτικότητα σε νερό της κόμης (CWC)	Κατάσταση	ΌΧΙ	g/m ²	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	Ισοδύναμο πάχος νερού (EWT)	Κατάσταση	ΌΧΙ	g/cm ²	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	Δείκτης αναλογίας νερού (-WRI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Παγκόσμιος δείκτης υγρασίας βλάστησης (GVMI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες	
Κανονικοποιημένος δείκτης υγρασίας (NDMI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες	
Δείκτης πίεσης υγρασίας (MSI)	Κατάσταση & Πίεση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες	
Περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη	Τριγωνικός δείκτης βλάστησης Sentinel-2 (STVI)	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	Δείκτης χλωροφύλλης εδάφους (OTCI)	Κατάσταση	ΝΑΙ	1	raster	Σύνθετη	300	1 ημέρα	ΝΑΙ	Σύνθετη	2017-	1 ημέρα
	SNAP-Cab	Κατάσταση	ΝΑΙ	μg/cm ²	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	PROSAIL -CHL	Κατάσταση	ΝΑΙ	μg/cm ²	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Καθαρή πρωτογενής παραγωγή	NDVI-I	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	1έτος	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	1έτος
Εποχικότητα των ροών άνθρακα	IARR-NDVI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	1έτος	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	1έτος
Φαινολογία της βλάστησης	Dom-NDVI	Κατάσταση	ΌΧΙ	Julian days	raster	Σύνθετη	11	1έτος	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	1έτος
Φαινολογία Φυτών (PPI)	Copernicus-PPI	Κατάσταση	ΝΑΙ	1 (m ² / m ²)	raster	Απλή	10	1 ημερα	ΝΑΙ	Σύνθετη	2016	ημερησίως
	Φασματικός PPI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1 (m ² / m ²)	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	LAIgreen	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες		Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης
	SLA	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	PROSAIL -LAI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	SNAP- LAI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	HRL- LAI	Κατάσταση	ΝΑΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	2016-	5-10 ημέρες
	Έτοιμα δεδομένα LAI	Κατάσταση	ΝΑΙ	1	raster	Απλή	300	10ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	2014	10ημέρες
	LAI Sentinel 2	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
Κλάσμα απορροφούμενης	HRL- FAPAR	Κατάσταση	ΝΑΙ	1	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	2016-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Φωτοσυνθετική ενεργού ακτινοβολίας (FAPAR)												
	SNAP- FAPAR	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	PROSAIL -FAPAR	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	5-10 ημέρες
	GIFAPAR	Κατάσταση	ΝΑΙ	1	raster	Απλή	300	10 ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	2014-	10 ημέρες
Πυκνότητα κάλυψης δένδρων (TCD)	HRL-TCD	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	10	5-10 ημέρες	ΝΑΙ	Σύνθετη	2016-	5-10 ημέρες
	Global 2010 Tree Cover	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	30		ΝΑΙ	Απλή	2010	
	Model TCD	Κατάσταση	ΌΧΙ	%	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Κλασματική φυτοκάλυψη (FCOVER)	Copernicus FCOVER	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	300	10 ημέρες	ΝΑΙ	Απλή	2014-	10 ημέρες
	SNAP- FCOVER	Κατάσταση	ΌΧΙ	%	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	PROSAIL -FCOVER	Κατάσταση	ΌΧΙ	%	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
	Sentinel 2 FCOVER	Κατάσταση	ΌΧΙ	%	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Απλή	2017-	5-10 ημέρες
Παραγωγικότητα υπέργειας βλάστησης	EEA Trends	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	500	1 έτος	ΝΑΙ	Απλή	2000-2016	6 έτη
	Ξυλώδες απόθεμα (RF model)	Κατάσταση	ΌΧΙ	m ³ /ha	raster	Σύνθετη	10	Πολυήμερη	ΌΧΙ	Απλή	2024	Πολυήμερη
άλφα ποικιλότητα	SHDI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	6 έτη



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
	BiodivMapR Shannon Diversity	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	10	5-10 ημέρες	ΌΧΙ	Σύνθετη	2017-	7 έτη
Κάλυψη/χρήση γης	CORINE Land Cover	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	vector	Απλή	25ha	6 έτη	ΝΑΙ	Απλή	1990-	6 έτη
	ESA WorldCover	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	10	1 έτος	ΝΑΙ	Απλή	2020	1 έτος
	ESRI land cover	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	10	1 έτος	ΝΑΙ	Απλή	2017-2021	1 έτος
	MAES	Κατάσταση	ΌΧΙ	Περιγραφή	vector	Απλή	25ha	6 έτη	ΌΧΙ	Απλή	1990-	6 έτη
	MAES LIFE_IP 4 NATURA	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	20		ΝΑΙ	Απλή	2022	



LIFE EL-BIOS

Δείκτες		Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης
	EUNIS	Κατάσταση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	100		ΝΑΙ	Απλή	2012	
	Τύποι οικοσυστημάτων (RF model)	Κατάσταση	ΌΧΙ	Περιγραφή	raster	Σύνθετη	10		ΌΧΙ	Απλή	2024	
Αλλαγή χρήσεων/καλυψης γης	Αλλαγές CLC	Κατάσταση & Πίεση	ΝΑΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	5ha	6 έτη	ΝΑΙ	Απλή	2000-	6 έτη
	Μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων MAES	Κατάσταση & Πίεση	ΌΧΙ	Περιγραφή	vector	Σύνθετη	5ha	7 έτη	ΌΧΙ	Απλή	2024	7 έτη
Διαπερατότητα και αδιπερατότητας	HRL-IMD	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	10	3 έτη	ΝΑΙ	Απλή	2006 - 2018	3 έτη
	HRL-IMC	Κατάσταση	ΝΑΙ	%	raster	Απλή	20	3 έτη	ΝΑΙ	Απλή	2012- 2015	3 έτη
	Οικιστικά συστήματα	Κατάσταση	ΌΧΙ	Περιγραφή	raster	Απλή	10	3 έτη	ΌΧΙ	Απλή	2006 & 2018	3 έτη



LIFE EL-BIOS

Δείκτες	Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης	
Κατεκρηματισμός τοπίου	meff	Κατάσταση & Πίεση	ΝΑΙ	km ²	raster	Απλή	100		ΝΑΙ	Σύνθετη	2011-2016	
	seff	Κατάσταση & Πίεση	ΝΑΙ	meff /1000 km ²	raster	Απλή	100		ΝΑΙ	Σύνθετη	2016-2018	
	seff model	Κατάσταση & Πίεση	ΌΧΙ	meff /1000 km ²	raster	Σύνθετη	100		ΌΧΙ	Σύνθετη	2012-	
Δομή τοπίου	SHDI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	100	6 έτη	ΌΧΙ	Σύνθετη	1990-	6 έτη
	SIDI	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	100	6 έτη	ΌΧΙ	Σύνθετη	1990-	6 έτη
	MESH	Κατάσταση	ΌΧΙ	ha	raster	Σύνθετη	100	6 έτη	ΌΧΙ	Σύνθετη	1990-	6 έτη



LIFE EL-BIOS

Δείκτες		Κατηγορία	Έτοιμο προϊόν	Μονάδα μέτρησης	Μορφή δεδομένων	Επεξεργασία	Χωρική ανάλυση (μ)	Χρονική ανάλυση	Μεταδεδομένα	Ερμηνεία	Διαθεσιμότητα δεδομένων	Συχνότητα ενημέρωσης
Δυναμικοί Δείκτες Ενδιαμιμάτων	DHI_cum	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	500	Πολυήμερη	ΌΧΙ	Σύνθετη	2000-2023	Πολυήμερη
	DHI_min	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	500	Πολυήμερη	ΌΧΙ	Σύνθετη	2000-2023	Πολυήμερη
	DHI_var	Κατάσταση	ΌΧΙ	1	raster	Σύνθετη	500	Πολυήμερη	ΌΧΙ	Σύνθετη	2000-2023	Πολυήμερη
	DHIs	Κατάσταση	ΌΧΙ	Περιγραφή	raster	Σύνθετη	500	Πολυήμερη	ΌΧΙ	Σύνθετη	2000-2023	Πολυήμερη
Δείκτης κατάληψης γης	Καθαρή κατάληψη γης	Πίεση	ΌΧΙ	km ²	vector	Σύνθετη		6 έτη	ΌΧΙ	Απλή	2012 & 2018	6 έτη
Πράσινη κάλυψη ορεινών περιοχών	Πράσινη κάλυψη από μοντέλο βαθιάς μάθησης	Κατάσταση	ΟΧΙ	Ποσοστό	raster	Σύνθετη	20	1 έτος	ΟΧΙ	Απλή	2015-	



2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΓΗΣ (ΔΒΠΓ)

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στην υποδράση Β.3.2 και αφορά την κατάρτιση της θεωρητικής βάσης των αλγορίθμων (Algorithm Theoretical Baseline Document -ATBD) για την κατασκευή των δεικτών όπως έχουν προγραμματιστεί στη βιβλιοθήκη επεξεργασίας EL BIOS. Δίνει τον ορισμό του δείκτη, αναλύει τη μεθοδολογία, και τα στάδια επεξεργασίας δεδομένων, καθώς παρουσιάζει τα διαγράμματα ροής των εργασιών.

Με βάση τον κατάλογο των δεικτών βιοποικιλότητας που διαμορφώθηκαν στην υποδράση Β3.1, την αξιολόγηση τους (1.3) και των ευρημάτων της δράσης «Α3.2 Τελική προσέγγιση δομής και θεματικής οργάνωσης, περιπτώσεων χρήσης και δεικτών βιοποικιλότητας του Πληροφοριακού Συστήματος EL-BIOS», επιλέχθηκαν 10 ΔΒΠΓ για την κατασκευή τους και τη διάθεση στους χρήστες του EL-BIOS.

1. Καθαρή πρωτογενή παραγωγή (annual NDVI integral NDVI-I)
2. Εποχικότητα των ροών άνθρακα (Intra-relative range IARR-NDVI)
3. Φαινολογία βλάστησης (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI)
4. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας Leaf Area Index-LAI
5. Κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FCover)
6. Φαινολογία βλάστησης (plant phenology index PPI)
7. Καθαρή κατάληψη γης (Net land take in cities and commuting zones)
8. Αδιαπερατότητα και αλλαγές στην αδιαπερατότητα εδαφών (Imperviousness and imperviousness change)
9. Δομή τοπίου(Landscape fragmentation)
10. Μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων

2.1.1 Καθαρή πρωτογενής παραγωγή - Ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI

2.1.1.1 Ορισμός

Το ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI (annual NDVI integral NDVI-I) ορίζεται ως το άθροισμα των θετικών τιμών NDVI σε μια δεδομένη περίοδος και ως λειτουργικός δείκτης προκύπτει από την ετήσια καμπύλη NDVI (Alcaraz et al., 2006).

Ο NDVI-I είναι ένας γραμμικός εκτιμητής της fAPAR (Sellers et al., 1996) και συνεπώς της ετήσιας καθαρής πρωτογενής παραγωγής (annual net primary production – ANPP) (Goward et al., 1985; Paruelo et al., 1997; Pettorelli et al., 2005) καθώς και τη συνολική κατάσταση ανάπτυξης της βλάστησης (Ma et al., 2011).

2.1.1.2 Ροή εργασιών

Για την παραγωγή του δείκτη NDVI-I χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 86). Κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων, σκιών και υδάτων με τη βοήθεια του επιπέδου SLC (Single Look Complex), υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση την εξίσωση

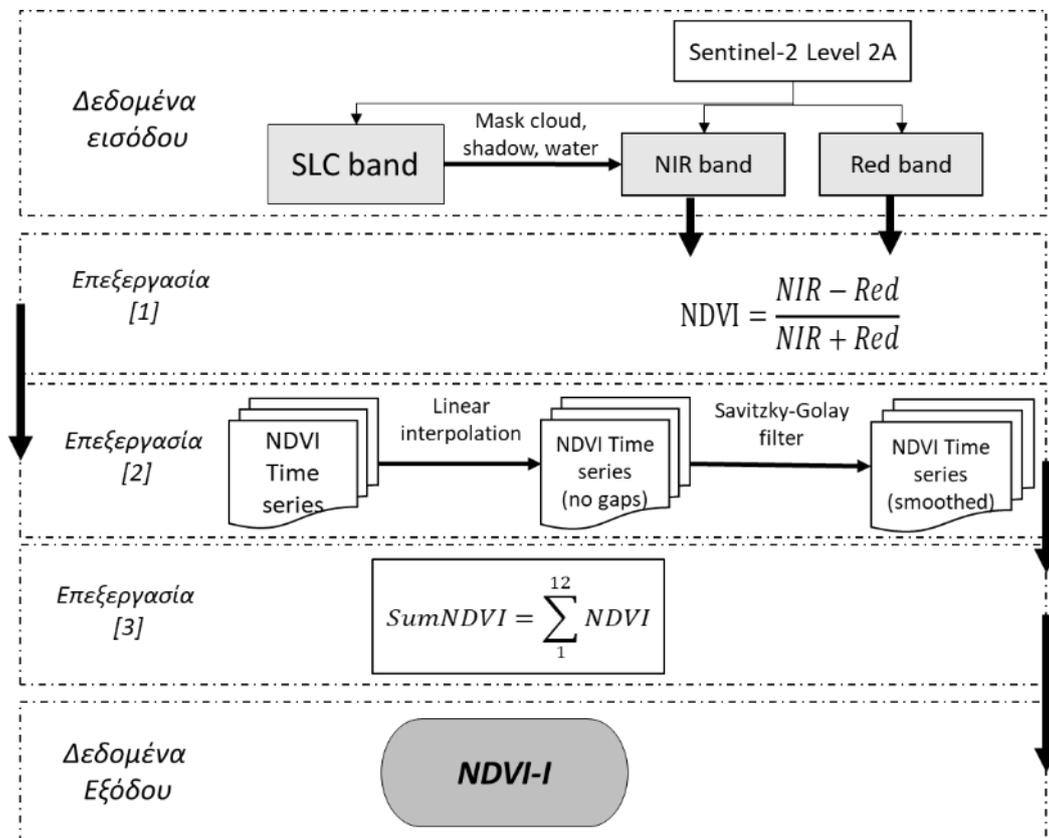
$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$



Στη συνέχεια, δημιουργείται μια χρονοσειρά εικόνων NDVI, εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) για τη συμπλήρωση των κενών τιμών και ακολουθεί η εξομάλυνση της χρονοσειράς με το φίλτρο Savitzky-Golay. Τέλος υπολογίζεται το ετήσιο σχετικό άθροισμα.

$$NDVI - I = \sum_1^{12} NDVI$$

Το τελικό αποτέλεσμα είναι εικόνες NDVI-I για κάθε έτος. Γενικά, οι υψηλότερες τιμές του NDVI-I υποδηλώνουν πιο ισχυρή κάλυψη και παραγωγικότητα της βλάστησης, η οποία μπορεί να παρέχει ενδιαίτηματα και πόρους για διάφορα είδη, ενισχύοντας ενδεχομένως τη βιοποικιλότητα. Οι περιοχές με υψηλότερες τιμές NDVI-I μπορεί να υποστηρίζουν μεγαλύτερη ποικιλία φυτικών ειδών, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να υποστηρίξουν ποικίλους ζωικούς πληθυσμούς.



Εικόνα 86 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας Sum NDVI

2.1.2 Εποχικότητα των ροών άνθρακα -Ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI

2.1.2.1 Ορισμός

Το ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI), ορίζεται ως η τιμή του μέγιστου NDVI μείον την τιμή του ελάχιστου NDVI, διαιρούμενο με το NDVI-I (Alcaraz et al., 2006). Ο IARR-NDVI παρέχει μια περιγραφή της ενδοετήσιας διακύμανσης της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και έχει χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό των κυριότερων τύπων βλάστησης (Alcaraz-Segura et al., 2009), τον προσδιορισμό λειτουργικών τύπων οικοσυστημάτων (Alcaraz et al., 2006) και ως δείκτης της εποχικότητας των ροών άνθρακα (Guerschman et al., 2003)(Cabello et al., 2012).



2.1.2.2 Διάγραμμα ροής

Για την παραγωγή του δείκτη IARR-NDVI χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 87). Κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων, σκιών και υδάτων με τη βοήθεια του επιπέδου SLC, υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση την εξίσωση

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

Στη συνέχεια, δημιουργείται μια χρονοσειρά εικόνων NDVI, εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) για τη συμπλήρωση των κενών τιμών και ακολουθεί η εξομάλυνση της χρονοσειράς με το φίλτρο Savitzky-Golay. Τέλος υπολογίζεται

α) η ενδοετήσια διακύμανση τιμών του δείκτη NDVI

$$NDVI_{max} - NDVI_{min}$$

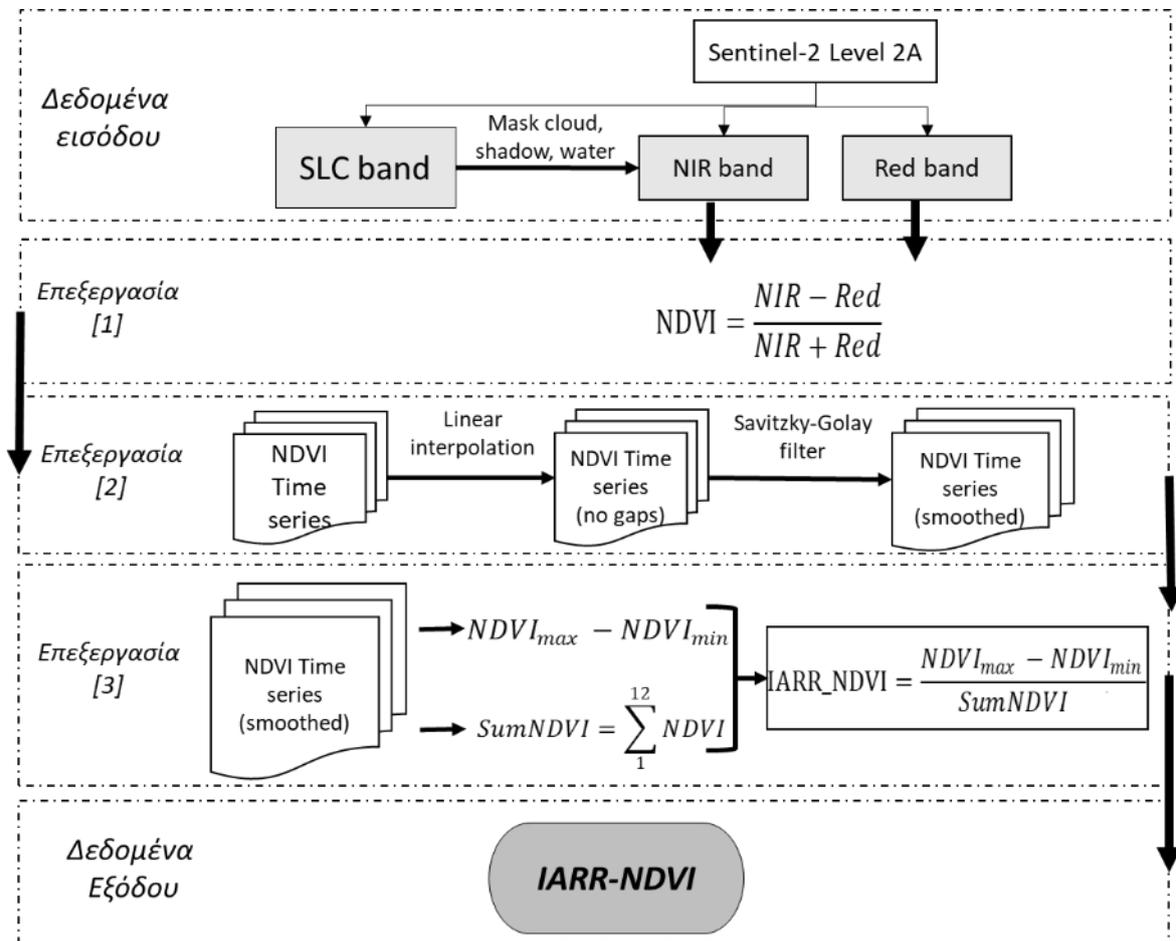
και β) το ετήσιο σχετικό άθροισμα τιμών του δείκτη NDVI

$$NDVI - I = \sum_{1}^{12} NDVI$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το σχετικό εύρος τιμών, μέσω της εξίσωσης

$$IARR_NDVI = \frac{NDVI_{max} - NDVI_{min}}{NDVI - I}$$

Το τελικό αποτέλεσμα είναι εικόνες IARR-NDVI για κάθε έτος. Γενικά, οι υψηλότερες τιμές του IARR-NDVI υποδηλώνουν πιο ισχυρή διακύμανση ροών άνθρακα, δηλαδή αλλαγές στη δυναμική της βλάστησης, τη φαινολογία και τα μοτίβα του κύκλου του άνθρακα, οι οποίες μπορεί να έχουν επιπτώσεις στη λειτουργία και τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος.



Εικόνα 87 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας IARR- NDVI

2.1.3 Φαινολογία της βλάστησης - Ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI

2.1.3.1 Ορισμός

Η ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI) ορίζεται ως η ημερομηνία κατά την οποία εμφανίζεται η μέγιστη τιμή NDVI εντός ενός έτους (Alcaraz et al., 2006), δηλαδή η χρονική στιγμή της μέγιστης διαθεσιμότητας της βλάστησης (Pettorelli et al., 2005).

2.1.3.2 Ροή εργασιών

Για την παραγωγή του δείκτη Dom-NDVI χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 88). Κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων, σκιών και υδάτων με τη βοήθεια του επιπέδου SLC, υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση την εξίσωση:

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

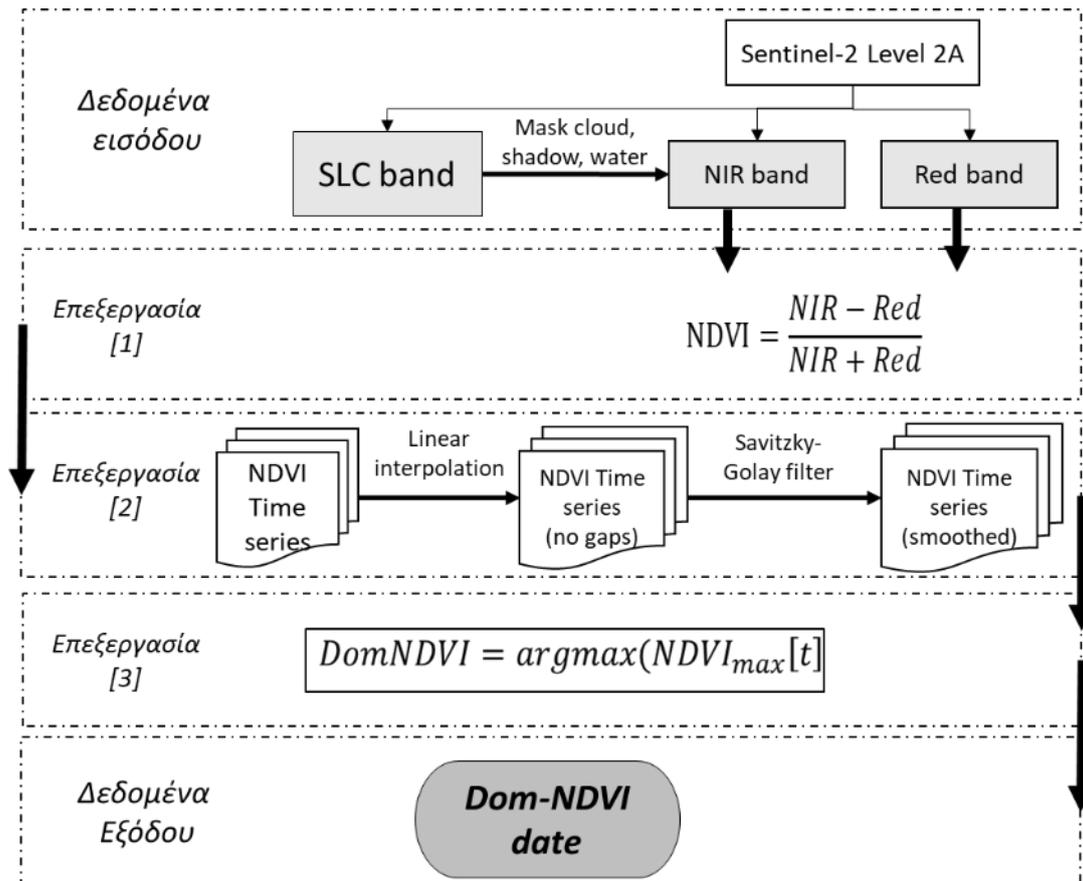
Στη συνέχεια, δημιουργείται μια χρονοσειρά εικόνων NDVI, εφαρμόζεται συμπλήρωση των κενών τιμών με χρήση γραμμικής παρεμβολής (linear interpolation) και ακολουθεί εξομάλυνση της



χρονοσειράς με το φίλτρο Savitzky-Golay. Τέλος, μέσω της συνάρτησης $argmax(f(x))$ βρίσκεται η χρονική στιγμή της μέγιστης τιμής του NDVI στο χρονικό εύρος ενός έτους

$$DomNDVI = argmax(NDVI_{max}[t])$$

Το τελικό αποτέλεσμα είναι εικόνες IARR-NDVI για κάθε έτος με εύρος τιμών 0-365 (Julian dates)



Εικόνα 88 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας Dom-NDVI

2.1.4 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

2.1.4.1 Ορισμός

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index -LAI), ορίζεται ως η ποσότητα της φυλλικής επιφάνειας (m^2) ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους (m^2) (Asner et al., 2003).

