

**ΠΑΝΤΕΙΟΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

PANTEION UNIVERSITY OF SOCIAL AND POLITICAL SCIENCES



**ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υπολογισμός του άνθρακα της βιομάζας στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της
Μεσογείου με την χρήση τηλεπισκόπησης**

ΠΕΤΡΙΔΟΥ ΚΑΡΙΟΦΥΛΛΙΑ

Αθήνα, 2020

Τριμελής Επιτροπή

Άγγελος Μιμής, Αναπληρωτής Καθηγητής Παντείου Πανεπιστημίου (Επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Μπίθας, Καθηγητής Παντείου Πανεπιστημίου

Κυβέλου – Χιωτίνη Στέλλα – Σοφία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Παντείου Πανεπιστημίου



Copyright © Καριοφυλλιά Κ. Πετρίδου, 2020

All rights reserved. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της διπλωματικής εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Πάντειον Πανεπιστήμιο Κοινωνικών και Πολιτικών Επιστημών δεν δηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος εικόνων	5
Περίληψη	6
Abstract	7
<i>Κεφάλαιο 1: Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ...</i>	<i>10</i>
1.1. Βασικές στοιχεία της τηλεπισκόπησης	10
1.2. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών συστημάτων	11
1.3. Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων	13
1.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	14
<i>Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική επισκόπηση</i>	<i>16</i>
2.1. Γενικά στοιχεία περί βιομάζας	16
2.1.1 Βιομάζα πάνω από το έδαφος (Above- ground biomass)	19
2.1.2. Δέσμευση – Απορρόφηση άνθρακα	20
2.2. Μέθοδοι υπολογισμού των αποθεμάτων άνθρακα – βιομάζας	22
2.3. Υπολογισμοί των αποθεμάτων άνθρακα – βιομάζας	26
<i>Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία - Δεδομένα</i>	<i>29</i>
3.1. Περιοχή μελέτης	29
3.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης	29
<i>Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα</i>	<i>33</i>
4.1. Ποσοστό κάλυψης δέντρων	33
4.2. Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας	36
4.3. Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας σε επίπεδο περιφερειών	41
<i>Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα</i>	<i>49</i>
<i>Βιβλιογραφικές Αναφορές</i>	<i>52</i>

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα για δασικές εκτάσεις. Πηγή: (FAO, 2015).....	18
Εικόνα 2: Ο κύκλος του άνθρακα. Πηγή: (Seeberg-Elverfeldt, 2010)	22
Εικόνα 4: Κλιματικές ζώνες της Ευρώπης.	31
Εικόνα 5: Ποσοστό κάλυψης δέντρων σε γεωργικές εκτάσεις για τα έτη 2000, 2010 και 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία).....	35
Εικόνα 6: Μεταβολή του ποσοστού κάλυψης δέντρων για τα έτη 2000 - 2018. (Ιδία επεξεργασία)	35
Εικόνα 7: Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας για τα έτη 2000, 2010 και 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία).....	39
Εικόνα 8: Η μεταβολή του άνθρακα της βιομάζας ανάμεσα στα έτη 2000 – 2010 και 2000 – 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία).....	40
Εικόνα 9 : Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας σε περιφερειακό επίπεδο για τα έτη 200, 2010, 2018 αντίστοιχα.(Ιδία επεξεργασία)	48

Περίληψη

Οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές που προκαλούνται από την άνοδο των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων θερμοκηπίου αναγνωρίζονται ως σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα. Η κάλυψη δέντρων σε γεωργικές εκτάσεις συμβάλλουν σημαντικά στην άμβλυνση της αλλαγής του κλίματος αν και σε σχέση με τις δασικές εκτάσεις δεν θεωρείται μέχρι τώρα ως μια σημαντική δεξαμενή απορρόφησης άνθρακα. Τα δάση και τα γεωργικά εδάφη καλύπτουν σήμερα περισσότερο από τα τρία τέταρτα της επικράτειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και διαθέτουν μεγάλα αποθέματα άνθρακα. Η παρούσα εργασία προσπαθεί να εντοπίσει τη σημασία της κάλυψης δέντρων στις γεωργικές εκτάσεις και την συμβολή αυτών στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Μεσόγειου για την δέσμευση του άνθρακα της βιομάζας μεταξύ των ετών 2000 – 2018. Για την εύρεση αυτών χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις της αποθήκευσης άνθρακα Tier 1 για την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα για τις κλιματικές ζώνες της Μεσόγειου και συνδυάστηκαν με την ανάλυση του ποσοστού κάλυψης δέντρων με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων. Τα αποθέματα άνθρακα υπολογίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν σε περιφερειακό και σε εθνικό επίπεδο για τις χώρες της Μεσογείου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υπάρχουσα κάλυψη των δένδρων συμβάλλει σημαντικά στη συγκέντρωση άνθρακα στις γεωργικές εκτάσεις. Η Ευρώπη έχει στο μεγαλύτερο μέρος της χαμηλό ποσοστό κάλυψης δέντρων στη γεωργική γη μέχρι 20 %, γεγονός που εμφανίζεται έντονα και στις χώρες της Μεσογείου. Κατά μέσο όρο, ο άνθρακας της βιομάζας αυξήθηκε για τις Μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία) σε σχέση με το 2000. Η Ιταλία και η Ελλάδα παρουσιάζουν υψηλότερη αύξηση σε σχέση με την Ισπανία και τα αποθέματα άνθρακα της βιομάζας τους είναι υψηλότερα από τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. Σε περιφερειακό επίπεδο, οι περισσότερες περιφέρειες της Μεσογείου έχουν αύξηση των επιπέδων του άνθρακα της βιομάζας σε βάθος εικοσαετίας.

Λέξεις – Κλειδιά : Αποθέματα άνθρακα, γεωργικές εκτάσεις, MODIS, βιομάζα, τηλεπισκόπηση, κάλυψη δέντρων

Abstract

Global climate change caused by rising levels of carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases, has been recognized as a serious environmental issue. The percentage of tree cover on agricultural land is a major contributor to climate change mitigation. Although, in relation to forestry, it has not been considered as an important carbon sink until today. More than three-quarters of the territory of the European Union are covered by forests and agricultural land and have large carbon storage. This present work attempts to identify the importance of tree cover on agricultural land and their contribution to Mediterranean agricultural land for biomass carbon stocks between 2000 and 2018. Tier 1 carbon storage estimates were used to find carbon dioxide storage for the Mediterranean climate zones and were combined with the analysis of the percentage of tree cover using satellite images. Biomass carbon stocks were calculated and mapped at national and also regional levels for the Mediterranean countries. The results show that the existing tree cover contributes significantly to the carbon sequestration in agricultural land. Europe has a low tree cover of up to 20% on agricultural land, which is also strongly present in the Mediterranean countries. On average, biomass carbon has increased for the Mediterranean countries (Greece, Italy, Spain) compared to 2000. Italy and Greece show higher growth than Spain, and their biomass carbon stocks are higher than European average. At the regional level, the most part of the Mediterranean regions have increased their biomass carbon levels over a 20-year period.

Keywords: Carbon stocks, agricultural land, MODIS, biomass, tree cover

Εισαγωγή

Η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος είναι ένα σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα που επηρεάζει σήμερα τις ανθρώπινες ζωές και τον πλανήτη Γη. Βασικά αίτια της αλλαγής του κλίματος είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η υπερθέρμανση του πλανήτη. Η υπερθέρμανση του πλανήτη, η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα και των ωκεανών της γης, πιστεύεται ότι οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gases) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελεί μείζονα GHG (Nair, Kumar, & Nair, 2009). Οι τρόποι αντιμετώπισης και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής είναι ένα καίριο ζήτημα της σύγχρονης εποχής. Η αλλαγή των χρήσεων γης σε παγκόσμιο επίπεδο συμβάλλει στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτείται η λήψη μέτρων περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά και προσαρμογής αυτών τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε περιφερειακό επίπεδο. Η γεωργία είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σημαντικά στην αλλαγή του κλίματος αλλά έχει τη δυνατότητα να μειώσει την κλιματική αλλαγή. Η αλλαγή της χρήσης γης στη γεωργία και η γεωργική παραγωγή συνέβαλαν και συνεχίζουν να συμβάλλουν σημαντικά στις προβλεπόμενες επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής θέρμανσης. Η γεωργία και η κάλυψη των δένδρων σε γεωργικές εκτάσεις γενικά έχουν δυνατότητες ώστε να συμβάλλουν στην άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής. Η γεωργική παραγωγή και η συνεχιζόμενη αλλαγή χρήσεων γης επηρεάζουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) (Zomer, et al., 2016). Για να επιβραδυνθούν οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να μειωθούν.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται συχνότερα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ευθύνεται για το 63% της υπερθέρμανσης του πλανήτη που οφείλεται σ' αυτές τις δραστηριότητες. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) διαφέρει από τα άλλα μείζονα αέρια θερμοκηπίου που σχετίζονται με τον κλάδο, καθώς ο άνθρακας μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες στις διάφορες δεξαμενές άνθρακα στη βλάστηση, τα εδάφη και τους ζώντες οργανισμούς.

