

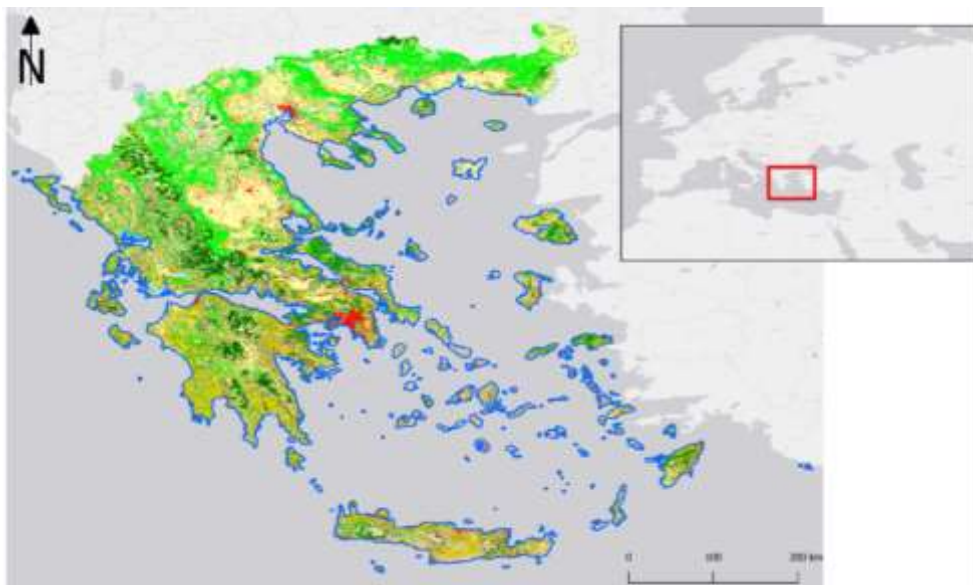


]

LIFE-IP 4 NATURA (LIFE16 IPE/GR/000002)

Ολοκληρωμένες δράσεις για τη διατήρηση και διαχείριση των περιοχών του δικτύου Natura 2000, των ειδών, των οικοτόπων και των οικοσυστημάτων στην Ελλάδα

Χάρτης τύπων οικοσυστημάτων εκτός των περιοχών Ειδικών Ζωνών Διατήρησης του δικτύου NATURA 2000 (κλίμακα 1:50000)
Παραδοτέο Δράσης Α.3



Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
Νοέμβριος 2020





Εδώ Ζούμε
Natura 2000



Με τη συγχρηματοδότηση του Προγράμματος LIFE
της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Με τη συγχρηματοδότηση του Πράσινου Ταμείου

Έκδοση	Ημερομηνία	Σημειώσεις - τροποποιήσεις
1	Νοέμβριος 2020	Αρχική έκδοση

Προτεινόμενη βιβλιογραφική αναφορά:

Μαλλίνης Γ., Βερδέ, Μ., Κόκκορης, Ι., Δημόπουλος, Π. και Κοράκης Γ. (2020). Χάρτης τύπων οικοσυστημάτων εκτός των περιοχών Ειδικών Ζωνών Διατήρησης του δικτύου NATURA 2000 (κλίμακα 1:50000). Έργο LIFE-IP 4 NATURA: Ολοκληρωμένες δράσεις για τη διατήρηση και διαχείριση των περιοχών του δικτύου Natura 2000, των ειδών, των οικοτόπων, και των οικοσυστημάτων στην Ελλάδα (LIFE16 IPE/GR/000002). Παραδοτέο Δράσης Α.3. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αθήνα, σελ. 57.

Suggested citation:

Mallinis, G., Verde, N., Kokkoris, I., Dimopoulos, P. and Korakis, G. (2020). Ecosystem type map of Greece outside Natura 2000 SACs (scale 1:50,000). LIFE-IP 4 NATURA: Integrated Actions for the Conservation and Management of NATURA 2000 Sites, Species, Habitats and Ecosystems in Greece (LIFE16 IPE/GR/000002). Deliverable of Action A.3. Ministry of Environment and Energy, Athens, pp. 57.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Περίληψη</i>	<i>v</i>
<i>Summary</i>	<i>vi</i>
1	Εισαγωγή 8
1.1	Βασικές έννοιες 8
1.2	Καθορισμός του σχήματος ταξινόμησης των οικοσυστημάτων 9
1.3	Τύποι οικοσυστημάτων και οικοσυστημικές υπηρεσίες 10
1.4	Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος ταξινόμησης οικοσυστημάτων 11
1.5	Χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων και τηλεπισκόπηση 13
2	Μεθοδολογική προσέγγιση 15
2.1	Διάγραμμα ροής 15
2.2	Σχήμα ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 16
2.3	Google Earth Engine 18
2.4	Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων 21
2.4.1	Δορυφορικά δεδομένα 21
2.4.2	Υφιστάμενα γεωχωρικά δεδομένα με πληροφορία για την χρήση/κάλυψη γης σε εθνικό επίπεδο που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων 25
2.5	Προ-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων 28
2.6	Κατάτμηση δορυφορικών εικόνων 28
2.7	Επιλογή μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 29
2.7.1	Φασματικές μεταβλητές 29
2.7.2	Δείκτες υφής των εικόνων Sentinel 31
2.7.3	Μέτρα περιγραφής του σχήματος των αντικειμένων 33
2.7.4	Μέτρα περιγραφής της μορφολογίας του αναγλύφου 33
2.8	Δεδομένα αναφοράς 34
2.9	Αλγόριθμος ταξινόμησης και αξιολόγηση ακρίβειας της χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 35
2.10	Έλεγχος και βελτίωση της ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 39
3	Αποτελέσματα χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 40
3.1	Σύγκριση μοντέλων ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο 40



3.2	Οπτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο	44
3.3	Σημαντικότητα μεταβλητών για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο	48
4	Συμπεράσματα	50
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	51





Ομάδα έργου για την υλοποίηση της Δράσης Α3 και του Παραδοτέου «Χάρτης τύπων οικοσυστημάτων εκτός των περιοχών Ειδικών Ζωνών Διατήρησης του δικτύου NATURA 2000 (κλίμακα 1:50000)»

- Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Βιολογίας
 - ο Παναγιώτης Δημόπουλος, Καθηγητής, Επιστημονικός Υπεύθυνος της Δράσης
 - ο Δρ. Ιωάννης Κόκκορης, μεταδιδακτορικός ερευνητής
 - ο Δρ. Έλενα Μπεκρή, μεταδιδακτορική ερευνήτρια
 - ο Δρ. Ελένη Ηλιάδου, μεταδιδακτορική ερευνήτρια
 - ο Μαρία Στεφανίδου, MSc, Υποψήφια Διδάκτορας
 - ο Άννα Κοντοπάνου, MSc, Υποψήφια Διδάκτορας
 - ο Δρ. Γεώργιος Δημητρέλλος, ΕΔΙΠ
 - ο Δρ. Σοφία Σπανού, ΕΔΙΠ
 - ο Μαρία Πανίτσα, Επίκ. Καθηγήτρια
 - ο Σίνος Γκιόκας, Αναπληρωτής Καθηγητής
 - ο Εύα Παπαστεργιάδου, Καθηγήτρια
- Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης - Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων ΔΠΘ
Επιστημονικός υπεύθυνος ΔΠΘ: (2019-2021) Απόστολος Κυριαζόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεώργιος Μαλλίνης Αναπληρωτής Καθηγητής (2017-2019)
 - ο Ειρήνη Χρυσάφη, MSc, Υποψήφια Διδάκτορας
 - ο Ναταλία Βερδέ, MSc, Υποψήφια Διδάκτορας
 - ο Θανάσης Σταμπουλίδης, μεταδιδακτορικός ερευνητής
 - ο Χρήστος Δαμιανίδης, μεταδιδακτορικός ερευνητής
 - ο Χρήστος Δομακίνης, μεταδιδακτορικός ερευνητής
 - ο Γιώργος Κοράκης, Επίκουρος Καθηγητής,
 - ο Κυριακή Κιτικίδου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
 - ο Αριστοτέλης Παπαγεωργίου, Αναπληρωτής Καθηγητής
 - ο Μιχάλης Ορφανουδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής
 - ο Ηλίας Μήλιος, Καθηγητής
 - ο Καλλιόπη Ραδόγλου, Καθηγήτρια
- Ομάδα έργου του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης - Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ
Επιστημονικός υπεύθυνος ΑΠΘ: Γεώργιος Μαλλίνης Αναπληρωτής Καθηγητής
 - ο Όλγα Γεωργούλα, Καθηγήτρια
 - ο Πατιάς Γεώργιος MSc,





ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έκθεση αναφοράς συντάχθηκε στα πλαίσια της υπο-δράσης Α.3.1 Χαρτογράφηση και αξιολόγηση των τύπων οικοσυστημάτων σε δύο επίπεδα (α) εντός των περιοχών του δικτύου Natura 2000 και (β) στο υπόλοιπο της χώρας, της Δράσης Α3 με τίτλο: «Χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους» («Mapping and Assessment of Ecosystem and their Services» - MAES) του έργου: «LIFE-IP 4 NATURA (LIFE16 IPE/GR/000002): ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ NATURA 2000, ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΩΝ ΟΙΚΟΤΟΠΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ».

Στο παρόν παραδοτέο γίνεται παρουσίαση του διαγράμματος ροής ταξινόμησης με τεχνικές τηλεπισκόπησης για την χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων εκτός των περιοχών του δικτύου Natura 2000 του ελληνικού χώρου.

Συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης των δορυφορικών δεδομένων. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν βασίστηκαν σε μια αντικειμενοστραφή προσέγγιση ταξινόμησης και ενσωμάτωσαν δορυφορικά δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης, όπως εικόνες Sentinel-1 A/B και Sentinel-2. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα χρήσης/κάλυψης γης του ελληνικού χώρου (όπως για παράδειγμα διανυσματικά δεδομένα) και έτοιμα προϊόντα εδαφοκάλυψης όπως Επίπεδα Υψηλής Ανάλυσης (EU High Resolution Layers), τα οποία διατίθενται από το πρόγραμμα Copernicus.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε αντιμετώπισε αποτελεσματικά τις προκλήσεις που σχετίζονται με τις υπολογιστικές και χρονικές απαιτήσεις της επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων για την χαρτογράφηση οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους (cloud computing) και συγκεκριμένα την πλατφόρμα Google Earth Engine (GEE).

Η παρούσα έκθεση αναφοράς διαρθρώνεται σε τέσσερις ενότητες. Η ενότητα 1 αποτελεί μια εισαγωγή σε βασικές έννοιες και ορισμούς που αφορούν τα οικοσυστήματα, υπογραμμίζεται η σημασία της χαρτογράφησης των οικοσυστημάτων. Η ενότητα 2 παρουσιάζει την μεθοδολογία ανάπτυξης των μοντέλων ταξινόμησης τύπων οικοσυστημάτων και αναλύει τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την αξιόπιστη χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων στο ελληνικό χώρο (εκτός των περιοχών του δικτύου Natura 2000), και περιγράφεται συνοπτικά η προσέγγιση επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων σε ένα υπολογιστικό νέφος (cloud computing). Στην ενότητα 3 γίνεται η αξιολόγηση των μοντέλων ταξινόμησης που αναπτύχθηκαν και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ακρίβειας και η ποιότητα των παραγόμενων χαρτών. Τέλος, στην ενότητα 4 γίνεται μια συνοπτική συζήτηση επί των αποτελεσμάτων των παραγόμενων χαρτών και της συνολικής μεθοδολογικής προσέγγισης.





SUMMARY

This report has been compiled for the fulfilment of sub-action A.3.1: “Mapping and assessment of ecosystem types in two levels: (a) inside Natura 2000 SACs and (b) outside Natura 2000 SACs”, which belongs to Action A.3: “Mapping and Assessment of Ecosystem and their Services - MAES” of the project: “Integrated actions for the conservation and management of Natura 2000 sites, species, habitats and ecosystems in Greece”.

This deliverable presents a workflow regarding land use/ cover (LULC) classification, with the aid of Remote Sensing, which was used in order to map ecosystem types that are located outside Natura 2000 in Greece.

Specifically, machine learning classification algorithm models have been developed and assessed. The compiled models were based on an object-based classification approach and incorporated/included free-access satellite data, such as Sentinel-1 A/B and Sentinel-2 imagery. Moreover, LULC geospatial data, which cover the entire of Greece, have been employed (e.g. vector data), along with land cover products such as the EU High Resolution Layers that have been acquired via the Copernicus programme.

The developed methodology managed to handle effectively the challenges that were related to the computational and time requirements regarding data processing and analysis for the mapping of ecosystems at national scale with the use of cloud computing and specifically by employing the Google Earth Engine (GEE).

The report comprises of four chapters. Chapter 1 introduces basic terms and definitions regarding ecosystems. Furthermore, it highlights the importance of ecosystem mapping. Chapter 2 presents the methodology which was employed for the development of the ecosystem types classification models and also analyzes the workflow steps that were followed for the effective mapping of ecosystem types in Greece (outside Natura 2000), in order to fulfil the sub-action A.3.1 objectives while it also provides a synoptic description of cloud computing technology for remote sensing data processing. Chapter 3 involves the assessment/evaluation of the classification models that were developed and also presents the results of accuracy assessment and the quality of the compiled maps. Finally, Chapter 4 provides a synoptic discussion concerning the results of the compiled maps and the methodological approach that was employed.





1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικές έννοιες

Οικοσυστήματα

Ο όρος οικοσύστημα αναφέρεται ως μια μονάδα που περιλαμβάνει όλους τους οργανισμούς μιας ορισμένης περιοχής, που αλληλοεπιδρούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με τα αβιοτικά στοιχεία στο περιβάλλον τους, κατά τρόπο ώστε μια ροή ενέργειας να οδηγεί σε σαφώς καθορισμένη τροφική δομή, βιοτική ποικιλότητα και ανακυκλώσεις ύλης (Κούκουρας κ.α. 1986). Τα οικοσυστήματα είναι πολυ-λειτουργικά (multi-functional) και παρέχουν μια σειρά υπηρεσιών που καθορίζουν την ανθρώπινη ευημερία όπως ως τρόφιμα, ίνες ή ξυλεία, παροχή καθαρού αέρα και νερού, προστασία από καιρικά φαινόμενα, ευκαιρίες για αναψυχή κ.ά.

Το άρθρο 2 της Σύμβασης για τη Βιοποικιλότητα ορίζει το οικοσύστημα ως «ένα δυναμικό σύμπλεγμα κοινωνιών φυτών, ζώων και μικροοργανισμών και το αβιοτικό τους περιβάλλον, που αλληλοεπιδρούν ως μια λειτουργική μονάδα» (UN, 1992). Το πιο σημαντικό στοιχείο του τελευταίου ορισμού είναι η «αλληλεπίδραση ως μια λειτουργική μονάδα», το οποίο από άποψη λειτουργίας του οικοσυστήματος σημαίνει ότι το αβιοτικό περιβάλλον δεν φέρει σημασία από μόνο του, αλλά μόνο σε σχέση με τους ζώντες οργανισμούς (Agren et al., 2012; Bogaart, 2019).

Οικότοποι

Η έννοια του οικοτόπου συνδέεται στενά, αλλά δεν είναι ταυτόσημη με τα οικοσυστήματα. Στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ δίδονται δύο ορισμοί της έννοιας του οικοτόπου (habitat). Ο πρώτος αφορά τους τύπους οικοτόπων του Παραρτήματος Ι. Με βάση αυτόν τον ορισμό “φυσικοί οικότοποι” είναι χερσαίες περιοχές ή υγρά τοπία που διακρίνονται χάριν των βιολογικών (βιοτικών) και μη βιολογικών (αβιοτικών) γεωγραφικών χαρακτηριστικών τους, είτε είναι εξ’ ολόκληρου φυσικές είτε ημιφυσικές. Ο δεύτερος ορισμός του οικοτόπου αφορά την έννοια του “ενδιαιτήματος” ενός είδους του Παραρτήματος ΙΙ και αναφέρεται ως “οικότοπος ενός είδους”, ο οποίος αποτελεί το περιβάλλον, το οποίο ορίζεται από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, στο οποίο ζει το είδος σε ένα από τα στάδια του βιολογικού του κύκλου. Είναι δηλαδή ο συνήθης οικολογικός προσδιορισμός της έννοιας του “habitat” δηλαδή του ενδιαιτήματος ενός είδους (Ντάφης κ.α., 2001).

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τη Φύση (European Nature Information System-EUNIS), ως οικότοπος ορίζεται ως «ένας τόπος όπου ζει ένα σύνολο ζώων και φυτών, και ο οποίος χαρακτηρίζεται κυρίως από τα φυσικά χαρακτηριστικά του (τοπογραφία, χαρακτηριστικά εδάφους, κλίμα, ποιότητα νερού κ.λπ.) και δευτερευόντως από τα είδη φυτών και ζώων που ζουν εκεί».

Μεγακοινότητες (Biomes)

Ο όρος μεγακοινότητες-Biomes αναφέρεται ως «βιοτικές κοινότητες οι οποίες εκφράζονται σε ευρύτερες γεωγραφικές κλίμακες, διαμορφούμενες από κλιματολογικούς παράγοντες και που χαρακτηρίζονται καλύτερα από φυσιολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, παρά από βιοτικά

και ζώντες οργανισμούς. Οι μεγακοινότητες χρησιμοποιούνται συχνά ως υπόβαθρο για αναλύσεις και οικολογικές και βιογεωγραφικές μελέτες σε ευρεία κλίμακα (περιφερειακές και παγκόσμιες)» (Mucina, 2019). Δεν υπάρχει ένας μοναδικός, συγκεκριμένος κατάλογος από μεγακοινότητες. Αν και ορισμένες εξ αυτών είναι αποδεκτές από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας, πολλαπλές μεγακοινότητες προτείνονται για οικοσυστήματα-οικοτόνους (π.χ. σαβάνα) (Bogaart, 2019).

Οικοπεριοχές ή οικολογικές περιοχές (Ecoregions)

Οι οικοπεριοχές ορίζονται ως «μεγάλες μονάδες γης ή νερού που περιέχουν μια γεωγραφικά διακριτή ομάδα ειδών, φυσικών κοινοτήτων και περιβαλλοντικών συνθηκών. Αν και μερικές φορές θεωρούνται οικοσυστήματα σε επίπεδο μακροκλίμακας, οι οικοπεριοχές είναι στην πραγματικότητα εκτεταμένες περιοχές που περιέχουν πολλά οικοσυστήματα, τα οποία μπορεί να έχουν (ή όχι) ισχυρή λειτουργική σχέση μεταξύ τους. Γενικότερα συνεπώς ως οικοπεριοχές εννοούμε μεγάλα συγκροτήματα οικοσυστημάτων (Bogaart, 2019). Οι οικοπεριοχές μπορεί να περιγραφούν με μια ιεραρχική δομή.

Οι χερσαίες οικοπεριοχές ομαδοποιούνται συχνά σε ανώτερες βιογεωγραφικές περιοχές, οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις παγκόσμιες διαφοροποιήσεις στην κατανομή των ειδών εξαιτίας του γεωγραφικού διαχωρισμού και της εξελικτικής ιστορίας τους. Σε μικρότερη κλίμακα, οι οικοπεριοχές μπορεί να είναι χωρικά συνεχείς μονάδες μιας μεγακοινότητας ή υποδιαιρέσεις της (Olson et al., 2001).

1.2 Καθορισμός του σχήματος ταξινόμησής των οικοσυστημάτων

Εκτός από τα βιοτικά και αβιοτικά χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων, τα οποία συνδέονται με τη δομή και τις λειτουργίες τους, και παίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό του σχήματος ταξινόμησής τους, κατά το σχεδιασμό και υιοθέτηση ενός σχήματος ταξινόμησης για τη διάκριση τύπων οικοσυστημάτων, λαμβάνονται υπόψη και τα παρακάτω ανθρωπογενή χαρακτηριστικά.

Χρήση και κάλυψη γης

Η έννοια της κάλυψης της γης αντικατοπτρίζει τη φυσική και βιολογική κάλυψη που παρατηρείται στην επιφάνεια της Γης και περιλαμβάνει τη φυσική βλάστηση όσο και τις αβιοτικές επιφάνειες. Για σκοπούς στατιστικών απογραφών, αναλύσεων κ.ά. σχετικά με την κάλυψη γης, δεν λαμβάνονται υπόψη τα παράκτια ύδατα, παρά μόνο η στεριά και τα εσωτερικά ύδατα (Bogaart, 2019).

Η έννοια της χρήσης γης αντικατοπτρίζεται τόσο στις δραστηριότητες όσο και στις θεσμικές ρυθμίσεις που έχουν θεσπιστεί σε μια δεδομένη περιοχή για σκοπούς οικονομικής παραγωγής ή τη διατήρηση και αποκατάσταση περιβαλλοντικών λειτουργιών. Η «χρήση» μιας περιοχής συνεπάγεται συνεπώς την ύπαρξη κάποιας ανθρωπίνης παρέμβασης ή διαχείρισης.

Η κάλυψη γης και η χρήση γης συνδυαστικά, μπορούν να ορίσουν κάποιους τύπους οικοσυστημάτων, ιδίως τύπων εντατικής διαχείρισης όπως τα παραγωγικά δάση, την πλειονότητα των γεωργικών περιοχών κ.α.. (Bogaart, 2019).