Ο δείκτης LAI είναι ένας βασικός περιγραφικός δείκτης της κατάστασης της βλάστησης (Asner et al., 2003) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης και των λειτουργιών των χερσαίων οικοσυστημάτων (Dash and Ogutu, 2016), την αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας της βλάστησης (Brede et al., 2020) και της βιοποικιλότητας, τη μοντελοποίηση και την ποσοτικοποίηση του ρόλου της φυτοκάλυψης επιφάνειας, όπως η πρωτογενής παραγωγικότητα και η ροή άνθρακα (Meyer et al., 2019).



2.1.4.2 Ροή εργασιών

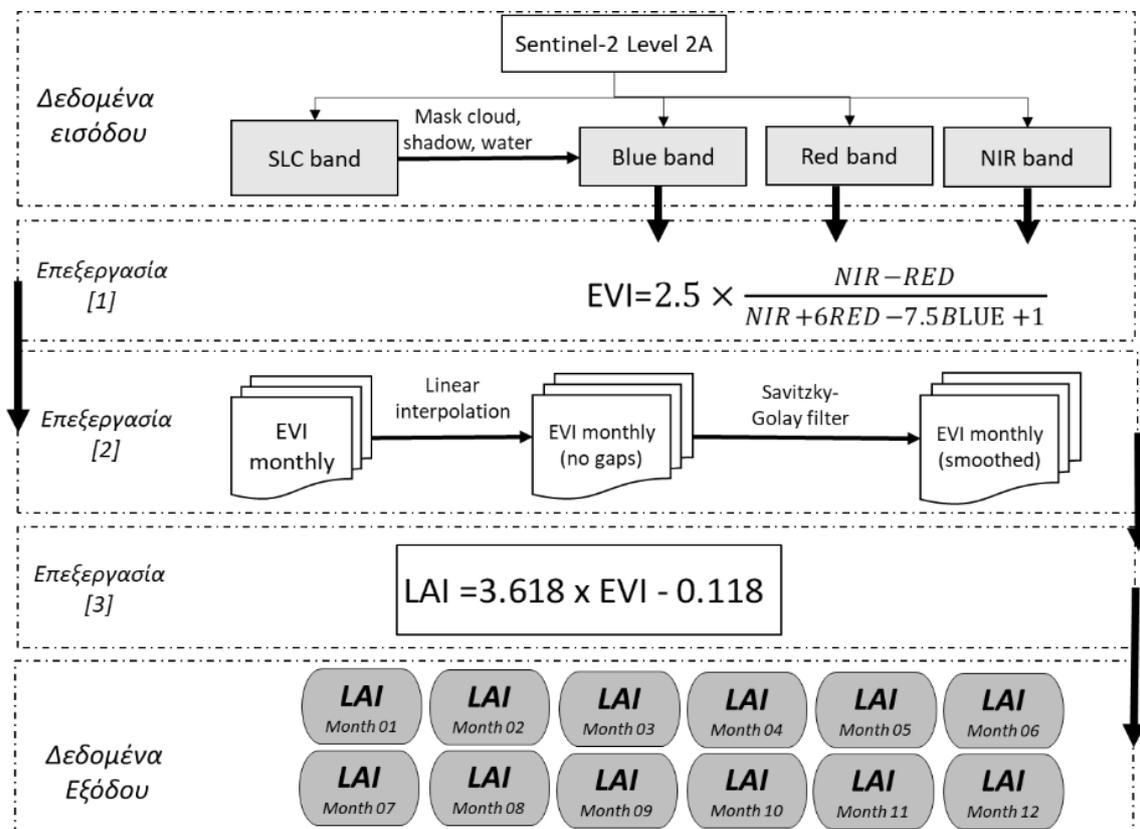
Για την παραγωγή του δείκτη LAI χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 89). Κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων, σκιών και υδάτων με τη βοήθεια του επιπέδου SLC, υπολογίζεται ο δείκτης EVI με βάση την εξίσωση

$$\text{Όπου } EVI = 2.5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1}$$

Στη συνέχεια δημιουργείται μια χρονοσειρά εικόνων EVI, εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) για τη συμπλήρωση των κενών τιμών και ακολουθεί η εξομάλυνση της χρονοσειράς με το φίλτρο Savitzky-Golay. Τέλος υπολογίζεται ο δείκτης LAI με την εμπειρική εξίσωση όπως αναπτύχθηκε από τον (Boegh et al., 2002)

$$LAI = 3.618 \times EVI - 0.118$$

Το τελικό αποτέλεσμα είναι μηνιαίες συνθέσεις εικόνων LAI. Γενικά, οι τιμές LAI κυμαίνονται από 0 (γυμνό έδαφος) έως πάνω από 10 (πυκνά δάση κωνοφόρων). Υψηλές τιμές του δείκτη υποδεικνύουν ότι μεγάλο μέρος της περιοχής καλύπτεται από φυτική βλάστηση, προσφέροντας πιθανώς καλή ποιότητα οικοσυστημάτων και ενδείξεις υγιούς φυσικού περιβάλλοντος. Αντίθετα, χαμηλές τιμές του δείκτη υποδεικνύουν μειωμένη παρουσία φυτικής βλάστησης, πιθανόν λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, αποψίλωσης του δάσους, ή κλιματικών παραμέτρων όπως η ξηρασία και η έλλειψη νερού.



Εικόνα 89 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index -LAI)



2.1.5 Κλασματική φυτοκάλυψη

2.1.5.1 Ορισμός

Η κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FVC) ορίζεται ως το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από την κατακόρυφη προβολή της κόμης της βλάστησης. Η μεταβλητή FCover είναι μια βασική βιοφυσική μεταβλητή και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις μελέτες για τον κύκλο του άνθρακα, τη γεωργία, τη δασοκομία, την παρακολούθηση της υγείας της φυτικής βλάστησης, την αξιολόγηση της βιοποικιλότητας και την κατανόηση της δυναμικής των οικοσυστημάτων (Gutman and Ignatov, 1998) (Zeng et al., 2000)

2.1.5.2 Ροή εργασιών

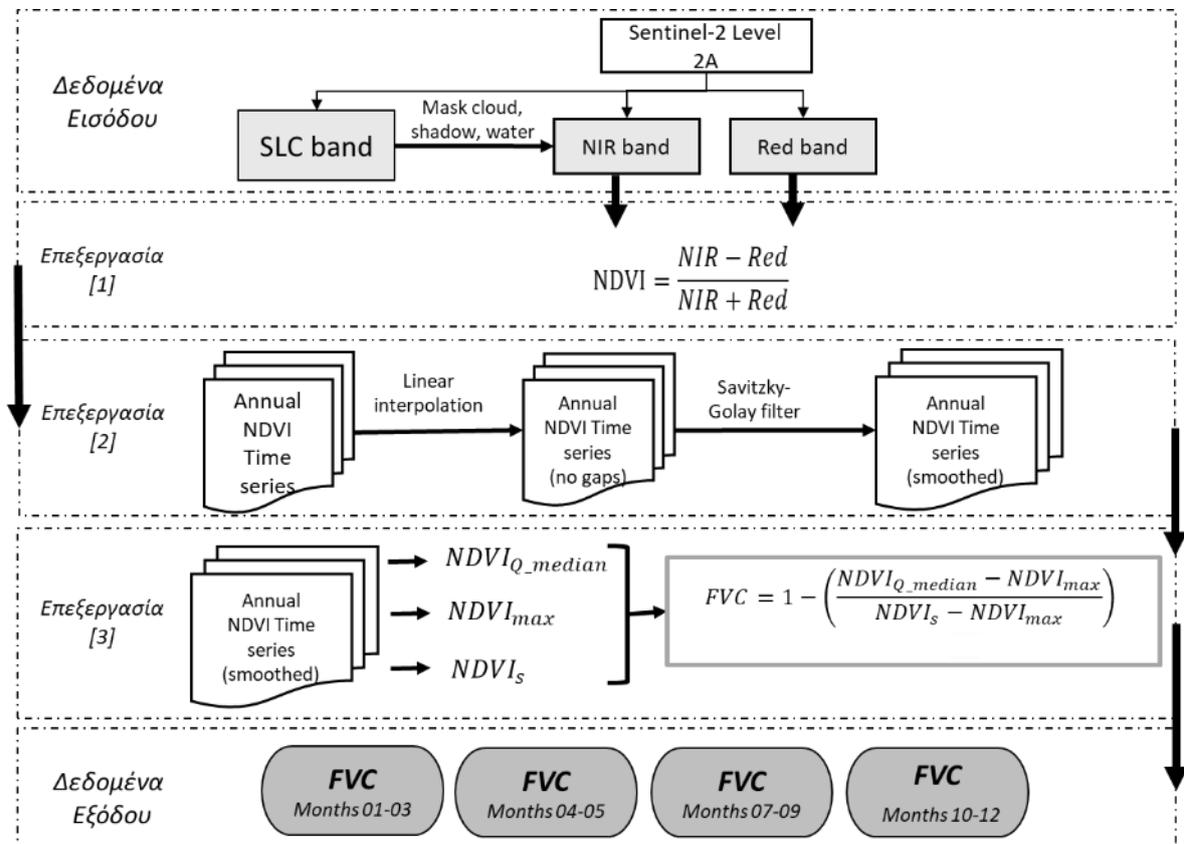
Για την παραγωγή του δείκτη κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FVC) χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 90). Κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και αφού εφαρμοστεί μάσκα σύννεφων, σκιών και υδάτων με τη βοήθεια του επιπέδου SLC, υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση την εξίσωση

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

Στη συνέχεια, δημιουργούνται τέσσερις εποχιακές χρονοσειρές εικόνων NDVI (1. Ιανουάριος έως Μάρτιος, 2. Απρίλιος ως Ιούνιος, 3. Ιούλιος ως Σεπτέμβριος, 4. Οκτώβριος ως Δεκέμβριος). Εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) για τη συμπλήρωση των κενών τιμών και ακολουθεί η εξομάλυνση των χρονοσειρών με το φίλτρο Savitzky-Golay. Για κάθε χρονοσειρά παράγονται τρεις εικόνες με τιμές pixel $NDVI_{max}$, $NDVI_s$, $NDVI_{median}$, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης FVC με βάση την εξίσωση

$$FVC = 1 - \left(\frac{NDVI_{median} - NDVI_{max}}{NDVI_s - NDVI_{max}} \right)$$



Εικόνα 90 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας κλασματική φυτοκάλυψη (Fractional Vegetation Cover -FVC)

2.1.6 Φαινολογία φυτών

2.1.6.1 Ορισμός

Ο δείκτης φαινολογίας φυτών (plant phenology index PPI) είναι ένας δείκτης βασισμένος στο φασματικό δείκτη DVI, που χρησιμοποιεί το κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος. Είναι περίπου γραμμικός προς τον πράσινο LAI, παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με την ακαθάριστη πρωτογενή παραγωγικότητα, διαχωρίζει τη φαινολογία των φυτών από την εποχικότητα του χιονιού (Jin et al., 2017)(Jin et al., 2019) και έχει την ίδια μονάδα μέτρησης με τον LAI ($m^2 \cdot m^{-2}$). Παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με την ακαθάριστη πρωτογενή παραγωγικότητα (Gross Primary Productivity GPP).

2.1.6.2 Ροή εργασιών

Ο υπολογισμός του δείκτη PPI βασίζεται στην εξίσωση

$$PPI = -K \times \ln \left(\frac{DVI_{max} - DVI}{DVI_{max} - DVI_s} \right)$$

χρησιμοποιούνται ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Sentinel 2 Level 2A (Εικόνα 91). Αρχικά, κάθε δορυφορική εικόνα επεξεργάζεται ξεχωριστά και υπολογίζεται ο δείκτης DVI με βάση την εξίσωση

$$DVI = NIR - RED$$



DVI_{soil} είναι το εδαφικό DVI

Το **MDVI** είναι το μέγιστο DVI, το οποίο αντιπροσωπεύει «άπειρα» στρώματα φύλλων για ένα εικονοστοιχείο.

Ο **παράγοντας K** είναι ένας παράγοντας κέρδους που δίνεται από τη σχέση

$$K = \frac{1}{4Q_E} \times \frac{1 + MDVI}{1 - MDVI}$$

Οι τιμές ενός δείκτη φαινολογίας φυτών αντιπροσωπεύουν συνήθως το στάδιο ή την κατάσταση της ανάπτυξης των φυτών, η οποία μπορεί να είναι χρήσιμη για την κατανόηση των προτύπων ανάπτυξης των φυτών, την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

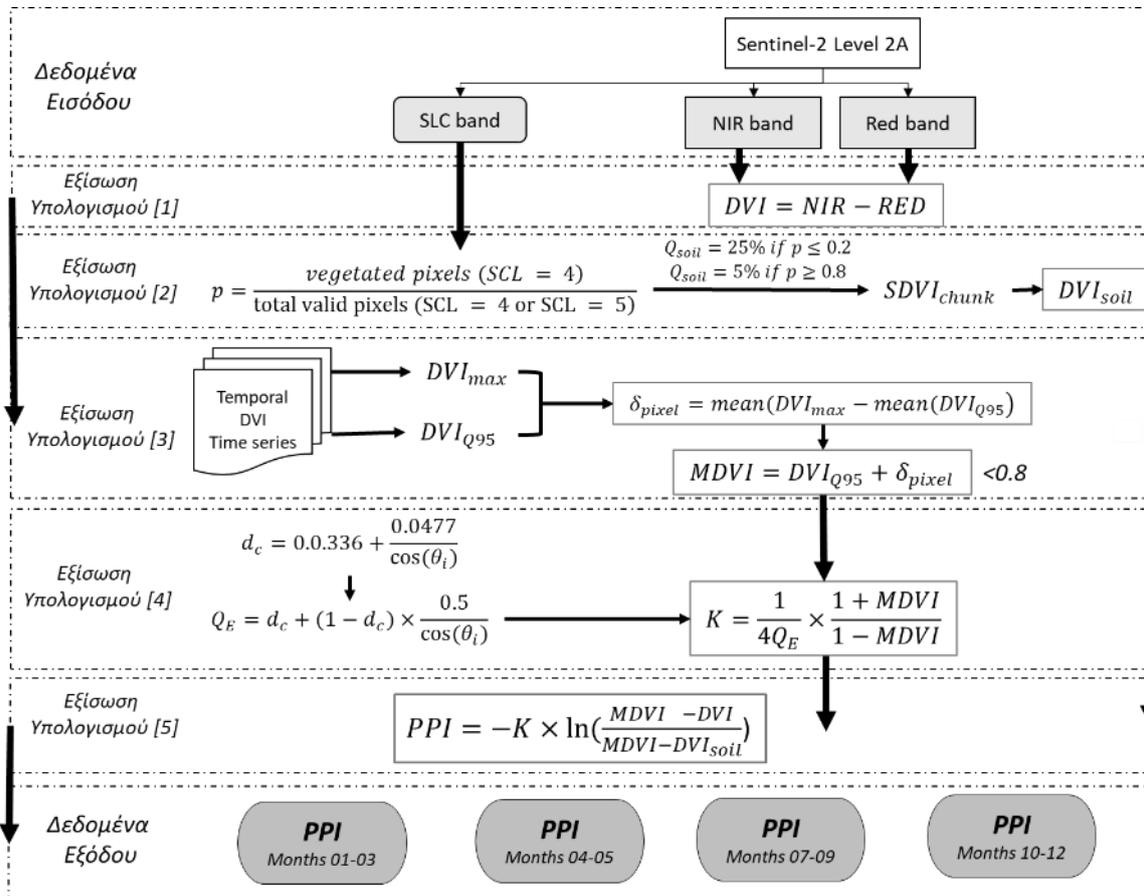
Πρώιμη ανάπτυξη: Χαμηλότερες τιμές μπορεί να υποδηλώνουν πρώιμα στάδια ανάπτυξης των φυτών, όπως η έκπτυξη των οφθαλμών ή η εμφάνιση των φύλλων. Αυτό θα μπορούσε να σηματοδοτήσει την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου.

Κορυφαία ανάπτυξη: Υψηλότερες τιμές μπορεί να υποδηλώνουν την αιχμή της ανάπτυξης ή την περίοδο κατά την οποία τα φυτά φωτοσυνθέτουν ενεργά και παράγουν φύλλωμα, άνθη ή καρπούς.

Γήρανση: Οι μειούμενες τιμές μπορεί να υποδηλώνουν την έναρξη της γήρανσης, όπου τα φυτά αρχίζουν να ωριμάζουν, τα φύλλα αλλάζουν χρώμα και οι καρποί ωριμάζουν.

Ξηρασία: Πολύ χαμηλές τιμές μπορεί να υποδηλώνουν λήθαργο, όπου τα φυτά δεν αναπτύσσονται ενεργά λόγω δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως χαμηλές θερμοκρασίες ή ξηρασία.

Περιβαλλοντικό στρες: Ξαφνικές ή ασυνήθιστες διακυμάνσεις στις τιμές του δείκτη μπορεί να σηματοδοτούν περιβαλλοντικό στρες, όπως ξηρασία, καύσωνες ή προσβολές από παράσιτα που επηρεάζουν την υγεία των φυτών.



Εικόνα 91 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη βιοποικιλότητας φαινολογίας φυτών (Plant Phenology Index - PPI)

2.1.7 Καθαρή κατάληψη γης

2.1.7.1 Ορισμός

Ο δείκτης κατάληψης γης αφορά τη μεταβολή των εκτάσεων γεωργικής, δασικής και άλλης ημιφυσικής γης που λαμβάνονται για αστική και άλλη τεχνητή ανάπτυξη. Η κατάληψη γης περιλαμβάνει περιοχές που σφραγίζονται από κατασκευές και αστικές υποδομές, καθώς και τις αστικές περιοχές πρασίνου και τις εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής. Η καθαρή κατάληψη γης υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την "αντίστροφη διαδικασία κατάληψης γης", δηλαδή όταν αστικές περιοχές μετατρέπονται σε ημιφυσικές εκτάσεις.

2.1.7.2 Ροή εργασιών

Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται στα έτοιμα προϊόντα Urban Atlas Land Cover/Land Use 2012 (UA-LULC-2012) και 2018 (UA-LULC-2018) και την επεξεργασία τους με εργαλεία χωρικής ανάλυσης ΓΣΠ. Ο Πίνακας 9 Κατηγορίες χρήσης κάλυψης γης παρουσιάζει τις κατηγορίες χρήση/κάλυψης γης (LULC) των UA-LULC όπως ομαδοποιούνται για την διάκριση τους σε φυσικές και αστικές εκτάσεις.

Με την επίθεση (overlay) των δύο συνόλων δεδομένων (UA-LULC) προκύπτουν πληροφορίες για τις αλλαγές στην χρήση/κάλυψης γης (LULC) μεταξύ των δύο ετών (t) (2012-2018). Οι αλλαγές που



παρατηρούνται ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες με βάση την κατηγορία κάλυψης σου σε κάθε έτος.

Κατηγορία 1: Φυσικές σε αστικές: όταν παρατηρείτε μετατροπή LULC από υποκατηγορία των φυσικών σε υποκατηγορία των αστικών εκτάσεων

Κατηγορία 2: Αστικές σε φυσικές: όταν παρατηρείτε μετατροπή LULC από υποκατηγορία των αστικών σε υποκατηγορία των φυσικών εκτάσεων

Κατηγορία 3: Καμία αλλαγή: όταν οι αλλαγές παρατηρούνται εντός των αστικών εκτάσεων (αστικές σε αστικές ή φυσικές σε φυσικές)

Στη συνέχεια, η Κατηγορία 3: Καμία αλλαγή εξαιρείται της περαιτέρω ανάλυσης και υπολογίζεται το συνολικό εμβαδό (κμ²) των κατηγοριών «Αστικές σε φυσικές» και «Φυσικές σε αστικές». Τέλος, ο δείκτης Καθαρής κατάληψης γης υπολογίζεται με τη διαφορά εμβαδών των δύο κατηγοριών.

$$[\text{Καθαρής κατάληψης γης}] = [A1] - [A2]$$

Όπου:

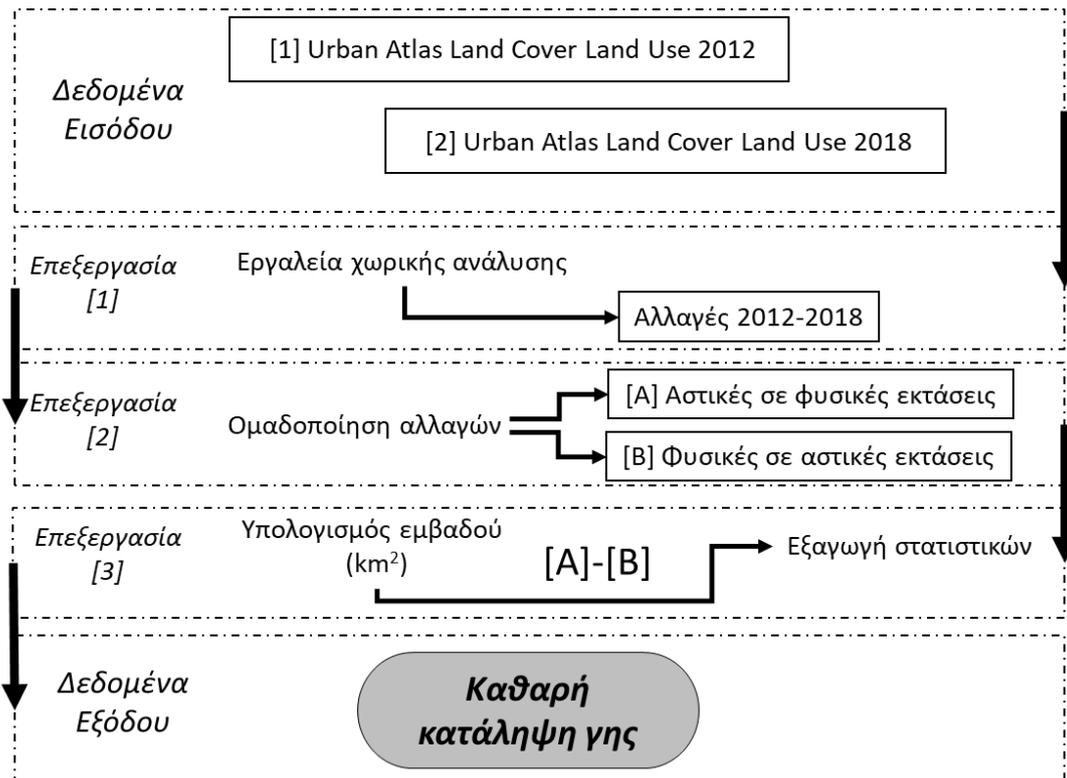
- A1 το εμβαδό (κμ²) των εκτάσεων που από Φυσικές στο έτος t1 (2012) μετατράπηκαν σε αστικές στο έτος t2 (2018)
- A2 το εμβαδό (κμ²) των εκτάσεων που από Αστικές στο έτος t1 (2012) μετατράπηκαν σε φυσικές στο έτος t2 (2018)

Πίνακας 9 Κατηγορίες χρήσης κάλυψης γης Urban Atlas

Αστικές εκτάσεις	Φυσικές εκτάσεις
11100 Συνεχής αστικός ιστός (S.L. > 80%)	21000 Αροτραίες εκτάσεις (ετήσιες καλλιέργειες)
11210 Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός (S.L. : 50% - 80%)	22000 Μόνιμες καλλιέργειες (αμπελώνες, σπυροφόρα δέντρα, ελαιώνες)
11220 Ασυνεχής αστικός ιστός μεσαίας πυκνότητας (S.L. : 30% - 50%)	23000 Βοσκότοποι
11230 Αστικός ιστός χαμηλής πυκνότητας (Σ.Δ.: 10% - 30%)	24000 Σύνθετα και μικτά πρότυπα καλλιέργειας
11240 Αστικός ιστός πολύ χαμηλής πυκνότητας (S.L. < 10%)	25000 Οπωρώνες στις παρυφές των αστικών τάξεων
11300 Απομονωμένες δομές	31000 Δάση
12100 Βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες	32000 Ενώσεις ποώδους βλάστησης (φυσικά λιβάδια, έλη...)
12210 Δρόμοι ταχείας διέλευσης και συναφείς εκτάσεις	33000 Ανοιχτοί χώροι με ελάχιστη ή καθόλου βλάστηση (παραλίες, αμμόλοφοι, γυμνοί βράχοι, παγετώνες)
12220 Άλλοι δρόμοι και συναφείς εκτάσεις	40000 Υγρότοποι
12230 Σιδηροδρομικές γραμμές και συναφείς εκτάσεις	50000 Υδάτινα σώματα
12300 Λιμενικές περιοχές	
12400 Αεροδρόμια	
13100 Χώροι εξόρυξης και απόρριψης ορυκτών	



13300 Εργοτάξια	
13400 Γη χωρίς τρέχουσα χρήση	
14100 Πράσινες αστικές περιοχές	
14200 Αθλητικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις αναψυχής	



Εικόνα 92 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Καθαρή κατάληψη γης (Net land take in cities and commuting zones)

2.1.8 Αδιαπερατότητα και αλλαγές στην αδιαπερατότητα

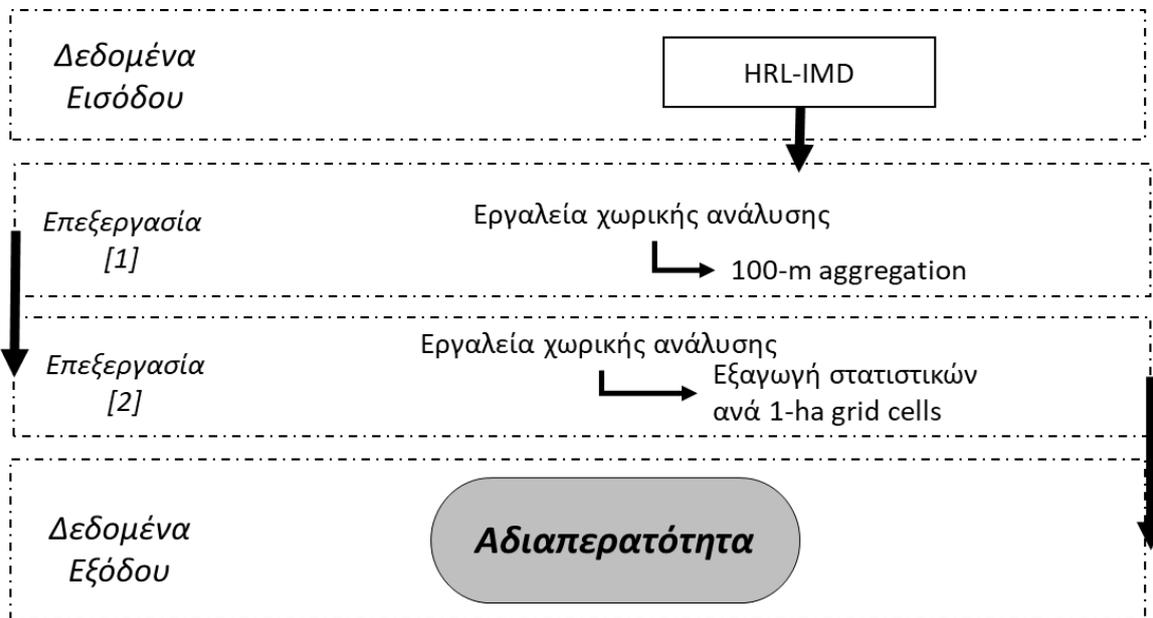
2.1.8.1 Ορισμός

Ο δείκτης αδιαπερατότητας αποτυπώνει τη χωρική κατανομή των τεχνητά σφραγισμένων περιοχών, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου σφράγισης του εδάφους ανά μονάδα έκτασης.