Ποικίλοι παράγοντες καθορίζουν την πολύπλοκη σχέση μεταξύ της επιρροής που έχουν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και της συγκέντρωσης αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, υπάρχουν δύο διαθέσιμες στρατηγικές για την άμβλυνση της αύξησης του CO₂: μείωση των εκπομπών (δηλαδή μειώσεις στην πηγή) ή αύξηση της απορρόφησης από τα φυτά του ατμοσφαιρικού CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης αυξάνοντας έτσι τη βιομάζα στα χερσαία οικοσυστήματα (Zomer R. J., Trabucco, Bossio, & Verchot, 2008). Ο παγκόσμιος ρόλος της απομόνωσης άνθρακα που βασίζεται σε δένδρα στις γεωργικές εκτάσεις δεν έχει κατανοηθεί τόσο καλά και, ενδεχομένως, έχει υποτιμηθεί σημαντικά. Όσον αφορά την Ευρώπη, σύμφωνα με την ΕΕ¹ τα δάση και τα γεωργικά εδάφη καλύπτουν σήμερα περισσότερο από τα τρία τέταρτα της επικράτειας της ΕΕ και φυσικά διαθέτουν μεγάλα αποθέματα άνθρακα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2018) το 16 % της σημερινής μεσογειακής ζώνης είναι πιθανό να γίνει άγονη γη έως το τέλος του αιώνα και σε πολλές χώρες της

¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/forests_en

Νότιας Ευρώπης η παραγωγικότητα της εργασίας στην ύπαιθρο να μειωθεί κατά 10-15 % σε σύγκριση με τα σημερινά επίπεδα. Η γεωργική δασοκομία (agroforestry) είναι ένα διαφοροποιημένο σύνολο συστημάτων γεωργικής παραγωγής που ενσωματώνουν τα δέντρα στο γεωργικό τοπίο - συχνά συζητείται ως στρατηγική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για προσαρμογή όσο και για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Zomer, et al., 2016). Μία από τις προσεγγίσεις για τη μείωση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι η δέσμευση του άνθρακα (C), η διαδικασία απομάκρυνσης του C από την ατμόσφαιρα και η εναπόθεσή του σε δεξαμενή (Nair, Kumar, & Nair, 2009). Ενώ η σημασία του άνθρακα της βιομάζας στα δάση (πάνω και κάτω από το έδαφος) αναγνωρίζεται ευρέως, η δεξαμενή άνθρακα βιομάζας στη γεωργική γη θεωρείται ως αμελητέα. Συμπεριλαμβανόμενων των λόγων αυτών κρίνεται ότι υπάρχει πρόσφορο έδαφος για την διερεύνηση της απορρόφησης άνθρακα της βιομάζας σε καλλιεργήσιμες γεωργικές εκτάσεις.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να αξιολογήσει τη σημασία των δέντρων σε γεωργικές εκτάσεις και την συμβολή αυτών στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Μεσόγειου για την δέσμευση του άνθρακα της βιομάζας. Η παρούσα ανάλυση εκπονείται για την περιοχή της Μεσογείου και πιο συγκεκριμένα θα γίνει υπολογισμός για την απομόνωση του άνθρακα της βιομάζας γίνεται τόσο σε επίπεδο χωρών (Ιταλία, Ισπανία, Ελλάδα), των περιφερειών τους αλλά και συνολικά για την Ευρώπη. Επιπλέον γίνεται μια σύγκριση για τις χρονικές περιόδους από το 2000-2018 για την ύπαρξη και τον εντοπισμό αλλαγών αν δηλαδή η απομόνωση του άνθρακα σε γεωργικές εκτάσεις παραμένει σταθερή, είναι αύξουσα ή φθίνουσα στη διάρκεια της εικοσαετίας και αν μπορούν να εντοπιστούν χωρικά πρότυπα-τάσεις τόσο εντός της χώρας αλλά και μεταξύ των χωρών και των περιφερειών. Οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί βασίστηκαν στις προεπιλεγμένες εκτιμήσεις IPCC Tier 1 για τον άνθρακα που αποθηκεύεται σε ποικίλους τύπους κάλυψης γης σε διαφορετικές βιοκλιματικές περιοχές και συνδυάστηκαν με δεδομένα κάλυψης δέντρων που βασίζονται σε απεικόνιση δορυφορικής τηλεπισκόπησης MODIS.

Η παρούσα μελέτη διαμορφώνεται σε 5 Κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται η εισαγωγή στις έννοιες της τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και η κατανόηση των βασικών αρχών και λειτουργιών τους. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια περιγραφή των βασικών εννοιών της βιομάζας, του άνθρακα, της σημασίας αυτών στη γεωργική γη και της σημαντικότητας των δύο εννοιών στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, αναλύονται οι μέθοδοι που υπάρχουν στη τρέχουσα βιβλιογραφία για τους τρόπους υπολογισμού των αποθεμάτων άνθρακα της βιομάζας πάνω από το έδαφος και οι περιορισμοί τους. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται οι εκτιμήσεις για τα ποσοστά κάλυψης δέντρων στη γεωργική και οι εκτιμήσεις για τον άνθρακα της βιομάζας σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο για την Μεσόγειο. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και οι δυνατότητες και προοπτικές εξέλιξης της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 1: Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

1.1. Βασικές στοιχεία της τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση (Remote sensing) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα (Παρχαρίδης, 2015).

Ο (Χαλκιάς, 2005) ορίζει την τηλεπισκόπηση ως την συλλογή – από απόσταση – και ερμηνεία πληροφοριών. Συνήθως γίνεται με την καταγραφή της φυσικά εκπεμπόμενης ή ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης ή την ατμόσφαιρα. Παραδείγματα μεθόδων Τηλεπισκόπησης είναι τα συστήματα ενεργητικής τηλεπισκόπησης (radar) και η δορυφορική τηλεπισκόπηση.

Τα βασικά στάδια του συστήματος τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν: την εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ως πηγή θεωρείται συνήθως ο ήλιος), τη μετάδοση της ενέργειας από την πηγή προς τη γήινη επιφάνεια και την απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα, την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη γήινη επιφάνεια προς τον απομακρυσμένο αισθητήρα, τα δεδομένα εξόδου αισθητήρα, καθώς και τη μετάδοση δεδομένων, την επεξεργασία και την ανάλυση (Παρχαρίδης, 2015).

Η τηλεπισκόπηση είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με έναν στόχο μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν σε σχέση με τον στόχο από απόσταση. Αποτελείται από τρία βασικά μέρη, που είναι (Καρτάλης & Φείδας, 2013):

- οι στόχοι – αντικείμενα ή φαινόμενα σε μια περιοχή
- η τεχνική συλλογής δεδομένων – μέσω ορισμένων μέσων
- η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και υπολογιστών με υψηλές προδιαγραφές.

Η κύρια πηγή ενέργειας του συστήματος γης με την ατμόσφαιρα είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου. Οι αισθητήρες των δορυφορικών συστημάτων ανιχνεύουν και καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που είτε αντανακλάται είτε εκπέμπεται σε φασματικές περιοχές (Καρτάλης & Φείδας, 2013). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να χαρακτηριστεί από διάφορες ιδιότητες (Παρχαρίδης, 2015):

1. Μήκος κύματος. Είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών. Το μήκος κύματος μετριέται σε μονάδες μήκους.
2. Συχνότητα. Είναι ο αριθμός των κορυφών που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η συχνότητα μετριέται σε hertz, μονάδα που ισοδυναμεί με έναν κύκλο το δευτερόλεπτο.

3. Πλάτος. Είναι το ύψος της κάθε κορυφής του κύματος

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαιρείται σε περιοχές με βάση το μήκος κύματος, το σύνολο των περιοχών αυτών είναι το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Τα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης λειτουργούν κυρίως στο ορατό, υπέρυθρο φάσμα και στη μικροκυματική ακτινοβολία (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

Είναι βασικό συστατικό της Γεωπληροφορικής, συμβάλλοντας στη μέτρηση και χαρτογράφηση της επιφάνειας της Γης. Προσφέρει ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες και γνώση σχετικά αντικείμενα, την κατανομή τους στον χώρο και τον χρόνο καθώς και χωρικές και χρονικές σχέσεις τους. Ουσιαστικά χάρις στην εξέλιξη και ανάπτυξη των δορυφόρων γεννήθηκε η (δορυφορική) τηλεπισκόπηση. Έτσι το κυρίως μέρος της τηλεπισκόπησης είναι στενά συνδεδεμένο με τους (τεχνητούς) δορυφόρους και τις δορυφορικές εικόνες που καταγράφουν και μας παρέχουν. Η έννοια της λέξης «δορυφόρος» εστιάζεται κυρίως στους τεχνητούς δορυφόρους που είναι τεχνητά συστήματα που πετούν γύρω από την γη ή γενικότερα από κάποιο ουράνιο σώμα και έχουν κατασκευαστεί για ποικίλες χρήσεις, οι κυριότερες των οποίων είναι οι τηλεπικοινωνίες και η παρατήρηση μέσω δορυφορικών εικόνων. Γενικά όμως δορυφόρος είναι ένα φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο ή σώμα που κινείται γύρω από ένα άλλο μεγαλύτερο ουράνιο σώμα (Περάκης, Φαρασλής, & Μωυσιάδης, 2015). Η τηλεπισκόπηση προσφέρει πολύτιμες ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες στην γεωργία τόσο στον εντοπισμό καλλιεργήσιμων εκτάσεων και μη, όσο και κατά τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών.

1.2. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών συστημάτων

Ένας από τους βασικότερους στόχους της Τηλεπισκόπησης είναι να εντοπίσει το ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΤΙ στην επιφάνεια της γης (ταξινομήσεις), η διαφοροποίηση καλύψεων γης που θα ήταν σχετικά αδύνατο να εντοπιστεί μόνον σε κάποια εικόνα καταγεγραμμένη σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, επιτυγχάνεται με την πολυφασματικότητα. Συνεπώς μία πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες όσες και τα μήκη κύματος που καταγράφεται ή ίδια ακριβώς περιοχή την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή και κάθε εικονοστοιχείο απεικονίζει ακριβώς την ίδια περιοχή στα διαφορετικά μήκη κύματος. Κάθε μια από τις πολλές (μονοφασματικές) εικόνες που αποτελείται μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα ονομάζεται φασματικό κανάλι (κατά άλλους συγγραφείς φασματικός δίαυλος) ή φασματική μπάντα (Περάκης, Φαρασλής, & Μωυσιάδης, 2015).

Ο όρος απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors) περιλαμβάνει όλα τα όργανα ανίχνευσης και μέτρησης από απόσταση της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Οι περισσότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης απαιτούν πληροφορίες από διαφορετικές φασματικές περιοχές (πολυφασματική/multispectral-multiband), οι οποίες αποκτούνται με διαφορετικούς αισθητήρες (πολυαισθητήρες/multisensor) ή

έναν μεμονωμένο αισθητήρα που λειτουργεί ταυτόχρονα σε διαφορετικές φασματικές περιοχές (multispectral ή multiband sensor). Οι απεικονιστές μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τις διεργασίες ανίχνευσης και ανάλογα με τη φασματική περιοχή λειτουργίας τους ή τον τρόπο λειτουργίας τους (π.χ. ενεργητικοί ή παθητικοί απεικονιστές) (Παρχαρίδης, 2015).

