

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή



*Εκτίμηση της Δέσμευσης Άνθρακα σε δασικά
οικοσυστήματα της Κύπρου*

Μιχάλης Εφραίμ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Παρασκευή Μανωλάκη

Μάιος 2022

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

*Εκτίμηση της Δέσμευσης Άνθρακα σε δασικά
οικοσυστήματα της Κύπρου*

Μιχάλης Εφραίμ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Παρασκευή Μανωλάκη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2022

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, έχει ως στόχο την εκτίμηση της ποσότητας του δεσμευμένου άνθρακα στα δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις. Τα δάση ως η πιο σημαντική χερσαία δεξαμενή άνθρακα, συμβάλουν στη ρύθμιση του παγκόσμιου κλίματος δεσμεύοντας τον ανόργανο άνθρακα υπό τη μορφή του αερίου διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας και μετατρέποντας το σε οργανικό άνθρακα / βιομάζα. Κεντρικό σημείο ενδιαφέροντος για την κλιματική αλλαγή, αποτελεί η μελέτη της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα το οποίο ως αέριο συνυπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλεί αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου τα δασικά οικοσυστήματα, ως οι σημαντικότερες χερσαίες δεξαμενές άνθρακα, συμβάλουν στη ρύθμιση του παγκόσμιου κλίματος και γίνονται οι καταλληλότερες περιοχές για έλεγχο της δέσμευσής του.

Ανθρώπινες ενέργειες, όπως εξόρυξη και καύση μεγαλύτερων ποσοτήτων καύσιμης ύλης για ενεργειακή κατανάλωση, αλλά και η διαρκής αστική ανάπτυξη, αυξάνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προς το περιβάλλον. Η υποβάθμιση των οικοσυστημάτων από την μία μειώνει την τοπική βιοποικιλότητα και από την άλλη επιδρά στην ποιότητα των οικοσυστημικών υπηρεσιών που προσφέρονται. Μελέτες για τα οικολογικά φαινόμενα σε παγκόσμιο επίπεδο, αναφέρουν την αυξητική τάση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα επισύροντας την ανάγκη για εφαρμογή σχεδίων προστασίας της φύσης και της βιοποικιλότητας. Γι' αυτό το λόγο η μέτρηση της ποσότητας άνθρακα που βρίσκεται δεσμευμένη στους διάφορους τύπους δασικών οικοσυστημάτων αποτελεί σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της παροχής οικοσυστημικών υπηρεσιών από τα συγκεκριμένα οικοσυστήματα σε ότι αφορά τη ρύθμιση του κλίματος και κατ' επέκταση την άσκηση συγκεκριμένων πολιτικών προς την κατεύθυνση μείωσης του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου για όλα τα δασικά οικοσυστήματα και τύπους δασικών οικοσυστημάτων. Απουσία λοιπόν τέτοιας πληροφορίας και σύμφωνα με την κρισιμότητα της κατάστασης, η επιστημονική κοινότητα για σκοπούς εκτίμησης των ποσοτήτων άνθρακα στα διάφορα οικοσυστήματα προάγει μεθόδους εκτίμησης των ποσοτήτων του δεσμευμένου

άνθρακα με τη χρήση διαθέσιμων δεδομένων, είτε αυτά είναι τοπικής είτε παγκόσμιας κλίμακας.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, εφαρμόστηκαν δύο προσεγγίσεις εκτίμησης της ποσότητας άνθρακα σε τρεις τύπους δασικών οικοσυστημάτων της οροσειράς του Τροόδους. Η μία με τη χρήση δεδομένων παγκόσμιας κλίμακας και η άλλη με δεδομένα τα οποία πάρθηκαν από δειγματοληψίες στην Κύπρο (τοπικής κλίμακας). Οι τρεις τύποι βλάστησης αφορούν τα είδη: *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* και *Quercus alnifolia*, ενώ η εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα, κατανέμεται στις τέσσερις δεξαμενές άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων οι οποίες είναι η Υπέργεια Βιομάζα, η Υπόγεια Βιομάζα, η Νεκρή Οργανική Ύλη και το Έδαφος. Το ενδιαφέρον της μελέτης, προκύπτει στο συνολικό αποτέλεσμα μεταξύ των δύο μεθοδολογικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της δέσμευσης του άνθρακα, όπου προκύπτει και μια σημαντική διαφορά της τάξεως του 33,17%. Η πρώτη μέθοδος, με τη χρήση της εργαλειοθήκης Tessa, αποτελεί μέθοδο η οποία βασίζεται σε διεθνείς πηγές δεδομένων για εκτίμηση του αποτελέσματος, ενώ η δεύτερη βασίζεται στη χρήση και επεξεργασία, μικρής κλίμακας, διαθέσιμων τοπικών δεδομένων πεδίου.

Βασική διαπίστωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, είναι ότι με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης δέσμευσης άνθρακα σε κάθε δεξαμενή άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων προκύπτουν σημαντικές διαφορές. Όσο αφορά την Υπέργεια βιομάζα προκύπτει διαφορά της τάξεως του 15,79%, για την Υπόγεια βιομάζα 27,48% και για το ποσό του άνθρακα που είναι δεσμευμένο στο έδαφος 101,1%. Για την νεκρή οργανική ύλη το αποτέλεσμα δεν ήταν εφικτό για σύγκριση λόγω της έλλειψης πληροφοριών για τη μέθοδο εκτίμησης με τη χρήση τοπικής κλίμακας δεδομένων. Ο ποσοτικός προσδιορισμός του ισοζυγίου του άνθρακα στα δάση είναι μια από τις κύριες προκλήσεις, εάν η εκτίμηση της δέσμευσης του άνθρακα ληφθεί υπόψη στους στόχους της διαχείρισης των δασών. Απώτερος σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής είναι τόσο η κατανόηση των αποτελεσμάτων που δίνονται από τις δύο μεθοδολογίες όσο και η υπογράμμιση αναγκαίων και επιμέρους τοπικών ενεργειών για τη μελλοντική διασφάλιση του οικοσυστήματος του νησιού.

Summary

The aim of the following master's thesis, named "Assessment of Carbon concentration in Cyprus forest ecosystems" is, to estimate the amount of carbon stock sequestration in the forest ecosystems of Cyprus using different approaches. Forests, as the most important land carbon reservoirs, contribute to the regulation of the global climate by capturing inorganic carbon in the form of atmospheric carbon dioxide gas and converting it into organic carbon / biomass. Therefore, forest ecosystems, described as terrestrial carbon reservoirs, contribute both for regulating the global climate and are considered suitable areas of carbon stocks studies.

The multiple ecological phenomena have drawn the attention towards nature and biodiversity protection plans. Extraction of minerals, demand of fuel and energy consumption as well as the constant trend of sprawl city development, are a few of the human activities that have increased carbon dioxide quantities. As a result, we observe the decrease of natural areas, followed by the degradation of local biodiversity, as well as quality limitations on the ecosystem services offered. The quantification of the amount of carbon that is trapped in the different types of ecosystems is the point of reference for the evaluation of the provision of ecosystem services by the specific ecosystems in terms of climate regulation and consequently adopted specific policies to reduce atmospheric carbon.

However, field data of all the forest ecosystem types are not readily available. In the lack of such information and according to the criticality of the situation for the purpose of estimating the quantities of carbon in the various ecosystems, the scientific community promotes methods of carbon sequestration using available local or global data.

In the present master's thesis, two approaches were applied, for the estimation of the amount of carbon, one using global scale data and the other using local scale data in the three types of forest ecosystems found in Troodos Mountains. The three types, concern plantation species of: *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* and *Quercus alnifolia*. The assessment of carbon quantities, within these areas, is later distributed into four carbon tanks of forest ecosystems, the aboveground, the belowground, the biomass and

the subsoil. The interest of the study arises by the results of two methodological approaches, where there is a significant difference of 33.17% between the final results. The first method relies on international data sources, by using the Tessa toolkit, while the second is based on use and processing of small-scale, available local field data.

The main finding is that the application of two different evaluation methods regarding carbon concentration in every carbon 'tank' of forest areas, give significantly different results. Regarding the Above ground biomass, there is a difference of 15,79%, the Below ground biomass 27,48% and the Soil of 101,1%. The result for Dead organic matter was not comparable due to the lack of information for one method. Specifying a carbon quantity equilibrium, is one of the main future challenges if the assessment of carbon concentration is taken as an objective of forest management. Ultimately, this thesis presents both an understanding of two different data investigation methodologies, as well as emphasizing on the necessity of local interventions, for the future safeguarding of the island's ecosystem.

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Παρασκευή Μανωλάκη για την πολύτιμη επιστημονική, εκπαιδευτική καθοδήγηση και υπομονή καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής.

Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη εκφράζω στην αγαπημένη μου σύζυγο Αντιγόνη και στους δύο μου υιούς Γιώργο και Ανδρέα αφού χωρίς τη δική τους ηθική στήριξη και συμπαράσταση δεν θα κατόρθωνα να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές. Θα ήταν παράληψη να μην ευχαριστήσω την μητέρα μου Ευδοκία, τον πεθερό μου Ανδρέα για τις αμέτρητες ώρες προσευχών τους, καθώς και την αγαπημένη μου Λουΐζα για την βοήθεια που μου έχει προσφέρει.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Δασικά Οικοσυστήματα.....	2
1.2.1 Κατηγορίες Δασικών Οικοσυστημάτων.....	2
1.2.2 Δασικά οικοσυστήματα στην Κύπρο.....	4
1.2.3 Αξία των Δασικών Οικοσυστημάτων	5
1.2.4 Λειτουργίες των Δασικών Οικοσυστημάτων	7
1.3 Καταγραφή του Προβλήματος	8
1.4 Σημασία και αναγκαιότητα της μεταπτυχιακής διατριβής.....	9
1.5 Σκοποί και στόχοι της μεταπτυχιακής διατριβής	11
Κεφάλαιο 2	13
Βιβλιογραφική ανασκόπηση	13
2.1 Βιοποικιλότητα σε «κρίση».....	13
2.2 Οικοσυστημικές Υπηρεσίες (ΟΥ) και μέθοδοι αποτίμησης τους.....	15
2.3 Δάση και ΟΥ.....	18
2.3.1 Χαρτογράφηση ΟΥ	18
2.3.2 Ταξινόμηση ΟΥ	18
2.4 Δέσμευση άνθρακα και δασικά οικοσυστήματα	20
2.5 Στρατηγική της ΕΕ για τα δάση.....	22
2.6 Κλιματική αλλαγή και δασικά οικοσυστήματα.....	23
2.7 Διεθνής και Κυπριακή Πραγματικότητα Αποτίμησης ΟΥ	23
Κεφάλαιο 3	27
Μεθοδολογία	27
3.1 Σκοπός και στόχοι.....	27
3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα	27
3.3 Σχεδιασμός μελέτης.....	28
3.3.1 Επιλογή της έκτασης των περιοχών μελέτης.....	29
3.3.2 Γενική περιγραφή των τριών περιοχών μελέτης	30
3.3.3 <i>Cedrus brevifolia</i> (Κέδρος) τύπος οικοτόπου 9590.....	31
3.3.4 <i>Pinus nigra</i> (Μαύρη Πεύκη) τύπος οικοτόπου 9530	35
3.3.5 <i>Quercus alnifolia</i> (Λατζιά) τύπος οικοτόπου 9390	39
3.4 Μέθοδος συλλογής δεδομένων.....	43

3.5 Επιλογή μεθόδων υπολογισμού και χαρτογράφησης της δέσμευσης άνθρακα.	45
3.6 Εργαλειοθήκη TESSA v1.1	45
3.7 Εκτίμηση δέσμευσης άνθρακα με τη χρήση δεδομένων τοπικής κλίμακας.....	52
3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	58
Κεφάλαιο 4	60
Αποτελέσματα.....	60
4.1 Αποτελέσματα μεθόδου εκτίμησης άνθρακα με τη χρήση διεθνών δεδομένων.	60
4.2 Αποτελέσματα μεθόδου εκτίμησης άνθρακα με χρήση τοπικών δεδομένων πεδίου.....	63
4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων δύο μεθόδων.....	67
Κεφάλαιο 5	69
Συμπεράσματα-Συζήτηση-Εισηγήσεις	69
5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων	69
5.2 Συμπεράσματα	75
5.3 Εισηγήσεις.....	76
Παράρτημα A1	78
Πίνακας A1:SOC οικοτόπος <i>Cedrus brevifolia</i>	78
Πίνακας A2:SOC οικοτόπος <i>Pinus nigra</i>	79
Πίνακας A3:SOC οικοτόπος <i>Quercus alnifolia</i>	81
Παράρτημα A2	89
Πίνακες κατηγοριοποίησης ποσοτήτων άνθρακα για παραγωγή χαρτών άνθρακα για κάθε τύπο οικοτόπου.....	89
Χάρτης άνθρακα υπέργειας βιομάζας (AGB) των περιοχών μελέτης	91
Χάρτης άνθρακα υπόγειας βιομάζας (BGB) των περιοχών μελέτης	92
Χάρτης άνθρακα νεκρής οργανικής ύλης (DOM) των περιοχών μελέτης.....	93
Χάρτης άνθρακα εδάφους(SOC) των περιοχών μελέτης	94
Παράρτημα A3	95
Συγκριτικά αποτελέσματα ποσοστού άνθρακα ανά τύπο οικοτόπου	95
Σύγκριση των δύο μεθόδων σε ποσότητα άνθρακα ανά εκτάριο	96
Βιβλιογραφία.....	97
Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής μελέτης.....	107
Χάρτης 2: Χάρτης περιοχών Natura 2000	108
Χάρτης 3:Θέσεις των περιοχών μελέτης στο κρατικό δάσος	109
Χάρτης 4: Κλιματικές ζώνες της Κύπρου	110
Χάρτης 5: Γεωλογικός χάρτης περιοχών μελέτης	111

Κατάλογος πινάκων, εικόνων και διαγραμμάτων

Πίνακας 1: Εργαλεία Αξιολόγησης ΟΥ. Πηγή: (Neugarten et al., 2018)	17
Πίνακας 2: Ταξινόμηση Οικοσυστημικών Υπηρεσιών Πηγή: (European Environmental Agency, 2022)	19
Πίνακας 3: Περιοχές εξάπλωσης των τριών τύπων οικοτόπων στην Κύπρο οι οποίες περιλαμβάνονται στις περιοχές Natura 2000	31
Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση επιπέδου διατάραξης ποσοτικών δεδομένων σύμφωνα με το Παράρτημα TESSA Climate Method 1 ξεχωριστά για κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο οικοτόπου.	47
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση επιπέδου διατάραξης με ποιοτικές κατευθυντήριες γραμμές σύμφωνα με το Παράρτημα TESSA Climate Method 1 για κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο οικοτόπου.	48
Πίνακας 6: Υπολογισμός της υπέργειας βιομάζας.....	49
Πίνακας 7: Υπολογισμός της υπόγειας βιομάζας.....	49
Πίνακας 8: Υπολογισμός άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη	50
Πίνακας 9: Υπολογισμός άνθρακα στο έδαφος	51
Πίνακας 10: Κατηγορία ειδών σε σχέση με το είδος	53
Πίνακας 11: Υπολογισμός της υπέργειας βιομάζας και του άνθρακα	53
Πίνακας 12: Υπολογισμός της υπόγειας βιομάζας και του άνθρακα.....	54
Πίνακας 15: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα	61
Πίνακας 16: Απόθεμα άνθρακα στη βιομάζα κάτω από το έδαφος	61
Πίνακας 17: Απόθεμα άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη.....	61
Πίνακας 18: Απόθεμα άνθρακα στο έδαφος.....	62
Πίνακας 19: Συνολικό απόθεμα άνθρακα 1 ^{ης} μεθόδου	62
Πίνακας 20: Ανάλυση αποτελεσμάτων 1 ^{ης} μεθόδου	63
Πίνακας 21: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα σύμφωνα με τις εκτάσεις του Τμήματος Δασών για το έτος 2020	64
Πίνακας 22: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα των περιοχών μελέτης.....	64
Πίνακας 23: Απόθεμα άνθρακα στην υπόγεια βιομάζα σύμφωνα με τις εκτάσεις του Τμήματος Δασών για το έτος 2020	64
Πίνακας 24: Απόθεμα άνθρακα στην υπόγεια βιομάζα των περιοχών μελέτης.....	65
Πίνακας 25: Αποτέλεσμα απόθεμα άνθρακα στο έδαφος των εκτάσεων που έχουν επιλεγεί από το χάρτη άνθρακα	65
Πίνακας 26: Αποτέλεσμα απόθεμα άνθρακα στο έδαφος των περιοχών μελέτης.....	65
Πίνακας 27: Συνολικό απόθεμα άνθρακα 2 ^{ης} μεθόδου	66
Πίνακας 28: Ανάλυση αποτελεσμάτων 2 ^{ης} μεθόδου	66
Πίνακας 29: Απόθεμα άνθρακα ανά εκτάριο για κάθε κατηγορία βλάστησης και δεξαμενής άνθρακα	67
Πίνακας 30: Απόθεμα και ποσοστό άνθρακα για κάθε είδος και κάθε δεξαμενή άνθρακα ανά εκτάριο	68

Εικόνα 1: Παγκόσμιος κλιματικός χάρτης	3
---	---

Εικόνα 2: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους <i>Cedrus brevifolia</i> , οικότοπος 9590... ..	32
---	----

Εικόνα 3: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους <i>Cedrus brevifolia</i>	33
Εικόνα 4: Κέδρα του είδους <i>Cedrus brevifolia</i>	35
Εικόνα 5: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους <i>Pinus nigra</i> , οικότοπος 9530.....	36
Εικόνα 6: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους <i>Pinus nigra</i>	37
Εικόνα 7: Πεύκα του είδους <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> ,.....	39
Εικόνα 8: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους <i>Quercus alnifolia</i> , οικότοπος 9590 ...	41
Εικόνα 9: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους <i>Quercus alnifolia</i>	42
Εικόνα 10: : Θάμνοι του είδους <i>Quercus alnifolia</i>	43
Εικόνα 11: Χάρτης άνθρακα εδάφους των τριών περιοχών μελέτης	56
Εικόνα 12: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου <i>Cedrus brevifolia</i>	57
Εικόνα 13: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου <i>Pinus nigra</i>	57
Εικόνα 14: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου <i>Quercus alnifolia</i>	58

Διάγραμμα 1: Παγκόσμια ετήσια καθαρή αλλαγή της δασικής έκτασης ανά δεκαετία (1990-2000), (2000-2010), (2010-2020). Πηγή: (FAO, 2020).	21
Διάγραμμα 2: Αναλογία του αποθέματος σε άνθρακα, στις δασικές δεξαμενές άνθρακα 2020. Πηγή: (Foundation, 2020)	21
Διάγραμμα 3: Δενδροειδές διάγραμμα του εργαλείου TESSA για τη λήψη αποφάσεων σε σχέση με τις περιοριστικές παραμέτρους που αφορούν κάθε περιοχή.....	47
Διάγραμμα 4: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της δέσμευσης άνθρακα για τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν.....	67

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Τα δασικά οικοσυστήματα έχουν σημαντική οικολογική, οικονομική και κοινωνική αξία για τους ανθρώπους. Η υγεία των δασών έχει ζωτική σημασία στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω του σημαντικού ρόλου που παίζουν στον κύκλο του άνθρακα. Ο κατακερματισμός, η υποβάθμιση και η καταστροφή των οικοτόπων αποτελούν τις κυριότερες πιέσεις και παράγοντες που προκαλούν απώλεια της βιοποικιλότητας (Biological Diversity, 2021). Τα δάση, μέσω της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από την ατμόσφαιρα. Μέρος του CO₂ μετατρέπεται σε βιομάζα και αποθηκεύεται και το υπόλοιπο επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα. Η αποθήκευση του άνθρακα στα δάση έχει ζωτική σημασία στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ όσον αφορά την ουδετερότητα του άνθρακα (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2019). Περίπου το ήμισυ της ποσότητας του χερσαίου αποθέματος άνθρακα βρίσκεται αποθηκευμένο στα δάση (Canadell *et al.*, 2007). Επομένως, είναι απαραίτητη η προστασία των δασών καθώς και των κοινοτήτων που εξαρτώνται από αυτά.

Τα δασικά οικοσυστήματα παρέχουν στις ανθρώπινες κοινωνίες μια σειρά από υπηρεσίες οι οποίες είναι σημαντικές και απαραίτητες για την επιβίωση, την υγεία και την ευημερία των ανθρώπων. Η παραγωγή τροφίμων, καθαρού αέρα και νερού, η διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας για μελλοντική χρήση των ανθρώπων, καθώς και αρκετά άλλα οφέλη που αποκομίζουν οι άνθρωποι από τα οικοσυστήματα ορίζονται ως Οικοσυστημικές Υπηρεσίες (ΟΥ) (Rodríguez-Loínez and Palacios-Agundez, 2022). Η αποτίμηση και σωστή διαχείριση των ΟΥ τονίζουν τη μεγάλη σημασία που έχουν τα οικοσυστήματα αυτά στην ανθρώπινη ευημερία (Peled *et al.*,

2020). Η αξία των οικοσυστημάτων είναι πλέον αδιαμφισβήτητη όμως η απώλεια τους συνεχίζεται με αμείωτο ρυθμό ανά το παγκόσμιο (Mateo, 2015).

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας και τα σύγχρονα εργαλεία και προγράμματα που αναπτύσσονται μπορούν να βοηθήσουν τους επιστήμονες στην κατανόηση των επιπτώσεων που θα έχει η κλιματική αλλαγή στη βιοποικιλότητα. Τα οικοσυστήματα δεν μένουν στάσιμα και αναλλοίωτα καθώς μεταβάλλονται, σε σχέση με τις συνθήκες που αντιμετωπίζουν (Lake, 2013). Επομένως οι όποιες ενέργειες γίνονται για τη διασφάλιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και τη διασφάλιση της ποιότητας ζωής των μελλοντικών γενεών.

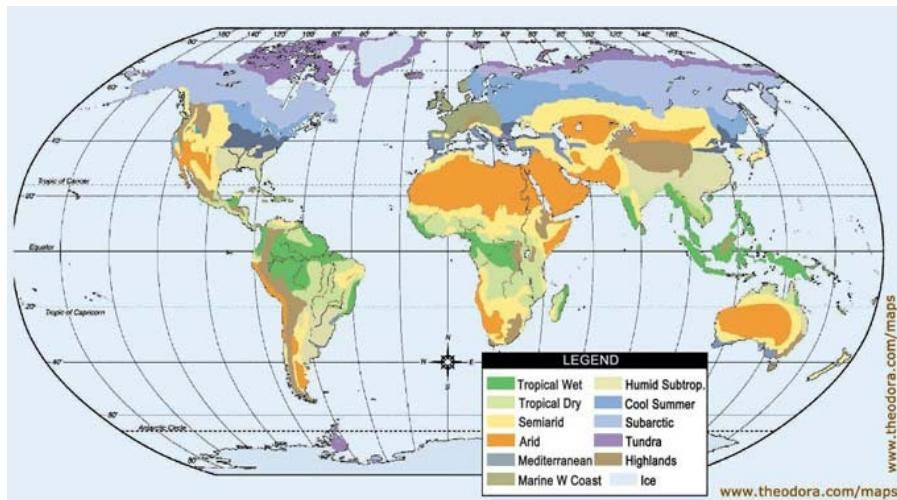
1.2 Δασικά Οικοσυστήματα

Το δάσος αποτελεί ένα από τα πιο πολύπλοκα και πολυσύνθετα συστήματα στον πλανήτη (Messier and Puettmann, 2011). Ένα δασικό οικοσύστημα αποτελείται από το έδαφος, τα δέντρα, τα ζώα, τα έντομα, τα πουλιά ακόμα και τους ανθρώπους ως αλληλοεπιδρώντες οργανισμούς. Θεωρούνται μεγάλα πολύπλοκα συστήματα, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο του νερού, τη ρύθμιση του κλίματος, τη σταθεροποίηση των εδαφών και την παροχή ενδιαιτήματος για την άγρια ζωή. Ως δασικό οικοσύστημα ορίζεται η επιφάνεια στην οποία συνυπάρχουν η ποώδης βλάστηση, οι θάμνοι και τα δέντρα σε μια κοινωνική σχέση ανεξαρτήτως εάν το οικοσύστημα είναι φυσικό ή τεχνικά δημιουργημένο (Chazdon *et al.*, 2016). Ο βαθμός συγκόμωσης τους δημιουργεί ένα ξεχωριστό περιβάλλον. Όλοι οι οργανισμοί συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και ζωικών οργανισμών δημιουργούν μέσω αλληλοεπιδράσεων μια ξεχωριστή δασοβιοκοινότητα. Οι δασοβιοκοινότητες έχουν την ικανότητα να μην παραμένουν σταθερές αλλά να μεταβάλλονται σε απλούστερες ή πιο σύνθετες βιοκοινότητες ανάλογα με τις εσωτερικές διαδικασίες που υλοποιούν ή τις εξωτερικές επιδράσεις που τις επηρεάζουν (Lake, 2013).

1.2.1 Κατηγορίες Δασικών Οικοσυστημάτων

Τα δάση υπάρχουν σε όλους τους τύπους κλίματος είτε υγρό ή ξηρό, είτε εξαιρετικά κρύο ή εξαιρετικά ζεστό. Ανάλογα με την απόσταση τους από τον ισημερινό

χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες τροπικά, εύκρατα και βόρεια δάση (Vogiatzakis, Pungetti and Mannion, 2008). (Εικόνα 1)



Εικόνα 1: Παγκόσμιος κλιματικός χάρτης
(Πηγή: https://allcountries.org/maps/world_climate_maps.html)

A) Τα τροπικά δάση υπάρχουν γύρω από τον ισημερινό όπου όλο το χρόνο βρέχει πολύ και έχουν μια σταθερή θερμοκρασία περίπου 27° C. Χωρίζονται σε υποκατηγορίες οι οποίες είναι:

- α. Τα αιθαλή δάση, στα οποία βρέχει όλο το χρόνο επομένως δεν έχουν ξηρή περίοδο,
- β. Τα εποχιακά δάση, με αιθαλής βλάστηση και μια σύντομη περίοδο ξηρασίας,
- γ. Τα ξηρά δάση, τα οποία έχουν μακρές περιόδους ξηρασίας αλλά τα δέντρα δεν χάνουν τα φύλλα τους,
- δ. Τα ορεινά δάση, σε ψηλά υψόμετρα με κυρίως κωνοφόρα δέντρα,
- ε. Τα τροπικά δάση, τα οποία έχουν κλίμα ξηρό και ζεστό με κωνοφόρα δέντρα τα οποία προσαρμόζονται στις κλιματικές αλλαγές,
- στ. Τα υποτροπικά δάση με βλάστηση η οποία αντιστέκεται στην καλοκαιρινή ξηρασία.

Β) Τα εύκρατα δάση συναντώνται σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής, της βορειοανατολικής Ασίας και της Ευρώπης. Στα δάση αυτά υπάρχουν οι τέσσερις εποχές με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -30°C έως $+30^{\circ}\text{C}$. Χωρίζονται σε υποκατηγορίες οι οποίες είναι:

- α. Τα υγρά κωνοφόρα και αειθαλή πλατύφυλλα δάση, με ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια,
- β. Τα ξηρά δάση κωνοφόρων, σε ψηλά υψόμετρα με λίγες βροχοπτώσεις,
- γ. Τα μεσογειακά δάση, δυτικά των Ηπείρων με γεωγραφικό πλάτος 30° έως 40° βόρεια, στα νότια του ισημερινού,
- δ. Τα εύκρατα πλατύφυλλα τροπικά δάση με ήπιους χειμώνες χωρίς παγετό

Γ) Τα βόρεια δάση ή Taiga σε περιοχές μεταξύ 50° και 60° γεωγραφικού πλάτους στην υπό-αρκτική ζώνη όπου επικρατούν δύο εποχές ένα σύντομο, ήπια ζεστό καλοκαίρι και ένα μακρύ κρύο ξηρό χειμώνα, με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -40°C έως και $+20^{\circ}\text{C}$.

1.2.2 Δασικά οικοσυστήματα στην Κύπρο

Τα δάση που διατηρούνται στην Κύπρο καλύπτουν το 18,75% της έκτασης του νησιού που αντιστοιχεί σε 172.770 εκτάρια γης. Χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι τα δάση κωνοφόρων, τα δάση βελανιδιάς και τα παραποτάμια δάση. Ένα ποσοστό ίσο με 23,20% καλύπτεται από φρύγανα και ένα μικρό ποσοστό καλύπτεται από υδροβιότοπους (Forest, 2016). Στην αρχαιότητα η Κύπρος αναφερόταν ως «Δασόεσσα Νήσος» γιατί η μεγαλύτερη έκταση της ήταν καλυμμένη με πυκνή δασώδη βλάστηση. Με το πέρασμα των χρόνων και σε συνδυασμό με διάφορους αρνητικούς παράγοντες η φυσική βλάστηση στο νησί έχει μειωθεί σημαντικά σε έκταση και ποιότητα. Το κυρίαρχο είδος στα δάση κωνοφόρων είναι το είδος *Pinus brutia* το οποίο απαντάται από την επιφάνεια της θάλασσας έως και υψόμετρο 1400 μέτρων περίπου. Στις ψηλότερες κορυφές και από 1400 μέτρα μέχρι την ψηλότερη κορυφή του νησιού στα 1952 μέτρα απαντάται το είδος *Pinus nigra*. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει και άλλους κρίσιμους βιότοπους, καθώς και άλλα 50 είδη ενδημικών

φυτών τα οποία αποτελούν το 40% του συνόλου των ενδημικών φυτών του νησιού. Άλλα είδη κωνοφόρων είναι τα είδη *Cupressus sempervirens*, *Cedrus brevifolia*, *Juniperus foetidissima* κ.α. Τα δάση βελανιδιάς περιλαμβάνουν τα είδη *Quercus infectoria* καθώς και το ενδημικό *Quercus alnifolia* το οποίο σε αρκετές εκτάσεις σχηματίζει αμιγείς συστάδες του είδους αλλά και σε άλλες περιπτώσεις φύτεται ως υποόροφος σε μικτές συστάδες πευκοδασών. Στα παραποτάμια δάση κυριαρχούν τα είδη *Salix alba*, *Populus alba*, *Platanus orientalis* κ.α. Όσον αφορά τις εκτάσεις φρύγανων περιλαμβάνουν ως επί το πλείστον βοσκότοπους και εκτάσεις με φτωχό έδαφος το οποίο καλύπτεται με θάμνους ύψους περίπου 60 εκατοστών. Τα κυρίαρχα είδη είναι τα είδη *Sarcopoterium spinosum*, *Coridothymus capitatus*, *Cistus spp.*, κ.α. ενώ υπάρχουν και άλλα πολυάριθμα ενδημικά είδη όπως το *Helianthemum obtusifolium*, *Onosma fruticosa*, *Teucrium micropodioides* κ.α. Άλλα διαδεδομένα είδη στο νησί με ύψος περίπου τα 2 μέτρα είναι τα είδη *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus infectoria* κ.α. Στην κατηγορία των υδροβιότοπων τα οικοσυστήματα των αλυκών αποτελούν τους σημαντικότερους τύπους οικοτόπων οι οποίοι παρέχουν ενδιαιτήματα για μια μεγάλη ποικιλία άγριας ζωής στην Κύπρο.

Βασικοί παράγοντες που συνέβαλαν στη διαμόρφωση της χλωρίδας στην Κύπρο είναι η γεωγραφική της θέση, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωλογία και γεωμορφολογία, η απομόνωση και η ανθρώπινη επίδραση (Vogiatzakis, Pungetti and Mannion, 2008). Η επίδραση των παραγόντων αποτυπώνεται στη σύνθεση της χλωρίδας του νησιού.

1.2.3 Αξία των Δασικών Οικοσυστημάτων

Τα δασικά οικοσυστήματα θεωρούνται απαραίτητα για να διατηρηθεί η οικολογική ισορροπία του περιβάλλοντος, η διατήρηση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων και η παραγωγή και βελτίωση της ποιότητας των υδάτων. Χρησιμεύουν ως τόπος ενδιαίτησης της άγριας ζωής και γενικότερα για τη διατήρηση και βελτίωση της βιοποικιλότητας. Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος των δασικών οικοσυστημάτων στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, τη μείωση των θορύβων, την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση καθώς και τη χρήση τους ως χώρος αναψυχής (Sánchez *et al.*, 2021).

Είναι παγκοσμίως γνωστό ότι τα δάση αποτελούν κρίσιμους βιότοπους όσον αφορά τη βιολογική ποικιλότητα που περιέχουν και των οικολογικών λειτουργιών που εξυπηρετούν. Αν ληφθούν υπόψη τα είδη ως παράδειγμα της βιολογικής ποικιλότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, ο αριθμός των περιγραφόμενων οργανισμών που εξυπηρετούν ανέρχεται σε 1,75 εκατομμύρια και εικάζεται ότι αυτό είναι μόλις το 13% του πραγματικού αριθμού ο οποίος ίσως να είναι 13,6 εκατομμύρια είδη (Diversity, 2001). Όποιος όμως και να είναι ο πραγματικός αριθμός τα δάση και ιδιαίτερα τα τροπικά αποτελούν τις σημαντικότερες θέσεις για τη βιολογική ποικιλότητα. Επομένως, στις αξίες των δασικών οικοσυστημάτων προστίθενται και οι αξίες της βιολογικής ποικιλότητας. Η ανάγκη για κατανόηση των αξιών των δασικών οικοσυστημάτων προκύπτει από τα εκτιμώμενα ποσοστά της απώλειας σε δασική έκταση και ως εκ τούτου της βιολογικής ποικιλότητας (Biological Diversity, 2001).

Η βιωσιμότητα των πολιτισμών της Ευρώπης είχε εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την εκμετάλλευση των δασών. Η μείωση των πόρων που προκάλεσε η ασταμάτητη κατάκτηση νέων εδαφών για εκμετάλλευση προκάλεσε μια δραματική μείωση των πόρων με αποτέλεσμα να συζητείται η έννοια πλέον της αξίας που έχουν τα οικοσυστήματα για τον άνθρωπο (Farrell *et al.*, 2000). Η αξία των οικοσυστημάτων αφορά το στόχο ή το σκοπό που επιδιώκεται. Ένα παράδειγμα είναι η οικονομική αξία η οποία σχετίζεται με τη μεγιστοποίηση της ανθρώπινης ευημερίας, όπου τώρα η ευημερία έχει συγκεκριμένη σημασία για τον κάθε άνθρωπο. Τα διαθέσιμα στοιχεία για μερικές από τις οικονομικές αξίες που σχετίζονται με τα δασικά αγαθά και υπηρεσίες αφορούν την ξυλεία, την καύσιμη ύλη και το κάρβουνο, τα δασικά προϊόντα εκτός της ξυλείας, τη βιοποικιλότητα, την προστασία λεκανών απορροής, τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα κ.α. Άλλες αξίες των δασικών οικοσυστημάτων όπως αυτές περιγράφονται στη Σύμβαση για τη Βιολογική Ποικιλότητα είναι οι πολιτιστικές και πνευματικές αξίες (Beckerman, W and Pasek, 2001).

Οι αιτίες απώλειας των δασών και των φυσικών οικοτόπων διακρίνονται στις άμεσες και τις έμμεσες (Yang *et al.*, 2020). Οι άμεσες περιλαμβάνουν την αστική επέκταση,

τις υλοτομίες, τις κατασκευές υποδομών όπως δρόμους φράγματα, τη ρύπανση, τις πυρκαγιές, τα χωροκατακτητικά είδη κ.τ.λ. Οι έμμεσες αιτίες είναι 1.36 έως 2.12 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με τις άμεσες οι οποίες προκαλούνται μόνο από την αστική επέκταση, λόγω της μετατόπισης των καλλιεργειών και της αλλαγής χρήσης γης. Ως αποτέλεσμα, η απώλεια δασικών οικοσυστημάτων θα είναι 2.21 έως και 3.15 φορές μεγαλύτερη.

1.2.4 Λειτουργίες των Δασικών Οικοσυστημάτων

Τα δάση της Κύπρου όπως και όλα τα δάση σε όλο τον κόσμο είναι γνωστό ότι επιτελούν ποικίλες οικολογικές λειτουργίες οι οποίες έχουν ζωτική σημασία στη λειτουργία της βιόσφαιρας από τις οποίες προκύπτει ένα μεγάλο φάσμα υπηρεσιών και προϊόντων (Kremen, 2005). Τα δάση είναι ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι (Liu, Chiang and Lin, 2022). Σχηματίζονται από κοινότητες φυτών όπως δέντρα θάμνους και άλλη εδαφική κάλυψη. Το έδαφος, τα ζώα, τα πουλιά, τα έντομα είναι οι πιο σημαντικές αλληλοεπιδρώντες μονάδες σε ένα δασικό οικοσύστημα. Τα δασικά οικοσυστήματα βοηθούν στην πρόληψη για την υπερθέρμανση του πλανήτη (Pachauri, 2014). Το νερό της βροχής απορροφάται από τις ρίζες μεταφέρεται στα φυτά και μέρος εξατμίζεται βοηθώντας έτσι στην εμφάνιση των βροχοπτώσεων. Η απορρόφηση του νερού εμποδίζει τη διάβρωση διατηρώντας έτσι τη γονιμότητα του εδάφους (Cao *et al.*, 2015).

Οι λειτουργίες των δασικών οικοσυστημάτων αφορούν όλες τις διεργασίες οι οποίες διαδραματίζονται σε ένα οικοσύστημα (Costanza *et al.*, 1998). Ο όρος λειτουργίες χρησιμοποιείται για να υποδείξει κάποια δυνατότητα ή ικανότητα των οικοσυστημάτων να κάνουν κάτι το οποίο είναι χρήσιμο για τους ανθρώπους. Στην οικολογία ο όρος λειτουργία μπορεί να σημαίνει και πολλά άλλα πράγματα τα οποία να αναφέρονται κάτι σαν «ικανότητα» όμως χρησιμοποιείται συχνά για τη σημασία ως διαδικασίες που λειτουργούν μέσα σε ένα οικοσύστημα (Potschin and Haines-Young, 2011).

1.3 Καταγραφή του Προβλήματος

Η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του κλίματος, της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα από τα δασικά οικοσυστήματα είναι σημαντική στην κατανόηση και την αντιμετώπιση / μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Dubey *et al.*, 2021). Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με πολιτικές που σχετίζονται με τη δασοπονία αναγνωρίζουν ότι τα δάση έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν και να αποθηκεύουν τον ατμοσφαιρικό άνθρακα (Anwar, Nasreen and Tiwari, 2021). Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO₂ έχει αυξηθεί κατά 31% από το 1750 (Lal, 2004). Αιτίες της δραματικής αύξησης του CO₂ αποτελούν η αλλαγή χρήσης γης καθώς και η καύση ορυκτών καυσίμων οι οποίες απαιτούν προσδιορισμό των στρατηγικών για μετριασμό της απειλής για υπερθέρμανση του πλανήτη (Fahey *et al.*, 2010). Όσον αφορά τις εκπομπές που οφείλονται στην αλλαγή χρήσης γης αυτές προέρχονται από την καύση βιομάζας, την αποψίλωση των δασών, τη μετατροπή φυσικών οικοσυστημάτων σε γεωργική γη, την αποξήρανση των υγροτόπων και την καλλιέργεια του εδάφους (Lal, 2004). Η άνοδος της θερμοκρασίας και η αύξηση του CO₂ πιθανός να έχουν μεγάλες επιπτώσεις στις ποσότητες του άνθρακα που αποθηκεύεται στο έδαφος (Black, Davis and Hudiburg, 2017).