Ιδιοκτησία και διαχείριση γης

Η ιδιοκτησία γης είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να παρέχει άμεση σύνδεση μεταξύ των οικοσυστημάτων και ενός συστήματος αποτίμησης του φυσικού κεφαλαίου. Η διαχείριση γης είναι η διαδικασία διαχείρισης της χρήσης των χερσαίων πόρων και ανάπτυξης της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ο βαθμός διαχείρισης των χερσαίων και υδάτινων πόρων ενδέχεται να διαφοροποιείται από εντατικά διαχειριζόμενες (π.χ δομημένες, καλλιεργούμενες) έως μη διαχειριζόμενες περιοχές. Συνεπώς ο βαθμός διαχείρισης/ προστασίας της γης σχετίζεται με τη χρήση της, αλλά δεν ταυτίζεται (Bogaart, 2019).

1.3 Τύποι οικοσυστημάτων και οικοσυστημικές υπηρεσίες

Ο τύπος οικοσυστήματος ορίζεται ως μια συγκεκριμένη κατηγορία οικοσυστημικού κεφαλαίου¹, τα οποία χαρακτηρίζονται από παρόμοια οικολογία και οικοσυστημικές χρήσεις. Γενικά, σε μια χώρα, υπάρχει ένα πλήθος περιοχών με διαφορετικό οικοσυστημικό κεφάλαιο που ανήκουν όμως στον ίδιο τύπο οικοσυστήματος. Για παράδειγμα, σε μια χώρα τα διάφορα δάση πεύκης μπορεί να αποτελούν ξεχωριστό οικοσυστημικό κεφάλαιο, αλλά να κατηγοριοποιούνται στον ίδιο τύπο οικοσυστήματος. Γενικά, ένας τύπος οικοσυστήματος μπορεί να θεωρηθεί ως σύνολο (άθροισμα) περιοχών όμοιου οικοσυστημικού κεφαλαίου και το οικοσυστημικό κεφάλαιο ως περιοχή με παρόμοια χαρακτηριστικά συγκεκριμένου τύπου οικοσυστήματος. (UNSD, 2012)

Στην πράξη, για τη χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών αλλά και την αποτίμησή τους, θα πρέπει αρχικά να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός ενός σχήματος (συστήματος) ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων και να οριοθετηθούν στον χώρο. Όσον αφορά τον καθορισμό των τύπων οικοσυστημάτων, είναι χρήσιμο να ληφθούν υπόψη η προσφορά των οικοσυστημικών υπηρεσιών και ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ τους. Για παράδειγμα οι χορτολιβαδικές εκτάσεις που χωροθετούνται σε πεδιάδες, παρέχουν μια σπουδαία ρυθμιστική υπηρεσία (αποθήκευση υδάτων), ενώ, οι χορτολιβαδικές εκτάσεις που χωροθετούνται εκτός των πεδιάδων, παρέχουν αυτή την υπηρεσία σε μικρότερο βαθμό. Συνεπώς, παρόλο που η παραπάνω κατηγορία κάλυψης γης έχει παρόμοια βλάστηση υπάγεται σε διαφορετικούς τύπους οικοσυστημάτων, προκειμένου να δημιουργηθεί ισχυρή διασύνδεση μεταξύ του τύπου οικοσυστήματος και των οικοσυστημικών υπηρεσιών του. Ομοίως, οικολογικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα, ο τύπος των πολυετών καλλιεργειών ή οι υδρολογικές ιδιότητες ενός δάσους, διευκολύνουν τον εντοπισμό και την ανάλυση των οικοσυστημικών υπηρεσιών που παρέχονται από συγκεκριμένους τύπους οικοσυστημάτων.

Γενικά, οι ταξινομήσεις των χρήσεων γης είναι πιο λεπτομερείς (και έχουν περισσότερες κατηγορίες) συγκριτικά με τις ταξινομήσεις κάλυψης γης. Με τον ίδιο τρόπο, οι ταξινομήσεις των τύπων οικοσυστημάτων είναι συνήθως πιο λεπτομερείς από τις ταξινομήσεις χρήσεων γης, καθώς επιπρόσθετα με τις χρήσεις γης πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι τύποι/κατηγορίες των οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Ο καθορισμός λοιπόν των τύπων οικοσυστημάτων λαμβάνει υπόψη την κάλυψη γης, την χρήση γης/οικοσυστήματος, καθώς και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που παρέχονται. Οι τελευταίες αντικατοπτρίζουν τη λειτουργία της φυσικής βλάστησης, τυχόν θεσμικές ρυθμίσεις (institutional arrangements), τη χωροθέτηση στο τοπίο, την υδρολογία των τύπων εδαφών κ.α.. Παράλληλα, το σύστημα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων δεν πρέπει να είναι απαγορευτικά περίπλοκο. Ο

¹ Συνεχείς εκτάσεις καλυπτόμενες από ξεχωριστά/διακριτά οικοσυστήματα

Πίνακας 1.1 δείχνει τη διαφορά μεταξύ της κάλυψης γης και των τύπων οικοσυστημάτων. Επιπλέον, δείχνει ότι διαφορετικοί τύποι οικοσυστημάτων συνήθως εμπεριέχουν ίδιες κατηγορίες κάλυψης γης. (UNSD, 2012)

Πίνακας 1.1 Διαφορές μεταξύ των κατηγοριών κάλυψης γης και των τύπων οικοσυστημάτων. (Τροποποιημένο από UNSD, 2012)

Περιγραφή των κατηγοριών κάλυψης γης	Πιθανοί τύποι οικοσυστημάτων
Δομημένες/Τεχνητές περιοχές	Κατοικίες Αστικά πάρκα Βιομηχανικές χρήσεις (π.χ. εργοστάσια) Υποδομές οδικού δικτύου Τοποθεσίες εναπόθεσης αποβλήτων
Ποώδη φυτά	Αρδευόμενο ρύζι Λοιπές αρδευόμενες καλλιέργειες Μη αρδευόμενες καλλιέργειες
Λειμώνες	Φυσικοί λειμώνες Βοσκότοποι Στέπες Σαβάνες
Δάση	Φυλλοβόλα δάση Κωνοφόρα δάση Αναδασώσεις (plantation - planted - forest)
Θαμνώνες	Φυσικοί θαμνώνες ξηρών περιοχών Υποβαθμισμένοι θαμνώνες ξηρών περιοχών
Θαμνώνες και/ποώδης βλάστηση σε υδάτινο περιβάλλον ή συχνά κατακλιζόμενοι	Θαμνώνες υγροτόπων
Απογυμνωμένη γη	Αμμώδεις θίνες
Εσωτερικά ύδατα	Λίμνες Ποτάμια
Παράκτια υδάτινα σώματα και περιοχές της παλιρροιακής ζώνης	Κοραλλιογενείς ύφαλοι Λειμώνες θαλάσσιας βλάστησης
Θαλάσσιες περιοχές	

1.4 Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος ταξινόμησης οικοσυστημάτων

Ένα σχήμα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων για να είναι έγκυρο και να είναι επιστημονικά αξιόπιστο πρέπει να έχει ιεραρχική δομή και να είναι σε θέση να παρακολουθεί τις αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, ένα σχήμα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση, αξιολόγηση και αποτίμηση των

οικοσυστημικών υπηρεσιών θα πρέπει να ενσωματώνει τα παρακάτω κριτήρια σχεδιασμού (Bogaart, 2019):

Κριτήριο 1: Η τυπολογία ταξινόμησης να αντιπροσωπεύει τα οικοσυστήματα

Αυτό το κριτήριο εξετάζει τις εννοιολογικές αρχές της ταξινόμησης και εάν η υπό εξέταση τυπολογία αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων.

Η έκταση που ταξινομείται αποτελεί ένα σύνολο ιδιοτήτων, το οποίο περιέχει μια σειρά οικολογικών και μη οικολογικών χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων των τύπων βλάστησης, του εδάφους, της υδρολογίας, της διαχείρισης της χρήσης γης κ.α.. Για τον χαρακτηρισμό των οικοσυστημάτων λαμβάνονται υπόψη εκτός από το φυσικό περιβάλλον και τους βιολογικούς παράγοντες και άλλες οικολογικές ιδιότητες και διαδικασίες, όπως οι τροφικές αλληλεπιδράσεις, η παραγωγικότητα και οι ιδιότητες βιομάζας, η ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών, ενέργειας και υλικών, κ.λπ. κάποιες από τις οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση και τη χωρική οριοθέτηση των οικοσυστημάτων.

Κριτήριο 2: Οι κλάσεις του σχήματος ταξινόμησης να μπορούν να οριοθετηθούν χωρικά

Η χαρτογράφηση, αξιολόγηση και αποτίμηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι μια προσέγγιση που βασίζεται στην έκταση της περιοχής και απαιτεί τη χρήση χωρικά προσδιορισμένων μονάδων. Κάποιες εννοιολογικές ταξινομήσεις των οικοσυστημάτων μπορεί να στηρίζονται σε ένα λεπτομερές σύνολο κριτηρίων για την περιγραφή του τοπίου. Ωστόσο, για τη χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών, είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση, όπου οι οντότητες του οικοσυστήματος χαρτογραφούνται ως γεωγραφικές καταστάσεις και στις οποίες αποδίδονται γεωμετρικές και οικολογικές ιδιότητες. Εάν μια εννοιολογική ταξινόμηση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση των υπηρεσιών του οικοσυστήματος, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας χάρτης που να δείχνει την χωρική κατανομή των τύπων οικοσυστημάτων. Συνεπώς το σχήμα της ταξινόμησης θα πρέπει να μπορεί να αποτυπωθεί χωρικά αξιοποιώντας είτε υφιστάμενα δεδομένα είτε μέσω επεξεργασίας δεδομένων παρατήρησης γης.

Κριτήριο 3: Οι μονάδες ταξινόμησης να είναι γεωγραφικά και εννοιολογικά λεπτομερείς, ενδεδειγμένες και περιεκτικές για όλους τους περιβαλλοντικούς τομείς

Οι ευρύτεροι τύποι οικοσυστημάτων πρέπει να περιλαμβάνουν όλα τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, χωρίς να αποκλείουν περιβαλλοντικούς τομείς ή έντονα διακριτές κατηγορίες οικοσυστημάτων.

Κριτήριο 4: Οι κλάσεις του σχήματος ταξινόμησης είναι μοναδικές, τόσο εννοιολογικά όσο και γεωγραφικά.

Επειδή η χαρτογράφηση, αξιολόγηση και αποτίμηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών βασίζεται στην έκταση, οι μονάδες οικοσυστήματος δεν πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται, είτε εννοιολογικά είτε γεωγραφικά.

Κριτήριο 5: Το σχήμα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων πρέπει να είναι πρακτικό

Ένα σχήμα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων θα πρέπει α) να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών β) να μπορεί να



χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση των υπηρεσιών γ) να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχρονική παρακολούθηση των ανωτέρω μεγεθών, δ) να μπορεί να αξιοποιηθεί στο πλαίσιο εθνικών και περιφερειακών αναφορών.

Κριτήριο 6: Το σχήμα ταξινόμησης των τύπων οικοσυστημάτων θα πρέπει να συνδέεται με άλλα υφιστάμενα συστήματα ταξινόμησης

Όποια και αν είναι η ταξινόμηση που επιλέγεται τελικά, θα πρέπει να συνδέεται με άλλα υφιστάμενα συστήματα ταξινόμησης οικοσυστημάτων και - εν μέρει - με ταξινομήσεις οικοτόπων ή κάλυψης γης. Η σύνδεση ενός σχήματος ταξινόμησης με ένα άλλο απλοποιείται όταν υπάρχουν μοναδικές αντιστοιχισίες μεταξύ των τάξεων και περιπλέκεται όταν υπάρχουν περισσότερες από μια.

1.5 Χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων και τηλεπισκόπηση

Η χωρική αποτύπωση των οικοσυστημάτων περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την οριοθέτηση της έκτασης των διαφόρων τύπων οικοσυστημάτων, μέσω της ολοκληρωμένης επεξεργασίας ενός μεγάλου φάσματος γεωχωρικών δεδομένων που αφορούν μεταξύ άλλων την χρήση/κάλυψη γης (Andrew et al., 2015; Cord et al., 2017) και τα διάφορα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά τους.

Η πληροφορία που αφορά τη χωρικά προσδιορισμένη κατανομή των τύπων οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση και την αειφόρο διαχείρισή τους, την εκπλήρωση υποχρεώσεων (εκθέσεις αναφοράς) σε εθνικούς και διεθνείς μηχανισμούς, καθώς και για την ενημέρωση και πληροφόρηση των πολιτών προκειμένου να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση και η εμπλοκή τους στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στην προστασία του φυσικού κεφαλαίου (Cowling et al., 2008; Maes et al., 2012; Andrew et al., 2015; I. Kokkoris et al., 2020). Επίσης η χαρτογράφηση των τύπων των οικοσυστημάτων γίνεται ένα ισχυρό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων, το οποίο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως επικοινωνιακό εργαλείο, καθώς δύναται να αποτελέσει έναυσμα για τη διεξαγωγή συζητήσεων, οι οποίες εμπλέκουν τους ενδιαφερόμενους φορείς.

Γενικά, οι χάρτες οικοσυστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για: 1) να καθορίσουν τις προτεραιότητες και να εντοπίσουν προβλήματα στο χωροταξικό σχεδιασμό 2) να αξιολογήσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους, 3) την εφαρμογή συγκεκριμένων διαχειριστικών μέτρων σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, 4) να προβληθούν και να αξιολογηθούν τα κόστη και οι ωφέλειες των αποτελεσμάτων από τις πολιτικές που εφαρμόζονται σε αυτά (EEA, 2016).

Οι χάρτες των τύπων οικοσυστημάτων αλλά και χρήσης/κάλυψης γης, με υψηλή διακριτική ικανότητα και ακρίβεια θεωρούνται ως υψηλής σημαντικότητας για τον προσδιορισμό της έκτασης και της κατάστασης των οικοσυστημάτων (Grêt-Regamey et al., 2014). Όσο πιο λεπτομερή χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων πραγματοποιηθεί, με τόσο περισσότερη ακρίβεια θα αποτυπωθεί και η κατανομή των αντίστοιχων υπηρεσιών. Ορισμένοι τύποι οικοσυστημάτων και οι υπηρεσίες τους δεν θα μπορούσαν να αναγνωριστούν σε μια μικρή (αδρή) κλίμακα χαρτογράφησης, διότι θα παραβλέπονταν ή θα ομαδοποιούνταν με άλλους τύπους οικοσυστημάτων (Verde et al., 2020).





Η απόκτηση δεδομένων για τις ανάγκες της χαρτογράφησης χρήσεων/ κάλυψης γης και των οικοσυστημάτων είναι συχνά δύσκολη λόγω κόστους, διαθεσιμότητας, ποιότητας δεδομένων αλλά και της ετερογένειας των περιοχών και των οικοσυστημάτων. Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης και τα δορυφορικά δεδομένα καλύπτουν την παραπάνω ανάγκη και διευκολύνουν την ανάπτυξη τεχνικών για τη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων σε ευρεία κλίμακα (Verde et al., 2020).

Δεδομένα τηλεπισκόπησης σε διάφορες κλίμακες μπορεί να παρέχουν έγκυρες και χωρικά προσδιορισμένες πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη γης (Mallinis et al., 2019), οι οποίες είναι απαραίτητες για την έρευνα και την διαχείριση οικοσυστημικών υπηρεσιών (Araujo et al., 2015). Παγκόσμια προϊόντα ελεύθερης πρόσβασης (open-access) για την κάλυψη γης, παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες χαρτογράφησης και αξιολόγησης των οικοσυστημικών υπηρεσιών σε παγκόσμια, εθνική, περιφερειακή και τοπική κλίμακα.

Η πρόσφατη διαθεσιμότητα των δορυφορικών εικόνων μέσης έως υψηλής διακριτικής ικανότητας, όπως τα δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης Landsat-8 και Sentinel-2, εξυπηρετούν την οικονομικότερη παραγωγή προϊόντων χαρτογράφησης χρήσης/ κάλυψης γης, σε μεγαλύτερη κλίμακα, σε εθνικό και υπερ-εθνικό επίπεδο (Grekousis et al., 2015; Gounaridis et al., 2016; Pflugmacher et al., 2019). Επιπλέον, ο βελτιωμένος χρόνος επανεπισκεψιμότητας των προαναφερθέντων δορυφόρων δύναται να παρέχει πληροφορίες που καλύπτουν το φαινολογικό κύκλο της βλάστησης καθώς και τις φασματικές διαφορές κάλυψης γης μέσα στο έτος (intra-annual). Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές όσον αφορά τη διάκριση των κατηγοριών κάλυψης γης, ειδικότερα σε περιοχές που κυριαρχούνται από βλάστηση (Gómez et al., 2016).

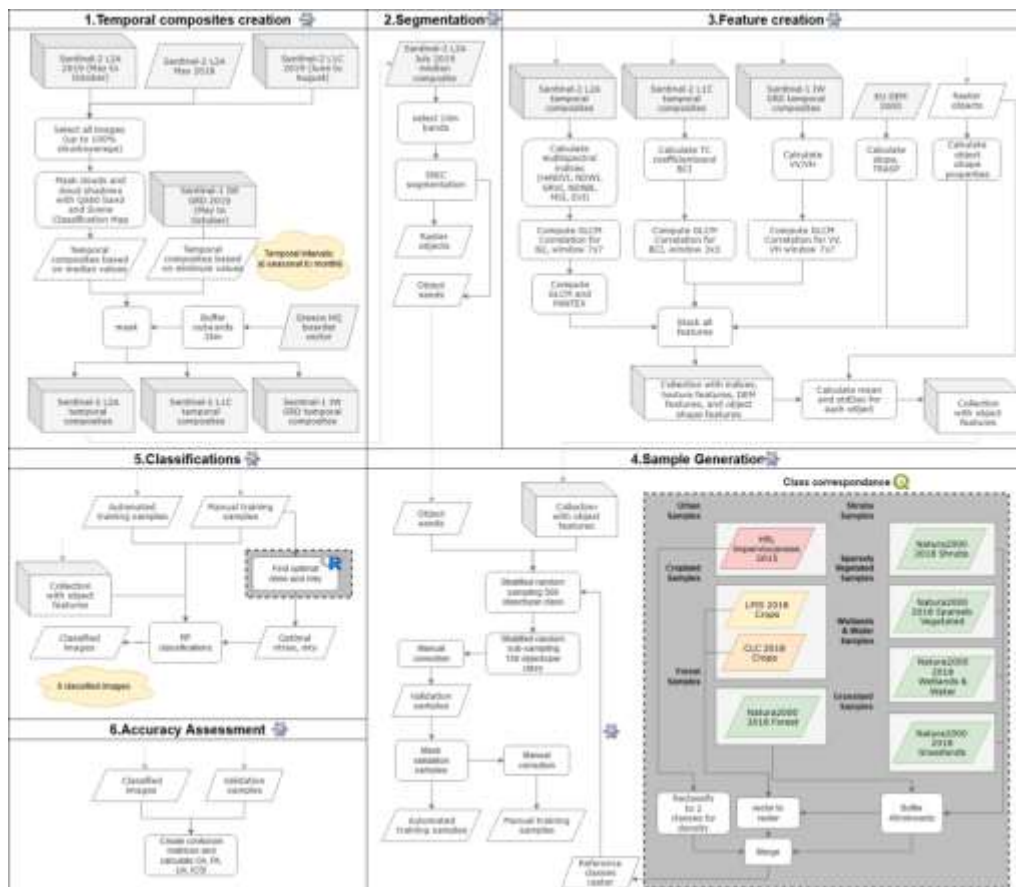
Τα δωρεάν διαθέσιμα δεδομένα ραντάρ «συνθετικού διαφράγματος (κεραίας)» (Synthetic Aperture Radar SAR) (Αστάρης, 2010) καταγράφουν τις φυσικές ιδιότητες των επίγειων αντικειμένων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με οπτικά δεδομένα τηλεπισκόπησης, προκειμένου να ενισχυθεί ο διαχωρισμός μεταξύ των κατηγοριών κάλυψης γης (Stromann et al., 2019). Τα δεδομένα SAR μεταδίδουν μικροκύματα σε μήκη κύματος εκατοστών που μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα και έτσι μπορεί να επιτευχθεί η χαρτογράφηση κάλυψης γης σε εκτεταμένες περιοχές που συχνά καλύπτονται από σύννεφα (Lehmann et al., 2015). Η διαεποχιακή ανάλυση (multi-seasonal analysis) μπορεί επίσης να διευκολυνθεί με τα δεδομένα SAR, ειδικά στην περίπτωση χρήσεων/ κάλυψης γης (LULC) όπου η εποχή παρατήρησης είναι σημαντική (Hütt et al., 2018). Επιπλέον, προηγούμενες μελέτες αποδεικνύουν ότι η συνδυαστική χρήση των δεδομένων Sentinel-1 A/B και Sentinel-2 αποτελεί μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη βελτίωση της ακρίβειας των χαρτών χρήσεων/ κάλυψης γης (LULC) σε πολλούς τομείς (Van Tricht et al., 2018; Ienco et al., 2019; Slagter et al., 2020).