Ο δείκτης αλλαγών αδιαπερατότητας εδαφών ορίζεται ως η μέση ετήσια μεταβολή της αδιαπέρατης έκτασης μεταξύ δύο ετών αναφοράς.

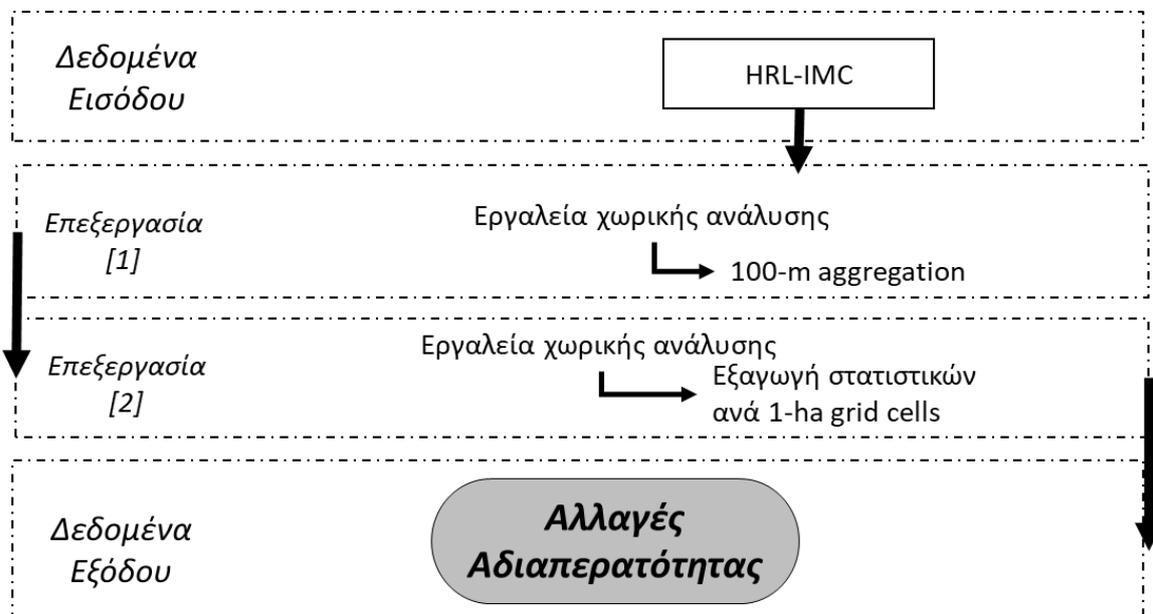
2.1.8.2 Ροή εργασιών

Ο υπολογισμός του δείκτη αδιαπερατότητας βασίζεται στα έτοιμα προϊόντα υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness Density (HRL-IMD) της υπηρεσίας Copernicus σε ανάλυση 10μ για τον Ελληνικό χώρο. Μέσω τεχνικών συνάθροισης (aggregation) παράγεται προϊόν χωρικής ανάλυσης 100μ από το οποίο εξαγονται στατιστικά στοιχεία αδιαπερατότητας ανά 1ha (Εικόνα 93).



Εικόνα 93 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αδιαπερατότητας (Imperviousness)

Ο υπολογισμός του δείκτη αλλαγών αδιαπερατότητας βασίζεται στα έτοιμα προϊόντα υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness Change (HRL-IMC) της υπηρεσίας Copernicus σε ανάλυση 20μ για τον Ελληνικό χώρο. Μέσω τεχνικών συνάθροισης (aggregation) παράγεται προϊόν χωρικής ανάλυσης 100μ από το οποίο μπορούν να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία αλλαγών αδιαπερατότητας ανά 1ha (Εικόνα 94).



Εικόνα 94 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αλλαγών αδιαπερατότητας (Imperviousness change)



2.1.9 Κατακερματισμός Τοπίου

2.1.9.1 Ορισμός

Η πυκνότητα αποτελεσματικού πλέγματος (Effective Mesh Density -seff)³⁹ είναι ένα μέτρο του κατακερματισμού του τοπίου, δηλαδή του βαθμού στον οποίο η μετακίνηση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του τοπίου διακόπτεται από γεωμετρικές κατακερματισμού (Fragmentation Geometry FGs). Έτσι, όσο περισσότερες FG κατακερματίζουν το τοπίο, τόσο υψηλότερη είναι η seff, άρα τόσο υψηλότερος είναι ο κατακερματισμός.

2.1.9.2 Ροή εργασιών

Για την κατασκευή του δείκτη κατακερματισμού τοπίου εφαρμόστηκε η μεθοδολογία υπολογισμού της αποτελεσματικής πυκνότητας πλέγματος (Effective Mesh Density -seff) του (Jaeger, 2000) με τη χρήση του προϊόντος Copernicus High Resolution Layer – HRL-IMD και της βάσης δεδομένων Open Street Map (OSM), σε περιβάλλον GIS.

Από τα δεδομένα OSM επιλέχτηκαν συγκεκριμένες κατηγορίες δρόμων και εφαρμόστηκαν αντίστοιχα ζώνες επιρροής (Wandl, 2017) όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 10, ενώ ως περιοχές δόμησης θεωρήθηκαν περιοχές όπου Imperviousness degree (IMD)>30%.

Πίνακας 10 Στοιχεία κατακερματισμού

Κατηγορίες Δρόμων		Ζώνη επιρροής
Αυτοκινητόδρομοι/ σύνδεσμοι	Motorways/motorways links	Buffer 25m
Οδοί ταχείας κυκλοφορίας/ Σύνδεσμοι	Trunk; Trunk Link	Buffer 25m
Εθνικές Οδοί - Σύνδεσμοι	Primary; Primary Link	Buffer 12m
Επαρχιακές οδοί - Σύνδεσμοι	Secondary; Secondary Link	Buffer 12m
Σύνδεση χωριών	Tertiary; Tertiary Link	Buffer 5m
Σιδηρόδρομοι	Railroads	Buffer 5m

Τα βήματα υπολογισμού ήταν τα εξής:

- [1] επιλογή των περιοχών χωρίς δόμηση από το επίπεδο αδιαπέραστης δόμησης HRL Imperviousness degree (IMD)>30%.
- [2] επιλογή των διαδρομών μεταφοράς που σχετίζονται με τη γεωμετρία κατακερματισμού
- [3] διαγραφή των σηράγγων από τις διαδρομές μεταφοράς
- [4] δημιουργία ζωνών επιρροής (Buffer)(Πίνακας 10)
- [5] διαγραφή των περιοχών δόμησης και των buffer οδών μεταφοράς από το "τοπίο"
- [6] υπολογισμός των τιμών meff για κάθε μονάδα αναφοράς (1km²)

³⁹ <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/9d0b51f9-047d-4af1-89eb-3756e46ffc53>



$$m_{eff} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i^2$$

όπου n αντιπροσωπεύει το πλήθος των patches, τα A_1 και A_n αντιπροσωπεύουν τα μεγέθη του κάθε patch από το 1^ο έως το $n^ο$ patch, αντίστοιχα, και το A_t αντιπροσωπεύει τη συνολική έκταση του τοπίου. Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ΕΕΑ 1km² grid cells.

[7] υπολογισμός των τιμών seff για κάθε μονάδα αναφοράς (1km²)

$$S_{eff} = \frac{1}{m_{eff}}$$

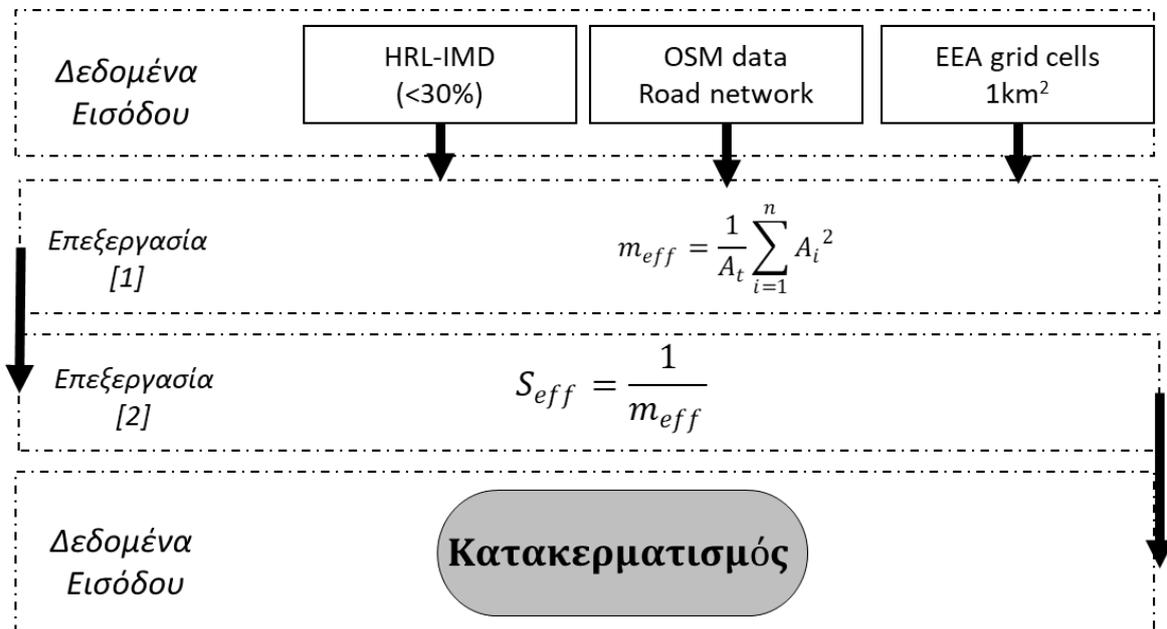
Η τιμή seff δηλώνει το πλήθος meff ανά 1000 km². Όσο υψηλότερη είναι η τιμή seff, τόσο υψηλότερος είναι ο κατακερματισμός.

Για την αξιολόγηση κατακερματισμού, οι τιμές seff ομαδοποιήθηκαν σε πέντε κατηγορίες κατακερματισμού (πολύ χαμηλός, χαμηλός, μέτριος, υψηλός και πολύ υψηλός) με τα ακόλουθα βήματα:

- (1) επιλογή του 95% του εύρους τιμών seff (αγνοώντας το ανώτερο και το κατώτερο 5ο εκατοστημόριο),
- (2) εκτέλεση της ταξινόμησης με γεωμετρικό διάστημα (Geometric Interval)
- (3) στρογγυλοποίηση των τιμών κατωφλίου για απλές συγκρίσεις και ανίχνευση αλλαγών.

Τα όρια για τις κατηγορίες κατακερματισμού περιγράφονται παρακάτω:

- Τιμή seff: 0-1,5 – Κατηγορία: Πολύ χαμηλός (Very low)
- Τιμή seff: 1,5-10 – Κατηγορία: Χαμηλός (Low)
- Τιμή seff 10-50 – Κατηγορία: Μέτριος (Medium)
- Τιμή seff 50-250 – Κατηγορία: Υψηλός (High)
- Τιμή seff >250 – Κατηγορία: Πολύ Υψηλός (Very High)



Εικόνα 95 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Κατακερματισμού Τοπίου (Landscape fragmentation pressure in Greece)

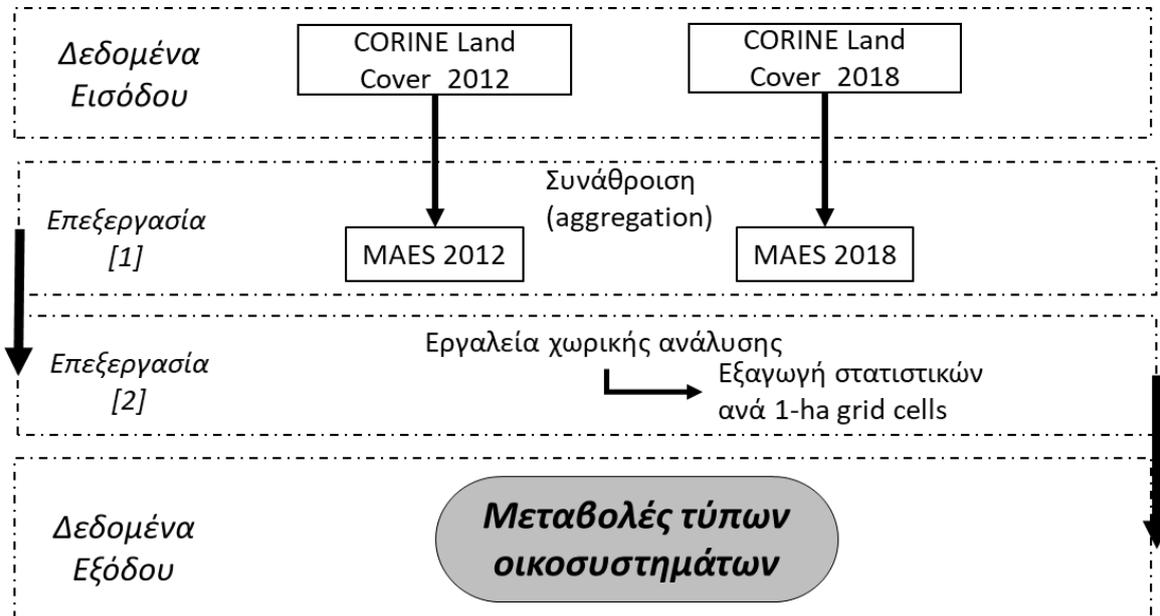
2.1.10 Μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων

2.1.10.1 Περιγραφή

Ο δείκτης μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων αφορά τις αλλαγές των τύπων οικοσυστημάτων MAES. Η παρακολούθηση των μεταβολών των τύπων οικοσυστημάτων παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη δυναμική της βιοποικιλότητας καθώς και την υγεία του οικοσυστήματος. Οι ραγδαίες και έντονες αλλαγές μπορεί να υποδηλώνουν σημαντικές απειλές για τη βιοποικιλότητα και την υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Ο δείκτης βοηθά στην αξιολόγηση των επιπτώσεων των ανθρωπινων δραστηριοτήτων στη βιοποικιλότητα και στην καθοδήγηση των προσαρμοστικών διατήρησης.

2.1.10.2 Ροή εργασιών

Η χαρτογράφηση των μεταβολών βασίζεται στα προϊόντα CORINE Land Cover για τα έτη 2012 και 2018 και την συνάθροιση των κατηγοριών κάλυψης γης CORINE ώστε να σχετίζονται με τους τύπους οικοσυστημάτων MAES (Πίνακας 5). Μέσω τεχνικών συνάθροισης (aggregation) παράγεται διανυσματικό αρχείο (shape file) από το οποίο μπορούν να εξαχθούν μετρήσεις αναλογικής και απόλυτης μεταβολής των εκτάσεων και των μετατροπών των κατηγοριών κάλυψης γης που σχετίζονται με τους τύπους οικοσυστημάτων MAES.



Εικόνα 96 Ροή εργασιών για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes)



3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ

Η υποδράση Β.3.4 περιλαμβάνει το σχεδιασμό των αλυσίδων επεξεργασίας ΕΟ, οι οποίες υλοποιούνται στο back end του EL BIOS και θα διατίθενται στους χρήστες του EL BIOS.

Οι αλυσίδες επεξεργασίας σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας τα πιο ακριβή προ-επεξεργασμένα προϊόντα Sentinel-2 Level-2A Cloud Optimized του Registry of Open Data της Amazon Web Services (AWS) S3 Bucket. Το φιλτράρισμα του συνόλου δεδομένων βασίστηκε σε ένα τυπικό εύρος νεφοκάλυψης από 0 έως 40%. Αξιοποιώντας τα δεδομένα L2A, η εικόνα SCL χρησιμοποιήθηκε για τη συγκάλυψη των υψηλών και μεσαίων πιθανοτήτων νέφωσης, των σκιών σύννεφων και των λεπτών cirrus. Τα κενά τιμών που δημιουργήθηκαν στην αρχική χρονοσειρά συμπληρώθηκαν με μεθόδους γραμμικής παραβολής (linear interpolation). Η γραμμική μέθοδος αποδείχθηκε η καταλληλότερη μεταξύ spline και κυβικής, ώστε να παρέχει μια πιο γενική λύση εθνικής κλίμακας. Για την διασφάλιση της πληρότητας και την ομοιογένεια στη σύνθετη χρονοσειρών, εφαρμόστηκαν βελτιωμένοι αλγόριθμοι εξομάλυνσης (όπως το φίλτρο εξομάλυνσης σήματος Savitzky-Golay) αφού επιβεβαιώθηκε αποτελεσματικότητά τους. Το βήμα αυτό πρόσθεσε χρόνο στους υπολογισμούς, ωστόσο διορθώθηκαν ζητήματα που σχετίζονται τελικά με την ποιότητα και την ακρίβεια των τελικών προϊόντων.

Η γενική ροή εργασιών της ξεκινά από το ερώτημα στον κύβο δεδομένων, τη φόρτωση χρονοσειρών ως rasters και την επεξεργασία χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων (Satellite Image Time Series, SITS). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι δείκτες βιοποικιλότητας και οι μεταβλητές μετρικών. Τέλος, εξάγονται εικόνες/προϊόντα σε μορφή Cloud-Optimized GeoTIFFs τα (COGs) και προσθέτονται στη βάση.

3.1.1 Καθαρή πρωτογενής παραγωγή - Ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI

Δεδομένα εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A Red, NIR, SCL
Βοηθητικά δεδομένα	OXI
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84



Αρχείο μεταδεδομένων	NAI
----------------------	-----

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων.
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογισμός κύβου NDVI.
- Μείωση του θορύβου με την εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

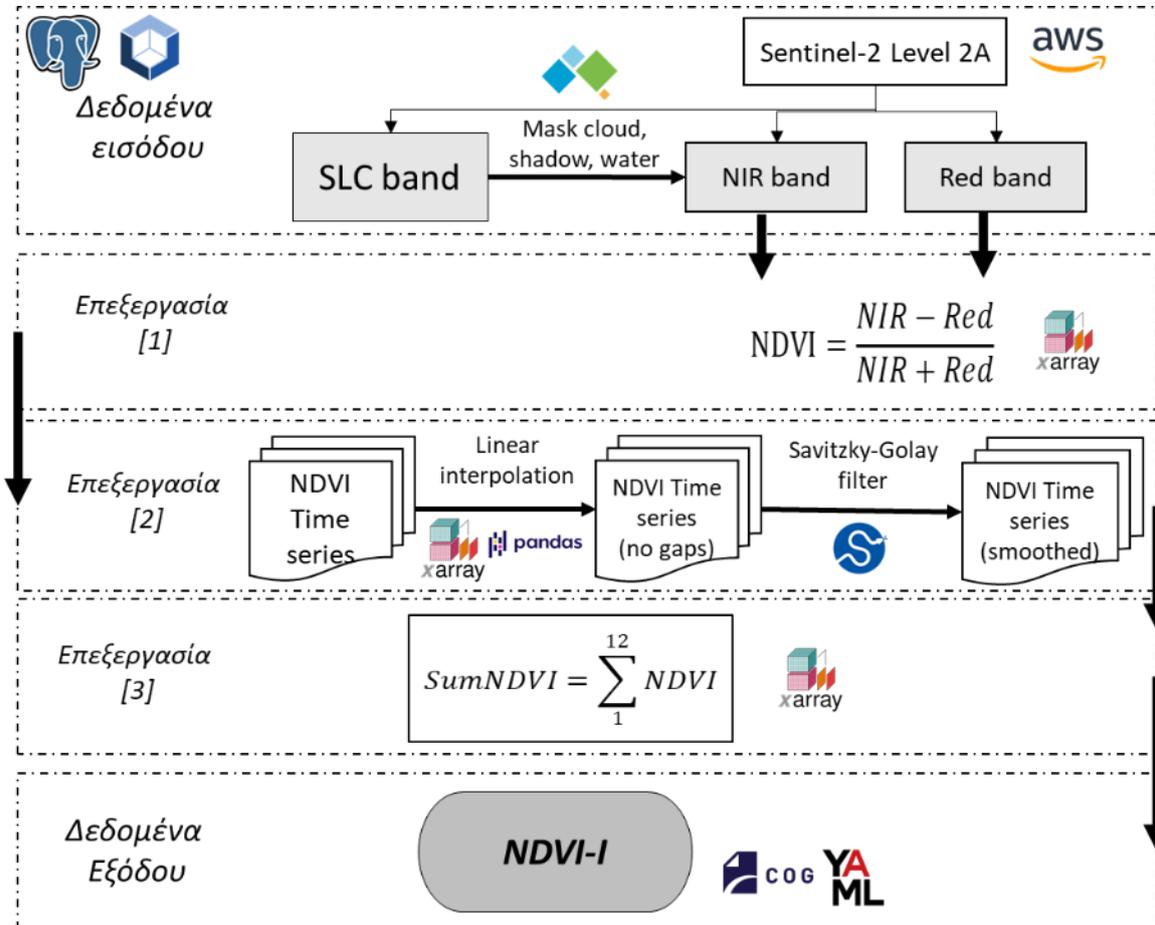
Επεξεργασία [3]

- Υπολογισμός ετήσιου αθροιστικού δείκτη SUM-NDVI με τη συνάθροιση του τελικού κύβου NDVI κατά μήκος της διάστασης του χρόνου.

Δεδομένα εξόδου

- Βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 32-bit
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 60000
Μονάδα μέτρησης	1
Χρονική συχνότητα	Ετήσια
Χωρική ανάλυση	10μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017-
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 97 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Sum NDVI, όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.2 Εποχικότητα των ροών άνθρακα -Ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI

Δεδομένα εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A Red, NIR, SCL
Βοηθητικά δεδομένα	Όχι



Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων. Χρήση εντολών της βιβλιοθήκης xarray
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογισμός κύβου NDVI.
- Μείωση του θορύβου με την εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

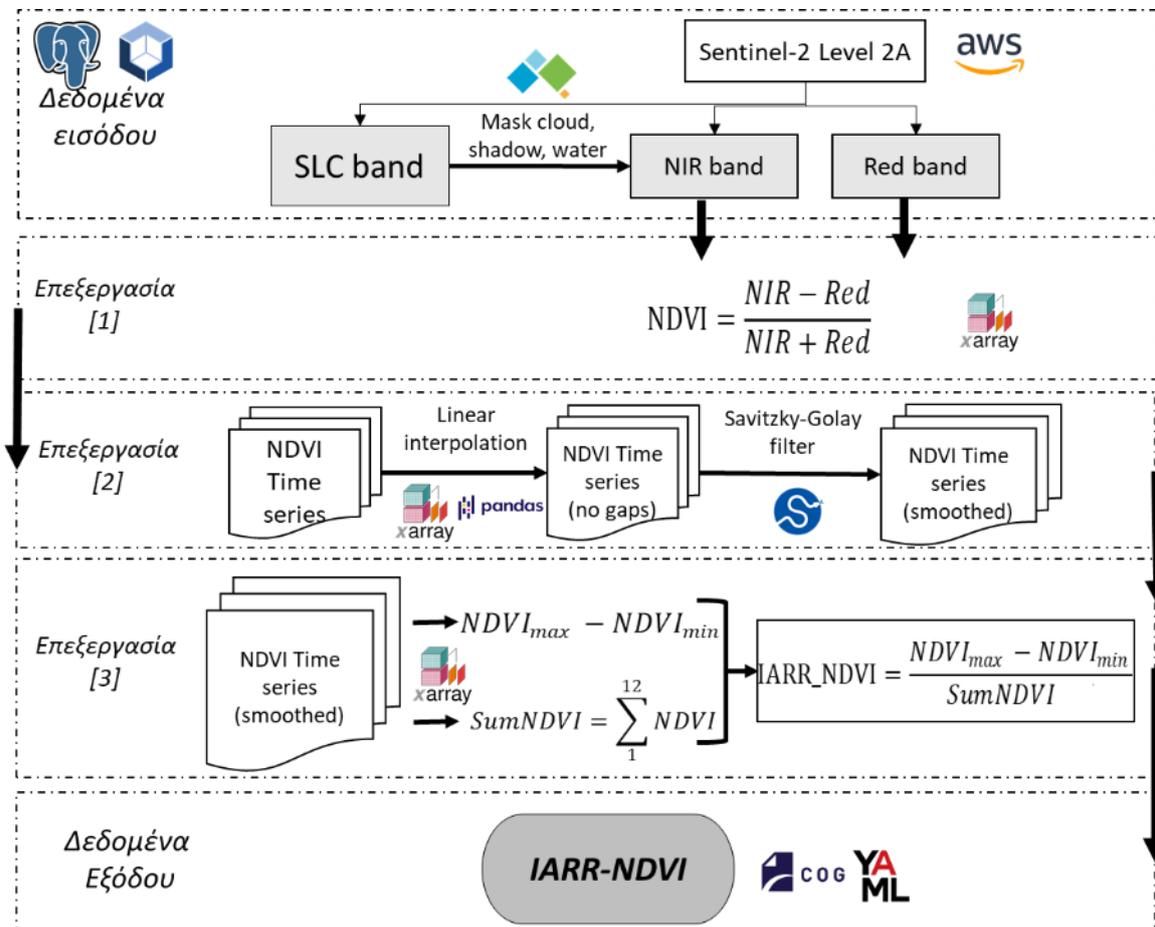
Επεξεργασία [3]

- Οι τιμές της ετήσιας μέγιστης και ετήσιας ελάχιστης τιμής NDVI προκύπτουν από τους τελεστές max και min κατά μήκος της διάστασης του χρόνου, αντίστοιχα, ενώ το ετήσιο άθροισμα NDVI από τη συνάθροιση του τελικού κύβου NDVI κατά μήκος της διάστασης του χρόνου.