Ο τύπος της χρήσης γης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του κλίματος. Όπως συμβαίνει με τα αλπικά δάση και τα λιβάδια τα οποία διαδραματίζουν ένα από τους σημαντικότερους ρόλους όσον αφορά τη ρύθμιση του κλίματος παρόλα αυτά η αξιολόγηση για τη συμβολή τους είναι ακόμα άγνωστη (Canedoli *et al.*, 2020). Ο τύπος του οικοσυστήματος σε μια περιοχή επηρεάζει και τα αποθέματα οργανικού άνθρακα. Για παράδειγμα τα λιβάδια και τα μεικτά δάση πλατύφυλλων αποθηκεύουν περισσότερο οργανικό άνθρακα του εδάφους σε σχέση με τα μεικτά δάση κωνοφόρων, τα δάση ερυθρελάτης και τα δάση με πεύκα (Canedoli *et al.*, 2020). Η ποικιλομορφία έχει επίσης σημαντική επίδραση στην αποθήκευση άνθρακα όπου έχει παρατηρηθεί θετική επίδραση της ποικιλομορφίας στην αποθήκευση άνθρακα και στην παραγωγικότητα των δένδρων (Ruiz-Benito *et al.*, 2014). Μεγαλύτερες διαφορές στις ποσότητες δέσμευσης άνθρακα προκύπτουν επίσης σε διαφορετικούς τύπους δασών όπως για παράδειγμα τα σκληρόφυλλα δάση, τα Μεσογειακά πευκοδάση, τα ορεινά πευκοδάση κ.α. (Ruiz-Benito *et al.*, 2014).

Μεγάλες διακυμάνσεις στις αποθήκες άνθρακα προκύπτουν μετά από απρόσμενες αλλαγές όπως για παράδειγμα μια πυρκαγιά, ή μετά από περιόδους ξηρασίας, ή ασθενειών κατά τις οποίες έχουν υιοθετηθεί μέθοδοι μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και την αποκατάσταση οικολογικών λειτουργιών στις περιπτώσεις των υποβαθμισμένων τοπίων (Powers *et al.*, 2013). Ωστόσο, ο βαθμός που οι δραστηριότητες αυτές δεσμεύουν το CO₂ και οι σχετικές επιπτώσεις στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής είναι ελάχιστα γνωστός ειδικά σε περιοχές όπου τα δεδομένα των αποκαταστάσεων είναι περιορισμένα ή δεν υπάρχουν (Bernal, Murray and Pearson, 2018).

Στην Κύπρο δεν έχουν γίνει μέχρι τώρα μελέτες για το ρόλο των διαφορετικών τύπων δασικών οικοσυστημάτων στην εκτίμηση της δέσμευσης CO₂. Είναι σημαντική η αναγνώριση των αποτελεσμάτων για κάθε τύπο οικοτόπου έτσι ώστε οι ενδιαφερόμενοι φορείς να χαράξουν τις κατάλληλες διαχειριστικές πολιτικές για κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

1.4 Σημασία και αναγκαιότητα της μεταπτυχιακής διατριβής

Ο άνθρακας αποτελεί δομικό συστατικό των ζωντανών οργανισμών και ως βάση ζωής για παροχή τροφής και ενέργειας (Preiner and Martin, 2021). Είναι επίσης ένας από τους βασικότερους συντελεστές στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην κλιματική αλλαγή. Ως αέριο, ο άνθρακας (CO₂) έχει αυξηθεί δραματικά στην ατμόσφαιρα λόγω και της παρέμβασης του ανθρώπου στον κύκλο του άνθρακα (Canadell *et al.*, 2010). Η αναγνώριση και η ποσοτικοποίηση των ροών άνθρακα μεταξύ των διαφόρων αποθηκών των δασών είναι απαραίτητη για την κατανόηση της συμμετοχής των δασών στη διαδικασία του κύκλου του άνθρακα. Σε ένα δασικό οικοσύστημα αναγνωρίζονται πέντε αποθήκες άνθρακα: η υπέργεια βιομάζα, η υπόγεια βιομάζα, η νεκρή ξυλεία, η φυλλάδα και οι οργανικές ουσίες στο έδαφος (Vucetich *et al.*, 2000). Το CO₂ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα δεσμεύεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης και αποτελεί τη μεγαλύτερη ροή στον κύκλο του άνθρακα. Η μισή ποσότητα επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα μέσω της κυτταρικής αναπνοής και το υπόλοιπο CO₂ μετατρέπεται σε βιομάζα (Kell, 2012). Για να μετριαστεί η κλιματική

αλλαγή θα πρέπει να μειωθούν σημαντικά οι ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται και να αυξηθούν όσο το δυνατό οι δυνατότητες απορρόφησης τους.

Σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί πολυάριθμες στρατηγικές διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων και έχουν σχεδιαστεί εργαλεία για τη διατήρηση και αποκατάσταση τους. Οι πολιτικές που αναπτύσσονται προσφέρουν μια πιο αποτελεσματική διαχείριση των οικοσυστημάτων ειδικά όταν εφαρμόζονται σε συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή που σχεδιάζονται. Τα τελευταία χρόνια η αύξηση της θερμοκρασίας, τα θερμά ξηρά καλοκαίρια και οι εύφλεκτες ποσότητες βιομάζας οι οποίες αναπτύσσονται στα μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα ευκολύνουν την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών (Flannigan *et al.*, 2006). Η επίδραση των μεθόδων διαχείρισης σε πυρόπληκτες περιοχές επηρεάζουν τις ποσότητες άνθρακα που αποθηκεύονται στα δασικά οικοσυστήματα (Serrano-Ortiz *et al.*, 2011). Η εξαφάνιση των δασικών οικοσυστημάτων τα οποία είναι ευαίσθητα στην καταστροφή που προκαλείται από το κλίμα προκαλεί αβεβαιότητα στις επιπτώσεις που θα έχει μια πιθανή αλλαγή του κλίματος στα χερσαία οικοσυστήματα και στις ροές του κύκλου του άνθρακα (Anderegg *et al.*, 2012). Επιπλέον, η δραματική μείωση των εκτάσεων των δασών οδηγεί σε δραματική μείωση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγής στη δέσμευση άνθρακα οδηγώντας τα οικοσυστήματα να γίνουν πηγές CO₂ με θετική ανατροφοδότηση στην υπερθέρμανση του κλίματος (Anderegg *et al.*, 2012). Η αναγκαιότητα της κατανόησης των λειτουργιών και των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων εντείνεται λόγω της υποβάθμισης και της συνεχιζόμενης απώλειας των οικοτόπων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η πρωτοβουλία που ανέπτυξε η ΕΕ με βάση την Ευρωπαϊκή Στρατηγική για την Βιοποικιλότητα όπου σύμφωνα με τις πρόνοιες της Δράσης 5, θέσπισε το πλαίσιο της εργασίας και τα κριτήρια έτσι ώστε τα κράτη μέλη να χαρτογραφήσουν και να αξιολογήσουν τα Οικοσυστήματα και τις Υπηρεσίες τους (Maes *et al.*, 2015).

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα συμβάλει στη διερεύνηση της αποτίμησης δέσμευσης άνθρακα στους τρεις τύπους δασικών οικοσυστημάτων της Κύπρου. Λαμβάνοντας υπόψη την υποχρέωση που έχει η Κύπρος ως προς τη χαρτογράφηση των ΟΥ και του γεγονότος ότι κάθε οικοσύστημα δεσμεύει και αποθηκεύει διαφορετικές ποσότητες άνθρακα (Nabuurs and Schelhaas, 2002), η κατανόηση των

αποτελεσμάτων θα ενισχύσει τις υφιστάμενες δασικές πρακτικές που ακολουθούνται για τη διατήρηση των ειδών (Milios *et al.*, 2021). Η χαρτογράφηση και αξιολόγηση τους θα συμβάλει στη διατήρηση και αειφορική διαχείριση τους έχοντας υπόψη ότι συμβάλουν ενεργά στην αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος (Vucetich *et al.*, 2000). Τα αποτελέσματα των ΟΥ σε εθνικό επίπεδο θα οδηγήσουν στην αποτίμηση σε επίπεδο ΕΕ με στόχο τη λήψη των σωστών μελλοντικών διαχειριστικών αποφάσεων.

1.5 Σκοποί και στόχοι της μεταπτυχιακής διατριβής

Σκοπός της διατριβής αποτελεί η εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα από διαφορετικούς τύπους δασικών οικοτόπων της Κύπρου. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν τρεις τύποι δασικών οικοσυστημάτων με κυρίαρχα είδη:

1. Το είδος *Cedrus brevifolia*,
2. Το είδος *Pinus nigra* και
3. Τα είδος *Quercus alnifolia*

Για την εκτίμηση της ποσότητας του άνθρακα που βρίσκεται δεσμευμένη στα πιο πάνω δασικά οικοσυστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί δύο μέθοδοι. Η μία μέθοδος αφορά τη χρήση του εργαλείου TESSA (Peh *et al.*, 2013) στο οποίο δεν γίνεται χρήση δεδομένων πεδίου αλλά εφαρμογή κατάλληλων προκαθορισμένων παραμέτρων για κάθε περιοχή μελέτης. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει λύσεις στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν δεδομένα πεδίου από τις περιοχές μελέτης και εφαρμόζονται δεδομένα παγκόσμιας κλίμακας. Η άλλη μέθοδος εκτίμησης της ποσότητας του άνθρακα αφορά την εκτίμηση με τη χρήση δεδομένων πεδίου τοπικής κλίμακας και βιβλιογραφικών αναφορών που εφαρμόζονται στις περιοχές μελέτης.

Οι δύο διαφορετικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί παράγουν αποτελέσματα που αφορούν τη δέσμευση άνθρακα στις τέσσερις διαφορετικές δεξαμενές άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων οι οποίες είναι: α) η υπέργεια βιομάζα, β) η υπόγεια βιομάζα, γ) το έδαφος και δ) η νεκρή οργανική ύλη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από κάθε δεξαμενή άνθρακα καθώς και από το συνολικό αποτέλεσμα θα συγκριθούν μεταξύ τους με σκοπό την αξιολόγηση των διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν θα βοηθήσουν στην κατανόηση των επιπτώσεων που έχει η ροή άνθρακα σε κάθε διαφορετικό τύπο οικοτόπου. Η εκτίμηση της δέσμευσης CO₂ από δασικούς οικοτόπους της Κύπρου ως μια από τις πολλές ΟΥ που προσφέρουν τα δάση θα αξιοποιηθεί ως μέρος της υποχρέωσης που έχει η Κύπρος για τη χαρτογράφηση των ΟΥ. Η ικανότητα των δασικών οικοσυστημάτων για τη δέσμευση και συγκέντρωση άνθρακα έχει αναγνωριστεί τα τελευταία χρόνια καθιστώντας τη βελτίωση, διατήρηση και επέκταση των δασικών οικοσυστημάτων ως στόχο μιας ορθολογιστικής προστασίας τους.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Βιοποικιλότητα σε «κρίση»

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί απειλή για όλα τα είδη και ειδικά τα ενδημικά είδη που αντιμετωπίζουν ανυπέρβλητα εμπόδια διασποράς. Αρκετές από τις βιοκοινότητες σε διάφορες περιοχές του πλανήτη αντιμετωπίζουν την υποδοχή πολλών εκατοντάδων άλλων ειδών ως μετανάστες τα οποία εισέρχονται ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (Thomas, 2011). Μια από τις πολλές αιτίες που προκαλούν την απώλεια της βιοποικιλότητας είναι και τα χωροκατακτητικά ξένα είδη. Άλλες αιτίες που έχουν εντοπιστεί σε παγκόσμιο επίπεδο ότι οδηγούν σε απώλεια της βιοποικιλότητας σύμφωνα με την Παγκόσμια Έκθεση Αξιολόγησης για τη Βιοποικιλότητα και τις ΟΥ (IPBES) είναι οι αλλαγές στη χρήση γης και θάλασσας, η κλιματική αλλαγή, η άμεση εκμετάλλευση των οργανισμών και η ρύπανση (IPBES, 2019).

Στο πλαίσιο των υποχρεώσεων που απορρέουν από τη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών και της Ευρωπαϊκής Στρατηγικής για τη Βιοποικιλότητα αναπτύχθηκε και η Στρατηγική για τη Βιοποικιλότητα στην Κύπρο της οποίας γενικός στόχος είναι η ανάσχεση της απώλειας βιοποικιλότητας καθώς και η διατήρηση και προστασία σε καλή κατάσταση των οικοσυστημάτων της Κύπρου (Τμήμα Περιβάλλοντος, 2019). Η Κύπρος ως κράτος μέλος της ΕΕ ενέκρινε το έτος 2020 το σχέδιο δράσης για τη βιοποικιλότητα σηματοδοτώντας μια ολιστική προσέγγιση για την προστασία της φύσης. Βασιζόμενη στην Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τη Βιοποικιλότητα, η Κύπρος έχει θεσπίσει τα κριτήρια και το πλαίσιο εργασίας για τη Χαρτογράφηση και Αξιολόγηση των Οικοσυστημάτων και των Υπηρεσιών που προσφέρουν. Η στρατηγική της ΕΕ όσον αφορά την βιοποικιλότητα για το έτος 2030 είναι ένα ολοκληρωμένο, φιλόδοξο και μακροπρόθεσμο σχέδιο για την αναστροφή της

υποβάθμισης των οικοσυστημάτων και την προστασία της φύσης. Η στρατηγική αυτή στοχεύει να θέσει σε τροχιά ανάκαμψης της βιοποικιλότητας στην Ευρώπη έως το έτος 2030 και περιλαμβάνει συγκεκριμένες δράσεις και δεσμεύσεις για όλα τα κράτη μέλη συμπεριλαμβανομένου και της Κύπρου. Στόχος της στρατηγικής μέχρι το 2030 είναι να οικοδομήσει την ανθεκτικότητα των κοινωνιών σε μελλοντικές απειλές όπως για παράδειγμα:

- τις καταστροφικές πυρκαγιές,
- τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής,
- την επισιτιστική ανασφάλεια,
- την αντιμετώπιση ασθενειών και προστασία της άγριας ζωής και της παράνομης εμπορίας άγριων ειδών.

Οι δράσεις και δεσμεύσεις που πρέπει να υλοποιηθούν μέχρι το 2030 είναι:

- Η διεύρυνση ενός ευρύτερου δικτύου προστατευόμενων περιοχών και ένταξη τους στις ήδη υφιστάμενες χερσαίες και θαλάσσιες περιοχές του δικτύου Natura 2000,
- Για την αντιμετώπιση των βασικών παραγόντων απώλειας της βιοποικιλότητας η εφαρμογή συγκεκριμένων δράσεων και δεσμεύσεων οι οποίες θα αποκαταστήσουν υποβαθμισμένα οικοσυστήματα,
- Η εισαγωγή κατάλληλων μέτρων για να καταστεί εφικτή η μετασχηματιστική αλλαγή μέσω:
 - εφαρμογής μεθόδων παρακολούθησης της προόδου,
 - βελτίωση της γνώσης και χρηματοδότηση των επενδύσεων,
 - σεβασμός της φύσης στη λήψη αποφάσεων.
- Η εισαγωγή μέτρων για αντιμετώπιση της πρόκλησης της βιοποικιλότητας.

Η Κύπρος ως νησί και παρά το μικρό της μέγεθος έχει μια πλούσια βιοποικιλότητα σε φυτά και ζώα. Σημαντικοί παράγοντες της πλούσιας βιοποικιλότητας είναι οι κλιματικές συνθήκες με τις έντονες αλλαγές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από περιοχή σε περιοχή, η διαφορετικού τύπου γεωμορφολογία στις διάφορες περιοχές και η γεωγραφική θέση του νησιού που την καθιστά ως μεταναστευτικό σταθμό (Forest, 2016). Στη χλωρίδα της Κύπρου έχουν αναγνωριστεί 1946 φυτικά είδη εκ των οποίων 141 είναι ενδημικά (Τμήμα Δασών, 2019). Η πανίδα στην Κύπρο

περιλαμβάνει 33 είδη θηλαστικών, 22 είδη ερπετών καθώς και 405 είδη πουλιών. Περιλαμβάνει επίσης 250 είδη ψαριών και 3 είδη αμφίβιων καθώς και περίπου 6000 είδη εντόμων (Τμήμα Δασών, 2022). Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί απώλεια στη βιοποικιλότητα η οποία οφείλεται στις αλλαγές που εφαρμόζονται στις γεωργικές πρακτικές καθώς και στην ιδιαίτερα αυξημένη κτηνοτροφία. Επιπλέον ο τουρισμός στο νησί έχει προκαλέσει μια αύξηση της μετανάστευσης από τις αγροτικές περιοχές στις αστικές με αποτέλεσμα την αυξημένη πίεση στα παράκτια οικοσυστήματα (Vogiatzakis, Pungetti and Mannion, 2008). Η προσπάθεια των ανθρώπων να μετατρέψουν τα οικοσυστήματα έτσι ώστε να ενισχύσουν συγκεκριμένες υπηρεσίες τις οποίες θεωρούν ότι είναι αναγκαίες για την επιβίωση τους προκαλεί απώλεια της βιοποικιλότητας η οποία είναι σημαντική για τις ΟΥ.

2.2 Οικοσυστημικές Υπηρεσίες (ΟΥ) και μέθοδοι αποτίμησης τους

Η ρύπανση και η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος συνεχίζεται διαρκώς σε μεγάλη κλίμακα παρά την αυξημένη ευαισθητοποίηση για πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η δημοσίευση το 1980 της Διεθνούς Ένωσης για Διατήρηση της Φύσης και των Φυσικών Πόρων (IUCN) προσέλκυσε μεγάλη προσοχή στην ιδέα της ανάγκης για διατήρηση και αειφόρο χρήση των φυσικών πόρων. Οι διαφορετικές απόψεις όμως που έχουν οι οικονομολόγοι, οι περιβαλλοντολόγοι και οι οικολόγοι σχετικά με τις έννοιες των όρων αειφόρος ανάπτυξη, διατήρηση, φυσικοί πόροι καθιστά την ύπαρξη συμφωνίας στον ορισμό των όρων ανύπαρκτη (de Groot, 1987).

Ορόσημο της σύγχρονης ιστορίας των ΟΥ θεωρείται η περίοδος περί τα τέλη της δεκαετίας του 70 όπου ξεκινά με την ιδέα των ευεργετικών οικοσυστημάτων, ως προς το ενδιαφέρον του κοινού για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). Η αναγνώριση των ΟΥ ως ένα αποδεκτό εργαλείο επικοινωνίας στο σχεδιασμό πολιτικής προήλθε μετά και την έκθεση της Αξιολόγησης των Οικοσυστημάτων της Χιλιετίας (MEA 2005) (da Costa *et al.*, 2017).

Οι ΟΥ είναι δύσκολο να αποτιμηθούν για ένα συγκεκριμένο χώρο, λόγω της ανάγκης που προκύπτει για ανάκτηση των αναγκαίων ουσιαστικών πόρων αλλά και της εξειδικευμένης γνώσης που χρειάζεται να έχουν οι ερευνητές (Initiative, 2019).

Επομένως, αξιολογήσεις που πραγματοποιούνται με δεδομένα που λαμβάνονται από κάθε περίπτωση ξεχωριστά και από μοντελοποίηση δεδομένων παράγονται αποτελέσματα με κάθε επιφύλαξη για την εγκυρότητα τους (Bagstad *et al.*, 2016). Υπάρχουν αρκετά εργαλεία τα οποία είναι διαθέσιμα για τη μέτρηση των ΟΥ τα οποία και συνεχώς αναπτύσσονται (Ishana Thapa, Stuart H.M. Butchart and Alison J. Stattersfield, 2022). Συνηθισμένη διαδικασία στον προσδιορισμό της ποσοτικοποίησης των ΟΥ είναι η οικονομική αποτίμηση τους, η νομισματική και λογιστική αξία και η αποτίμηση ως Φυσικό Κεφάλαιο (Sullivan, 2018). Με αυτό τον τρόπο τα οφέλη που παρέχουν τα οικοσυστήματα γίνονται καλύτερα κατανοητά για λήψη αποφάσεων (Claret, Metzger and Kettunen, 2020). Μετά την έκθεση «Τα Οικονομικά των Οικοσυστημάτων και της Βιοποικιλότητας» (TEEB) επετεύχθη η εκκίνηση στη διαδικασία ανάλυσης του παγκόσμιου οικονομικού οφέλους της βιολογικής βιοποικιλότητας, του κόστους της απώλειας της βιοποικιλότητας και της αποτυχίας των προστατευτικών μέτρων έναντι του κόστους της αποτελεσματικής διατήρησης (Wittmer, 2010). Το MEA (Millennium Ecosystem Assessment) καθώς και το TEEB (The Economics of Ecosystem and Biodiversity) είχαν σημαντικό αντίκτυπο στην αποτίμηση των ΟΥ σε παγκόσμιο επίπεδο (Braat and Groot, 2012). Αξιολογήσεις σε μικρής κλίμακας τοποθεσίες δύσκολα εφαρμόζονται ωστόσο για μεγαλύτερης κλίμακας περιοχές όπως για παράδειγμα για μια χώρα ή μια λεκάνη απορροής τα αποτελέσματα δίνουν ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα προσφέροντας στους διαχειριστές ή τους ενδιαφερόμενους φορείς τα κατάλληλα εργαλεία. Τα αποτελέσματα αξιολογήσεων των ΟΥ σπάνια χρησιμοποιούνται ως μέσω λήψης αποφάσεων σχετικά με τις πολιτικές που θα ακολουθηθούν σε ένα πεδίο (Saarikoski *et al.*, 2018).

Για την αποτίμηση των ΟΥ έχουν αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο διάφορα εργαλεία χαρτογράφησης με σκοπό την ενσωμάτωση των ΟΥ ως παράγοντες που θα επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων (Πίνακας 1). Τα εργαλεία χαρτογράφησης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτά που η διαδικασία γίνεται χωρίς υπολογιστές με τη μέθοδο βήμα προς βήμα ακολουθώντας γραπτές οδηγίες για το επόμενο βήμα και αυτά που χρειάζονται υπολογιστική δύναμη με τη χρήση λογισμικών σε υπολογιστές. Η επιλογή στον τύπο του εργαλείου που θα

χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τις ιδιότητες του κάθε εργαλείου και τα αποτελέσματα που προσφέρει στους χρήστες. Η επιλογή από τους χρήστες του σωστού εργαλείου εξαρτάτε από:

- α) Το σκοπό της αξιολόγησης,
- β) Τα απαιτούμενα αποτελέσματα και τη μορφή που θα έχουν,
- γ) Το χρόνο και το ύψος του προϋπολογισμού που είναι διαθέσιμα για την υλοποίηση της αξιολόγησης (Neugarten *et al.*, 2018).

Πίνακας 1: Εργαλεία Αξιολόγησης ΟΥ. Πηγή: (Neugarten et al., 2018)

Ακρώνυμο	Ονομασία	Περιγραφή Εργαλείου
Γραπτή, βήμα με βήμα μέθοδος		
EST	Ecosystem Services Toolkit	Καθοδηγεί το χρήστη να επιλέξει τις κατάλληλες μεθόδους μοντελοποίησης, μέτρησης και αξιολόγησης μέσα από πρακτικά φύλλα εργασίας.
PA-BAT	Protected Areas Benefits Assessment Tool	Είναι βασισμένο σε εργαστήρια με τη συμμετοχή των ενδιαφερομένων και την αντίληψη τους από τα οφέλη προστατευόμενων και άλλων περιοχών.
TESSA	Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment	Εγχειρίδιο το οποίο αξιολογεί τα πλεονεκτήματα που λαμβάνουν οι άνθρωποι από τη φύση σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Παράγει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επηρεάσουν τη λήψη αποφάσεων.
Απαιτείται χρήση λογισμικών και υπολογιστών		
ARIES	Artificial Intelligence for Ecosystem Services	Πλατφόρμα κοινωνικοοικονομικής και περιβαλλοντικής μοντελοποίησης ΟΥ. Απαιτεί δεξιότητες μοντελοποίησης και GIS.
C\$N	Co\$ting Nature v.3	Διαδικτυακό εργαλείο για τη χωρική ανάλυση ΟΥ και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων παρεμβάσεων σε σενάρια αλλαγής χρήσης γης.
InVEST	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs 3.4.2	Μοντέλα λογισμικού για τη χαρτογράφηση και ποσοτικό προσδιορισμό των ΟΥ με βιοφυσικούς ή οικονομικούς όρους κάτω από διαφορετικά σενάρια (π.χ. επιλογές πολιτικής ή διαχείρισης).
MIMES	Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services	Έχει σχεδιαστεί για να ενσωματώνει διαφορετικά οικολογικά και οικονομικά μοντέλα για κατανόηση και οπτικοποίηση των τιμών των ΟΥ. Βασίζεται στο λογισμικό SIMILE.
SoIVES	Social Values for Ecosystem Services	Εφαρμογή του λογισμικού ArcGIS η οποία επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει, να αξιολογήσει και να χαρτογραφήσει τις αντιληπτές κοινωνικές αξίες που οι άνθρωποι αποδίδουν στις πολιτισμικές ΟΥ.
WW	WaterWorld v.2	Διαδικτυακό εργαλείο μοντελοποίησης υδρολογικών υπηρεσιών που σχετίζονται με συγκεκριμένες δραστηριότητες υπό τις τρέχουσες συνθήκες και σενάρια χρήσης γης, διαχείρισης γης και κλιματικής αλλαγής.

2.3 Δάση και ΟΥ

Ο όγκος της έρευνας που έχει γίνει τα τελευταία χρόνια έχει συμβάλει στην κατανόηση του πώς η φύση συμβάλλει στην ύπαρξη των ανθρώπων (Costanza *et al.*, 1998). Ο όρος «Οικοσυστημικές Υπηρεσίες (ΟΥ)» χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλα τα οφέλη που αποκομίζουν οι άνθρωποι από τα οικοσυστήματα και πώς αυτά χρησιμοποιούνται για την ευημερία των ανθρώπων (Groot *et al.*, 2012). Τα αγαθά και οι υπηρεσίες που προκύπτουν είναι σε κάθε περίπτωση πολλαπλά και ποικίλουν ανάλογα με το τοπίο, το μέγεθος του οικοσυστήματος και τη χωρική του διαμόρφωση, για το λόγο αυτό είναι σημαντική η χαρτογράφηση ως μέσω εκτίμησης των προσφερόμενων υπηρεσιών και αγαθών από τη φύση (Burkhard *et al.*, 2009).

2.3.1 Χαρτογράφηση ΟΥ

Με τον όρο χαρτογράφηση των ΟΥ νοείται η χωρική μοντελοποίηση με στόχο την κατανόηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση και για να γίνει αντιληπτό το αποτέλεσμα της χαρτογράφησης χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία και προσεγγίσεις. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση χαρτογράφησης θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αντλήσουν όλες τις χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες παρέχονται από μια περιοχή ή επιφάνεια εδάφους ανεξαρτήτως μεγέθους ή έκτασης (Burkhard *et al.*, 2009). Ωστόσο, οι προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση και χαρτογράφηση ποικίλουν προκαλώντας αβεβαιότητα σχετικά με την επιλογή των μεθόδων. Μεταξύ όμως των ΟΥ έχει παρατηρηθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις χαρτογράφησης ΟΥ όσον αφορά τα χερσαία οικοσυστήματα αυτές αφορούν ρυθμιστικές, προμηθευτικές και πολιτισμικές υπηρεσίες (Englund, Berndes and Cederberg, 2017). Ο σκοπός και η κλίμακα της χαρτογράφησης ακολουθεί προκαθορισμένους κανόνες οι οποίοι καθορίζονται από το είδος των υπηρεσιών και αγαθών που μελετώνται (Maes *et al.*, 2015)

2.3.2 Ταξινόμηση ΟΥ

Τα διεθνή συστήματα ταξινόμησης των ΟΥ τα οποία είναι διαθέσιμα για το σκοπό αυτό είναι τρία (MA, TEEB, CICES) και έχουν ένα μεγάλο βαθμό συσχέτισης μεταξύ τους. Λόγω του ειδικού πλαισίου για τον οποίο αναπτύχθηκαν έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Και τα τρία όμως περιλαμβάνουν ως κύριες κατηγορίες ΟΥ τις ρυθμιστικές, τις προμηθευτικές και τις πολιτισμικές με

συγκεκριμένες αναφορές για κάθε σύστημα ταξινόμησης (Πίνακας 2). Το σύστημα αξιολόγησης TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) προτείνει ένα είδος τυπολογίας είκοσι δύο ΟΥ οι οποίες χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες. Το σύστημα αξιολόγησης MA (The Millennium Ecosystem Assessment) το οποίο ήταν και η πρώτη αξιολόγηση για οικοσυστήματα ταξινομεί τις ΟΥ σε τέσσερις ομάδες. Το σύστημα αξιολόγησης CICES (The Common International Classification of Ecosystem Services) ταξινομεί τις ΟΥ σε τρεις ενότητες αλλά εστιάζει και επικεντρώνεται στη διάσταση των ΟΥ.

Πίνακας 2: Ταξινόμηση Οικοσυστημικών Υπηρεσιών Πηγή: (European Environmental Agency, 2022)

Παραγωγικές Υπηρεσίες							
Ταξινόμηση με TEEB							
Τροφή		Πόσιμο νερό		Πρώτες ύλες		Φαρμακευτικές Ύλες	
Τροφή		Πόσιμο νερό		Ξυλεία, Ίνες		Καύσιμα	
Ταξινόμηση με MA							
Τροφή		Πόσιμο νερό		Ξυλεία, Ίνες		Καύσιμα	
Ταξινόμηση με CICES							
Θρέψη		Πρώτες Ύλες			Ενέργεια		
Βιομάζα		Νερό		Βιομάζα		Νερό	
Καλλιέργειες, Κτηνοτροφία, Άγρια ζωή,....		Πόσιμο επιφανειακά, υπόγεια		Ίνες, Γενετικό υλικό,...		Μη πόσιμο επιφανειακά, υπόγεια	
						Ενεργειακές καλλιέργειες	
Ρυθμιστικές Υπηρεσίες							
Ταξινόμηση με TEEB							
Προστασία εδάφους		Μετριασμός ακραίων φαινομένων		Επεξεργασία λυμάτων		Ποιότητα αέρα, Αποθήκευση άνθρακα	
Προστασία εδάφους		Μετριασμός ακραίων φαινομένων		Επεξεργασία λυμάτων		Ποιότητα αέρα, Αποθήκευση άνθρακα	
Ταξινόμηση με MA							
Έλεγχος Πλημμυρών		Έλεγχος Ασθενειών		Καθαρισμός νερού		Ρύθμιση κλίματος	
Ταξινόμηση με CICES							
Μετριασμός ροών			Μετριασμός αποβλήτων και τοξικών ουσιών			Διατήρηση φυσικοχημικών και βιολογικών συνθηκών	
Στερεών		Υγρών		Αερίων		Έμβιοι οργανισμοί	
Διάβρωση εδάφους		Πλημμύρες		Εξάτμιση, διαπνοή		Άλγη, φυτά, ζώα	
						Οικοσυστήματα	
						Κύκλος ζωής	
						Έλεγχος τρωκτικών	
						Ρύθμιση Κλίματος	
Πολιτισμικές Υπηρεσίες							
Ταξινόμηση με TEEB							
Ψυχική, φυσική Υγεία		Πνευματική εμπειρία		Τουρισμός		Αισθητική εκτίμηση	
Ταξινόμηση με MA							
Αισθητική		Εκπαιδευτικές		Πνευματικές		Αναψυχή	
Ταξινόμηση με CICES							
Επαφή με φυσικά οικοσυστήματα και τοπία				Επαφές με εμβληματικά περιβαλλοντικά τοπία, μνημεία			
Χρήσης γης, φυτών, ζώων, τοπίων		Πνευματικά, Επιστημονικά		Πνευματικά, Εμβληματικά σύμβολα Ιερά και θρησκευτικά		Πολιτισμικά προϊόντα	

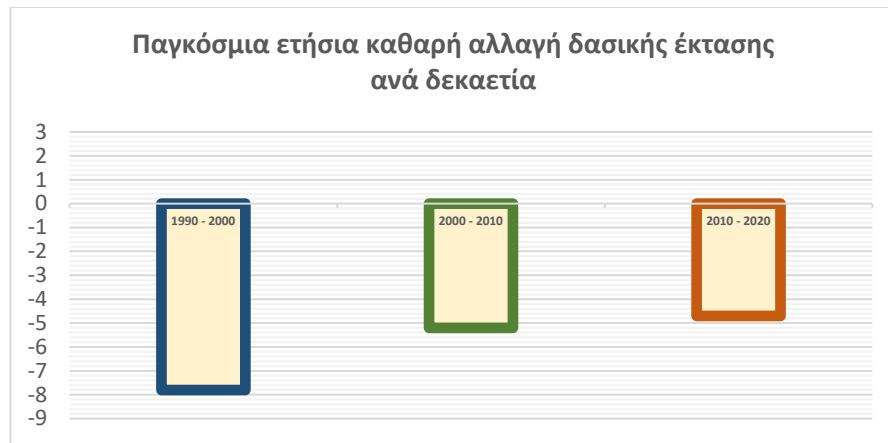
2.4 Δέσμευση άνθρακα και δασικά οικοσυστήματα

Τα οφέλη που έχουν οι άνθρωποι και ολόκληρη η κοινωνία από τις δασικές εκτάσεις και τη βιοποικιλότητα είναι ουσιαστικά και ζωτικής σημασίας. Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι δασικές εκτάσεις είναι αισθητικά ευχάριστες προς τους ανθρώπους. Επίσης η στενή επαφή με τα δάση και τη φύση βοηθά στη σωματική και ψυχική υγεία (Morris and Brien, 2011). Σε επίπεδο κοινωνικών προσφορών τα δάση παρέχουν τροφή, καταφύγιο, καύσιμα (Broadmeadow and Nisbet, 2010) καθώς και αποθήκευση άνθρακα (Cantarello, Newton and Hill, 2011). Σε έρευνες που έχουν γίνει παρατηρήθηκε ότι οι ενδιαφερόμενοι αντιλαμβάνονται και ιεραρχούν τα διαφορετικά οφέλη των δασών με διαφορετικό τρόπο (Nijnik and Mather, 2008).

Ο ρόλος των δασών στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος και έρευνας. Η μελέτη του αντίκτυπου που έχουν οι διάφορες διαχειριστικές πρακτικές στη δασική δυναμική και την ιστορία των διαταραχών που μπορεί να συμβούν σε ένα δασικό οικοσύστημα καθορίζει την απορρόφηση του CO₂ ανάλογα πάντα με τη σύνθεση των δασών (Kolström *et al.*, 2011). Τα δάση που αναγεννούνται σήμερα θα πρέπει να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις κλιματικές συνθήκες που μπορεί να αλλάξουν δραστικά κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Ο προσδιορισμός μέτρων που στοχεύουν στη μείωση της ευπάθειας των δασών στην αλλαγή του κλίματος θα μειώσει την ευαισθησία των δασών σε δυσμενείς επιπτώσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής. Εφαρμόζοντας τα κατάλληλα δασοκομικά μέτρα τα δάση θα αυξήσουν την προσαρμοστική ικανότητα τους για να αντιμετωπίσουν τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες (Kolström *et al.*, 2011).

Τα χαρακτηριστικά στους πληθυσμούς των δασικών δέντρων και το ιδανικό ταίριασμα των πληθυσμών τους, τα καθιστούν ανθεκτικότερα στη ξηρασία, στην αύξηση της θερμοκρασίας και στην ικανότητα τους να επωφελούνται από τα αυξημένα ποσοστά CO₂ στην ατμόσφαιρα (Law *et al.*, 2014). Τις τελευταίες δεκαετίες η υποβάθμιση του πλανήτη και η καταστροφή των δασών είναι καθοριστικές για τη μελλοντική πορεία. Η FAO (Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας) υπολογίζει ότι το ποσοστό της καθαρής απώλειας των δασών μειώθηκε από 7,8

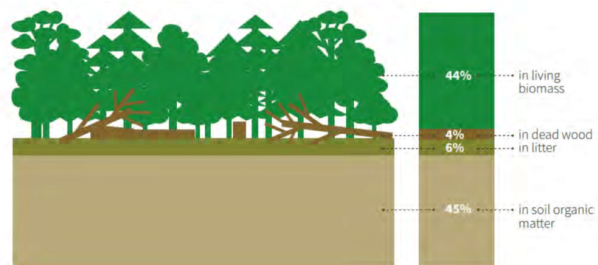
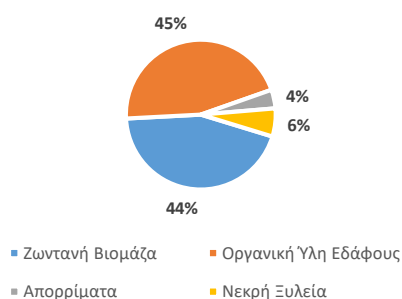
εκατομμύρια ha/έτος που ήταν τη δεκαετία 1990-2000 σε 5,2 εκατομμύρια ha/έτος τη δεκαετία 2000-2010 και 4,7 εκατομμύρια ha/έτος τη δεκαετία 2010-2020 (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια ετήσια καθαρή αλλαγή της δασικής έκτασης ανά δεκαετία (1990-2000), (2000-2010), (2010-2020). Πηγή: (FAO, 2020).

Οι μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα 44% βρίσκονται στη ζωντανή βιομάζα, στην οργανική ύλη του εδάφους το 45% και το υπόλοιπο στη νεκρή ξυλεία και τα απορρίμματα (Διάγραμμα 2). Το συνολικό απόθεμα σε άνθρακα στα δάση μειώθηκε από 668 Gt το έτος 1990 σε 662 Gt το έτος 2020. Την ίδια περίοδο η πυκνότητα του άνθρακα αυξήθηκε από 159 t/ha σε 163 t/ha (Button, 2000).