2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2.1 Διάγραμμα ροής

Προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη ροή επεξεργασίας δοκιμάστηκαν και εφαρμόστηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις ταξινόμησης (Verde et al., 2020). (Εικόνα 2.1). Αξιολογήθηκαν α) δύο διαφορετικές προσεγγίσεις εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης (αυτοματοποιημένη και μη αυτοματοποιημένη), β) δύο διαφορετικές προσεγγίσεις δημιουργίας διαχρονικών συνθέσεων εικόνων (εποχιακή-seasonal, μηνιαία-monthly) και γ) δύο διαφορετικά σύνολα μεταβλητών (πλήρες και μειωμένο - εξαιρουμένων των αρχικών φασματικών δίαυλων Sentinel-2), σχηματίζοντας συνολικά έξι ροές εργασίας και μοντέλα ταξινόμησης (Πίνακας 2.1).



Εικόνα 2.1 Γενικό διάγραμμα ροής με την εισαγωγή δεδομένων, βήματα επεξεργασίας και τελικά προϊόντα. Τμήματα σε γκρι πλαίσιο υποδηλώνουν διαδικασίες εκτός Google Earth Engine (GEE) και πιο συγκεκριμένα σε περιβάλλον γλώσσας R ή σε στο λογισμικό QGIS (Verde et al., 2020).

Και στις έξι ροές εργασίας, αρχικά δημιουργήθηκαν οι (εποχιακές ή μηνιαίες) συνθέσεις των εικόνων Sentinel-1 και Sentinel-2, στη συνέχεια μέσα στο περιβάλλον Google Earth Engine (GEE),

πραγματοποιήθηκε η κατάτμηση των εικόνων για τη δημιουργία αντικειμένων. Στο βήμα εξαγωγής μεταβλητών (feature creation), δημιουργήθηκαν διαφορετικά σύνολα μεταβλητών ανά αντικείμενο, λαμβάνοντας υπόψη είτε το σύνολο των δεδομένων τηλεπισκόπησης (full), είτε ένα υποσύνολο των δεδομένων εξαιρουμένων των αρχικών δίαυλων του Sentinel-2. Στο επόμενο στάδιο, προσδιορίστηκαν τα δείγματα εκπαίδευσης με βάση δύο διαφορετικές προσεγγίσεις-αρχικά μέσω μιας πλήρως αυτοματοποιημένης και στη συνέχεια μέσω μιας μη αυτοματοποιημένης, οπτικής ερμηνείας και ελέγχου προσέγγισης για την εξαγωγή των δειγμάτων εκπαίδευσης. Τέλος, τα σύνολα δειγμάτων εκπαίδευσης χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του αλγόριθμου ταξινόμησης τυχαίων δασών (Random Forest - RF) (Πίνακας 2.1) και αντίστοιχα για την ανάπτυξη έξι μοντέλων ταξινόμησης. Για την εύρεση της βέλτιστης ροής εργασιών τα έξι μοντέλα ταξινόμησης αξιολογήθηκαν με ανάλυση μήτρας σφαλμάτων και των παραγόμενων μέτρων ακρίβειας (Verde et al., 2020).

Πίνακας 2.1 Σύνολα μεταβλητών και δειγμάτων εκπαίδευσης για κάθε μοντέλο ταξινόμησης τυχαίου δάσους

Μέθοδος επιλογής δειγμάτων εκπαίδευσης	Συνθέσεις εικόνων	Σύνολα μεταβλητών	Αριθμός μεταβλητών	Μέγεθος σύνθετων εικόνων (GB)	Μοντέλο
Μη αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Πλήρες	144	241.27	M-S-F
Μη αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Μειωμένο	84	140.74	M-S-R
Μη αυτοματοποιημένη	Μηνιαία	Μειωμένο	168	282.54	M-M-R
Αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Πλήρες	144	241.27	A-S-F
Αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Μειωμένο	84	140.74	A-S-R
Αυτοματοποιημένη	Μηνιαία	Μειωμένο	168	282.54	A-M-R

2.2 Σχήμα ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Για τον προσδιορισμό και τη χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων, χρησιμοποιήθηκε μια τυπολογία που επιτρέπει την αντιστοίχιση όλων των χερσαίων τύπων οικοτόπων με τις κατηγορίες τύπων οικοσυστήματος MAES Level 3, βάσει της ερμηνείας των τύπων οικοτόπων. Όσον αφορά τα θαλάσσια οικοσυστήματα, αυτά αντιστοιχήθηκαν με την κατηγορία MAES Level 1 και χαρτογραφήθηκαν σε απόσταση 2 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Το τελικό σχήμα ταξινόμησης αποτελείται από 21 τάξεις όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2 (Verde et al., 2020).

Ο ορισμός των **αστικών τάξεων** ακολούθησε τα όρια πυκνότητας αστικού ιστού που χρησιμοποιήθηκαν στην ονοματολογία Corine Land Cover (Kosztra et al., 2017) (δηλαδή, πυκνότητα μεγαλύτερη από 30% και χαμηλότερη από 30%). Στην τάξη των **καλλιέργειών** πραγματοποιήθηκε αντιστοίχιση με το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Αγροτεμαχίων και την ταξινόμηση Corine. Στην τάξη «**Δάση και δασικές εκτάσεις**» του 2^{ου} επιπέδου MAES, περιλαμβάνονται πολλές τάξεις του συστήματος της τρέχουσας χαρτογράφησης, ακολουθώντας τα οικολογικά χαρακτηριστικά των διαφόρων δασικών τύπων της Ελλάδας και τους αντίστοιχους τύπους οικοτόπων (N2K) (Kokkoris et al., 2018). Τα **λιβάδια** του 2^{ου} επιπέδου MAES καταλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα οικολογικών κατηγοριών και κατηγοριών χρήσης γης, εκτείνονται από φυσικά λιβάδια έως διαχειριζόμενα λιβάδια και βοσκότοποι και επιπλέον ποικίλλουν ανάλογα με την πυκνότητα δέντρων σε αυτά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά των λιβαδιών συνεπάγονται δυσκολίες στη διάκριση τους από άλλες κατηγορίες κάλυψης γης, με βάση τις φασματικές ιδιότητές τους, και επομένως στο σύστημα της τρέχουσας χαρτογράφησης, αντιπροσωπεύονται με μία μόνο κατηγορία, σύμφωνα με τους Griffiths et al. (2019a).

Πίνακας 2.2 Σχήμα ταξινόμησης με βάση προηγούμενων μελετών (EEA, 2020.; I. Kokkoris et al., 2020; Kokkoris et al., 2018)

MAES Κατηγορία οικοσυστήματος (Επίπεδο 1)	MAES Κατηγορία οικοσυστήματος (Επίπεδο 2)	Τύποι οικοσυστημάτων για την χαρτογράφηση και αξιολόγηση στην Ελλάδα (Επίπεδο 3)	Κωδικός	Πηγή δεδομένων	Τάξη πηγής δεδομένων
Χερσαία	Αστικός ιστός	Πυκνός έως μέτρια πυκνός αστικός ιστός (IM.D. 30-100%)	1.1.1	HRL	=> 30%
		Χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός (IM.D. 0-30%)	1.1.2	HRL	<30%
	Καλλιέργειες	Αρόσιμη γη	2.1.1	LPIS, CLC	LPIS: 40, CLC: 2.1
		Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1	LPIS, CLC	LPIS: 50, 60, 70, CLC: 2.2
	Δάση και δασικές εκτάσεις	Εύκρατα φυλλοβόλων δάση	3.1.1	N2K	9110, 9130, 9140, 9150, 9180, G91K, G91L
		Μεσογειακά φυλλοβόλα δάση	3.1.2	N2K	91M0, 9280, 9250, 9310, 9350, 9260, 925A
		Παρόχθια δάση	3.2.1	N2K	92A0, 92C0, 92D0, 91E0, 91F0
		Ορεινά εύκρατα δάση κωνοφόρων	3.3.1	N2K	9530, 951B, 91BA, 91CA, 95A0, 9410
		Μεσογειακά κωνοφόρα δάση	3.3.2	N2K	2270, 9540, 9560, 9290



		Μεσογειακά σκληροφυλλικά δάση	3.4.1	N2K	9340, 934A, 9320, 9370
		Μικτά δάση	3.5.1	N2K	9270
	Λιβάδια	Λειμώνες	4.1.1	N2K	6110, 6170, 6220, 6230, G628, 6290, 62A0, 62D0, 6420, 6430, G645, 6510, 651A, 1070
	Ερεικώνες και θαμνώνες	Θάμνοι και χερσότοποι	5.1.1	N2K	4060, 4090, 5360, 5420, 5430
		Σκληροφυλλική βλάστηση	5.2.1	N2K	2250, 5110, 5150, 5160, 5210, 5230, 5310, 5330, 5340, 5350
	Αραιή βλάστηση	Άλλες εκτάσεις με αραιή βλάστηση	6.1.1	N2K	8130, 8140, 8210, 8220, 8230, 8310, 8320, 8330, 2240, 2260, 9620, 8250
		Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές	6.2.1	N2K	1210, 1240, 1410, 2110, 2120, 2220, 2230, 2210, 21B0
		Απογυμνωμένοι βράχοι, καμένες, εκτάσεις, λατομεία	6.3.1	N2K	1030
	Υγρότοποι	Εσωτερικοί βάλτοι γλυκών και αλμυρών υδάτων	7.1.1	N2K	72A0, 72B0, 2190, 1310, 1410, 1420, 1430, 1510, 1440
		Τυρφώνες	7.2.1	N2K	7140, 7210, 7220, 7230
Θαλάσσια ύδατα	Θαλάσσια ύδατα	Θαλάσσια ύδατα	7.3.1	N2K	1110, 1120, 1130, 1150, 1160, 1170, 1180, 1310
Γλυκά Ύδατα	Ποτάμια και λίμνες	Ποτάμια και λίμνες	8.1.1	N2K	3130, 3140, 3150, 3170, 3240, 3250, 3260, 3280, 3290, 3190

2.3 Google Earth Engine

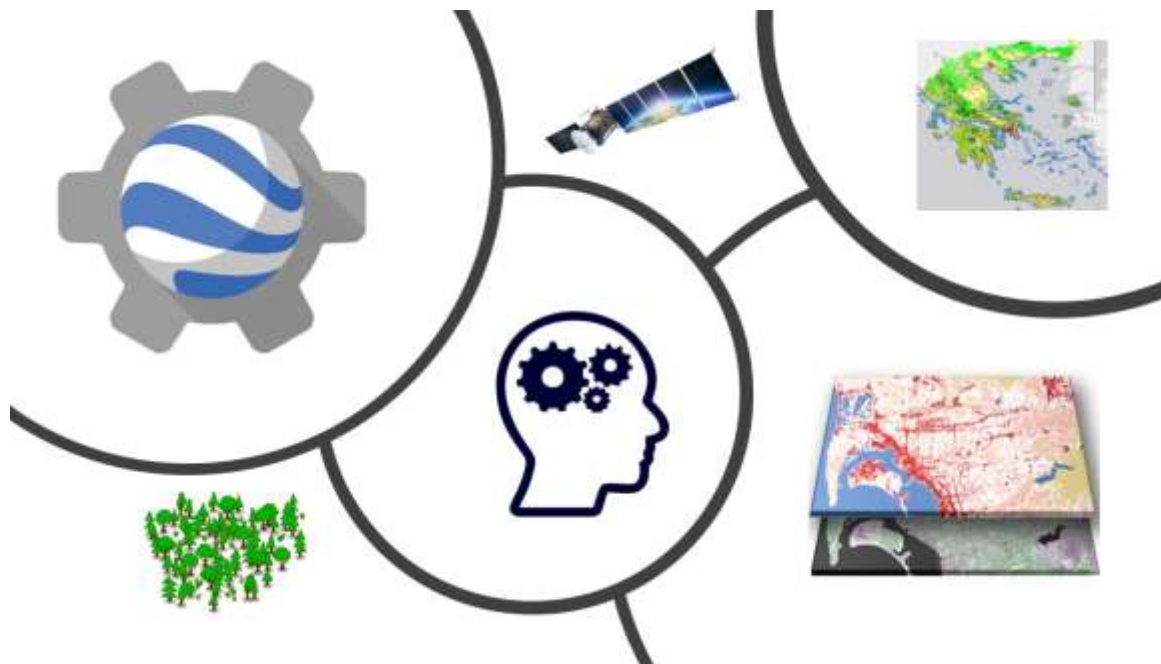
Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, πέρα από την ελεύθερη διαθεσιμότητα δεδομένων, των οποίων ο όγκος μπορεί να κινηθεί στην κλίμακα των petabytes, η επιστήμη της τηλεπισκόπησης σημειώνει σημαντική πρόοδο στις μεθόδους επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων μέσω των ραγδαίων εξελίξεων στις τεχνικές δυνατότητες (hardware) και τα λογισμικά (software) των ηλεκτρονικών υπολογιστών (H/Y).

Όσον αφορά τον χειρισμό μεγάλου όγκου δεδομένων και την απαιτούμενη μεγάλη υπολογιστική ισχύ για την επεξεργασία τους, τα συστήματα «υπολογιστικού νέφους» (cloud-computing) παρέχουν πρόσβαση σε πολλά σύνολα δεδομένων (datasets) εθνικής και υπερ-εθνικής κλίμακας και αλγορίθμους (Gorelick et al., 2017). Οι υπερ-υπολογιστές (supercomputers), τα υψηλής απόδοσης υπολογιστικά συστήματα (computing systems), καθώς και η τεχνολογία του «υπολογιστικού νέφους» (cloud-computing), αποτελούν πλέον ευρείας χρήσεως προϊόντα. Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα εργαλείων που αποσκοπούν στο να διευκολύνουν την

επεξεργασία μεγάλου όγκου γεωχωρικών δεδομένων, π.χ. TerraLib, Hadoop, GeoSpark και GeoMesa (Gorelick et al., 2017)

Ωστόσο, η χρήση των προαναφερθέντων τεχνολογικών εξελίξεων προϋποθέτει την ανάλογη τεχνική κατάρτιση σε διάφορους τομείς της πληροφορικής (Information Technology) όπως: απόκτηση και αποθήκευση δεδομένων, διαχείριση βάσεων δεδομένων, σειρά εργασιών (job queue), κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (CPUs), μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPUs), δίκτυα Η/Υ κ.α., σε συνδυασμό με τη γνώση των διαφόρων πλαισίων (frameworks) διαχείρισης και επεξεργασίας των γεωχωρικών δεδομένων. Όπως γίνεται αντιληπτό, η συνδυαστική χρήση όλων αυτών των πόρων, περιορίζεται σε ένα μικρό σύνολο χρηστών, που διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις στην τηλεπισκόπηση και έχουν πρόσβαση σε πόρους (resources) υψηλής υπολογιστικής ισχύος (Gorelick et al 2017).

Η πλατφόρμα Google Earth Engine (GEE), η οποία βασίζεται στην τεχνολογία cloud computing, προσφέρει στους χρήστες της εύκολη πρόσβαση σε πόρους υψηλής υπολογιστικής ισχύος, καθιστώντας εφικτή την επεξεργασία μεγάλου όγκου γεωχωρικών δεδομένων (Εικόνα 2.2), χωρίς ο χρήστης να χρειάζεται να αντιμετωπίσει τις δυσκολίες που έχουν αναφερθεί ανωτέρω. Επιπρόσθετα, το GEE έχει σχεδιαστεί, ώστε να διευκολύνει τη διάδοση των αποτελεσμάτων των ερευνών που διεξάγονται με αποδέκτες άλλους ερευνητές, υπεύθυνους χάραξης πολιτικής (policy makers), Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ), εργαζόμενους στο πεδίο και ακόμη και στο ευρύ κοινό (Gorelick et al 2017).



Εικόνα 2.2. Google earth engine

Η πλατφόρμα GEE διαθέτει έναν ευρύ κατάλογο γεωχωρικών δεδομένων, ο οποίος λειτουργεί παράλληλα με μια υπηρεσία (service) υψηλής υπολογιστικής ισχύος. Η πρόσβαση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface/API), που υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού JavaScript και Python, και ενός ολοκληρωμένου

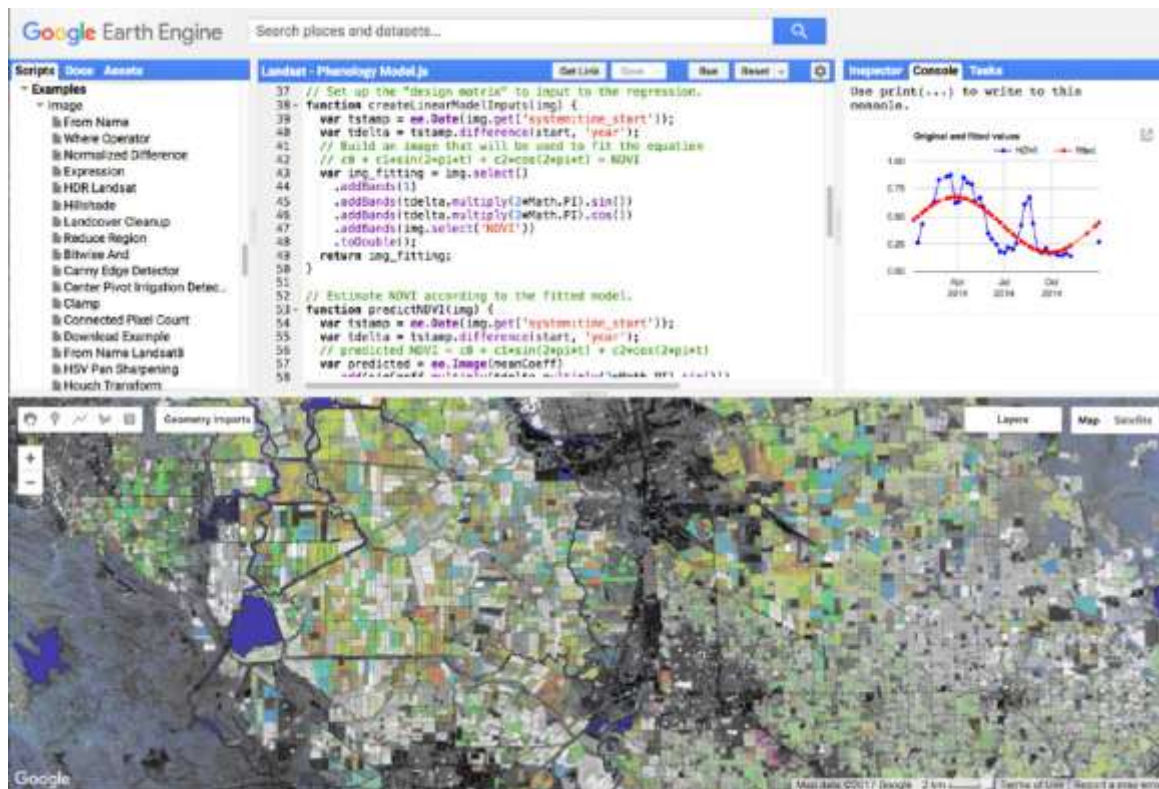


περιβάλλοντος ανάπτυξης (Integrated Development Environment/IDE), που επιτρέπει τη γρήγορη αναπαραγωγή και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων (Εικόνα 2.3).

Οι έρευνες καταγραφής και παρακολούθησης δασών και γενικότερα βλάστησης είναι οι συχνότεροι τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται η πλατφόρμα GEE, καθώς και οι έρευνες καταγραφής και παρακολούθησης της χρήσης/ κάλυψης γης (Kumar, et al 2017; Tamimiinia, et al 2020). Όσον αφορά τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων, της χρήσης/κάλυψης γης, της βλάστησης κ.λπ. σε μια εκτεταμένη περιοχή μέσω δεδομένων τηλεπισκόπησης, εντοπίζονται δύο βασικές δυσκολίες: α) η επεξεργασία των μεγάλων όγκων δεδομένων (big data) και β) η διαθεσιμότητα εικόνων χωρίς σύννεφα (Noi Phan et al., 2020). Η επεξεργασία δεδομένων, με παραδοσιακές μεθόδους, σε εκτεταμένες περιοχές, απαιτεί σημαντικό όγκο εργασίας και τη χρήση υλικοτεχνικών πόρων με υψηλές προδιαγραφές, καθώς είναι απαραίτητη η συνδρομή υποδομών μεγάλης αποθηκευτικής ικανότητας και υψηλής υπολογιστικής ισχύος. Επιπρόσθετα, η νεφοκάλυψη (cloud cover) αποτελεί τροχοπέδη στη λήψη καθαρών (χωρίς καθόλου σύννεφα) εικόνων εντός μικρής χρονικής περιόδου (Verde et al., 2020).

Για την υλοποίηση της χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων εκτός των προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 για το σύνολο του ελλαδικού χώρου, χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα GEE μέσω της οποίας δόθηκε πρόσβαση σε διαχρονικά (multi-temporal) δεδομένα τηλεπισκόπησης, τόσο ενεργητικών (Sentinel- 1) όσο και παθητικών (Sentinel-2). Μέσω της τεχνολογίας cloud computing επιτεύχθηκε η προ-επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και η υλοποίηση των σταδίων της ταξινόμησης.