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να χωριστούν σε δυο ευρείες κατηγορίες: τα ενεργητικά και τα παθητικά. Τα παθητικά συστήματα λαμβάνουν ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προηγουμένως έχει προσπέσει στην επιφάνεια της Γης και έχει ανακλαστεί ή επανεκπεμφθεί από αυτήν. Τα προαναφερθέντα δορυφορικά συστήματα Landsat, SPOT, Ikonos, Geoeye και πολλά άλλα, εντάσσονται στην κατηγορία των παθητικών συστημάτων. Αντίθετα, τα ενεργητικά συστήματα εκπέμπουν από μόνα τους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία προσπίπτει στο έδαφος και ένα μέρος της επιστρέφει στο δέκτη τηλεπισκόπησης. Τα συστήματα ραντάρ εντάσσονται στην κατηγορία των ενεργητικών συστημάτων

Οι παθητικοί αισθητήρες (passive sensors) δεν εκπέμπουν οι ίδιοι ακτινοβολία αλλά ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και την θερμική ακτινοβολία στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περισσότεροι δορυφόροι –μεταξύ των οποίων και ο Landsat, ένας από τους πιο αντιπροσωπευτικούς δορυφόρους - είναι εφοδιασμένοι με έναν πολυφασματική σαρωτή ο οποίος καταγράφει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που προέρχεται από την ίδια περιοχή της γήινης επιφάνειας.

Οι ενεργητικοί αισθητήρες (active sensors) έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν δική τους ακτινοβολία, το σήμα της οποίας ανακλάται, διαθλάται ή διαχέεται στην γήινη επιφάνεια ή ατμόσφαιρα και να το καταγράφουν στην επιστροφή του. Οι πιο γνωστοί είναι οι αισθητήρες φθορισμού με ακτίνες Laser και τα Synthetic Aperture Radar (SAR).

Σύμφωνα με τον (Παρχαρίδης, 2015) τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τηλεπισκόπησης στη χρήση εικόνων, όπου χρησιμοποιούνται φασματικά κανάλια στο ορατό, υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περιγράφονται με τη χωρική (spatial), φασματική (spectral) και ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση.

Για ορισμένα όργανα καταγραφής η απόσταση μεταξύ της γήινης επιφάνειας και του οργάνου καταγραφής αποτελεί καθοριστικό ρόλο στη λεπτομέρεια της πληροφορίας που καταγράφεται. Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής. Για ορισμένα όργανα καταγραφής, η απόσταση μεταξύ του στόχου και της διαστημικής εξέδρας είναι καθοριστική για τη λεπτομέρεια της παραγόμενης εικόνας. Συνήθως σε δορυφόρους που βρίσκονται σε πολύ υψηλή τροχιά ενώ καταγράφουν μεγάλες περιοχές η διακριτική ικανότητα περιορίζεται. Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μία εικόνα. Κατά την αποτύπωση μίας εικόνας, η ευαισθησία της στην ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει τη ραδιομετρική

ικανότητα. Ουσιαστικά η ραδιομετρική ικανότητα περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Η φασματική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος και είναι πολύ σημαντική ιδιότητα, όπως αναδεικνύεται στη συνέχεια, αφού στις πολυφασματικές εικόνες: η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών μπορούν να καθορίζουν τον βαθμό και το είδος των διαφόρων στόχων και η χρήση τους μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι. Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα συνήθως είναι της τάξης κάποιων ημερών ή ωρών όταν πρόκειται για αστερισμό δορυφορικού συστήματος, για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα.

Ο δορυφόρος Terra αποτελεί τη ναυαρχίδα του συστήματος παρατήρησης της γης (EOS) και αντιπροσωπεύει τις δυνατότητες της NASA στην διαστημική παρατήρηση της γης, συλλέγει πολλαπλά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται στην έρευνα που ασχολείται με τους τρόπους με τους οποίους λειτουργούν η επιφάνεια της γης, ο αέρας, οι ωκεανοί και οι πάγοι. Επίσης, ο Terra με κάθε πέρασμα που πραγματοποιεί συλλέγει πληθώρα δεδομένων. Ο δορυφόρος Terra εκτοξεύτηκε στις 18 Δεκεμβρίου του 1999, με ηλιοσύγχρονη τροχιά, όμως άρχισε να στέλνει δεδομένα προς τη γη το Φεβρουάριο του 2000 (Περάκης, Φαρασλής, & Μωυσιάδης, 2015). Ο κάθε αισθητήρας έχει μοναδικά χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν στους επιστήμονες να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα της επιστήμης της γης. Τα 5 όργανα καταγραφής του δορυφόρου Terra (Παρχαρίδης, 2015):

- ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System)
- MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer)
- MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
- MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere)

1.3. Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων

Η έννοια επεξεργασία εικόνας(image processing) περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους που αποσκοπούν στη λήψη πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μια ψηφιακή εικόνα αλλά δεν μπορεί να εντοπιστεί με γυμνό μάτι

Τα βασικά τμήματα επεξεργασίας μιας εικόνας είναι τα εξής:

- α) Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία (preprocessing) της εικόνας
- β) Βελτίωση της παρουσίασης της εικόνας (image enhancement)
- γ) Ταξινόμηση της εικόνας (image classification)

Η έννοια της ταξινόμησης και η εφαρμογή μεθόδων ταξινόμησης είναι γνωστές και χρησιμοποιούνται σε πολλές επιστήμες. Η ταξινόμηση της εικόνας αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση των ψηφιακών εικόνων διότι βοηθάει στην εξαγωγή σημαντικής πληροφορίας από μία εικόνα. Η χρησιμότητα της ταξινόμησης εντοπίζεται στο γεγονός ότι το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένας θεματικός χάρτης, ο οποίος, αν διορθωθεί και γεωμετρικά, μετατρέπεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προβολή χάρτη, καθιστώντας δυνατή την εισαγωγή του σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Παρχαρίδης, 2015).

Οι δορυφορικές εικόνες της γήινης επιφάνειας μπορούν να αναλυθούν με στόχο τη μετατροπή των δεδομένων σε θεματική πληροφόρηση και η ψηφιακή ταξινόμηση εικόνας είναι μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της πληροφόρησης από τα δεδομένα, δηλαδή είναι η διαδικασία της κατανομής των εικονοστοιχείων (pixels) μιας εικόνας σε κλάσεις, όπου στο κάθε εικονοστοιχείο μιας δορυφορικής εικόνας αποδίδεται μια ιδιότητα, η οποία περιγράφει ένα γήινο χαρακτηριστικό-αντικείμενο.

Η διαδικασία ταξινόμησης (classification) περιέχει ουσιαστικά δύο βήματα, που είναι (Παρχαρίδης, 2015):

α) Η αναγνώριση των κατηγοριών όλων των γήινων αντικειμένων. Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης της γήινης επιφάνειας, οι ομάδες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα δασώδεις περιοχές, υδάτινες μάζες, λιβάδια καθώς και άλλους τύπους κάλυψης γης, που εξαρτώνται από τη φύση της κάθε μελέτης.

β) Η απόδοση μιας ιδιότητας (καταχώρηση ονόματος) στα εικονοστοιχεία, τα οποία με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται.

Οι διαδικασίες ταξινόμησης μπορούν να αναλυθούν σε δύο ευρείες υποδιαίρεσεις με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται: επιβλεπόμενη ταξινόμηση και μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification and unsupervised classification). Σκοπός της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η ομαδοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε ομάδες με βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά τους ενώ στη μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ο αναλυτής με βάση την εμπειρία του ή με βάση πραγματικά δεδομένα εντοπίζει τις τάξεις (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

1.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν σαν κυρίαρχο στόχο τον χωρικό σχεδιασμό. Τα Γ.Σ.Π. μπορούν να αποθηκεύουν, να διαχειριστούν, να ενσωματώσουν ένα μεγάλο όγκο χωρικών δεδομένων, αποτελούν εργαλείο χωρικής ανάλυσης και επίλυσης χωρικών προβλημάτων (Κουτσόπουλος, 2005). Είναι ένα οργανωμένο σύνολο εργαλείων συλλογής, αποθήκευσης, ενημέρωσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και παρουσίασης όλων των τύπων γεωγραφικών πληροφοριών.

Τα ΓΠΣ ορίζονται σαν μία οργανωμένη συλλογή εξοπλισμού (hardware), λογισμικού (software), γεωγραφικών δεδομένων και εξειδικευμένου προσωπικού (Καρτάλης & Φείδας, 2013). Οι βασικές λειτουργίες που εκτελούν τα ΣΓΠ είναι: να καταγράφουν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα, η διαχείριση και ανάκτηση των δεδομένων, οι

μετρήσεις (μετρήσεις μηκών ή εμβαδών) και η χωρική ανάλυση τους (θέση, τάσεις, μορφή, κατάσταση) και η οπτικοποίηση αυτών (δημιουργία θεματικού χάρτη). Ένα από το πιο διαδεδομένο είδος χάρτη, είναι ο θεματικός χάρτης, ο οποίος απεικονίζει τη χωρική κατανομή φυσικών ή ανθρωπογενών φαινομένων. Ένα ΣΓΠ δεν είναι απλά ένα μέσο με το οποίο παράγονται χάρτες αλλά μια νέα τεχνολογία απαραίτητη για την ανάλυση και μελέτη του χώρου αλλά και την λήψη αποφάσεων (Καρτάλης & Φείδας, 2013).

Τα δεδομένα στο G.I.S. χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Raster ή ψηφιδωτά και Vector ή διανυσματικά. Τα διανυσματικά δεδομένα απεικονίζονται ως σημεία, γραμμές και πολυγώνα ενώ τα ψηφιδωτά δεδομένα απεικονίζονται ως δίκτυο εικονοστοιχείων (ψηφίδων).

Τα ψηφιδωτά δεδομένα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα (Καρτάλης & Φείδας, 2013):

- Είναι μια απλή δομή δεδομένων
- Είναι συμβατά με δεδομένα τηλεπισκόπησης
- Υπερέχουν στην χωρική ανάλυση και μοντελοποίηση

Τα μειονεκτήματα των ψηφιδωτών δεδομένων είναι τα εξής :

- Έχουν μεγάλες απαιτήσεις αποθηκευτικού χώρου
- Η ποιότητα οπτικοποίησης εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της ψηφίδας
- Είναι δύσκολη η ανάπτυξη τοπολογίας (σύνδεση δεδομένων)

Τα ψηφιδωτά δεδομένα προσφέρουν πλεονεκτήματα για τη διαχείριση των τιμών των εικονοστοιχείων από τα λογισμικά επεξεργασίας, καθώς είναι εύκολο να βρεθούν και να εντοπιστούν τα εικονοστοιχεία και οι τιμές τους (Παρχαρίδης, 2015).