Δεδομένα εξόδου

- Βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 32-bit,
- Διασφάλιση συμβατότητας με το σχήμα της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube με τη σύνταξη των μεταδεδομένων.
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 0,016
Μονάδα μέτρησης	1
Χρονική συχνότητα	Ετήσια
Χωρική ανάλυση	10μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017-
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα (WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 98 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.3 Ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI

Δεδομένα εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A Red, NIR, SCL
Βοηθητικά δεδομένα	OXI
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –



Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων.
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογισμός κύβου NDVI.
- Μείωση του θορύβου με την εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

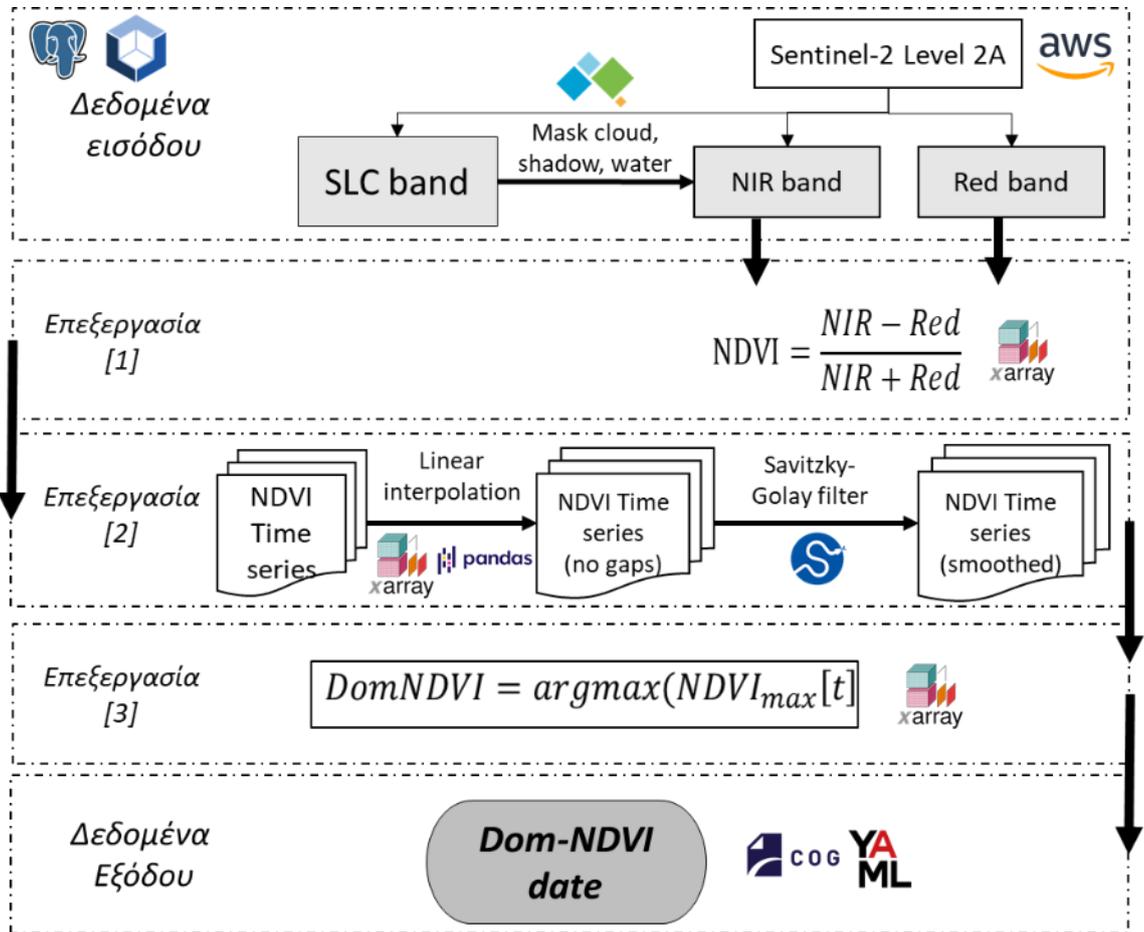
Επεξεργασία [3]

-

Δεδομένα εξόδου

- Βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 16-bit, κυμαίνεται από 0 έως 365.
- Μετατροπή σε μορφή εικόνας integer 16-bit Cloud Optimized GeoTiff.
- Διασφάλιση συμβατότητας με το σχήμα της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube με τη σύνταξη των μεταδεδομένων.
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 365
Μονάδα μέτρησης	Julian days
Χρονική συχνότητα	Ετήσια
Χωρική ανάλυση	10μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017-σήμερα
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα (WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 99 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI (Date of annual maximum NDVI Dom-NDVI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.4 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Δεδομένα εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A SCL
Βοηθητικά δεδομένα	OXI



Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων. Χρήση εντολών της βιβλιοθήκης xarray
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο. Χρήση εντολών του πακέτο dea-tools της Digital Earth Australia.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογισμός κύβου LAI.
- Μείωση του θορύβου με την εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

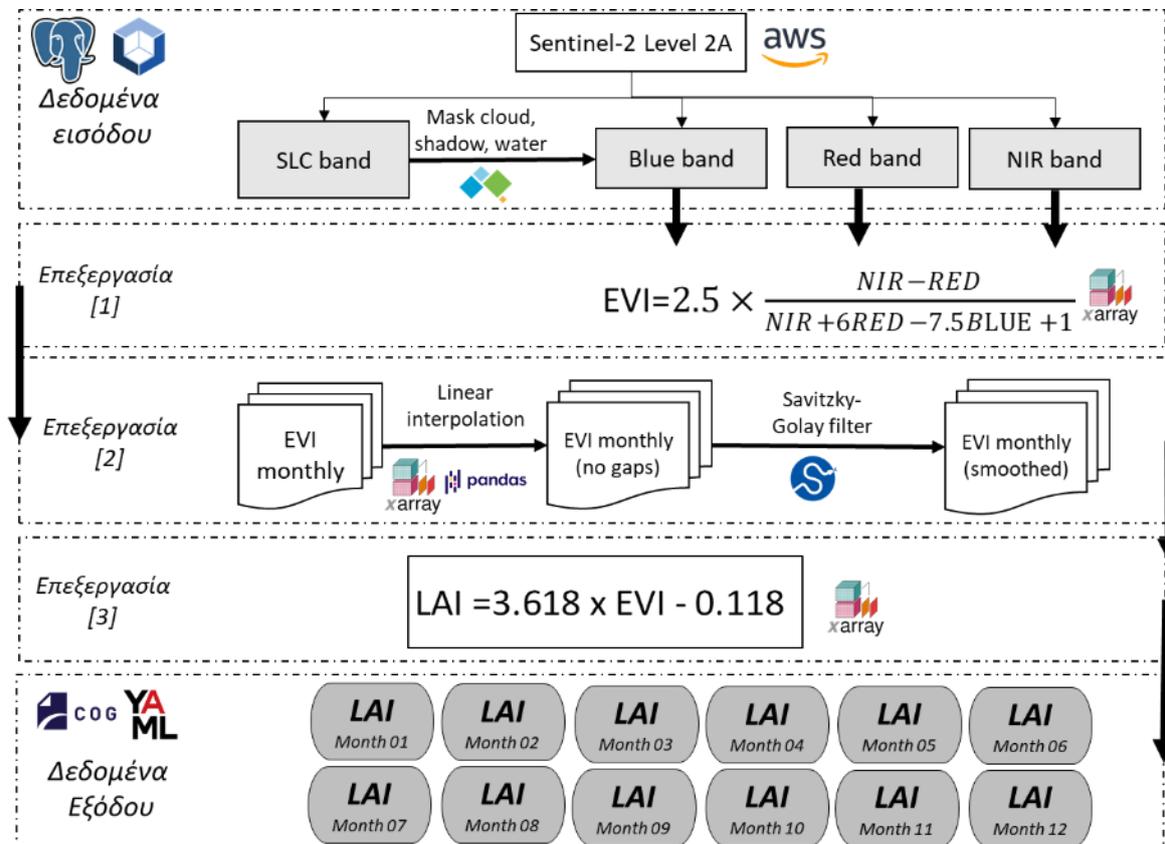
Επεξεργασία [3]

- Υπολογισμός δείκτη LAI με τη μέση τιμή του τελικού κύβου LAI κατά μήκος της διάστασης του χρόνου.

Δεδομένα εξόδου

- Βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 16-bit, κυμαίνεται από 0 έως 10000.
- Μετατροπή σε μορφή εικόνας integer 16-bit Cloud Optimized GeoTiff
- Διασφάλιση συμβατότητας με
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 10000
Μονάδα μέτρησης	1 (m ² /m ²)
Χρονική συχνότητα	Μηνιαία
Χωρική ανάλυση	10μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017-
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 100 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index -LAI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.5 Κλασματική φυτοκάλυψη

Δεδομένα Εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A
Βοηθητικά δεδομένα	Corine Land Cover 2018
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα



Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων. Χρήση εντολών της βιβλιοθήκης xarray
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο. Χρήση εντολών του πακέτο dea-tools της Digital Earth Australia.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογισμός κύβου NDVI.
- Μείωση του θορύβου με την εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

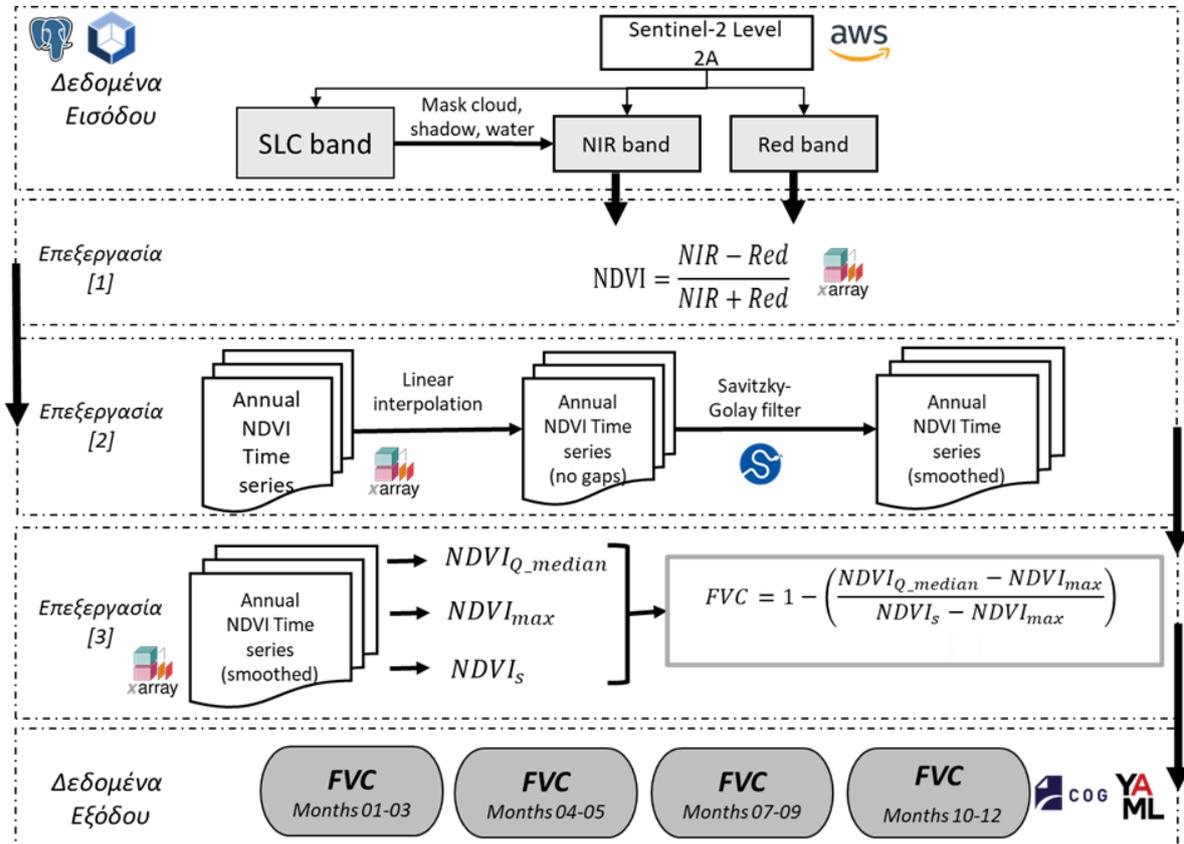
Επεξεργασία [3]

- Προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο 2.1.5 .

Δεδομένα εξόδου

- Βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 16-bit, κυμαίνεται από 0 έως 1000.
- Μετατροπή σε μορφή εικόνας integer 16-bit Cloud Optimized GeoTiff.
- Διασφάλιση συμβατότητας με το σχήμα της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube με τη σύνταξη των μεταδεδομένων.
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Τελικό Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 1000
Μονάδα μέτρησης	1
Χρονική συχνότητα	Τρίμηνη
Χωρική ανάλυση	10μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017-
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 101 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης (Fractional Vegetation Cover -FVC), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.6 Φαινολογία φυτών

Δεδομένα εισόδου

Η ανάκτηση εικόνων Sentinel-2 L2A από τον κύβο δεδομένων του EL-BIOS πραγματοποιείται με τη χρήση της βιβλιοθήκης datacube. Η συλλογή των ζητούμενων εικόνων πραγματοποιείται με ένα ερώτημα (query) αναζήτησης στις παραμέτρους των μεταδεδομένων σχετικά με το έτος αναφοράς, τη γεωγραφική περιοχή μέσω του κωδικού MGRS (Military Grid Reference System) Tile, τους επιθυμητούς διαύλους (Red, NIR, SCL) και το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό νεφοκάλυψης (έως 40%).

Πηγή δεδομένων	AWS S3 Bucket
Τύπος δεδομένων	GeoTiff cloud optimised
Αρχικά δεδομένα	Sentinel-2 L2A
Βοηθητικά δεδομένα	OXI



Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 –
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Επεξεργασία [1]

- Διαχείριση χρονοσειράς εικόνων. Χρήση εντολών της βιβλιοθήκης xarray
- Δημιουργία και εφαρμογή μάσκας για σύννεφα, το νερό, θυσσάνους (cirrus) και σκιά των σύννεφων, σε κάθε χρονικό σημείο. Χρήση εντολών του πακέτο dea-tools της Digital Earth Australia.

Επεξεργασία [2]

- Υπολογίζεται ο DVIsoil μέσω του δείκτη DVI

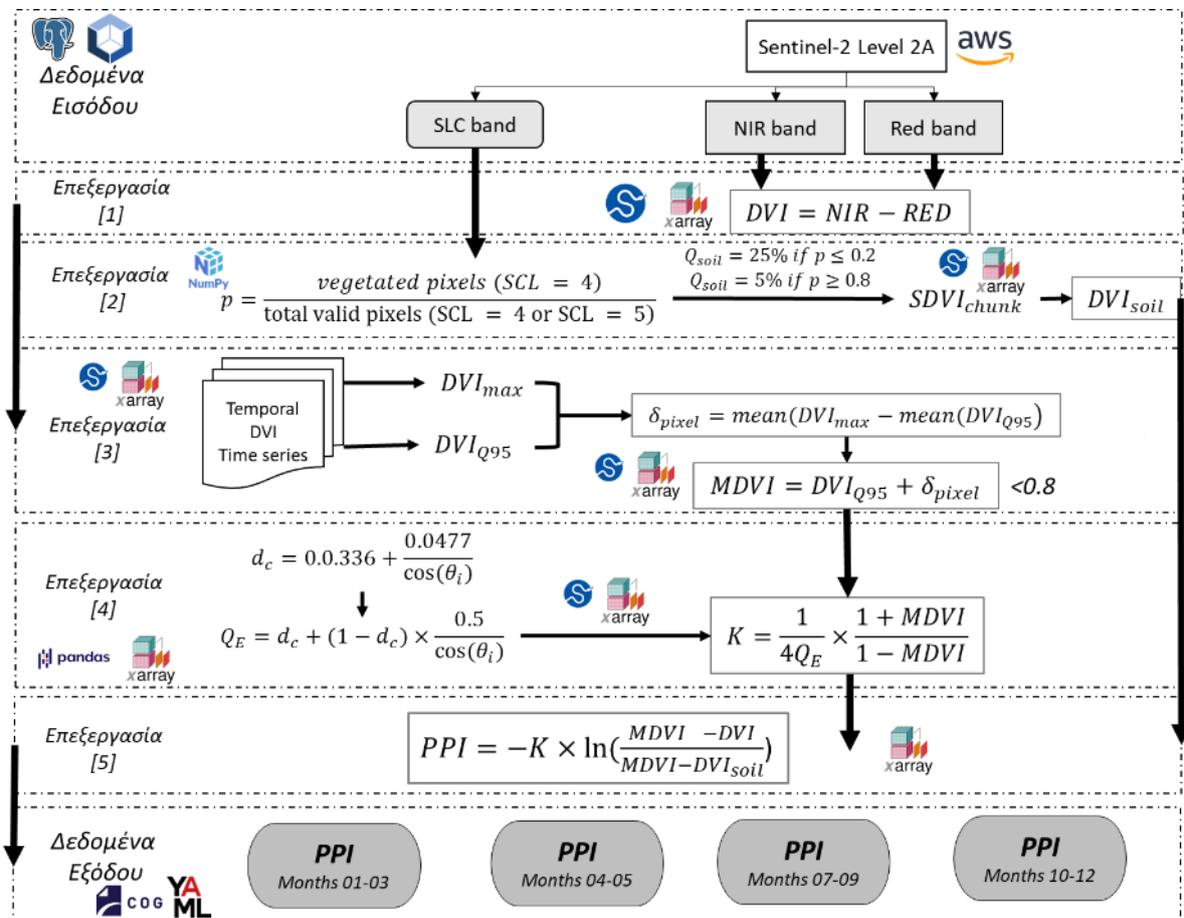
Επεξεργασία [3]

- Υπολογίζεται η μέση τιμή του κύβου PPI, όπως περιγράφεται παράγραφο 2.1.6.

Δεδομένα εξόδου

- Πολλαπλασιασμός με 1000 και βελτιστοποίηση αποδοτικότητας αποθήκευσης με την μετατροπή των τιμών του δείκτη σε μορφή integer 16-bit, κυμαίνεται από 0 έως 30000.
- Μετατροπή σε μορφή εικόνας integer 16-bit Cloud Optimized GeoTiff. Χρήση εντολών της βιβλιοθήκης rasterio
- Διασφάλιση συμβατότητας με το σχήμα της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube με τη σύνταξη των μεταδεδομένων.
- Εγγραφή εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων στον αποθηκευτικό χώρο του EL-BIOS Data Cube
- Καταλογογράφηση εικόνας και αρχείου μεταδεδομένων εντός της βάσης δεδομένων του EL-BIOS Data Cube για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση.

Προϊόν	GeoTiff
Εύρος τιμών	0 – 30000
Μονάδα μέτρησης	1 (m ² /m ²)
Χρονική συχνότητα	Τρίμηνη
Χρονικό εύρος κάλυψης	2017 – σήμερα
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



Εικόνα 102 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Φαινολογίας Φυτών (Plant Phenology Index-PPI), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

3.1.7 Καθαρή κατάληψη γης

Δεδομένα εισόδου

Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται στα έτοιμα προϊόντα Urban Atlas Land CoverLand Use 2012 (UA-LULC-2012) και 2018 (UA-LULC-2018) του Copernicus⁴⁰

Πηγή δεδομένων	https://land.copernicus.eu/
Τύπος δεδομένων	Διανυσματικό αρχείο (Shape file)
Αρχικά δεδομένα	Urban Atlas Land CoverLand Use
Βοηθητικά δεδομένα	ΟΧΙ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2012 – 2018
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα

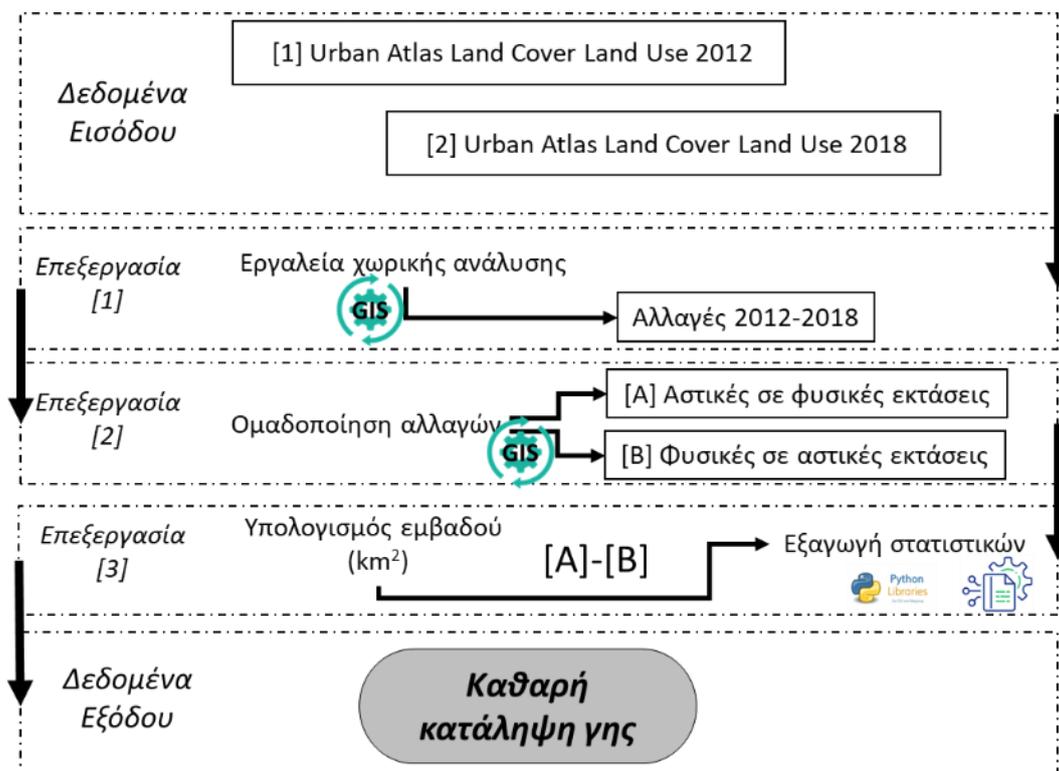
⁴⁰ <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas>



Προβολικό σύστημα	ETRS_1989_LAEA
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου πραγματοποιείται με εργαλεία χωρικής και στατιστικής ανάλυσης ανάλυσης GIS (Εικόνα 103), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.7.