Εικόνα 2.2: Το διαδραστικό περιβάλλον ανάπτυξης του Google Earth Engine. (Gorelick et al., 2017)

2.4 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων

Για την υλοποίηση του παρόντος παραδοτέου χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης, όπως εικόνες Sentinel-1 A/B και Sentinel-2, καθώς και γεωχωρικά δεδομένα κάλυψης/χρήσης γης του ελληνικού χώρου.

2.4.1 Δορυφορικά δεδομένα

Για την υλοποίηση του παρόντος παραδοτέου, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel-2- MSI επιπέδου επεξεργασίας L1C (level-1C), Sentinel-2- MSI επιπέδου επεξεργασίας L2A (level-2A) και Sentinel-1 A/B, με ημερομηνίες λήψης σε διαφορετικές εποχές του 2019 (Πίνακας 2.3). Επιπλέον, μια εικόνα Sentinel-2 Level 2A λήψης Μάϊου 2018 χρησιμοποιήθηκε για την εξάλειψη σύννεφων της εικόνας Sentinel-2 Level 2A λήψης Μάϊου 2019.

Το χρονικό πλαίσιο ενός έτους θεωρήθηκε ότι είναι αρκετό για την κάλυψη του φαινολογικού κύκλου της βλάστησης, όπως άλλωστε έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλες συναφείς μελέτες χρήσης/ κάλυψης γης σε εθνικό επίπεδο (Inglada et al., 2017; Mack et al., 2017; Griffiths et al., 2019a; Leinenkugel et al., 2019).

Πίνακας 2.3 Δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στον παρόν παραδοτέο

Δορυφόροι	Ημερομηνίες λήψης εικόνων
Sentinel 2 Level 2A (S2-L2A)	Μάιος έως Οκτώβριος 2019
	Μάιος 2018
Sentinel 2 Level 1C (S2 L1C)	Ιούνιος έως Αύγουστος 2019
Sentinel 1 A/B	Μάιος έως Οκτώβριος 2019

Sentinel-2 MSI

Η αποστολή Sentinel-2, της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency - ESA), αποτελείται από ένα ζεύγος δορυφόρων με ίδια χαρακτηριστικά (Sentinel-2A, Sentinel-2B). Ο κάθε δορυφόρος αποτελείται από έναν πολυφασματικό αισθητήρα, τον MSI (MultiSpectral Instrument), ο οποίος καλύπτει 13 φασματικούς διαύλους (0.443-2.280μm), με χωρική ανάλυση που ποικίλει μεταξύ 10 (4 φασματικοί δίαυλοι στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο), 20 (6 φασματικοί δίαυλοι στο κοντινό υπέρυθρο) και 60 μέτρων (3 φασματικοί δίαυλοι στο ορατό, εγγύς και κοντινό υπέρυθρο) (Πίνακας 2.4). Ο κάθε δορυφόρος έχει 10 ημέρες συχνότητα επανεπίσκεψης στην ίδια περιοχή, η οποία μειώνεται στο μισό (5 ημέρες) όταν οι λήψεις των δύο δορυφόρων συνδυάζονται. Τέλος, το εύρος σάρωσης ανέρχεται στα 290Km, καθιστώντας αυτά τα δεδομένα κατάλληλα για χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε περιφερειακή και εθνική κλίμακα.

Πίνακας 2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά των εικόνων Sentinel – 2 MSI

Χωρική ανάλυση (μ)	Δίαυλοι	Μήκος κύματος (nm)
10	Band 2 (Blue)	458-523
	Band 3 (Green)	543-578
	Band 4 (Red)	650-680
	Band 8 (NIR)	785-900
20	Band 5 (Red Edge 1)	698-713
	Band 6 (Red Edge 2)	733-748
	Band 7 (NIR narrow 1)	773-793
	Band 8a (NIR narrow 2)	855-875
	Band 11 (SWIR1)	1.565-1.655
	Band 12 (SWIR 2)	2.100-2.280
60	Band 1 (coastal aerosol)	433-453
	Band 9 (Water vapour)	935-955
	Band 10 (SWIR-Cirrus)	1365-1395
	QA60 (Cloud mask)	-

Οι εικόνες Sentinel -2- MSI διατίθενται σε δύο επίπεδα επεξεργασίας Level-1C και Level-2A. (Πίνακας 2.5). Τα προϊόντα επιπέδου-1C (Level-1C) είναι γεωαναφερμένα σε προβολή UTM/WGS84, διατίθενται σε σκηνές που καλύπτουν μια περιοχή 100km x 100km και αφορούν τιμές ανάκλασης στην κορυφή της ατμόσφαιρας - (top of atmosphere reflectance-TOA). Συμπληρωματικά, τρεις δίαυλοι είναι διαθέσιμοι, μαζί με ένα τέταρτο (Quality Assessment- QA60) για την εξάλειψη των ατμοσφαιρικών επιδράσεων(Verde et al., 2020).

Για το παρόν παραδοτέο τα προϊόντα Sentinel-2 L1C χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την εφαρμογή του μετασχηματισμού Tasseled Cap (Shi et al., 2019), καθώς οι συντελεστές για τα προϊόντα L2A Sentinel-2 δεν έχουν ακόμη υπολογιστεί από την επιστημονική κοινότητα (Verde et al., 2020).

Τα προϊόντα Sentinel-2 Level-2A προέρχονται από τα αντίστοιχα προϊόντα Level-1C, έχουν το ίδιο προβολικό σύστημα και παρέχουν τιμές ανάκλασης στο κάτω μέρος της ατμόσφαιρας (επιφάνεια της γης) -BOA (Bottom of atmosphere reflectance). Στα προϊόντα περιλαμβάνεται και

χάρτης ταξινόμησης της κάθε σκηνής (Scene Classification map για νέφη, σκιές νεφών, βλάστηση, έδαφος/έρημος, νερό, χιόνι κλπ.).

Πίνακας 2.5 Προϊόντα Sentinel 2 MSI

Όνομα	Περιγραφή
Level-1C	Τιμές ανάκλασης της ακτινοβολίας στο ανώτερο ύψος της ατμόσφαιρας - TOA (Top of atmosphere reflectance)
Level 2A	Τιμές ανάκλασης στο κάτω μέρος της ατμόσφαιρας (επιφάνεια της γης) -BOA (Bottom of atmosphere reflectance)

Sentinel-1 A/B

Η αποστολή Sentinel-1 A/B της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency - ESA), φέρει ραντάρ τύπου SAR, το οποίο λειτουργεί στη ζώνη C του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, παρέχοντας εικόνες καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, αυτός ο αισθητήρας υποστηρίζει τη λειτουργία σε μονή (HH ή VV) ή διπλή (HH+HV ή VV+VH) πόλωση (single or dual polarization). Η εν λόγω αποστολή αποτελείται από ένα ζεύγος δορυφόρων με ίδια χαρακτηριστικά (Sentinel-1A, Sentinel-1B), οι οποίοι μοιράζονται το ίδιο επίπεδο τροχιάς. Αυτή η ιδιότητά τους έχει ως αποτέλεσμα οι εν λόγω δορυφόροι να έχουν χρόνο επανεπίσκεψης στην ίδια περιοχή 6 ημερών. Όσον αφορά τις λειτουργίες λήψης (acquisition modes) των εικόνων που λαμβάνονται από τον Sentinel-1 A/B, αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 2.6 (ESA Sentinel Online 2019 a,b).

Πίνακας 2.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά των εικόνων Sentinel 1

Παράμετρος	Λειτουργία (IW)	Λειτουργία (WV)	Λειτουργία (SM)	Λειτουργία (EW)
Πόλωση	Dual (HH + HV, VV + VH)	Single (HH,VV)	Dual (HH + HV, VV + VH)	Dual (HH + HV, VV+ VH)
Επίγεια ανάλυση (μ)	5x20	5x5	5x5	20x40
Ραδιομετρική ακρίβεια (dB)	0.5	0.5	0.5	0.5
Σφάλμα φάσης	5°	5°	5°	5°

Τα προϊόντα των δεδομένων Sentinel-1 A/B διατίθενται σε διάφορα επίπεδα επεξεργασίας με περισσότερο χρησιμοποιούμενο το επίπεδο 1 (Level 1). Ειδικότερα, τα προϊόντα αυτού του επιπέδου με τη μορφή της Γεωμετρίας εδάφους (Ground Range Detected - GRD). Έχουν υποστεί προεπεξεργασία για απαλοιφή γεωμετρικών και ραδιομετρικών σφαλμάτων, με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους Shuttle Radar Topography Mission SRTM 30 ή ASTER DEM, και διατίθενται με τη



μορφή γεωκοδικοποιημένων συντελεστών οπισθοσκέδασης (geo-coded backscattering coefficients (σ_0)) στη GEE (d'Andrimont et al., 2018).

Τα προϊόντα αυτά είναι κατάλληλα για εφαρμογές χαρτογράφησης κάλυψης γης (Abdikan 2016) όπως επίσης παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμότητα για την παρακολούθηση οικοσυστημάτων υγροτόπων λόγω της ικανότητας τους να διακρίνουν τις υδάτινες επιφάνειες, διαφορετικά είδη βλάστησης καθώς επίσης και υδάτινες επιφάνειες σε περιοχές με φυτοκάλυψη (Chatziantoniou 2017).

2.4.2 Υφιστάμενα γεωχωρικά δεδομένα με πληροφορία για την χρήση/κάλυψη γης σε εθνικό επίπεδο που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων

Γεωχωρικά δεδομένα από το δίκτυο Natura 2000 (N2K)

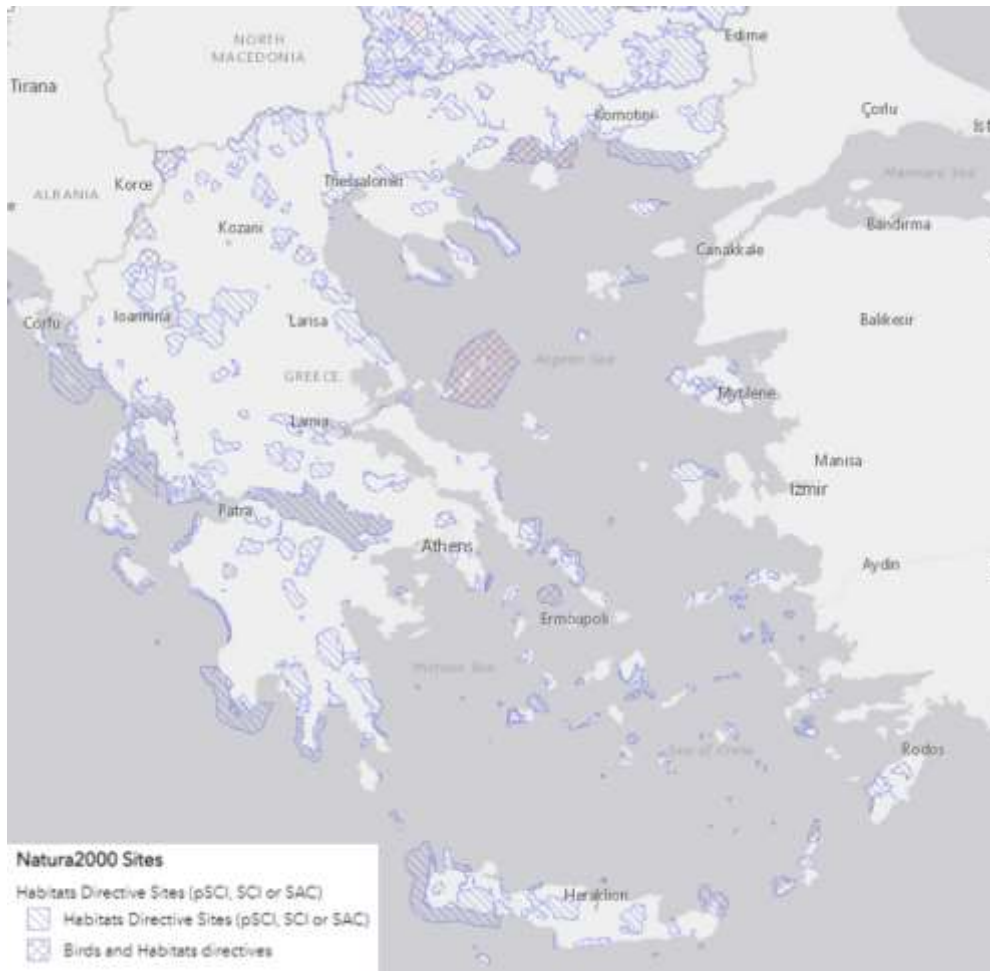
Το προϊόν **Natura 2000 (N2K)** είναι ένα πανευρωπαϊκό σύνολο δεδομένων χρήσης/ κάλυψης γης (LULC) που παρέχει πληροφορίες και επιτρέπει την αποτύπωση και την ανάλυση της κατάστασης, των απειλών και των πιέσεων των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου N2K, εφαρμόζοντας μια ιεραρχική τυπολογία χρήσεων/κάλυψης γης 68 τάξεων. Συνολικά καλύπτει περίπου 630.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα και στις 28 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Copernicus Programme, 2020a).

Το Δίκτυο Natura 2000 στην Ελλάδα περιλαμβάνει 181 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ – Οδηγία 79/409/ΕΚ), 239 Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ – Οδηγία 92/43/ΕΚ) και 26 ΖΕΠ και ΕΖΔ. Οι δύο κατηγορίες περιοχών παρουσιάζουν μεταξύ τους επικαλύψεις όσον αφορά στις εκτάσεις τους. Η έκταση των περιοχών του Δικτύου στην Ελλάδα, καταλαμβάνει το 27,3 % της χερσαίας έκτασης (Εικόνα 2.4). Η βάση δεδομένων και τα γεωγραφικά αρχεία των περιοχών NATURA 2000 της Ελλάδας διατίθενται από τη σελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (<https://ypen.gov.gr/perivallon/viopoikilotita/diktyo-natura-2000/#>).





Εδώ Ζούμε
Natura 2000

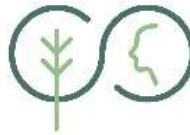


Εικόνα 2.3 Το δίκτυο Natura 2000 για την Ελλάδα. Πηγή: <https://natura2000.eea.europa.eu/>

Γεωχωρικά δεδομένα από το “Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Αγροτεμαχίων -Land Parcel Information System (LPIS)

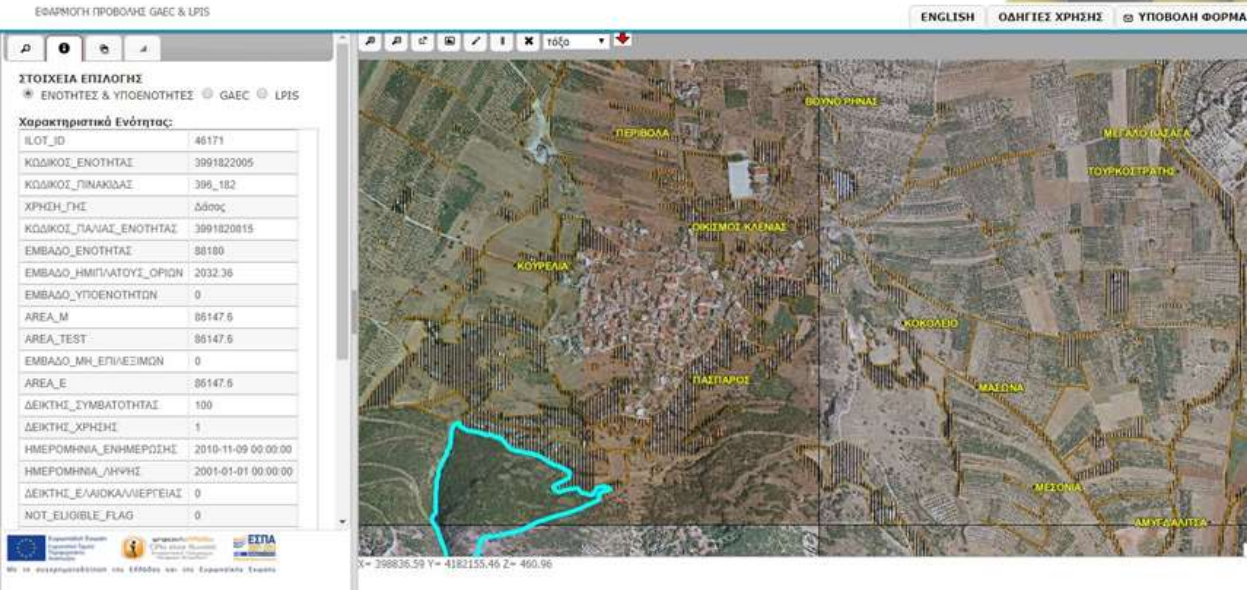
Η γεωβάση “Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Αγροτεμαχίων - Land Parcel Information System (LPIS) είναι ένα θεμελιώδες τμήμα του ολοκληρωμένου πληροφοριακού συστήματος διαχείρισης, ελέγχου και καταγραφής των αγροτεμαχίων για τα οποία ζητείται οικονομική ενίσχυση, στα πλαίσια των γεωργικών επιδοτήσεων. Στην Ελλάδα το LPIS ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με το είδος των καλλιεργειών, την έκταση του αγροτεμαχίου, την ταυτότητα του παραγωγού και περιλαμβάνει ένα διανυσματικό αρχείο με τα πολύγωνα των δηλωθέντων αγροτεμαχίων (Σιάχαλου, 2016). Η γεωχωρική βάση αποτελείται από ένα διανυσματικό ψηφιακό αρχείο συνοδευόμενο από μία βάση πληροφοριών (Εικόνα 2.5). Για την Ελλάδα το σύστημα LPIS οργανώνεται και διαχειρίζεται από την υπηρεσία του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ).





Εδώ Ζούμε
Natura 2000

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ
MINISTRY OF RURAL DEVELOPMENT AND FOOD
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ / SURVEYING DIVISION



Εικόνα 2.4. Τα πολύγωνα και η γεωβάση LPIS, όπως φαίνεται στην εφαρμογή προβολής του υπουργείου αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων

Γεωχωρικά δεδομένα CORINE Land Cover του ευρωπαϊκού προγράμματος παρατήρησης γης Copernicus

Τα γεωχωρικά δεδομένα CORINE Land Cover, παρέχονται δωρεάν με σκοπό την παροχή γεωγραφικών πληροφοριών που αφορούν τις μορφές κάλυψης γης για όλη την Ευρώπη. Περιλαμβάνει συνολικά 44 κατηγορίες κάλυψης γης. Είναι βασισμένα στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης SPOT, RapidEye και IRS αλλά και επιπρόσθετων δεδομένων προερχόμενων από άλλες πηγές, όπως αεροφωτογραφίες, τοπογραφικοί χάρτες, θεματικοί χάρτες, δεδομένα πεδίου και στατιστικά στοιχεία. Η κλίμακα που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του προγράμματος ήταν 1:100.000 και η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (Minimum Mapping Unit) τα 25ha. (Copernicus Programme, 2020b).

Γεωχωρικά δεδομένα Υψηλής Ανάλυσης (EU High Resolution Layers - HRL) του ευρωπαϊκού προγράμματος παρατήρησης γης Copernicus

Τα EU High Resolution Layers - HRL) παρέχουν πληροφορία σχετικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά εδαφοκάλυψης και λειτουργούν συμπληρωματικά της χαρτογράφησης της χρήσης/κάλυψης γης των δεδομένων CORINE Land Cover (CLC). Τα δεδομένα HRL έχουν παραχθεί από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης (κυρίως των δορυφόρων Sentinel και κάποια προϊόντα από εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης VHR).²

Τα προϊόντα των HRL που υπάρχουν μέχρι στιγμής είναι:

² <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>



- το προϊόν EU HRL Imperviousness, με πληροφορία την κάλυψη δομημένων εκτάσεων
- το προϊόν EU HRL Forest, με πληροφορία σχετικά με τον τύπο δάσους και την πυκνότητα βλάστησης στις δασικές εκτάσεις
- το προϊόν EU HRL Grasslands, με πληροφορία τις περιοχές που καλύπτονται από βοσκότοπους
- το προϊόν Water and Wetness, με πληροφορία την κάλυψη περιοχών που καλύπτονται μόνιμα ή προσωρινά από νερό
- το προϊόν Small Woody Features, με πληροφορία των μικρών γραμμικών δασικών εκτάσεων

2.5 Προ-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Μετά την δημιουργία «μάσκας» για το διαχωρισμό των σύννεφων (cloud mask) όλες οι εικόνες συνδυάστηκαν σε εποχιακές και μηνιαίες σύνθετες εικόνες (composites) (Griffiths et al., 2019b; Verde et al., 2020). Στις εικόνες Sentinel-2 L1C, τα σύννεφα και οι θύσανοι (cirrus) εντοπίστηκαν με την χρήση του διαύλου QA60 (Weigand et al., 2020), ενώ οι σκιές προερχόμενες από την παρουσία σύννεφων εντοπίστηκαν χρησιμοποιώντας τα μεταδεδομένα των εικόνων σχετικά με τους παραμέτρους λήψης (Evans et al., 2020). Στις εικόνες Sentinel-2 L2A τα σύννεφα, οι θύσανοι και οι σκιές τους διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας το χάρτη ταξινόμησης σκηνών (Scene Classification map), που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγόριθμου προ-επεξεργασίας sen2cor (Main-Knorn et al., 2017). Η σύνθεση εικόνων Sentinel-2 βασίστηκε στην μέση τιμή ανάκλασης που έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε βελτιωμένη ακρίβεια των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων (Carrasco et al., 2019; Xie et al., 2019). Η σύνθεση των εικόνων Sentinel-1 A/B βασίστηκε στην ελάχιστη τιμή αντί της μέσης τιμής, προκειμένου να εξαλειφθούν οι επιρροές του εδάφους και υγρασίας. Όπως αναφέρθηκε, στην πλατφόρμα GEE, τα προϊόντα Sentinel-1 A/B παρέχονται ως εικόνες οπισθοκέδασης (backscatter) sigma-naught (σ_0), όπου έχει ήδη εφαρμοστεί διόρθωση εδάφους χρησιμοποιώντας το μοντέλο εδάφους SRTM30 (Verde et al., 2020).