Στη φυσική της μορφή, μια ψηφιακή εικόνα είναι παράταξη δύο διαστάσεων από μικρές περιοχές, που όπως έχει αναφερθεί καλούνται εικονοστοιχεία τα οποία ανταποκρίνονται χωρικά σε σχετικά μικρές περιοχές που καλούνται εδαφικές κυψελίδες διαχωρικής ικανότητας (ground resolution cells). Οι οριζόντιες γραμμές των εικονοστοιχείων καλούνται γραμμές (lines) και οι κάθετες καλούνται στήλες (columns) (Παρχαρίδης, 2015).

Τα ΣΓΠ χρησιμοποιούνται ως το κύριο εργαλείο για την υλοποίηση πολύπλοκων εφαρμογών. Η ενσωμάτωση των δορυφορικών δεδομένων και η επεξεργασία τους στο ΣΓΠ ενισχύει την δορυφορική τηλεπισκόπηση και δημιουργεί πολλές δυνατότητες. Οι τεχνικές δορυφορικής τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα ΣΓΠ έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πλήθος εφαρμογών.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική επισκόπηση

2.1. Γενικά στοιχεία περί βιομάζας

Η συγκεκριμένη εργασία έχει σκοπό τον υπολογισμό του άνθρακα της βιομάζας στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Μεσογείου. Προτού συμβεί όμως αυτό, κρίνεται σκόπιμο να αποσαφηνιστούν κάποιες βασικές έννοιες όπως τι ορίζεται ως βιομάζα, ποια είναι η σημαντικότητα της, σε ποιες κατηγορίες χωρίζεται, τι ορίζεται ως άνθρακας βιομάζας, και γιατί ο άνθρακας της βιομάζας τόσο στα δάση όσο και στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις αποτελεί σημαντικός δείκτης μέτρησης, με ποιους τρόπους υπολογίζεται, γιατί είναι σημαντικό ο υπολογισμός της και τέλος με ποιον τρόπο θα υπολογιστεί στη συγκεκριμένη εργασία.

Ο ρόλος των συστημάτων χρήσεων γης, όπως η γεωργία, ως στρατηγική μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και προσαρμογής, έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία καθώς τα συστήματα αυτά έχουν την ικανότητα να συλλέγουν ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και να αποθηκεύουν τον άνθρακα (C) στα μέρη των φυτών και στο έδαφος (Nair P. K., 2012)

Τα δάση είναι η μεγαλύτερη δεξαμενή άνθρακα στη γη. Τα δάση απομονώνουν και αποθηκεύουν περισσότερο άνθρακα από οποιοδήποτε άλλο χερσαίο οικοσύστημα και αποτελούν σημαντικό φυσικό «φρένο» για την αλλαγή του κλίματος. Όταν τα δάση καθαρίζονται ή υποβαθμίζονται, ο αποθηκευμένος άνθρακας τους απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα CO₂ (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007). Η έκταση των δασικών πόρων είναι το πρώτο μέτρο της βιώσιμης διαχείρισης των δασών και σχετίζεται με το γενικό στόχο της διατήρησης επαρκών δασικών πόρων - διαφόρων τύπων και χαρακτηριστικών δασών, για την υποστήριξη των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων που σχετίζονται με τα δάση και τη δασοκομία σε μια χώρα ή περιοχή (FAO, 2010). Η δασική περιοχή είναι μια ευκόλως κατανοητή βασική μεταβλητή, η οποία παρέχει μια πρώτη ένδειξη της σημασίας που έχουν τα δάση σε μια χώρα ή περιοχή. Τα δάση του πλανήτη αποθηκεύουν περίπου 296 Gt άνθρακα τόσο στη βιομάζα πάνω και κάτω από το έδαφος, οι υψηλότερες πυκνότητες άνθρακα βρίσκονται στα δάση της Νότιας Αμερικής και της Δυτικής και Κεντρικής Αφρικής, αποθηκεύοντας περίπου 120 τόνους άνθρακα ανά εκτάριο μόνο στην βιολογική ζωντανή ενώ ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι 74 τόνοι ανά εκτάριο (FAO, 2015). Στόχος της παρακολούθησης της έκτασης, των χαρακτηριστικών των δασικών πόρων και των αλλαγών στις χρήσεις γης των δασικών περιοχών με την πάροδο του χρόνου είναι η κατανόηση και η μείωση της απρογραμμάτιστης αποψίλωσης, η αποκατάσταση των υποβαθμισμένων δασικών τοπίων, η αξιολόγηση της σημαντικής λειτουργίας της δέσμευσης του άνθρακα από τα δάση (FAO, 2010).

Τα δάση, όπως και άλλα οικοσυστήματα, επηρεάζονται από την αλλαγή του κλίματος. Σε ορισμένες περιοχές, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι αρνητικές, ενώ σε άλλες μπορεί να είναι θετικές. Τα δάση επηρεάζουν επίσης το κλίμα και τη διαδικασία αλλαγής του κλίματος. Το πρωτόκολλο του Κyoto και η UNFCCC ζητούν από όλες τις χώρες μέλη

να αξιολογούν και να αναφέρουν τακτικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε τακτά χρονικά διαστήματα, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών και της απομάκρυνσης του άνθρακα που αντανάκλαται στις μεταβολές των αποθεμάτων των δασών (FAO, 2010). Η αποκατάσταση υποβαθμισμένων δασικών εκτάσεων και άλλων οικοσυστημάτων μπορούν να αυξήσουν ακόμη περισσότερο την απορρόφηση CO₂ προσφέροντας παράλληλα οφέλη για τη βιοποικιλότητα, τα εδάφη και τους υδατικούς πόρους και αυξάνοντας με την πάροδο του χρόνου τη διαθεσιμότητα βιομάζας.

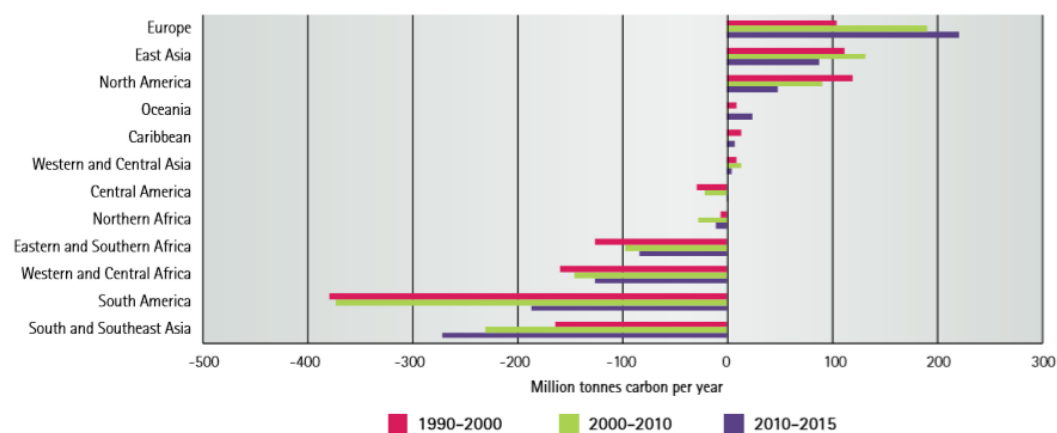
Η γεωργία συμβάλλει σημαντικά στην αλλαγή του κλίματος αλλά έχει τη δυνατότητα να μειώσει την κλιματική αλλαγή. Η μετατροπή άλλων χρήσεων γης σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις μπορεί να επηρεάσει τα αποθέματα άνθρακα και άλλα αέρια του θερμοκηπίου με διάφορους τρόπους. Σύμφωνα με την Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2006), ως καλλιεργούμενες εκτάσεις περιλαμβάνονται όλες οι ετήσιες και πολυετείς καλλιέργειες καθώς και οι προσωρινές εκτάσεις αγρανάπαυσης (δηλ. έκταση που έχει τεθεί σε ηρεμία για ένα ή περισσότερα έτη πριν από την εκ νέου καλλιέργειά της). Στις ετήσιες καλλιέργειες μπορεί να περιλαμβάνονται τα σιτηρά, τα λαχανικά, οι ρίζες και οι ζωοτροφές. Οι πολυετείς καλλιέργειες μπορούν να περιλαμβάνουν δέντρα και θάμνους, σε συνδυασμό με ποώδη φυτά (π.χ. αγροτικά δάση) ή ως οπωρώνες, αμπελώνες και φυτείες όπως το κακάο, ο καφές, το τσάι, η φοινικέλαιο, η καρύδα, τα καουτσούκ και οι μπανάνες, για την κατηγοριοποίηση ως δασική έκταση.

Η καλλιεργήσιμη γη που συνήθως χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια ετήσιων καλλιεργειών αλλά χρησιμοποιείται προσωρινά για καλλιέργειες βοσκής ως μέρος ετήσιας εναλλαγής καλλιεργειών-βοσκοτόπων περιλαμβάνεται στα καλλιεργήσιμα εδάφη. Η ποσότητα άνθρακα που αποθηκεύεται και εκπέμπεται ή απομακρύνεται από μόνιμες καλλιεργούμενες εκτάσεις εξαρτάται από τον τύπο καλλιέργειας, τις πρακτικές διαχείρισης και τις μεταβλητές του εδάφους και του κλίματος. Για παράδειγμα, οι ετήσιες καλλιέργειες (π.χ. σιτηρά, λαχανικά) συλλέγονται κάθε χρόνο, επομένως δεν υπάρχει μακρόχρονη αποθήκευση άνθρακα στη βιομάζα. Ωστόσο, η πολυετής ξυλώδης βλάστηση σε οπωροφόρα δέντρα, αμπελώνες και αγροτικά δάση μπορεί να αποθηκεύσει σημαντικό άνθρακα σε βιομάζα μακράς διάρκειας, μέγεθος που εξαρτάται από το είδος, την πυκνότητα, τους ρυθμούς ανάπτυξης και τις πρακτικές συγκομιδής και κλαδέματος. Τα αποθέματα άνθρακα στα εδάφη μπορεί να είναι σημαντικά και οι μεταβολές των αποθεμάτων μπορούν να συμβούν σε συνδυασμό με τις περισσότερες πρακτικές διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένου του τύπου καλλιέργειας, της αποστράγγισης, της διαχείρισης των υπολειμμάτων και των οργανικών τροποποιήσεων (IPCC., 2006). Η κάλυψη των δένδρων παραμένει ένα κοινό χαρακτηριστικό της γεωργικής γης. Η κατανόηση της έκτασης και της κατανομής των δένδρων σε γεωργικές εκτάσεις σε επίπεδο τοπίου, αν ληφθεί υπόψιν ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των αγροτών και των αγροτικών κοινοτήτων μέσα σε αυτά τα τοπία, μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση της σημασίας και του ρόλου των καλλιεργειών τόσο για τις αγροτικές κοινότητες αλλά και για την συνολική παγκόσμια γεωργική παραγωγή και να επισημανθούν εκείνες οι περιοχές στις οποίες η αυξημένη πυκνότητα των δένδρων θα μπορούσε να συμβάλει περισσότερο στη διαβίωση (Zomer, Trabucco, Coe, & Place, 2009).