Εικόνα 103 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Καθαρή κατάληψη γης (Net land take in cities and commuting zones) όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

Δεδομένα εξόδου

Τελικό Προϊόν	Διανυσματικά αρχεία (shape files)
Εύρος τιμών	0-
Μονάδα μέτρησης	Τετραγωνικά χιλιόμετρα
Χρονική συχνότητα	6 έτη
Χωρική ανάλυση	
Χρονικό εύρος κάλυψης	2012-2018 και συνέχεια
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική Κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84



Αρχείο μεταδεδομένων | NAI

3.1.8 Αδιαπερατότητα και αλλαγές αδιαπερατότητας

3.1.8.1 Δείκτης αδιαπερατότητας

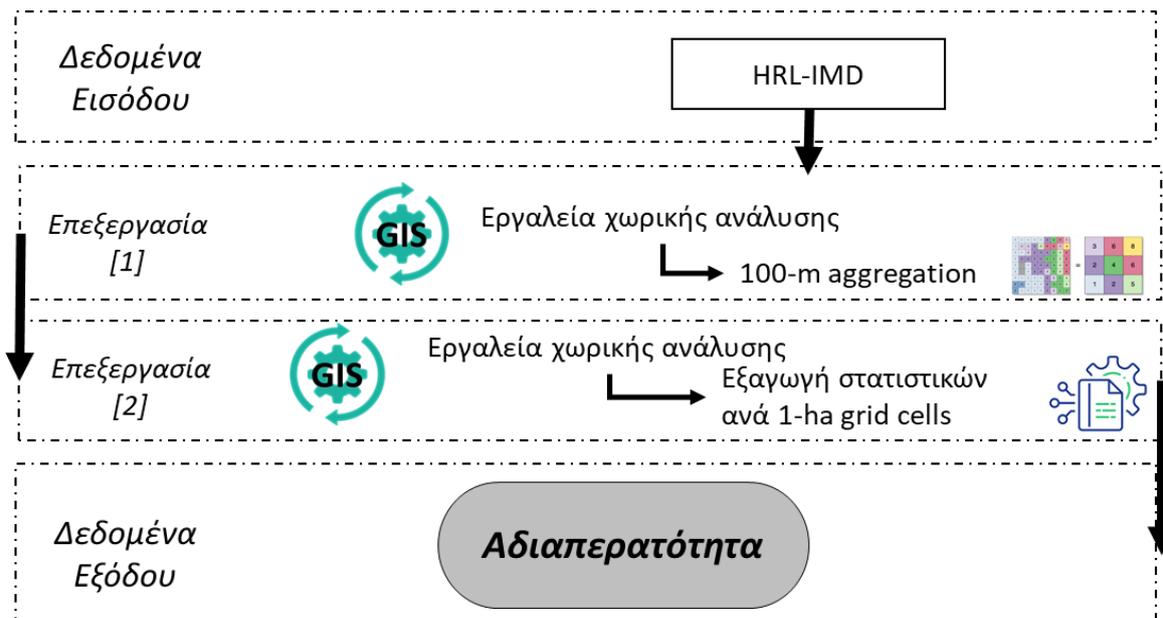
Δεδομένα εισόδου

Ο υπολογισμός του δείκτη Αδιαπερατότητας (Imperviousness) βασίζεται στο προϊόν υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness Density (HRL-IMD) της υπηρεσίας Copernicus.

Πηγή δεδομένων	https://land.copernicus.eu/
Τύπος δεδομένων	Geotiff
Αρχικά δεδομένα	HRL-IMD
Βοηθητικά δεδομένα	OXI
Χρονικό εύρος κάλυψη	2018
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	ETRS 1989 LAEA
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου πραγματοποιείται με εργαλεία χωρικής και στατιστικής ανάλυσης ανάλυσης ΓΣΠ (Εικόνα 104), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.8.



Εικόνα 104 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη αδιαπερατότητας (Imperviousness), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS



Δεδομένα εξόδου

Προϊόν	Geotiff
Εύρος τιμών	
Μονάδα μέτρησης	Ποσοστό %
Χρονική συχνότητα	3 έτη
Χωρική ανάλυση	100μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2018 και συνέχεια
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

3.1.8.2 Δείκτης Αλλαγών Αδιαπερατότητας

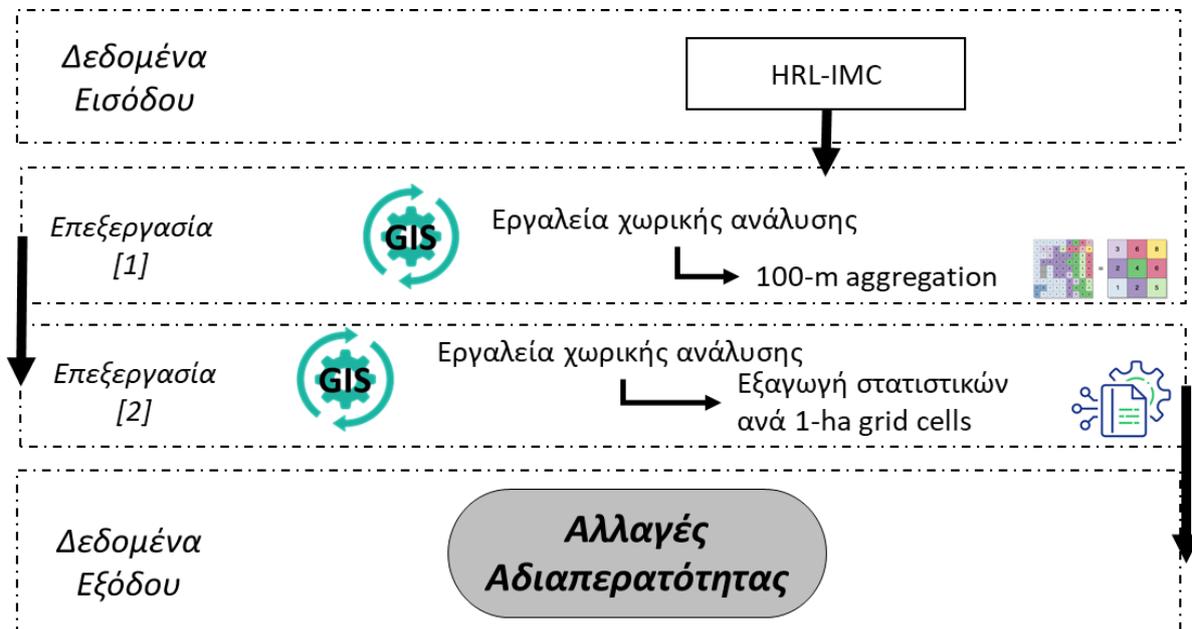
Δεδομένα εισόδου

Ο υπολογισμός του δείκτη Αλλαγών Αδιαπερατότητας (Imperviousness change) βασίζεται στο προϊόν υψηλής ανάλυσης Layer Imperviousness change (HRL-IMC) της υπηρεσίας Copernicus

Πηγή δεδομένων	https://land.copernicus.eu/
Τύπος δεδομένων	Geotiff
Αρχικά δεδομένα	HRL-IMC
Βοηθητικά δεδομένα	OXI
Χρονικό εύρος κάλυψης	2015-2018
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	ETRS 1989 LAEA
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου πραγματοποιείται με εργαλεία χωρικής και στατιστικής ανάλυσης ΓΣΠ (Εικόνα 105), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.8



Εικόνα 105 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη Αλλαγών αδιαπερατότητας (Imperviousness), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

Δεδομένα εξόδου

Προϊόν	Geotiff
Εύρος τιμών	0-200
Μονάδα μέτρησης	Ποσοστό %
Χρονική συχνότητα	3 έτη
Χωρική ανάλυση	100μ
Χρονικό εύρος κάλυψη;	2018 και συνέχεια
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

3.1.9 Κατακερματισμός τοπίου

Δεδομένα εισόδου

Η ανάπτυξη του δείκτη κατακερματισμού τοπίου βασίζεται στα προϊόντα Copernicus High Resolution Layer – HRL-IMD και της βάσης δεδομένων Open Street Map (OSM) και την επεξεργασία τους με εργαλεία χωρικής ανάλυσης GIS.

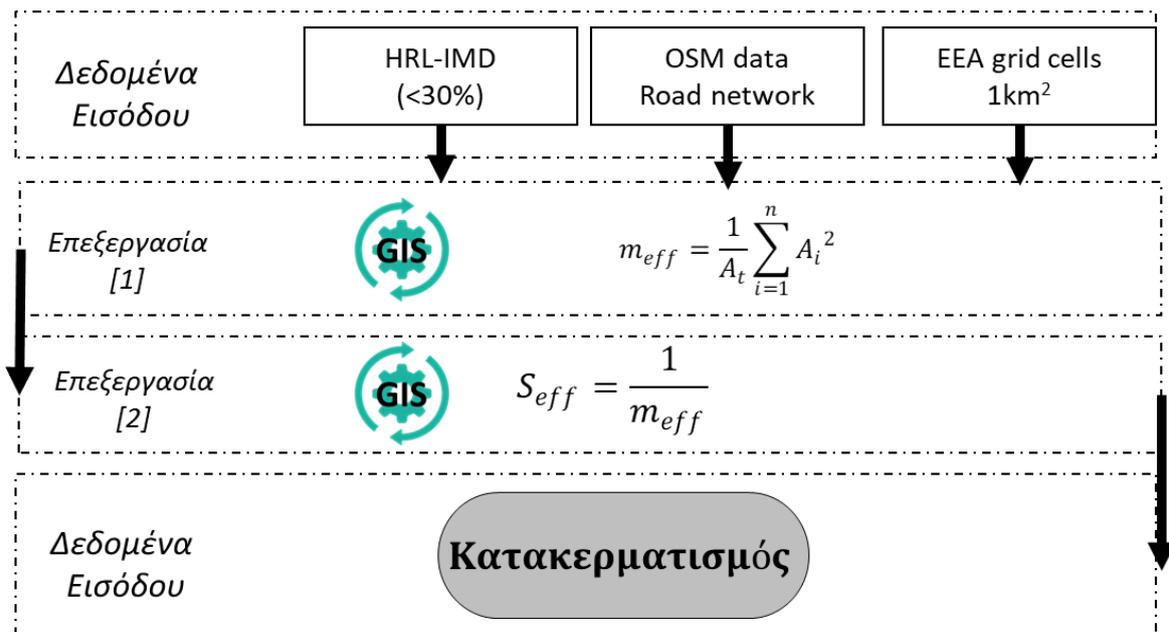
Πηγή δεδομένων	https://land.copernicus.eu/
----------------	---



Τύπος δεδομένων	Διανυσματικά αρχεία (shape files)
Αρχικά δεδομένα	<ul style="list-style-type: none"> Urban Atlas Land Cover/Land Use 2012 (UA-LULC-2012) και 2018(UA-LULC-2018) Open Street Map (OSM)/
Βοηθητικά δεδομένα	EEA grid cells 1km ²
Χρονικό εύρος κάλυψης	2018
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

“Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.9



Εικόνα 106 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη κατακερματισμού τοπίου (Landscape fragmentation), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

Δεδομένα εξόδου

Προϊόν	Geotiff
Εύρος τιμών	0->250
Μονάδα μέτρησης	m _{eff} ανά 1000 km ²
Χρονική συχνότητα	3 έτη
Χωρική ανάλυση	1000μ



Χρονικό εύρος κάλυψης	2018 -
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

3.1.10 Μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων

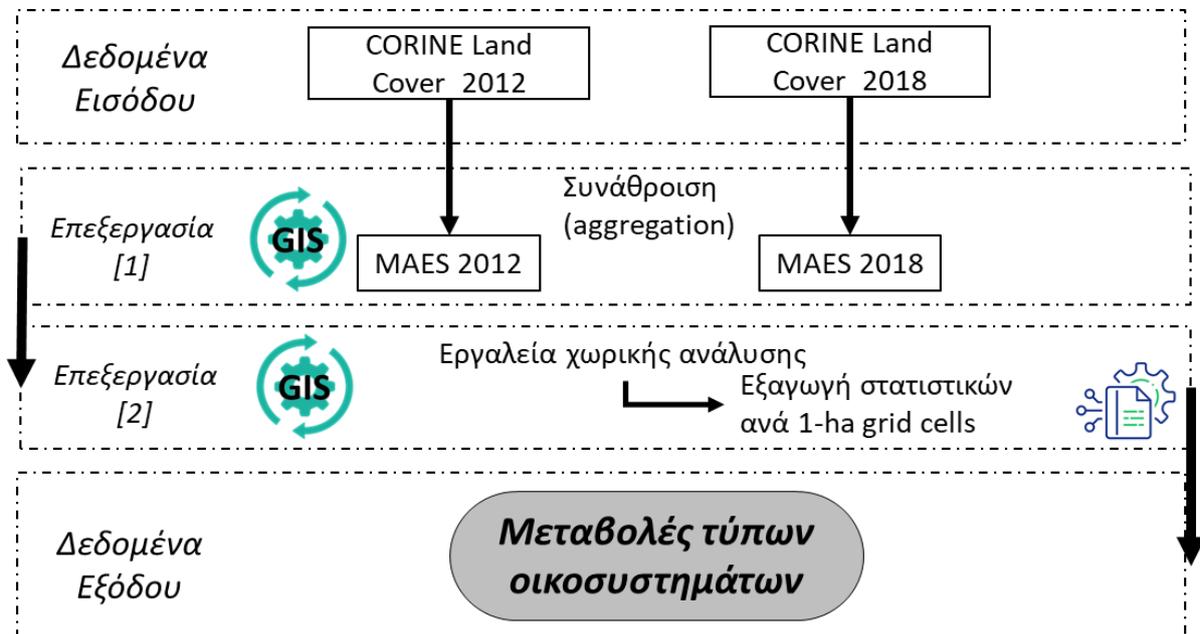
Δεδομένα εισόδου

Ο υπολογισμός του δείκτη μεταβολών τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes) βασίζεται στα προϊόντα CORINE Land Cover για τα έτη 2012 και 2018 και την συνάθροιση των κατηγοριών κάλυψης γης CORINE ώστε να σχετίζονται με τους τύπους οικοσυστημάτων MAES (Πίνακας 5).

Πηγή δεδομένων	https://land.copernicus.eu/
Τύπος δεδομένων	Διανυσματικά αρχεία (shape files)
Αρχικά δεδομένα	Corine land cover 2012 / Corine land cover 2018
Βοηθητικά δεδομένα	Τυπολογία οικοσυστημάτων MAES
Χρονικό εύρος κάλυψης	2012-2018
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	ETRS 1989 LAEA
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI

Ροή επεξεργασιών

Η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου πραγματοποιείται με εργαλεία χωρικής και στατιστικής ανάλυσης ανάλυσης GIS (Εικόνα 104), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.10



Εικόνα 107 Σχεδιασμός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του ΕΟ Δείκτη μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes), όπως υλοποιείται στο back end του EL BIOS

Δεδομένα εξόδου

Προϊόν	Διανυσματικά αρχεία (shape files)
Εύρος τιμών	Περιγραφή
Μονάδα μέτρησης	Περιγραφή & Τετραγωνικά χιλιόμετρα
Χρονική συχνότητα	6 έτη
Χωρική ανάλυση	100μ
Χρονικό εύρος κάλυψης	2012 -2018 και συνέχεια
Γεωγραφική κάλυψη	Εθνική κλίμακα
Προβολικό σύστημα	WGS84
Αρχείο μεταδεδομένων	NAI



4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ EL BIOS ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΟ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ

Η υποδομή EL BIOS αναπτύχθηκε σε περιβάλλον UBUNTU με εικόνες Docker για τις διαδικασίες ευρετηρίασης και υπολογισμού. Ο κώδικας υπολογισμού του ευρετηρίου χρησιμοποιεί γλώσσα προγραμματισμού Python (3.10). Ο κύβος δεδομένων EL-BIOS χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική της πρωτοβουλίας Open Data Cube. Ως διεπαφή API (Application Programming Interface) για τον κατάλογο των ευρετηριασμένων εικόνων στη βάση δεδομένων PostgreSQL (σε σχήμα που παρέχεται από το Open Data Cube) χρησιμοποιείται το πακέτο Python «datacube». Η υλοποίηση όλων των υπηρεσιών ΕΟ, κατασκευάζεται με τη χρήση βιβλιοθηκών ανοικτού κώδικα.

Τα αρχεία ορισμού των προϊόντων καθορίζουν την κωδική ονομασία του προϊόντος εντός του κύβου, την ονομασία και τη μορφή των υποπροϊόντων, τον τύπο δεδομένων και την τιμή nodata. Τα προϊόντα δηλώνονται στον κύβο δεδομένων EL-BIOS και βάσει αυτών πραγματοποιείται η ένταξη και η αναζήτηση των συνόλων δεδομένων που υπάγονται στο εκάστωτε προϊόν. Η αναζήτηση των συνόλων δεδομένων (σκηνές) γίνεται με ερωτήματα αναζήτησης στα μεταδεδομένα που φιλοξενεί η βάση δεδομένων. Τα μεταδεδομένα των συνόλων δεδομένων ακολουθούν καθορισμένη ιεραρχία

Τα προϊόντα περιλαμβάνουν τις εικόνες Sentinel-2 L2A σε μορφή Cloud-Optimized GeoTIFF (COGs), τους δείκτες βιοποικιλότητας (NDVI-I, IARR-NDVI, DoM-NDVI, LAI, FVC, PPI), καθώς και μεταβλητές ΕΟ όπως NDVI, EVI και Surface Albedo.

Οι εικόνες Sentinel-2 Level 2A COGs, οι οποίες φιλοξενούνται στο Registry of Open Data στον S3 Bucket "Sentinel-2 Cloud-Optimized GeoTIFFs" (s3://sentinel-cogs) της Amazon Web Services (AWS), προστίθενται στον κύβο δεδομένων EL-BIOS (indexing). Οι σκηνές είναι ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά διορθωμένες χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Sen2Cor και διαχειρίζονται από την Element 84. Το χρονικό εύρος του EL-BIOS Data Cube είναι από τον Ιανουάριο 2017 έως τον Δεκέμβριο 2023 και το καλύπτει χωρικά τον ελληνικό ηπειρωτικό χώρο με 60 κωδικούς του πλέγματος MGRS Tiles. Το σύνολο δεδομένων Sentinel-2 L2A του EL-BIOS Data Cube αποτελείται από 53166 σκηνές και συνολικό όγκο περίπου 66 TB.

Τα σύνολα δεδομένων καλούνται ως χρονοσειρές με βάση το χρονικό εύρος, τους κωδικούς MGRS, το ποσοστό νεφοκάλυψης, τα κανάλια που απαιτούνται για την εξίσωση του δείκτη και την εικόνα ποιότητας εικονοστοιχείου SCL. Ο υπολογισμός των δεικτών πραγματοποιείται ιεραρχικά και βασίζεται στους κωδικούς πλέγματος MGRS των εικόνων Sentinel-2. Πρώτα υπολογίζονται οι δείκτες βιοποικιλότητας LAI, PPI και FVC και οι μεταβλητές ΕΟ NDVI, EVI και Albedo. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι NDVI-I, IARR-NDVI και DoM-NDVI.

Οι εικόνες αποθηκεύονται ως βελτιστοποιημένες για το νέφος GeoTIFF, σε ακέραιες μορφές 16 ή 32 bit με τιμή nodata -32768. Τα ονόματα των εικόνων ακολουθούν την κωδική ονομασία "S2_FREQ_MGRS_YEAR_QUARTER/MONTH_INDEX_STATISTIC.tif", πχ "S2_SEASONAL_T34SEH_2020_Q3_PPI_mediannan.tif".

Για την επεξεργασία και τον υπολογισμό του συνόλου δεδομένων που φιλοξενεί ο EL-BIOS Data Cube, απαιτήθηκε χρονική διάρκεια περίπου τριών μηνών και χώρος μνήμης περίπου 5TB.



5 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ EL BIOS

Με την παραγωγή κάθε νέου συνόλου δεδομένων πραγματοποιήθηκε μια σειρά αξιολογήσεων ποιότητας για να διασφαλιστεί ότι θα παρέχεται στους χρήστες το καλύτερο ποιοτικό προϊόν. Σύμφωνα με την υποομάδα LPV (Land Product Validation) της CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) οι μετρικές επικύρωσης περιλαμβάνουν τις κατηγορίες: (α) συνολικό σφάλμα μέτρησης, (β) μεροληψία, (γ) ακρίβεια και (δ) πληρότητα.

Για τις ανάγκες του έργου EL-BIOS, ο έλεγχος ποιότητας και η συνολική στρατηγική επικύρωσης των προϊόντων βασίστηκε σε τρεις κύριους άξονες: α) επικύρωσης των προϊόντων EL-BIOS με προϊόντα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωχωρικών δεδομένων και δορυφορικών εικόνων σε περιβάλλον GIS, Google Earth Engine β) σύγκρισης με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από έτοιμα σύνολα δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης και γ) πληρότητας (Completeness) των προϊόντων, δηλαδή η συχνότητα και η συνέχεια των προϊόντων.

5.1 Μέτρα επικύρωσης

5.1.1 Στατιστικά μέτρα σύγκρισης

Για την αξιολόγηση των μοντέλου, είναι συχνά χρήσιμο να απεικονίζονται οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες τιμές με τη μορφή διαγράμματος διασποράς. Ιδανικά, αναμένεται μια τέλεια γραμμική σχέση παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μιας γραμμικής παλινδρόμησης των προβλεπόμενων και παρατηρούμενων τιμών παρέχει τις πληροφορίες για την αξιολόγηση της συμφωνίας των παρατηρούμενων και προβλεπόμενων δεδομένων

Οι αξιολογήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν στο τελικό προϊόν, αλλά και σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης των τελικών προϊόντων EL-BIOS και υπολογίστηκαν τέσσερα στατιστικά στοιχεία ακρίβειας i) Κλίση και τομή παλινδρόμησης (Regression slope and intercept) ii) Συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination) iii) Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error), iii) Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error) και iv) Μεροληψία πρόβλεψης (Prediction bias).

[1] Κλίση και τομή παλινδρόμησης (Regression slope and intercept)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \times \hat{y}_i + \varepsilon$$

Όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή,

β_0 είναι η τομή,

β_1 είναι η κλίση και

ε είναι ο τυχαίος όρος σφάλματος.



Για την κλίση, β_1 , μια τιμή κοντά στο 1 υποδηλώνει ότι οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες τιμές διαφέρουν σταθερά εντός του εύρους τους. Η τιμή, β_0 , μπορεί να ερμηνευθεί ως η μεροληψία μόνο όταν η κλίση είναι 1.

[2] Συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination)

Περιγράφει το ποσοστό της διακύμανσης των παρατηρούμενων τιμών που εξηγείται από τη διακύμανση των προβλεπόμενων τιμών

R^2 είναι επίσης το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης Pearson R στην περίπτωση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης με έναν προγνωστικό παράγοντα. Η τιμή R^2 ερμηνεύεται ευκολότερα από τον συντελεστή συσχέτισης Pearson.

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

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή,

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

Ο αριθμητής σε αυτόν τον τύπο είναι το άθροισμα των τετραγώνων του υπολοίπου (SSR) και ο παρονομαστής είναι το άθροισμα των τετραγώνων του συνόλου (SST)

[3] Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error)

περιγράφει το μέσο σφάλμα των προβλεπόμενων τιμών χωρίς να λαμβάνει υπόψη την κατεύθυνση του σφάλματος

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή

[4] Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error)

είναι η μέση απόκλιση των προβλεπόμενων τιμών σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές. Με τον τετραγωνισμό του σφάλματος, το RMSE περιορίζει (penalize) τις υψηλότερες αποκλίσεις εντονότερα από το MAE, δηλαδή είναι πάντα υψηλότερο (σε σπάνιες περιπτώσεις ίσο με το MAE).



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

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή

[5] Μεροληψία πρόβλεψης (Prediction bias)

είναι το συστηματικό σφάλμα των προβλεπόμενων τιμών σε σχέση με τα παρατηρούμενα δεδομένα

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i$$

όπου

y_i είναι η παρατηρούμενη τιμή,

\hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή

5.1.2 Πληρότητα

Η πληρότητα (Completeness) αντιστοιχεί στην απουσία χωρικών και χρονικών κενών στα δεδομένα. Οι ελλείψεις δεδομένων οφείλονται κυρίως σε σύννεφα ή χιόνι, ατμοσφαιρικές συνθήκες ή τεχνικά προβλήματα κατά τη λήψη των εικόνων και γενικά θεωρούνται από τους χρήστες ως σοβαρός περιορισμός ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Για την τεκμηρίωση της πληρότητας του προϊόντος (δηλαδή η κατανομή στο χώρο και στο χρόνο των ελλειπόντων δεδομένων) χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως (Swinnen et al., 2023):

- χάρτες των ελλειπόντων τιμών
- ποσοστά έγκυρων και ελλειπόντων δεδομένων
- Κατανομή των κενών ως συνάρτηση της εποχής.
- Ποσοτικός προσδιορισμός (σε %) των εμφανίσεων "ενδείξεων" (flag occurrences): χρονική και χωρική κατανομή
- Ποσοτικοποίηση (σε %) των ελλειπόντων τιμών ή των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται ως «άκυρα»: χωρική κατανομή
- Ποσοτικοποίηση (σε %) των ελλειπόντων τιμών ή των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται ως «άκυρα»: χρονική κατανομή

Για τις ανάγκες επικύρωσης της πληρότητας των τελικών προϊόντων EL-BIOS υπολογίστηκαν τα ποσοστά έγκυρων και ελλειπόντων-άκυρων δεδομένων και παρήχθησαν χάρτες των ελλειπόντων-άκυρων και έγκυρων τιμών.