Αναλογία αποθέματος άνθρακα σε δασικές δεξαμενές άνθρακα 2020



Διάγραμμα 2: Αναλογία του αποθέματος σε άνθρακα, στις δασικές δεξαμενές άνθρακα 2020. Πηγή: (Foundation, 2020)

2.5 Στρατηγική της ΕΕ για τα δάση

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για την καθιέρωση μιας συντονισμένης Ευρωπαϊκής πολιτικής για τα δάση. Η ΕΕ συνέταξε το Δεκέμβριο του 1998 ψήφισμα για μια δασική στρατηγική της ΕΕ (Συμβουλίου, 1999). Τα κίνητρα της σύνταξης του ψηφίσματος ήταν η απουσία συντονισμού στη δασική πολιτική κάθε κράτους μέλους της ΕΕ καθώς και η σημαντικότητα του ρόλου των δασών στις διεθνείς πολιτικές συζητήσεις για την αειφόρο ανάπτυξη. Στόχος του ψηφίσματος ήταν η θέσπιση ενός πλαισίου για ενέργειες που έχουν σχέση με τα δάση δίνοντας έμφαση στην αειφόρο διαχείριση τους. Στις διασκέψεις για την προστασία των δασών στην ΕΕ, Στρασβούργο (1990), Ελσίνκι (1993), Λισαβόνα (1998) και Βιέννη (2003) και στα ψηφίσματα του Συμβουλίου υπογραμμίζεται η σημασία του πολυλειτουργικού ρόλου που έχουν τα δάση στην ΕΕ και η ενίσχυση της βιολογικής ποικιλομορφίας στις συνθήκες διαβίωσης των φυτών και των ζώων. Επανεξετάζονται τα μέτρα για την προστασία των δασών από τις πυρκαγιές και την ατμοσφαιρική ρύπανση με κανονισμούς του Συμβουλίου (EEC)No2158/92 και (EEC)No3528/86 αντίστοιχα. Καθορίζεται η βελτίωση και ανάπτυξη του Ευρωπαϊκού συστήματος δασικών πληροφοριών και επικοινωνίας (Efics) με τον κανονισμό (EEC)No1615/89 καθώς και η συνεργασία με διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς για τη συμβολή και τη δημιουργία των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura 2000. Η αναλυτική περιγραφή των μέτρων και πρωτοβουλιών που υλοποιήθηκαν όσον αφορά τη δασική στρατηγική της ΕΕ κατά την περίοδο 1999 μέχρι το 2004 αναφέρονται στην ανακοίνωση της Δασικής Στρατηγικής της ΕΕ (Commission of the European Communities, 2005). Το 2006 υιοθετείται το Σχέδιο Δράσης της ΕΕ για τα Δάση και αφορά την περίοδο 2007 – 2011 και το οποίο βασίζεται στις αρχές και συστάσεις που είχαν καθοριστεί στη Δασική Στρατηγική της ΕΕ για τα δάση και το δασικό τομέα COM/2013/0659 καθορίζοντας τη νέα στρατηγική και προτείνοντας ένα νέο ευρωπαϊκό πλαίσιο αναφοράς στην ανάπτυξη ταμειακών πολιτικών που έχουν αντίκτυπο στα δάση. Το πολυετές σχέδιο που εγκρίθηκε το 2015 EE[SWD/2013/0343] για τα μέτρα που έπρεπε να ληφθούν για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αντιμετώπιζε ο ευρωπαϊκός τομέας ξυλείας είχε ορίζοντα ολοκλήρωσης το 2020. Επιπλέον το νέο πλαίσιο της ΕΕ για θέματα κλίματος και ενέργειας για το 2030 προβλέπει την αύξηση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και την αύξηση των κονδυλίων για δασική έρευνα.

2.6 Κλιματική αλλαγή και δασικά οικοσυστήματα

Η έναρξη του διαλόγου για την προσέγγιση που είχε να επιλέξει η ΕΕ σε σχέση με την προστασία των δασών ήταν και η αιτία για την έκδοση της Πράσινης Βίβλου τον Μάρτιο του 2010 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010). Βασίζεται στις αρχές των δράσεων 6, 8 και 9 του σχεδίου δράσης για τα δάση καθώς και τη Λευκή Βίβλο (Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2009). Στην Πράσινη Βίβλο παρουσιάζονται τα υπάρχοντα διαθέσιμα συστήματα πληροφοριών για τα δάση, τα διαθέσιμα μέσα προστασίας των δασών και οι κύριες προκλήσεις που τα δάση καλούνται να αντιμετωπίσουν ενόψει της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός (Pachauri, 2014). Η ανθρωπότητα καλείται να αντιμετωπίσει τις μακροπρόθεσμες αλλά και βραχυπρόθεσμες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Η μη αναστρέψιμη πορεία που έχει ξεκινήσει επηρεάζει αρνητικά την ανθρωπότητα με κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Αιτία αποτέλεσε η βιομηχανική επανάσταση του 19^{ου} αιώνα η οποία αποτέλεσε μια από τις σημαντικότερες αιτίες να ρυπανθεί η γη σε πρωτοφανή επίπεδα. Οι ανάγκες των ανθρώπων για ενέργεια η οποία χρησιμεύει για φωτισμό, για θέρμανση και ψύξη των χώρων διαμονής, για ψήσιμο φαγητού, για μεταφορές, επικοινωνίες, λειτουργία εργοστασίων κτλ. έχει συνδεθεί άμεσα με το ευδόκιμο ζώης των ανθρώπων. Η στροφή σε ασφαλέστερες μεθόδους παραγωγής ενέργειας σε σχέση με τις παραδοσιακές όπως είναι η καύση άνθρακα, θα μειώσουν τις πηγές ρύπανσης του πλανήτη (Hodgson, 2010). Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι πλέον αναπόφευκτο γεγονός και θα συνεχιστεί συνεπεία των προηγούμενων αλλά και των μελλοντικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Pryor, 2014). Οι συνεχιζόμενες εκπομπές αερίων προκαλούν περαιτέρω υπερθέρμανση η οποία θα προκαλέσει μεγαλύτερες αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες κατά τον 21^ο αιώνα σε σχέση με τον 20^ο αιώνα (Physical and Basis, 2007).

2.7 Διεθνής και Κυπριακή Πραγματικότητα Αποτίμησης ΟΥ

Έχουν προταθεί αρκετές πρακτικές για το πώς μπορεί η διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων να χρησιμοποιηθεί με σκοπό το μετριασμό των επιπτώσεων από την αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂. Οι διάφορες πρακτικές αποσκοπούν στην

εκτίμηση της αύξησης συγκέντρωσης CO₂ ανά μονάδα επιφάνειας (Johnson and Curtis, 2001). Σε ένα δάσος, η αύξηση της συγκέντρωσης του άνθρακα προέρχεται είτε μέσω της αύξησης στην απορρόφηση (εισροή) είτε στη μείωση των εκπομπών (εκροών). Η αύξηση στην εισροή άνθρακα επιτυγχάνετε με κατάλληλα δασοκομικά μέτρα, με άρδευση και λίπανση των εδαφών κ.α. Η μείωση των εκροών επιτυγχάνετε με τη μείωση στις απώλειες από τη βιομάζα, τη νεκρή οργανική ύλη, το έδαφος κ.α. Σημαντικός παράγοντας στην επίδραση των αλλαγών στις ποσότητες άνθρακα είναι οι διαφορετικοί τύποι χρήσης γης οι οποίοι ανάλογα με τον τύπο χρήση γης τα αποθέματα και η δέσμευση άνθρακα μεταβάλλονται (Guo and Gifford, 2002).

Τον Απρίλιο του 2019 συντάχθηκε η έκθεση επισκόπησης της εφαρμογής της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ για την Κύπρο. Μεταξύ των άλλων στην έκθεση γίνεται αναφορά στη στρατηγική της ΕΕ για τη βιοποικιλότητα η οποία καλούσε τα κράτη μέλη στη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους στην επικράτεια του κάθε κράτους μέχρι το 2014 και μέχρι το 2020 την εκτίμηση της οικονομικής αξίας των υπηρεσιών και την ενσωμάτωση στα συστήματα της λογιστικής. Η Κύπρος έχει ετοιμάσει μελέτη το 2017 η οποία περιλάμβανε τη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων, την θέσπιση δεικτών παρακολούθησης και αξιολόγησης των ΟΥ σύμφωνα με στοιχεία στην ιστοσελίδα MAES της πλατφόρμας BISE (Biodiversity Information System for Europe) (European Environment Agency, 2022). Το 2018 η Κύπρος παρείχε επικαιροποιημένα στοιχεία που αφορούσαν την υλοποίηση της MAES ωστόσο η πρόοδος που είχε σημειωθεί από το 2016 ήταν περιορισμένη (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αξιολογήσεις ΟΥ υλοποιούνται παγκοσμίως και σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Η κατάσταση όμως είναι διαφορετική στις περιπτώσεις των νησιών όπου η αξιολόγηση των ΟΥ βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο. Το ίδιο συμβαίνει και στην Κύπρο όπου παρατηρείται έλλειψη δεδομένων για αρκετές κυρίως ρυθμιστικές υπηρεσίες. Η Κύπρος βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ποσοτικοποίησης των υπηρεσιών που προσφέρουν τα οικοσυστήματα της. Οι εργασίες και οι δημοσιεύσεις που είναι διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις ΟΥ που παρέχονται από τα οικοσυστήματα της Κύπρου είναι πολύ λίγες. Μια πρώτη προσπάθεια χαρτογράφησης ενός συνόλου δεικτών οι οποίοι αναπτύχθηκαν για τη χαρτογράφηση και αξιολόγηση στα οικοσυστήματα και τις υπηρεσίες τους όπως απαιτείτο από τη Στρατηγική της ΕΕ για τη Βιοποικιλότητα

υλοποιήθηκε το 2019 (Vogiatzakis *et al.*, 2020). Μια πρώτη μελέτη στην Κύπρο, σε περιοχή υπό το καθεστώς προστατευόμενων περιοχών και συγκεκριμένα στο Δασικό Πάρκο Ριζοελιάς υλοποιήθηκε το 2017 με στόχο την ποσοτικοποίηση των ΟΥ με σημαντικά αποτελέσματα για το σχεδιασμό των μελλοντικών ενεργειών αποκατάστασης και διαχείρισης (Manolaki and Vogiatzakis, 2017). Άλλες συστηματικές προσπάθειες για χαρτογράφηση και αξιολόγηση των ΟΥ είναι η χαρτογράφηση και αξιολόγηση ΟΥ στο Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους (Kounnamas and Andreou, 2022).

Φυσικά απαιτείται ακόμη μια πιο συντονισμένη προσπάθεια για τη χαρτογράφηση πολλών δεικτών ρυθμιστικών υπηρεσιών στο νησί. Στις 3 Ιουνίου το 2020 εγκρίθηκε η Στρατηγική και το Σχέδιο Δράσης για τη Βιοποικιλότητα στη Κύπρο. Το σχέδιο περιλαμβάνει δεκατρείς στόχους για τη δεκαετία 2020-2030. Ένας από του δεκατρείς στρατηγικούς στόχους για τη Βιοποικιλότητα αποτελεί η «Αποτίμηση, προβολή και διατήρηση οικοσυστημικών υπηρεσιών». Για την υλοποίηση του στόχου έχει συσταθεί συντονιστική ομάδα κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου MAES που είχε διεξαχθεί το 2018 (Τμήμα Περιβάλλοντος, 2019).

Το έργο Πανδώρα τα οποίο αποτελείται από αλληλένδετες δράσεις οι οποίες έχουν ως στόχο να καταστεί το δίκτυο Natura 2000 πιο αποτελεσματικό και βιώσιμο. Οι δράσεις θα εφαρμοστούν σε εθνικό επίπεδο και αφορούν συγκεκριμένα είδη και οικοτόπους σε 35 περιοχές του δικτύου Natura 2000. Οι προπαρασκευαστικές δράσεις και συγκεκριμένα η δράση Α.6: Ανάπτυξη Μεθοδολογικού Πλαισίου για την Εθνική Αξιολόγηση Οικοσυστήματος με στόχο τη δημιουργία του εννοιολογικού πλαισίου για την Εθνική Αξιολόγηση Οικοσυστήματος, στο οποίο η μεθοδολογία θα αναπτυχθεί με βάση τις υπάρχουσες μεθόδους. Ο τελικός στόχος της δράσης είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ειδικά προσαρμοσμένης στις τοπικές συνθήκες (π.χ. τύποι οικοσυστημάτων, οδηγοί, επιπτώσεις, κ.λπ.) και η θέσπιση της Εθνικής Μεθόδου Εκτίμησης Οικοσυστήματος. Οι δράσεις διατήρησης και συγκεκριμένα η δράση C.5: Αξιολόγηση Οικοσυστημικών Υπηρεσιών σε επιλεγμένες περιοχές του δικτύου Natura 2000 στόχος της οποίας είναι να παρέχει μια πλήρη αξιολόγηση μέσω χαρτογράφησης και οικονομικής αποτίμησης των οικοσυστημικών υπηρεσιών στις περιοχές του δικτύου Natura 2000 της Κύπρου υπό διαφορετικά σενάρια πολιτικής. Η υλοποίηση αυτής της δράσης περιλαμβάνει:

- Προσδιορισμός συνόλων δεδομένων για χαρτογράφηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών που υπάρχουν στις περιοχές μελέτης.
- Συνεργασία με ειδικούς για τον εντοπισμό των καλύτερων δεικτών για τη χαρτογράφηση αυτών των υπηρεσιών.
- Διαβούλευση με τις αρμόδιες αρχές.
- Ανασκόπηση των υφιστάμενων εργαλείων Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων Οικοσυστημικών Υπηρεσιών.
- Συνεργασία με φορείς χάραξης πολιτικής για τη διερεύνηση σεναρίων για την παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών σε περιοχές του δικτύου Natura 2000

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία και ανάλυση στα δεδομένα που έχουν ανακτηθεί για υλοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

3.1 Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα από διαφορετικού τύπου δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν μετά τη χαρτογράφηση της δέσμευσης και μετατροπής του ατμοσφαιρικού άνθρακα σε βιομάζα στους τρεις τύπους οικοσυστημάτων που έχουν επιλεγεί για την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Η διαφορετική προσέγγιση των δύο μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν θα παρέχει στους ερευνητές την ευκαιρία να διερευνήσουν εις βάθος την ανάγκη για αξιολόγηση των κατάλληλων μεθόδων αποτίμησης της τόσο σημαντικής ΟΥ που λαμβάνουν οι άνθρωποι από τα δάση.

3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Όλες οι λειτουργίες που εκτελούνται στα οικοσυστήματα ακολουθούν ένα κύκλο ζωής και ότι παράγεται σε αυτό αποικοδομείται. Δεν είναι όμως όλα τα οικοσυστήματα τα ίδια καθώς κάθε οικοσύστημα διαθέτει μια μεταβαλλόμενη δυναμική.

1. Ποια είναι η διαφορά στο δυναμικό δέσμευσης άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων της Κύπρου;
2. Οι διαφορετικοί τύποι δασικών οικοσυστημάτων έχουν διαφορετικό δυναμικό δέσμευσης άνθρακα;
3. Με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης άνθρακα σε δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου προκύπτουν τα ίδια αποτελέσματα;

3.3 Σχεδιασμός μελέτης

Ο σχεδιασμός της μελέτης για την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έγινε με σκοπό την εκτίμηση και τη σύγκριση του αποθηκευμένου άνθρακα σε διαφορετικού τύπου δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου. Σε αρχικό στάδιο έγινε η επιλογή των τριών δασικών οικοσυστημάτων τα οποία αφορούν τους φυσικούς οικοτόπους των ειδών *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* και *Quercus alnifolia*. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε η ανάκτηση της έκτασης για κάθε περιοχή μελέτης από τους χάρτες βλάστησης του Τμήματος Δασών με δεδομένο την εφαρμογή δύο μεθόδων για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα σε κάθε περιοχή. Εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα οι οποίες διαφέρουν στη λήψη και εφαρμογή των διάφορων παραμέτρων για την υλοποίηση τους. Η μια μέθοδος αφορά την εργαλειοθήκη Tessa για την υλοποίηση της οποίας έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα παγκόσμιας κλίμακας (global scale-based data) και η άλλη μέθοδος έχει ολοκληρωθεί με τη χρήση μικρής κλίμακας τοπικών δεδομένων.

Κατά το σχεδιασμό για την υλοποίηση της μίας από τις δύο μεθόδους λήφθηκαν υπόψη όλοι οι περιοριστικοί παράγοντες και υλοποιήθηκε η χαρτογράφηση του δυναμικού των ΟΥ με τη χρήση του εργαλείου Tessa. Έχει γίνει εφαρμογή δεδομένων τα οποία αφορούν παραμέτρους του περιβάλλοντος της Κύπρου για τις περιοχές μελέτης. Το Tessa είναι ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των ΟΥ μιας τοποθεσίας χωρίς να είναι αναγκαία η εφαρμογή δεδομένων πεδίου. Προσφέρει την κατάλληλη καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο αξιολόγησης των επιλεγμένων ΟΥ με μια επιστημονικά ορθή πρακτική προσέγγιση (Peh *et al.*, 2013).

Κατά το σχεδιασμό για την υλοποίηση της δεύτερης από τις δύο μεθόδους υλοποιήθηκε η χαρτογράφηση του δυναμικού των ΟΥ με την εφαρμογή δεδομένων πεδίου τοπικής κλίμακας. Η συλλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από το Τμήμα Δασών, το Τμήμα Περιβάλλοντος, το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης καθώς και από το Τμήμα Μετεωρολογίας της Κυπριακής Δημοκρατίας καθώς και από βιβλιογραφικές αναφορές και μελέτες που αφορούν τις περιοχές μελέτης.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των δύο μεθόδων χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση της εκτίμησης δέσμευσης άνθρακα στις διαφορετικές δεξαμενές άνθρακα σε κάθε περιοχή σε σχέση με την κλίμακα συλλογής των αρχικών δεδομένων.

3.3.1 Επιλογή της έκτασης των περιοχών μελέτης

Για την υλοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής έχουν επιλεγεί τρεις βασικοί τύποι δασικών οικοσυστημάτων της Κύπρου. Στις περιοχές των τριών οικοτόπων των ειδών *Cedrus brevifolia*, *Quercus alnifolia* και *Pinus nigra* που έχουν επιλεγεί στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή περιλαμβάνονται και άλλα είδη της χλωρίδας τα οποία συνυπάρχουν στις φυσικές περιοχές εξάπλωσής τους. Σύμφωνα με το Παράρτημα Ι της Οδηγίας των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ) είχε υλοποιηθεί στην Κύπρο το 2011 η χαρτογράφηση της ξυλώδους βλάστησης με καταγραφή της βλάστησης σύμφωνα με την αναλογία εδαφοκάλυψης για το κάθε είδος. Ο χαρακτηρισμός μιας περιοχής ως δασική έκταση του είδους ενδιαφέροντος προέκυψε έπειτα από ανάλυση που έχει γίνει στο χάρτη ξυλώδους βλάστησης της Κύπρου. Κατά την υλοποίηση του χάρτη από την αρμόδια υπηρεσία όταν ένα είδος κάλυπτε έκταση ίση ή μεγαλύτερη από το 75% της συνολικής έκτασης ύπαρξής του, η περιοχή οριζόταν ως αμιγή συστάδα του είδους. Όπου υπήρχαν ανάμεικτες συστάδες διαφόρων ειδών καταγράφονταν ως ανάμεικτες συστάδες με καταγραφή του ποσοστού που καλύπτει το κάθε είδος.

Με βάση το ποσοστό δενδροκάλυψης της κάθε περιοχής έχει γίνει και η επιλογή της έκτασης για την κάθε περιοχή μελέτης η οποία έχει καθοριστεί να περιλαμβάνει

αμιγείς συστάδες των τριών ειδών που έχουν επιλεγεί στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Επομένως οι εκτάσεις των περιοχών μελέτης αποτελούνται από αμιγείς συστάδες με δενδροκάλυψη $\geq 75\%$ των τριών ειδών *Cedrus brevifolia*, *Quercus alnifolia* και *Pinus nigra*. Εκτάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν ανάμικτα άλλα είδη της χλωρίδας, με δενδροκάλυψη των τριών ειδών της μελέτης μικρότερη του 75% δεν λήφθηκαν υπόψη στη μελέτη. Η γεωγραφική θέση και η έκταση των τριών τύπων οικοτόπων σε σχέση με την έκταση του κρατικού δάσους της Κύπρου αποτυπώνεται στο *Χάρτη 3*.

3.3.2 Γενική περιγραφή των τριών περιοχών μελέτης

Οι τρεις τύποι οικοτόπων εκτείνονται σε διάφορες χερσαίες δασικές περιοχές της Κύπρου και σε υψόμετρο από 400 έως 1952 μέτρα. Ο οικοτόπος του είδους *Cedrus brevifolia* βρίσκεται στο δάσος Πάφου ενώ ο οικοτόπος του είδους *Pinus nigra* στο δάσος Τροόδους. Ο οικοτόπος του είδους *Quercus alnifolia* εκτείνεται σε μεγαλύτερες εκτάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν περιοχές στα δάση Πάφου Τροόδους και Μαχαιρά. Οι εκτάσεις εξάπλωσης των περιοχών μελέτης αποτυπώνονται στο *Χάρτη 1*.

Οι περιοχές αποτελούν φυσικούς οικοτόπους κοινοτικού ενδιαφέροντος και λόγω του κινδύνου που διατρέχουν να εξαφανισθούν έχουν περιληφθεί στο δίκτυο περιοχών Προστασίας της βιοποικιλότητας της Ευρώπης Natura 2000 Special Protection Area (SPA) και Natura 2000 Site of Community Importance (SCI) κάτω από την οδηγία 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας, ημερομηνίας 21 Μαΐου 1992 (Κοινοτήτων, 1992).

Οι τρεις οικοτόποι έχουν χαρακτηριστεί ως οικοτόποι προτεραιότητας. Μέρος των τριών περιοχών ανήκει στην κατηγορία των Ζωνών Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) (*Χάρτης 2*). Ο χαρακτηρισμός αυτός δίνεται σε οικοτόπους που απειλούνται με εξαφάνιση και τα όρια της εξάπλωσης τους, εμπίπτουν κυρίως στην επικράτεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα είδη *Cedrus brevifolia* και *Quercus alnifolia* ανήκουν στην κατηγορία των ενδημικών φυτών της Κύπρου και η έκταση των περιοχών προστασίας όπως καθορίζονται στο δίκτυο Natura 2000 βρίσκονται μόνο στην Κύπρο

ενώ το είδος *Pinus nigra* απαντάτε και σε άλλες περιοχές της Ευρώπης με αποτέλεσμα η έκταση των περιοχών προστασίας να περιλαμβάνει και άλλες περιοχές εκτός της Κύπρου (Πίνακας 3). Οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν όπως και σε όλα τα μεσογειακά οικοσυστήματα προέρχονται από τις πυρκαγιές ειδικά την καλοκαιρινή περίοδο, την κλιματική αλλαγή, τις δραστηριότητες του κοινού για αναψυχή καθώς και σε παρατεταμένες ξηρασίες. Η αλληλεπίδραση όλων των παραγόντων γίνεται πιο έντονη ειδικά σε ενδημικά, απειλούμενα προς εξαφάνιση τα οποία βρίσκονται σε νησιώτικες περιοχές (Michaelides, Engrīpidou and Kallos, 1998).

Πίνακας 3: Περιοχές εξάπλωσης των τριών τύπων οικοτόπων στην Κύπρο οι οποίες περιλαμβάνονται στις περιοχές Natura 2000

Πηγή: (Natura 2000 Network Viewer, 2022)

Τύπος Οικοτόπου	Συνολική Έκταση (ha)	Περιοχές (Natura 2000) στην Κύπρο και κωδικός οικοτόπου
<i>Cedrus brevifolia</i> (9590)	602,26	– Δάσος Πάφου (CY2000006 και CY2000016)
<i>Pinus nigra</i> (9530)	3221,2*	– Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους (CY5000004) – Μαδαρή-Παπούτσα (CY2000005)
<i>Quercus alnifolia</i> (9390)	2649,94	– Δάσος Μαχαιρά (CY0000004) – Μαδαρή-Παπούτσα (CY2000005) – Δάσος Πάφου (CY2000006 και CY2000016) – Φουντουκοδάση Πιτσιλιάς (CY2000009) – Δάσος Λεμεσού (CY5000001) – Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους (CY5000004)

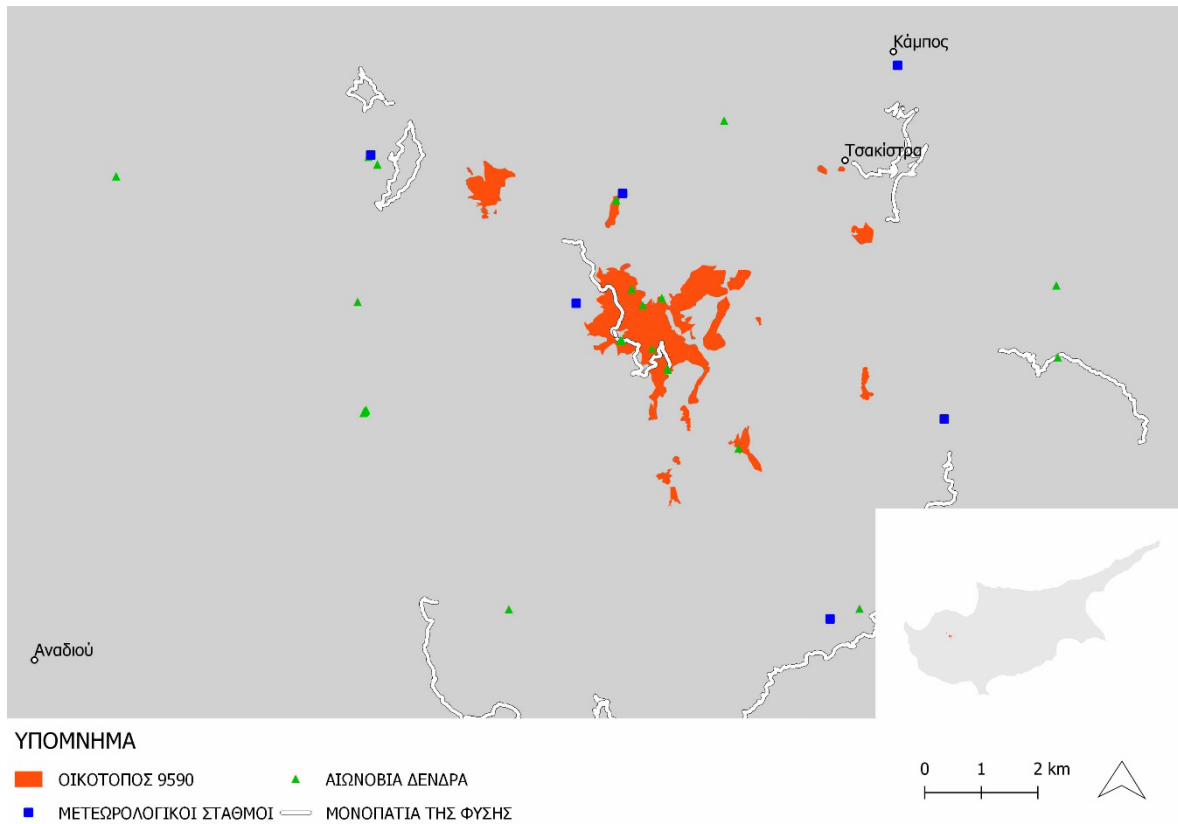
* Η έκταση περιλαμβάνει οικοτόπους στην Αυστρία, Βουλγαρία, Κροατία, Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία, Ρουμανία, Σλοβενία και Ισπανία

3.3.3 *Cedrus brevifolia* (Κέδρος) τύπος οικοτόπου 9590

3.3.3.1 Αβιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Cedrus brevifolia*

Η περιοχή εξάπλωσης του είδους *Cedrus brevifolia* βρίσκεται στην ομώνυμη Κοιλάδα των Κέδρων στο Δάσος Πάφου μεταξύ των χωριών Πάνω Παναγιάς προς τα νότια, Πύργο και Πωμό προς τα βόρεια, Λυσός προς τα Δυτικά και Κάμπο και Τσακκίστρα προς τα ανατολικά. Στην περιοχή έχει κατασκευαστεί ένα μονοπάτι μελέτης της φύσης το οποίο διέρχεται διαμέσου της περιοχής μελέτης (Εικόνα 2). Διαμέσου της κοιλάδας των κέδρων διαπερνά ένας μόνο ασφάλτινος δρόμος. Το υπόλοιπο οδικό δίκτυο αποτελείται από χωμάτινους δρόμους οι οποίοι κατασκευάστηκαν για

πυροπροστασία και την καλοκαιρινή περίοδο διατηρούνται κλειστοί προς το κοινό για λόγους προστασίας της περιοχής από τις πυρκαγιές.

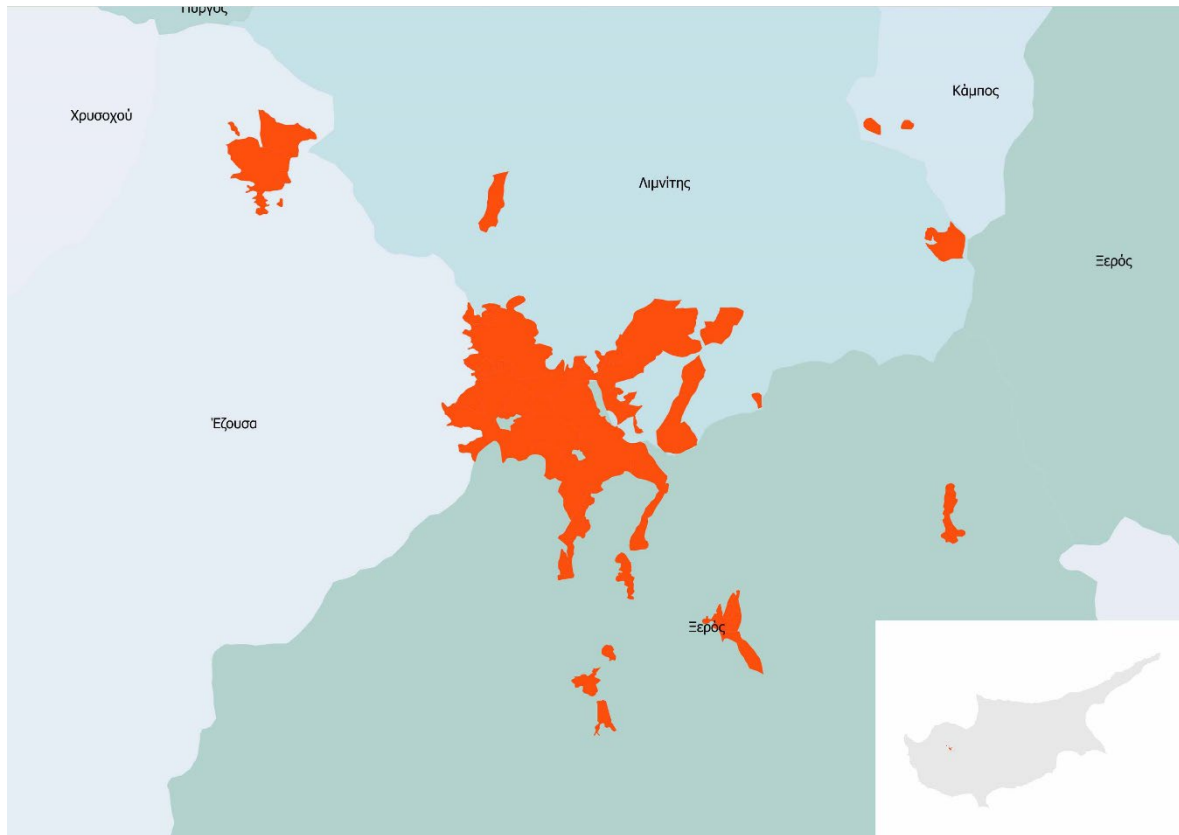


Εικόνα 2: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Cedrus brevifolia*, οικότοπος 9590

Γεωμορφολογία της περιοχής

Με μέγιστο υψόμετρο τα 1352 μέτρα στην κορυφή του Τριπύλου η περιοχή μελέτης εξαπλώνεται σε έκταση 393,83 ha. Το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται από κορυφογραμμές με απόκρημνες και βαθιές ρεματιές, με άγονες σάρρες και μεγάλους συμπαγή βράχους. Ολόκληρη η περιοχή αποτελείται από διαβασικά πετρώματα *Sheeted Dykes* του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους (Camera, Zomeni, Jay S Noller, *et al.*, 2017; Zissimos *et al.*, 2019) (Χάρτης 5). Η κατηγορία του τύπου εδάφους που κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης είναι το eutric-lithic-LEPTOSOLS,(LP.li.eu), eutric-leptic-REGOSOLS,(RG.le.eu) το οποίο συνοδεύεται με τον τύπο εδάφους chromic-leptic-CAMBISOLS,(CM.le.cr) (Χάρτης 6). Τα νερά των βροχοπτώσεων απορρέουν σε τέσσερις λεκάνες απορροής οι οποίες είναι οι κοιλάδες του Ξερού, του

Κάμπου και του Λιμνίτη στη βόρεια πλευρά του νησιού και η κοιλάδα της Έζουσας η οποία εκτείνεται προς τη νότια πλευρά (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους *Cedrus brevifolia*

Κλιματικές συνθήκες της περιοχής

Η περιοχή μελέτης εμπίπτει στην κλιματική ζώνη Warm Temperate Dry (IPCC, 2022) των μεσογειακών τοπίων χαρακτηριστικό των οποίων είναι η φιλοξενία ενδημικών ειδών (Convention and Diversity, 2020) (Χάρτης 4). Εντός της περιοχής μελέτης στις περιοχές του Τριπύλου και Δώδεκα Ανέμων υπάρχουν εγκατεστημένοι δύο μετεωρολογικοί σταθμοί (Εικόνα 2). Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι περίπου 1060 χιλιοστά και η μέση μηνιαία βροχόπτωση η οποία προκύπτει το μήνα Νοέμβριο είναι 264 χιλιοστά. Η μέση μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι 33,6° C τον Αύγουστο και 3,9° C το Δεκέμβριο αντίστοιχα (Τμήμα Μετεωρολογίας, 2022).

3.3.3.2 Βιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Cedrus brevifolia*

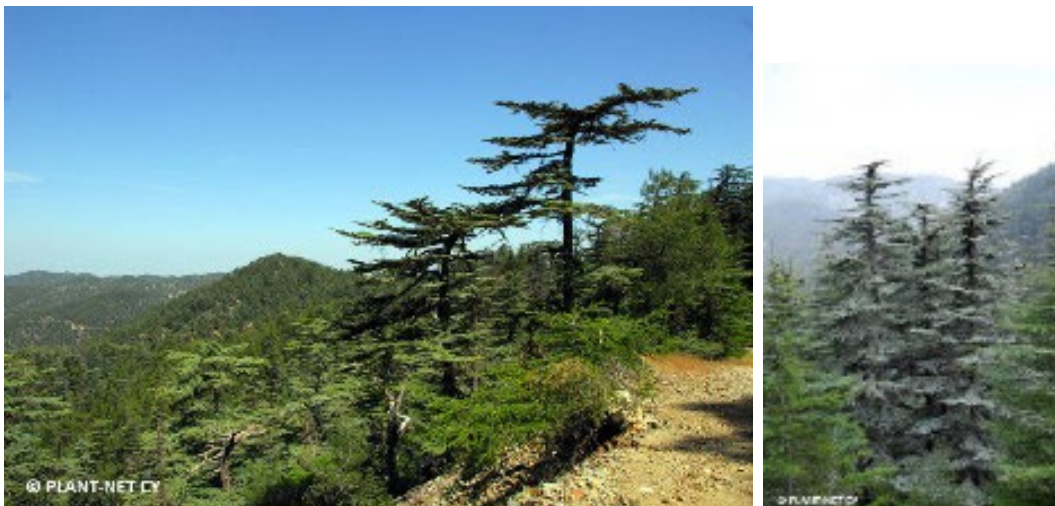
Το κέδρο του είδους *Cedrus brevifolia* (Εικόνα 3.3) ανήκει στην κατηγορία των κωνοφόρων, ενδημικών φυτών της Κύπρου και συναντάται σε φυσικές συστάδες στην περιοχή με την ονομασία Κοιλάδα των Κέδρων στο δάσους Πάφου. Οι πέντε κυριότερες φυσικές συστάδες του είδους βρίσκονται στις περιοχές Τρίπυλος, Μαύροι Γκρεμνοί, Σελλάδι της Ελιάς, Θρονί και Έξω Μύλος. Η πλειονότητα των δέντρων αποτελείται από περίπου 16.000 ώριμα δέντρα και καλύπτει συνολική έκταση 1.99km² στην περιοχή Τρίπυλος. Στις πλείστες συστάδες το είδος *Cedrus brevifolia* εμφανίζεται σε καθαρούς σχηματισμούς ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις σε αμιγείς συστάδες με υπόστρωμα το είδος *Quercus alnifolia* και με αραιή εμφάνιση το είδος *Pinus brutia* (Miliou *et al.*, 2021). Όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αποκλειστεί από την περιοχή καθώς η κοιλάδα κηρύχθηκε ως προστατευόμενη περιοχή και ως φυσικό απόθεμα με μεγάλη οικολογική, αισθητική και επιστημονική αξία. Το κυπριακό κέδρο έχει συμπεριληφθεί στο Κόκκινο βιβλίο της Κύπρου για τα σπάνια και απειλούμενα είδη με το χαρακτηρισμό ως «Εύτρωτο» (Tsintides, T.Christodoulou, C. S.Delipetrou, P.Georghiou, 2007). Η περιορισμένη κατανομή του είδους το καθιστά εξαιρετικά ευάλωτο σε γεγονότα όπως πυρκαγιές, ξηρασία και έχουν τεθεί μέτρα για την προστασία του. Η παρατεταμένη ξηρασία και η μείωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία χρόνια προκάλεσε συμπτώματα θνησιμότητας σε δέντρα.

Χλωρίδα της περιοχής

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία ειδών της χλωρίδας με κύριο δασοσκεπή, το είδος *Pinus brutia* και θαμνοσκεπή είδη όπως τα *Arbutus adrachne* και *Quercus alnifolia*. Στον όροφο κάτω από ένα μέτρο επικρατεί το είδος *Cistus creticus*. Εντός της περιοχής μελέτης υπάρχουν οκτώ δένδρα του είδους *Cedrus brevifolia* τα οποία έχουν κηρυχθεί ως αιωνόβια δένδρα (Εικόνα 4). Στην περιοχή απαντώνται επίσης και άλλα ενδημικά είδη της Κύπρου ορισμένα από τα οποία είναι τα είδη *Arabis kennedyae*, *Scutellaria cypria var. Cypria*, *Ornithogalum chionophilum* κ.α.

Πανίδα της περιοχής

Το ενδημικό αγρινό της Κύπρου *Ovis gmelini ophion*, το οποίο είναι και το μεγαλύτερο θηλαστικό που συναντάται στο νησί, έχει ως κύριο βióτοπο του την περιοχή του Τριπύλου. Η ανάγκη για προστασία του αγρινού ώθησε την Κυπριακή Δημοκρατία στην κήρυξη ολόκληρου του δάσους Πάφου ως απαγορευμένη περιοχή κυνηγίου, απαγορεύοντας παράλληλα και τη βόσκηση στην περιοχή. Εκτός από το μεγάλο θηλαστικό στην περιοχή έχουν καταγραφεί και είδη νυχτερίδων, πτηνών και ερπετών.