Η γεωργική δασοκομία (agroforestry) - η πρακτική της καλλιέργειας δένδρων και καλλιεργειών ως συνδυασμός αλληλεπίδρασης - αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως

ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αειφόρο χρήση γης λόγω της παραγωγής και των περιβαλλοντικών ωφελειών της (Nair, Nair, Kumar, & Showalter, 2010). Η γεωργική δασοκομία αναγνωρίζεται ως μια ολοκληρωμένη εφαρμοσμένη επιστήμη που έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει πολλά από τα προβλήματα διαχείρισης της γης (Nair, Kumar, & Nair, 2009). Τα συστήματα δασοκομίας περιλαμβάνουν δέντρα και καλλιέργειες ή δέντρα και βοσκοτόπια στο ίδιο πεδίο. Συνολικά, καλύπτουν περίπου 1 δισεκατομμύριο εκτάρια γης και έχουν την ικανότητα να απομονώσουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα (C) τόσο στο έδαφος όσο και στη βιομάζα. Η διαχείριση των δασών, η διαχείριση των καλλιεργειών, η διαχείριση της βοσκής και η αναδάσωση είναι επιτρεπόμενες δραστηριότητες με βάση το Πρωτοκόλλο του Κιότο καθώς ανήκουν στους απορροφητές άνθρακα και συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Smith, 2004). Μέχρι και το 2015, τα αποθέματα άνθρακα στη δασική βιομάζα έχουν μειωθεί κατά σχεδόν 11,1 Gt, που ισοδυναμεί με μείωση 442 εκατομμυρίων τόνων ετησίως ή περίπου 1,6 Gt διοξειδίου του άνθρακα, αυτή η μείωση οφείλεται κυρίως στις μεταβολές των αποθεμάτων άνθρακα ως αποτέλεσμα της μετατροπής των δασικών εκτάσεων σε γεωργικές εκτάσεις και σε οικισμούς και την υποβάθμιση της δασικής γης (FAO, 2015). Τα αποθέματα άνθρακα όπως φαίνεται παρακάτω (Εικ.1) αυξήθηκαν περισσότερο στην Ευρώπη, την Ανατολική Ασία και τη Βόρεια Αμερική, με την Ευρώπη να παρουσιάζει την μεγαλύτερη αύξηση ανάμεσα στα έτη 2010 - 2015.

FIGURE 22 Changes in carbon stock in forest biomass, 1990–2015



Εικόνα 1: Αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα για δασικές εκτάσεις. Πηγή: (FAO, 2015)

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά

απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμο υλικό, ενώ τα ορυκτά δεν ανανεώνονται και εξαντλούνται συνεχώς. Η βιομάζα είναι μία από τις ήπιες μορφές ενέργειας, ανεξάντλητη κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις και φιλική προς το περιβάλλον, το κύριο χαρακτηριστικό της είναι, ότι πρόκειται για ένα καθαρά φυσικό προϊόν, που παράγεται με την γνωστή διαδικασία της φωτοσύνθεσης

Η βιομάζα ως πηγή ενέργειας συγκρινόμενη με τα ορυκτά καύσιμα έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η βιομάζα παράγεται σε όλες τις χώρες του κόσμου και είναι εύκολα προσιτή, ενώ τα ορυκτά καύσιμα παράγονται μόνον σε λίγες χώρες και η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές, και οικονομικές συνθήκες.
- Η παραγωγή και χρησιμοποίηση της βιομάζας δεν μολύνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες σε αντίθεση με την παραγωγή και χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων. Τα προϊόντα καύσης της βιομάζας είναι βασικά νερό και διοξείδιο του άνθρακα και δεν περιέχουν ή περιέχουν ελάχιστες ποσότητες οξειδίων του θείου και αζώτου. Τα χημικά αυτά απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά καύσιμα και αποτελούν σοβαρούς και συνεχείς κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. Επίσης, η κατεργασία των ορυκτών καυσίμων (διύλιση, αεριοποίηση κ.λπ.) παράγει απόβλητα τα οποία ρυπαίνουν και καταστρέφουν τη ζωή στους χώρους αποβολής των.
- Με την καύση της βιομάζας το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα επαναπρολαμβάνεται από τη νέα βιομάζα που θα παραχθεί η οποία δεσμεύει τον άνθρακα και ελευθερώνει το οξυγόνο, τοιούτοτρόπως δεν έχουμε αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίο ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κ.λπ.). Στην Ελλάδα, οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε παραγωγή θερμική ενέργειας σε γεωργικές και δασικές βιομηχανίες, σε θέρμανση στον οικιακό τομέα, ενώ έχει ξεκινήσει και η παραγωγή βιοντίζελ.

Επιπλέον, η βιομάζα διέπει τις πιθανές εκπομπές άνθρακα που θα μπορούσαν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα λόγω της αποψίλωσης και οι περιφερειακές αλλαγές της βιομάζας έχουν συσχετιστεί με σημαντικά αποτελέσματα στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος και την κλιματική αλλαγή (Liang, Li, & Wang, 2012).

2.1.1 Βιομάζα πάνω από το έδαφος (Above- ground biomass)

Η βιομάζα ορίζεται ως η συνολική ποσότητα ζωντανής οργανικής ύλης και αδρανούς οργανικής ύλης πάνω και κάτω από την επιφάνεια, εκφραζόμενη σε τόνους ξηράς ουσίας ανά μονάδα επιφανείας (μεμονωμένη μονάδα, εκτάριο, περιφέρεια ή χώρα).

Τυπικά, οι όροι μέτρησης είναι η πυκνότητα της βιομάζας εκφραζόμενη ως μάζα ανά μονάδα επιφανείας, π.χ. τόνους ανά εκτάριο (Ponce-Hernandez, 2004). Σύμφωνα με την IPCC (2006), υπάρχουν πέντε ομάδες άνθρακα χερσαίου οικοσυστήματος που εμπλέκουν τη βιομάζα δηλαδή τη βιομάζα πάνω από το έδαφος, τη βιομάζα κάτω από το έδαφος, την νεκρή μάζα των απορριμμάτων, τα ξυλώδη συντρίμμια και την οργανική ύλη του εδάφους. Η βιομάζα πάνω από το έδαφος ενός δέντρου αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της δεξαμενής άνθρακα και θεωρείται ο σημαντικότερος και ορατός χώρος άνθρακα του χερσαίου οικοσυστήματος.

Η ακριβής οριοθέτηση της κατανομής της βιομάζας σε κλίμακες από την τοπική και την περιφερειακή έως την παγκόσμια γίνεται σημαντική για τη μείωση της αβεβαιότητας όσον αφορά τις εκπομπές και τη δέσμευση άνθρακα, κατανοώντας τους ρόλους τους όσον αφορά τη γονιμότητα του εδάφους και την υποβάθμιση ή αποκατάσταση της γης και αναγνωρίζοντας τους ρόλους τους στις περιβαλλοντικές διεργασίες και τη βιωσιμότητα (Liang, Li, & Wang, 2012). Γενικά, τα εκτιμώμενα συστατικά βιομάζας είναι η ζωντανή βιομάζα που περιλαμβάνει τα δέντρα και τους θάμνους εξαιρουμένων των ριζών, τη νεκρή βιομάζα πάνω από το έδαφος όπως τα απορρίμματα και τα πεσμένα κλαδιά ή τα στελέχη και τη βιομάζα κάτω από το έδαφος που αποτελείται από ρίζες (Vashum & Jayakumar, 2012).

2.1.2. Δέσμευση – Απορρόφηση άνθρακα

Η βιομάζα είναι μια κρίσιμη μεταβλητή για τους κύκλους άνθρακα, την κατανομή θρεπτικών ουσιών στο έδαφος, τη συσσώρευση καυσίμων και τους περιβαλλοντικούς οικοτόπους στα χερσαία οικοσυστήματα (Liang, Li, & Wang, 2012). Η ποσότητα της βιομάζας και, στη συνέχεια, του άνθρακα, που αποθηκεύεται, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την φύση του ίδιου του φυτού, από τις ιδιότητες του εδάφους στο οποίο αναπτύσσεται, καθώς εδάφη που παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης, θρεπτικά συστατικά και καλή δομή του εδάφους, έχουν μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας (Nair, Nair, Kumar, & Showalter, 2010).

Τα αποθέματα βιομάζας και άνθρακα στα δάση είναι σημαντικοί δείκτες παραγωγικής ικανότητας των δασών, ενεργειακό δυναμικό και ικανότητα απομόνωσης του άνθρακα. Τα δάση του κόσμου αποθηκεύουν περίπου 296 Gt άνθρακα τόσο στη βιομάζα πάνω όσο και κάτω από το έδαφος, η οποία περιέχει σχεδόν το ήμισυ του συνολικού άνθρακα που αποθηκεύεται στα δάση. Η περιεκτικότητα σε βιομάζα και άνθρακα είναι γενικά υψηλή στα τροπικά δάση, αντανakλώντας την επίδρασή τους στον παγκόσμιο κύκλο άνθρακα (Ponce-Hernandez, 2004). Όσον αφορά την Ευρώπη, σύμφωνα με την ΕΕ² τα δάση και τα γεωργικά εδάφη καλύπτουν σήμερα περισσότερο από τα τρία τέταρτα της επικράτειας της ΕΕ και φυσικά διαθέτουν μεγάλα αποθέματα άνθρακα, τα δάση της ΕΕ, για παράδειγμα, απορροφούν το αντίστοιχο σχεδόν 10% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ κάθε χρόνο. Ο παγκόσμιος ρόλος της απομόνωσης άνθρακα που βασίζεται σε δένδρα στις γεωργικές εκτάσεις δεν