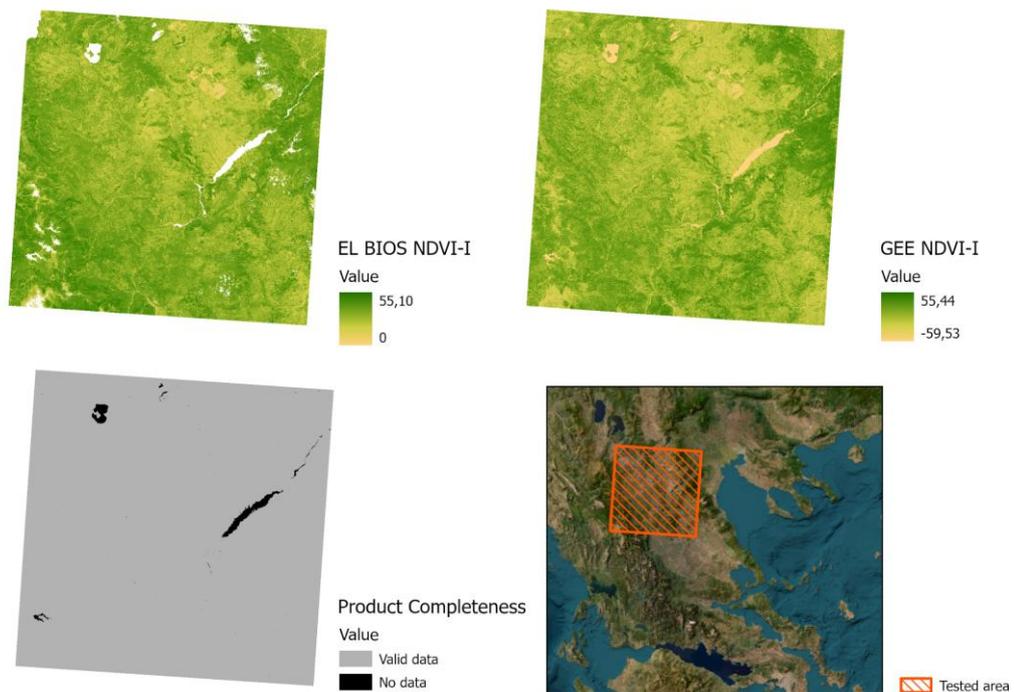
5.2 Επικύρωση των τελικών προϊόντων EL-BIOS

5.2.1 Ετήσιο ολοκλήρωμα του NDVI

Για την αξιολόγηση του δείκτη NDVI-I όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS, ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε το προϊόν όπως αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Google Earth Engine (Εικόνα 108). Ως άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν όπου στα 3 από τα 4 Quarters του NDVI υπήρχαν λιγότερες από 3 καθαρές παρατηρήσεις με εύρος [0,1]. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 Αξιολόγηση του δείκτη ετήσιου ολοκλήρωματος του NDVI (annual NDVI integral NDVI-I)

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 8.07 + 0.8 * X$
Συντελεστής προσδιορισμού R ²	0,76
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	5.23
Μέσο απόλυτο σφάλμα MAE	3.84
Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	2.12
Πληρότητα	Valid data: 99,18% No data: 0,82%





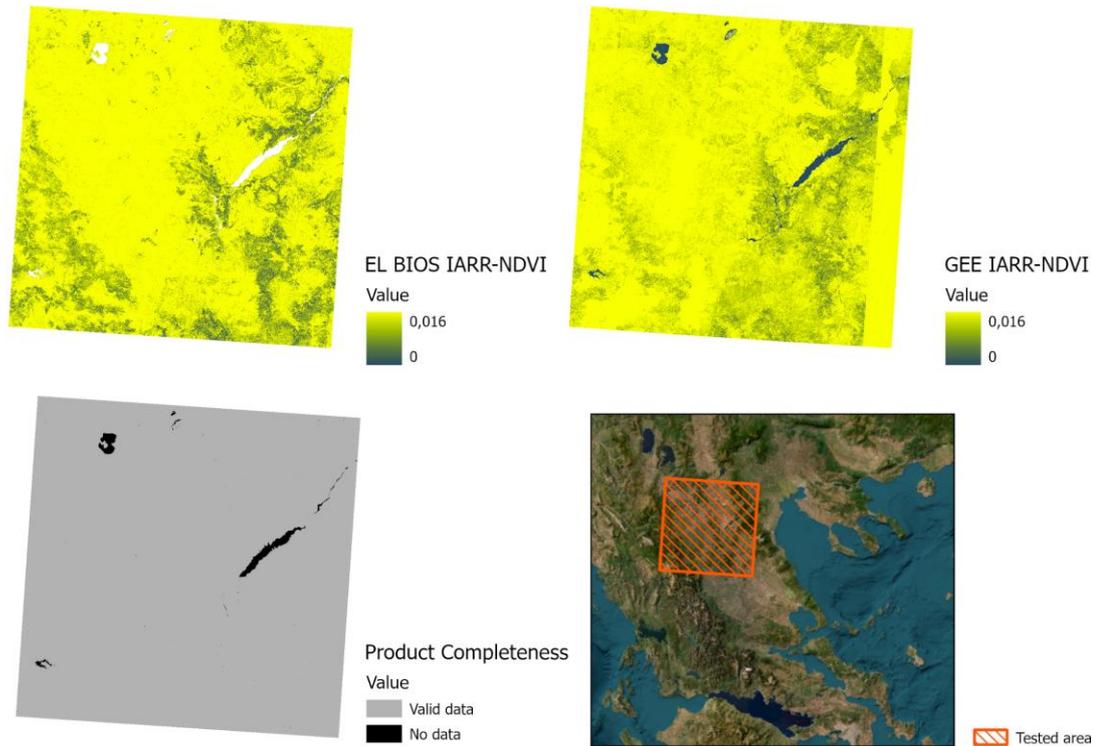
Εικόνα 108 Αξιολόγηση του δείκτη ετήσιου ολοκλήρωματος του (annual NDVI integral NDVI-I)

5.2.2 Ενδοετήσιο σχετικό εύρος NDVI

Για την αξιολόγηση του δείκτη Intra-relative range IARR-NDVI όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS, ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε το προϊόν όπως αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Google Earth Engine (Εικόνα 109). Ως άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν όπου στα 3 από τα 4 Quarters του NDVI υπήρχαν λιγότερες από 3 καθαρές παρατηρήσεις με εύρος [0,1]. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12 Αξιολόγηση του δείκτη ενδοετήσιου σχετικού εύρους NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI)

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 0 + 0.01 * X$
Συντελεστής προσδιορισμού R ²	0.68
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	0.004
Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)	0
Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	0
Πληρότητα	Valid data: 99,18% No data: 0,82%



Εικόνα 109 Αξιολόγηση του δείκτη ενδοετήσιου σχετικού εύρους NDVI (Intra-relative range IARR-NDVI)

5.2.3 Ημερομηνία του ετήσιου μέγιστου NDVI

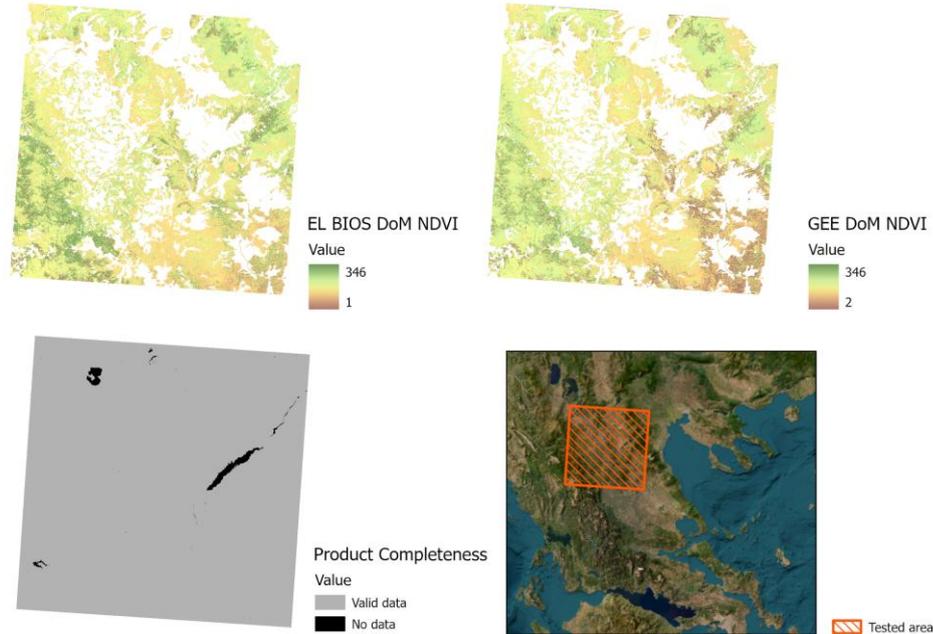
Για την αξιολόγηση του δείκτη \max DoM-NDVI όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS, ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε το προϊόν όπως αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Google Earth Engine. Η αξιολόγηση του δείκτη πραγματοποιήθηκε για δασικές και ημιφυσικές περιοχές (Εικόνα 110). Ως άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν όπου στα 3 από τα 4 Quarters του NDVI υπήρχαν λιγότερες από 3 καθαρές παρατηρήσεις με εύρος [0,1]. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακας 13.

Πίνακας 13 Αξιολόγηση του δείκτη ημερομηνίας μέγιστου NDVI (Date of annual \max DoM-NDVI)

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 30,09 + 0.5 * X$
Συντελεστής προσδιορισμού R^2	0,66
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	24.66
Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)	13
Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	3.66
Πληρότητα	Valid data: 99,18%



	No data: 0,82%
--	----------------



Εικόνα 110 Αξιολόγηση του δείκτη ημερομηνίας μέγιστου NDVI (Date of annual max DoM-NDVI)

5.2.4 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

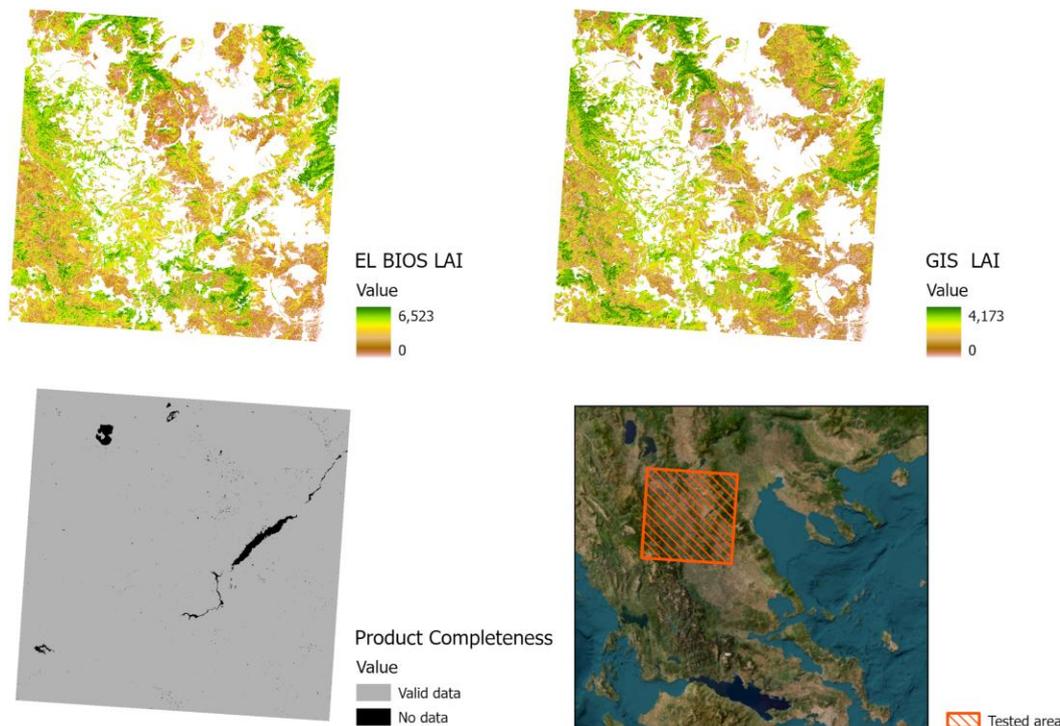
Για την αξιολόγηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε προϊόν LAI, όπως προέκυψε από την ανάπτυξη του σε περιβάλλον GIS και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2. Ως άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν όπου υπήρχαν λιγότερες από 2 καθαρές παρατηρήσεις με εύρος [0,10]. Η αξιολόγηση του δείκτη πραγματοποιήθηκε για δασικές και ημιφυσικές περιοχές (Εικόνα 111). Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14 Αξιολόγηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 0.02 + 0.91 \times X$
Συντελεστής προσδιορισμού R^2	0.847
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	0.296
Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)	0.209
Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	-0,129



Πληρότητα	Valid data: 98,8% No data: 1,20%
-----------	-------------------------------------



Εικόνα 111 Αξιολόγηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας

5.2.5 Κλασματική φυτοκάλυψη

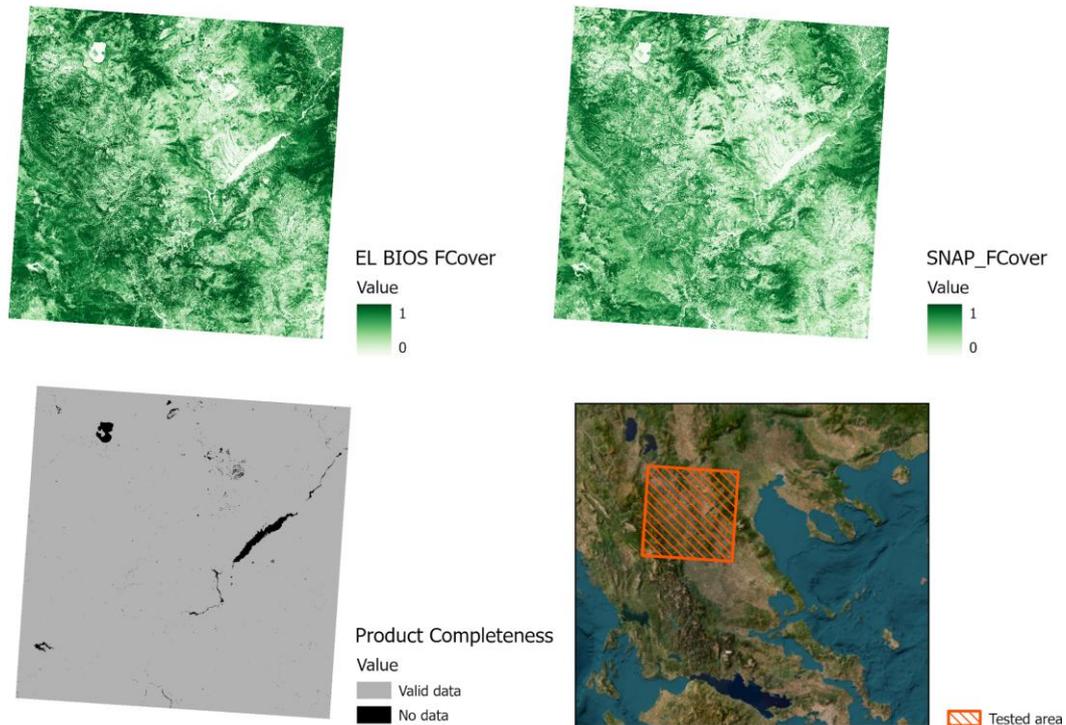
Για την αξιολόγηση του δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης (Fractional Vegetation Cover -FCover) όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS, ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε προϊόν FCover όπως προέκυψε με εφαρμογή του αλγόριθμου SNAP L2B και τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 MSI Level 2 (Εικόνα 112). Ως άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν όπου σε κάθε Quarter του NDVI υπήρχαν λιγότερες από 3 καθαρές παρατηρήσεις με εύρος [0,1]. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15 Αξιολόγηση του δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 0.18 + 0.93 \times X$
Συντελεστής προσδιορισμού R ²	0.78
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	0.19
Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)	0.16



Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	0.14
Πληρότητα	Valid data: 98,78% No data: 1,22%



Εικόνα 112 Αξιολόγηση του δείκτη κλασματικής φυτοκάλυψης (Fractional Vegetation Cover -FCover)

5.2.6 Φαινολογία βλάστησης

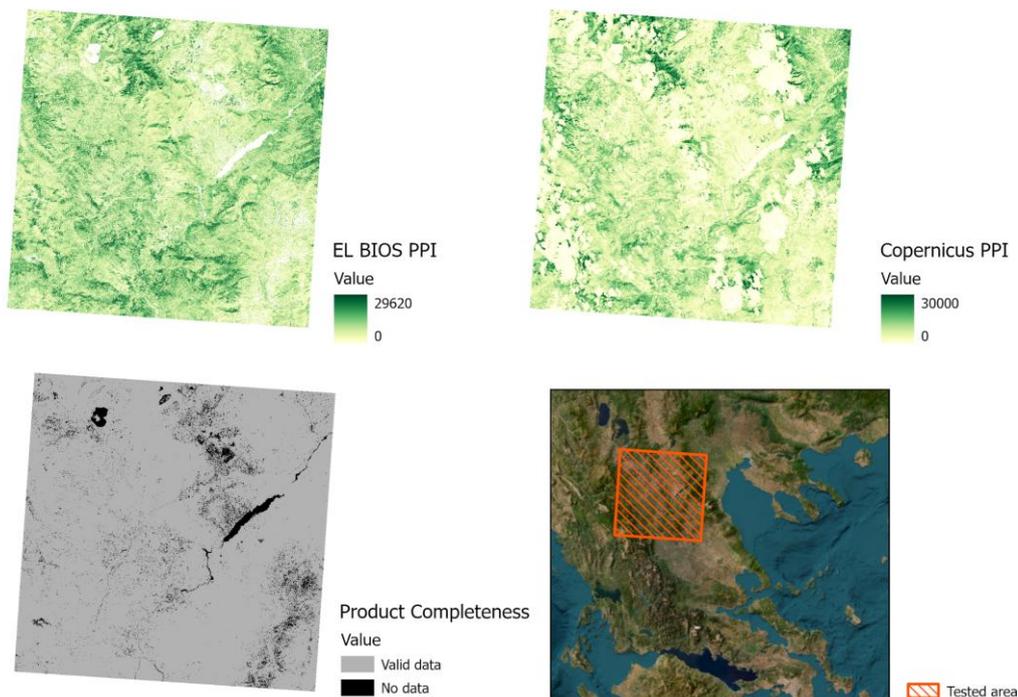
Για την αξιολόγηση του δείκτη Φαινολογίας βλάστησης όπως προκύπτει από τις υπηρεσίες EL BIOS ως ανεξάρτητα δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε το προϊόν Plant Phenology Index (PPI) της υπηρεσίας Copernicus (Εικόνα 113). Οι άκυρες (no data) τιμές εικονοστοιχείων ορίστηκαν με βάσει το εύρος του δείκτη το οποίο είναι [0,3]. Οι εκτιμήσεις ακρίβειας και η πληρότητα του προϊόντος εμφανίζονται στον Πίνακας 16

Πίνακας 16 Αξιολόγηση του δείκτη φαινολογίας βλάστησης

Μέτρο αξιολόγησης	Τιμή
Κλίση και τομή παλινδρόμησης	$Y = 1785.98 + 0.39 \times X$
Συντελεστής προσδιορισμού R ²	0,603
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE	3598,167



Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE)	2572,358
Μεροληψία πρόβλεψης BIAS	-1756,08
Πληρότητα	Valid data: 94,52% No data: 5,48%



Εικόνα 113 Αξιολόγηση του δείκτη φαινολογίας βλάστησης (Plant Phenology Index -PPI)

5.2.7 Δείκτης καθαρής κατάληψης γης

Η ανάπτυξη του δείκτη κατάληψης γης βασίζεται στα προϊόντα Urban Atlas Land CoverLand Use 2012 (UA-LULC-2012) και 2018(UA-LULC-2018) του Copernicus.

Σύμφωνα με Έκθεση επικύρωσης των προϊόντων Urban Atlas Land CoverLand Use (Wegscheider et al., 2018), τα αποτελέσματα της θεματικής ακρίβειας έδειξαν ότι το προϊόν UA2018 είναι πάνω από τη δεδομένη απαίτηση ακρίβειας όσον αφορά τους ελέγχους αξιοπιστίας τόσο όσον αφορά τις αστικές (93,61%) όσο και τις αγροτικές τάξεις (86,64%). Για όλες τις τάξεις, η τυφλή προσέγγιση (blind approach) αποδίδει 68,48% OA (συνολική ακρίβεια -overall accuracy), ενώ μετά τους ελέγχους αξιοπιστίας, η OA είναι 87,53%. Για την τυφλή προσέγγιση, η τιμή OA για τις αστικές κλάσεις είναι 82,14% και για τις αγροτικές κλάσεις είναι επίσης χαμηλότερη από το 80% που απαιτείται από τις προδιαγραφές (66,48%), γεγονός που οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, δεν υπάρχουν επαρκώς σαφείς ορισμοί των κλάσεων και δεύτερον, κάποιες κλάσεις δεν μπορούν να αναγνωριστούν αξιόπιστα μόνο εικόνα ενός έτους (π.χ. καλλιεργήσιμη γη έναντι βοσκοτόπων) (Wegscheider et al., 2018).



5.2.8 Αδιαπερατότητα και αλλαγές αδιαπερατότητας

Η ανάπτυξη του δείκτη αδιαπερατότητας και αλλαγών αδιαπερατότητας βασίζεται στα προϊόντα υψηλής ανάλυσης HRL-IMD και HRL-IMC. Η διασφάλιση της ποιότητας αυτών των προϊόντων πραγματοποιείται από την ΕΕΑ και ακολουθεί τα πρότυπα ISO9000 για τη διαχείριση της ποιότητας. Περιλαμβάνει ειδικές διαδικασίες συνεχιζόμενων ελέγχων ποιότητας (QA breakpoints) κατά την εφαρμογή της αλυσίδας παραγωγής τους, προκειμένου να διατηρείται διαρκής έλεγχος στα διάφορα στάδια της παραγωγής, να διασφαλίζεται η καταλληλότητα των τελικών προϊόντων και να πληρούνται όλες οι απαιτήσεις ποιότητας. Η αξιολόγηση της ποιότητας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις προδιαγραφές δεδομένων INSPIRE. Τα στοιχεία ποιότητας των δεδομένων που εξετάστηκαν αφορούν: Πληρότητα, Λογική συνέπεια, Θεματική ακρίβεια, Χρονική ποιότητα, Ευχρηστία (European Environment Agency, 2020b).

5.2.9 Κατακερματισμός τοπίου

Η ανάπτυξη του δείκτη κατακερματισμός τοπίου βασίζεται στα προϊόντα Copernicus High Resolution Layer – HRL-IMD και της βάσης δεδομένων Open Street Map (OSM).

Η διασφάλιση της ποιότητας του HRL-IMD πραγματοποιείται από την ΕΕΑ και ακολουθεί τα πρότυπα ISO9000 για τη διαχείριση της ποιότητας. Περιλαμβάνει ειδικές διαδικασίες συνεχιζόμενων ελέγχων ποιότητας (QA breakpoints) κατά την εφαρμογή της αλυσίδας παραγωγής τους, προκειμένου να διατηρείται διαρκής έλεγχος στα διάφορα στάδια της παραγωγής, να διασφαλίζεται η καταλληλότητα των τελικών προϊόντων και να πληρούνται όλες οι απαιτήσεις ποιότητας. Η αξιολόγηση της ποιότητας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις προδιαγραφές δεδομένων INSPIRE. Τα στοιχεία ποιότητας των δεδομένων που εξετάστηκαν αφορούν: Πληρότητα, Λογική συνέπεια, Θεματική ακρίβεια, Χρονική ποιότητα, Ευχρηστία (European Environment Agency, 2020b).

Το OpenStreetMap είναι ένα συνεργατικό πρόγραμμα χαρτογράφησης που παρέχει δωρεάν και επεξεργάσιμα δεδομένα χαρτών που δημιουργούνται και συντηρούνται από μια κοινότητα εθελοντών σε όλο τον κόσμο. Η διαδικασία της επικύρωσης επίσης πραγματοποιείται από εθελοντές για την εξασφαλιστεί ότι τα δεδομένα OSM είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερα.

5.2.10 Μεταβολές τύπων οικοσυστημάτων

Ο υπολογισμός του δείκτη μεταβολών τύπων οικοσυστημάτων (Ecosystem coverage changes) βασίζεται στα προϊόντα CORINE Land Cover για τα έτη 2012 και 2018.

Σύμφωνα με Έκθεση επικύρωσης των προϊόντων CORINE Land Cover (Moiret-Guigand et al., 2021), τα προϊόντα πληρούν την απαίτηση θεματικής επικύρωσης, δηλαδή 85 % σε τυφλή ανάλυση (blind analysis) και ανάλυση αξιοπιστίας (plausibility analysis). Οι συνολικές ακρίβειες που επιτεύχθηκαν για το CLC2018 είναι 92,43 % για την τυφλή ανάλυση και 92,67 % για την ανάλυση αξιοπιστίας. Οι συνολικές ακρίβειες που επιτυγχάνονται για το CLC2012 είναι 83,6 % για την τυφλή ανάλυση και 89,7 % για την ανάλυση αξιοπιστίας (Moiret-Guigand et al., 2021).