Εικόνα 4: Κέδρα του είδους *Cedrus brevifolia*

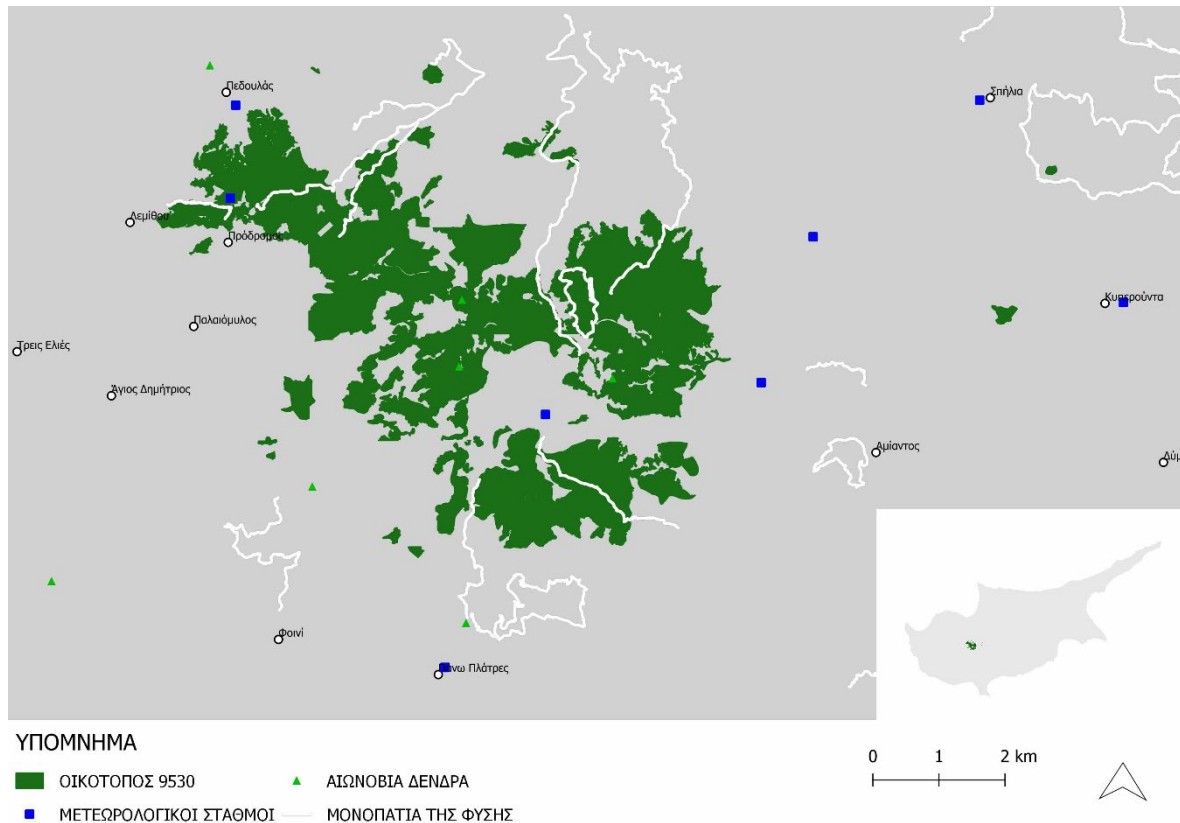
Πηγή: <http://www.plantnet.org.cy/>

3.3.4 *Pinus nigra* (Μαύρη Πεύκη) τύπος οικοτόπου 9530

3.3.4.1 Αβιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Pinus nigra*

Η περιοχή εξάπλωσης του είδους *Pinus nigra* στην Κύπρο βρίσκεται στα ψηλότερα υψόμετρα του δάσους Τροόδους μεταξύ των χωριών Πλάτρεις προς τα νότια, Κακοπετριάς προς τα βόρεια, Λεμύθου και Προδρόμου προς τα Δυτικά και Αμιάντου προς τα ανατολικά. Η κοινότητα Τροόδους εντός της περιοχής εξάπλωσης του είδους αποτελεί τουριστικό προορισμό αφού στην κοινότητα δεν διαμένουν μόνιμοι κάτοικοι. Στην περιοχή λειτουργούν κατά τη χειμερινή περίοδο τέσσερις πίστες για

σκι και έχει κατασκευαστεί ένα δίκτυο με έξη μονοπάτια αναψυχής των Καλυδονιών, το Περσεφόνη, το μονοπάτι Μνήματα των Πισκόπων, το μονοπάτι Καννούρες, φράγμα Προδρόμου και ο Κάμπος του Λιβαδιού (Εικόνα 5). Οι πιέσεις που δέχεται η περιοχή προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες ειδικά τη χειμερινή περίοδο όπου αμέτρητοι επισκέπτες μεταβαίνουν στην περιοχή για να απολαύσουν το τοπίο και τα χιόνια, προκαλώντας καταστροφές στο έδαφος με τα οχήματα τα οποία κινούνται σε εκτός δρόμου συνθήκες.

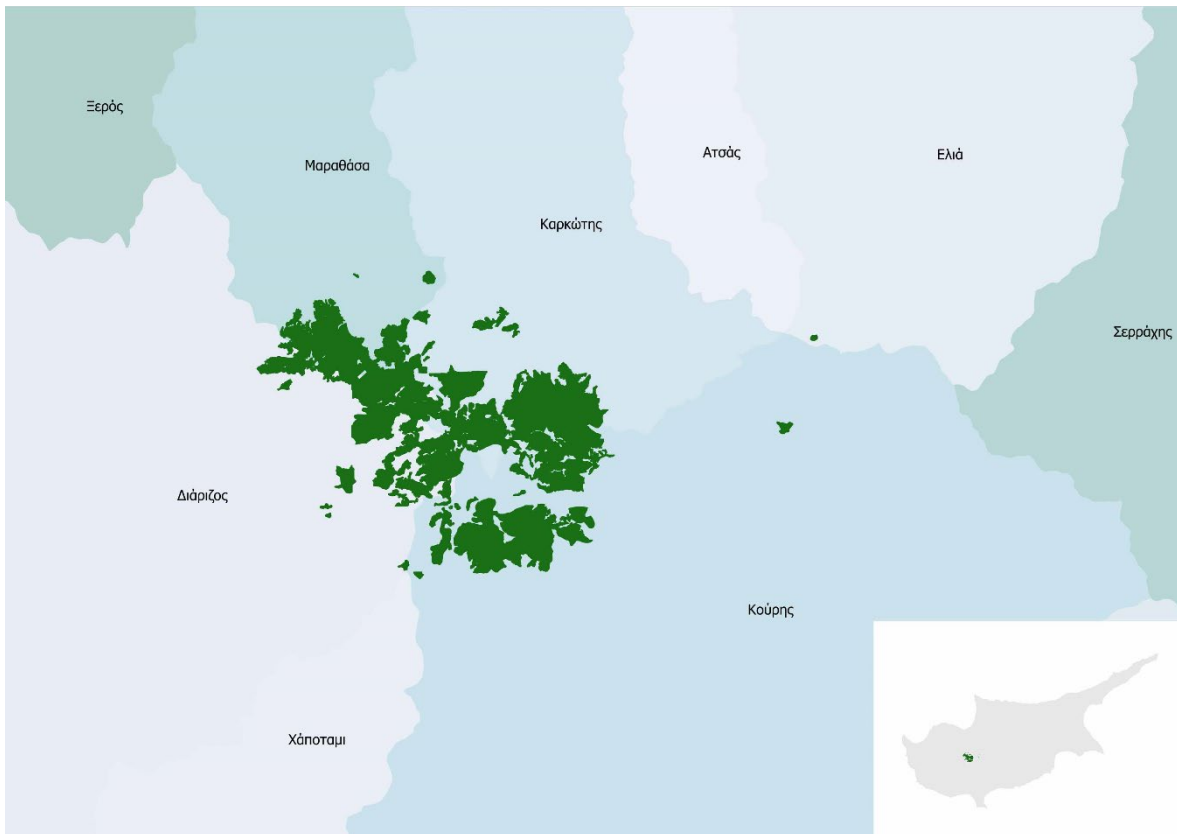


Εικόνα 5: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Pinus nigra*, οικότοπος 9530

Γεωμορφολογία της περιοχής

Με μέγιστο υψόμετρο τα 1952 μέτρα στην κορυφή του Ολύμπου η περιοχή μελέτης εξαπλώνεται σε έκταση 1912,31 ha. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του ορεινού όγκου του Τροόδους έχουν εξαιρετική σημασία αφού αποτελούν ένα από τους καλύτερα διατηρημένους οφιόλιθους στον κόσμο. Η περιοχή εξάπλωσης αποτελείται από πετρώματα *Hazburgite*, *Serpentinite*, *Dunite*, *Gabbro*, *Pyroxenite* και *Wehrlite* του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους (Camera, Zomeni, Jay S Noller, et al., 2017;

Zissimos *et al.*, 2019) (Χάρτης 5). Η κατηγορία του τύπου εδάφους που κυριαρχεί στην περιοχή είναι το eutric-lithic-LEPTOSOLS,(LP.li.eu), eutric-leptic-REGOSOLS,(RG.le.eu) το οποίο συνοδεύεται με τον τύπο εδάφους chromic-leptic-CAMBISOLS,(CM.le.cr), ενώ ένα μέρος της περιοχής στα βορειοδυτικά κυριαρχεί ο τύπος eutric-CAMBISOLS,(CM.eu), eutric-anthropic-REGOSOLS,(RG.ah.eu) (Χάρτης 6). Τα νερά των βροχοπτώσεων απορρέουν σε τέσσερις λεκάνες απορροής οι οποίες είναι οι κοιλάδες της Μαραθάσας και του Καρκώτη στα βόρεια και του Διαρίζου και του Κούρης στα νότια (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους *Pinus nigra*

Κλιματικές συνθήκες της περιοχής

Η περιοχή μελέτης εμπίπτει στην κλιματική ζώνη Warm Temperate Moist (IPCC, 2022) των μεσογειακών τοπίων χαρακτηριστικό της οποίας είναι η φιλοξενία ενδημικών ειδών (Convention and Diversity, 2020) (Χάρτης 4). Το ανάγλυφο και η τοπογραφία της περιοχής διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στις κλιματικές συνθήκες της Κύπρου ειδικότερα των βροχοπτώσεων και των υδάτινων πόρων.

Εντός της περιοχής μελέτης στις περιοχές του Τροόδους και Προδρόμου υπάρχουν εγκατεστημένοι δύο μετεωρολογικοί σταθμοί (Εικόνα 5). Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι περίπου 110 χιλιοστά και η μέση μηνιαία βροχόπτωση η οποία προκύπτει το μήνα Νοέμβριο είναι 280 χιλιοστά. Η μέση μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι 22° C τον Αύγουστο και 0° C τον Δεκέμβριο αντίστοιχα (Τμήμα Μετεωρολογίας, 2022).

3.3.4.2 Βιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Pinus nigra*

Το κωνοφόρο είδος *Pinus nigra* που είναι γνωστό και ως Μαύρη πεύκη (Εικόνα 7) εξαπλώνεται σε όλη την Ευρώπη και τη Μικρά Ασία σε ορεινές περιοχές στη νότια Μεσόγειο από την Ισπανία έως και την ανατολική Μεσόγειο, στην Τουρκία και στα ψηλά βουνά του Μάγκρεμπ (Herrero, Rigling and Zamora, 2013). Έχει επίσης εντοπιστεί και σε ορισμένες περιοχές στη Βόρειο Αμερική (Enescu *et al.*, 2016). Η αναγέννηση του είδους είναι εξαιρετικά δύσκολη ειδικά μετά από καταστάσεις πυρκαγιάς η περιόδων με ακραίες ξηρασίες (Retana, Espelta and Ordo, 2005).

Στην Κύπρο οι φυσικές συστάδες του είδους *Pinus nigra subsp. pallasiana* κοινός γνωστό και ως Μαντόπευκος βρίσκονται στις υψηλότερες κορυφές του δάσους Τροόδους λόγω και του υψομέτρου που ευδοκμεί το οποίο κυμαίνεται από 1400-1952 μέτρα (Forest, 2016). Στις χαμηλές ζώνες απαντά σε μίξη με την τραχεία πεύκη, *Pinus brutia* η οποία όσο αυξάνεται το υψόμετρο υποχωρεί. Τα δέντρα φτάνουν σε ύψος έως και 30 με 40 μέτρα. Στα γηραιά δέντρα η κόμη γίνεται επίπεδη με κλαδιά που γέρνουν προς τα κάτω. Αντέχει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και βαριές χιονοπτώσεις που επικρατούν τους χειμερινούς μήνες στο Τροόδος.

Χλωρίδα της περιοχής

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει μια μεγάλη και πλούσια ποικιλία ειδών της χλωρίδας. Στην περιοχή φιλοξενούνται αρκετά ενδημικά φυτά ορισμένα από τα οποία αποτελούν είδη προτεραιότητας όπως για παράδειγμα τα *Arabis kennedyae*, *Chionodoxa iochiae*, *Pinguicula crystalline* κ.α. Εντός της περιοχής μελέτης υπάρχουν

τρία δένδρα του είδους *Pinus nigra* τα οποία έχουν κηρυχθεί ως αιωνόβια δένδρα (Εικόνα 5).

Πανίδα της περιοχής

Η πανίδα είναι ιδιαίτερα πλούσια με πτηνά όπως το μοναδικό σε πληθυσμό είδος *Loxia curvirostra quillewardi* (Σταυρομούτης), καθώς και ενδημικά είδη πουλιών όπως τα *Sylvia melanothra* (Τρυπομάζης), *Oenanthe cyriaca* (Σκαλιφούρτα), *Periparus ater cyriotes* (Πέμπετσος) κ.α. Η περιοχή φιλοξενεί είδη νυχτερίδων, και ερπετών.



Εικόνα 7: Πεύκα του είδους *Pinus nigra subsp. pallasiana*,

Φωτογραφίες από: Ανδρέα Εφραίμ

3.3.5 *Quercus alnifolia* (Λατζιά) τύπος οικοτόπου 9390

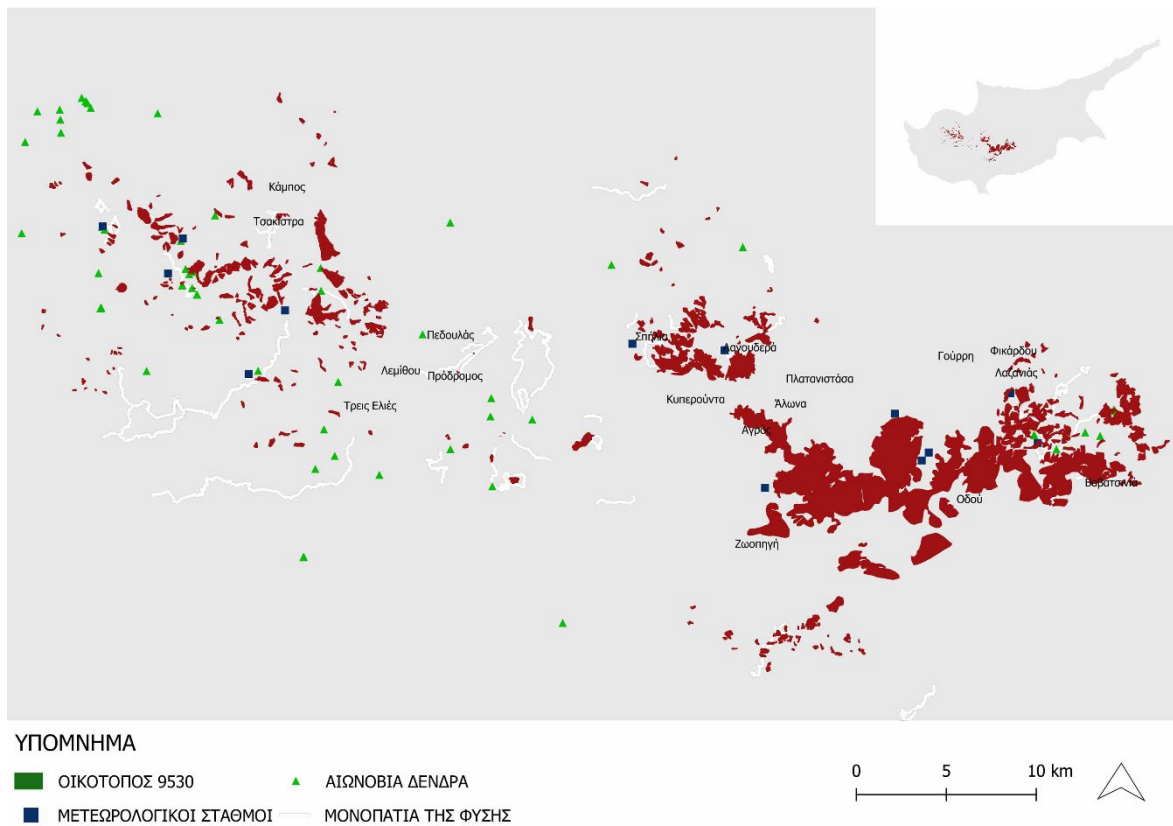
3.3.5.1 Αβιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Quercus alnifolia*

Με απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου την 1^η Φεβρουαρίου 2006 το είδος *Quercus alnifolia* έχει καθοριστεί ως το εθνικό δέντρο της Κύπρου. Η περιοχή εξάπλωσης του είδους *Quercus alnifolia* στην Κύπρο είναι σε πυριγενή βραχώδεις, απόκρημνες ή και ομαλές βουνοπλαγιές. Είναι κοινό σε σχεδόν ολόκληρο το οφιολιθικό σύμπλεγμα του δάσους Τροόδους. Οι πιο εκτεταμένοι σχηματισμοί με αμιγείς συστάδες του είδους βρίσκονται στα δάση Αδελφοί, Μαχαιρά, Τροόδους και Πάφου. Στις περιοχές εξάπλωσης έχουν κατασκευαστεί εννέα περίπου μονοπάτια αναψυχής (Εικόνα 8). Το ξύλο του είδους *Quercus alnifolia* παλαιότερα χρησίμευε για την κατασκευή ξύλινων καρεκλών ενώ αποτελεί άριστο υλικό για κατασκευή μαγκούρων και χειρολαβών για

διάφορα εργαλεία. Οι πιέσεις που δέχεται αφορούν κυρίως ανθρωπογενείς παράγοντες.

Γεωμορφολογία στις περιοχές μελέτης

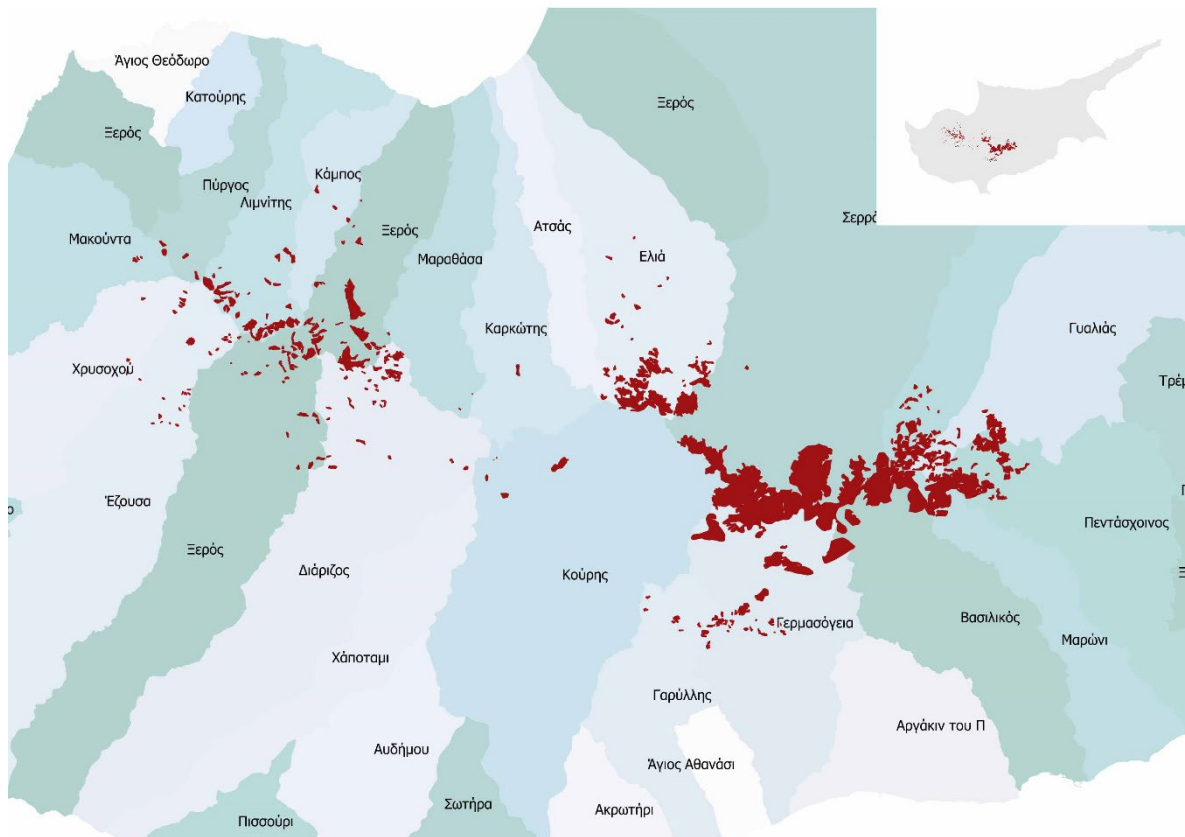
Η περιοχή μελέτης εξαπλώνεται σε έκταση 8731,02 ha. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των περιοχών εξάπλωσης είναι τα διαβασικά πετρώματα *Sheeted Dykes*, *Serpentinite*, *Plagiogranite*, *Isotropic Gabbros* και *Vitrophyric pillow lavas* (Camera, Zomeni, Jay S Noller, *et al.*, 2017; Zissimos *et al.*, 2019) (Χάρτης 5). Λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής οι κατηγορίες των τύπων εδάφους είναι το eutric-lithic-LEPTOSOLS,(LP.li.eu), eutric-leptic-REGOSOLS,(RG.le.eu) το οποίο συνοδεύεται με τον τύπο εδάφους chromic-leptic-CAMBISOLS,(CM.le.cr), και ο τύπος eutric-CAMBISOLS,(CM.eu), eutric-anthropic-REGOSOLS,(RG.ah.eu) το οποίο συνοδεύεται με τον τύπο εδάφους eutric-vertic-CAMBISOLS,(CM,vr.eu), eutric-skeletal-REGOSOLS,(RG.sk.eu) (Χάρτης 6). Το είδος *Quercus alnifolia* φύεται σε βραχώδη και πετρώδη πλαγιές εμποδίζοντας έτσι τη διάβρωση των εδαφών. Τα νερά των βροχοπτώσεων από τις περιοχές μελέτης απορρέουν σε είκοσι λεκάνες απορροής σε όλες τις κατευθύνσεις (Εικόνα 9).



Εικόνα 8: Χάρτης της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Quercus alnifolia*, οικότοπος 9590

Κλιματικές συνθήκες των περιοχών μελέτης

Η περιοχή μελέτης εμπίπτει στην κλιματική ζώνη της Κύπρου Warm Temperate Dry εκτός από 648 ha τα οποία εμπίπτουν στην κλιματική ζώνη Warm Temperate Moist (IPCC, 2022) (Χάρτης 4). Οι πυκνές συστάδες που σχηματίζουν τα φυτά διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στις συνθήκες υγρασίας του εδάφους. Η παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών γίνεται από μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε διάφορα σημεία των περιοχών (Εικόνα 8). Λόγω της εκτεταμένης εξάπλωσης του είδους σε μεγάλη έκταση της οροσειράς του Τροόδους η βροχόπτωση είναι κυμαινόμενη από 400 έως 700mm σε υψόμετρο πάνω από 500μ μέτρα. Μεγάλη διακύμανση καταγράφεται και στις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες οι οποίες το καλοκαίρι κυμαίνονται μεταξύ 22° C και το χειμώνα 3° C (Τμήμα Μετεωρολογίας, 2022).



Εικόνα 9: Λεκάνες απορροής στις περιοχές εξάπλωσης του είδους *Quercus alnifolia*

3.3.5.2 Βιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής εξάπλωσης του είδους *Quercus alnifolia*

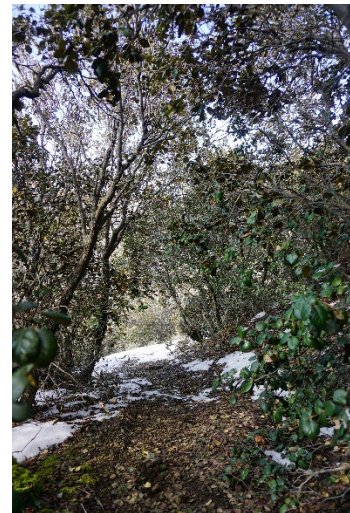
Το ενδημικό για την Κύπρο αειθαλές είδος *Quercus alnifolia* γνωστό και ως Λατζιά (Εικόνα 10) σχηματίζει θαμνώνες σε υψομετρική ζώνη από περίπου 400 έως 1700 μέτρα (Forest, 2016). Ευδοκμεί σε ξηρές βραχώδης περιοχές σε αμιγείς συστάδες με τα είδη *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra*, *Arbutus andrachne* κ.α. Εμφανίζεται κυρίως σε πυριγενείς βραχώδης σχηματισμούς (Society, 2022). Στην πλειονότητα τους τα φυτά σχηματίζουν θάμνους αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να έχουν σχήμα δέντρου με ύψος μέχρι και 10 μέτρα. Το είδος έχει μια μοναδική ικανότητα να αποικίζει απομακρυσμένες και βραχώδεις πλαγιές και αυτό το καθιστά απαραίτητο στη σταθεροποίηση των εδαφών έναντι της διάβρωσης (Loizides, 2011). Καλύπτει μεγάλες εκτάσεις των δασών της Κύπρου και έχει τη δυνατότητα να πρεμνοβλαστεί έστω και αν καεί ή κοπεί.

Χλωρίδα στις περιοχές μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει μια μεγάλη και πλούσια ποικιλία ειδών της χλωρίδας της Κύπρου. Σε αρκετές περιοχές σχηματίζει δασικές συστάδες με το είδος *Pinus brutia* καθώς και με το είδος *Quercus coccifera subsp. calliprinos*. Σε αρκετές περιπτώσεις προσλαμβάνει διαστάσεις μεγάλων δένδρων με το μεγαλύτερο αιωνόβιο δένδρο *Quercus alnifolia* να βρίσκεται στην τοποθεσία Κρεμμός της Πελλής η οποία βρίσκεται εκτός της περιοχής μελέτης (Εικόνα 8).

Πανίδα στις περιοχές μελέτης

Οι συστάδες του είδους *Quercus alnifolia* αποτελούν πόλο έλξης για αρκετά είδη της πανίδας της Κύπρου αφού οι καρποί της αποτελούν άριστη τροφή για αρκετά είδη. Λόγω της εκτεταμένης εξάπλωσης του είδους πολυάριθμα είδη της πανίδας του νησιού απαντώνται στις περιοχές ύπαρξης του είδους.



Εικόνα 10: : Θάμνοι του είδους *Quercus alnifolia*

Φωτογραφίες από: Ανδρέα Εφραίμ

3.4 Μέθοδος συλλογής δεδομένων

3.4.1 Συλλογή γεωγραφικών / χωρικών (spatial) δεδομένων

Για την επιλογή της συγκεκριμένης διαδικασίας χαρτογράφησης λήφθηκε υπόψη η διαθεσιμότητα των δεδομένων που ήταν αναγκαία για το σκοπό αυτό και η εφαρμογή

τους για εξαγωγή επιθυμητών αποτελεσμάτων χωρίς να είναι αναγκαία η επιτόπου επίσκεψη στο πεδίο για μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων. Για την επιλογή της έκτασης των περιοχών μελέτης χρησιμοποιήθηκαν χάρτες με μορφή ανυσματικών (vector) και ψηφιδωτών (raster) αρχείων. Η επεξεργασία για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την παραγωγή χαρτών έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού ανοικτού κώδικα QGIS.

Από επεξεργασία του χάρτη ξυλώδους βλάστησης όπως έχει περιγραφή στην παράγραφο 3.3.1, έχουν επιλεγεί τα αρχεία με τις τρεις περιοχές μελέτης τα οποία αφορούν μόνο τις εκτάσεις όπου κυρίαρχα είναι τα τρία είδη *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* και *Quercus alnifolia* καθορίζοντας έτσι τα βήματα που ακολουθούνται στη διαδικασία εκτίμησης του άνθρακα. Τα αρχεία με τις λεκάνες απορροής, τις δασικές περιοχές και τα σημειακά δεδομένα στους χάρτες λήφθηκαν από το Τμήμα Δασών και έχουν χρησιμοποιηθεί στο λογισμικό QGIS για την παραγωγή χαρτών παρουσίασης δεδομένων και εικόνων για κάθε περιοχή μελέτης. Από το Τμήμα Δασών έχουν ληφθεί επίσης και δεδομένα τα οποία αφορούν τις εκτάσεις κάλυψης του κάθε δασοπονικού είδους, το ξυλαπόθεμα και τον αποθηκευμένο άνθρακα της κάθε κατηγορίας δασοπονικού είδους. Στα δεδομένα αυτά έγινε επεξεργασία για εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα όπως προκύπτει από τις διαδικασίες που περιγράφονται στις ετήσιες εκθέσεις του Τμήματος Δασών.

Τα αρχεία με γεωλογικές και εδαφικές πληροφορίες λήφθηκαν από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης και ήταν απαραίτητα για τον καθορισμό του τύπου εδάφους κάθε περιοχής για τον καθορισμό των παραμέτρων που θα ακολουθούσαν για την εκτίμηση του άνθρακα στο έδαφος. Για τον ίδιο λόγο απαραίτητα ήταν και τα αρχεία που λήφθηκαν από το Τμήμα Μετεωρολογίας τα οποία καθόριζαν τις κλιματικές συνθήκες που αφορούν την κάθε περιοχή μελέτης.

Τα ψηφιδωτά αρχεία λήφθηκαν από την εφαρμογή Google maps τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένους μόνο χάρτες ως υπόβαθρο.

Για την παραγωγή των απαραίτητων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν δευτερογενή δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από το Τμήμα Δασών και αφορούν τις

ετήσιες εκθέσεις του Τμήματος και διάφορα έντυπα καταγραφής δεδομένων στα οποία έγινε επεξεργασία σε συνδυασμό με βιβλιογραφικές αναφορές.

3.5 Επιλογή μεθόδων υπολογισμού και χαρτογράφησης της δέσμευσης άνθρακα

Για τον υπολογισμό της δέσμευσης άνθρακα από τα δασικά οικοσυστήματα εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχουν επιλεγεί δύο μέθοδοι οι οποίες βασίζονται σε δεδομένα διαφορετικής κλίμακας. Η πρώτη μέθοδος η οποία έχει εφαρμοστεί αφορά την εργαλειοθήκη Tessa η οποία έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει την δέσμευση άνθρακα στις τέσσερις δεξαμενές άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων με τη χρήση δεδομένων παγκόσμιας κλίμακας (global scale-based data). Η άλλη μέθοδος έχει ολοκληρωθεί με τη χρήση μικρής κλίμακας τοπικών δεδομένων πεδίου και βιβλιογραφικών αναφορών που αφορούν τις περιοχές μελέτης.

3.6 Εργαλειοθήκη TESSA v1.1

Η επιλογή της εργαλειοθήκης Tessa έχει γίνει για το λόγο ότι δεν είναι αναγκαία η χρήση δεδομένων πεδίου για την ολοκλήρωση των διαδικασιών, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να γίνει χρήση δεδομένων από διεθνή πηγές. Στο ίδιο το εργαλείο Tessa δίνεται η δυνατότητα χρήσης πρωτογενή δεδομένων τα οποία συλλέγονται από τις περιοχές μελέτης όμως στην περίπτωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δεν εφαρμόστηκε η χρήση τοπικών δεδομένων.

Η διαδικασία στο μοντέλο υπολογίζει τη συνολική αποθηκευμένη ποσότητα άνθρακα στη βλάστηση με τη χρήση μεθόδων IPCC (2006) tier 1 και τα παραρτήματα από την εργαλειοθήκη TESSA (Peh *et al.*, 2013). Ο αποθηκευμένος άνθρακας στη βλάστηση υπάρχει σε τέσσερις δεξαμενές οι οποίες είναι:

- Η Υπέργεια βιομάζα
- Η Υπόγεια βιομάζα

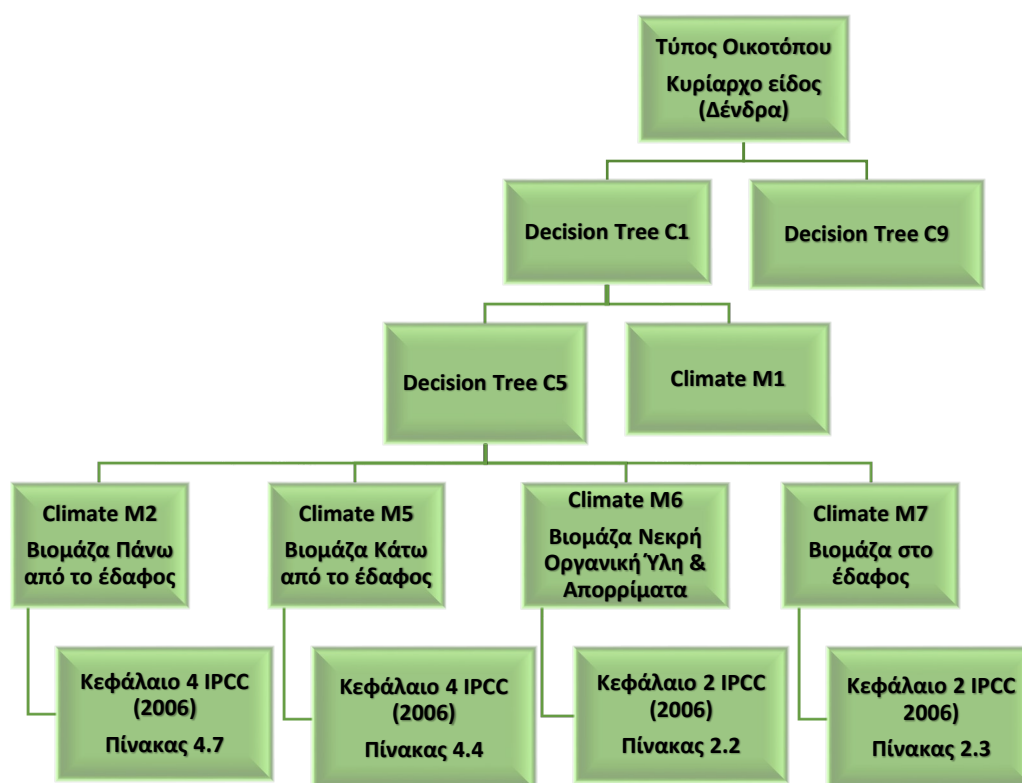
- Το έδαφος
- Τη νεκρή οργανική ύλη

Οι διαφορετικοί τύποι δασικών οικοσυστημάτων έχουν διαφορετική επιρροή στην παγκόσμια κλιματική ρύθμιση, δηλαδή στην ανταλλαγή CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ της ατμόσφαιρας και των φυτών, των ζώων, του εδάφους και των οικοσυστημάτων (Manolaki and Vogiatzakis, 2017). Επομένως ο κάθε τύπος οικοσυστήματος αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC και των άρθρων 3.3 και 3.4 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, η κατηγορία της χρήσης γης και των τριών περιοχών εμπίπτει στην κατηγορία *Δασικές Εκτάσεις* (Gaucher *et al.*, 2015).

Μέσω του εργαλείου TESSA έχει γίνει υπολογισμός της εκτίμησης της δέσμευσης άνθρακα σε τέσσερις δεξαμενές στα δάση οι οποίες αφορούν, την υπέργεια και υπόγεια βιομάζα, το έδαφος και τη νεκρή οργανική ύλη. Για την υλοποίηση των υπολογισμών και τη διαδικασία των βημάτων που ακολουθήθηκαν στη λήψη δεδομένων, λήφθηκαν υπόψη οι παράγοντες κάθε τύπου οικοτόπου όπως ορίζονται στο Παράρτημα 4 του εργαλείου TESSA και αφορούν:

- α) Τον τύπο βλάστησης,
- β) Το καθεστώς χρήσης γης,
- γ) Το κλίμα της περιοχής,
- δ) Τον τύπο του εδάφους,
- ε) Τη γεωγραφική θέση της Κύπρου,
- στ) Το καθεστώς διαχείρισης του κάθε τύπου οικοτόπου.

Οι παράγοντες λήψης αποφάσεων όπως το κλίμα, η κατηγορία του εδάφους και ο τύπος βλάστησης του κάθε τύπου οικοτόπου είναι καθοριστικοί και καθορίζουν την πορεία των βημάτων που ακολουθούνται στο εργαλείο TESSA για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα (*Διάγραμμα 3*).



Διάγραμμα 3: Δενδροειδές διάγραμμα του εργαλείου TESSA για τη λήψη αποφάσεων σε σχέση με τις περιοριστικές παραμέτρους που αφορούν κάθε περιοχή.

3.6.1 Ταξινόμηση σε σχέση με το βαθμό διατάραξης

Ο βαθμός διατάραξης των περιοχών των τριών τύπων οικοτόπων ταξινομήθηκε με δύο μεθόδους. Έγινε ταξινόμηση με βάση ποσοτικά δεδομένα Πίνακας 4 και με βάση ποιοτικών κατευθυντήριων γραμμών Πίνακας 5. Ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με το Παράρτημα *Climate Method 1* για την εκτίμηση του βαθμού διατάραξης.

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση επιπέδου διατάραξης ποσοτικών δεδομένων σύμφωνα με το Παράρτημα TESSA *Climate Method 1* ξεχωριστά για κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο οικοτόπου.

	Επίπεδο Διατάραξης / είδος								
	<i>Cedrus brevifolia</i>			<i>Pinus nigra</i>			<i>Quercus alnifolia</i>		
	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Εξαγωγή κάρβουνου ≥ 5 pit/ha ή 1 pit/200m			✓			✓			✓
Εξαγωγή καυσόξυλων ή αποφλοιώση δένδρων κάθε 50m			✓			✓			✓
Υλοτομίες δέντρων σε βαθμό $\geq 20\%$			✓			✓			✓
Άλλες σημαντικές διαταραχές (εξόρυξη, υπερβόσκηση, κ.α.) σε έκταση $\geq 5\%$			✓			✓			✓

Εξαγωγή κάρβουνου ≥ 1 και < 5 pit/ha ή 1pit/1000m			✓			✓			✓
Εξαγωγή καυσόξυλων ή αποφλοιώση δένδρων κάθε 250m			✓			✓			✓
Επιλεκτικές υλοτομίες δέντρων σε βαθμό $\geq 5\%$ και $< 20\%$			✓			✓			✓
Άλλες διαταραχές (εξόρυξη, υπερβόσκηση κ.α.) σε έκταση $\geq 1\%$ και $< 5\%$			✓			✓			✓

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση επιπέδου διατάραξης με ποιοτικές κατευθυντήριες γραμμές σύμφωνα με το Παράρτημα TESSA Climate Method 1 για κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο οικοτόπου.