2.6 Κατάτμηση δορυφορικών εικόνων

Για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων στα πλαίσια του έργου LIFE-IP, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Simple Non-Iterative Clustering (SNIC), ο οποίος είναι διαθέσιμος στην πλατφόρμα GEE προκειμένου να δημιουργηθούν αντικείμενα στα πλαίσια μιας αντικειμενοστραφούς προσέγγισης ταξινόμησης (Object Based Image Analysis-OBIA). Οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν κατά την διαδικασία κατάτμησης με τον αλγόριθμο SNIC, επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές βελτιστοποίησης της κατάτμησης βασιζόμενες στον έλεγχο με οπτική παρατήρηση για τη δημιουργία ομοιογενών αντικειμένων εντός των περιοχών μελέτης (Verde et al., 2020), χωρίς την υπερβολική κατάτμηση της εικόνας (Hay et al., 2008).

Για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής κατάτμησης των αντικειμένων, ο αλγόριθμος SNIC εφαρμόστηκε σε εικόνες Sentinel-2 L2A λήψης εντός του Ιουλίου, χρησιμοποιώντας φασματική

πληροφορία από τους φασματικούς διαύλους χωρικής διακριτικής ικανότητας 10 μέτρων (B2, B3, B4, B8). Η εικόνα Ιουλίου επιλέχθηκε κατά αυτήν τη χρονική περίοδο, όταν η βλάστηση βρίσκεται στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης (Verde et al., 2020).

2.7 Επιλογή μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Στη διαδικασία ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν (Verde et al., 2020):

1. Φασματικές μεταβλητές
2. Δείκτες υφής των εικόνων Sentinel
3. Μέτρα περιγραφής του σχήματος των αντικειμένων
4. Μέτρα περιγραφής της μορφολογίας του αναγλύφου

2.7.1 Φασματικές μεταβλητές

Στις φασματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση περιλαμβάνονται οι δέκα φασματικοί δίαυλοι των αρχικών εικόνων Sentinel 2 (Πίνακας 7) και δέκα φασματικοί δείκτες (Πίνακας 8) που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τους αρχικούς διαύλους. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες πόλωσης VV, VH (Πίνακας 2.7) του Sentinel-1 και ο λόγος τους VV / VH (Πίνακας 2.8) (Amani et al., 2019; Stromann et al., 2019; Mahdianpari et al., 2020).

Πίνακας 2.7 Αρχικές φασματικές μεταβλητές

Μεταβλητή	Στατιστική μέτρηση	Πηγή
B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11, B12	Mean, stdDev	S2 L2A
VV, VH	Mean, stdDev	S1 IW GRD

Όπως είναι γνωστό, ως φασματικοί δείκτες (spectral indices) αναφέρονται οι μαθηματικοί συνδυασμοί μεταξύ δύο ή περισσότερων διαύλων της ίδιας πολυφασματικής εικόνας. Η νέα εικόνα-δείκτης που προκύπτει περιέχει ενισχυμένη φασματική πληροφορία για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας (Τσακίρη-Στρατή, 2012).

Στους φασματικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων στα πλαίσια του έργου LIFE-IP (Πίνακας 2.8) περιλαμβάνονται:

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index – **NDVI**) (Εικόνα 2.6), ο οποίος είναι ένας από τα πιο διαδεδομένους δείκτες φασματικής ενίσχυσης. Βασίζεται στην αρχή ότι η υγιής βλάστηση εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου και μικρή ανάκλαση στην περιοχή του ορατού λόγω της απορρόφησης της μπλε και

κόκκινης ακτινοβολίας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΗΜΦ) από την χλωροφύλλη για την φωτοσύνθεση. Ο εν λόγω δείκτης για επιφάνειες με βλάστηση δίνει θετικές τιμές, για το σχεδόν γυμνό έδαφος δίνει τιμές θετικές κοντά στο μηδέν και για τις επιφάνειες νερού δίνει αρνητικές τιμές (Τσακίρη-Στρατή, 2012).

Ο Δείκτης Βιοφυσικής Σύνθεσης (Biophysical Composition Index – **BCI**) (Εικόνα 2.6), ο οποίος είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς δείκτες για τη χαρτογράφηση δομημένων εκτάσεων και για το διαχωρισμό των αδιαπέρατων επιφανειών και γυμνού εδάφους (Deng et al., 2012).



Εικόνα 2.5. Οι δείκτες NDVI και BCI, σε σχέση με την αρχική εικόνα. Πηγή: (Deng and Wu, 2016)

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Περιεχόμενης Υγρασίας (Normalized Difference Water Index - **NDWI**), ο οποίος βασίζεται στο γεγονός πως η ακτινοβολία έχει ισχυρή απορροφητικότητα στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή του ΗΜΦ και μεγάλη αντανάκλαση στο νερό. Εμφανίζει θετικές τιμές για τα υδάτινα σώματα και αρνητικές για το έδαφος (Du et al., 2016).

Ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index-**EVI**) (Huete et al., 1999), ο οποίος υπολογίζεται παρόμοια με τον NDVI αλλά χρησιμοποιεί πρόσθετα μήκη κύματος φωτός για να διορθώσει τα μειονεκτήματα του NDVI, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή βιομάζα. Ο δείκτης EVI έχει βρεθεί να είναι ευαίσθητος σε παραμέτρους του φυλλώματος, όπως η φυλλική επιφάνεια, η δομή της κόμης και η φαινολογία των φυτών.

Ο Δείκτης Έντασης Υγρασίας (Moisture Stress Index-**MSI**), ο οποίος παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση με την περιεχόμενη υγρασία της βλάστησης και η εφαρμογή του σε πολυφασματικά δεδομένα δημιουργεί εικόνες κατάλληλες για τη χαρτογράφηση των υδάτινων σωμάτων (όπως λίμνες, ποτάμια κ.α.) και την περιεχόμενη υγρασία σε περιοχές φυτικής κάλυψης (Τσακίρη-Στρατή, 2012).

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Κόκκινο Μπλε (Normalized Difference Red-Blue Index-**NDRBI**), ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες σε αστικό περιβάλλον (Mallinis et al., 2014) και σχετίζεται με τις μη-διαπέρατες περιοχές της επιφάνειας της γης (Stow et al., 2012).

Ο μετασχηματισμός **Tasseled Cap (TC)**, κατά τον οποίο οι συνθετικοί δίαυλοι που προκύπτουν, φέρουν φασματική πληροφορία μεταξύ των άλλων σχετική με την φωτεινότητα των αντικειμένων (brightness) και την ύπαρξη χλωροφύλλης (greenness) και συχνά χρησιμοποιούνται σε μελέτες χαρτογράφησης χρήσης/κάλυψης γης (Lin et al., 2020).

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ο Κόκκινος-Πράσινος Δείκτης Βλάστησης (Green Red Vegetation Index- **GRVI**) για την εξέταση του φαινολογικού κύκλου κάθε καλλιέργειας, δηλαδή τις εποχιακές

μεταβολές που οφείλονται στις διαδικασίες της ανάπτυξης και γήρανσης της βλάστησης (Motohka et al. 2010). Ο δείκτης GRVI εμφανίζει θετικές τιμές για την υγιή βλάστηση, αρνητικές για το έδαφος και τιμές κοντά στο μηδέν για το νερό.

Πίνακας 2.8 Φασματικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Μεταβλητή	Στατιστική μέτρηση	Εξίσωση	Πηγή	Αναφορά
reNDVI	Mean, stdDev	$\frac{B8 - B5}{B8 + B5}$	S2 L2A	(Forkuor et al., 2018)
NDWI	Mean, stdDev	$\frac{B3 - B8}{B3 + B8}$	S2 L2A	(McFeeters, 1996)
GRVI	Mean, stdDev	$\frac{B3 - B4}{B3 + B4}$	S2 L2A	(Motohka et al., 2010)
NDRBI	Mean, stdDev	$\frac{B4 - B2}{B4 + B2}$	S2 L2A	(Mallinis et al., 2014)
MSI	Mean, stdDev	$\frac{B11}{B8}$	S2 L2A	(Dotzler et al., 2015)
EVI	Mean, stdDev	$2.5 \frac{B8 - B4}{B8 + 6B4 - 7.5B2 + 1}$	S2 L2A	(Huete et al., 2002)
TC Brightness	Mean, stdDev		S2 L1C	(Shi and Xu, 2019)
TC Greenness	Mean, stdDev		S2 L1C	
TC Wetness	Mean, stdDev		S2 L1C	
BCI	Mean, stdDev		S2 L1C	(Deng and Wu, 2012)
VV/VH ratio	Mean, stdDev	$\frac{VV}{VH}$	S1 IW GRD	

2.7.2 Δείκτες υψής των εικόνων Sentinel

Εκτός από τη φασματική πληροφορία, η υψηλή χωρική ανάλυση των εικόνων Sentinel διευκολύνει τη χρήση μέτρων υψής για την ενσωμάτωση της χωρικής πληροφορίας των εικόνων στη διαδικασία της ταξινόμησης. Για την βελτίωση της ακρίβειας χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές του μοντέλου ταξινόμησης και μέτρα περιγραφής της υψής των δορυφορικών εικόνων. Υπολογίστηκαν διάφορα μέτρα μέσω Πίνακα

Συνύπαρξης Επιπέδων του Γκρι (Grey Level Co-occurrence matrix – GLCM) (Haralick et al., 1973). Ο GLCM είναι ένας συμμετρικός πίνακας όπου οι τιμές του αναπαριστούν την σχετική συχνότητα των ψηφίδων με τονικά επίπεδα και την συνύπαρξη σε μία απόσταση και κατεύθυνση που ορίζει ο χρήστης (Haralick et al., 1973; Χατζηαντωνίου, 2017).

Τα μέτρα δεύτερης τάξης που προκύπτουν μέσω χρήσης GLCMs υπολογίζονται για μία περιοχή συνήθως μέσω ενός κινούμενου παραθύρου. Τα μέτρα δεύτερης τάξης που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων είναι: η αντίθεση (contrast), η συσχέτιση (correlation), η ομοιογένεια (homogeneity), η δεύτερη γωνιακή ροπή (angular second moment, ASM), η ανομοιότητα (dissimilarity), η εντροπία (entropy), η μέση τιμή (mean) και η διασπορά (variance). Στη παρούσα χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκε η συσχέτιση (correlation) GLCM (Culbert et al., 2009) (Πίνακας 2.9), η οποία σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, υπολογίζεται για την ενίσχυση της διαχωριστικότητας της βλάστησης.

Προκειμένου να βελτιωθεί η δυνατότητα διαχωρισμού των τάξεων που περιέχουν τον ίδιο τύπο βλάστησης και ποικίλλουν μόνο όσον αφορά το ύψος και την πυκνότητα (δηλαδή, κατηγορίες «Σκληρόφυλλη βλάστηση» και «Μεσογειακά σκληρόφυλλα δάση») εκτός των μετρήσεων GLCM στη μπλε ζώνη Sentinel-2 (B2) (Pandit et al., 2019; Vaglio et al., 2016), στην ταξινόμηση συμπεριλήφθηκαν μετρήσεις GLCM για τον δείκτη βιοφυσικής σύνθεσης (BCI) και για τις εικόνες πόλωσης VV και VH του Sentinel-1 A/B (Morin et al., 2019) (Πίνακας 2.9).

Για την ενίσχυση των αστικών περιοχών, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης PANTEX (Πίνακας 2.9), ο οποίος επισημαίνει τις τοπικές αντιθέσεις διατηρώντας την ελάχιστη τιμή GLCM στις διάφορες κατευθύνσεις (Lefebvre et al., 2016).

Πίνακας 2.9 Δείκτες υψής που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Μεταβλητή	Στατιστική μέτρηση	Πηγή	Αναφορά
B2 7 × 7 GLCM Correlation	Mean	S2 L2A	(Pandit et al., 2019)
PANTEX	Mean	S2 L2A	(Pesaresi et al., 2008)
BCI 3 × 3 GLCM Correlation	Mean	S2 L1C	-
VV 7 × 7 GLCM Correlation	Mean	S1 IW GRD	(Morin et al., 2019)
VH 7 × 7 GLCM Correlation	Mean	S1 IW GRD	

Προκειμένου να περιγραφεί η πολυπλοκότητα των αντικειμένων κατάτμησης και για την περαιτέρω διερεύνηση των πλεονεκτημάτων της προσέγγισης αντικειμονοστραφούς ανάλυσης (OBIA), για κάθε αντικείμενο, εξήχθησαν το εμβαδό, η περίμετρος, ο συντελεστής μορφής (form factor), το μέτρο «square pixel», η μορφοκλασματική διάσταση (fractal dimension) και ο δείκτης σχήματος (shape index) (Jiao et al., 2012) (Πίνακας 2.10).

2.7.3 Μέτρα περιγραφής του σχήματος των αντικειμένων

Προκειμένου να περιγραφεί η πολυπλοκότητα των αντικειμένων κατάτμησης και για την περαιτέρω διερεύνηση των πλεονεκτημάτων της προσέγγισης αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (OBIA), για κάθε αντικείμενο, εξήχθησαν το εμβαδό, η περίμετρος, ο συντελεστής μορφής (form factor), το μέτρο «square pixel», η μορφοκλασματική διάσταση (fractal dimension) και ο δείκτης σχήματος (shape index) (Jiao et al., 2012) (Πίνακας 2.10).

Πίνακας 2.10 Μεταβλητές σχήματος

Μεταβλητή	Εξίσωση	Αναφορά
Περίμετρος- εμβαδό (Perimeter, -Area)		
Συντελεστής μορφής (Form factor)	$\frac{4\pi A}{P}$	(Jiao et al., 2012)
Square pixel	$1 - \frac{4\sqrt{A}}{P}$	
Μορφοκλασματική διάσταση (Fractal dimension)	$2 \frac{\ln(\frac{P}{4})}{\ln A}$	
Δείκτης σχήματος (Shape index)	$\frac{P}{4\sqrt{A}}$	

2.7.4 Μέτρα περιγραφής της μορφολογίας του αναγλύφου

Τέλος, βοηθητικές πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία προήλθαν από το EU-DEM v1.1, ένα υβριδικό πανευρωπαϊκό ψηφιακό μοντέλο εδάφους βασισμένο κυρίως στα προϊόντα SRTM και ASTER GDEM, με χωρική ανάλυση 25 μέτρων (García et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2.11) ήταν το υψόμετρο, η κλίση και ο Τοπογραφικός Δείκτης Ηλιακής Ακτινοβολίας (Topographic Solar-Radiation Index -TRASP) (Roberts et al, 1989).

Πίνακας 2.11 Βοηθητικά δεδομένα

Μεταβλητή	Στατιστική μέτρηση	Πηγή	Αναφορά
Υψόμετρο, -Κλίση, -TRASP	Mean	EU-DEM	(Roberts et al., 1989)

2.8 Δεδομένα αναφοράς

Για χαρτογράφηση εθνικής κλίμακας, η συλλογή δεδομένων αναφοράς βασιζόμενη μόνο από δεδομένα πεδίου θα είχε μεγάλο οικονομικό και υλικοτεχνικό κόστος. Ωστόσο, υπάρχοντα γεωχωρικά σύνολα δεδομένων και προϊόντα του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων αναφοράς με κατάλληλη αντιστοίχιση τάξεων ταξινόμησης και προσεκτική δειγματοληψία. Για την συλλογή δεδομένων αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω γεωχωρικά δεδομένα :

1. Natura 2000 (N2K)

Το λεπτομερές σχήμα ταξινόμησης N2K, συμπεριλαμβανομένων 55 θεματικών τάξεων χρήσης/ κάλυψης γης (LULC) και ο χάρτης οικοτόπων Natura 2000 (κλίμακας 1: 5000) του Εθνικού Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογράφησης χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των δειγμάτων αναφοράς, με την υπόθεση ότι η κάλυψη γης εντός προστατευόμενων περιοχών παραμένει σταθερή για μια περίοδο δύο ετών (Leinenkugel et al., 2019).

2. Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Αγροτεμαχίων

Το Σύστημα Πληροφοριών Αγροτεμαχίων (LPIS) για το ελληνικό χώρο (σε κλίμακα 1: 5000) χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δειγμάτων (Inglada et al., 2017; Griffiths et al., 2019a) και συγκεκριμένα για τη δημιουργία δειγμάτων καλλιεργήσιμης γης, κάνοντας την υπόθεση ότι οι αλλαγές σε μεγάλες κατηγορίες γεωργικών καλλιεργειών από έτος σε έτος, είναι μικρές. Τα δείγματα που εξήχθησαν από το LPIS, βελτιώθηκαν περαιτέρω χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το σύνολο δεδομένων Corine Land Cover 2018 προκειμένου να εντοπιστούν και να επιλεγούν μόνο οι περιοχές με μεγάλη πιθανότητα να ανήκουν στην εν λόγω τάξη (Carrasco et al., 2019).

3. Copernicus High Resolution Layer (HRL)

Δεδομένα υψηλής ανάλυσης σχετικά με την αδιαπερατότητα της επιφάνειας του εδάφους, του Προγράμματος Copernicus (Imperviousness High Resolution Layer (HRL))(Griffiths et al., 2019a; Leinenkugel et al., 2019) χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή δειγμάτων αναφοράς σε αστικές περιοχές. Το σύνολο των δεδομένων Imperviousness HRL έχει δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI. Το τελικό προϊόν είναι χωρικής ανάλυσης 20 m και απεικονίζει το ποσοστό της αδιαπέρατης κάλυψης του εδάφους (στεγανοποίηση εδάφους) ανά εικονοστοιχείο. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του 2015, με την παραδοχή ότι οι κατοικημένες περιοχές σπάνια μετατρέπονται σε φυσικές επιφάνειες (Lefebvre et al., 2016).

Η συλλογή δεδομένων αναφοράς πραγματοποιήθηκε σε τρία βήματα (Verde et al., 2020).



Βήμα 1. Συλλογή δείγματος αναφοράς, για εκπαίδευση και επικύρωση, με στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία, βασιζόμενη στα προαναφερθέντα δεδομένα.

Βήμα 2. Για το σύνολο δειγμάτων επικύρωσης ακολουθήθηκε η προσέγγιση των Mack et al. (2017). Συγκεκριμένα επιλέχτηκε τυχαία ένα υποσύνολο των δειγμάτων αναφοράς, το οποίο ελέγχτηκε μέσω φωτοερμηνείας εικόνων Google Earth Engine και εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR IMAGE) 2018 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency-ESA)

Βήμα 3. Τα δείγματα επικύρωσης από το Βήμα 2 εξαιρέθηκαν από την αρχική συλλογή δείγματος αναφοράς και τα υπόλοιπα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη δύο διαφορετικών συνόλων δεδομένων εκπαίδευσης.

Το πρώτο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (αυτοματοποιημένο) περιείχε τα αντικείμενα που δείγματος αναφοράς, χωρίς καμία τροποποίηση. Το δεύτερο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (μη αυτοματοποιημένο) διορθώθηκε με βάση την οπτική ερμηνεία των διαθέσιμων εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR IMAGE) 2018 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency-ESA).

2.9 Αλγόριθμος ταξινόμησης και αξιολόγηση ακρίβειας της χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Η ταξινόμηση των αντικειμένων πραγματοποιήθηκε με τον αλγόριθμο επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης των Τυχαίων Δασών (Random Forest- RF) (Breiman, 2001) (Εικόνα 2.7). Ο αλγόριθμος RF είναι ένας από τους πιο γνωστούς αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης, ο οποίος αποτελείται από πολλά δέντρα απόφασης (decision trees). Δέντρο απόφασης είναι ένα σύνολο κανόνων απόφασης, το οποίο αποτελείται από εσωτερικούς κόμβους, οι οποίοι αντιστοιχούν στις μεταβλητές του δείγματος, ακμές οι οποίες αντιστοιχούν σε υποσύνολα τιμών των μεταβλητών και τερματικούς κόμβους οι οποίοι αντιστοιχούν στις κατηγορίες (class labels) (Φωτιάδου, 2018).