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alcaraz-Segura, D., Cabello, J., Paruelo, J., 2009. Baseline characterization of major Iberian vegetation types based on the NDVI dynamics. *Plant Ecol.* 202, 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9555-2>
- Alcaraz, D., Paruelo, J., Cabello, J., 2006. Identification of current ecosystem functional types in the Iberian Peninsula. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 15, 200–212. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00215.x>
- Ali, A.M., Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Gara, T.W., Heurich, M., 2020. Machine learning methods' performance in radiative transfer model inversion to retrieve plant traits from Sentinel-2 data of a mixed mountain forest. *Int. J. Digit. Earth* 1–15. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1794064>
- Ali, A.M., Darvishzadeh, R., Skidmore, A.K., van Duren, I., 2017. Specific leaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. *Agric. For. Meteorol.* 236, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.015>
- Allen, W.A., Gausman, H.W., Richardson, A.J., 1970. Mean Effective Optical Constants of Cotton Leaves*. *J. Opt. Soc. Am.* 60, 542. <https://doi.org/10.1364/JOSA.60.000542>
- Arrighi, C., Castelli, F., 2023. Prediction of ecological status of surface water bodies with supervised machine learning classifiers. *Sci. Total Environ.* 857, 159655. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159655>
- Asner, G.P., Martin, R.E., Tupayachi, R., Emerson, R., Martinez, P., Sinca, F., Powell, G.V.N., Wright, S.J., Lugo, A.E., 2011. Taxonomy and remote sensing of leaf mass per area (LMA) in humid tropical forests. *Ecol. Appl.* 21, 85–98. <https://doi.org/10.1890/09-1999.1>
- Asner, G.P., Scurlock, J.M.O., Hicke, J. a, 2003. Global synthesis of leaf area index observations : *Glob. Ecol. Biogeogr.* 12, 191–205. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00026.x>
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T.J., Lobell, D.B., Delire, C., Mirin, A., 2007. Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104, 6550–6555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608998104>
- Baret, F., Clevers, J.G.P.W., Steven, M.D., 1995. The robustness of canopy gap fraction estimates from red and near-infrared reflectances: A comparison of approaches. *Remote Sens. Environ.* 54, 141–151. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00136-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00136-0)
- Beckmann, M., Gerstner, K., Akin-Fajiyeh, M., Ceaușu, S., Kambach, S., Kinlock, N.L., Phillips, H.R.P., Verhagen, W., Gurevitch, J., Klotz, S., Newbold, T., Verburg, P.H., Winter, M., Seppelt, R., 2019. Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 25, 1941–1956. <https://doi.org/10.1111/gcb.14606>
- Benoit, G., Comeau, A., 2012. A sustainable future for the mediterranean: The blue plan 's environment and development outlook. *A Sustain. Futur. Mediterr. Blue Plan's Environ. Dev. Outlook* 1–450. <https://doi.org/10.4324/9781849770323>
- Biau, G., Cadre, B., 2017. Optimization by gradient boosting. pp. 1–32.
- Bid, S., Siddique, G., 2019. Identification of seasonal variation of water turbidity using NDTI method in Panchet Hill Dam, India. *Model. Earth Syst. Environ.* 5, 1179–1200. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00609-8>
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Schelde, K., Thomsen, A., Hasager, C.B., Jensen, N.O., 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sens. Environ.* 81, 179–193. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00342-X)
- Bourg, L., Bruniquel, C., Morris, H., Dash, J., Preusker, R., Dransfeld, S., 2023. Copernicus Sentinel-3 OLCI Land User Handbook. *Esa* 58.
- Breda, N.J.J., 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *J. Exp. Bot.* 54, 2403–2417. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg263>
- Brede, B., Verrelst, J., Gastellu-Etchegorry, J.-P., Clevers, J.G.P.W., Goudzwaard, L., den Ouden, J., Verbesselt, J., Herold, M., 2020. Assessment of Workflow Feature Selection on Forest LAI Prediction with Sentinel-2A MSI, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI. *Remote Sens.* 12, 915. <https://doi.org/10.3390/rs12060915>
- Breiman, L., 2001. Random forests. *Mach. Learn.* 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Breiman, L., 1996. Stacked regressions. *Mach. Learn.* 24, 49–64. <https://doi.org/10.1007/bf00117832>



- Brown, L.A., Ogotu, B.O., Dash, J., 2019. Estimating Forest Leaf Area Index and Canopy Chlorophyll Content with Sentinel-2: An Evaluation of Two Hybrid Retrieval Algorithms. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs11151752>
- Buczowski, G., Richmond, D.S., 2012. The Effect of Urbanization on Ant Abundance and Diversity: A Temporal Examination of Factors Affecting Biodiversity. *PLoS One* 7, e41729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041729>
- Cabello, J., Fernández, N., Alcaraz-Segura, D., Oyonarte, C., Piñeiro, G., Altesor, A., Delibes, M., Paruelo, J.M., 2012. The ecosystem functioning dimension in conservation: Insights from remote sensing. *Biodivers. Conserv.* 21, 3287–3305. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0370-7>
- Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Camps-Valls, G., Grau-Muedra, G., Nutini, F., Crema, A., Boschetti, M., 2016. Multitemporal and multiresolution leaf area index retrieval for operational local rice crop monitoring. *Remote Sens. Environ.* 187, 102–118. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.009>
- Ceccato, P., Flasse, S., Grégoire, J.M., 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sens. Environ.* 82, 188–197. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00037-8)
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., Grégoire, J.-M., 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sens. Environ.* 77, 22–33. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2)
- Cernicharo, J., Verger, A., Camacho, F., 2013. Empirical and physical estimation of Canopy Water Content: From CHRIS/PROBA Data. *Remote Sens.* 5, 5265–5284. <https://doi.org/10.3390/rs5105265>
- Chen, J., Sun, L., 2010. Using MODIS EVI to detect vegetation damage caused by the 2008 ice and snow storms in south China. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 115. <https://doi.org/10.1029/2009JG001246>
- Chen, N., Tsendbazar, N.-E., Hamunyela, E., Verbesselt, J., Herold, M., 2021. Sub-annual tropical forest disturbance monitoring using harmonized Landsat and Sentinel-2 data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 102, 102386. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102386>
- Chen, Y., Li, X., Liu, X., Zhang, Y., Huang, M., 2019. Tele-connecting China's future urban growth to impacts on ecosystem services under the shared socioeconomic pathways. *Sci. Total Environ.* 652, 765–779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.283>
- Chopping, M., Schaaf, C.B., Zhao, F., Wang, Z., Nolin, A.W., Moisen, G.G., Martonchik, J. V., Bull, M., 2011. Forest structure and aboveground biomass in the southwestern United States from MODIS and MISR. *Remote Sens. Environ.* 115, 2943–2953. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.08.031>
- Chrysafis, I., Korakis, G., Kyriazopoulos, A.P., Mallinis, G., 2020a. 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., Korakis, G., Kyriazopoulos, A.P., Mallinis, G., 2020b. Retrieval of Leaf Area Index Using Sentinel-2 Imagery in a Mixed Mediterranean Forest Area. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 9, 622. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110622>
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Gitas, I., Tsakiri-Strati, M., 2017. Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method. *Remote Sens. Environ.* 199, 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.018>
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Korakis, G., Dragozi, E., 2019. Forest diversity estimation using Sentinel-2 and RapidEye imagery: a case study of the Northern Pindos National Park, in: Papadavid, G., Themistocleous, K., Michaelides, S., Ambrosia, V., Hadjimitsis, D.G. (Eds.), *Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019)*. SPIE, p. 50. <https://doi.org/10.1117/12.2533661>
- Clevers, J.G.P.W., Kooistra, L., Schaepman, M.E., 2008. Using spectral information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 10, 388–397. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.03.003>
- Cohrs, C.W., Cook, R.L., Gray, J.M., Albaugh, T.J., 2020. Sentinel-2 Leaf Area Index Estimation for Pine Plantations in the Southeastern United States. *Remote Sens.* 12, 1406. <https://doi.org/10.3390/rs12091406>
- Concepción, E.D., Obrist, M.K., Moretti, M., Altermatt, F., Baur, B., Nobis, M.P., 2016. Impacts of urban sprawl on species richness of plants, butterflies, gastropods and birds: not only built-up area matters. *Urban Ecosyst.* 19, 225–242. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0474-4>



- Coops, N.C., Waring, R.H., Wulder, M.A., Pidgeon, A.M., Radeloff, V.C., 2009. Bird diversity: a predictable function of satellite-derived estimates of seasonal variation in canopy light absorbance across the United States. *J. Biogeogr.* 36, 905–918. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02053.x>
- Croft, H., Chen, J.M., Wang, R., Mo, G., Luo, S., Luo, X., He, L., Gonsamo, A., Arabian, J., Zhang, Y., Simic-Milas, A., Noland, T.L., He, Y., Homolová, L., Malenovský, Z., Yi, Q., Beringer, J., Amiri, R., Hutley, L., Arellano, P., Stahl, C., Bonal, D., 2020. The global distribution of leaf chlorophyll content. *Remote Sens. Environ.* 236, 111479. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111479>
- 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>
- Dash, J., Ogutu, B.O., 2016. Recent advances in space-borne optical remote sensing systems for monitoring global terrestrial ecosystems. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* 40, 322–351. <https://doi.org/10.1177/0309133316639403>
- Dash, J., Vuolo, F., 2012. Algorithm Theoretical Basis Document OLCI Terrestrial Chlorophyll Index (OTCI) 1–53.
- Daughtry, C.S.T., Gallo, K.P., Goward, S.N., Prince, S.D., Kustas, W.P., 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sens. Environ.* 39, 141–152. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90132-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90132-4)
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Van Deursen, W.P.A., 2000. Physically based river basin modelling within a GIS: the LISFLOOD model. *Hydrol. Process.* 14, 1981–1992. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(20000815/30\)14:11/12<1981::AID-HYP49>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<1981::AID-HYP49>3.0.CO;2-F)
- Delegido, J., Verrelst, J., Rivera, J.P., Ruiz-Verdú, A., Moreno, J., 2015. Brown and green LAI mapping through spectral indices. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 35, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.10.001>
- Demuzere, M., Bechtel, B., Middel, A., Mills, G., 2019. Mapping Europe into local climate zones. *PLoS One* 14, 1–2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214474>
- Deur, M., Gašparović, M., Balenović, I., 2020. Tree species classification in mixed deciduous forests using very high spatial resolution satellite imagery and machine learning methods. *Remote Sens.* 12, 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs12233926>
- Djamai, N., Fernandes, R., Weiss, M., McNairn, H., Gořta, K., 2019. Validation of the Sentinel Simplified Level 2 Product Prototype Processor (SL2P) for mapping cropland biophysical variables using Sentinel-2/MSI and Landsat-8/OLI data. *Remote Sens. Environ.* 225, 416–430. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.020>
- Dou, Y., Cosentino, F., Malek, Z., Maiorano, L., Thuiller, W., Verburg, P.H., 2021. A new European land systems representation accounting for landscape characteristics. *Landsc. Ecol.* 36, 2215–2234. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01227-5>
- Downing, J.A., Prairie, Y.T., Cole, J.J., Duarte, C.M., Tranvik, L.J., Striegl, R.G., McDowell, W.H., Kortelainen, P., Caraco, N.F., Melack, J.M., Middelburg, J.J., 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.* 51, 2388–2397. <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.5.2388>
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X., 2016. Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the swir band. *Remote Sens.* 8. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>
- EC, 2021. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 'EU Soil Strategy for 2030 - Reaping the benefits of healthy soils for people, foo.
- EC, 2020. Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. EU Biodiversity Strategy for 2030 - Bringing nature back into our lives.
- EEA, 2023. Copernicus Land Monitoring Service Local Component: Riparian Zones LC/LU and change 2012-2018 User Manual.
- EEA, 2023. 8th Environment Action Programme Drought impact on ecosystems in Europe.
- EEA, 2021. Guidelines for SDG Indicator Calculation. 11.3.1 Land consumption rate to population growth rate.
- EEA, 2019. Mapping Europe's ecosystems [WWW Document]. <https://doi.org/10.2800/850732>



- EEA, 2018. European waters — Assessment of status and pressures 2018, EEA Report, European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/303664>
- ESA, 2021. S3 Product Notice – SLSTR, S3.PN-OLCI-L2L.04, Version 1.
- Estimate of vegetation production of terrestrial ecosystem, 2020. , in: Advanced Remote Sensing. Elsevier, pp. 581–620. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815826-5.00015-5>
- European Commission, 2020. Mapping Guide v6.1 European for a European Urban Atlas. Online 1–228.
- European Commission, J.R.C. (JRC), 2022. EDO Soil Moisture Index Anomaly (SMA) (version 2.1.3). [Dataset] PID: <http://data.europa.eu/89h/882501f9-b783-4b6e-8aca-1875a7c0b372>. Eur. Comm. Jt. Res. Cent.
- European Environment Agency, 2020a. EEA geospatial data catalogue CORINE Land Cover 2018 (raster 100 m), Europe , 6-yearly - version 2020 2018.
- European Environment Agency, 2020b. Imperviousness Change 2015-2018 (raster 20 m), Europe, 3-yearly. <https://doi.org/https://doi.org/10.2909/e3284161-abef-4a2e-a291-cd8ce1cab54e>
- European Environment Agency, 2018. Copernicus Land Monitoring Service High Resolution land cover characteristics. Imperviousness 2018, Imperviousness Change 2015 – 2018 and Built-up 2018, Online.
- European Environment Agency, 2011. EEA - Landscape fragmentation in Europe.
- European Environmnet Agency, 2023. Net land take in cities and commuting zones in Europe [WWW Document]. EEA. URL <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/net-land-take-in-cities>
- European Soil Data Centre (ESDAC), 2024. Soil Sealing [WWW Document]. Jt. Res. Cent. URL <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-sealing>
- Feng, M., Sexton, J.O., Channan, S., Townshend, J.R., 2016. A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic–spectral classification algorithm. *Int. J. Digit. Earth* 9, 113–133. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1026420>
- Féret, J.-B., Asner, G.P., 2014. Mapping tropical forest canopy diversity using high-fidelity imaging spectroscopy. *Ecol. Appl.* 24, 1289–1296. <https://doi.org/10.1890/13-1824.1>
- Féret, J.-B., de Boissieu, F., 2024. prospect: an R package to link leaf optical properties with their chemical and structural properties with the leaf model PROSPECT. *J. Open Source Softw.* 9, 6027. <https://doi.org/10.21105/joss.06027>
- Feret, J.-B., François, C., Asner, G.P., Gitelson, A.A., Martin, R.E., Bidet, L.P.R., Ustin, S.L., le Maire, G., Jacquemoud, S., 2008. PROSPECT-4 and 5: Advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments. *Remote Sens. Environ.* 112, 3030–3043. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.012>
- Féret, J., de Boissieu, F., 2020. biodivMapR: An R package for α - and β -diversity mapping using remotely sensed images. *Methods Ecol. Evol.* 11, 64–70. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13310>
- Fernández, N., Paruelo, J.M., Delibes, M., 2010. Ecosystem functioning of protected and altered Mediterranean environments: A remote sensing classification in Doñana, Spain. *Remote Sens. Environ.* 114, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.09.001>
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R., 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- Fornacca, D., Ren, G., Xiao, W., 2018. Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China. *Remote Sens.* 10. <https://doi.org/10.3390/rs10081196>
- Friedman, J.H., 2001. Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Ann. Stat.* 29, 1189–1232. <https://doi.org/10.2307/2699986>
- Fu, P., Meacham-Hensold, K., Guan, K., Bernacchi, C.J., 2019. Hyperspectral leaf reflectance as proxy for photosynthetic capacities: An ensemble approach based on multiple machine learning algorithms. *Front. Plant Sci.* 10, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00730>
- Fuster, B., Sánchez-Zapero, J., Camacho, F., García-Santos, V., Verger, A., Lacaze, R., Weiss, M., Baret, F., Smets, B., 2020. Quality Assessment of PROBA-V LAI, fAPAR and fCOVER Collection 300 m Products of Copernicus Global Land Service. *Remote Sens.* 12, 1017. <https://doi.org/10.3390/rs12061017>
- Gao, B., 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.



- Remote Sens. Environ. 58, 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- García-Haro, F.J., Campos-Taberner, M., Moreno, Á., Tagesson, H.T., Camacho, F., Martínez, B., Sánchez, S., Piles, M., Camps-Valls, G., Yebra, M., Gilabert, M.A., 2020. A global canopy water content product from AVHRR/Metop. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 162, 77–93. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2020.02.007>
- Gardner, R.C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C.M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D., Rosenqvist, A., Walpole, M., 2015. State of the World's Wetlands and Their Services to People: A Compilation of Recent Analyses. SSRN Electron. J. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2589447>
- Gillespie, T.W., Foody, G.M., Rocchini, D., Giorgi, A.P., Saatchi, S., 2008. Measuring and modelling biodiversity from space. Prog. Phys. Geogr. Earth Environ. 32, 203–221. <https://doi.org/10.1177/0309133308093606>
- Gitelson, A.A., 2019. Remote estimation of fraction of radiation absorbed by photosynthetically active vegetation: generic algorithm for maize and soybean. Remote Sens. Lett. 10, 283–291. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1547445>
- Gitelson, A.A., Peng, Y., Arkebauer, T.J., Schepers, J., 2014. Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production. Remote Sens. Environ. 144, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.004>
- Goward, S.N., Tucker, C.J., Dye, D.G., 1985. North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer. Vegetatio 64, 3–14. <https://doi.org/10.1007/BF00033449>
- Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M., 1999. Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, fAPAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. Remote Sens. Environ. 70, 29–51. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00056-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00056-5)
- Green, D.S., Erickson, J.E., Kruger, E.L., 2003. Foliar morphology and canopy nitrogen as predictors of light-use efficiency in terrestrial vegetation. Agric. For. Meteorol. 115, 163–171. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00210-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00210-1)
- Guerschman, J.P., Paruelo, J.M., Burke, I.C., 2003. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. Ecol. Appl. 13, 616–628. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013\[0616:LUIOTN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0616:LUIOTN]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>
- Guyet, T., Nicolas, H., 2016. Long term analysis of time series of satellite images. Pattern Recognit. Lett. 70, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.11.005>
- 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.
- Hardisky, M.A., Daiber, F.C., Roman, C.T., Klemas, V., 1984. Remote sensing of biomass and annual net aerial primary productivity of a salt marsh. Remote Sens. Environ. 16, 91–106. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(84\)90055-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(84)90055-5)
- Harvey, E.T., Kratzer, S., Andersson, A., 2015. Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea. Ambio 44, 392–401. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0658-4>
- Hesselbarth, M.H.K., Sciaini, M., Nowosad, J., Hanss, S., Graham, L.J., Hollister, J., With, K.A., 2021. Package “landscapemetrics” Reference Manual.
- Hesselbarth, M.H.K., Sciaini, M., With, K.A., Wiegand, K., Nowosad, J., 2019. landscapemetrics : an open-source R tool to calculate landscape metrics. Ecography (Cop.). 42, 1648–1657. <https://doi.org/10.1111/ecog.04617>
- Hird, J.N., McDermid, G.J., 2009. Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques. Remote Sens. Environ. 113, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.003>
- Hoare, D., Frost, P., 2004. Phenological Description of Natural Vegetation in Southern Africa Using Remotely-Sensed Vegetation Data. Appl. Veg. Sci. 7, 19–28.
- Hobi, M.L., Dubinin, M., Graham, C.H., Coops, N.C., Clayton, M.K., Pidgeon, A.M., Radeloff, V.C., 2017. A comparison of Dynamic Habitat Indices derived from different MODIS products as predictors of avian species richness. Remote Sens. Environ. 195, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.018>
- Hobi, M.L., Farwell, L.S., Dubinin, M., Kolesov, D., Pidgeon, A.M., Coops, N.C., Radeloff, V.C., 2021. Patterns of bird species



- richness explained by annual variation in remotely sensed Dynamic Habitat Indices. *Ecol. Indic.* 127, 107774. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107774>
- Holgerson, M.A., Raymond, P.A., 2016. Large contribution to inland water CO₂ and CH₄ emissions from very small ponds. *Nat. Geosci.* 9, 222–226. <https://doi.org/10.1038/ngeo2654>
- Homolová, L., Malenovský, Z., Clevers, J.G.P.W., García-Santos, G., Schaepman, M.E., 2013. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecol. Complex.* 15, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.06.003>
- Hothorn, T., 2017. Peter Buehlmann, Petros Drineas, Michael Kane, Mark Van Der Laan. Handbook. *Handbook of Big Data.* Boca Raton: CRC Press. *Biometrics* 73, 1058–1059. <https://doi.org/10.1111/biom.12758>
- Houborg, R., McCabe, M.F., 2018. A hybrid training approach for leaf area index estimation via Cubist and random forests machine-learning. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 135, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.004>
- Huete, A., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* 59, 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., Ferreira, L., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 83, 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Huete, A., Justice, C., 1999. Modis Vegetation Index Algorithm Theoretical Basis. *Environ. Sci.* 129. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.019>
- Huntjr, E., Rock, B., 1989. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances☆. *Remote Sens. Environ.* 30, 43–54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)
- Ibáñez, I., Katz, D.S.W., Peltier, D., Wolf, S.M., Connor Barrie, B.T., 2014. Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: the challenge of multiprocess–multiresponse dynamics. *J. Ecol.* 102, 882–895. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12223>
- Jacquemoud, S., Baret, F., 1990. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sens. Environ.* 34, 75–91. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90100-Z](https://doi.org/10.1016/0034-4257(90)90100-Z)
- Jacquemoud, S., Verhoef, W., Baret, F., Bacour, C., Zarco-Tejada, P.J., Asner, G.P., François, C., Ustin, S.L., 2009. PROSPECT + SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sens. Environ.* 113, S56–S66. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.01.026>
- Jaeger, J.A.G., 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landsc. Ecol.* 15, 115–130. <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- Jay, S., Bendoula, R., Hadoux, X., Féret, J.-B., Gorretta, N., 2016. A physically-based model for retrieving foliar biochemistry and leaf orientation using close-range imaging spectroscopy. *Remote Sens. Environ.* 177, 220–236. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.029>
- 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>
- Jiang, W., Ni, Y., Pang, Z., He, G., Fu, J., Lu, J., Yang, K., Long, T., Lei, T., 2020. A new index for identifying water body from sentinel-2 satellite remote sensing imagery. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 5, 33–38. <https://doi.org/10.5194/isprs-Annals-V-3-2020-33-2020>
- Jiang, Z., Li, L., Ustin, S.L., 2009. Estimation of canopy water content with MODIS spectral index, in: Gao, W., Jackson, T.J. (Eds.), . p. 74540V. <https://doi.org/10.1117/12.826277>
- Jin, H., Eklundh, L., 2014. A physically based vegetation index for improved monitoring of plant phenology. *Remote Sens. Environ.* 152, 512–525. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.010>
- Jin, H., Jönsson, A.M., Bolmgren, K., Langvall, O., Eklundh, L., 2017. Disentangling remotely-sensed plant phenology and snow seasonality at northern Europe using MODIS and the plant phenology index. *Remote Sens. Environ.* 198, 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.015>
- Jin, H., Jönsson, A.M., Olsson, C., Lindström, J., Jönsson, P., Eklundh, L., 2019. New satellite-based estimates show significant trends in spring phenology and complex sensitivities to temperature and precipitation at northern European



- latitudes. *Int. J. Biometeorol.* 63, 763–775. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01690-5>
- Jozdani, S.E., Johnson, B.A., Chen, D., 2019. Comparing Deep Neural Networks, Ensemble Classifiers, and Support Vector Machine Algorithms for Object-Based Urban Land Use/Land Cover Classification. *Remote Sens.* 11, 1713. <https://doi.org/10.3390/rs11141713>
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J.C., Mathis, M., Brumby, S.P., 2021. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning 4704–4707. <https://doi.org/10.1109/igarss47720.2021.9553499>
- Keith, D., Gorrod, E., 2006. The meanings of vegetation condition. *Ecol. Manag. Restor.* 7, 7–9. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2006.00285.x>
- Khalid, H.W., Khalil, R.M.Z., Qureshi, M.A., 2021. Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.* 24, 619–634. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.003>
- Kiala, Z., Odindi, J., Mutanga, O., 2017. Potential of interval partial least square regression in estimating leaf area index. *S. Afr. J. Sci.* 113, 1–9. <https://doi.org/10.17159/sajs.2017/20160277>
- Kogan, F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. Remote Sens.* 11, 1405–1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>
- Kooistra, L., Berger, K., Brede, B., Graf, L.V., Aasen, H., Roujean, J.L., Machwitz, M., Schlerf, M., Atzberger, C., Prikaziuk, E., Ganeva, D., Tomelleri, E., Croft, H., Reyes Muñoz, P., Garcia Millan, V., Darvishzadeh, R., Koren, G., Herrmann, I., Rozenstein, O., Belda, S., Rautiainen, M., Rune Karlsen, S., Figueira Silva, C., Cerasoli, S., Pierre, J., Tanır Kayıkçı, E., Halabuk, A., Tunc Gormus, E., Fluit, F., Cai, Z., Kycko, M., Udelhoven, T., Verrelst, J., 2024. Reviews and syntheses: Remotely sensed optical time series for monitoring vegetation productivity. *Biogeosciences* 21, 473–511. <https://doi.org/10.5194/bg-21-473-2024>
- La Notte, A., Czucz, B., Vallecillo, S., Polce, C., Maes, J., 2022. Ecosystem condition underpins the generation of ecosystem services: An accounting perspective. *One Ecosyst.* 7. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e81487>
- Lacaux, J.P., Tourre, Y.M., Vignolles, C., Ndione, J.A., Lafaye, M., 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sens. Environ.* 106, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>
- Landry, M., 2018. Machine Learning with R and H2O, H2O.ai, Inc. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Laonamsai, J., Julphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., Tomun, N., 2023. Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEl for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology* 10, 70. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030070>
- Lazaridis, D.C., Verbesselt, J., Robinson, A.P., 2011. Penalized regression techniques for prediction: a case study for predicting tree mortality using remotely sensed vegetation indices. *Can. J. For. Res.* 41, 24–34. <https://doi.org/10.1139/X10-180>
- le Maire, G., François, C., Dufrêne, E., 2004. Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 89, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.09.004>
- Lehner, B., Döll, P., 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *J. Hydrol.* 296, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.03.028>
- Li, F., Kustas, W.P., Prueger, J.H., Neale, C.M.U., Jackson, T.J., 2005. Utility of Remote Sensing–Based Two-Source Energy Balance Model under Low- and High-Vegetation Cover Conditions. *J. Hydrometeorol.* 6, 878–891. <https://doi.org/10.1175/JHM464.1>
- Li, J., Li, L., Song, Y., Chen, J., Wang, Z., Bao, Y., Zhang, W., Meng, L., 2023. A robust large-scale surface water mapping framework with high spatiotemporal resolution based on the fusion of multi-source remote sensing data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 118, 103288. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103288>
- Li, Z., Erb, A., Sun, Q., Liu, Y., Shuai, Y., Wang, Z., Boucher, P., Schaaf, C., 2018. Preliminary assessment of 20-m surface albedo retrievals from sentinel-2A surface reflectance and MODIS/VIRS surface anisotropy measures. *Remote Sens. Environ.* 217, 352–365. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.025>
- Liang, S., Wang, J., 2020a. Fraction of absorbed photosynthetically active radiation, in: Liang, S., Wang, J. (Eds.), *Advanced Remote Sensing*. Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 447–476.