	Επίπεδο Διατάραξης / είδος								
	<i>Cedrus brevifolia</i>			<i>Pinus nigra</i>			<i>Quercus alnifolia</i>		
	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Ψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Εξαγωγή κάρβουνου			✓			✓			✓
Εξαγωγή καυσόξυλων ή αποφλοιώση δένδρων			✓			✓			✓
Υλοτομία ξυλείας ψηλής και μέτριας αξίας			✓			✓			✓
Άλλες σημαντικές διαταραχές (εξόρυξη, υπερβόσκηση κ.α.)			✓			✓			✓
Μερική εξαγωγή κάρβουνου			✓			✓			✓
Μερική εξαγωγή καυσόξυλων ή αποφλοιώση δένδρων			✓			✓			✓
Υλοτομία ξυλείας ψηλής αξίας			✓			✓			✓
Άλλες χαμηλής σημαντικότητας διαταραχές			✓			✓			✓

3.6.2 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη βιομάζα πάνω από το έδαφος

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκε το απόθεμα άνθρακα της υπέργειας βιομάζας σύμφωνα με το IPCC (2006). Οι τρεις περιοχές αποτελούν φυσικά δάση με δενδρώδη βλάστηση και θαμνώνες, οι εκτάσεις των οποίων έχουν παραμείνει δασικές εκτάσεις για περισσότερο από 20 χρόνια. Η δενδρώδης βλάστηση αφορά τους οικοτόπους *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* ενώ ο οικότοπος *Quercus alnifolia* αφορά θαμνώδη βλάστηση. Επιτόπιες μετρήσεις στις περιοχές των τριών τύπων οικοτόπων δεν έχουν υλοποιηθεί και ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με το Παράρτημα *Climate Method 2* για υπολογισμό της υπέργειας βιομάζας σύμφωνα με το Παράρτημα 4 του εργαλείου TESSA. Για τη δενδρώδη βλάστηση σε κλιματικές συνθήκες όπως ορίζονται από το πίνακα 4.7 «Above-Ground Biomass in Forests» του Παραρτήματος 4 του εργαλείου TESSA (Temperate continental forest) η βιομάζα ορίζεται στους 120 tonnes d.m.ha⁻¹. Η συνολική υπέργεια βιομάζα πολλαπλασιάζεται με το σταθερό συντελεστή

μετατροπής που ισούται με 0,5 και ισχύει για δενδρώδη βλάστηση (Peh *et al.*, 2013). Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Υπολογισμός της υπέργειας βιομάζας

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	Υπέργεια Βιομάζα σύμφωνα με TESSA Πίνακας 4.7
<i>Cedrus brevifolia</i>	394.14	120 t.d.m.ha ⁻¹
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	120 t.d.m.ha ⁻¹
<i>Quercus alnifolia</i>	3648.37	120 t.d.m.ha ⁻¹

Για τον υπολογισμό του αποθέματος της υπέργειας βιομάζας (AGB) και του άνθρακα εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{Above\ Ground}) = Area(ha) * AGB * CF$$

Όπου: $tC_{Above\ Ground}$ = τόνοι Άνθρακα

$Area(ha)$ = Έκταση του κάθε τύπου οικοτόπου σε εκτάρια

AGB = Υπέργεια Βιομάζα σύμφωνα με το TESSA table 4.7

CF = Συντελεστής μετατροπής

3.6.3 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη βιομάζα κάτω από το έδαφος

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκε το απόθεμα άνθρακα της υπόγειας βιομάζας σύμφωνα με το IPCC (2006). Επιτόπιες μετρήσεις στις περιοχές των τριών οικοτόπων δεν έχουν υλοποιηθεί και ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με το Παράρτημα *Climate Method 5* για τον υπολογισμό της υπόγειας βιομάζας σύμφωνα με το Παράρτημα 4 του εργαλείου TESSA. Ο καθορισμός του συντελεστή μετατροπής (R) προκύπτει από τον πίνακα 4.4 «Ratio of Below-Ground Biomass to Above-Ground Biomass» για την εκτίμηση της υπόγειας βιομάζας σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες Temperate continental forest. Η τιμή $R = 0.29$ αφορά την κατηγορία κωνοφόρα δάση με υπέργεια βιομάζα ίση με 50 έως 150 tonnes ha⁻¹ και η τιμή $R = 0.30$ αφορά την κατηγορία *Quercus spp.* με υπέργεια βιομάζα μεγαλύτερη από 70 tonnes ha⁻¹. Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Υπολογισμός της υπόγειας βιομάζας

Τύπος Οικοτόπου	Total AGB (t.d.m.)	Συντελεστής υπόγειας προς υπέργεια βιομάζα (R)
<i>Cedrus brevifolia</i>	47259.6	0.29
<i>Pinus nigra</i>	229477.2	0.29
<i>Quercus alnifolia</i>	1047722.4	0.30

Για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα της υπόγειας βιομάζας (BGB) εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{\text{Below Ground}}) = \text{Total AGB} * R * CF$$

Όπου: $tC_{\text{Below Ground}}$ = τόνοι Άνθρακα

Total AGB = Υπέργεια Βιομάζα

R = Συντελεστής Υπόγειας Βιομάζα σύμφωνα με το TESSA table 4.4

CF = Συντελεστής μετατροπής

3.6.4 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη (απορρίμματα και νεκρό ξύλο)

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκε το απόθεμα άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη σύμφωνα με το IPCC 2006 tier 1. Ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με το Παράρτημα Climate Method 6 για υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη (forest litter) σύμφωνα με το Παράρτημα 2 του εργαλείου TESSA. Από τα δεδομένα το εργαλείο TESSA δεν παρέχει τιμή για υπολογισμό σε απόθεμα άνθρακα στο νεκρό οργανικό ξύλο (dead wood) και για το λόγω αυτό η τιμή για νεκρό οργανικό ξύλο θεωρείται μηδενική. Οι κλιματικές συνθήκες για τον οικοτόπο του είδους *Cedrus brevifolia* ορίζονται ως warm temperate dry και για τον οικοτόπο του είδους *Pinus nigra* ως warm temperate moist. Ποσοστό έκτασης ίσο με 92.4% του οικοτόπου του είδους *Quercus alnifolia* εμπίπτει στη ζώνη κλιματικών συνθηκών warm temperate dry ενώ το υπόλοιπο 7.6% εμπίπτει στη ζώνη κλιματικών συνθηκών warm temperate moist (Χάρτης 4). Τα είδη *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* αφορούν ώριμα δένδρα για τα οποία καθορίζεται σταθερά τιμή για τον άνθρακα στη νεκρή ύλη για την κατηγορία Needle leaf evergreen ενώ για το είδος *Quercus alnifolia* το οποίο αποτελείται από θαμνώδη βλάστηση για την κατηγορία Broadleaf deciduous. Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Υπολογισμός άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	Default Value Litter t.C.ha ⁻¹	Default Value Dead Wood t.C.ha ⁻¹
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	20.3	n.a
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	22.0	n.a
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	28.2	n.a

Για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη (DOM) εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{Litter-Dead\ Wood}) = Area(ha) * DV$$

Όπου: $tC_{Litter-Dead\ Wood}$ = τόνοι Άνθρακα νεκρής οργανικής ύλης

$Area(ha)$ = Έκταση του κάθε τύπου οικοτόπου σε εκτάρια

DV = Default Value for Litter and Dead Wood Carbon Stocks

3.6.5 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στο έδαφος

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκε το απόθεμα άνθρακα στο έδαφος σύμφωνα με το IPCC 2006. Ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με το Παράρτημα του *Climate Method 7* για υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος σύμφωνα με το Παράρτημα 2 του εργαλείου TESSA. Η κλιματική ταξινόμηση και ο προσδιορισμός στον τύπο του εδάφους είναι σημαντικοί παράγοντες για την εξαγωγή του σωστού αποτελέσματος. Για την ταξινόμηση των περιοχών σε σχέση με το έδαφος όλες οι περιοχές κατατάσσονται στην κατηγορία εδάφους Regosols (Dating and Features, 2001) (Χάρτης 6). Για την ταξινόμηση σε σχέση με τις κλιματικές συνθήκες η κάθε περιοχή εμπίπτει σε διαφορετική κατηγορία σύμφωνα με το χάρτη κλιματικών ζωνών της Κύπρου (Χάρτης 4). Οι κλιματικές συνθήκες για τον οικοτόπο του είδους *Cedrus brevifolia* ορίζονται ως warm temperate dry, για τον οικοτόπο του είδους *Pinus nigra* ως warm temperate moist ενώ ποσοστό έκτασης του οικοτόπου του είδους *Quercus alnifolia* ίσο με 92.4% εμπίπτει στη ζώνη κλιματικών συνθηκών warm temperate dry και το υπόλοιπο 7.6% εμπίπτει στη ζώνη κλιματικών συνθηκών warm temperate moist. Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Υπολογισμός άνθρακα στο έδαφος

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	Κλιματική ζώνη	Κατηγορία εδάφους	SOC _{REF} t.C.ha ⁻¹ (in 0-30cm Depth)
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	Warm temperate, dry	HAC Soils*	38
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	Warm temperate, moist	HAC Soils*	88
<i>Quercus alnifolia</i>	8071.82	Warm temperate, dry	HAC Soils*	38
	659.20	Warm temperate, moist	HAC Soils*	88

*HAC (High Activity Clay) Mineral Soils

Για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος (Soil) εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{Soil}) = Area(ha) * SOC_{REF}$$

Όπου: tC_{Soil} = τόνοι Άνθρακα νεκρής οργανικής ύλης

$Area(ha)$ = Έκταση του κάθε τύπου οικοτόπου σε εκτάρια

SOC_{REF} = Soil Organic Carbon Reference

3.7 Εκτίμηση δέσμευσης άνθρακα με τη χρήση δεδομένων τοπικής κλίμακας

Οι εκτάσεις των τριών τύπων δασικών οικοσυστημάτων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής βρίσκονται σε δασικές περιοχές οι οποίες ανήκουν στο κρατικό δάσος της Κυπριακής Δημοκρατίας. Οι δασικές περιοχές δεν υπόκεινται σε πιθανή αλλαγή χρήση γης ενώ και τα τρία είδη εμπίπτουν στην κατηγορία των μη παραγωγικών δασών αφού οποιαδήποτε εκμετάλλευση όπως υλοτομίες, εξαγωγή καυσόξυλων ή άλλες διαταραχές δεν επιτρέπονται. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της μεθόδου αφορούν τα αποτελέσματα από τους πίνακες της ετήσιας έκθεσης του 2020 του Τμήματος Δασών καθώς επιτόπιες επισκέψεις στις περιοχές μελέτης δεν έχουν γίνει.

3.7.1 Ταξινόμηση οικοτόπων σε σχέση με το δασοπονικό είδος

Σύμφωνα με το Έντυπο Αριθμός 11.1 της Ετήσιας έκθεσης του Τμήματος Δασών για το έτος 2020 τα δύο είδη *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* εμπίπτουν στην κατηγορία Άλλα Κωνοφόρα ενώ το είδος *Quercus alnifolia* εμπίπτει στην κατηγορία Πλατύφυλλα (Τμήμα Δασών, 2020). Η κατηγορία Άλλα Κωνοφόρα περιλαμβάνει όλα τα είδη κωνοφόρων δένδρων εκτός από το είδος *Pinus brutia* τα οποία κατά τη διαδικασία της καταγραφής της βλάστησης και υπολογισμού στο ξυλαπόθεμα έχουν αναγνωρισθεί ως κωνοφόρα. Στην κατηγορία Άλλα Κωνοφόρα εντάσσονται επίσης και περιπτώσεις που αφορούν αλλαγές που προκύπτουν στις εκτάσεις των δασών. Το ίδιο συμβαίνει και για την κατηγορία Πλατύφυλλα όπου όλα τα δασικά είδη που αναγνωρίστηκαν κατά την καταγραφή της βλάστησης και υπολογισμού στο ξυλαπόθεμα ως πλατύφυλλα, ενσωματώθηκαν σε αυτή την κατηγορία. Τα δεδομένα όπως προκύπτουν από την ετήσια έκθεση του έτους 2020 παρουσιάζονται στον Πίνακα 10

και αφορούν τη συνολική έκταση των δύο κατηγοριών στις οποίες εμπίπτουν τα τρία είδη *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* και *Quercus alnifolia*.

Πίνακας 10: Κατηγορία ειδών σε σχέση με το είδος

Κατηγορία βλάστησης	Συνολική Έκταση (ha)	Ξυλαπόθεμα (m ³)	Κατηγορία που εμπίπτει ο κάθε τύπος οικοτόπου
Άλλα Κωνοφόρα	33,671	1,830,336	<i>Cedrus brevifolia</i> <i>Pinus nigra</i>
Πλατύφυλλα	1,130	230,469	<i>Quercus alnifolia</i>

3.7.2 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη βιομάζα πάνω από το έδαφος

Για τον υπολογισμό της συνολικής υπέργειας βιομάζας και του άνθρακα της κάθε κατηγορίας βλάστησης σύμφωνα με τους πίνακες του Τμήματος Δασών η έκταση πολλαπλασιάζεται με το ξυλαπόθεμα και ακολούθως με τους συντελεστές Biomass Expansion Factor (BEF), Wood Density (WD) για τον υπολογισμό της Βιομάζας και με το Carbon Fraction (CF) για τον υπολογισμό του άνθρακα.

Για το συντελεστή (BEF) έχει καθοριστεί η τιμή 1.3 που αφορά την κλιματική ζώνη Temperate και τα δασικά είδη Conifers και λαμβάνει υπόψη, τον όγκο κλάδων των δένδρων, της βάσης και του φυλλώματος σύμφωνα με τον Πίνακα 5.8 «Default Values of Biomass Expansion Factors» του Παραρτήματος 5 Guide for country reporting for FRA 2015 (FAO Forestry Department, 2015). Για το συντελεστή (WD) έχει καθοριστεί η τιμή 0.46 και εφαρμόζεται σε όλες τις κατηγορίες βλάστησης (Crivellaro and Schweingruber, 2013). Για το συντελεστή (CF) έχει καθοριστεί η τιμή 0.47 και αφορά την κλιματική ζώνη Temperate and Boreal, περιλαμβάνει όλα τα μέρη του δένδρου σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2 «Carbon Fraction of Aboveground Forest Biomass» του Παραρτήματος 5 Guide for country reporting for FRA 2015. Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Υπολογισμός της υπέργειας βιομάζας και του άνθρακα

Κατηγορία βλάστησης	Έκταση (ha)	Ξυλαπόθεμα (m ³)	(BEF)	(WD)	(CF)
Άλλα Κωνοφόρα	33,671	1,830,336	1.3	0.46	0.47
Πλατύφυλλα	1,130	230,469	1.3	0.46	0.47

Για τον υπολογισμό του αποθέματος της υπέργειας βιομάζας (AGB) και του άνθρακα εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{Above\ Ground}) = Area(ha) * \text{Ξυλαπόθεμα} * BEF * WD * CF$$

Όπου: $tC_{Above\ Ground}$ = τόνοι Άνθρακα

$Area(ha)$ = Έκταση του κάθε τύπου οικοτόπου σε εκτάρια

Ξυλαπόθεμα = Όγκος δένδρων σε m^3

BEF = Biomass Expansion Factors

WD = Wood Density

CF = Carbon Fraction

Ακολούθως έγινε εκτίμηση του άνθρακα ανά εκτάριο για να υπολογισθεί ο άνθρακας της κάθε περιοχής μελέτης.

3.7.3 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη βιομάζα κάτω από το έδαφος

Για τον υπολογισμό της βιομάζας και του άνθρακα της υπόγειας βιομάζας της κάθε κατηγορίας βλάστησης σύμφωνα με τους πίνακες του Τμήματος Δασών η βιομάζα της υπέργειας ξυλείας πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή Root to Shoot (R) και ακολούθως με το Carbon Fraction (CF) για τον υπολογισμό του άνθρακα.

Για το συντελεστή Root to Shoot έχει καθοριστεί η τιμή 0.28 που αφορά την κλιματική ζώνη Temperate Continental forest και τα δασικά είδη Conifers σύμφωνα με τον Πίνακα 5.3 «Ratio of Below-Ground Biomass to Above-Ground Biomass» του Παραρτήματος 5 Guide for country reporting for FRA 2015 (FAO Forestry Department, 2015). Τα δεδομένα όπως προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Υπολογισμός της υπόγειας βιομάζας και του άνθρακα

Κατηγορία βλάστησης	Έκταση (ha)	Ξυλαπόθεμα (m^3)	(BEF)	(WD)	(R)	(CF)
Άλλα Κωνοφόρα	33,671	1,830,336	1.3	0.46	0.28	0.47
Πλατύφυλλα	1,130	230,469	1.3	0.46	0.28	0.47

Για τον υπολογισμό του αποθέματος της υπόγειας βιομάζας (BGB) και του άνθρακα εφαρμόστηκε η φόρμουλα:

$$(tC_{Below\ Ground}) = Area(ha) * \text{Ξυλαπόθεμα} * BEF * WD * R * CF$$

Όπου: $tC_{Above\ Ground}$ = τόνοι Άνθρακα

$Area(ha)$ = Έκταση του κάθε τύπου οικοτόπου σε εκτάρια

Ξυλαπόθεμα = Όγκος δένδρων σε m^3

BEF = Biomass Expansion Factors

WD = Wood Density

R = Root to Shoot Ratio

CF = Carbon Fraction

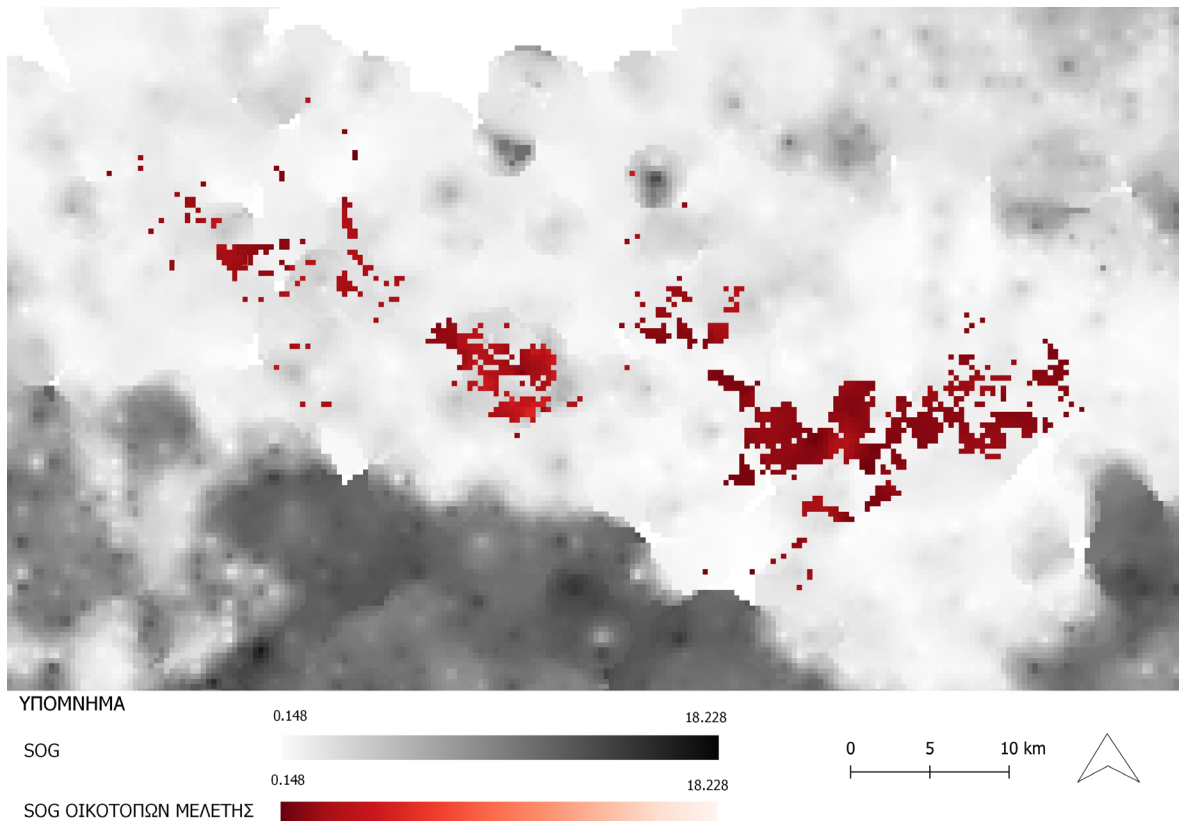
Ακολούθως έγινε εκτίμηση του άνθρακα ανά εκτάριο για να υπολογισθεί ο άνθρακας της κάθε περιοχής μελέτης.

3.7.4 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη (απορρίμματα και νεκρό ξύλο)

Στα έντυπα των εκθέσεων του Τμήματος Δασών δεν υπάρχουν δεδομένα για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη.

3.7.5 Εκτίμηση αποθέματος άνθρακα στο έδαφος

Στα έντυπα των εκθέσεων του Τμήματος Δασών δεν υπάρχουν δεδομένα για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος και για το λόγω αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από βιβλιογραφικές μελέτες και χάρτες υψηλής ανάλυσης τύπων εδάφους και φυσικών ιδιοτήτων για την Κύπρο (Camera, Zomeni, Jay S. Noller, *et al.*, 2017; Zissimos *et al.*, 2019) *Εικόνα 11*.

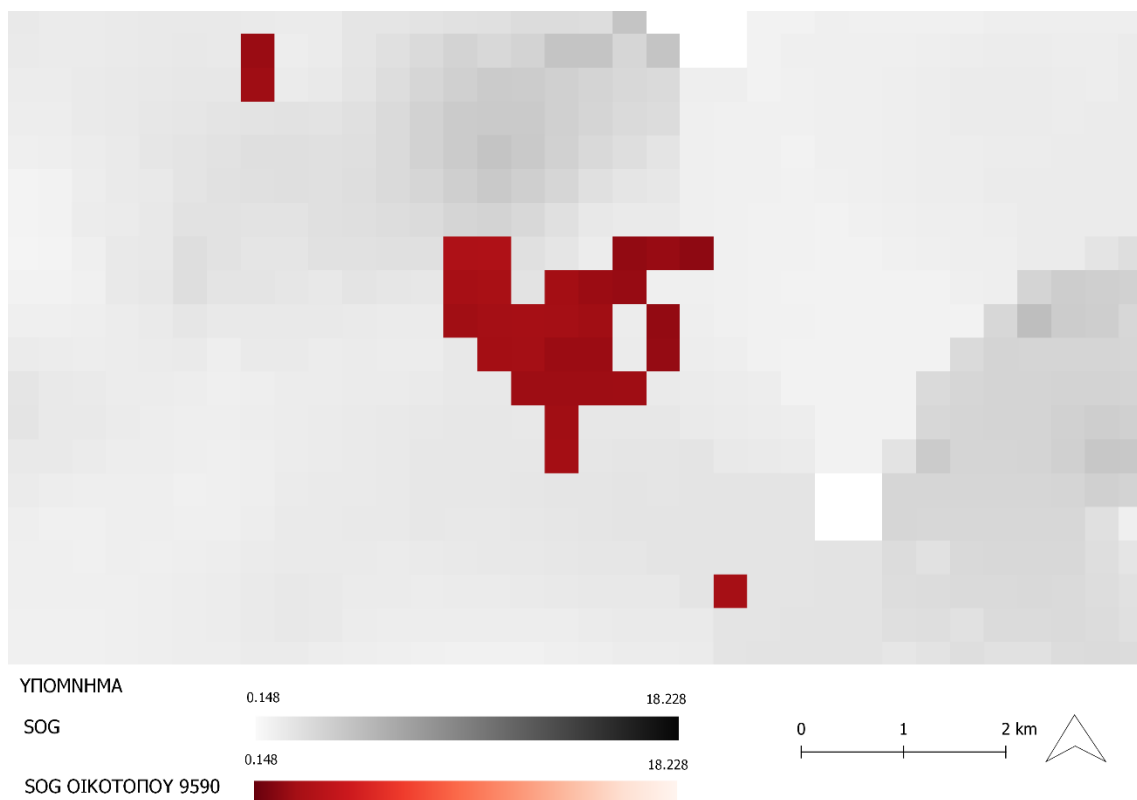


Εικόνα 11: Χάρτης άνθρακα εδάφους των τριών περιοχών μελέτης

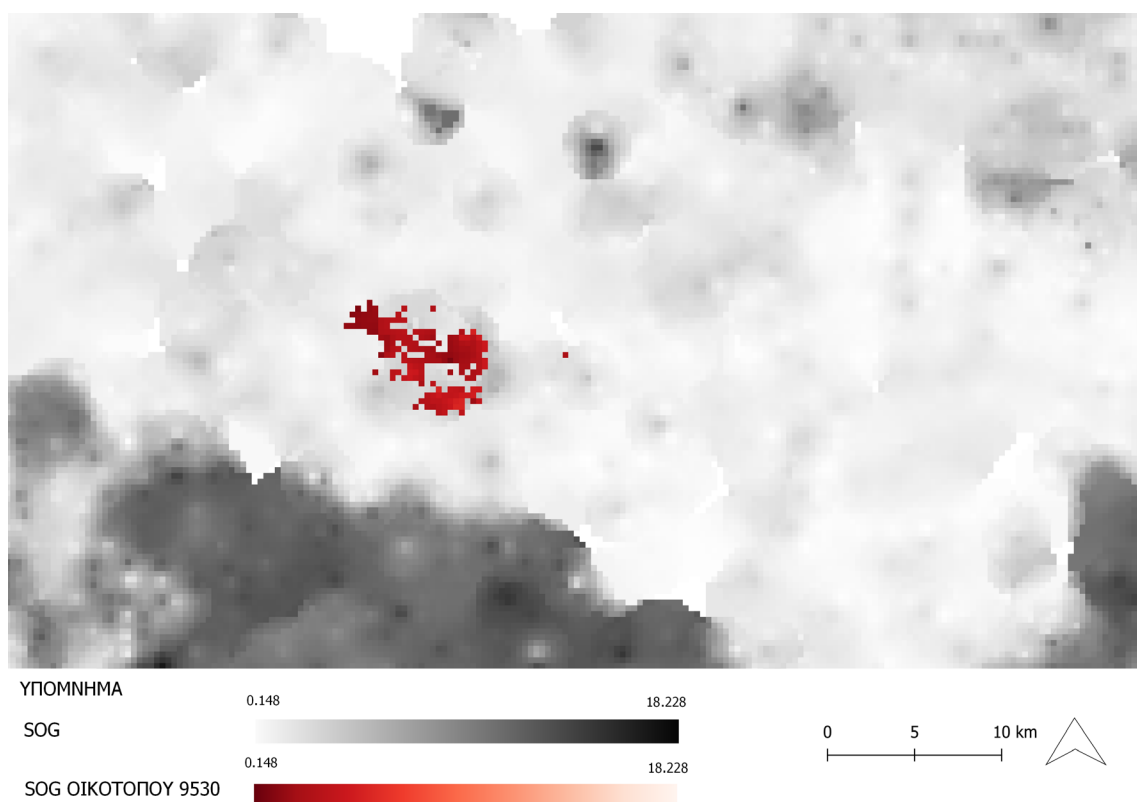
Η μεθοδολογία που είχε χρησιμοποιηθεί στη μελέτη «*A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization*» αφορούσε τη μέτρηση του άνθρακα και την παραγωγή χάρτη εδαφικού άνθρακα της Κύπρου σε πλέγμα 25 x 25 μέτρα ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος των τριών περιοχών μελέτης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η απομόνωση του πλεγματοειδούς αρχείου που αφορούσε την κάθε περιοχή μελέτης καθώς και ο υπολογισμός του συνολικού άνθρακα σε κάθε περιοχή μελέτης. Οι πίνακες των πλεγματοειδών αρχείων που έχουν παραχθεί με τις εκτάσεις την κατηγορία και το ποσοστό άνθρακα για κάθε κατηγορία παρουσιάζονται στο *Παράρτημα Α*.

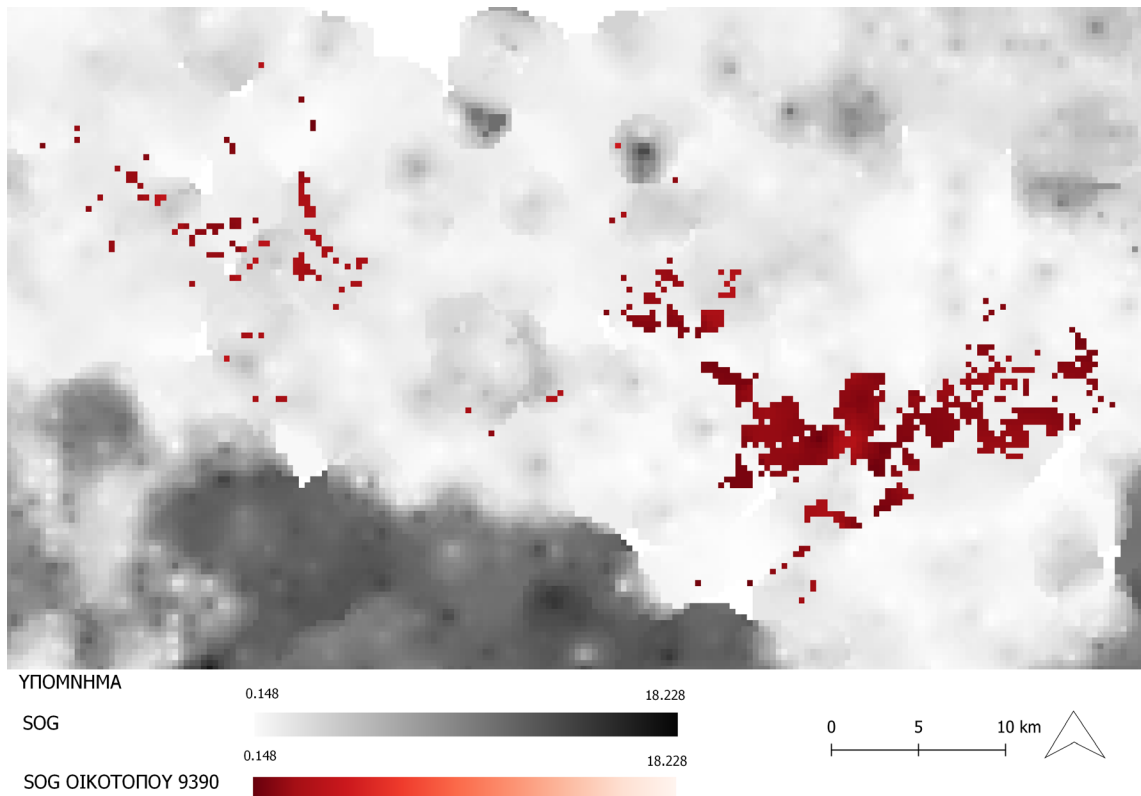
Η περιοχή στον τύπο οικοτόπου *Cedrus brevifolia* περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες ποσοτήτων άνθρακα, η περιοχή στον τύπο οικοτόπου *Pinus nigra* περιλαμβάνει έξι κατηγορίες ποσοτήτων άνθρακα και η περιοχή στον τύπο οικοτόπου *Quercus alnifolia* περιλαμβάνει πέντε κατηγορίες ποσοτήτων άνθρακα. Οι *Εικόνες 12,13 και 14* αντίστοιχα είναι σχετικές.



Εικόνα 12: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου *Cedrus brevifolia*



Εικόνα 13: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου *Pinus nigra*



Εικόνα 14: Χάρτης άνθρακα εδάφους της περιοχής του οικοτόπου *Quercus alnifolia*

3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης δέσμευσης άνθρακα για κάθε τύπο οικοτόπου έχουν δημιουργηθεί πίνακες στην υπό-παράγραφο 4.3 των αποτελεσμάτων, με τα συνολικά αποτελέσματα της κάθε μεθόδου για το κάθε είδος και το ανάλογο ποσοστό που αντιστοιχεί.

Για τη χωρική απεικόνιση με σκοπό τη σύγκριση των ποσοτήτων άνθρακα για κάθε τύπο οικοτόπου έχουν δημιουργηθεί πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν τους τρεις τύπους οικοτόπων τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα και τις τέσσερις δεξαμενές άνθρακα για κάθε μέθοδο που εφαρμόστηκε ξεχωριστά. Η επιλογή της διαβάθμισης στους πίνακες σε ποσότητες άνθρακα ανά 20t.C.ha^{-1} σε κλίμακα από 0 έως 260t.C.ha^{-1} έχει γίνει μετά από εφαρμογή διαφόρων επιλογών έτσι ώστε το αποτέλεσμα που προκύπτει να γίνεται πιο κατανοητό. Ακολούθως έγινε αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων άνθρακα για κάθε τύπο οικοτόπου και κάθε δεξαμενή άνθρακα στην αντίστοιχη κατηγορία του πίνακα. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή χαρτών άνθρακα ανά δεξαμενή άνθρακα των περιοχών μελέτης. Οι

πίνακες που έχουν παραχθεί και οι χάρτες και τα διαγράμματα σύγκρισης παρουσιάζονται στο *Παράρτημα Α2*.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την εφαρμογή στις διαδικασίες της μεθοδολογίας και αφορούν την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα στις περιοχές μελέτης η οποία υλοποιήθηκε με τις δύο μεθόδους.

4.1 Αποτελέσματα μεθόδου εκτίμησης άνθρακα με τη χρήση διεθνών δεδομένων

Σύμφωνα με τις διαδικασίες της μεθόδου του εργαλείου TESSA οι οποίες ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα από τα τρία δασικά οικοσυστήματα προέκυψαν τα αποτελέσματα στον Πίνακα 4.5 τα οποία αναλυτικά έχουν ως εξής:

Επίπεδο διατάραξης οικοτόπων

Σε σχέση με τα επίπεδα διατάραξης σε κάθε οικότοπο και τη διαδικασία αξιολόγησης Πίνακες 3.2 και 3.3, του Κεφαλαίου 3 Μεθοδολογία, από το συνολικό αποτέλεσμα προκύπτει ότι ο βαθμός διατάραξης και στους τρεις οικοτόπους χαρακτηρίζεται στην κατηγορία *Χαμηλή*.

Απόθεμα άνθρακα υπέργειας βιομάζας (AGB_c)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος της υπέργειας βιομάζας άνθρακα όπως έχουν υπολογισθεί με χρήση διεθνών δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 13: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	AGB (t.d.m.ha ⁻¹)	Total AGB (t.d.m.)	CF	tC
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	120	47259.6	0.5	23629.8
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	120	229477.2	0.5	114738.6
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	120	1047722.4	0.5	523861.2
Συνολικό απόθεμα Άνθρακα πάνω από το έδαφος*					662229.6

*Το συνολικό απόθεμα άνθρακα AGB_c μεταφέρθηκε στον Πίνακα 19

Απόθεμα άνθρακα υπόγειας βιομάζας (BGB_c)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος άνθρακα της υπόγειας βιομάζας (κάτω από το έδαφος) όπως έχουν υπολογισθεί με χρήση διεθνών δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 14: Απόθεμα άνθρακα στη βιομάζα κάτω από το έδαφος

Τύπος Οικοτόπου	Total AGB (t.d.m.)	R	CF	tC
<i>Cedrus brevifolia</i>	47259.6	0.29	0.5	6852.6
<i>Pinus nigra</i>	229477.2	0.29	0.5	33274.2
<i>Quercus alnifolia</i>	1047722.4	0.30	0.5	157158.4
Συνολικό απόθεμα Άνθρακα κάτω από το έδαφος*				197285.2

*Το συνολικό απόθεμα άνθρακα BGB_c μεταφέρθηκε στον Πίνακα 19

Απόθεμα άνθρακα νεκρής οργανικής ύλης (DOM_c)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη όπως έχουν υπολογισθεί με χρήση διεθνών δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 15: Απόθεμα άνθρακα στη νεκρή οργανική ύλη

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	DV (Litter)	DV (Dead Wood)	tC
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	20.3	0	7994.7
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	22.0	0	42070.8
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	28.2	0	246214.8
Συνολικό απόθεμα Άνθρακα Νεκρής Οργανικής Ύλης*				296280.3

*Το συνολικό απόθεμα άνθρακα DOM_c μεταφέρθηκε στον Πίνακα 19

Απόθεμα άνθρακα στο έδαφος ($Soil_c$)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος όπως έχουν υπολογισθεί με χρήση διεθνών δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 18

Πίνακας 16: Απόθεμα άνθρακα στο έδαφος

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	SOC _{REF} t.C.ha ⁻¹ (in 0-30cm Depth)	t.C.
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	38	14965.5
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	88	168283.3
<i>Quercus alnifolia</i>	8071.82	38	306729.16
	659.20	88	58009.6
Συνολικό απόθεμα Άνθρακα στο Έδαφος*			547987.6

*Το συνολικό απόθεμα άνθρακα $Soil_c$ μεταφέρθηκε στον Πίνακα 19

Συνολικό αποτέλεσμα μεθόδου με τη χρήση διεθνών δεδομένων

Όπως προκύπτει από το αποτέλεσμα μετά τα βήματα που ακολουθήθηκαν με τις κατευθυντήριες παραμέτρους της εργαλειοθήκης TESSA το συνολικό απόθεμα άνθρακα στους τρεις τύπους οικοτόπων ανέρχεται σε 1.7 Mg Πίνακας 19.

Πίνακας 17: Συνολικό απόθεμα άνθρακα 1^{ης} μεθόδου

Τύπος Οικοτόπου	Δεξαμενές Άνθρακα				Σύνολο (tC) / Οικότοπο
	AGB _c (tC)	BGB _c (tC)	DOM _c (tC)	Soil _c (tC)	
<i>Cedrus brevifolia</i>	23629.8	6852.6	7994.7	14965.5	53442.6
<i>Pinus nigra</i>	114738.6	33274.2	42070.8	168283.3	358366.9
<i>Quercus alnifolia</i>	523861.2	157158.4	246214.8	364738.8	1291973.0
Σύνολο (tC) / Δεξαμενή άνθρακα	662229.6	197285.2	296280.3	547987.6	

Συνολικό απόθεμα Άνθρακα 1703783.5

Ανάλυση Αποτελεσμάτων με τη χρήση διεθνών δεδομένων

Στην ανάλυση αποτελεσμάτων Πίνακας 20 παρουσιάζεται το συνολικό απόθεμα άνθρακα ανά εκτάριο ξεχωριστά για κάθε τύπο οικοτόπου και δεξαμενής άνθρακα.

Πίνακας 18: Ανάλυση αποτελεσμάτων 1^{ης} μεθόδου

		Δεξαμενές Άνθρακα			
Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	AGB _c (tC)	BGB _c (tC)	DOM _c (tC)	Soil _c (tC)
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	23629.8	6852.6	7994.7	14965.5
Σύνολο (tC) /ha		60 tCha ⁻¹	17.4 tCha ⁻¹	20.3 tCha ⁻¹	38 tCha ⁻¹
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	114738.6	33274.2	42070.8	168283.3
Σύνολο (tC) /ha		60 tCha ⁻¹	17.4 tCha ⁻¹	22 tCha ⁻¹	88 tCha ⁻¹
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	523861.2	157158.4	246214.8	364738.8
Σύνολο (tC) /ha		60 tCha ⁻¹	18 tCha ⁻¹	28.2 tCha ⁻¹	41.7 tCha ⁻¹

4.2 Αποτελέσματα μεθόδου εκτίμησης άνθρακα με χρήση τοπικών δεδομένων πεδίου

Σύμφωνα με τις διαδικασίες και τα δεδομένα πεδίου καθώς και βιβλιογραφικών μελετών οι οποίες ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα από τα τρία δασικά οικοσυστήματα προέκυψαν τα αποτελέσματα στον Πίνακα 27 τα οποία αναλυτικά έχουν ως εξής:

Απόθεμα άνθρακα υπέργειας βιομάζας (AGB_c)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος της υπέργειας βιομάζας άνθρακα όπως έχουν υπολογισθεί με δεδομένα πεδίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 21 και η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις εκτάσεις των τριών περιοχών μελέτης στον Πίνακα 22.

Πίνακας 19: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα σύμφωνα με τις εκτάσεις του Τμήματος Δασών για το έτος 2020

	Κατηγορία βλάστησης	
	Άλλα Κωνοφόρα	Πλατύφυλλα
Ευλαπόθεμα (m ³)	1,830,336	230,469
(BEF)	1.3	1.3
(WD)	0.46	0.46
Βιομάζα (AGBt)	1,094,541	137,820
(CF)	0.47	0.47
AGBc (tC)	514,434	64,776
Έκταση (ha)	33,671	1,130
Σύνολο (tC) ha⁻¹	28,2 tCha⁻¹	57,3 tCha⁻¹

Πίνακας 20: Απόθεμα άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα των περιοχών μελέτης

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	(tC) ha ⁻¹	AGB _c (tC)
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	28,2	11106,0
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	28,2	53927,1
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	57,3	500287,4

Απόθεμα άνθρακα υπόγειας βιομάζας (BGB_c)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος άνθρακα της υπόγειας βιομάζας (κάτω από το έδαφος) όπως έχουν υπολογισθεί με δεδομένα πεδίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 23 και η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις εκτάσεις των τριών περιοχών μελέτης στον Πίνακα 24.