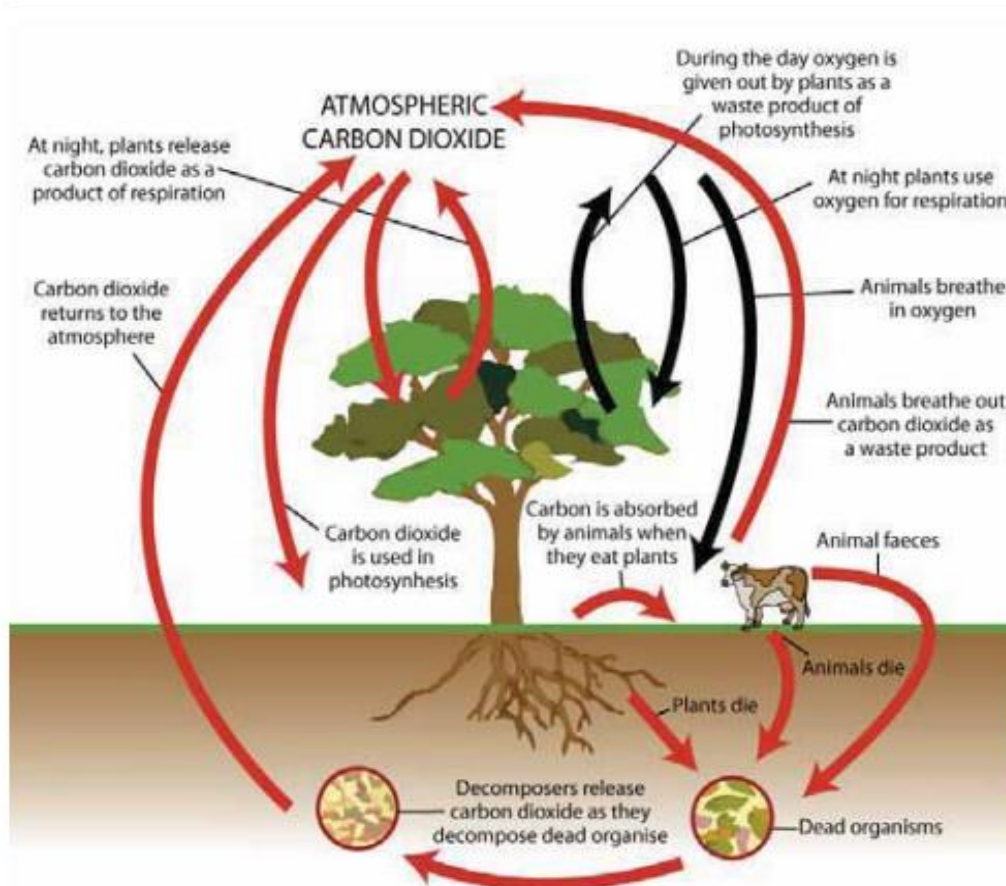
² https://ec.europa.eu/clima/policies/forests_en

έχει κατανοηθεί τόσο καλά και, ενδεχομένως, έχει υποτιμηθεί σημαντικά (Zomer, et al., 2016).

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στις καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι εκείνες που συνδέονται με τις εκπομπές CO₂ από την αποστράγγιση οργανικών εδαφών για την καλλιέργεια. Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές από οργανικά εδάφη καλλιεργήσιμων εκτάσεων εκτιμώνται σε 756 Mt CO₂ (Tubiello, et al., 2014). Τα δάση και τα δέντρα αποτελούν σημαντικά συστατικά του παγκόσμιου κύκλου C καθώς αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα στη βλάστηση και τα εδάφη. Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει τροποποιήσει σημαντικά τον παγκόσμιο κύκλο άνθρακα, καθώς η αλλαγή χρήσης της γης και η καύση ορυκτών καυσίμων έχουν αυξήσει τα επίπεδα CO₂ στην ατμόσφαιρα (Zomer R. J., Trabucco, Bossio, & Verchot, 2008).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 3) απεικονίζονται τα συστατικά του κύκλου του άνθρακα της γης: ο άνθρακας αποθηκεύεται και απομονώνεται πάνω από το έδαφος από τα φυτά, τις καλλιέργειες και τα δέντρα και κάτω από το έδαφος στο έδαφος και τις ρίζες. Η δέσμευση άνθρακα (carbon sequestration) σημαίνει ότι το διοξείδιο του άνθρακα απορροφάτε από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης από το δέντρο ή το φυτό για να το αποθηκευτεί ως κυτταρίνη στον κορμό, τα κλαδιά, τα κλαδιά, τα φύλλα και τα φρούτα και στη συνέχεια το οξυγόνο απελευθερώνεται στον αέρα σε αντάλλαγμα. Επίσης οι ρίζες των δέντρων και των φυτών απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα. Η αποσύνθεση οργανικών υλικών αυξάνει την ποσότητα του άνθρακα που αποθηκεύεται στο έδαφος, η οποία είναι υψηλότερη από τη συνολική ποσότητα στη βλάστηση και στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον τα ζώα αναπνέουν οξυγόνο και εκπνέουν CO₂ και μέσω των περιττωμάτων τους άνθρακα και το N₂O απελευθερώνεται στο έδαφος (Seeberg-Elverfeldt, 2010). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι διαφορετικό από τα άλλα αέρια θερμοκηπίου που σχετίζονται με τον κλάδο της γεωργίας, καθώς ο άνθρακας μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες στις διάφορες δεξαμενές άνθρακα στη βλάστηση, τα εδάφη και στους ζωντανούς οργανισμούς, π.χ. εκτιμάται ότι η απελευθέρωση μόλις 0,1% του άνθρακα που αποθηκεύεται επί του παρόντος στα ευρωπαϊκά εδάφη θα ισοδυναμούσε με τις ετήσιες εκπομπές από 100 εκατομμύρια αυτοκίνητα.³

³ https://ec.europa.eu/clima/policies/forests_en



Εικόνα 2: Ο κύκλος του άνθρακα. Πηγή: (Seeberg-Elverfeldt, 2010)

2.2. Μέθοδοι υπολογισμού των αποθεμάτων άνθρακα – βιομάζας

Οι κύριες συγκεντρώσεις άνθρακα στα δασικά οικοσυστήματα είναι η ζωντανή βιομάζα των δένδρων και η υποβαθμισμένη βλάστηση και η νεκρή μάζα των απορριμμάτων, των ξυλοπολτών και της οργανικής ύλης του εδάφους. Ο άνθρακας που αποθηκεύεται στην ζωντανή βιομάζα δένδρων είναι τυπικά η μεγαλύτερη δεξαμενή και ο πιο άμεσα επηρεασμένος από την αποψίλωση και την υποβάθμιση (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007). Η καλλιέργεια αποθεμάτων και η αποθήκευση άνθρακα μπορούν να θεωρηθούν σημαντικές παράμετροι, καθώς δείχνουν εάν τα δάση υποβαθμίζονται και σε ποιο βαθμό μετριάζουν την κλιματική αλλαγή (FAO, 2010). Η εκτίμηση της συσσωρευμένης βιομάζας στο δασικό οικοσύστημα είναι σημαντική για την εκτίμηση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας του δάσους (Vashum & Jayakumar, 2012).

Σύμφωνα με την οδηγία 2010/335/ΕΕ για τον υπολογισμό των αποθεμάτων άνθρακα στην οργανική ύλη του εδάφους, είναι σκόπιμο να λαμβάνονται υπόψη το κλίμα, ο τύπος του εδάφους, η εδαφοκάλυψη, η εδαφική διαχείριση και οι εισροές. Στην περίπτωση ανόργανων εδαφών, η μεθοδολογία της 1ης βαθμίδας της IPCC για τον οργανικό άνθρακα των εδαφών αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτό τον σκοπό, καθώς καλύπτει το συνολικό επίπεδο. Στην περίπτωση οργανικών εδαφών, η μεθοδολογία της IPCC αντιμετωπίζει αποκλειστικά μέσω των ετήσιων απωλειών πρωτίστως τις απώλειες του άνθρακα μετά την αποστράγγιση του εδάφους. Καθώς η αποστράγγιση του εδάφους προκαλεί συνήθως μεγάλη απώλεια αποθεμάτων άνθρακα που δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που επιτυγχάνεται με τη χρήση βιοκαυσίμων ή βιορευστών και, καθώς η αποστράγγιση των τυρφώνων απαγορεύεται βάσει των κριτηρίων βιωσιμότητας που ορίζονται στην οδηγία 2009/28/ΕΚ, αρκεί η θέσπιση γενικών κανόνων για τον καθορισμό του οργανικού άνθρακα των εδαφών ή των απωλειών άνθρακα σε οργανικά εδάφη.

Οι μεθοδολογίες ακολουθούν μια δομή ιεραρχικής βαθμίδας όπου οι μέθοδοι της βαθμίδας 1 χρησιμοποιούν προεπιλεγμένες τιμές, συνήθως με περιορισμένο διαχωρισμό δεδομένων περιοχής. Η βαθμίδα 2 αντιστοιχεί στη χρήση συντελεστών ανά χώρα και κατά κανόνα λεπτότερης κλίμακας καταμερισμού της περιοχής, πράγμα που θα μειώσει την αβεβαιότητα όσον αφορά τις εκτιμήσεις εκπομπών / αφαίρεσης. Οι μέθοδοι της βαθμίδας 3 αναφέρονται στη χρήση προσεγγίσεων ανά χώρα, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν μοντέλα διαδικασιών και λεπτομερείς μετρήσεις αποθεμάτων. Η μέθοδος του Tier 1 λειτουργεί κάτω από αρκετές υποθέσεις, και ιδίως υποθέτει ότι δεν υπάρχει συσσώρευση βιομάζας κάτω από το έδαφος, δεν υπάρχουν διαθέσιμες προκαθορισμένες τιμές για τη βιομάζα κάτω από το έδαφος για τα γεωργικά συστήματα.

Η συντριπτική πλειοψηφία των χωρών χρησιμοποιεί τους συντελεστές μετατροπής που παρείχε η IPCC για την εκτίμηση της βιομάζας από την καλλιέργεια αποθέματος. Οι σχέσεις μεταξύ των καλλιεργούμενων αποθεμάτων, της βιομάζας πάνω και κάτω από το έδαφος είναι επομένως σχετικά σταθερές με την πάροδο του χρόνου (FAO, 2010).

Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης έχουν πολλά πλεονεκτήματα στην εκτίμηση της βιομάζας πάνω από το έδαφος έναντι των παραδοσιακών μεθόδων μέτρησης πεδίου και παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας σε διαφορετικές κλίμακες, χρησιμοποιώντας είτε μοντέλα γραμμικής ή μη γραμμικής παλινδρόμησης και διάφορους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης (Liang, Li, & Wang, 2012). Παρόλο που δεν υπάρχουν πρακτικές μεθόδους για την άμεση μέτρηση όλων των αποθεμάτων άνθρακα των δασών σε μια χώρα, τόσο οι μετρήσεις εδάφους όσο και τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης για τα χαρακτηριστικά των δασών μπορούν να μετατραπούν σε εκτιμήσεις των εθνικών αποθεμάτων άνθρακα χρησιμοποιώντας αλλομετρικές σχέσεις αλλά και τα συστήματα Optical satellite data (π.χ. MODIS, Landsat, SPOT) τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανίχνευση της αποψίλωσης μπορούν να αναγνωρίσουν τις αλλαγές στην δασική περιοχή με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις πιο ήπιες αλλαγές στη κατάσταση των δασών λόγω υποβάθμισης ή ανάκτησης (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007).