Για την «κατασκευή» ενός μοντέλου ταξινόμησης RF, αρχικά, αναπτύσσονται πολλά δέντρα απόφασης με το σύνολο των δειγμάτων εκπαίδευσης (N) να ανατίθεται στη ρίζα του και κάθε ενδιάμεσος κόμβος να περιέχει ένα υποσύνολο των δειγμάτων, το οποίο επιλέγεται τυχαία με εναπόθεση (bootstrap sampling with replacement). Το υπόλοιπο του συνόλου δεν χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του δέντρου, αλλά χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του σφάλματος ταξινόμησης και ονομάζεται Out-Of-Bag (OOB). Κατά τη διαδικασία αυτή περίπου το ένα τρίτο των του δείγματος εκπαίδευσης του αλγορίθμου παραμένει εκτός (Zhang et al, 2012).

Αν με M συμβολίζεται ο συνολικός αριθμός μεταβλητών του δείγματος εκπαίδευσης, το πλήθος των μεταβλητών που επιλέγονται τυχαία σε κάθε κόμβο είναι ίσο με m_{try} , τέτοιο ώστε $m_{try} \ll M$ (Liaw et al., 2015). Η μέθοδος επαναλαμβάνεται για τον αριθμό των δένδρων (n_{try}) που έχει καθοριστεί από τον χρήστη.

Τέλος, κάθε δέντρο δίνει διαφορετική ταξινόμηση «ψηφίζοντας» μία κλάση. Κάθε κλάση έχει έναν αριθμό «ψηφών» (votes) και η κλάση που τελικά επικρατεί και πραγματοποιεί την ταξινόμηση είναι αυτή που παίρνει τους περισσότερους ψήφους



Σημαντικές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν για την εφαρμογή του αλγόριθμου RF είναι (Chrysafis et al., 2017):

- I. ο αριθμός των μεταβλητών εισόδου που επιλέγονται τυχαία σε κάθε κόμβο (mtry),
- II. ο αριθμός των δέντρων (ntree), και
- III. το μέγεθος του κόμβου που επιτρέπει τον καθορισμό του ελάχιστου αριθμού των δειγμάτων (node size) σε έναν κόμβο.

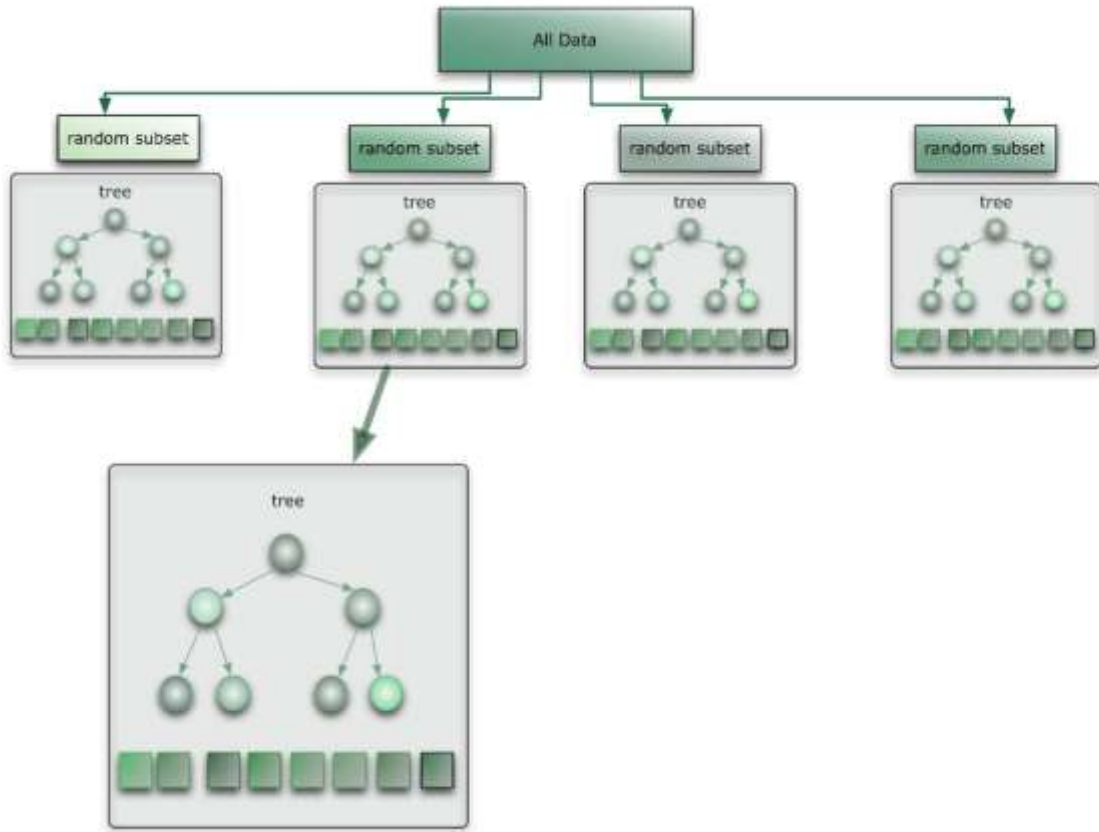
Ένα πλεονέκτημα του αλγόριθμου RF είναι η δυνατότητα εκτίμησης μεγεθών όπως η σημαντικότητα κάθε μεταβλητής (variable importance) η οποία απεικονίζει το πόσο πολύ κάθε μεταβλητή, παίζει ρόλο στην μείωση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Η σημαντικότητα των μεταβλητών υπολογίζεται από την αύξηση του σφάλματος OOB και τη μείωση του δείκτη μη καθαρότητας-GINI, όταν δηλαδή μετατίθεται μία από τις μεταβλητές εισαγωγής ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές. Αυτό το μέτρο βοηθά στον προσδιορισμό των πιο σημαντικών μεταβλητών πρόβλεψης στην ταξινόμηση και απλοποιεί το μοντέλο (Liaw et al., 2002; Rodriguez-galiano et al., 2012).

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας κάθε μοντέλου ταξινόμησης που αναπτύχθηκε, κατασκευάστηκε η μήτρα σφαλμάτων ταξινόμησης (confusion matrix), από όπου προκύπτει η συνολική ακρίβεια (overall accuracy OA), ταξινόμησης αλλά και οι επιμέρους ακρίβειες δηλαδή, ακρίβεια αναλυτή (producer's accuracy- PA), ακρίβεια χρήστη (user's accuracy- UA) (Foody, 2002).

Η μήτρα σφαλμάτων για την εκτίμηση της ακρίβειας αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα μελετών ταξινόμησης χρήσεων/καλύψεων γης. Η ακρίβεια του αναλυτή, είναι μια ένδειξη του πόσο καλά μια συγκεκριμένη περιοχή έχει ταξινομηθεί και αντίστοιχα η ακρίβεια του χρήστη είναι ένα μέτρο της αξιοπιστίας του τελικού χάρτη και πληροφορεί το χρήστη πόσο καλά ένας χάρτης αντιπροσωπεύει το τι πραγματικά υπάρχει στο έδαφος (Inglada et al., 2017; Amani et al., 2019).

Μια πρόσθετη μέτρηση που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας της ταξινόμησης ήταν ο δείκτης επιτυχίας ταξινόμησης οντοτήτων Individual Classification Success Index ICSI), (Koukoulas et al., 2001), για κάθε κατηγορία i .

$$ICSI = UA\%_i + PA\%_i - 100$$



Εικόνα 2.6 Αλγόριθμος τυχαίων δασών. Πηγή : (Benyamin, 2012)

Για τη βέλτιστη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν συνολικά έξι μοντέλα RF όπως εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.12).

Πίνακας 2.2 Μοντέλα ταξινόμησης τα οποία αξιολογήθηκαν για τη βέλτιστη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Μοντέλο	Μέθοδος εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης	Σύνθεση εικόνων	Σύνολο μεταβλητών
M-S-F	Μη αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Πλήρες
M-S-R	Μη αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Μειωμένο
M-M-R	Μη αυτοματοποιημένη	Μηνιαία	Μειωμένο
A-S-F	Αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Πλήρες
A-S-R	Αυτοματοποιημένη	Εποχιακή	Μειωμένο
A-M-R	Αυτοματοποιημένη	Μηνιαία	Μειωμένο

2.10 Έλεγχος και βελτίωση της ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Για την περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας της αυτοματοποιημένης ψηφιακής ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε οπτικός έλεγχος και επικύρωση του χάρτη.'

Λάθη στην ταξινόμηση λόγω θεματικών και γεωμετρικών σφαλμάτων στα δεδομένα εκπαίδευσης (οριοθέτηση και διάκριση τύπων οικοτόπων), ραδιομετρικά σφάλματα των δορυφορικών εικόνων (παραμόρφωση τιμών λόγω τοπογραφικής ομαλοποίησης κ.λπ.), της ποικιλότητας και της ετερογένειας του ανάγλυφου, αλλά και εγγενείς περιορισμοί λόγω της πολυπλοκότητας του σχήματος ταξινόμησης, της οικολογικής και φασματικής ετερογένειας των τάξεων, καθιστούν αναμενόμενες διαφοροποιήσεις στην ακρίβεια των επιμέρους τάξεων χωρικά.

Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάστηκαν μια σειρά από κανόνες και ελέγχους για τον έλεγχο των τάξεων της ταξινόμησης, λαμβάνοντας υπόψη βοηθητικά χαρτογραφικά επίπεδα:

-Ψηφιακός Χάρτης Βλάστησης της Ελλάδας της Γενική Διεύθυνση Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος του ΥΠΕΝ.

-- Γεωχωρικά δεδομένα από το "Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Αγροτεμαχίων -Land Parcel Information System (LPIS).

-- Πρόσφατοι δασικοί χάρτες της ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

- Τα δεδομένα πεδίου που συλλέγονται από την επιστημονική ομάδα του έργου μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας MAES_GR για την αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών στο σύνολο της χώρας

Τέλος στο στάδιο αυτό υιοθετήθηκε και η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (Minimum mapping unit) για την παραγωγή του τελικού προϊόντος σύμφωνα με τη παρακάτω διάκριση

1. Για τις κατηγορίες Αστικός ιστός και Καλλιέργειες 2 εκτάρια
2. Για τις λοιπές κατηγορίες του σχήματος ταξινόμησης 4 εκτάρια

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

3.1 Σύγκριση μοντέλων ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Όσον αφορά τα επιτευχθέντα επίπεδα ακρίβειας των μοντέλων ταξινόμησης που αναπτύχθηκαν υπό τις διαφορετικές μεθόδους εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης (Πίνακας 3.1), η μη αυτοματοποιημένη μέθοδος παρουσίασε την υψηλότερη συνολική ακρίβεια (77,33% –79,55%) για όλα τα σύνολα μεταβλητών που αξιολογήθηκαν, ενώ η αυτοματοποιημένη μέθοδος εξαγωγής δειγμάτων είχε ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη συνολική ακρίβεια (74,89% –75,64%).

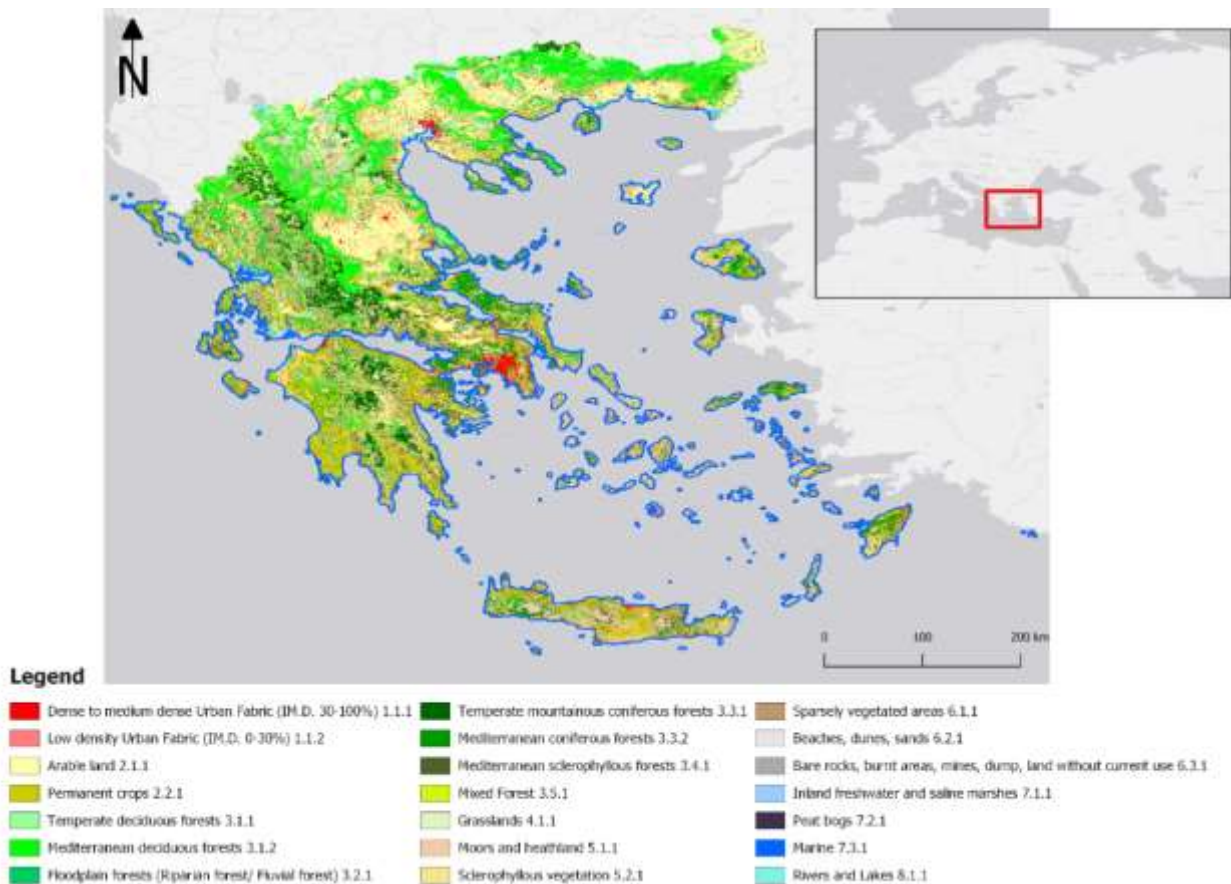
Πίνακας 3.1 Συνολικά, ακρίβεια του παραγωγού (%) και του χρήστη (%) και το ICSI (%) για τις έξι διαφορετικές ταξινομήσεις πειράματα. Ο υψηλότερος κορεσμός κόκκινου χρώματος υποδεικνύει τιμές ICSI πολύ κάτω από τον μέσο όρο ICSI, ενώ υψηλότερος κορεσμός πράσινου χρώματος υποδεικνύει τιμές ICSI πολύ πάνω από τον μέσο όρο

Class	M-S-F			M-S-R			M-M-R			A-S-F			A-S-R			M-M-R		
	PA	UA	ICSI	PA	UA	ICSI	PA	UA	ICSI	PA	UA	ICSI	PA	UA	ICSI	PA	UA	ICSI
1.1.1	84	83	67	82	84	66	82	85	67	96	60	56	96	59	55	96	59	55
1.1.2	93	80	73	93	81	74	93	83	76	45	92	37	43	92	35	43	92	35
2.1.1	90	87	77	89	86	75	91	88	79	91	79	70	91	78	69	93	80	73
2.2.1	80	81	61	84	85	69	84	86	70	83	74	57	84	73	57	86	78	64
3.1.1	85	82	67	86	81	67	91	84	75	89	74	63	87	74	61	90	81	71
3.1.2	77	79	56	75	79	54	79	78	57	80	66	46	79	66	45	80	65	45
3.2.1	68	64	32	72	60	32	74	81	55	65	73	38	68	73	41	67	75	42
3.3.1	82	77	59	84	77	61	83	76	59	81	85	66	79	82	61	79	83	62
3.3.2	81	74	55	84	79	63	84	79	63	85	74	59	85	78	63	83	79	62
3.4.1	37	62	-1	43	67	10	48	68	16	55	63	18	57	61	18	57	60	17
3.5.1	58	78	36	63	80	43	60	78	38	58	72	30	57	71	28	69	76	45
4.1.1	75	75	50	76	76	52	77	75	52	78	75	53	78	76	54	79	75	54
5.1.1	48	61	9	49	63	12	51	62	13	52	51	3	55	52	7	55	56	11
5.2.1	46	39	-15	49	44	-7	46	44	-10	48	55	3	48	54	2	49	53	2
6.1.1	87	72	59	88	73	61	90	75	65	84	78	62	83	78	61	86	78	64
6.2.1	62	76	38	69	75	44	71	77	48	69	65	34	70	63	33	70	62	32
6.3.1	90	83	73	91	84	75	88	82	70	38	92	30	36	97	33	35	96	31
7.1.1	81	76	57	78	76	54	89	82	71	87	85	72	86	85	71	88	86	74
7.2.1	81	100	81	78	100	78	81	100	81	66	100	66	66	100	66	63	100	63
7.3.1	98	99	97	97	99	96	97	99	96	98	100	98	99	100	99	97	100	97
8.1.1	93	98	91	95	98	93	95	98	93	97	98	95	95	99	94	96	99	95
OA	77.33			78.67			79.55			74.89			74.61			75.64		

Όσον αφορά τα διαφορετικά σύνολα μεταβλητών που αξιολογήθηκαν, η υψηλότερη ακρίβεια επιτεύχθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε η μηνιαία σύνθεση εικόνων και για τις δύο μεθόδους εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης (M-M-R και A-M-R) με συνολική ακρίβεια 75,64% και 79,55%, αντίστοιχα. Σε αντίθεση, η χρήση όλων των μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των δίαυλων του Sentinel-2, παρουσίασε τα λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο για την μη αυτοματοποιημένη (M-S-F) όσο και για την αυτοματοποιημένη (A-S-F) μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης, με συνολική ακρίβεια 74,89% και 77,33% αντίστοιχα (Πίνακας 3.2).

Η υψηλότερη ακρίβεια σημειώθηκε από το μοντέλο M-M-R με συνολική ακρίβεια 79,55% (Πίνακας 3.2) λαμβάνοντας υπόψη το μειωμένο σύνολο μεταβλητών (reduced) της μηνιαίας σύνθεσης εικόνων και την μη-αυτοματοποιημένη μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης (Εικόνα 3.1).

Η εξαγωγή δειγμάτων εκπαίδευσης με τη μη αυτοματοποιημένη μέθοδο παρείχε καλύτερη ισορροπία σφαλμάτων, παρουσιάζοντας χαμηλότερες μέσες απόλυτες διαφορές (7,84%), μεταξύ της ακρίβειας του αναλυτή και του χρήστη και στα τρία σύνολα μεταβλητών, σε σύγκριση με την αυτοματοποιημένη μέθοδο (13,85%). Ωστόσο, το μοντέλο ταξινόμησης που βασίστηκε στη μηνιαία σύνθεση εικόνων και στη μη αυτοματοποιημένη μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης (M-M-R), παρουσίασε τη χαμηλότερη μέση απόλυτη διαφορά (7,43%) μεταξύ αναλυτή (PA) και χρήστη (UA).



Εικόνα 3.1 Χάρτης τύπων οικοσυστημάτων που προέκυψε από την ταξινόμηση με μη αυτοματοποιημένα και μηνιαίες συνθέσεις μεταβλητών (M-M-R).

Με τη μη αυτοματοποιημένη μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης παρουσιάστηκαν επίσης μεγάλες διαφορές στα λάθη παράλειψης / προμήθειας κυρίως στην ταξινόμηση των αντικειμένων αστικού ιστού (1.1.1 και 1.2.1), γεωργικών περιοχών (2.1.1 και 2.2.1), απογυμνωμένων βράχων (6.3.1) και τυρφώνων (7.2.1). Ωστόσο, η αρνητική επίδραση στην ισορροπία σφαλμάτων ήταν εμφανής σε ό, τι αφορά την κατηγορία μεσογειακών σκληρόφυλλων δασών (3.4.1), μικτών δασών (3.5.1), και θάμνων και χερσότοπων (5.1.1).

Ο δείκτης ICSI απέδειξε επίσης ότι η εξαγωγή δειγμάτων εκπαίδευσης με την μη αυτοματοποιημένη μέθοδο, συγκριτικά με την αυτοματοποιημένη, μείωσε το αποτέλεσμα ακρίβειας της ταξινόμησης σε 10 από τις 21 τάξεις, κυρίως στην κατηγορία μεσογειακών σκληρόφυλλων δασών (3.4.1) κατά 19%, στην κατηγορία γλυκών υδάτων και παραθαλάσσιων βάλτων (7.1.1) κατά 15%, όταν χρησιμοποιήθηκε το πλήρες (full) σύνολο μεταβλητών (M-S-F). Ωστόσο, όταν χρησιμοποιήθηκε το υποσύνολο μεταβλητών μηνιαίας σύνθεσης εικόνων (M-M-R), η μη αυτοματοποιημένη μέθοδος εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης βελτίωσε το δείκτη ICSI σε 13 από τις 21 τάξεις.

Η χρήση της μηνιαίας αντί της εποχιακής σύνθεσης των εικόνων, με την μη αυτοματοποιημένη μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων (δηλαδή, M-M-R αντί για M-S-R), βελτίωσε επίσης τον δείκτη ICSI σε

13 από τις 21 τάξεις, ενώ η βελτίωση ήταν ακόμη υψηλότερη σε σύγκριση με την χρήση του πλήρους συνόλου μεταβλητών της εποχιακής σύνθεσης των εικόνων (M-S-F) (16 από τις 21 τάξεις).