- Liang, S., Wang, J., 2020b. Fractional vegetation cover, in: Liang, S., Wang, J. (Eds.), *Advanced Remote Sensing*. Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 477–510.
- Linard, C., Gilbert, M., Snow, R.W., Noor, A.M., Tatem, A.J., 2012. Population distribution, settlement patterns and accessibility across Africa in 2010. *PLoS One* 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031743>
- Liu, L., Li, S., Yang, W., Wang, X., Luo, X., Ran, P., Zhang, H., 2023. Forest Canopy Water Content Monitoring Using Radiative Transfer Models and Machine Learning. *Forests* 14. <https://doi.org/10.3390/f14071418>
- Liu, M., Huang, F., Zhang, H., Wang, P., 2009. Vegetation Canopy Water Content Estimation Using GVM1 and EWT Model from MODIS Data, in: 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing. IEEE, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/CISP.2009.5301008>
- Liu, S., Wu, Y., Zhang, G., Lin, N., Liu, Z., 2023. Comparing Water Indices for Landsat Data for Automated Surface Water Body Extraction under Complex Ground Background: A Case Study in Jilin Province. *Remote Sens.* 15. <https://doi.org/10.3390/rs15061678>
- Liu, Y.Y., Dorigo, W.A., Parinussa, R.M., de Jeu, R.A.M., Wagner, W., McCabe, M.F., Evans, J.P., van Dijk, A.I.J.M., 2012. Trend-preserving blending of passive and active microwave soil moisture retrievals. *Remote Sens. Environ.* 123, 280–297. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.014>
- Liu, Zhang, Xie, Liu, Song, Chen, Peng, 2019. Global White-Sky and Black-Sky FAPAR Retrieval Using the Energy Balance Residual Method: Algorithm and Validation. *Remote Sens.* 11, 1004. <https://doi.org/10.3390/rs11091004>
- Lizcano-Sandoval, L., Anastasiou, C., Montes, E., Raulerson, G., Sherwood, E., Muller-Karger, F.E., 2022. Seagrass distribution, areal cover, and changes (1990–2021) in coastal waters off West-Central Florida, USA. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 279, 108134. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108134>
- Lymburner, L., Beggs, P.J., Jacobson, C.R., 2000. Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 66, 183–191.
- Ma, C., Guo, Z.Z., Zhang, X.K., Han, R.M., 2011. Annual integral changes of time serial NDVI in mining subsidence area. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)* 21. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(12\)61644-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(12)61644-6)
- Ma, M., Liu, J., Liu, M., Zeng, J., Li, Y., 2021. Tree Species Classification Based on Sentinel-2 Imagery and Random Forest Classifier in the Eastern Regions of the Qilian Mountains. *Forests* 12, 1736. <https://doi.org/10.3390/f12121736>
- Maeda, E.E., Arcoverde, G.F.B., Pellikka, P., Shimabukuro, Y.E., 2011. Fire risk assessment in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and change vector analysis. *Appl. Geogr.* . <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.02.004>
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., Santos, F., Paracchini, M., Keune, H., Wittmer, H., Hauck, J., Fiala, I., Verburg, P., Condé, S., Schägner, J., San Miguel, J., Estreguil, C., Ostermann, O., Barredo, J., Pereira, H., Stott, A., Laporte, V., Meiner, A., Olah, B., Royo Gelabert, E., Spyropoulou, R., Petersen, J., Maguire, C., Zal, N., Achilleos, E., Rubin, A., Ledoux, L., Brown, C., Raes, C., Jacobs, S., Vandewalle, M., Connor, D., Bidoglio, G., 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020, Publications office of the European Union. Luxembourg. <https://doi.org/10.2779/12398>
- Malenovský, Z., Albrechtová, J., Lhotáková, Z., Zurita-Milla, R., Clevers, J.G.P.W., Schaepman, M.E., Cudlín, P., 2006. Applicability of the PROSPECT model for Norway spruce needles. *Int. J. Remote Sens.* 27, 5315–5340. <https://doi.org/10.1080/01431160600762990>
- Malkinson, D., Kopel, D., Wittenberg, L., 2018. From rural-urban gradients to patch – matrix frameworks: Plant diversity patterns in urban landscapes. *Landsc. Urban Plan.* 169, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.021>
- 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>
- Manakos, I., Braun, M., 2014. Remote Sensing and Digital Image Processing Land Use and Land Cover Mapping in Europe.
- Marando, F., Heris, M.P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., Maes, J., 2022. Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustain. Cities Soc.* 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Mariotto, I., Thenkabail, P.S., Huete, A., Slonecker, E.T., Platonov, A., 2013. Hyperspectral versus multispectral crop-productivity modeling and type discrimination for the HypSIPI mission. *Remote Sens. Environ.* 139, 291–305.



<https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.002>

- McFEETERS, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Meyer, L.H., Heurich, M., Beudert, B., Premier, J., Pflugmacher, D., 2019. Comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 Data for Estimation of Leaf Area Index in Temperate Forests. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs11101160>
- 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>
- Mishra, S., Mishra, D.R., 2012. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sens. Environ.* 117, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>
- Moiret-Guigand, A., Jaffrain, G., Pennec, A., Dufourmont, H., 2021. CLC2018 / CLCC1218 Validation Report.
- Myneni, R.B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J.L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, Y., Song, X., Zhang, Y., Smith, G.R., Lotsch, A., Friedl, M., Morisette, J.T., Votava, P., Nemani, R.R., Running, S.W., 2002. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 83, 214–231. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00074-3)
- Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Appl. Geogr.* 22, 175–186.
- Naimi, A.I., Balzer, L.B., 2018. Stacked generalization: an introduction to super learning. *Eur. J. Epidemiol.* 33, 459–464. <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0390-z>
- Natekin, A., Knoll, A., 2013. Gradient boosting machines, a tutorial. *Front. Neurobot.* 7. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021>
- Omer, G., Mutanga, O., Abdel-Rahman, E.M., Adam, E., 2016. Empirical prediction of leaf area index (LAI) of endangered tree species in intact and fragmented indigenous forests ecosystems using WorldView-2 data and two robust machine learning algorithms. *Remote Sens.* 8, 1–26. <https://doi.org/10.3390/rs8040324>
- Ormsby, J.P., Choudhury, B.J., Owe, M., 1987. Vegetation spatial variability and its effect on vegetation indices. *Int. J. Remote Sens.* 8, 1301–1306. <https://doi.org/10.1080/01431168708954775>
- Ouma, Y.O., Tateishi, R., 2006. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. *Int. J. Remote Sens.* 27, 3153–3181. <https://doi.org/10.1080/01431160500309934>
- Palmer, M.W., Earls, P.G., Hoagland, B.W., White, P.S., Wohlgemuth, T., 2002. Quantitative tools for perfecting species lists. *Environmetrics* 13, 121–137. <https://doi.org/10.1002/env.516>
- Pan, F., Xi, X., Wang, C., 2020. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using landsat imagery. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/rs12101611>
- Pan, Z., Huang, J., Zhou, Q., Wang, L., Cheng, Y., Zhang, H., Blackburn, G.A., Yan, J., Liu, J., 2015. Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 34, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.011>
- Papathanaopoulou, E., Simis, S., Zoffoli, L.M., 2019. Satellite-assisted monitoring of water quality to support the implementation of the Water Framework Directive. EOMORES white Pap. 28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3463051>
- Paruelo, J.M., Epstein, H.E., Lauenroth, W.K., Burke, I.C., 1997. ANPP Estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 78, 953. <https://doi.org/10.2307/2266073>
- Pasqualotto, N., Delegido, J., Van Wittenberghe, S., Rinaldi, M., Moreno, J., 2019. Multi-crop green LAI estimation with a new simple sentinel-2 LAI index (SeLI). *Sensors (Switzerland)* 19. <https://doi.org/10.3390/s19040904>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A.S., 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Pettorelli, N., 2015. Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature* 523, 5–7. <https://doi.org/10.1038/523403a>



- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewska, B., Lima, M., Kausrud, K., 2011. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Clim. Res.* 46, 15–27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>
- 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>
- Potes, M., Rodrigues, G., Marchã Penha, A., Helena Novais, M., João Costa, M., Salgado, R., Manuela Morais, M., 2018. Use of Sentinel 2-MSI for water quality monitoring at Alqueva reservoir, Portugal. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.* 380, 73–79. <https://doi.org/10.5194/piahs-380-73-2018>
- Putzenlechner, B., Marzahn, P., Koal, P., Sánchez-Azofeifa, A., 2022. Fractional Vegetation Cover Derived from UAV and Sentinel-2 Imagery as a Proxy for In Situ FAPAR in a Dense Mixed-Coniferous Forest? *Remote Sens.* 14. <https://doi.org/10.3390/rs14020380>
- Qian, B., Ye, H., Huang, W., Xie, Q., Pan, Y., Xing, N., Ren, Y., Guo, A., Jiao, Q., Lan, Y., 2022. A sentinel-2-based triangular vegetation index for chlorophyll content estimation. *Agric. For. Meteorol.* 322, 109000. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109000>
- Quan, Y., Li, M., Hao, Y., Liu, J., Wang, B., 2023. Tree species classification in a typical natural secondary forest using UAV-borne LiDAR and hyperspectral data. *GIScience Remote Sens.* 60. <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2171706>
- R Core Team, 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing [WWW Document].
- Radeloff, V.C., Dubinin, M., Coops, N.C., Allen, A.M., Brooks, T.M., Clayton, M.K., Costa, G.C., Graham, C.H., Helmers, D.P., Ives, A.R., Kolesov, D., Pidgeon, A.M., Rapacciuolo, G., Razenkova, E., Suttodate, N., Young, B.E., Zhu, L., Hobi, M.L., 2019. The Dynamic Habitat Indices (DHIs) from MODIS and global biodiversity. *Remote Sens. Environ.* 222, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.009>
- Richardson, A.D., Dail, D.B., Hollinger, D.Y., 2011. Leaf area index uncertainty estimates for model–data fusion applications. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1287–1292. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.05.009>
- Rocchini, D., Boyd, D.S., Féret, J.-B., Foody, G.M., He, K.S., Lausch, A., Nagendra, H., Wegmann, M., Pettorelli, N., 2016. Satellite remote sensing to monitor species diversity: potential and pitfalls. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 2, 25–36. <https://doi.org/10.1002/rse2.9>
- Rocchini, D., Hernández-Stefanoni, J.L., He, K.S., 2015. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: A conceptual review. *Ecol. Inform.* 25, 22–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.10.006>
- Roy, H.G., Fox, D.M., Emsellem, K., Gobinda, H., Fox, D.M., Spatial, K.E., 2015. Spatial dynamics of land cover change in a Euro-Mediterranean catchment (1950 – 2008). *J. Land Use Sci.* 10, 277–297. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.898105>
- Ryu, Y., Berry, J.A., Baldocchi, D.D., 2019. What is global photosynthesis? History, uncertainties and opportunities. *Remote Sens. Environ.* 223, 95–114. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.016>
- Sakamoto, T., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., Arkebauer, T.J., Wardlow, B.D., Suyker, A.E., Verma, S.B., Shibayama, M., 2012. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. *Agric. For. Meteorol.* 154–155, 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.014>
- Sakamoto, T., Wardlow, B.D., Gitelson, A.A., Verma, S.B., Suyker, A.E., Arkebauer, T.J., 2010. A Two-Step Filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 114, 2146–2159. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.019>
- Savitzky, A., Golay, M.J.E., 1964. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Anal. Chem.* 36, 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
- Savtchenko, A., Ouzounov, D., Ahmad, S., Acker, J., Leptoukh, G., Koziana, J., Nickless, D., 2004. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. *Adv. Sp. Res.* 34, 710–714. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.03.012>
- Schmitt, M., Prexl, J., Ebel, P., Liebel, L., Zhu, X.X., 2020. Weakly supervised semantic segmentation of satellite images for land cover mapping-challenges and opportunities. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 5, 795–802. <https://doi.org/10.5194/isprs-Annals-V-3-2020-795-2020>
- Schultz, M., Shapiro, A., Clevers, J.G.P.W., Beech, C., Herold, M., 2018. Forest cover and vegetation degradation detection



- in the Kavango Zambezi Transfrontier Conservation area using BFAST monitor. *Remote Sens.* 10. <https://doi.org/10.3390/rs10111850>
- Schwarz, M., Zimmermann, N.E., 2005. A new GLM-based method for mapping tree cover continuous fields using regional MODIS reflectance data. *Remote Sens. Environ.* 95, 428–443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.010>
- Sellers, P.J., Randall, D.A., Collatz, G.J., Berry, J.A., Field, C.B., Dazlich, D.A., Zhang, C., Collelo, G.D., Bounoua, L., 1996. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMS. Part I: Model Formulation. *J. Clim.* 9, 676–705. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<0676:ARLSPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<0676:ARLSPF>2.0.CO;2)
- Seto, K.C., Reenberg, A., Boone, C.G., Fragkias, M., Haase, D., Langanke, T., Marcotullio, P., Munroe, D.K., Olah, B., Simon, D., 2012. Urban land teleconnections and sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 7687–92. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117622109>
- Shannon, C.E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Tech. J.* 27, 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Shaw, B.J., Vliet, J. Van, Verburg, P.H., 2020. Landscape and Urban Planning The peri-urbanization of Europe : A systematic review of a multifaceted process. *Landsc. Urban Plan.* 196, 103733. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103733>
- Shen, L., Li, C., 2010. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. 2010 18th Int. Conf. Geoinformatics, *Geoinformatics 2010* 1–4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567762>
- Shimizu, K., Murakami, W., Furuichi, T., Estoque, R.C., 2023. Mapping Land Use/Land Cover Changes and Forest Disturbances in Vietnam Using a Landsat Temporal Segmentation Algorithm. *Remote Sens.* 15, 851. <https://doi.org/10.3390/rs15030851>
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163, 688–688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Sims, D.A., Gamon, J.A., 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ.* 81, 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)
- Sittaro, F., Hutengs, C., Semella, S., Vohland, M., 2022. A Machine Learning Framework for the Classification of Natura 2000 Habitat Types at Large Spatial Scales Using MODIS Surface Reflectance Data. *Remote Sens.* 14, 823. <https://doi.org/10.3390/rs14040823>
- Song, C., 2012. Optical remote sensing of forest leaf area index and biomass. *Prog. Phys. Geogr.* 37, 98–113. <https://doi.org/10.1177/0309133312471367>
- Stoian, A., Poulain, V., Inglada, J., Poughon, V., Derksen, D., 2019. Land Cover Maps Production with High Resolution Satellite Image Time Series and Convolutional Neural Networks: Adaptations and Limits for Operational Systems. *Remote Sens.* 11, 1986. <https://doi.org/10.3390/rs11171986>
- Stoms, D.M., Hargrove, W.W., 2000. Potential NDVI as a baseline for monitoring ecosystem functioning. *Int. J. Remote Sens.* 21, 401–407. <https://doi.org/10.1080/014311600210920>
- Stürck, J., Levers, C., van der Zanden, E.H., Schulp, C.J.E., Verkerk, P.J., Kuemmerle, T., Helming, J., Lotze-Campen, H., Tabeau, A., Popp, A., Schrammeijer, E., Verburg, P., 2018. Simulating and delineating future land change trajectories across Europe. *Reg. Environ. Chang.* 18, 733–749. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0876-0>
- Sulla-Menashe, D., Gray, J.M., Abercrombie, S.P., Friedl, M.A., 2019. Hierarchical mapping of annual global land cover 2001 to present: The MODIS Collection 6 Land Cover product. *Remote Sens. Environ.* 222, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.013>
- Swinnen, E., Toté, C., Van Hoolst, R., 2023. Copernicus Global Land Operations” Vegetation and Energy” Issue 1.30 1–67.
- Tikhonov, A.N., 1943. On the stability of inverse problems.
- Tilman, D., Isbell, F., Cowles, J.M., 2014. Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 45, 471–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917>
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., Nöges, T., 2016. First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sens.* 8, 1–14. <https://doi.org/10.3390/rs8080640>
- Touzani, S., Granderson, J., Fernandes, S., 2018. Gradient boosting machine for modeling the energy consumption of



- commercial buildings. *Energy Build.* 158, 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.039>
- Traore, A., Ata-Ul-Karim, S.T., Duan, A., Soothar, M.K., Traore, S., Zhao, B., 2021. Predicting Equivalent Water Thickness in Wheat Using UAV Mounted Multispectral Sensor through Deep Learning Techniques. *Remote Sens.* 13, 4476. <https://doi.org/10.3390/rs13214476>
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- United Nations, 2021. SDG Indicators Metadata - Indicator 15.4.2: Mountain Green Cover Index. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8905-9_300375
- Upadhyay, A., Singh, R., Dhonde, O., 2020. Random forest based classification of seagrass habitat. *J. Inf. Optim. Sci.* 41, 613–620. <https://doi.org/10.1080/02522667.2020.1753303>
- Ustin, S.L., Gamon, J.A., 2010. Remote sensing of plant functional types. *New Phytol.* 186, 795–816. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x>
- 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>
- van Asselen, S., Verburg, P.H., 2012. A Land System representation for global assessments and land-use modeling. *Glob. Chang. Biol.* 18, 3125–3148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02759.x>
- van Vliet, J., 2019. Direct and indirect loss of natural area from urban expansion. *Nat. Sustain.* 2, 755–763. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0340-0>
- Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Falanga Bolognesi, S., D’Urso, G., Di Bene, C., Pennelli, B., Vuolo, F., Farina, R., Pulighe, G., Napoli, R., 2018. Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requirements for tomato crop in Central Italy. *Remote Sens. Environ.* 215, 452–470. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.035>
- Verde, N., Kokkoris, I.P., Georgiadis, C., Kaimaris, D., Dimopoulos, P., Mitsopoulos, I., Mallinis, G., 2020. National Scale Land Cover Classification for Ecosystem Services Mapping and Assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data and Google Earth Engine. *Remote Sens.* 12, 3303. <https://doi.org/10.3390/rs12203303>
- Verhoef, W., 1984. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. *Remote Sens. Environ.* 16, 125–141. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(84\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(84)90057-9)
- Verhoef, W., Jia, L., Xiao, Q., Su, Z., 2007. Unified Optical-Thermal Four-Stream Radiative Transfer Theory for Homogeneous Vegetation Canopies. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 45, 1808–1822. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895844>
- Verrelst, J., Rivera, J.P., Gitelson, A., Delegido, J., Moreno, J., Camps-Valls, G., 2016. Spectral band selection for vegetation properties retrieval using Gaussian processes regression. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 52, 554–567. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.016>
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R.B., 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science (80-)*. 289, 284–288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
- Vuolo, F., Žóltak, M., Pipitone, C., Zappa, L., Wenng, H., Immitzer, M., Weiss, M., Baret, F., Atzberger, C., 2016. Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sens.* 8, 938. <https://doi.org/10.3390/rs8110938>
- Walz, U., Syrbe, R.U., 2013. Linking landscape structure and biodiversity. *Ecol. Indic.* 31, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.032>
- Wandl, A., 2017. Comparing the Landscape Fragmentation and Accessibility of Green Spaces in Territories-in-Between across Europe. *Urban Plan.* 2, 161–180. <https://doi.org/10.17645/up.v2i4.1122>
- Wang, D., Yang, L., 2000. Visual hiding scheme using one secret image. *Jisuanji Xuebao/Chinese J. Comput.* 23, 943–948.
- Wang, J., Xiao, X., Bajgain, R., Starks, P., Steiner, J., Doughty, R.B., Chang, Q., 2019a. Estimating leaf area index and aboveground biomass of grazing pastures using Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images. *ISPRS J. Photogramm.*



- Remote Sens. 154, 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.007>
- Wang, J., Xiao, X., Bajgain, R., Starks, P., Steiner, J., Doughty, R.B., Chang, Q., 2019b. Estimating leaf area index and aboveground biomass of grazing pastures using Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 154, 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.007>
- Wang, L., Chang, Q., Yang, J., Zhang, X., Li, F., 2018. Estimation of paddy rice leaf area index using machine learning methods based on hyperspectral data from multi-year experiments. PLoS One 13, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207624>
- Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., Granier, A., 2005. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. Remote Sens. Environ. 94, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.006>
- Wegscheider, S., Lindmayer, A., Stumpf, A., 2018. Urban Atlas 2018 Validation Report.
- Weiss, M., Banko, G., 2018. Ecosystem Type Map v3.1 – Terrestrial and marine ecosystems. EEA - European Topic Centre on Biological Diversity, Paris.
- Weiss, M., Baret, F., 2016. S2ToolBox Level 2 products: LAI, FAPAR, FCOVER - Version 1.1. Sentin. ToolBox Level2 Prod. 53.
- Weiss, M., Baret, F., Jay, S., 2020. S2ToolBox Level 2 Products: LAI, FAPAR, FCOVER.(Version 2.0). Avignon Inst. Natl. la Rech. Agron. 53.
- Weissteiner, C., Ickerott, M., Ott, H., Probeck, M., Ramminger, G., Clerici, N., Dufourmont, H., de Sousa, A., 2016. Europe's Green Arteries—A Continental Dataset of Riparian Zones. Remote Sens. 8, 925. <https://doi.org/10.3390/rs8110925>
- What Is Deep Learning? [WWW Document], n.d. . Mathworks.
- Whittaker, R.H., 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21, 213–251. <https://doi.org/10.2307/1218190>
- Whittaker, R.H., Bormann, F.H., Likens, G.E., Siccama, T.G., 1974. The Hubbard Brook Ecosystem Study: Forest Biomass and Production. Ecol. Monogr. 44, 233–254. <https://doi.org/10.2307/1942313>
- Wicaksono, P., Lazuardi, W., 2019. Random Forest Classification Scenarios for Benthic Habitat Mapping using Planetscope Image, in: IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp. 8245–8248. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8899825>
- Wilson, P.J., Thompson, K., Hodgson, J.G., 1999. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. New Phytol. 143, 155–162. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00427.x>
- Wolpert, D., 1992. Stacked Generalization (Stacking). Neural Networks 5, 241–259.
- Wu, D., Lin, C.-T., Huang, J., Zeng, Z., 2019. On the Functional Equivalence of TSK Fuzzy Systems to Neural Networks, Mixture of Experts, CART, and Stacking Ensemble Regression. IEEE Trans. Fuzzy Syst. 1–1. <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2019.2941697>
- Wu, J., Liang, S., 2018. Developing an Integrated Remote Sensing Based Biodiversity Index for Predicting Animal Species Richness. Remote Sens. 10, 739. <https://doi.org/10.3390/rs10050739>
- Xiao, Z., Liang, S., Wang, T., Jiang, B., 2016. Retrieval of leaf area index (LAI) and fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR) from VIIRS time-series data. Remote Sens. 8. <https://doi.org/10.3390/rs8040351>
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. Int. J. Remote Sens. 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Yan, J., Zhang, G., Ling, H., Han, F., 2022. Comparison of time-integrated NDVI and annual maximum NDVI for assessing grassland dynamics. Ecol. Indic. 136, 108611. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108611>
- Yan, K., Park, T., Yan, G., Liu, Z., Yang, B., Chen, C., Nemani, R., Knyazikhin, Y., Myneni, R., 2016. Evaluation of MODIS LAI/FPAR Product Collection 6. Part 2: Validation and Intercomparison. Remote Sens. 8, 460. <https://doi.org/10.3390/rs8060460>
- Yilmaz, M.T., Hunt, E.R., Goins, L.D., Ustin, S.L., Vanderbilt, V.C., Jackson, T.J., 2008. Vegetation water content during SMEX04 from ground data and Landsat 5 Thematic Mapper imagery. Remote Sens. Environ. 112, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.029>
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsensbazar, N.E., Xu, P., Ramoino, F., Arino, O., 2022. ESA WorldCover 10



m 2021 v200. Meteosat Second Gener. Evapotranspiration 1–27.

- Zaroug, M.A.H., Sylla, M.B., Giorgi, F., Eltahir, E.A.B., Aggarwal, P.K., 2013. A sensitivity study on the role of the swamps of southern Sudan in the summer climate of North Africa using a regional climate model. *Theor. Appl. Climatol.* 113, 63–81. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0751-6>
- 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)
- Zhang, C., Cai, D., Guo, S., Guan, Y., Fraedrich, K., Nie, Y., Liu, X., Bian, X., 2016. Spatial-Temporal Dynamics of China's Terrestrial Biodiversity: A Dynamic Habitat Index Diagnostic. *Remote Sens.* 8, 227. <https://doi.org/10.3390/rs8030227>
- Zhang, G., Yao, T., Chen, W., Zheng, G., Shum, C.K., Yang, K., Piao, S., Sheng, Y., Yi, S., Li, J., O'Reilly, C.M., Qi, S., Shen, S.S.P., Zhang, H., Jia, Y., 2019. Regional differences of lake evolution across China during 1960s–2015 and its natural and anthropogenic causes. *Remote Sens. Environ.* 221, 386–404. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.038>
- Zhengming Wan, Zhao-Liang Li, 1997. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 35, 980–996. <https://doi.org/10.1109/36.602541>
- Zhu, L., Guo, Y., 2022. Remotely Sensed Winter Habitat Indices Improve the Explanation of Broad-Scale Patterns of Mammal and Bird Species Richness in China. *Remote Sens.* 14, 794. <https://doi.org/10.3390/rs14030794>
- Σουλακέλλης, Ν., 2018. Εκτίμηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel-2. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.