Επιπλέον λόγω της δυσκολίας συλλογής δεδομένων πεδίου για τη βιομάζα κάτω από το έδαφος, οι περισσότερες έρευνες που υπάρχουν για την εκτίμηση της βιομάζας

επικεντρώθηκαν στην βιομάζα πάνω από το έδαφος (aboveground biomass). Η βιομάζα πάνω από το έδαφος δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας από οποιονδήποτε αισθητήρα από τον χώρο (Liang, Li, & Wang, 2012). Τα δεδομένα από τους πολυαισθητήρες είναι επιθυμητά για την χαρτογράφηση περιφερειακής και παγκόσμιας βιομάζας.

Η βιομάζα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μετρήσεων πεδίου και τηλεπισκόπησης και μεθόδων GIS. Οι μετρήσεις πεδίου που χρησιμοποιούνται είναι δύο (Vashum & Jayakumar, 2012):

- I. Η πρώτη είναι η καταστροφική μέθοδος εκτίμησης της βιομάζας δέντρων, η καταστροφική μέθοδος, είναι γνωστή και ως μέθοδος συγκομιδής, είναι η πιο άμεση μέθοδος εκτίμησης της βιομάζας πάνω από το έδαφος και των αποθεμάτων άνθρακα που αποθηκεύονται στα δασικά οικοσυστήματα. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη συγκομιδή όλων των δέντρων στη γνωστή περιοχή και τη μέτρηση του βάρους των διαφόρων συστατικών του δένδρου που συλλέχθηκε, όπως ο κορμός, τα φύλλα και τα κλαδιά του δέντρου και η μέτρηση του βάρους αυτών των συστατικών μετά το φούρνο αποξηραμένος. Αυτή η μέθοδος εκτίμησης βιομάζας περιορίζεται σε ένα μικρό μέγεθος ή μικρό μέγεθος δείγματος δέντρου. Αν και αυτή η μέθοδος προσδιορίζει με ακρίβεια τη βιομάζα για μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι χρόνος και πόρος που καταναλώνει, είναι επίπονος, καταστρεπτικός και δαπανηρός και δεν είναι εφικτό για μια ανάλυση μεγάλης κλίμακας. Η μέθοδος αυτή δεν ισχύει επίσης για υποβαθμισμένα δάση που περιέχουν απειλούμενα είδη. Συνήθως, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της εξίσωσης βιομάζας που θα εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της βιομάζας σε μεγαλύτερη κλίμακα.
- II. Η δεύτερη μέθοδος εκτίμησης της βιομάζας δέντρων είναι η μη καταστρεπτική μέθοδος, η οποία υπολογίζει τη βιομάζα ενός δέντρου χωρίς κοπή. Η μη καταστρεπτική μέθοδος εκτίμησης της βιομάζας εφαρμόζεται σε εκείνα τα οικοσυστήματα με σπάνια ή προστατευόμενα δένδρα, όπου η συγκομιδή τέτοιων ειδών δεν είναι πολύ πρακτική ή εφικτή. Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης της δασικής βιομάζας με την μη καταστρεπτική μέθοδο είναι η αναρρίχηση του δέντρου για τη μέτρηση των διαφόρων τμημάτων ή απλά η μέτρηση της διαμέτρου στο ύψος του στήθους, το ύψος του δέντρου, ο όγκος του δέντρου και η πυκνότητα του ξύλου και ο υπολογισμός της βιομάζας με την χρήση αλλομετρικών εξισώσεων. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εκτίμηση της βιομάζας του δάσους είναι μέσω αλλομετρικών εξισώσεων. Οι αλλομετρικές εξισώσεις αναπτύσσονται και εφαρμόζονται στα δεδομένα απογραφής των δασών για την αξιολόγηση των αποθεμάτων βιομάζας και άνθρακα των δασών. Οι αλλομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της βιομάζας αναπτύσσονται με τη δημιουργία μιας σχέσης μεταξύ των διαφόρων φυσικών παραμέτρων των δέντρων, όπως είναι η διάμετρος στο ύψος του στήθους, το ύψος του κορμού του δέντρου, το συνολικό ύψος του δέντρου, η διάμετρος της κορώνας, τα είδη δέντρων κλπ. ενώ για τα μεμονωμένα είδη και για το μείγμα ειδών δίδεται η εκτίμηση της βιομάζας για συγκεκριμένους τόπους και για συγκρίσεις μεγάλης κλίμακας σε παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα. Τα αποθέματα άνθρακα των δασών εκτιμώνται ευρέως από τις αλλομετρικές εξισώσεις για τη δασική βιομάζα. Γενικά, η συγκέντρωση

άνθρακα στα διάφορα μέρη ενός δέντρου θεωρείται ότι είναι 50% της βιομάζας.

Παρόλο που οι μετρήσεις πεδίου παρέχουν ακριβέστερη εκτίμηση της δασικής βιομάζας, είναι πολύ πιο χρονοβόρα και χρειάζεται περισσότερους πόρους. Συνεπώς, η αλλομετρική σχέση είναι συχνά η προτιμώμενη μέθοδος για την εκτίμηση της δασικής βιομάζας, καθώς αυτή η μέθοδος παρέχει μη καταστροφική και έμμεση μέτρηση της βιομάζας και συγκριτικά, είναι λιγότερο χρονοβόρα και λιγότερο δαπανηρή. Η εκτίμηση της βιομάζας με τη βοήθεια της αλλομετρικής εξίσωσης θεωρείται μη-καταστροφική μέθοδος ή έμμεση μέθοδος, καθώς αυτές οι εξισώσεις χρησιμοποιούν μόνο την παράμετρο δείκτη που προκύπτει από τα αποθέματα των δασών για την εκτίμηση της βιομάζας. Η μέτρηση των δεδομένων πεδίου είναι η πλέον συμβατική μέθοδος εκτίμησης της δασικής βιομάζας. Παρόλο που αυτή η μέθοδος εκτίμησης της δασικής βιομάζας είναι η πιο ακριβής μέθοδος για το σκοπό αυτό, είναι επίπονη, δαπανηρή, χρονοβόρα και καταστροφική (που μπορεί να μην είναι πολύ πρακτική για τα δασικά οικοσυστήματα με απειλούμενα ή σπάνια ή προστατευόμενα φυτικά είδη) και ισχύει μόνο για ένα μικρό δείγμα δέντρων και ανάλυση μικρής κλίμακας (Vashum & Jayakumar, 2012).

Η τεχνολογία τηλεπισκόπησης αποτελεί την λύση για τις προκλήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι χρήσιμα για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση της βλάστησης, της κάλυψης της γης και τις αλλαγές των χρήσεων γης. Τα αποθέματα άνθρακα του δάσους μπορούν να αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας τεχνολογία τηλεπισκόπησης. Οι εικόνες τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της βιομάζας πάνω από το έδαφος τουλάχιστον με τρεις τρόπους: ταξινόμηση της κάλυψης βλάστησης και δημιουργία χάρτη για τον τύπο βλάστησης, έμμεση εκτίμηση της βιομάζας μέσω κάποιας ποσοτικής σχέσης (π.χ. εξισώσεις παλινδρόμησης, NDVI, κ.λπ.), διαχωρίζοντας τη χωρική μεταβλητότητα της κάλυψης της βλάστησης σε σχετικά ομοιόμορφες ζώνες ή κλάσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλαίσιο δειγματοληψίας για τον εντοπισμό και τις μετρήσεις εδάφους (Ponce-Hernandez, 2004).

Τα δεδομένα χωρικής ανάλυσης, όπως αερομεταφερόμενες αεροφωτογραφίες και διαστημικές εικόνες IKONOS, μπορούν να παρέχουν ακριβή εκτίμηση της βιομάζας πάνω από το έδαφος σε τοπική κλίμακα αλλά ο μεγάλος όγκος δεδομένων και οι επιπτώσεις του προβλήματος της σκίασης περιορίζουν την εφαρμογή αυτών για μια μεγάλη περιοχή ενώ δεδομένα μεσαίας χωρικής ανάλυσης, όπως το Landsat TM, παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης της AGB σε περιφερειακό επίπεδο, αλλά τα μικτά pixel και ο κορεσμός των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι αποτελούν πρόβλημα στην εκτίμηση της AGB σε εκείνες τις περιοχές με σύνθετα βιοφυσικά περιβάλλοντα. Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα χονδρικής χωρικής ανάλυσης, όπως το AVHRR ή το MODIS, μπορούν να παρέχουν εκτίμηση AGB σε εθνική ή παγκόσμια κλίμακα, αλλά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμη εκτενώς λόγω της δυσκολίας σύνδεσης των δεδομένων χάρτου με χωρική ανάλυση και των μετρήσεων πεδίου (Lu D. , 2006).

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο σκέψεις για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους εικονοστοιχείων για τη μέτρηση της βιομάζας μέσω των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Για τον προσδιορισμό της βιομάζας του δάσους που έχει πραγματικά διαταραχθεί το μέγεθος των εικονοστοιχείων θα πρέπει να είναι κοντά στο μέγεθος της διαταραχής (25-100m) ενώ σε περιοχές χωρίς διαταραχή, το μέγεθος των εικονοστοιχείων μπορεί να είναι μεγαλύτερο, αρκετά μεγάλο για να συλλάβει μια μέση ή αντιπροσωπευτική βιομάζα π.χ. τα τροπικά δάση έχουν συχνά μερικά μεγάλα δέντρα με δυσανάλογο μερίδιο της βιομάζας πάνω από το έδαφος αντίθετα τα μικρά οικόπεδα περιλαμβάνουν ένα μεγάλο δέντρο και υπερεκτιμούν τη βιομάζα ή υποτιμούν τη βιομάζα. Το κατάλληλο μέγεθος γραφικών (pixel) πρέπει να καταγράφει μεγάλα δέντρα ανάλογα με την αφθονία τους (ανάλυση 100-200m), επειδή και οι δύο τύποι μεταβλητότητας είναι σημαντικοί, το απαιτούμενο μέγεθος εικονοστοιχείων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100 μέτρα (Houghton, 2005). Ένας συνδυασμός δεδομένων πολυδιάστατης τηλεπισκόπησης, από τις χονδροειδείς έως τις μεσαίες έως τις λεπτομερείς χωρικές αναλύσεις, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της εκτίμησης AGB σε εθνική ή παγκόσμια κλίμακα ενώ και ο συνδυασμός της τηλεπισκόπησης και του GIS θα είναι επίσης χρήσιμη για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης AGB, όταν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα πολλαπλών πηγών (Lu D. , 2006).