Ωστόσο, σε όλα τα μοντέλα ταξινόμησης, επιτεύχθηκε μέτρια έως χαμηλή ακρίβεια (κάτω από 30%), όσον αφορά τον δείκτη ICSI, για τη σκληροφυλλική βλάστηση (5.2.1), τους θάμνους και χερσότοπους (5.1.1) και το μεσογειακά σκληροφυλλικά δάση (3.4.1).

Κατηγορίες που παρουσίασαν τις υψηλότερες ακρίβειες, και παρέμειναν σταθερές και στις δύο μεθόδους εξαγωγής δειγμάτων, ήταν τα ορεινά εύκρατα δάση κωνοφόρων (3.3.1), τα μεσογειακά κωνοφόρα δάση (3.3.2), τα λιβάδια (4.1.1), τα θαλάσσια ύδατα (7.3.1) τα ποτάμια και οι λίμνες (8.1.1).

Πίνακας 3.2 Πίνακας σύγχυσης για λιγότερο ακριβείς ταξινόμηση (M-M-R)

		Classification																						
		1.1.1	1.1.2	2.1.1	2.2.1	3.1.1	3.1.2	3.2.1	3.3.1	3.3.2	3.4.1	3.5.1	4.1.1	5.1.1	5.2.1	6.1.1	6.2.1	6.3.1	7.1.1	7.2.1	7.3.1	8.1.1		
Reference	1.1.1	96	2																					
	1.1.2	33	43								2			1	1						1			
	2.1.1			91	4			1										2						
	2.2.1			3	84			7			3				1									
	3.1.1					87	8		1			2	1											
	3.1.2					3	11	79			3		1		2									
	3.2.1					2	1	12	68									9			6			
	3.3.1									79	4	5	10											
	3.3.2									2	2	1	85	4										
	3.4.1									6	2	2	3	6	57									
	3.5.1											23	3	13										
	4.1.1																							
	5.1.1																							
	5.2.1																							
	6.1.1																							
	6.2.1																							
	6.3.1																							
	7.1.1																							
	7.2.1																							
	7.3.1																							
	8.1.1																							

Οι Πίνακες 3.2 και 3.3 απεικονίζουν τις μήτρες σφαλμάτων ταξινόμησης (confusion matrices) με την καλύτερη (M-M-R) και τη χειρότερη (A-S-F) απόδοση ταξινόμησης, αντίστοιχα. Στο μοντέλο ταξινόμησης A-S-F (Πίνακας 3.3), η σύγχυση των τάξεων αστικού ιστού χαμηλής πυκνότητας (1.1.2) με το πυκνό αστικό ιστό (1.1.1), των γυμνών εκτάσεων (6.3.1) με το πυκνό αστικό ιστό (1.1.1), και των τυρφώνων (7.2.1) με τα γλυκά ύδατα και τους παραθαλάσσιους βάλτους. (7.1.1), ήταν υψηλή. Όλες αυτές οι εσφαλμένες ταξινομήσεις ελαχιστοποιήθηκαν με τη μη αυτοματοποιημένη μέθοδο εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης και τη χρήση των μεταβλητών της μηνιαίας σύνθεσης εικόνων (M-M-R) (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3 Πίνακας σύγκρισης για λιγότερο ακριβείς ταξινόμηση (A-S-F).

Reference	Classification																					
	1.1.1	1.1.2	2.1.1	2.2.1	3.1.1	3.1.2	3.2.1	3.3.1	3.3.2	3.4.1	3.5.1	4.1.1	5.1.1	5.2.1	6.1.1	6.2.1	6.3.1	7.1.1	7.2.1	7.3.1	8.1.1	
1.1.1	96	2																				
1.1.2	33	43	8	8		2				2			1	1						1		
2.1.1			91	4			1									2						
2.2.1			3	84			7			3				1								
3.1.1					87	8		1			2	1										
3.1.2				3	11	79				3		1		2								
3.2.1				2	1	12	68									9				6		
3.3.1								79	4	5	10											
3.3.2				2		2		1	85	4												
3.4.1				6		2	2	3	6	57			4	18								
3.5.1					23	3		13			57	2		2								
4.1.1				1		2						78	6	3	9							
5.1.1			4	1					2	7		13	55	3	13							
5.2.1			1	1		7		3	7	15		3	11	48	1							
6.1.1						2					2	2	9		83							1
6.2.1	2		2				9									70			17			
6.3.1	34		4				5		3				14	2	2		36					
7.1.1							2									9				86		
7.2.1							3					13				3			16	66		
7.3.1																				1	99	
8.1.1																				4		95

3.2 Οπτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

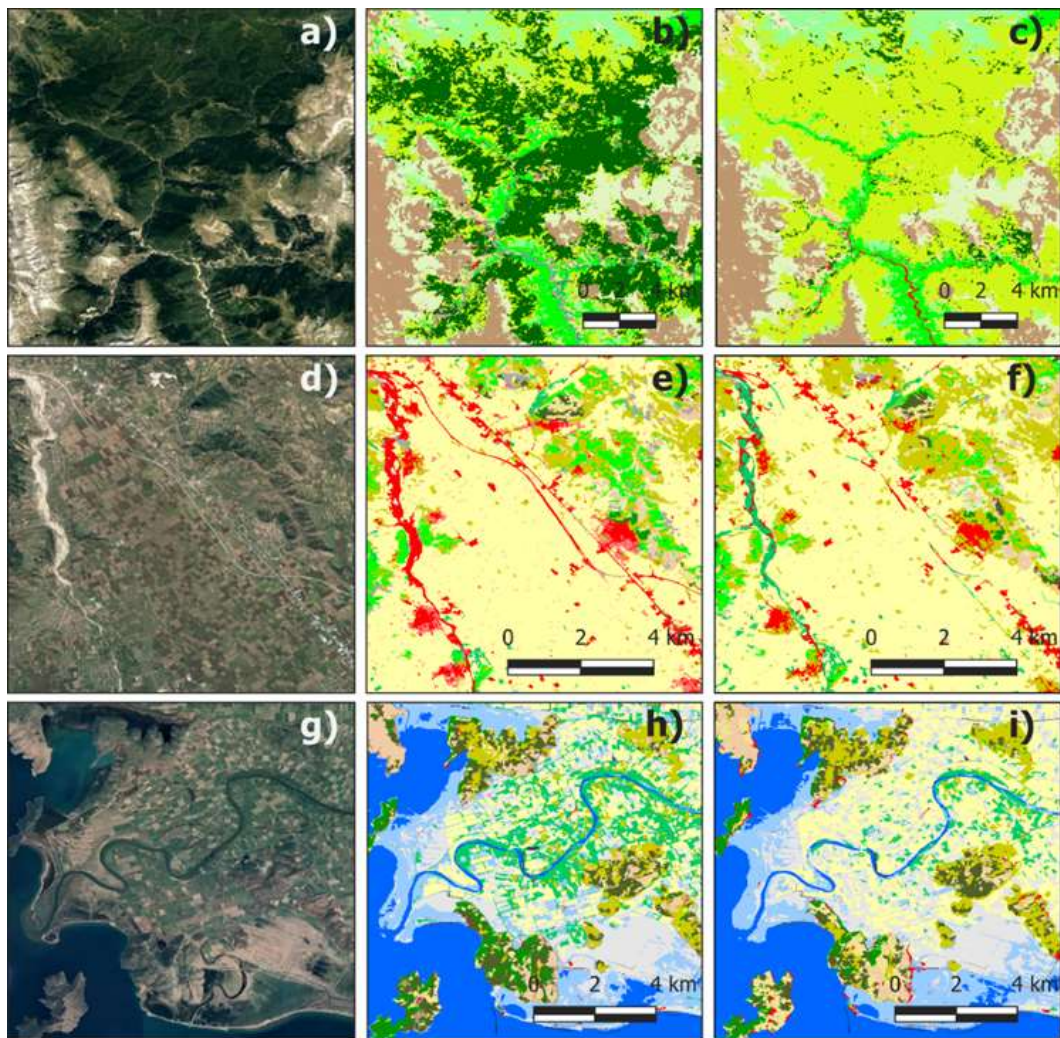
Η χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων αλλά και της χρήσης/κάλυψης γης ετερογενών τοπίων, σε μεγάλη κλίμακα παρουσιάζει σφάλματα που δεν είναι πάντοτε εμφανή στις ποσοτικές αξιολογήσεις ταξινόμησης χρησιμοποιώντας δηλαδή την μήτρα σφαλμάτων και τα προκύπτοντα τυπικά μέτρα ακρίβειας. Οι οπτικές αξιολογήσεις είναι πάντοτε απαραίτητες για χωρική απεικόνιση των σφαλμάτων ταξινόμησης που δεν επισημάνθηκαν στα μέτρα ακρίβειας (Inglada et al., 2017).

Γενικά, η οπτική σύγκριση των ταξινομήσεων αποκάλυψε μικρές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών συνόλων μεταβλητών και σημαντικές διαφορές για τις ταξινομήσεις διαφορετικών μεθόδων εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης. Συγκεκριμένα, οι ταξινομήσεις με αυτόματη εξαγωγή δειγμάτων εκπαίδευσης οδήγησαν σε υπερεκτίμηση των μικτών δασών (3.5.1) και των μεσογειακών κωνοφόρων (3.3.2) (Εικόνα 3.2 - α, β, γ). Αντιθέτως, ο αστικός ιστός χαμηλής πυκνότητας (1.1.2) υποτιμήθηκε (Πίνακας 3.1). Στη ταξινόμηση του μοντέλου A-M-R οι περιοχές που περιβάλλουν πυκνό αστικό ιστό, ταξινομήθηκαν ως μόνιμες καλλιέργειες (2.2.1), ενώ στη ταξινόμηση του μοντέλου M-M-R οι ίδιες περιοχές ταξινομήθηκαν ως αστικός ιστός χαμηλής πυκνότητας,



σφάλματα που πιθανόν οφείλονται στα αυτοματοποιημένα δείγματα LPIS που περιέχουν θερμοκήπια και στα οποία υπήρχε μείξη καλλιεργειών με τεχνητά υλικά.

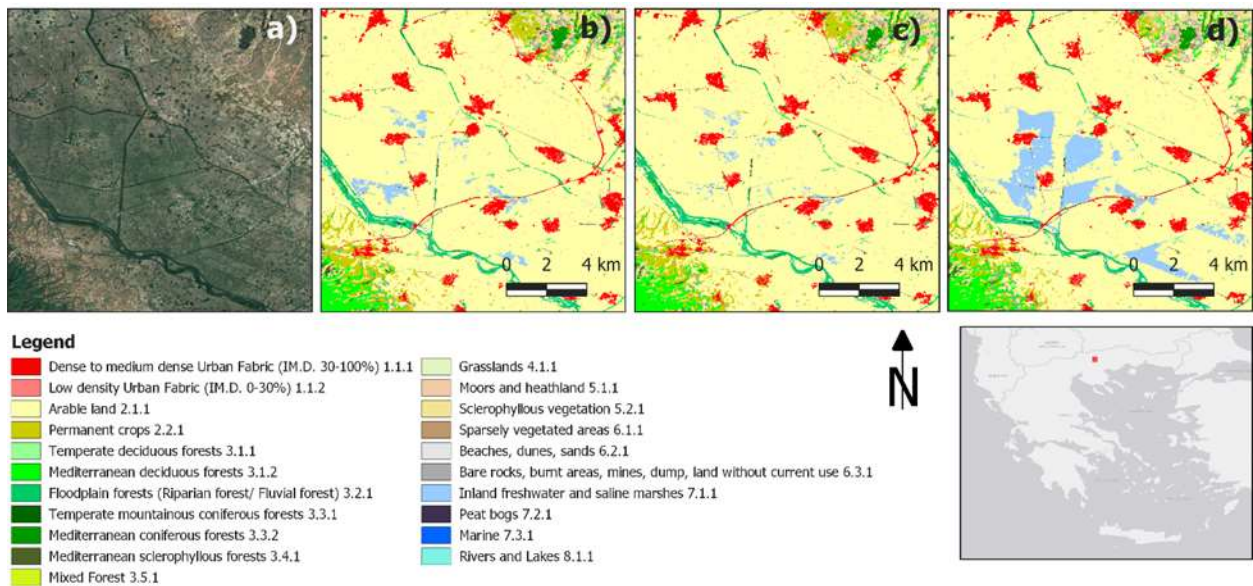




Legend

- | | |
|--|--|
| Dense to medium dense Urban Fabric (IM.D. 30-100%) 1.1.1 | Grasslands 4.1.1 |
| Low density Urban Fabric (IM.D. 0-30%) 1.1.2 | Moors and heathland 5.1.1 |
| Arable land 2.1.1 | Sclerophyllous vegetation 5.2.1 |
| Permanent crops 2.2.1 | Sparsely vegetated areas 6.1.1 |
| Temperate deciduous forests 3.1.1 | Beaches, dunes, sands 6.2.1 |
| Mediterranean deciduous forests 3.1.2 | Bare rocks, burnt areas, mines, dump, land without current use 6.3.1 |
| Floodplain forests (Riparian forest/ Fluvial forest) 3.2.1 | Inland freshwater and saline marshes 7.1.1 |
| Temperate mountainous coniferous forests 3.3.1 | Peat bogs 7.2.1 |
| Mediterranean coniferous forests 3.3.2 | Marine 7.3.1 |
| Mediterranean sclerophyllous forests 3.4.1 | Rivers and Lakes 8.1.1 |
| Mixed Forest 3.5.1 | |

Εικόνα 3.2 Απεικόνιση διαφορετικών τεχνικών εξαγωγής δειγμάτων εκπαίδευσης σε δασικές- αγροτικές εκτάσεις και υγροτόπους Πρώτη στήλη (a, d, g): Google Earth imagery, δεύτερη στήλη (b, e, h): M-M-R ταξινόμηση, Τρίτη στήλη (c, f, i): A-M-R ταξινόμηση



Εικόνα 3.3 Απεικόνιση ταξινόμησης με μη αυτοματοποιημένα δείγματα για διαφορετικά σύνολα μεταβλητών. Σημαντικότητα μεταβλητών: (a) Google Earth imagery, (b) M-S-F, (c) M-S-R, and (d) M-M-R ταξινομήσεις.

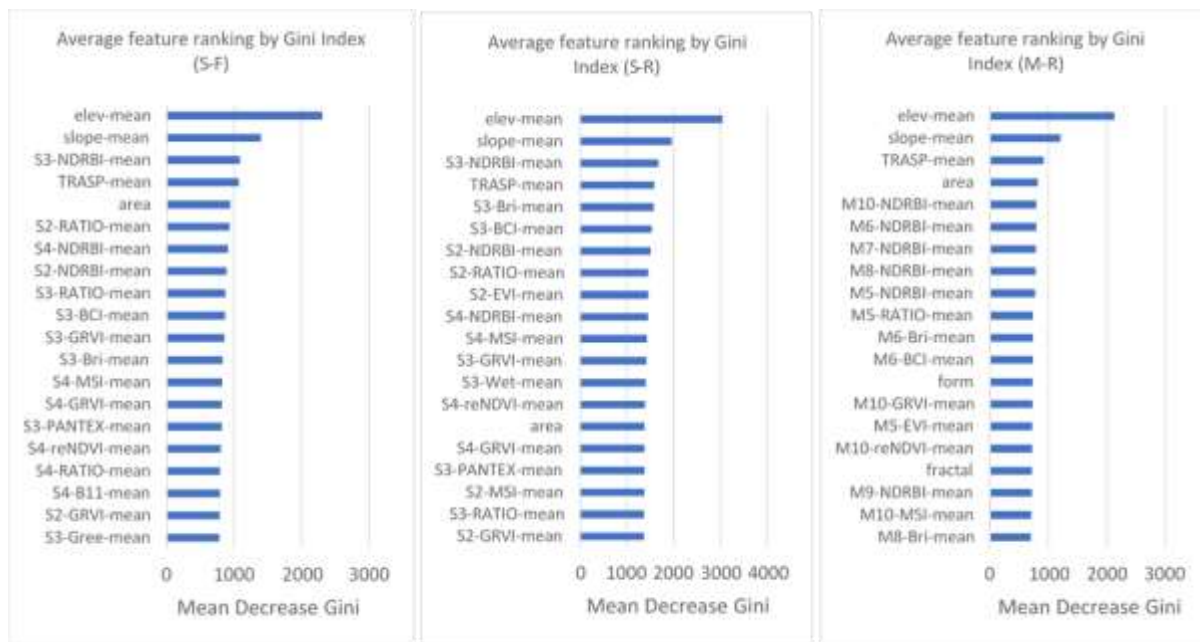
Οι ταξινομήσεις που προέκυψαν με την μη αυτοματοποιημένη εξαγωγή δειγμάτων εκπαίδευσης, αν και παρουσίασαν υψηλότερες τιμές ακρίβειας, έδειξαν επίσης προβλήματα σε συγκεκριμένες περιοχές. Συγκεκριμένα, η αρόσιμη γη (2.1.1) χαρακτηρίστηκε συχνά ως παρόχθια δάση (3.2.1) (Εικόνα 3.2-g, h, i).

Τόσο με τη αυτοματοποιημένη όσο και με την μη αυτοματοποιημένη εξαγωγή δειγμάτων (Εικόνα 3.3), η αναγνώριση των ποταμών ήταν δύσκολη και παρατηρήθηκε ότι ταξινομήθηκε είτε ως πυκνός αστικός ιστός (1.1.1) είτε ως παρόχθιο δάσος (3.2.1). Στην Εικόνα 3.2 (a, b, c), οι όχθες του ποταμού που διασχίζουν το δάσος στο νότο, ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως παρόχθια δάση στην μη αυτοματοποιημένη προσέγγιση και ως πυκνός αστικός ιστός στην αυτοματοποιημένη. Αντιθέτως, στην Εικόνα 3.2 (d, e, f) οι όχθες του ποταμού στα δυτικά, ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως αστικός ιστός στην μη αυτόματη προσέγγιση και ως παρόχθια δάση στην αυτοματοποιημένη. Αυτά τα σφάλματα μπορούν να εξηγηθούν από τις μεγάλες χρονικές διακυμάνσεις της υγρασίας στις όχθες του ποταμού, κατά τη διάρκεια των εποχών και μεταξύ των ετών, που προκαλούνται από τις διαφορές στο ύψος των βροχοπτώσεων.

Μια σημαντική παρατήρηση μετά την οπτική αξιολόγηση των ταξινομήσεων, ήταν ότι σε γεωργικές περιοχές υψηλής υγρασίας, καλλιέργειες (2.1.1) λανθασμένα ταξινομήθηκαν ως βάλτοι ενδοχώρας και παραθαλάσσιοι βάλτοι (7.1.1). Αυτό το αποτέλεσμα ελαχιστοποιήθηκε με τη χρήση του υποσυνόλου μεταβλητών (εκτός από των δίαυλων Sentinel-2 L2A) της εποχιακής σύνθεσης εικόνων (ταξινομήσεις M-S-R και A-S-R).

3.3 Σημαντικότητα μεταβλητών για τη χαρτογράφηση των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο

Η σημαντικότητα μεταβλητών υπολογίστηκε μέσω της αύξησης του σφάλματος OOB και τη μείωση του δείκτη Gini, κατά την απαλοιφή της κάθε μεταβλητής, διατηρώντας παράλληλα τις υπόλοιπες μεταβλητές σταθερές. Οι 20 πιο σημαντικές μεταβλητές παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.4, κατά μέσο όρο για τις δύο μεθόδους εξαγωγής δειγμάτων, για κάθε σύνολο μεταβλητών.



Εικόνα 3.4 Μέση σημαντικότητα μεταβλητών (για μη αυτόματη και αυτόματη δειγματοληψία), για το πλήρες-full, εποχιακό-seasonal (S-F), για τα μειωμένα-reduced, εποχιακά-seasonal (S-R) και τα μηνιαία-monthly, μειωμένα-reduced (M-R) σύνολα μεταβλητών. Τα γράμματα "S" και "M" αντιστοιχούν στα "season" και "months" αντίστοιχα, ενώ ο αριθμός δίπλα τους δείχνει την εποχή και τον μήνα σε αύξουσα σειρά ξεκινώντας από S2 = άνοιξη και M5 = Μάιος, έως S4 = φθινόπωρο και M10 = Οκτώβριος.