Πίνακας 21: Απόθεμα άνθρακα στην υπόγεια βιομάζα σύμφωνα με τις εκτάσεις του Τμήματος Δασών για το έτος 2020

	Κατηγορία βλάστησης	
	Άλλα Κωνοφόρα	Πλατύφυλλα
Βιομάζα (AGBt)	1,094,541	137,820
(R)	0.28	0.28
Βιομάζα (BGBt)	306,471	38,589
(CF)	0.47	0.47
BGBc (tC)	144,041	18,136
Έκταση (ha)	33,671	1,130
Σύνολο (tC) ha⁻¹	4.3 tCha⁻¹	16 tCha⁻¹

Πίνακας 22: Απόθεμα άνθρακα στην υπόγεια βιομάζα των περιοχών μελέτης

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	(tC) ha ⁻¹	BGB _c (tC)
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	4,3	1693,4
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	4,3	8222,9
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	16	139696,3

Απόθεμα άνθρακα στο έδαφος (*Soil_c*)

Τα αποτελέσματα του αποθέματος άνθρακα στο έδαφος όπως έχουν υπολογισθεί με τη μέτρηση του άνθρακα μέσω του χάρτη εδαφικού άνθρακα της Κύπρου (Camera, Zomeni, Jay, Noller, *et al.*, 2017; Zissimos *et al.*, 2019) παρουσιάζονται στον Πίνακα 25 και τα αποτέλεσμα σε απόθεμα άνθρακα των περιοχών μελέτης στο έδαφος στον Πίνακα 26

Πίνακας 23: Αποτέλεσμα απόθεμα άνθρακα στο έδαφος των εκτάσεων που έχουν επιλεγεί από το χάρτη άνθρακα

Τύπος Οικοτόπου	Επιλεγείσα Έκταση (ha)	Soil _c (tC)	SOC t.C.ha ⁻¹ (in 0-25cm Depth)
<i>Cedrus brevifolia</i>	326.7	55300	169.2
<i>Pinus nigra</i>	1927.5	487836	253.1
<i>Quercus alnifolia</i>	8581.32	1097243	127.8

(Camera, Zomeni, Jay S Noller, *et al.*, 2017)

Πίνακας 24: Αποτέλεσμα απόθεμα άνθρακα στο έδαφος των περιοχών μελέτης

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	SOC t.C.ha ⁻¹ (in 0-25cm Depth)	t.C
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	169.2	66636.1
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	253.1	484005.6
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	127.8	1115824.4

Συνολικό αποτέλεσμα μεθόδου εκτίμησης άνθρακα με δεδομένα πεδίου

Όπως προκύπτει από το αποτέλεσμα μετά τα βήματα που ακολουθήθηκαν με τη χρήση δεδομένων πεδίου καθώς και τις βιβλιογραφικές μελέτες το συνολικό απόθεμα άνθρακα στους τρεις τύπους οικοτόπων ανέρχεται σε 2.38 Mg Πίνακας 27.

Πίνακας 25: Συνολικό απόθεμα άνθρακα 2^{ης} μεθόδου

Τύπος Οικοτόπου	Δεξαμενές Άνθρακα				Σύνολο (tC) / Οικότοπο
	AGB _c (tC)	BGB _c (tC)	DOM _c (tC)	Soil _c (tC)	
<i>Cedrus brevifolia</i>	11106.0	1693.4	Μη Διαθέσιμο	66636.1	79435.5
<i>Pinus nigra</i>	53927.1	8222.9	Μη Διαθέσιμο	484005.6	546156.6
<i>Quercus alnifolia</i>	500287.4	139696.3	Μη Διαθέσιμο	1115824.4	1755808.1
Σύνολο (tC) / Δεξαμενή άνθρακα	565320.5	149612.6	---	1666466.1	

Συνολικό απόθεμα Άνθρακα 2381399.2

Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στην ανάλυση αποτελεσμάτων Πίνακας 28 παρουσιάζεται το συνολικό απόθεμα άνθρακα ανά εκτάριο ξεχωριστά για κάθε τύπο οικοτόπου και δεξαμενής άνθρακα.

Πίνακας 26: Ανάλυση αποτελεσμάτων 2^{ης} μεθόδου

Τύπος Οικοτόπου	Έκταση (ha)	Δεξαμενές Άνθρακα			
		AGB _c (tC)	BGB _c (tC)	DOM _c (tC)	Soil _c (tC)
<i>Cedrus brevifolia</i>	393.83	11106.0	1693.4	Μη Διαθέσιμο	66636.1
Σύνολο (tC) /ha		28.2 tCha⁻¹	4.3 tCha⁻¹	---	169.2tCha⁻¹
<i>Pinus nigra</i>	1912.31	53927.1	8222.9	Μη Διαθέσιμο	484005.6
Σύνολο (tC) /ha		28.2 tCha⁻¹	4.3 tCha⁻¹	---	253.1tCha⁻¹
<i>Quercus alnifolia</i>	8731.02	500287.4	139696.3	Μη Διαθέσιμο	1115824.4
Σύνολο (tC) /ha		57.3 tCha⁻¹	16 tCha⁻¹	---	127.8tCha⁻¹

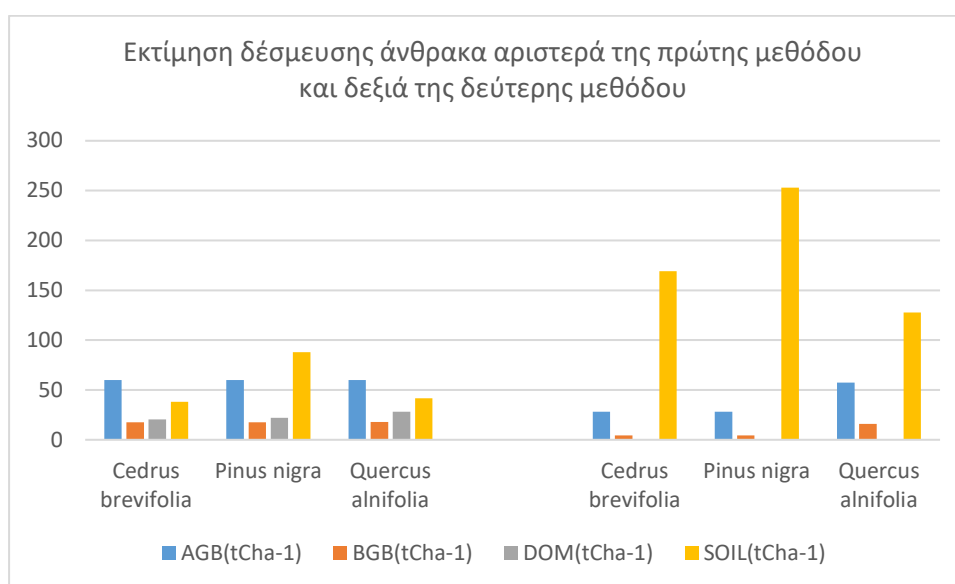
4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων δύο μεθόδων

Συσχέτιση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 29 παρουσιάζεται η ποσότητα άνθρακα ανά εκτάριο για τις δύο μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Πίνακας 27: Απόθεμα άνθρακα ανά εκτάριο για κάθε κατηγορία βλάστησης και δεξαμενής άνθρακα

Τύπος οικοτόπου	Δεξαμενές Άνθρακα				
	AGB _c (tC)	BGB _c (tC)	DOM _c (tC)	Soil _c (tC)	Total (tC)
1^η Μέθοδος εκτίμησης Άνθρακα με χρήση διεθνών δεδομένων					
<i>Cedrus brevifolia</i>	60tCha ⁻¹	17.4tCha ⁻¹	20.3tCha ⁻¹	38tCha ⁻¹	135.7tCha ⁻¹
<i>Pinus nigra</i>	60tCha ⁻¹	17.4tCha ⁻¹	22tCha ⁻¹	88tCha ⁻¹	187.4tCha ⁻¹
<i>Quercus alnifolia</i>	60tCha ⁻¹	18tCha ⁻¹	28.2tCha ⁻¹	41.7tCha ⁻¹	147.9tCha ⁻¹
2^η Μέθοδος εκτίμησης Άνθρακα σύμφωνα με χρήση διαθέσιμων τοπικών δεδομένων					
<i>Cedrus brevifolia</i>	28,2tCha ⁻¹	4,3tCha ⁻¹	n.a	169.2tCha ⁻¹	201.7tCha ⁻¹
<i>Pinus nigra</i>	28,2tCha ⁻¹	4,3tCha ⁻¹	n.a	253.1tCha ⁻¹	285.6tCha ⁻¹
<i>Quercus alnifolia</i>	57,3tCha ⁻¹	16tCha ⁻¹	n.a	127.8tCha ⁻¹	201.1tCha ⁻¹



Διάγραμμα 4: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της δέσμευσης άνθρακα για τις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν

Στον Πίνακα 30 παρουσιάζεται το ποσοστό άνθρακα ανά εκτάριο για κάθε τύπο οικοτόπου το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία διαγραμμάτων σύγκρισης για τις δύο μεθόδους στο Παράρτημα Α3.

Πίνακας 28: Απόθεμα και ποσοστό άνθρακα για κάθε είδος και κάθε δεξαμενή άνθρακα ανά εκτάριο

	AGBc (t.C.ha ⁻¹)	BGBc (t.C.ha ⁻¹)	DOM c (t.C.ha ⁻¹)	Soilc (t.C.ha ⁻¹)	Total (t.C.ha ⁻¹)
1η Μέθοδος εκτίμησης Άνθρακα με χρήση διεθνών δεδομένων					
<i>Cedrus brevifolia</i>	60.00	17.40	20.30	38.00	135.70
%	44.2	12.8	15.0	28.0	
<i>Pinus nigra</i>	60.00	17.40	22.00	88.00	187.40
%	32.0	9.3	11.7	47.0	
<i>Quercus alnifolia</i>	60.00	18.00	28.20	41.70	147.90
%	40.6	12.2	19.1	28.2	
Total (tC)	180.0	52.8	70.5	167.7	
2η Μέθοδος εκτίμησης Άνθρακα σύμφωνα με χρήση διαθέσιμων τοπικών δεδομένων					
<i>Cedrus brevifolia</i>	28.20	4.30	0.00	169.20	201.70
%	14.0	2.1		83.9	
<i>Pinus nigra</i>	28.20	4.30	0.00	253.10	285.60
%	9.9	1.5		88.6	
<i>Quercus alnifolia</i>	57.30	16.00	0.00	127.80	201.10
%	28.5	8.0		63.6	
Total (tC)	113.70	24.60	0.00	550.10	

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα-Συζήτηση-Εισηγήσεις

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα σε τρία διαφορετικού τύπου δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των συμπερασμάτων και συζήτηση για κάθε αποτέλεσμα ξεχωριστά.

5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υλοποιήθηκε για να γίνει εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων στην εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα σε δασικά οικοσυστήματα της Κύπρου. Η άντληση των πληροφοριών για την υλοποίηση των δύο μεθόδων εκτίμησης του άνθρακα, αφορούσαν τους ίδιους τύπους οικοτόπων και για τις δύο μεθόδους. Ένα από τα ερευνητικά ερωτήματα που είχαν τεθεί στην αρχή της διατριβής ήταν κατά πόσο από την εφαρμογή δύο διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης άνθρακα προκύπτουν ίδια αποτελέσματα. Ως μια πρώτη εκτίμηση, μετά την εφαρμογή των δύο μεθόδων έχει διαπιστωθεί ότι το συνολικό αποτέλεσμα άνθρακα, έχει διαφορά από τη μία μέθοδο στην άλλη σε ποσοστό ίσο με 33,17% με αποτέλεσμα τη διαπίστωση ότι με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης άνθρακα τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι τα ίδια.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του άνθρακα αφορούσε τις τέσσερις δεξαμενές άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων. Στην πρώτη μέθοδο

κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από διεθνείς πηγές χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Tessa (Peñ *et al.*, 2013) και παράχθηκαν αποτελέσματα και για τις τέσσερις δεξαμενές άνθρακα, της υπέργειας και υπόγειας βιομάζας, της νεκρής οργανικής ύλης και του εδάφους. Στη διαδικασία εκτίμησης του άνθρακα για τη νεκρή οργανική ύλη υπολογίζονται δεδομένα ξεχωριστά για τα απορρίμματα και το νεκρό ξύλο. Στην περίπτωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δεν έχουν περιληφθεί δεδομένα για την κατηγορία του νεκρού ξύλου διότι δεν ήταν διαθέσιμα.

Στη δεύτερη μέθοδο για την εκτίμηση του άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν μικρής κλίμακας διαθέσιμα δεδομένα από τοπικές πηγές και παράχθηκαν αποτελέσματα για τις τρεις μόνο δεξαμενές άνθρακα, της υπέργειας, της υπόγειας βιομάζας και του εδάφους. Για τα αποθέματα άνθρακα της νεκρής οργανικής ύλης δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστούν δεδομένα και έτσι οι τιμές θεωρήθηκαν μηδενικές.

Αποτελέσματα αποθέματος άνθρακα ανά είδος οικοτόπου

Το καθεστώς των τριών περιοχών μελέτης οι οποίες έχουν κηρυχθεί ως προστατευόμενες περιοχές τις καθιστά εξαιρετικά σημαντικές ως δεξαμενές άνθρακα. Η ποσοτικοποίηση των αποθεμάτων άνθρακα στη μεγαλύτερη από τις δεξαμενές των οικοσυστημάτων, η οποία είναι το έδαφος, έχει ουσιαστική σημασία στην πραγματική εκτίμηση της συμβολής που έχουν οι προστατευόμενες περιοχές στην αποθήκευση άνθρακα (Canedoli *et al.*, 2020). Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση άνθρακα στο έδαφος στη μελέτη των (Canedoli *et al.*, 2020) «*Evaluation of ecosystem services in a protected mountain area: soil organic carbon stock and biodiversity in alpine forests and grasslands*» αναφέρεται ότι τα μικτά δάση με πλατύφυλλα περιείχαν περισσότερο οργανικό άνθρακα στο έδαφος από ότι τα κωνοφόρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μέσο απόθεμα άνθρακα στο έδαφος των μικτών πλατύφυλλων δασών είναι ψηλότερο κατά 7,89 kg/m² σε σχέση με δάση ερυθρελάτης των οποίων η μέση τιμή σε απόθεμα άνθρακα είναι 3,77kg/m². Στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής διαπιστώθηκε ότι και στις δύο μεθόδους τα ψηλότερα ποσοστά σε άνθρακα στο έδαφος βρίσκονται στην περιοχή του είδους *Pinus nigra* το οποίο κατατάσσεται στην κατηγορία των κωνοφόρων σε αντίθεση με την περιοχή του είδους *Quercus alnifolia* το οποίο κατατάσσεται στα πλατύφυλλα. Στη μελέτη των Canedoli *et al.*, (2020) ως

πλατύφυλλα ορίζονται μικτές συστάδες πλατύφυλλων σε αντίθεση όμως με την περίπτωση του είδους *Quercus alnifolia* η οποία αφορά αμιγή συστάδες του είδους χωρίς ανάμιξη άλλων πλατύφυλλων ειδών.

Ο κάθε τύπος οικοτόπου στις περιοχές μελέτης έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ένα από τα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν κατά πόσο τα διαφορετικά δασικά οικοσυστήματα έχουν διαφορετικό δυναμικό δέσμευσης άνθρακα. Σε μελέτη εκτίμησης της δέσμευσης άνθρακα που πραγματοποιήθηκε με το εργαλείο CO2FIX σε δεκαέξι διαφορετικούς τύπους δασικών οικοσυστημάτων σε όλη την Ευρώπη διαπιστώθηκε ότι η διακύμανση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών δασικών οικοσυστημάτων είναι πολύ μεγάλη και κυμαίνεται από 4,1 μέχρι 1,15 MgCha⁻¹ με μέση τιμή τα 2,98 MgCha⁻¹ ανά έτος (Nabuurs and Schelhaas, 2002). Στην ίδια μελέτη έχει διαπιστωθεί ότι η διαφορά στα ποσοστά δέσμευσης άνθρακα μεταξύ των διαφορετικών τύπων δασικών οικοσυστημάτων διαφοροποιούνται σε σχέση με την ηλικία των συστάδων του κάθε είδους. Ο ρυθμός διαφοράς στα ποσοστά άνθρακα διαφορετικών δασικών οικοσυστημάτων κορυφώνεται στα 38 περίπου χρόνια αφότου γίνει δάσωση μιας περιοχής και μετά από περίπου 200 χρόνια επέρχεται κορεσμός ο οποίος κυμαίνεται από 1,4 μέχρι 0,13 MgCha⁻¹. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή και οι τρεις τύποι δασικών οικοσυστημάτων αποτελούνται από ώριμα δένδρα και όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα οι ποσότητες άνθρακα του κάθε τύπου οικοτόπου διαφέρουν. Στην περίπτωση της εκτίμησης άνθρακα με χρήση δεδομένων από διεθνή πηγές η οποία εφαρμόστηκε στην πρώτη μέθοδο μεταξύ των δύο κωνοφόρων ειδών *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* προκύπτει διαφορά σε ποσοστό δέσμευσης άνθρακα για κάθε είδος κατά 32% ενώ η διαφορά σε ποσοστό δέσμευσης άνθρακα μεταξύ του είδους *Quercus alnifolia* με *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* σε ποσοστό ίσο με 8,6% και 23,5% αντίστοιχα. Στην περίπτωση της εκτίμησης άνθρακα με χρήση τοπικών διαθέσιμων δεδομένων η οποία εφαρμόστηκε στη δεύτερη μέθοδο μεταξύ των δύο κωνοφόρων ειδών *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* προκύπτει διαφορά σε ποσοστό δέσμευσης άνθρακα για κάθε είδος κατά 34,4% ενώ η διαφορά δέσμευσης άνθρακα μεταξύ των ειδών *Quercus alnifolia* με *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* σε ποσοστό ίσο με 0,3% και 34,7% αντίστοιχα.

Σε μελέτη που έχει γίνει από τους Torres *et al.*, (2021) αναφέρεται ότι τα κωνοφόρα είναι ταχέως αυξανόμενα είδη τα οποία αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα στο ξύλο και στο έδαφος. Όπως αναφέρουν στη μελέτη τους στην Ιταλία τα μεσογειακά πεύκα (*Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *P. pinea*) τα οποία ανήκουν στα κωνοφόρα είδη αποθηκεύουν μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα από τα πλατύφυλλα είδη. Αναφέρουν επίσης ότι στην Ισπανία η περισσότερη από τη μισή ποσότητα άνθρακα που αποθηκεύεται οφείλεται στα κωνοφόρα είδη *P. pinaster* και *P. sylvestris* (del Río *et al.*, 2017). Τα αποτελέσματα των ερευνών αναφέρονται σε συγκεκριμένα είδη της κατηγορίας των κωνοφόρων τα οποία, στη μελέτη των (del Río *et al.*, 2017) περιλαμβάνουν και το είδος *Pinus nigra*. Όπως προκύπτει τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής συνάδουν με το αποτέλεσμα μόνο για το είδος *Pinus nigra* το οποίο έχει την ψηλότερη τιμή άνθρακα ανά εκτάριο. Στην περίπτωση του είδους *Cedrus brevifolia* αν και ανήκει στην κατηγορία των κωνοφόρων το ποσοστό άνθρακα στην πρώτη μέθοδο είναι χαμηλότερο από το είδος *Quercus alnifolia* το οποίο ανήκει στην κατηγορία των πλατύφυλλων, ενώ στη δεύτερη μέθοδο είναι το ποσοστό άνθρακα είναι ψηλότερο κατά ένα δέκατο ανά εκτάριο, ποσοστό το οποίο είναι πολύ μικρό.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα αποτελέσματα της δέσμευσης άνθρακα των δύο μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους τρεις τύπους δασικών οικοσυστημάτων είναι ότι τα διαφορετικού τύπου δασικά οικοσυστήματα έχουν διαφορετικό δυναμικό δέσμευσης άνθρακα.

Αποτελέσματα αποθέματος άνθρακα ανά δεξαμενή άνθρακα των τριών οικοτόπων Όπως έχει αναφερθεί και στο άρθρο 2.4 του Κεφαλαίου 2, της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής η μεγαλύτερη δεξαμενή σε ποσοστό άνθρακα των δασικών οικοσυστημάτων βρίσκεται στην οργανική ύλη του εδάφους. Σε απογραφή των δασών της Ιταλικής χερσονήσου έχει διαπιστωθεί ότι το έδαφος παραμένει η μεγαλύτερη δεξαμενή άνθρακα ανεξαρτήτως υψομέτρου (Gasparini and Di Cosmo, 2015). Συγκεκριμένα, στη μελέτη των δασών της Ιταλίας το 57,6% του οργανικού άνθρακα βρίσκεται στο έδαφος και το 38,1% στην υπέργεια βιομάζα. Σε ότι αφορά τις δύο μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή τα αποτελέσματα της δεύτερης μεθόδου που αφορούσε χρήση δεδομένων από

τοπικές πηγές φαίνεται ότι και στις τρεις περιοχές μελέτης η συγκέντρωση άνθρακα στο έδαφος έχει λάβει τις ψηλότερες τιμές σε ποσοστά της τάξης των 83,9%, 88,6% και 63,6% για τα είδη *Cedrus brevifolia*, *Pinus nigra* και *Quercus alnifolia* αντίστοιχα, σε σχέση με τη συγκέντρωση άνθρακα στην υπέργεια και υπόγεια βιομάζα. Το αποτέλεσμα αυτό συνάδει με τα αποτελέσματα της έρευνας των (Gasparini and Di Cosmo, 2015) όσον αφορά τη δεξαμενή άνθρακα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, όχι όμως στα ποσοστά συγκέντρωσης άνθρακα τα οποία φαίνεται να είναι κατά πολύ πιο ψηλότερα. Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο όπου έχει γίνει χρήση διεθνών δεδομένων η συγκέντρωση άνθρακα στο έδαφος της περιοχής μελέτης του είδους *Pinus nigra* έχει λάβει τιμή σε ποσοστό 47% η οποία είναι ψηλότερη από τη συγκέντρωση άνθρακα στις υπόλοιπες τρεις δεξαμενές της υπέργειας, υπόγειας βιομάζας και της νεκρής οργανικής ύλης. Στις περιπτώσεις των περιοχών μελέτης των ειδών *Cedrus brevifolia* και *Quercus alnifolia* η μεγαλύτερη συγκέντρωση σε άνθρακα παρατηρείτε στη βιομάζα πάνω από το έδαφος με ποσοστά 44,2% και 40,6% αντίστοιχα. Το γεγονός ότι το ποσοστό άνθρακα είναι μεγαλύτερο στη βιομάζα πάνω από το έδαφος στην περίπτωση της πρώτης μεθόδου στην οποία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από διεθνή πηγές έρχεται σε αντίθεση με αρκετές άλλες μελέτες οι οποίες υποστηρίζουν ότι η μεγαλύτερη σε ποσοστό άνθρακα δεξαμενή είναι αυτή του εδάφους (Laiho and Laine, 1997; Ruiz-Peinado *et al.*, 2017).

Στη μελέτη των Gasparini and Di Cosmo, (2015) αναφέρει επίσης ότι τα δάση κωνοφόρων αποθηκεύουν μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα ανά εκτάριο σε σχέση με τα πλατύφυλλα. Η διαπίστωση αυτή ισχύει και στην περίπτωση των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής όπου και στις δύο περιπτώσεις τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε συνολικό άνθρακα έχει το είδος *Pinus nigra* ενώ το είδος *Cedrus brevifolia* παρουσιάζει συγκέντρωση άνθρακα σχεδόν την ίδια με το είδος *Quercus alnifolia* όπως φαίνεται στο αποτέλεσμα της δεύτερης μεθόδου και μεγαλύτερης κατά 12.2tCha¹ στο αποτέλεσμα της πρώτης μεθόδου.

Σε μια προσπάθεια σύγκρισης αποτελεσμάτων τα οποία να προέρχονται από παρόμοιες τοπικές πηγές δεδομένων επιχειρήθηκε η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής με τα αποτελέσματα της μελέτης των (Manolaki and Vogiatzakis, 2017) η οποία έγινε για το Εθνικό Δασικό Πάρκο Ριζοελιάς

στην Κύπρο. Στην εν λόγω μελέτη τα αποτελέσματα από τις δεξαμενές άνθρακα υπέργειας και υπόγειας βιομάζας είναι 349,58 (tC) και 139,83 (tC) αντίστοιχα σε έκταση 14,56 (ha) η οποία αποτελείτο από βελονοειδή είδη φυτών. Όσον αφορά τον άνθρακα στο έδαφος δεν δίνονται αποτελέσματα ενώ ο συνολικός άνθρακας στη νεκρή οργανική ύλη είναι 295,69(tC). Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι ο αποθηκευμένος άνθρακας της υπέργειας βιομάζας υπολογίστηκε στους 24tCha⁻¹, της υπόγειας βιομάζας 9,6tCha⁻¹ και της νεκρής οργανικής ύλης 20,3tCha⁻¹. Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής οι τιμές άνθρακα της υπέργειας και υπόγειας βιομάζας διαφέρουν κατά ελάχιστο και σε ποσοστό μόνο 3,3% από τις τιμές άνθρακα των δύο κωνοφόρων ειδών *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* οι οποίες αφορούν τη δεύτερη μέθοδο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τοπικά δεδομένα πεδίου. Για τη νεκρή οργανική ύλη δεν έχει ληφθεί τιμή άνθρακα στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή για σύγκριση.

Η περιοχή μελέτης των Manolaki and Vogiatzakis, (2017) έχει διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και είδη οικοτόπων από τις περιοχές των οικοτόπων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής όμως επιχειρήθηκε η σύγκριση για να διαφανεί κατά πόσο τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής συμπίπτουν. Οι συνολικές τιμές άνθρακα της υπέργειας και υπόγειας βιομάζας της πρώτης μεθόδου της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής στην οποία χρησιμοποιήθηκαν διεθνή δεδομένα διαφέρουν κατά 61.47% από την μελέτη των (Manolaki and Vogiatzakis, 2017).

Στις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του αποθέματος άνθρακα της υπόγειας βιομάζας έχει εφαρμοστεί ο συντελεστής μετατροπής υπόγειας προς υπέργεια βιομάζα (R). Στην εφαρμογή της πρώτης μεθόδου με τη χρήση δεδομένων παγκόσμιας κλίμακας ο συντελεστής υπόγειας προς υπέργεια βιομάζα καθορίστηκε ίσος με 0,29 για τα δύο είδη κωνοφόρων *Cedrus brevifolia* και *Pinus nigra* και 0,30 για το είδος *Quercus alnifolia*. Στην εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου με τη χρήση μικρής κλίμακας τοπικών δεδομένων πεδίου ο συντελεστής μετατροπής υπόγειας προς υπέργεια βιομάζα καθορίστηκε ίσος με 0,28 και για τα τρία είδη. Το ριζικό σύστημα των δέντρων είναι από τα λιγότερο μελετημένα μέρη

ενός δέντρου λόγω και της δυσκολίας στη μέτρηση σε σχέση με άλλα υπέργεια μέρη όπως ο κορμός, τα κλαδιά κ.α. (Fan *et al.*, 2017). Η ανάγκη για αντιμετώπιση των περιόδων παρατεταμένης ξηρασίας στα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχει προκαλέσει την προσαρμογή των κωνοφόρων ειδών με την ανάπτυξη ριζικού συστήματος ικανού να ανταποκριθεί στις ανάγκες ενός φυτού. Η προσαρμογή αυτή προκαλεί την ανάπτυξη μεγαλύτερης βιομάζας στο ριζικό σύστημα. Ο συντελεστής υπόγειας προς υπέργεια βιομάζα των Μεσογειακών οικοσυστημάτων ίσως να είναι μεγαλύτερος σε σχέση με αυτό που έχει χρησιμοποιηθεί στις δύο μεθόδους λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη προσαρμογής των φυτών για ανάπτυξη μεγαλύτερου ριζικού συστήματος για ικανοποίηση των δένδρων σε νερό (Sarris and Mazza, 2021).

5.2 Συμπεράσματα

Στο τελικό αποτέλεσμα των δύο μεθόδων που έχουν εφαρμοστεί, παρατηρείται ότι η δεύτερη μέθοδος στην οποία χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα δεδομένα από τοπικές πηγές έχει ψηλότερα αποτελέσματα άνθρακα ανά τύπο οικοτόπου σε σχέση με την πρώτη. Για το είδος *Cedrus brevifolia* το συνολικό αποτέλεσμα άνθρακα της πρώτης μεθόδου είναι μεγαλύτερο κατά 48.6% στη δεύτερη μέθοδο. Για το είδος *Pinus nigra* το συνολικό αποτέλεσμα άνθρακα της πρώτης μεθόδου είναι μεγαλύτερο κατά 84.75% στη δεύτερη μέθοδο και για το είδος *Quercus alnifolia* το συνολικό αποτέλεσμα άνθρακα της πρώτης μεθόδου είναι μεγαλύτερο κατά 35.9% στη δεύτερη μέθοδο. Αν ληφθεί υπόψη ότι για τη δεξαμενή άνθρακα της νεκρής οργανικής ύλης στην περίπτωση της δεύτερης μεθόδου οι τιμές είναι μηδενικές η συνολική διαφορά θα ήταν ακόμη μεγαλύτερη αν προστίθετο τιμή για τη νεκρή οργανική ύλη. Όπως προκύπτει, τα αποτελέσματα της μίας μεθόδου από την άλλη διαφοροποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό γεγονός το οποίο οφείλεται κατ' αρχήν στα δεδομένα που εισάγονται σε κάθε μέθοδο και στη συνέχεια στην προσέγγιση και μεθοδολογία που χρησιμοποιείται.

Σύμφωνα με τους (Teobaldelli *et al.*, 2009) οι εκτιμήσεις στα αποθέματα συνδυάζονται συνήθως με υψηλά ποσοστά αβεβαιότητας τα οποία προκύπτουν σε μεγάλο βαθμό από μεθοδολογικά προβλήματα καθώς και περιορισμούς σε διαθεσιμότητα δεδομένων παγκοσμίως. Αναφέρουν επίσης ότι στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες οι απογραφές αερίων του θερμοκηπίου βασίζονται σε μεγάλο

βαθμό ή και αποκλειστικά σε απογραφές των δασών σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Τα δεδομένα που συλλέγονται περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τον όγκο των δένδρων που σχετίζεται με τη βιομάζα η οποία είναι και η πιο σημαντική σχετικά με τις αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα. Μια σημαντική πηγή αβεβαιότητας στις απογραφές των δασών είναι ότι τα δεδομένα που συλλέγονται εστιάζουν στον εμπορικά σημαντικό όγκο και σπάνια περιλαμβάνουν ποσοτικές εκτιμήσεις άλλων συστατικών όπως είναι οι ρίζες, τα κλαδιά, και τα φύλλα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ειδικοί παράγοντες για κάθε χώρα να μην περιλαμβάνονται στις εκτιμήσεις. Στην εφαρμογή των δύο μεθόδων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής όπως έχει αναφερθεί στην πρώτη μέθοδο έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από διεθνή πηγές. Στη δεύτερη μέθοδο για τον υπολογισμό της βιομάζας των τριών ειδών έχουν χρησιμοποιηθεί μικρής κλίμακας διαθέσιμα δεδομένα τα οποία αφορούσαν τις δύο γενικές κατηγορίες που εμπίπτουν τα είδη των κωνοφόρων και των πλατύφυλλων.

5.3 Εισηγήσεις

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ποσοτήτων άνθρακα στα δάση προσδιορίζεται συνήθως από δασικές απογραφές μέσω του υπολογισμού της βιομάζας και την εφαρμογή εξισώσεων σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Η υπέργεια βιομάζα υπολογίζεται μέσω των απογραφών και την εφαρμογή εξισώσεων (Fang *et al.*, 2019) τα αποτελέσματα των οποίων χρησιμοποιούνται έμμεσα για τον υπολογισμό της υπόγειας βιομάζας (Products and Branch, 2006). Για τις δύο δεξαμενές άνθρακα που αποτελούν τη νεκρή οργανική ύλη και τον άνθρακα στο έδαφος ο προσδιορισμός των ποσοτήτων είναι πιο δύσκολος επειδή τα στοιχεία είναι πιο δύσκολο να μετρηθούν και σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο μεταβλητά από άλλα συστατικά. Ωστόσο τα στοιχεία αυτά ενισχύονται σημαντικά κατά τα τελευταία χρόνια (Vesterdal *et al.*, 2013). Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες χωρίς να γίνεται γενίκευση του αντίκτυπου στην αποθήκευση άνθρακα. Από αυτή την άποψη όμως τα ιστορικά αρχεία είναι χρήσιμα για την ανάλυση των επιπτώσεων που προκύπτουν από τις προηγούμενες διαχειριστικές δραστηριότητες στα αποθέματα άνθρακα.

Οι δασικές απογραφές χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση της δέσμευσης άνθρακα, της βιομάζας καθώς και της μεταβολής τους με την πάροδο του χρόνου.

Σύμφωνα με την μελέτη των (Talbot *et al.*, 2014) γίνεται αρκετή συζήτηση για τη διεύρυνση των αναλυτικών μεθόδων για τον υπολογισμό της βιομάζας όμως οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ρυθμού παραγωγής ξύλου δεν έχουν αξιολογηθεί στον ίδιο βαθμό. Αυτό επηρεάζει την αξιολόγηση στις ροές των οικοσυστημάτων με κίνδυνο να προκύψουν ευρύτερες επιπτώσεις στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δεδομένα με παραμετροποίηση μοντέλων ειδικά στις περιπτώσεις αξιολογήσεων δέσμευσης άνθρακα.