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι μέσες τιμές των μεταβλητών εμφανίστηκαν ως σημαντικότερες των τυπικών αποκλίσεων τους. Επιπλέον, σε όλα τα μοντέλα ταξινόμησης, οι δύο πιο σημαντικές μεταβλητές ήταν οι μεταβλητές τοπογραφίας, δηλαδή η μέση τιμή υψομέτρου και κλίσης, ενώ στην τρίτη και τέταρτη θέση σημαντικότητας κατετάγη ο δείκτης TRASP. Οι μεταβλητές σχήματος παρουσιάστηκαν μεταξύ των 20 πιο σημαντικών μεταβλητών σε όλες τις περιπτώσεις. Ο λόγος των εικόνων πόλωσης VV / VH του Sentinel-1 A/B επίσης βρέθηκε μεταξύ των 10 σημαντικότερων μεταβλητών, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εικόνες πόλωσης που εμφανίστηκαν πολύ χαμηλότερα στην ιεράρχηση της σημαντικότητας και επομένως δεν παρουσιάστηκαν στα παρακάτω γραφήματα (Εικόνα 3.4). Όσον αφορά τους φασματικούς δίαυλους Sentinel-2, μόνο το βραχύ υπέρυθρο InfraRed Short-Wave (SWIR) (B11) βρέθηκε να είναι σημαντική μεταβλητή, ενώ όσον αφορά τα μέτρα υφής, μόνο ο δείκτης PANTEX αναδείχτηκε σημαντικός, και μόνο για τα μοντέλα εποχιακής σύνθεσης εικόνων. Όσον αφορά τους φασματικούς δείκτες και σύμφωνα με την Εικόνα 3.4 οι δείκτες BCI,



GRVI, MSI, TC, reNDVI και NDRBI εμφανίζεται να φέρουν τη σημαντικότερη πληροφορία για όλες τις ταξινομήσεις.



4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τις ανάγκες χαρτογράφησης των τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο, αναπτυχθήκαν και αξιολογήθηκαν διαφορετικά μοντέλα ταξινόμησης τύπων οικοσυστημάτων σε εθνική κλίμακα, σε μια τυπολογία 21 τάξεων. Τα έξι μοντέλα ταξινόμησης που κατασκευάστηκαν βασίστηκαν σε μια αντικειμενοστραφή προσέγγιση ταξινόμησης και ενσωμάτωσαν δορυφορικά δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης, όπως εικόνες Sentinel-1 A/B και Sentinel-2. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε επίσης αντιμετώπισε αποτελεσματικά προκλήσεις που σχετίζονται με τις υπολογιστικές και χρονικές απαιτήσεις της επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων για την χαρτογράφηση τύπων οικοσυστημάτων σε εθνικό επίπεδο, εκτός των περιοχών του δικτύου Natura 2000.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των μοντέλων ταξινόμησης υπογράμμισαν ότι τα δεδομένα τηλεπισκόπησης και μόνο, δεν επαρκούν για την εκτίμηση και την χαρτογράφηση του σύνθετου μεσογειακού τοπίου, ειδικά όταν πρόκειται για εκτεταμένες και διαφορετικές περιοχές χαρτογράφησης (Verde et al., 2020). Η επιπλέον ενσωμάτωση βοηθητικών δεδομένων που σχετίζονται με τους οικολογικούς παράγοντες εμφανίζεται να έχει σημαντική επίδραση στη διαδικασία της ταξινόμησης, υποδεικνύοντας ότι αυτές οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για τη διάκριση φασματικά όμοιων τύπων οικοσυστημάτων. Επίσης, η δια-εποχιακή φασματική πληροφορία από δεδομένα παρατήρησης γης είναι επίσης πολύ σημαντική, για την έκφραση των φαινολογικών διαφορές μεταξύ των κατηγοριών ταξινόμησης.

Συνολικά, η προσέγγιση που ακολουθήθηκε ενσωματώνει συστήματα υπολογιστικού νέφους (cloud based), μοντέλα αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και ελεύθερα διαθέσιμα δεδομένα τηλεπισκόπησης από διαφορετικούς αισθητήρες, προκειμένου να αναπτύξει μια οικονομικά αποδοτική μεθοδολογία ταξινόμησης και χαρτογράφησης τύπων οικοσυστημάτων σε εθνική κλίμακα. Ο απώτερος σκοπός της διαδικασίας που περιεγράφηκε στο τρέχων παραδοτέο το οποίο υλοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου LIFE-IP 4 Natura, είναι ο παραγόμενος χάρτης τύπων οικοσυστημάτων να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης των οικοσυστημάτων και τη χαρτογράφηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών σε εθνικό επίπεδο.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abdikan, S., Sanli, F. B., Ustuner, M., Calò, F., 2016. Land cover mapping using sentinel-1 SAR data. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information, 41, 757
- Ågren, G.I., Andersson, F.O., 2012. Terrestrial Ecosystem ecology. Cambridge University Press
- Amani, M., Brisco, B., Afshar, M., Mirmazloumi, S.M., Mahdavi, S., Mirzadeh, S.M.J., Huang, W., Granger, J., 2019. A generalized supervised classification scheme to produce provincial wetland inventory maps: an application of Google Earth Engine for big geo data processing. Big Earth Data 3, 378–394. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1690404>
- Andrew, M.E., Wulder, M.A., Nelson, T.A., Coops, N.C., 2015. Spatial data, analysis approaches, and information needs for spatial ecosystem service assessments: a review. GIScience Remote Sens. 52, 344–373. <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1033809>
- Araujo, C.C. De, Atkinson, P.M., Dearing, J.A., De Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A., Araujo, C.C. De, Atkinson, P.M., Dearing, J.A., De Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A., 2015. Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. Ecol. Indic. 52, 430–443. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.007>
- Benyamin, D., 2012. A Gentle Introduction to Random Forests, Ensembles, and Performance Metrics in a Commercial System. Ανάκτηση από blog.citizennet.com: <http://blog.citizennet.com/blog/2012/11/10/random-forests-ensembles-andperformance-metrics>
- Breiman, L., 2001. Random Forests. Mach. Learn. 45, 5–32. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46900-2>
- Bogaart, P., Chan, J.Y., Horlings, H., Keith, D., Larson, T., Sayre, R., Schenau, S., Soulard, F., 2019. Discussion paper 1.1: An ecosystem type classification for the SEEA EEA. Paper submitted to the SEEA EEA Technical Committee as input to the revision of the technical recommendations in support of the System on Environmental-Economic Accounting. Version of 29 April 2019.
- Carrasco, L., O'Neil, A.W., Daniel Morton, R., Rowland, C.S., 2019. Evaluating combinations of temporally aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for land cover mapping with Google Earth Engine. Remote Sens. 11, 288. <https://doi.org/10.3390/rs11030288>
- Chatziantoniou, A., Psomiadis, E., Petropoulos, G.P., 2017. Co-orbital Sentinel 1 and 2 for LULC mapping with emphasis on wetlands in a Mediterranean setting based on Machine Learning. Remote Sens. 9(12), 1259
- 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>
- Copernicus Programme, 2020a. Europe's eyes on Earth – Land Monitoring Service: Natura 2000 (N2K). Available online: <https://land.copernicus.eu/local/natura> (accessed on 10 December 2020).





- Copernicus Programme, 2020b. Europe's eyes on Earth – Land Monitoring Service: CORINE Land Cover. Available online: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (accessed on 10 December 2020).
- Cord, A.F., Brauman, K.A., Chaplin, R., Huth, A., Ziv, G., Seppelt, R., 2017. Priorities to Advance Monitoring of Ecosystem Services Using Earth Observation. *Trends Ecol. Evol.* 32, 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.03.003>
- Cowling, R.M., Egoh, B., Knight, A.T., O'Farrell, P.J., Reyers, B., Rouget, M., Roux, D.J., Welz, A., Wilhelm-Rechman, A., 2008. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105, 9483–9488. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706559105>
- Culbert, P.D., Pidgeon, A.M., St. Louis, V., Radeloff, V.C., Bash, D., St.-Louis, V., Bash, D., Radeloff, V.C., 2009. The Impact of Phenological Variation on Texture Measures of Remotely Sensed Imagery. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2, 299–309. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2009.2021959>
- d'Andrimont, R., Lemoine, G., van der Velde, M., 2018. Targeted Grassland Monitoring at Parcel Level Using Sentinels, Street-Level Images and Field Observations. *Remote Sens.* 10, 1300. <https://doi.org/10.3390/rs10081300>
- Deng, C., Wu, C., 2012. BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments. *Remote Sens. Environ.* 127, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.009>
- Deng, Y., Wu, C., 2016. Development of a Class-Based Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (C-MESMA) Approach for Analyzing Urban Environments. *Remote Sens.* 8, 349. <https://doi.org/10.3390/rs8040349>
- Di Castri, F., Hansen, A.J., Holland, M.M., 1988. A new look at ecotones: emerging international projects on landscape boundaries. Paris: Biology International.
- Dotzler, S., Hill, J., Buddenbaum, H., Stoffels, J., 2015. The potential of EnMAP and sentinel-2 data for detecting drought stress phenomena in deciduous forest communities. *Remote Sens.* 7, 14227–14258. <https://doi.org/10.3390/rs71014227>
- 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>
- EEA, 2016. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Mapping and assessing the conditions of Europe's ecosystems: Progress and challenges. Technical Report - 2016 - 095, EU.
- EEA, 2020. Linkages of Species and Habitat Types to MAES Ecosystems. Available online: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/linkages-of-species-and-habitat> (accessed on 9 October 2020).
- E.S.A. Sentinel Online, 2019a. Overview. Available online: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1>





- E.S.A. Sentinel Online, 2019b. Instrument Payload. Available online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>
- Evans, M.J., Malcom, J.W., 2020. Automated Change Detection Methods for Satellite Data that can Improve Conservation Implementation. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/611459>
- Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.* 80, 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Forkuor, G., Dimobe, K., Serme, I., Tondoh, J.E., 2018. Landsat-8 vs. Sentinel-2: examining the added value of sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in Burkina Faso. *GIScience Remote Sens.* 55, 331–354. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1370169>
- García, J.C., Antonio, J., Garzón, A., 2015. EU-DEM Upgrade Documentation EEA User Manual. Indra Systems S.A., Madrid.
- Gómez, C., White, J.C., Wulder, M.A., 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 116, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gounaridis, D., Apostolou, A., Koukoulas, S., 2016. Land cover of Greece, 2010: a semi-automated classification using random forests. *J. Maps* 12, 1055–1062. <https://doi.org/10.1080/17445647.2015.1123656>
- Grekousis, G., Mountrakis, G., Kavouras, M., 2015. An overview of 21 global and 43 regional land-cover mapping products. *Int. J. Remote Sens.* 36, 5309–5335. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1093195>
- Grêt-Regamey, A., Weibel, B., Bagstad, K.J., Ferrari, M., Geneletti, D., Klug, H., Schirpke, U., Tappeiner, U., 2014. On the effects of scale for ecosystem services mapping. *PLoS One* 9, 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112601>
- Griffiths, P., Nendel, C., Hostert, P., 2019a. Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sens. Environ.* 220, 135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>
- Griffiths, P., Nendel, C., Pickert, J., Hostert, P., 2019b. Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sens. Environ.* 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.017>
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973. Textural Features for Image Classification. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.* SMC-3, 610–621. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- Hay, G.J., Castilla, G., 2008. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline, in: *Object-Based Image Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 75–89. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_4





- 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>
- Hütt, C., Waldhoff, G., Waldhoff, G., 2018. Multi-data approach for crop classification using multitemporal, dual-polarimetric TerraSAR-X data, and official geodata. *Eur. J. Remote Sens.* 51, 62–74. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1401909>
- Ienco, D., Interdonato, R., Gaetano, R., Ho Tong Minh, D., 2019. Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Image Time Series for land cover mapping via a multi-source deep learning architecture. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 158, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.016>
- Inglada, J., Vincent, A., Arias, M., Tardy, B., Morin, D., Rodes, I., 2017. Operational High Resolution Land Cover Map Production at the Country Scale Using Satellite Image Time Series. *Remote Sens.* 9, 95. <https://doi.org/10.3390/rs9010095>
- Jiao, L., Liu, Y., Li, H., 2012. Characterizing land-use classes in remote sensing imagery by shape metrics. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 72, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.05.012>
- Keddy, P.A., 2010. *Wetland ecology: principles and conservation* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press. ISBN 978-0521519403.
- Kokkoris, I., Dimopoulos, P., Xystrakis, F., Tsiripidis, I., 2018. National scale ecosystem condition assessment with emphasis on forest types in Greece. *One Ecosyst.* 3. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25434>
- Kokkoris, I., Mallinis, G., Bekri, E., Vlami, V., Zogaris, S., Chrysafis, I., Mitsopoulos, I., Dimopoulos, P., 2020. National Set of MAES Indicators in Greece: Ecosystem Services and Management Implications. *Forests.* <https://doi.org/10.3390/f11050595>
- Kosztra, B., Büttner, G., Hazeu, G., Arnold, S., 2017. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines, European Environment Agency. European Environment Agency, Wien.
- Koukoulas, S., Blackburn, G.A., 2001. Introducing new indices for accuracy evaluation of classified images representing semi-natural woodland environments. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 67, 499–510.
- Kumar, L., Mutanga, O., 2017. Remote Sensing of Above-Ground Biomass. *Remote Sens.*, 9, 935. <https://doi.org/10.3390/rs9090935>
- Lefebvre, A., Sannier, C., Corpetti, T., 2016. Monitoring urban areas with Sentinel-2A data: Application to the update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree. *Remote Sens.* 8, 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs8070606>
- Lehmann, E.A., Caccetta, P., Lowell, K., Mitchell, A., Zhou, Z.-S., Held, A., Milne, T., Tapley, I., 2015. SAR and optical remote sensing: Assessment of complementarity and interoperability in the context of





- a large-scale operational forest monitoring system. *Remote Sens. Environ.* 156, 335–348. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.034>
- Leinenkugel, P., Deck, R., Huth, J., Ottinger, M., Mack, B., 2019. The Potential of Open Geodata for Automated Large-Scale Land Use and Land Cover Classification. *Remote Sens.* 11, 2249. <https://doi.org/10.3390/rs11192249>
- Liaw, A., Wiener, M., 2002. Classification and Regression by randomForest. *R news* 2, 18–22. <https://doi.org/10.1177/154405910408300516>
- Liaw, A., Wiener, M., 2015. Breiman and Cutler's RandomForests for Classification and Regression (Package "randomForest.").
- Lin, L., Hao, Z., Post, C.J., Mikhailova, E.A., Yu, K., Yang, L., Liu, J., 2020. Monitoring land cover change on a rapidly urbanizing island using google earth engine. *Appl. Sci.* 10, 1–16. <https://doi.org/10.3390/app10207336>
- Mack, B., Leinenkugel, P., Kuenzer, C., Dech, S., 2017. A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and Lucas in-situ data. *Remote Sens. Lett.* 8, 244–253. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1249299>
- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J.P., Grizzetti, B., Drakou, E.G., Notte, A. La, Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., Bidoglio, G., 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosyst. Serv.* 1, 31–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- Mahdianpari, M., Salehi, B., Mohammadimanesh, F., Brisco, B., Homayouni, S., Gill, E., DeLancey, E.R., Bourgeau-Chavez, L., 2020. Big Data for a Big Country: The First Generation of Canadian Wetland Inventory Map at a Spatial Resolution of 10-m Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data on the Google Earth Engine Cloud Computing Platform. *Can. J. Remote Sens.* 46, 15–33. <https://doi.org/10.1080/07038992.2019.1711366>
- Main-Knorn, M., Pflug, B., Louis, J., Debaecker, V., Müller-Wilm, U., Gascon, F., 2017. Sen2Cor for Sentinel-2. *Image Signal Process. Remote Sens.* XXIII 10427, 3. <https://doi.org/10.1117/12.2278218>
- Mallinis, G., Georgiadis, C., 2019. Editorial of Special Issue "Remote Sensing for Land Cover/Land Use Mapping at Local and Regional Scales." *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs11192202>
- Mallinis, G., Karteris, Marinos, Theodoridou, I., Tsioukas, V., Karteris, Michael, 2014. Development of a nationwide approach for large scale estimation of green roof retrofitting areas and roof-top solar energy potential using VHR natural colour orthoimagery and DSM data over Thessaloniki, Greece. *Remote Sens. Lett.* 5, 548–557. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.933276>
- 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>
- Morin, D., Planells, M., Guyon, D., Villard, L., Mermoz, S., Bouvet, A., Thevenon, H., Dejoux, J.-F., Le Toan, T., Dedieu, G., 2019. Estimation and Mapping of Forest Structure Parameters from Open Access





- Satellite Images: Development of a Generic Method with a Study Case on Coniferous Plantation. *Remote Sens.* 11, 1275. <https://doi.org/10.3390/rs11111275>
- Motohka, T., Nasahara, K.N., Oguma, H., Tsuchida, S., 2010. Applicability of Green-Red Vegetation Index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sens.* 2, 2369–2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>
- Mucina, L., 2019. Biome: evolution of a crucial ecological and biogeographical concept. *New Phytologist*, 222 (1), 97–114. <https://10.1111/nph.15609>
- Noi Phan, T., Kuch, V., Lehnert, L.W., 2020. Land cover classification using google earth engine and random forest classifier-the role of image composition. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/RS12152411>
- Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., Kassem, K. R., 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, Volume 51, Issue 11, 933–938.
- Pandit, S., Tsuyuki, S., Dube, T., 2019. Exploring the inclusion of Sentinel-2 MSI texture metrics in above-ground biomass estimation in the community forest of Nepal. *Geocarto Int.* 6049, 1–18. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1588390>
- Pesaresi, M., Gerhardinger, A., Kayitakire, F., 2008. A robust built-up area presence index by anisotropic rotation-invariant textural measure. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 1, 180–192. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2008.2002869>
- Pflugmacher, D., Rabe, A., Peters, M., Hostert, P., 2019. Mapping pan-European land cover using Landsat spectral-temporal metrics and the European LUCAS survey. *Remote Sens. Environ.* 221, 583–595. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.001>
- Roberts, D.W., Cooper, S. V, 1989. Concepts and techniques of vegetation mapping, in: *Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management*: Moscow, ID, November 17-19, 1987. Intermountain Research Station publications, Utah, pp. 90–96.
- Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P., 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>
- Shi, T., Xu, H., 2019. Derivation of Tasseled Cap Transformation Coefficients for Sentinel-2 MSI At-Sensor Reflectance Data. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 12, 4038–4048. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2938388>
- Slagter, B., Tsendbazar, N.-E., Vollrath, A., Reiche, J., 2020. Mapping wetland characteristics using temporally dense Sentinel-1 and Sentinel-2 data: A case study in the St. Lucia wetlands, South Africa. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 86, 102009. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102009>





- Stow, D.A., Toure, S.I., Lippitt, C.D., Lippitt, C.L., Lee, C.R., 2012. Frequency distribution signatures and classification of within-object pixels. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 15, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.06.003>
- Stromann, O., Nascetti, A., Yousif, O., Ban, Y., 2019. Dimensionality Reduction and Feature Selection for Object-Based Land Cover Classification based on Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series Using Google Earth Engine. *Remote Sens.* 12, 76. <https://doi.org/10.3390/rs12010076>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., Brisco, B., 2020. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 164, 152–170.
- UN., 1992. Convention on Biological Diversity.
- UNSD, 2012. Technical Recommendations in support of the System of Environmental - Economic Accounting 2012: Experimental Ecosystem Accounting.
- Vaglio Laurin, G., Puletti, N., Hawthorne, W., Liesenberg, V., Corona, P., Papale, D., Chen, Q., Valentini, R., 2016. Discrimination of tropical forest types, dominant species, and mapping of functional guilds by hyperspectral and simulated multispectral Sentinel-2 data. *Remote Sens. Environ.* 176, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.017>
- Van Tricht, K., Gobin, A., Gilliams, S., Piccard, I., 2018. Synergistic use of radar sentinel-1 and optical sentinel-2 imagery for crop mapping: A case study for Belgium. *Remote Sens.* 10, 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs10101642>
- 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, 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs12203303>
- Weigand, M., Staab, J., Wurm, M., Taubenböck, H., 2020. Spatial and semantic effects of LUCAS samples on fully automated land use/land cover classification in high-resolution Sentinel-2 data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 88, 102065. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102065>
- Xie, S., Liu, L., Zhang, X., Yang, J., Chen, X., Gao, Y., 2019. Automatic land-cover mapping using landsat time-series data based on google earth engine. *Remote Sens.* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11243023>
- Zhang, C., Ma, Y. (Eds.), 2012. Ensemble Machine Learning, Ensemble Machine Learning. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7>
- Αστάρας, Θ., 2010. Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες. Γκιούρδας Εκδοτική, Αθήνα.
- Κούκουρας, Α., 1986. Ερμηνευτικό λεξικό οικολογικών και συναφών όρων. Εκδ. Γαρταγάνη, για Ένωση Ελλήνων Οικολόγων, Θεσ/νίκη 1986
- Ντάφης, Σ., Παπαστεργιάδου, Ε., Λαζαρίδου, Ε., Τσιαφούλη, Μ., 2001. Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY)





Σιάχαλου, Σ., 2016. Επεξεργασία και ανάλυση χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων για την ταξινόμηση χρήσεων/ καλύψεων Γης και τον εντοπισμό διαχρονικών μεταβολών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσακίρη-Στρατή, Μ., 2012. Πανεπιστημιακές παραδόσεις για το μάθημα της Τηλεπισκόπησης του τομέα Κτηματολογίου, Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας, του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ. Τμήμα εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Φωτιάδου, Ε., 2018. Χαρτογράφηση οικοσυστήματος με δορυφορικά δεδομένα μέσω αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης στα πλαίσια της παγκόσμιας συμβάσης Ατζέντα 2030. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Χατζηαντωνίου, Α., 2017. Διερεύνηση της χρήσης δορυφορικών δεδομένων Sentinel για την χαρτογράφηση των χρήσεων / καλύψεων γης σε υγροτοπικό περιβάλλον. Εφαρμογή στο εθνικό πάρκο Λιμνων Κορώνειας – Βόλβης. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