Παράρτημα Α1

Πίνακας Α1:SOC οικότοπος *Cedrus brevifolia*

<i>Cedrus brevifolia</i>		
Value	Pixel	Area (m ²)
1.30456	1	108900
1.42962	1	108900
1.44579	1	108900
1.51705	1	108900
1.55181	1	108900
1.58929	1	108900
1.63849	1	108900
1.67377	1	108900
1.67379	1	108900
1.69246	1	108900
1.76979	1	108900
1.77188	1	108900
1.77919	1	108900
1.78871	1	108900
1.8085	1	108900
1.84133	1	108900
1.85064	1	108900
1.86632	1	108900
1.94042	1	108900
1.944	1	108900
1.95127	1	108900
1.97114	1	108900
1.99126	1	108900
2.00785	1	108900
2.04025	1	108900
2.0687	1	108900
2.09103	1	108900
2.20631	1	108900
2.51773	1	108900
2.5779	1	108900
55.3009		3267000(m²)
		326.7(ha)

Πίνακας Α2:SOC οικότοπος *Pinus nigra*

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
0.753168	1	108900	1.91127	1	108900
0.935011	1	108900	1.936	1	108900
1.16723	1	108900	1.94083	1	108900
1.20098	1	108900	1.97499	1	108900
1.26344	1	108900	1.98668	1	108900
1.32913	1	108900	2.01173	1	108900
1.32999	1	108900	2.01243	1	108900
1.34135	1	108900	2.02434	1	108900
1.35615	1	108900	2.06808	1	108900
1.37884	1	108900	2.11609	1	108900
1.40264	1	108900	2.13296	1	108900
1.41301	1	108900	2.1366	1	108900
1.41416	1	108900	2.16623	1	108900
1.42968	1	108900	2.18216	1	108900
1.44018	1	108900	2.20143	1	108900
1.44862	1	108900	2.22788	1	108900
1.45528	1	108900	2.26642	1	108900
1.45587	1	108900	2.27454	1	108900
1.47062	1	108900	2.28073	1	108900
1.47267	1	108900	2.33599	1	108900
1.48118	1	108900	2.35799	1	108900
1.49106	1	108900	2.39624	1	108900
1.5053	1	108900	2.4089	1	108900
1.53616	1	108900	2.41145	1	108900
1.57011	1	108900	2.46401	1	108900
1.59787	1	108900	2.46512	1	108900
1.62296	1	108900	2.4676	1	108900
1.62338	1	108900	2.474	1	108900
1.62923	1	108900	2.49028	1	108900
1.63344	1	108900	2.51612	1	108900
1.69854	1	108900	2.52359	1	108900
1.73357	1	108900	2.53619	1	108900
1.74523	1	108900	2.54103	1	108900
1.7551	1	108900	2.57735	1	108900
1.76058	1	108900	2.57856	1	108900
1.79008	1	108900	2.58756	1	108900
1.79535	1	108900	2.58766	1	108900
1.80425	1	108900	2.60079	1	108900
1.82479	1	108900	2.61502	1	108900
1.8254	1	108900	2.6292	1	108900
1.8375	1	108900	2.64483	1	108900
1.8903	1	108900	2.64958	1	108900
1.90489	1	108900	1.89365	1	108900
2.69325	1	108900	3.29463	1	108900
2.70178	1	108900	3.43649	1	108900
2.70204	1	108900	3.44968	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
2.72764	1	108900	3.46024	1	108900
2.77051	1	108900	3.50855	1	108900
2.77096	1	108900	3.52387	1	108900
2.80432	1	108900	3.29852	1	108900
2.80752	1	108900	3.30807	1	108900
2.81923	1	108900	3.31185	1	108900
2.82117	1	108900	3.31436	1	108900
2.82236	1	108900	3.36539	1	108900
2.82407	1	108900	3.53955	1	108900
2.82899	1	108900	3.54592	1	108900
2.84026	1	108900	3.54592	1	108900
2.8596	1	108900	3.56802	1	108900
2.86762	1	108900	3.62627	1	108900
2.88275	1	108900	3.6357	1	108900
2.90128	1	108900	3.65356	1	108900
2.91431	1	108900	3.70637	1	108900
2.94808	1	108900	3.75971	1	108900
2.95212	1	108900	3.76243	1	108900
2.9546	1	108900	3.85294	1	108900
2.96508	1	108900	3.8976	1	108900
2.97443	1	108900	3.96093	1	108900
2.98278	1	108900	4.06115	1	108900
2.98418	1	108900	4.06643	1	108900
2.9932	1	108900	4.0833	1	108900
3.0049	1	108900	4.09582	1	108900
3.01	1	108900	4.12182	1	108900
3.02538	1	108900	4.14936	1	108900
3.03603	1	108900	4.1562	1	108900
3.0397	1	108900	4.16256	1	108900
3.04797	1	108900	4.21025	1	108900
3.07341	1	108900	4.21082	1	108900
3.08835	1	108900	4.24123	1	108900
3.12181	1	108900	4.28854	1	108900
3.14198	1	108900	4.29647	1	108900
3.166	1	108900	4.40302	1	108900
3.1899	1	108900	4.49518	1	108900
3.19073	1	108900	4.70072	1	108900
3.19242	1	108900	4.71581	1	108900
3.19334	1	108900	4.99675	1	108900
3.21858	1	108900	5.00233	1	108900
2.67516	1	108900	3.23588	1	108900
3.25178	1	108900	478.836229		19275300(m²)
5.00422	1	108900			1927.53(ha)
5.02379	1	108900			
3.43397	1	108900			

Πίνακας Α3:SOC οικότοπος *Quercus alnifolia*

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
0.309572	1	108900	0.716516	1	108900
0.33945	1	108900	0.719875	1	108900
0.342237	1	108900	0.720386	1	108900
0.416376	1	108900	0.720812	1	108900
0.419633	1	108900	0.721707	1	108900
0.442984	1	108900	0.723224	1	108900
0.463549	1	108900	0.723499	1	108900
0.519108	1	108900	0.723635	1	108900
0.5282	1	108900	0.725644	1	108900
0.534696	1	108900	0.728912	1	108900
0.559617	1	108900	0.731221	1	108900
0.579472	1	108900	0.737157	1	108900
0.580626	1	108900	0.737759	1	108900
0.614878	1	108900	0.739826	1	108900
0.618087	1	108900	0.740889	1	108900
0.620958	1	108900	0.745304	1	108900
0.621906	1	108900	0.745728	1	108900
0.62555	1	108900	0.753855	1	108900
0.630651	1	108900	0.758258	1	108900
0.636417	1	108900	0.760157	1	108900
0.63776	1	108900	0.761249	1	108900
0.641456	1	108900	0.763467	1	108900
0.645875	1	108900	0.771399	1	108900
0.669382	1	108900	0.777004	1	108900
0.669887	1	108900	0.779494	1	108900
0.687527	1	108900	0.791046	1	108900
0.688301	1	108900	0.791397	1	108900
0.688869	1	108900	0.791622	1	108900
0.692371	1	108900	0.793145	1	108900
0.697432	1	108900	0.798727	1	108900
0.697622	1	108900	0.798765	1	108900
0.698463	1	108900	0.800909	1	108900
0.700752	1	108900	0.800979	1	108900
0.702892	1	108900	0.808368	1	108900
0.708412	1	108900	0.813253	1	108900
0.708681	1	108900	0.813468	1	108900
0.709524	1	108900	0.814052	1	108900
0.714419	1	108900	0.81425	1	108900
0.819591	1	108900	0.984045	1	108900
0.820963	1	108900	0.985077	1	108900
0.828158	1	108900	0.987875	1	108900
0.828199	1	108900	0.989183	1	108900
0.835208	1	108900	0.99569	1	108900
0.83645	1	108900	0.997446	1	108900
0.841159	1	108900	0.998645	1	108900
0.843175	1	108900	0.998698	1	108900
0.843257	1	108900	0.998873	1	108900
0.844912	1	108900	1.00377	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
0.845321	1	108900	1.004	1	108900
0.854732	1	108900	1.00454	1	108900
0.856903	1	108900	1.00679	1	108900
0.862277	1	108900	1.00816	1	108900
0.864618	1	108900	1.01058	1	108900
0.871958	1	108900	1.01074	1	108900
0.874337	1	108900	1.01276	1	108900
0.880528	1	108900	1.01288	1	108900
0.887662	1	108900	1.01616	1	108900
0.888147	1	108900	1.01827	1	108900
0.888378	1	108900	1.01898	1	108900
0.900091	1	108900	1.02005	1	108900
0.903369	1	108900	1.0208	1	108900
0.90355	1	108900	1.02368	1	108900
0.916786	1	108900	1.0237	1	108900
0.918519	1	108900	1.02386	1	108900
0.919199	1	108900	1.02488	1	108900
0.92405	4	435600	1.02537	1	108900
0.924424	1	108900	1.0283	1	108900
0.934132	1	108900	1.02925	1	108900
0.947781	1	108900	1.02998	1	108900
0.949044	1	108900	1.03128	1	108900
0.94968	1	108900	1.03182	1	108900
0.949926	1	108900	1.03297	1	108900
0.957487	1	108900	1.03348	1	108900
0.9639	2	217800	1.03512	1	108900
0.965312	1	108900	1.03659	1	108900
0.969933	1	108900	1.03738	1	108900
0.974559	1	108900	1.03903	1	108900
0.976913	1	108900	1.04104	1	108900
0.977184	1	108900	1.04247	1	108900
0.977488	1	108900	1.04378	1	108900
0.978219	1	108900	1.04513	1	108900
0.983277	1	108900	1.04589	1	108900
1.04724	1	108900	1.10417	1	108900
1.04753	1	108900	1.10479	1	108900
1.04877	1	108900	1.10546	1	108900
1.05191	1	108900	1.106	1	108900
1.05205	1	108900	1.10601	1	108900
1.05392	1	108900	1.10609	1	108900
1.05417	1	108900	1.10866	1	108900
1.05497	1	108900	1.10989	1	108900
1.05517	1	108900	1.11443	1	108900
1.05637	1	108900	1.1149	1	108900
1.05963	1	108900	1.11675	1	108900
1.06236	1	108900	1.11705	1	108900
1.06237	1	108900	1.12017	1	108900
1.06282	1	108900	1.12023	1	108900
1.06363	1	108900	1.12111	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.06632	1	108900	1.12272	1	108900
1.06825	1	108900	1.12296	1	108900
1.07201	1	108900	1.12632	1	108900
1.07386	1	108900	1.12704	1	108900
1.07466	1	108900	1.12888	1	108900
1.07602	1	108900	1.1313	3	326700
1.07611	1	108900	1.13272	1	108900
1.07774	1	108900	1.13577	1	108900
1.07826	1	108900	1.13636	1	108900
1.07924	1	108900	1.13777	1	108900
1.0794	1	108900	1.13897	1	108900
1.08321	1	108900	1.13977	1	108900
1.08334	1	108900	1.14089	1	108900
1.08561	1	108900	1.14157	1	108900
1.08681	1	108900	1.14176	1	108900
1.08708	1	108900	1.14233	1	108900
1.0879	1	108900	1.14353	1	108900
1.08847	1	108900	1.14404	1	108900
1.091	1	108900	1.14571	1	108900
1.09117	1	108900	1.14621	1	108900
1.09145	1	108900	1.14907	1	108900
1.09278	1	108900	1.14981	1	108900
1.09294	1	108900	1.15071	1	108900
1.09633	1	108900	1.1509	1	108900
1.09807	1	108900	1.15112	1	108900
1.10072	1	108900	1.15195	1	108900
1.10072	1	108900	1.15441	1	108900
1.10085	1	108900	1.15534	1	108900
1.10241	1	108900	1.15761	1	108900
1.16004	1	108900	1.20995	1	108900
1.16048	1	108900	1.20996	1	108900
1.16108	1	108900	1.21056	1	108900
1.16434	1	108900	1.21079	1	108900
1.16666	1	108900	1.21115	1	108900
1.16687	1	108900	1.21574	1	108900
1.16737	1	108900	1.21771	1	108900
1.1678	1	108900	1.22029	1	108900
1.1684	1	108900	1.22124	1	108900
1.16886	1	108900	1.22385	1	108900
1.16947	1	108900	1.22596	1	108900
1.17029	1	108900	1.2262	1	108900
1.17539	1	108900	1.22992	1	108900
1.17586	1	108900	1.23061	1	108900
1.17672	1	108900	1.23324	1	108900
1.17892	1	108900	1.23399	1	108900
1.18011	1	108900	1.23434	1	108900
1.18053	1	108900	1.2352	1	108900
1.18143	1	108900	1.23542	1	108900
1.18306	1	108900	1.23673	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.18363	1	108900	1.2396	1	108900
1.18384	1	108900	1.24127	1	108900
1.1889	1	108900	1.2426	1	108900
1.18946	1	108900	1.24298	1	108900
1.18967	1	108900	1.24437	1	108900
1.19365	1	108900	1.24532	1	108900
1.19551	1	108900	1.24631	1	108900
1.19857	1	108900	1.24763	1	108900
1.19884	1	108900	1.24821	1	108900
1.20389	1	108900	1.24992	1	108900
1.20496	1	108900	1.2512	1	108900
1.2058	1	108900	1.25163	1	108900
1.20633	1	108900	1.25396	1	108900
1.20675	1	108900	1.25475	1	108900
1.207	1	108900	1.25707	1	108900
1.20728	1	108900	1.25721	1	108900
1.20744	1	108900	1.25809	1	108900
1.20745	1	108900	1.25816	1	108900
1.20796	1	108900	1.26012	1	108900
1.20796	1	108900	1.26068	1	108900
1.20801	1	108900	1.26357	1	108900
1.20845	1	108900	1.26488	1	108900
1.20885	1	108900	1.26591	1	108900
1.20972	1	108900	1.26687	1	108900
1.26782	1	108900	1.32268	1	108900
1.27081	1	108900	1.32555	1	108900
1.27462	1	108900	1.32686	1	108900
1.27478	1	108900	1.32758	1	108900
1.27496	1	108900	1.32932	1	108900
1.27497	1	108900	1.33112	1	108900
1.27624	1	108900	1.33248	1	108900
1.27653	1	108900	1.3356	1	108900
1.27662	1	108900	1.33636	1	108900
1.28012	1	108900	1.33871	1	108900
1.28025	1	108900	1.33876	1	108900
1.2815	1	108900	1.34293	1	108900
1.28568	1	108900	1.34338	1	108900
1.28574	1	108900	1.344	1	108900
1.28792	1	108900	1.34425	1	108900
1.28958	1	108900	1.34818	1	108900
1.29129	1	108900	1.34949	1	108900
1.29301	1	108900	1.35015	1	108900
1.29417	1	108900	1.35107	1	108900
1.29483	1	108900	1.35369	1	108900
1.29492	1	108900	1.35452	1	108900
1.29501	1	108900	1.3562	1	108900
1.29632	1	108900	1.35694	1	108900
1.29769	1	108900	1.35765	1	108900
1.29792	1	108900	1.36149	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.29971	1	108900	1.36448	1	108900
1.29979	1	108900	1.3648	1	108900
1.29999	1	108900	1.36485	1	108900
1.30089	1	108900	1.36498	1	108900
1.30198	1	108900	1.36544	1	108900
1.30297	1	108900	1.36617	1	108900
1.30453	1	108900	1.36862	1	108900
1.30486	1	108900	1.37057	1	108900
1.3054	1	108900	1.37192	1	108900
1.30659	1	108900	1.37373	1	108900
1.30785	1	108900	1.37505	1	108900
1.30888	1	108900	1.37562	1	108900
1.31022	1	108900	1.37627	1	108900
1.31046	1	108900	1.37932	1	108900
1.31391	1	108900	1.37977	1	108900
1.31762	1	108900	1.38008	1	108900
1.31795	1	108900	1.38021	1	108900
1.31994	1	108900	1.38082	1	108900
1.32072	1	108900	1.38172	1	108900
1.38382	1	108900	1.46167	1	108900
1.38409	1	108900	1.46583	1	108900
1.3843	1	108900	1.46631	1	108900
1.38519	1	108900	1.46784	1	108900
1.38923	1	108900	1.46975	1	108900
1.39133	1	108900	1.47007	1	108900
1.39144	1	108900	1.47188	1	108900
1.39194	1	108900	1.47285	1	108900
1.39243	1	108900	1.47286	1	108900
1.39307	1	108900	1.48078	1	108900
1.39366	1	108900	1.483	1	108900
1.39477	1	108900	1.48413	1	108900
1.39581	1	108900	1.48484	1	108900
1.39592	1	108900	1.48638	1	108900
1.39767	1	108900	1.48696	1	108900
1.40067	1	108900	1.48768	1	108900
1.40359	1	108900	1.48881	1	108900
1.40587	1	108900	1.48937	1	108900
1.40962	1	108900	1.49178	1	108900
1.4098	1	108900	1.496	1	108900
1.41187	1	108900	1.49862	1	108900
1.4145	1	108900	1.50093	1	108900
1.41522	1	108900	1.50638	1	108900
1.41613	1	108900	1.50838	1	108900
1.4166	1	108900	1.50887	1	108900
1.41696	1	108900	1.50993	1	108900
1.41711	1	108900	1.51215	1	108900
1.41865	1	108900	1.51268	1	108900
1.4244	2	217800	1.51361	1	108900
1.4269	1	108900	1.51462	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.43091	1	108900	1.51642	1	108900
1.43117	1	108900	1.51774	1	108900
1.4318	1	108900	1.51788	1	108900
1.43333	1	108900	1.51802	1	108900
1.4344	1	108900	1.51911	1	108900
1.43513	1	108900	1.5206	1	108900
1.4364	1	108900	1.52086	1	108900
1.44184	1	108900	1.52188	1	108900
1.44279	1	108900	1.52205	1	108900
1.44568	1	108900	1.52396	1	108900
1.44663	1	108900	1.52432	1	108900
1.44897	1	108900	1.52636	1	108900
1.45821	1	108900	1.52752	1	108900
1.45984	1	108900	1.52775	3	326700
1.52969	1	108900	1.57971	1	108900
1.53043	1	108900	1.58057	1	108900
1.53064	1	108900	1.58078	1	108900
1.5315	1	108900	1.58204	1	108900
1.53282	1	108900	1.58417	1	108900
1.53398	1	108900	1.58504	1	108900
1.53509	1	108900	1.58576	1	108900
1.53583	1	108900	1.58609	1	108900
1.53705	1	108900	1.58693	1	108900
1.5379	1	108900	1.58746	1	108900
1.53997	1	108900	1.58819	1	108900
1.54015	1	108900	1.58846	1	108900
1.54165	1	108900	1.58883	1	108900
1.54391	1	108900	1.59382	1	108900
1.54402	1	108900	1.6004	1	108900
1.54454	1	108900	1.60189	1	108900
1.54611	1	108900	1.60318	1	108900
1.54635	1	108900	1.60349	1	108900
1.54648	1	108900	1.60391	1	108900
1.54722	1	108900	1.60631	1	108900
1.54732	1	108900	1.60859	1	108900
1.54822	1	108900	1.60894	1	108900
1.54852	1	108900	1.61021	1	108900
1.55219	1	108900	1.61443	1	108900
1.55228	1	108900	1.61447	1	108900
1.5559	1	108900	1.61534	1	108900
1.55752	1	108900	1.61535	2	217800
1.55919	1	108900	1.61632	1	108900
1.56099	1	108900	1.61937	1	108900
1.56147	1	108900	1.62383	1	108900
1.56296	1	108900	1.62435	1	108900
1.56382	1	108900	1.62613	1	108900
1.56464	1	108900	1.63087	1	108900
1.56467	1	108900	1.63276	1	108900
1.56778	1	108900	1.63359	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.57149	1	108900	1.64084	1	108900
1.57467	1	108900	1.64135	1	108900
1.57469	1	108900	1.64432	1	108900
1.57563	1	108900	1.64502	1	108900
1.57592	1	108900	1.64521	1	108900
1.57625	1	108900	1.64647	1	108900
1.57637	1	108900	1.64737	1	108900
1.57728	1	108900	1.65297	1	108900
1.57745	1	108900	1.65568	1	108900
1.65705	1	108900	1.80184	1	108900
1.65906	1	108900	1.80214	1	108900
1.65975	1	108900	1.80999	1	108900
1.66264	1	108900	1.81074	1	108900
1.66369	1	108900	1.8219	1	108900
1.66521	1	108900	1.83048	1	108900
1.66691	1	108900	1.83078	1	108900
1.66746	1	108900	1.84053	1	108900
1.67334	1	108900	1.85188	1	108900
1.67698	1	108900	1.87653	1	108900
1.67961	1	108900	1.88606	1	108900
1.68212	1	108900	1.88798	1	108900
1.68244	1	108900	1.89457	1	108900
1.68627	1	108900	1.89606	1	108900
1.69024	1	108900	1.93283	1	108900
1.69195	1	108900	1.93307	1	108900
1.69925	1	108900	1.95645	1	108900
1.70496	1	108900	1.96535	1	108900
1.70511	1	108900	1.97047	1	108900
1.7065	1	108900	1.97752	1	108900
1.71285	1	108900	1.98173	1	108900
1.71925	1	108900	1.9861	1	108900
1.72284	1	108900	1.99362	1	108900
1.72459	1	108900	1.99506	1	108900
1.73099	1	108900	2.00056	1	108900
1.73103	1	108900	2.01053	1	108900
1.73396	1	108900	2.01244	1	108900
1.73709	1	108900	2.01686	1	108900
1.74031	1	108900	2.0173	1	108900
1.74597	1	108900	2.0341	1	108900
1.75122	1	108900	2.04364	1	108900
1.757	1	108900	2.0629	1	108900
1.75783	1	108900	2.06967	1	108900
1.75876	1	108900	2.07799	1	108900
1.76001	1	108900	2.08002	1	108900
1.76567	1	108900	2.0804	1	108900
1.76964	1	108900	2.08196	1	108900
1.77201	1	108900	2.09629	1	108900
1.77594	1	108900	2.09741	1	108900
1.78034	1	108900	2.12136	1	108900

<i>Pinus nigra</i>					
Value	Pixel	Area (m ²)	Value	Pixel	Area (m ²)
1.78742	1	108900	2.12342	1	108900
1.79166	1	108900	2.12474	1	108900
1.79493	1	108900	2.12675	1	108900
1.7955	1	108900	2.12902	1	108900
2.14473	1	108900	2.41713	1	108900
2.1463	1	108900	2.42383	1	108900
2.14935	1	108900	2.44856	1	108900
2.15281	1	108900	2.46413	1	108900
2.15675	1	108900	2.48258	1	108900
2.16119	1	108900	2.48583	1	108900
2.16277	1	108900	2.50892	1	108900
2.1802	1	108900	2.53878	1	108900
2.18174	1	108900	2.54061	1	108900
2.18424	1	108900	2.56504	1	108900
2.1916	1	108900	2.57819	1	108900
2.21586	1	108900	2.59451	1	108900
2.21751	1	108900	2.60032	1	108900
2.22122	1	108900	2.61325	1	108900
2.22285	1	108900	2.61962	1	108900
2.22442	1	108900	2.62045	1	108900
2.23297	1	108900	2.62074	1	108900
2.23393	1	108900	2.63912	1	108900
2.23647	1	108900	2.6675	1	108900
2.23727	1	108900	2.67362	1	108900
2.24223	1	108900	2.68465	1	108900
2.27035	1	108900	2.72748	1	108900
2.27263	1	108900	2.72951	1	108900
2.27951	1	108900	2.7645	2	217800
2.28205	1	108900	2.78111	1	108900
2.29562	1	108900	2.86545	1	108900
2.30748	1	108900	2.89039	1	108900
2.30756	1	108900	2.90664	1	108900
2.31315	1	108900	2.90865	1	108900
2.31526	1	108900	2.92597	1	108900
2.32861	1	108900	2.96391	1	108900
2.33273	1	108900	2.97324	1	108900
2.33282	1	108900	3.07266	1	108900
2.33531	1	108900	3.08329	1	108900
2.34173	1	108900	3.15441	1	108900
2.34812	1	108900	3.18156	1	108900
2.35469	1	108900	3.18927	1	108900
2.36605	1	108900	3.36729	1	108900
2.39334	1	108900	3.4612	1	108900
2.39426	1	108900	3.4887	1	108900
2.39986	1	108900	4.12851	1	108900
2.40475	3	326700			
			1097.243158		85813200(m²)
					8581.32(ha)

Παράρτημα Α2

Πίνακες κατηγοριοποίησης ποσοτήτων άνθρακα για παραγωγή χαρτών άνθρακα για κάθε τύπο οικοτόπου

<i>Cedrus brevifolia</i>									
Carbon scale		AGB ΔΔ	AGB ΤΔ	BGB ΔΔ	BGB ΤΔ	DOM ΔΔ	DOM ΤΔ	SOIL ΔΔ	SOIL ΤΔ
0	0						0		
1 - 20	1			1	1				
21 - 40	2		2			2		2	
41 - 60	3	3							
61 - 80	4								
81 - 100	5								
101 - 120	6								
121 - 140	7								
141 - 160	8								
161 - 180	9								9
181 - 200	10								
201 - 220	11								
221 - 240	12								
241 - 260	13								

ΔΔ= Διεθνή Δεδομένα (Πρώτη μέθοδος)

ΤΔ= Τοπικά Δεδομένα (Δεύτερη μέθοδος)

<i>Pinus nigra</i>									
Carbon scale		AGB ΔΔ	AGB ΤΔ	BGB ΔΔ	BGB ΤΔ	DOM ΔΔ	DOM ΤΔ	SOIL ΔΔ	SOIL ΤΔ
0	0						0		
1 - 20	1			1	1				
21 - 40	2		2			2			
41 - 60	3	3							
61 - 80	4								
81 - 100	5							5	
101 - 120	6								
121 - 140	7								
141 - 160	8								
161 - 180	9								
181 - 200	10								
201 - 220	11								
221 - 240	12								
241 - 260	13								13

ΔΔ= Διεθνή Δεδομένα (Πρώτη μέθοδος)

ΤΔ= Τοπικά Δεδομένα (Δεύτερη μέθοδος)

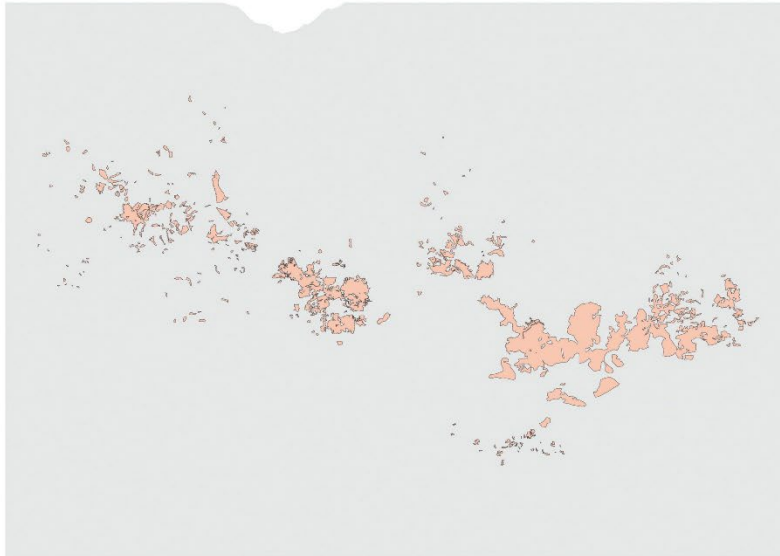
<i>Quercus alnifolia</i>									
Carbon scale		AGB ΔΔ	AGB ΤΔ	BGB ΔΔ	BGB ΤΔ	DOM ΔΔ	DOM ΤΔ	SOIL ΔΔ	SOIL ΤΔ
0	0						0		
1 - 20	1			1	1				
21 - 40	2					2			
41 - 60	3	3	3					3	
61 - 80	4								
81 - 100	5								
101 - 120	6								
121 - 140	7								7
141 - 160	8								
161 - 180	9								
181 - 200	10								
201 - 220	11								
221 - 240	12								
241 - 260	13								

ΔΔ= Διεθνή Δεδομένα (Πρώτη μέθοδος)

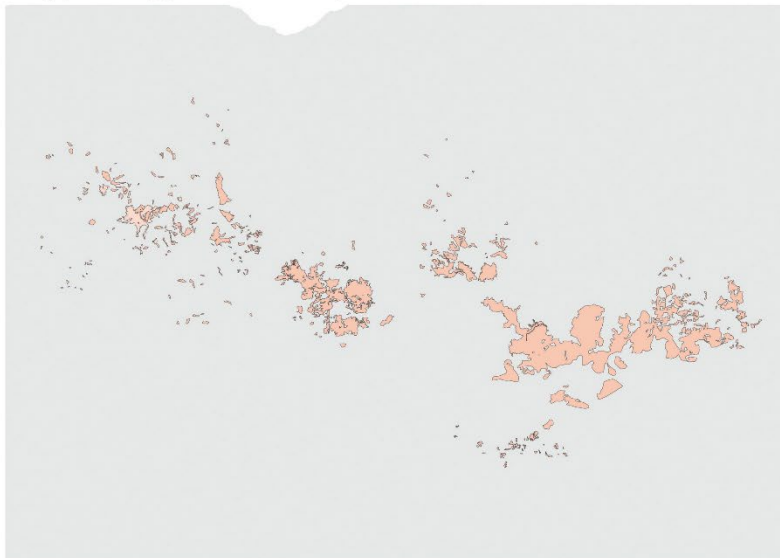
ΤΔ= Τοπικά Δεδομένα (Δεύτερη μέθοδος)

Χάρτης άνθρακα υπέργειας βιομάζας (AGB) των περιοχών μελέτης

1η μέθοδος με διεθνή δεδομένα



2η μέθοδος με τοπικά δεδομένα πεδίου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΕΛΛΙΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΥΠΡΟΥ

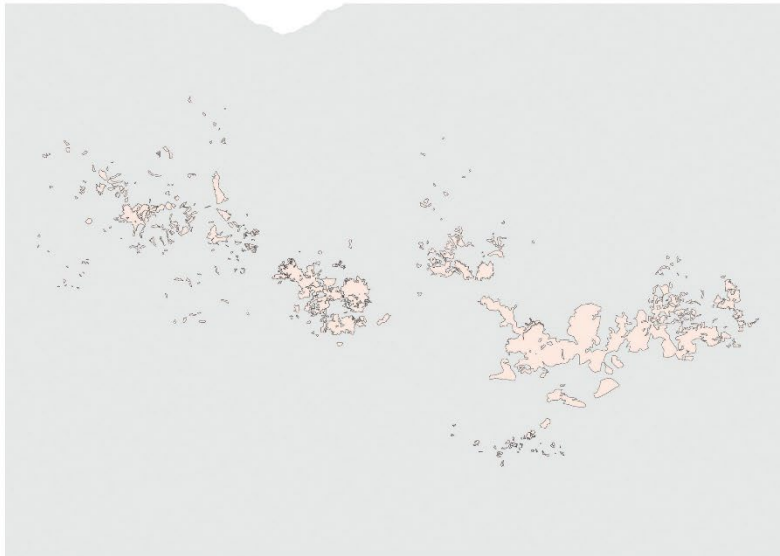


ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

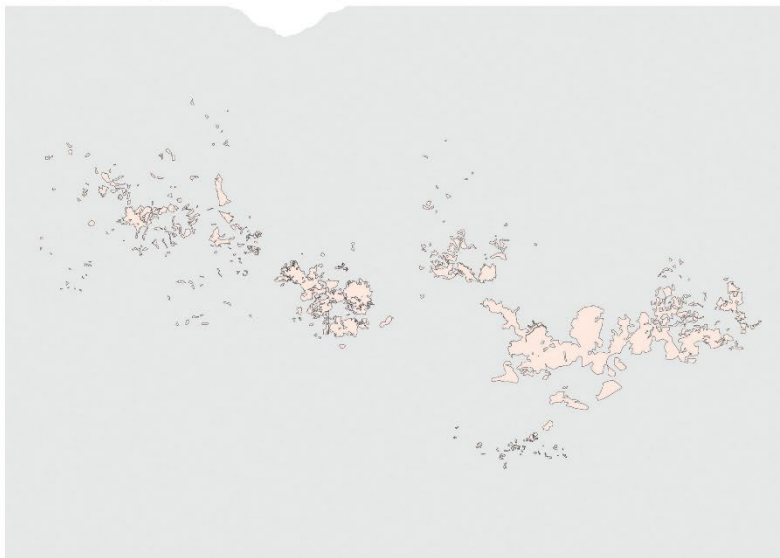


Χάρτης άνθρακα υπόγειας βιομάζας (BGB) των περιοχών μελέτης

1η μέθοδος με διεθνή δεδομένα



2η μέθοδος με τοπικά δεδομένα πεδίου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΕΛΛΙΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΥΠΡΟΥ

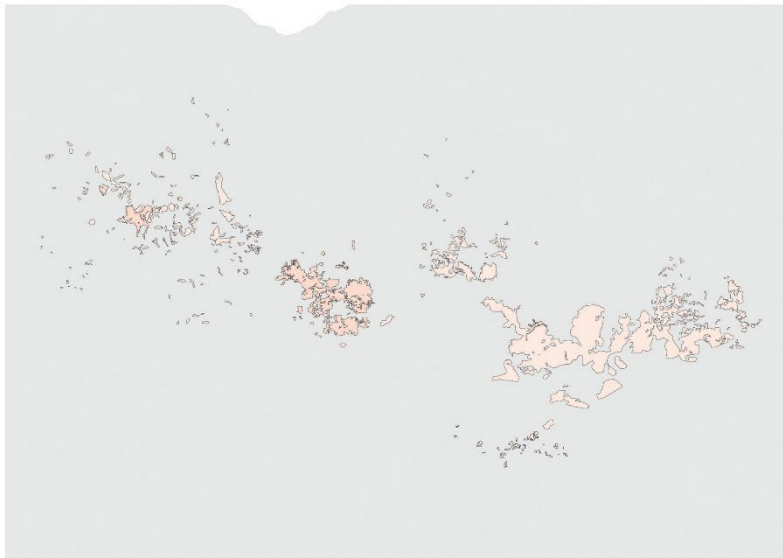


ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Χάρτης άνθρακα νεκρής οργανικής ύλης (DOM) των περιοχών μελέτης

1η μέθοδος με διεθνή δεδομένα



2η μέθοδος με τοπικά δεδομένα πεδίου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΕΛΛΙΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΥΠΡΟΥ

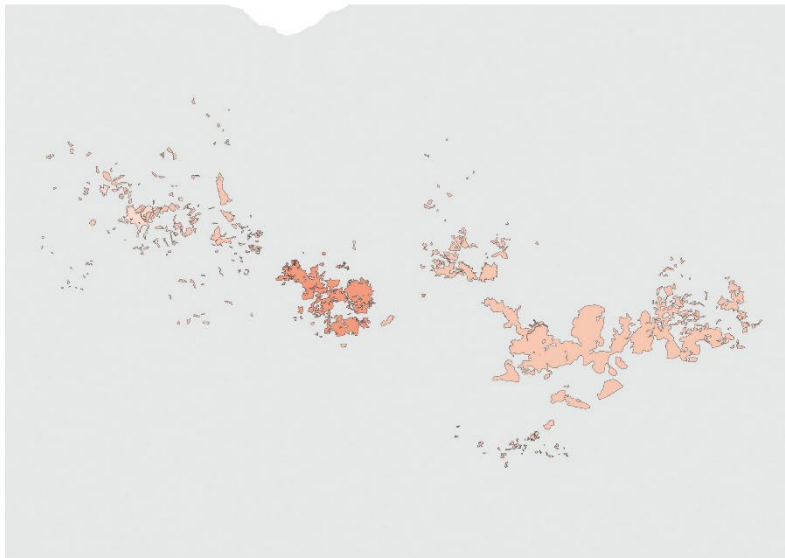


ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

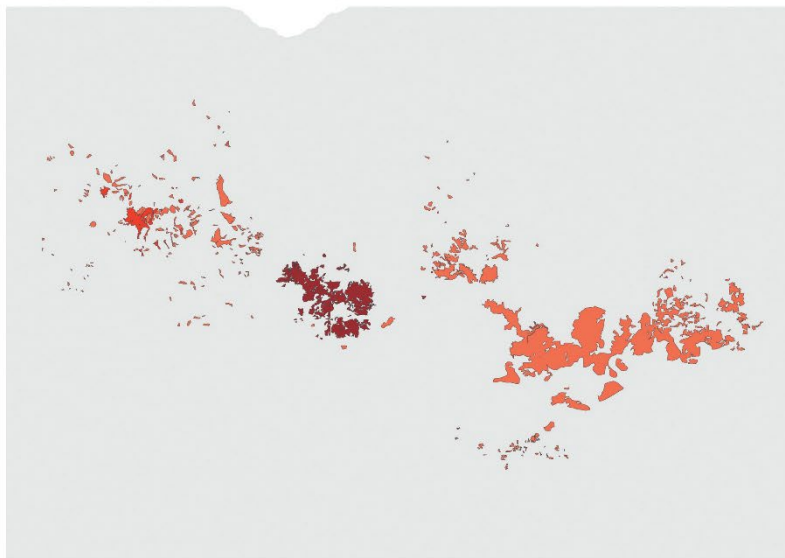


Χάρτης άνθρακα εδάφους(SOC) των περιοχών μελέτης

1η μέθοδος με διεθνή δεδομένα



2η μέθοδος με τοπικά δεδομένα πεδίου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΕΛΛΙΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΥΠΡΟΥ



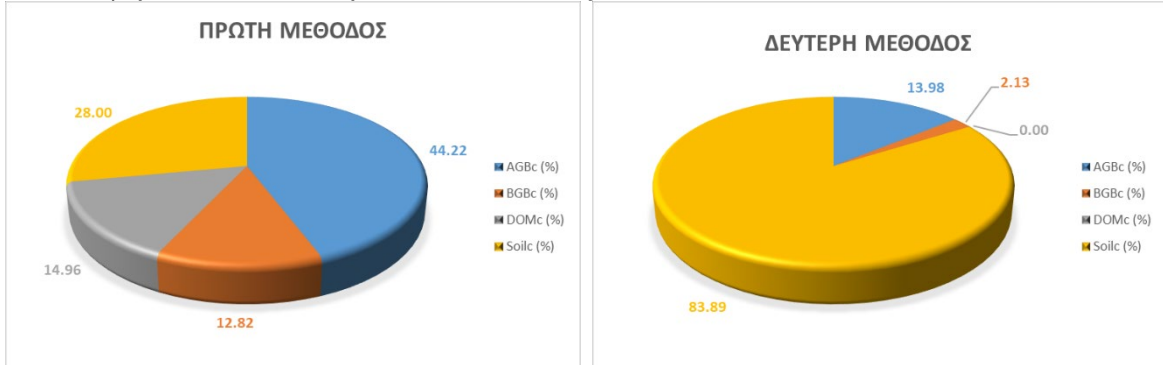
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



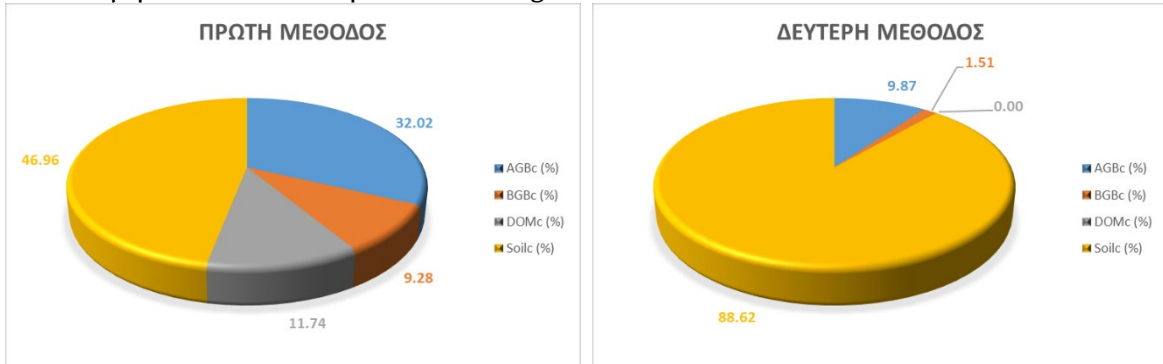
Παράρτημα Α3

Συγκριτικά αποτελέσματα ποσοστού άνθρακα ανά τύπο οικοτόπου

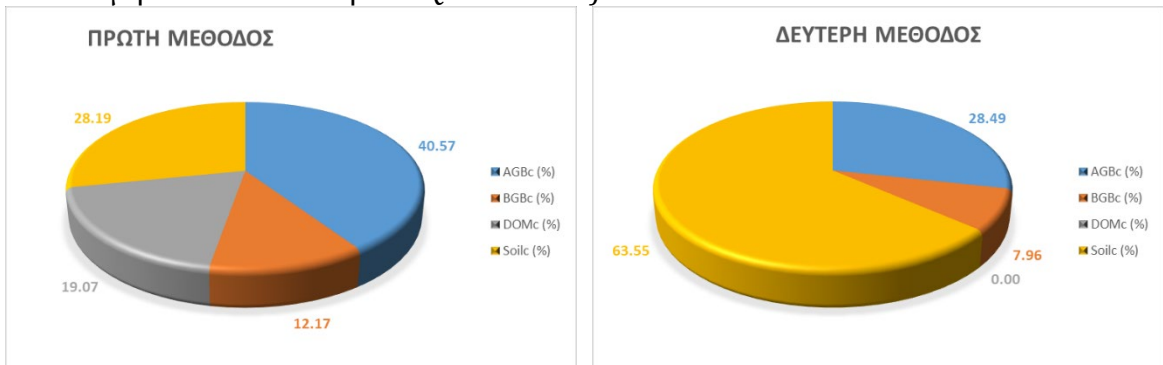
Κατανομή ποσοστού άνθρακα *Cedrus brevifolia*



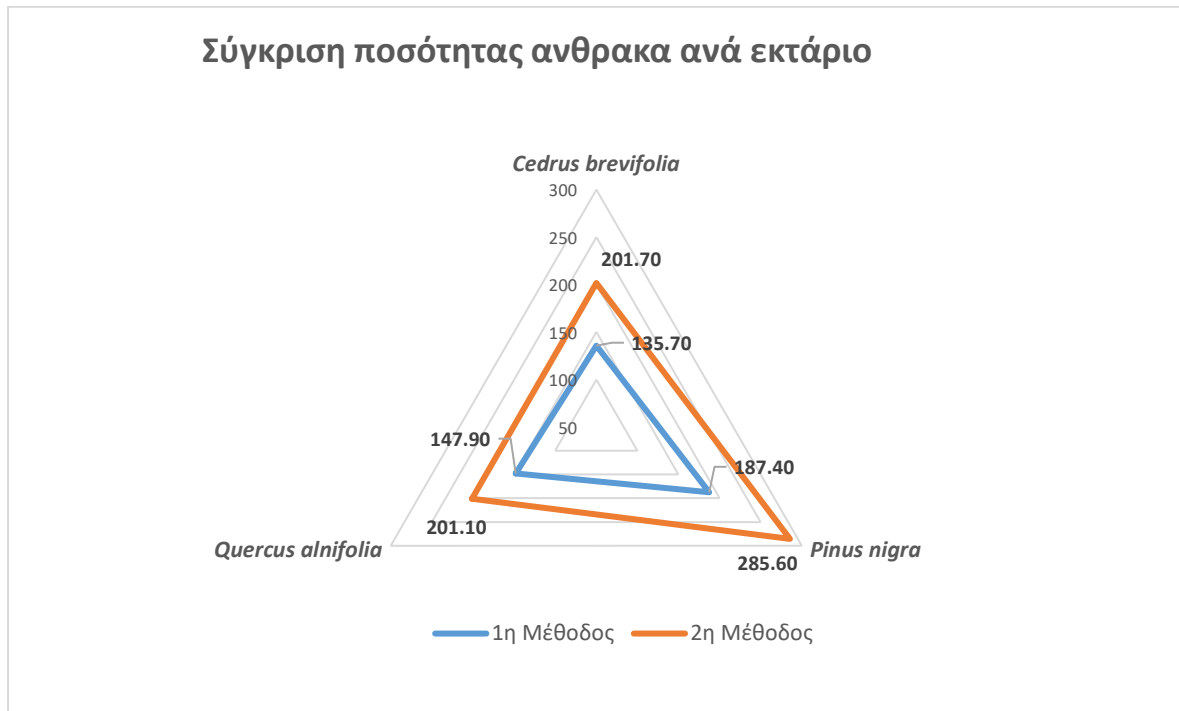
Κατανομή ποσοστού άνθρακα *Pinus nigra*



Κατανομή ποσοστού άνθρακα *Quercus alnifolia*



Σύγκριση των δύο μεθόδων σε ποσότητα άνθρακα ανά εκτάριο



Βιβλιογραφία

- Anderegg, W. R. L. *et al.* (2012) 'The roles of hydraulic and carbon stress in a widespread climate-induced forest die-off', 109(1). doi: 10.1073/pnas.1107891109.
- Anwar, M. A., Nasreen, S. and Tiwari, A. K. (2021) 'Forestation, renewable energy and environmental quality: Empirical evidence from Belt and Road Initiative economies', *Journal of Environmental Management*, 291(January), p. 112684. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112684.
- Bagstad, K. *et al.* (2016) 'Modeling the effects of urban expansion on natural capital stocks and ecosystem service flows : A case study in the Puget Sound , Washington , USA', (May). doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.01.004.
- Beckerman, W and Pasek, J. (2001) *Hand Book of Biodiversity Valuation*.
- Bernal, B., Murray, L. T. and Pearson, T. R. H. (2018) 'Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities', *Carbon Balance and Management*. doi: 10.1186/s13021-018-0110-8.
- Biological Diversity (2001) 'The value of forest ecosystems 4'.
- Biological Diversity (2021) *Biodiversity Facts*. Available at: <https://www.cbd.int/countries/profile/?country=eur> (Accessed: 22 April 2022).
- Black, C. K., Davis, S. C. and Hudiburg, T. W. (2017) 'Elevated CO₂ and temperature increase soil C losses from a soybean – maize ecosystem', pp. 435–445. doi: 10.1111/gcb.13378.
- Braat, L. C. and Groot, R. De (2012) 'The ecosystem services agenda : bridging the worlds of natural science and economics , conservation and development , and public and private policy', *Ecosystem Services*, 1(1), pp. 4–15. doi: 10.1016/j.ecoser.2012.07.011.
- Broadmeadow, S. and Nisbet, T. (2010) *Opportunity Mapping for Woodland to Reduce Flooding in the Yorkshire and the Humber Region*.
- Burkhard, B. *et al.* (2009) 'Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments', *Landscape Online*, 15(1), pp. 1–22. doi: 10.3097/LO.200915.
- Button, G. (2000) 'Considerations in evaluating the cost--effectiveness of

environmental health interventions’.

Camera, C., Zomeni, Z., Noller, Jay S., *et al.* (2017) ‘A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization’, *Geoderma*, 285, pp. 35–49. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.09.019.

Camera, C., Zomeni, Z., Noller, Jay S., *et al.* (2017) ‘Geoderma A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus : A digital soil mapping optimization’, *Geoderma*, 285, pp. 35–49. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.09.019.

Canadell, J. G. *et al.* (2007) ‘Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks’, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(47), pp. 18866–18870. doi: 10.1073/pnas.0702737104.

Canadell, J. G. *et al.* (2010) ‘Interactions of the carbon cycle, human activity, and the climate system: A research portfolio’, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), pp. 301–311. doi: 10.1016/j.cosust.2010.08.003.

Canedoli, C. *et al.* (2020) ‘Evaluation of ecosystem services in a protected mountain area: Soil organic carbon stock and biodiversity in alpine forests and grasslands’, *Ecosystem Services*, 44(August). doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101135.

Cantarello, E., Newton, A. C. and Hill, R. A. (2011) ‘Potential effects of future land-use change on regional carbon stocks in the UK’, *Environmental Science and Policy*, 14(1), pp. 40–52. doi: 10.1016/j.envsci.2010.10.001.

Cao, L. *et al.* (2015) ‘Grass hedge effects on controlling soil loss from concentrated flow: A case study in the red soil region of China’, *Soil and Tillage Research*, 148, pp. 97–105. doi: 10.1016/j.still.2014.12.009.

Chazdon, R. L. *et al.* (2016) ‘When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration’, *Ambio*, 45(5), pp. 538–550. doi: 10.1007/s13280-016-0772-y.

Claret, C., Metzger, M. J. and Kettunen, M. (2020) ‘Understanding the integration of ecosystem services and natural capital in Scottish policy’, *Environmental Science and Policy*, 88(September 2017), pp. 32–38. doi: 10.1016/j.envsci.2018.05.019.

Commission of the European Communities (2005) ‘Reporting on the implementation of the EU Forestry Strategy’.

Convention, T. and Diversity, B. (2020) ‘Living in harmony with nature Dry and Sub-Humid Lands’.

da Costa, N. K. R. *et al.* (2017) *Ichthyofauna of Ceará-Mirim river basin, Rio grande do norte state, Northeastern Brazil*, *ZooKeys*. doi: 10.3897/zookeys.715.13865.

Costanza, R. *et al.* (1998) 'The value of ecosystem services : putting the issues in perspective', 25, pp. 67–72.

Crivellaro, A. and Schweingruber, F. H. (2013) *Atlas of Wood , Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs*.

Dating, R. and Features, R. (2001) 'Radiocarbon dating', i.

Diversity, B. (2001) 'The value of forest ecosystems 4', *Diversity*, (February), p. 67. Available at: <http://www.biodiv.org/doc/publications/cbd-ts-04.pdf>.

Dubey, S. *et al.* (2021) 'Regional sustainable development of renewable natural resources using Net Primary Productivity on a global scale', *Ecological Indicators*, 127, p. 107768. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107768.

Enescu, C. M. *et al.* (2016) 'Pinus nigra in Europe : distribution , habitat , usage and threats', pp. 126–127.

Englund, O., Berndes, G. and Cederberg, C. (2017) 'How to analyse ecosystem services in landscapes — A systematic review', *Ecological Indicators*, 73, pp. 492–504. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.10.009.

European Environment Agency (2022) *Biodiversity Information System for Europe*. Available at: <https://biodiversity.europa.eu/countries/cyprus> (Accessed: 14 February 2022).

Fahey, T. J. *et al.* (2010) 'Forest carbon storage: Ecology, management, and policy', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(5), pp. 245–252. doi: 10.1890/080169.

Fan, Y. *et al.* (2017) 'Hydrologic regulation of plant rooting depth', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(40), pp. 10572–10577. doi: 10.1073/pnas.1712381114.

Fang, J. *et al.* (2019) 'Forest biomass carbon sinks in East Asia , with special reference to the relative contributions of forest expansion and forest growth', (2014), pp. 2019–2030. doi: 10.1111/gcb.12512.

FAO (2020) *Global Forest Resources Assessment 2020 (FRA 2020)*. Available at: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/> (Accessed: 18 February 2022).

FAO Forestry Department (2015) 'Guide for country reporting for FRA 2015'.

Farrell, E. P. *et al.* (2000) 'European forest ecosystems: Building the future on the

legacy of the past', *Forest Ecology and Management*, 132(1), pp. 5–20. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00375-3.

Flannigan, M. D. *et al.* (2006) 'Forest fires and climate change in the 21ST century', *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(4), pp. 847–859. doi: 10.1007/s11027-005-9020-7.

Forest, R. (2016) 'Chapter 4 - Habitats', (November).

Foundation, C. D. R. (2020) *Main report, Reforming China's Healthcare System*. doi: 10.4324/9781315184487-1.

Gasparini, P. and Di Cosmo, L. (2015) 'Forest carbon in Italian forests: Stocks, inherent variability and predictability using NFI data', *Forest Ecology and Management*, 337, pp. 186–195. doi: 10.1016/j.foreco.2014.11.012.

Gaucher, C. *et al.* (2015) *Interaction of recombinant octameric hemoglobin with endothelial cells*, *Comptes Rendus - Biologies*. doi: 10.1016/j.crv.2014.11.004.

Gómez-Baggethun, E. *et al.* (2010) 'The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes', *Ecological Economics*, 69(6), pp. 1209–1218. doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.11.007.

Groot, R. De *et al.* (2012) 'Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units', 1, pp. 50–61.

de Groot, R. S. (1987) 'Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics', *The Environmentalist*, 7(2), pp. 105–109. doi: 10.1007/BF02240292.

Guo, L. B. and Gifford, R. M. (2002) 'Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis', *Global Change Biology*, 8(4), pp. 345–360. doi: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x.

Herrero, A., Rigling, A. and Zamora, R. (2013) 'Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*', *Forest Ecology and Management*, 308, pp. 50–61. doi: 10.1016/j.foreco.2013.07.034.

Hodgson, P. E. (2010) *Energy, the Environment and Climate Change*.

Initiative, C. C. (2019) *What benefits do community forests provide, and to whom? A rapid assessment of ecosystem services from a Himalayan forest, Nepal*. Available at: <https://www.cambridgeconservation.org/resource/what-benefits-do-community-forests-provide-and-to-whom-a-rapid-assessment-of-ecosystem-services-from-a-himalayan-forest-nepal/> (Accessed: 28 January 2022).

IPBES (2019) *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity*

and ecosystem services, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Available at:

<https://zenodo.org/record/3553579#.YfmYTerMI2w>.

IPCC (2022) *Climate Zones*. Available at:

<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lulucf/ipcc-classifications/ipcc-climate-zones/> (Accessed: 18 April 2022).

Ishana Thapa, Stuart H.M. Butchart, H. G. and Alison J. Stattersfield, D. H. L. T. and J. C. B. (2022) 'Using information on ecosystem services in Nepal to inform biodiversity conservation and local to national decision-making', 50(June 2013), pp. 147–155. doi: 10.1017/S0030605314000088.

Johnson, D. W. and Curtis, P. S. (2001) 'Effects of forest management on soil C and N storage: Meta analysis', *Forest Ecology and Management*, 140(2–3), pp. 227–238. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00282-6.

Kell, D. B. (2012) 'Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: Why and how', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1595), pp. 1589–1597. doi: 10.1098/rstb.2011.0244.

Kolström, M. *et al.* (2011) 'Reviewing the Science and Implementation of Climate Change Adaptation Measures in European Forestry', (August), pp. 961–982. doi: 10.3390/f2040961.

Kounnamas, C. and Andreou, M. (2022) 'Mapping and assessment of ecosystem services at Troodos National Forest Park in Cyprus', 1, pp. 1–23. doi: 10.3897/oneeco.7.e77584.

Kremen, C. (2005) 'IDEAS AND Managing ecosystem services : what do we need to know about their ecology ?', pp. 468–479. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x.

Laiho, R. and Laine, J. (1997) 'Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland'.

Lake, P. S. (2013) 'Resistance, Resilience and Restoration', *Ecological Management and Restoration*, 14(1), pp. 20–24. doi: 10.1111/emr.12016.

Lal, R. (2004) 'Soil carbon sequestration to mitigate climate change', *Geoderma*, 123(1–2), pp. 1–22. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032.

Law, B. E. *et al.* (2014) 'Forest sector carbon management , measurement and verification , and discussion of policy related to climate change Forest sector carbon

management , measurement and verification , and discussion of policy related to climate change', 3004. doi: 10.4155/cmt.10.40.

Liu, W. Y., Chiang, Y. H. and Lin, C. C. (2022) 'Adopting renewable energies to meet the carbon reduction target: Is forest carbon sequestration cheaper?', *Energy*, 246, p. 123328. doi: 10.1016/j.energy.2022.123328.

Loizides, M. (2011) 'QUERCUS ALNIFOLIA : and its fungi', 12(3), pp. 81–88. doi: 10.1016/j.fl.

Maes, J. *et al.* (2015) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services Trends in ecosystems and ecosystem - JRC report number JRC94889*. doi: 10.2788/341839.

Manolaki, P. and Vogiatzakis, I. N. (2017) 'Ecosystem services in a peri-urban protected area in Cyprus: A rapid appraisal', *Nature Conservation*, 22, pp. 129–146. doi: 10.3897/natureconservation.22.13840.

Mateo, M. A. (2015) 'Why Measure Carbon Stocks 15', pp. 15–24.

Messier, C. and Puettmann, K. J. (2011) 'Forests as complex adaptive systems: implications for forest management and modelling', *L'Italia Forestale e Montana*, 66(3), pp. 249–258. doi: 10.4129/ifm.2011.3.11.

Michaelides, S., Evripidou, P. and Kallos, G. (1998) 'Monitoring and predicting Saharan Desert dust events in the eastern Mediterranean', 2, pp. 274–279.

Milios, E. *et al.* (2021) 'Assessment of How Natural Stand Structure for Narrow Endemic Cedrus brevifolia Henry Supports Silvicultural Treatments for Its Sustainable Assessment of How Natural Stand Structure for Narrow Endemic Cedrus brevifolia Henry Supports Silvicultural Treatmen', (October). doi: 10.15177/seefor.21-09.

Morris, J. and Brien, E. O. (2011) 'Urban Forestry & Urban Greening Encouraging healthy outdoor activity amongst under-represented groups : An evaluation of the Active England woodland projects', *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(4), pp. 323–333. doi: 10.1016/j.ufug.2011.05.006.

Nabuurs, G. J. and Schelhaas, M. J. (2002) 'Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX', 1, pp. 213–223.

Natura 2000 Network Viewer (2022). Available at: <https://natura2000.eea.europa.eu/> (Accessed: 12 April 2022).

Neugarten, R. A. *et al.* (2018) *Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage sites, and protected areas, Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services:*

guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage sites, and protected areas.

doi: 10.2305/iucn.ch.2018.pag.28.en.

Nijnik, M. and Mather, A. (2008) 'Landscape and Urban Planning Analyzing public preferences concerning woodland development in rural landscapes in Scotland', 86, pp. 267–275. doi: 10.1016/j.landurbplan.2008.03.007.

Pachauri, R. K. (2014) *Climate Change 2014 Synthesis Report*.

Peh, K. S. H. *et al.* (2013) 'TESSA: A toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance', *Ecosystem Services*, 5(2013), pp. 51–57. doi: 10.1016/j.ecoser.2013.06.003.

Peled, Y. *et al.* (2020) 'Incorporating insurance value into ecosystem services assessments: Mitigation of ecosystem users' welfare uncertainty through biological control', *Ecosystem Services*, 46(July), p. 101192. doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101192.

Physical, T. and Basis, S. (2007) 'Climate Change 2007'.

Potschin, M. B. and Haines-Young, R. H. (2011) 'Ecosystem services: Exploring a geographical perspective', *Progress in Physical Geography*, 35(5), pp. 575–594. doi: 10.1177/0309133311423172.

Powers, E. M. *et al.* (2013) 'Post-fire management regimes affect carbon sequestration and storage in a Sierra Nevada mixed conifer forest', *Forest Ecology and Management*, 291, pp. 268–277. doi: 10.1016/j.foreco.2012.07.038.

Preiner, M. and Martin, W. F. (2021) 'Life in a carbon dioxide world', *Nature*, 592(7856), pp. 688–689. doi: 10.1038/d41586-021-00977-1.

Products, F. and Branch, S. (2006) 'Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes', pp. 84–96. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x.

Pryor, S. C. (2014) *Climate Change in the Midwest: Impacts, Risks, Vulnerability, and Adaptation*.

Retana, J., Espelta, J. M. and Ordo, J. L. (2005) 'Effects of tree size , crown damage , and tree location on post-fire survival and cone production of *Pinus nigra* trees', 206, pp. 109–117. doi: 10.1016/j.foreco.2004.10.067.

del Río, M. *et al.* (2017) 'Mediterranean Pine Forests: Management Effects on Carbon Stocks', pp. 301–327. doi: 10.1007/978-3-319-28250-3_15.

Rodríguez-Loinaz, G. and Palacios-Agundez, I. (2022) 'Teaching ecosystem services: a pathway to improve students' argumentation in favour of nature conservation and sustainable development?', *Journal of Biological Education*, 00(00), pp. 1–22. doi:

10.1080/00219266.2021.2017322.

Ruiz-Benito, P. *et al.* (2014) 'Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests', *Global Ecology and Biogeography*, 23(3), pp. 311–322. doi: 10.1111/geb.12126.

Ruiz-Peinado, R. *et al.* (2017) 'Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review', *Forest Systems*, 26(2). doi: 10.5424/fs/2017262-11205.

Saarikoski, H. *et al.* (2018) 'Institutional challenges in putting ecosystem service knowledge in practice', *Ecosystem Services*, 29(July 2017), pp. 579–598. doi: 10.1016/j.ecoser.2017.07.019.

Sánchez, J. J. *et al.* (2021) 'Valuing the impacts of forest disturbances on ecosystem services: An examination of recreation and climate regulation services in U.S. national forests', *Trees, Forests and People*, 5(February). doi: 10.1016/j.tfp.2021.100123.

Sarris, D. and Mazza, G. (2021) 'Mediterranean Pine Root Systems Under Drought', pp. 129–140. doi: 10.1007/978-3-030-63625-8_8.

Serrano-Ortiz, P. *et al.* (2011) 'Post-fire salvage logging reduces carbon sequestration in Mediterranean coniferous forest', *Forest Ecology and Management*, 262(12), pp. 2287–2296. doi: 10.1016/j.foreco.2011.08.023.

Society, I. D. (2022) *Trees and Shrubs Online*. Available at: <https://treesandshrubsonline.org/articles/quercus/quercus-alnifolia/> (Accessed: 19 February 2022).

Sullivan, S. (2018) 'On " Natural Capital ", " Fairy Tales " and Ideology On " Natural Capital ", " Fairy Tales " and Ideology', (March 2017). doi: 10.1111/dech.12293.

Talbot, J. *et al.* (2014) 'Methods to estimate aboveground wood productivity from long-term forest inventory plots', *Forest Ecology and Management*, 320, pp. 30–38. doi: 10.1016/j.foreco.2014.02.021.

Teobaldelli, M. *et al.* (2009) 'Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index', *Forest Ecology and Management*, 257(3), pp. 1004–1013. doi: 10.1016/j.foreco.2008.11.002.

Thomas, C. D. (2011) 'Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities', *Trends in Ecology and Evolution*, 26(5), pp. 216–221. doi: 10.1016/j.tree.2011.02.006.

Torres, I. *et al.* (2021) 'Ecosystem Services Provided by Pine Forests', (October), pp.

617–629. doi: 10.1007/978-3-030-63625-8_29.

Tsintides, T. Christodoulou, C. S. Delipetrou, P. Georghiou, K. (2007) *The red data book of the flora of Cyprus*.

Vesterdal, L. *et al.* (2013) 'Forest Ecology and Management Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests?', *Forest Ecology and Management*, 309, pp. 4–18. doi: 10.1016/j.foreco.2013.01.017.

Vogiatzakis, I. N. *et al.* (2020) 'Towards implementing Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services in Cyprus : A first set of indicators for ecosystem management'. doi: 10.3897/oneeco.5.e47715.

Vogiatzakis, I. N., Pungetti, G. and Mannion, A. (2008) *Mediterranean Island Landscapes*.

Vucetich, J. A. *et al.* (2000) 'Carbon pools and ecosystem properties along a latitudinal gradient in northern Scots pine (*Pinus sylvestris*) forests', *Forest Ecology and Management*, 136(1–3), pp. 135–145. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00288-1.

Wittmer, H. (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)*.

Yang, Y. *et al.* (2020) 'Direct and indirect losses of natural habitat caused by future urban expansion in the transnational area of Changbai Mountain', *Sustainable Cities and Society*, 63(April), p. 102487. doi: 10.1016/j.scs.2020.102487.

Zissimos, A. M. *et al.* (2019) 'Spatial distribution and controls on organic and inorganic carbon in the soils of Cyprus', *Journal of Geochemical Exploration*, 196(February 2017), pp. 95–104. doi: 10.1016/j.gexplo.2018.10.005.

Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2009) 'ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟΣ'.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2010) 'ΠΡΑΣΙΝΗ ΒΙΒΛΟΣ'.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019) 'Επισκόπηση της εφαρμογής της περιβαλλοντικής πολιτικής 2019'.

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2019) *Ουδετερότητα του άνθρακα και πώς μπορεί να επιτευχθεί έως το 2050*. Available at:

<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/klimatiki-allagi/20190926STO62270/ti-einai-i-oudeterotita-tou-anthraka-kai-pos-mporei-na-epiteuchthei-eos-to-2050> (Accessed: 15 March 2022).

Κοινοτήτων, Σ. Ε. (1992) *Οδηγία 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας, 21/5/1992*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/LSU/?uri=celex%3A31992L0043>

(Accessed: 12 April 2022).

Συμβουλίου, Ψ. του (1999) 'Δασική Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης', pp. 1–4.

Τμήμα Δασών (2019) *Χλωρίδα*. Available at:

http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/fd65_gr/fd65_gr?OpenDocument (Accessed: 16 February 2022).

Τμήμα Δασών (2020) *Ετήσιες Εκθέσεις Τμήματος Δασών*. Available at:

http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/fd06_gr/fd06_gr?OpenDocument (Accessed: 29 April 2022).

Τμήμα Δασών (2022) *Πανίδα*. Available at:

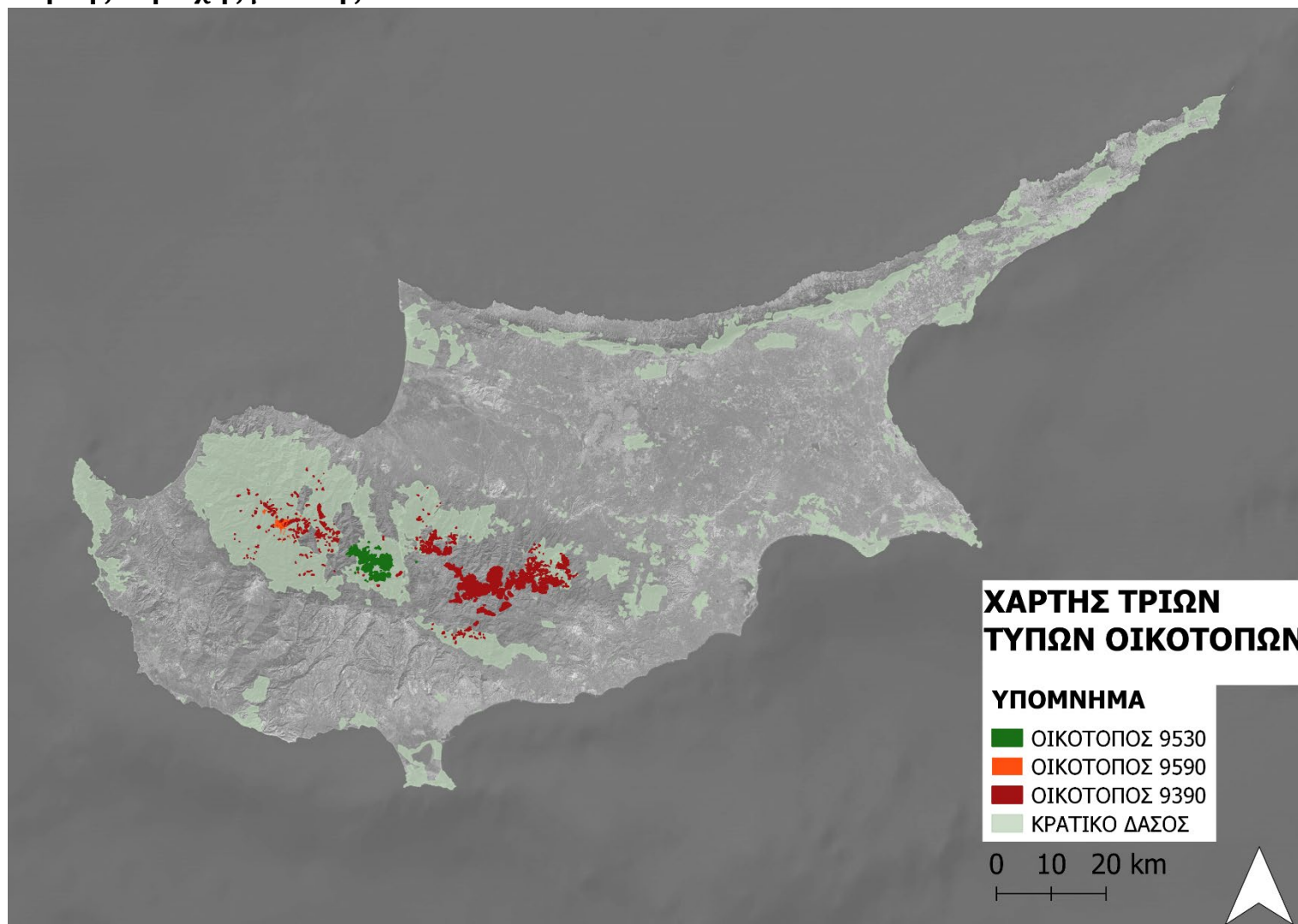
http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/fd66_gr/fd66_gr?OpenDocument (Accessed: 9 March 2022).

Τμήμα Μετεωρολογίας (2022) *Κλιματολογικές Πληροφορίες*. Available at:

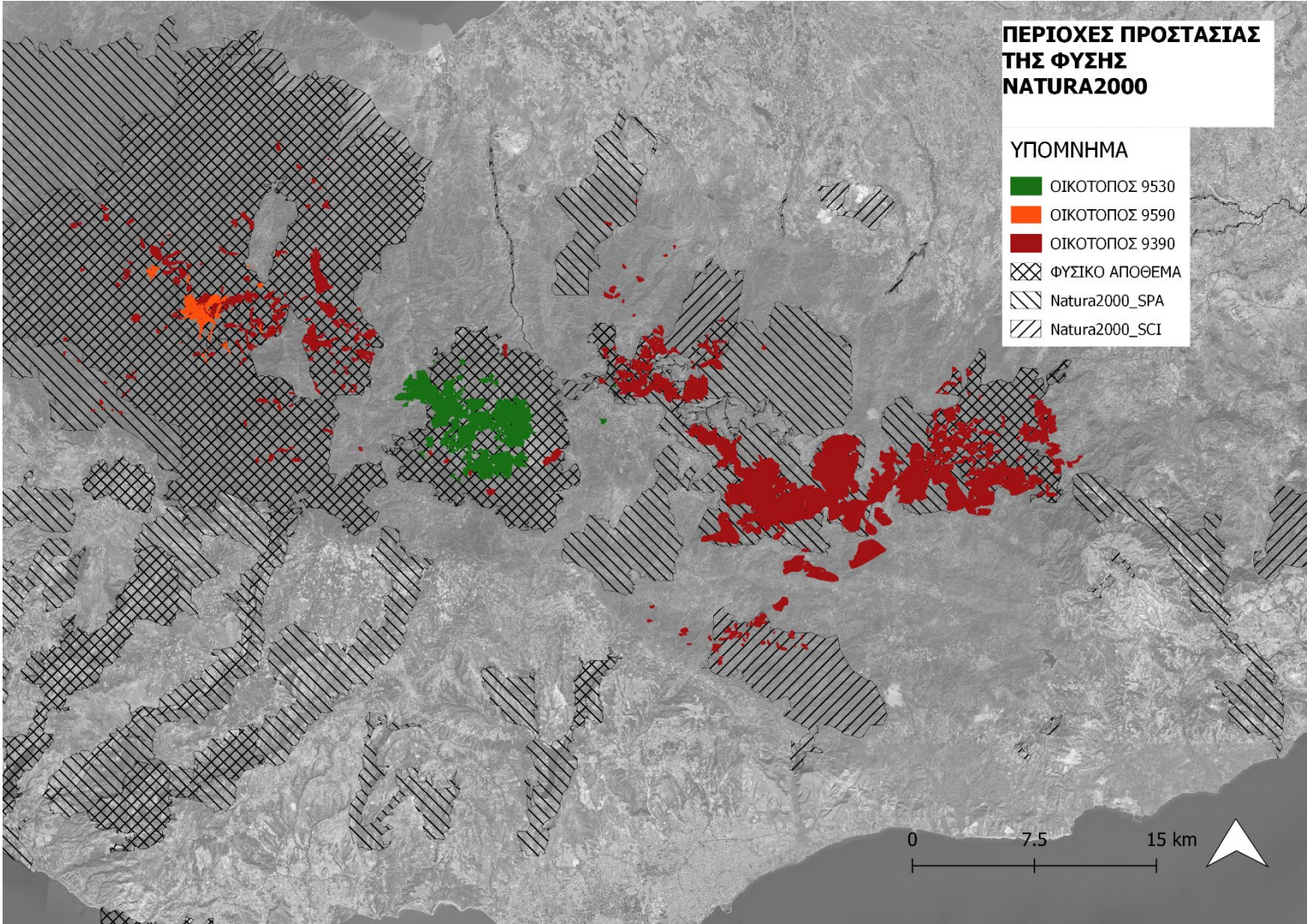
<http://www.moa.gov.cy/moa/dm/dm.nsf/home/home?openform> (Accessed: 20 April 2022).

Τμήμα Περιβάλλοντος (2019) 'Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης για τη Βιοποικιλότητα στην Κύπρο'.

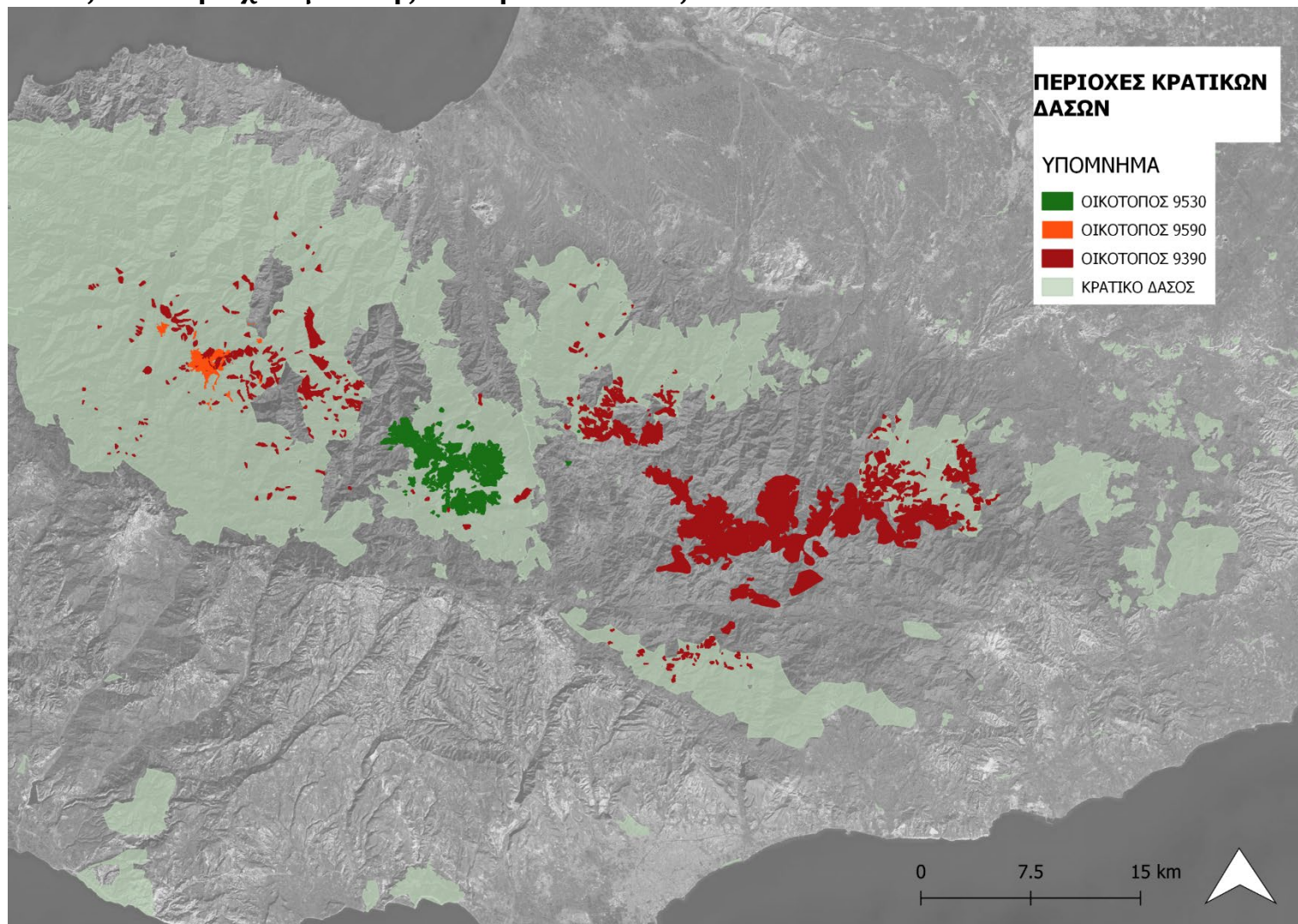
Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής μελέτης



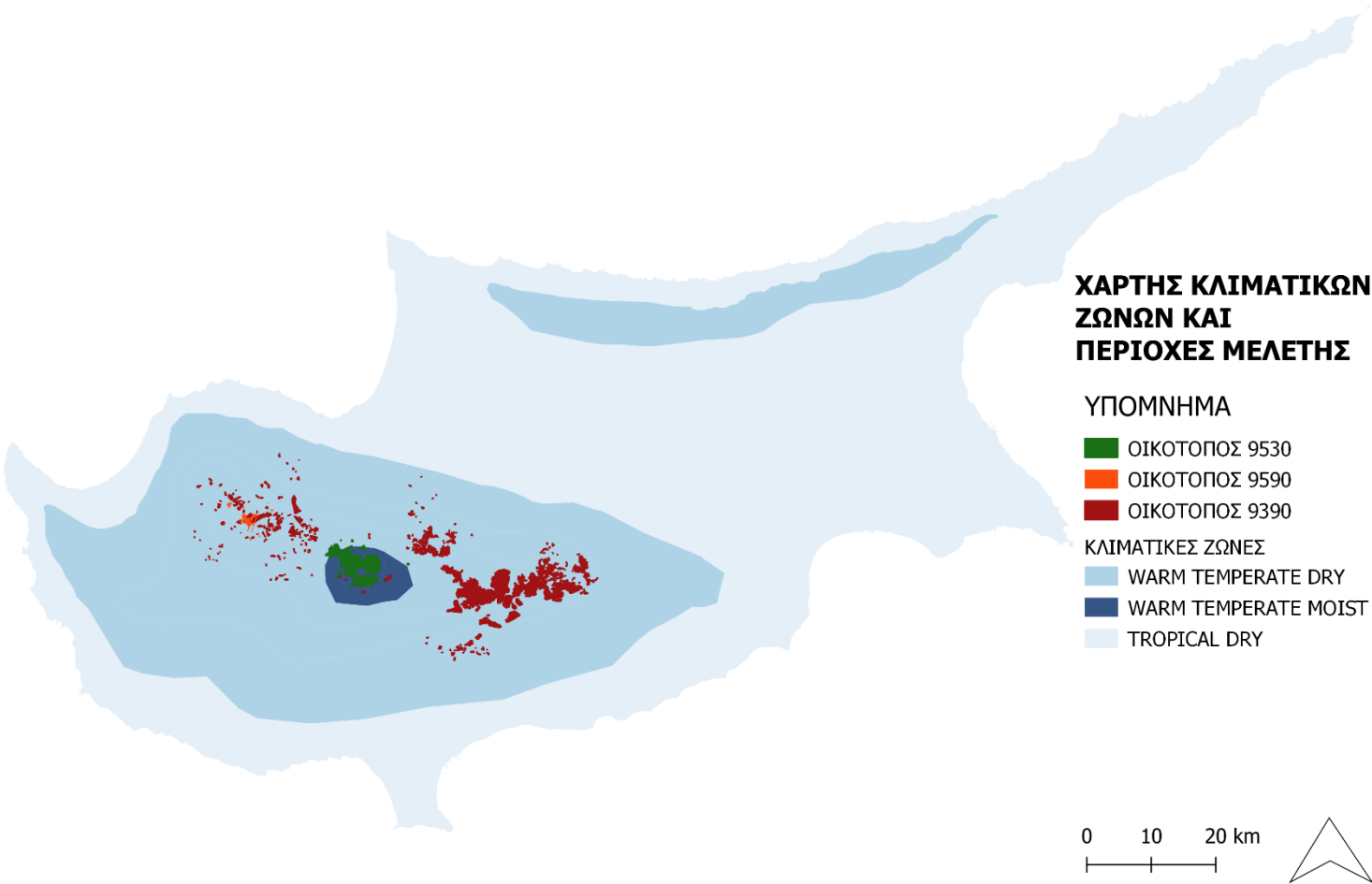
Χάρτης 2: Χάρτης περιοχών Natura 2000



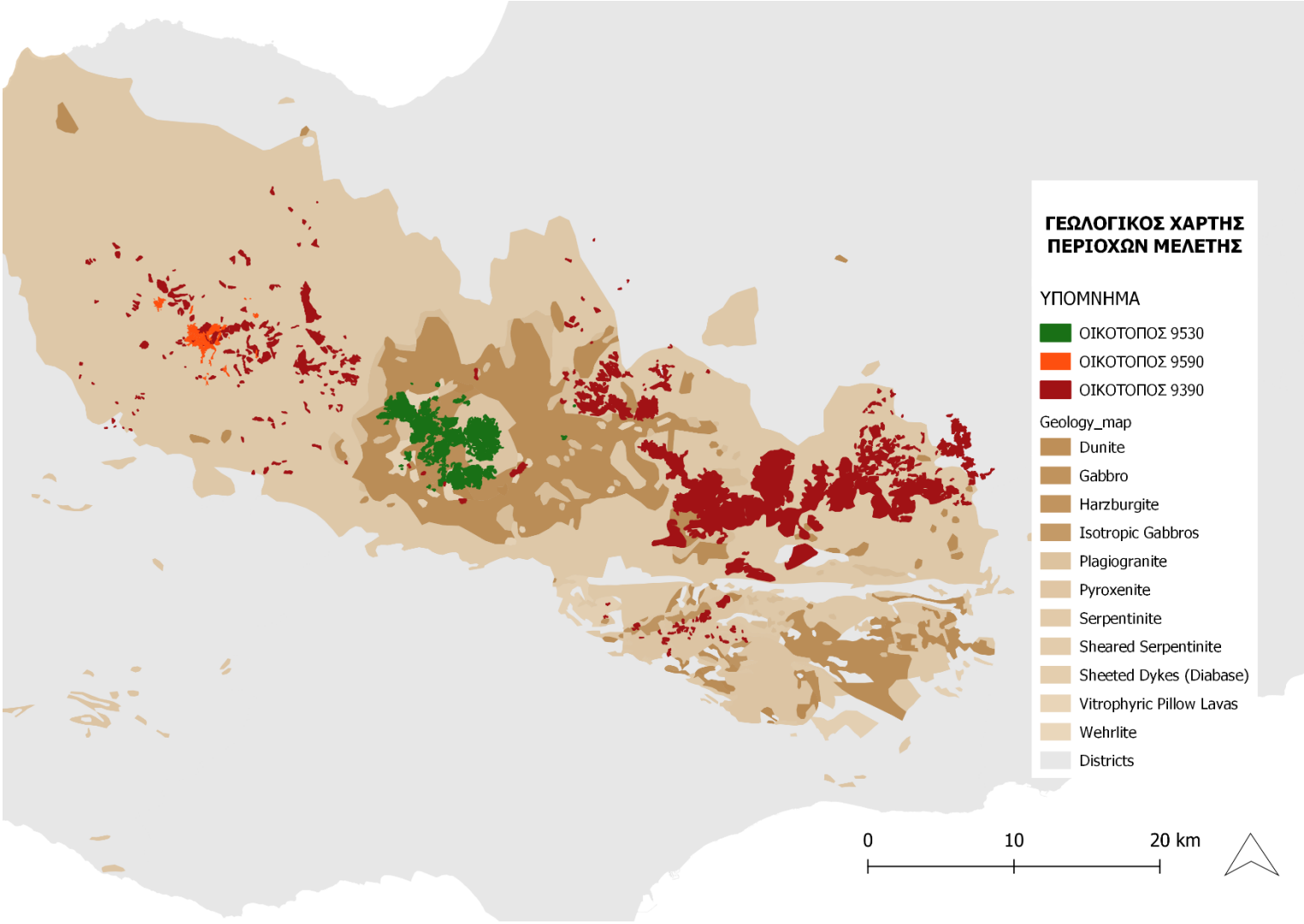
Χάρτης 3:Θέσεις των περιοχών μελέτης στο κρατικό δάσος



Χάρτης 4: Κλιματικές ζώνες της Κύπρου



Χάρτης 5: Γεωλογικός χάρτης περιοχών μελέτης



Χάρτης 6: Χάρτης τύπων εδάφους των περιοχών μελέτης