Με βάση τα παραπάνω υπάρχουν κάποια βασικά τεχνικά ζητήματα στην παρακολούθηση των αποθεμάτων του C που απομονώνονται στις τρέχουσες και δυνητικές χρήσεις γης και στις προσεγγίσεις διαχείρισης καθώς δεν υπάρχει ένα ενιαίο πρότυπο σύνολο μεθόδων και διαδικασιών για αυτό. Οι έμμεσες μέθοδοι εκτίμησης, όπως η τηλεπισκόπηση και η μοντελοποίηση, υπόκεινται στο πρόβλημα των απλουστευμένων "μέσων" τιμών που χρησιμοποιούνται συχνά ως βάσεις για περαιτέρω υπολογισμούς (Nair, Kumar, & Nair, 2009) ενώ η συλλογή και η μέτρηση δεδομένων πεδίου παρέχει ακριβέστερες μετρήσεις θεωρείται μια δύσκολη, χρονοβόρα και με υψηλό κόστος διαδικασία.

2.3. Υπολογισμοί των αποθεμάτων άνθρακα – βιομάζας

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι η εκτίμηση της βιομάζας παραμένει ένα δύσκολο έργο, ειδικά σε περιοχές που αποτελούνται από σύνθετες δομές δασικών εκτάσεων και περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης φαίνεται ότι είναι η κύρια πηγή για την εκτίμηση της βιομάζας. Αν και οι παραδοσιακές τεχνικές που βασίζονται στη μέτρηση πεδίου είναι οι πιο ακριβείς τρόποι συλλογής δεδομένων βιομάζας και ένας επαρκής αριθμός μετρήσεων πεδίου αποτελεί προϋπόθεση για την ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης της βιομάζας πάνω από το έδαφος και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εκτίμησης της βιομάζας, ωστόσο είναι συχνά χρονοβόρες, απαιτούν εργασία και είναι δύσκολο να εφαρμοστούν, ιδίως στις απομακρυσμένες περιοχές και δεν μπορούν να παρέχουν τη χωρική κατανομή της βιομάζας σε μεγάλες περιοχές (Lu D. , 2006). Για τον λόγο αυτό ο πιο διαδεδομένος τρόπος μέτρησης της βιομάζας στην σύγχρονη βιβλιογραφία είναι τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης και έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την εκτίμηση της βιομάζας χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης παρακάτω θα γίνει μια σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τα συγκεκριμένα θέματα.

Οι Song et al. (2014) ανέπτυξαν μια μέθοδο για την ανίχνευση της ετήσιας απώλειας δασικής κάλυψης από τις εκτιμήσεις χρονολογικών σειρών του ποσοστού κάλυψης δέντρων. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε με τη χρήση του ετήσιου προϊόντος κάλυψης δένδρων συνεχούς πεδίου βλάστησης (VCF) από το φασματόμετρο μέτρησης της ανάλυσης (MODIS), και αναπτύχθηκε ο αλγόριθμος Ανάλυση Αλλαγών με Βάση Δεδομένων VCF (VCA), όπου δοκιμάστηκε σε δύο διακριτά διαφόρων μορφών απώλειας δασικών επικαλύψεων - του νότιου Αμαζονίου και των Δυτικών Η.Π.Α. - και αξιολογείται χρησιμοποιώντας δεδομένα αναφοράς που προέρχονται από την Landsat. Τα κύρια πλεονεκτήματα της νέας μεθόδου που παρουσιάζονται περιλαμβάνουν: αξιόπιστα αποτελέσματα, απλότητα στον υπολογισμό, παγκόσμια εφαρμογή ευελιξία για τη λήψη απότομων, αλλά και σταδιακών αλλαγών και δυνατότητα εφαρμογής σε άλλους δορυφορικούς αισθητήρες. Επειδή η αύξηση της συχνότητας ανίχνευσης αλλαγής δασικής κάλυψης σε ετήσια ανάλυση είναι ιδιαίτερα επιθυμητή για την κατανόηση του παγκόσμιου κύκλου άνθρακα.

Ο Lu (2005) διεξήγαγε μια μελέτη για την εκτίμηση της βιομάζας πάνω από το έδαφος στο Αμαζόνιο της Βραζιλίας χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat TM. Στην έρευνα εκτίμησης χρησιμοποιείται η μέθοδος πολλαπλής παλινδρόμησης προσέγγιση. Η μελέτη έδειξε ότι η χρήση της εικόνας Landsat TM για την εκτίμηση της βιομάζας των δασών πάνω από το έδαφος είναι πιο επιτυχημένη για τα διαδοχικά δάση παρά για τα ώριμα δάση και ότι η πολυπλοκότητα της δομής των δασικών εκτάσεων είναι ο βασικός παράγοντας που καθιστά δύσκολη την εκτίμηση της βιομάζας πάνω από το έδαφος και ότι οι διαφορετικές βιοφυσικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά τις εκτιμήσεις της.

Ο Houghton (2005) προσπάθησε να αξιολογήσει την αβεβαιότητα της βιομάζας στις επιπτώσεις των εκτιμήσεων της χερσαίας ροής άνθρακα. Για τον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο οι αβεβαιότητες των ποσοστών αποψίλωσης και της μέσης βιομάζας των δασών επηρεάζουν τις εκτιμήσεις των εκπομπών άνθρακα, διεξήγαγε μια σειρά δοκιμών ευαισθησίας με ένα μοντέλο άνθρακα. Το μοντέλο υπολογίζει την καθαρή ροή του άνθρακα από τις αλλαγές στη χρήση γης για τρεις τροπικές περιοχές και διεξάγονται πέντε πειράματα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι η ροή του άνθρακα είναι ευαίσθητη τόσο στη περίπτωση της αποψίλωσης αλλά και στη δασικής βιομάζας. Επιπλέον φαίνεται οι εκπομπές άνθρακα από την τροπική αποδάσωση εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη βιομάζα των εκτάσεων που έχουν αποψιλωθεί.

Οι Myeong et al. (2006) ανέπτυξαν μια μέθοδο που βασίζεται στη χρονοσειρά της δορυφορικής εικόνας, η οποία μπορεί να επιταχύνει σημαντικά τη χαρτογράφηση αποθήκευσης άνθρακα. Για την ανίχνευση αλλαγών στην αποθήκευση άνθρακα από τα δέντρα χρησιμοποιήθηκε η κανονικοποιημένη διαφοροποίηση Vegetation Index (NDVI). Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Landsat για την ανάπτυξη μιας εξίσωσης παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της αποθήκευσης άνθρακα των αστικών δασών από τον NDVI για μια αστική περιοχή στις ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι οι αναλύσεις εικόνας μπορούν να παράγουν αρκετά καλά τις εκτιμήσεις της αποθήκευσης άνθρακα για την αστική περιοχή των ΗΠΑ που μελετήθηκε. Ωστόσο, απαιτείται περισσότερη έρευνα για να καθοριστεί εάν αυτή η προσέγγιση λειτουργεί για άλλες αστικές περιοχές με διαφορετικά πρότυπα αλλαγής, κάλυψης γης και κατανομής διαμέτρου δέντρων.

Οι Liu et al. (2015) χρησιμοποίησαν μια νέα προσέγγιση τηλεπισκόπησης για την εξαγωγή παγκόσμιων εκτιμήσεων του άνθρακα πάνω από το έδαφος τόσο για τις δασικές όσο και για τις μη δασικές βιομάζες από το 1992 έως το 2012 με βάση δορυφορικές παθητικές παρατηρήσεις μικροκυμάτων έναντι άλλων οπτικών παρατηρήσεων, σε συνδυασμό με τους δυναμικούς χάρτες κάλυψης εδάφους MODIS IGBP για το 2003-2012. Τα ευρήματα της έρευνας ήταν ότι τα μη δάση συμβάλλουν επίσης στην παγκόσμια απορροή γης και ότι ο άνθρακας πάνω από το έδαφος έχει αυξηθεί σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως, αλλά η μακροπρόθεσμη τάση κυριαρχείται από την αποψίλωση των τροπικών δασών.

Παρόλο που έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την εκτίμηση της βιομάζας και των αποθεμάτων άνθρακα, υπάρχει ακόμα ανάγκη να αναπτυχθούν μέθοδοι για την ακριβέστερη ποσοτικοποίηση των εκτιμήσεων της βιομάζας όλων των δασικών συστατικών και των αποθεμάτων άνθρακα.

Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία - Δεδομένα

3.1. Περιοχή μελέτης

Η λεκάνη της Μεσογείου εκτείνεται σε απόσταση περίπου 3.800 χλμ. από τα δυτικά προς τα ανατολικά, από το άκρο της Πορτογαλίας έως τις ακτές του Λιβάνου, και σε απόσταση περίπου 1 000 χλμ. από τα βόρεια προς τα νότια, από την Ιταλία έως το Μαρόκο και τη Λιβύη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η περιοχή της Μεσογείου περιλαμβάνει επτά κράτη μέλη, είτε μερικώς (Γαλλία, Πορτογαλία, Ιταλία, Ισπανία) είτε πλήρως (Ελλάδα, Μάλτα, Κύπρος).

Το κλίμα χαρακτηρίζεται από ζεστά ξηρά καλοκαίρια και υγρούς ήπιους χειμώνες, αλλά φημίζεται επίσης για τις ξαφνικές αλλαγές του από τις καταρρακτώδεις βροχές ή τους πολύ ισχυρούς ανέμους που εκδηλώνονται σε διάφορες εποχές του χρόνου. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες ασκούν βαθιά επίδραση στη βλάστηση και στην άγρια ζωή στην περιοχή.

Η περιοχή της Μεσογείου αναφέρεται συχνά ως το λίκνο του ευρωπαϊκού πολιτισμού. Η κτηνοτροφία, η παραγωγή σιτηρών, η καλλιέργεια οπωροκηπευτικών θεωρούνται ότι ξεκίνησαν εδώ πριν από χιλιάδες χρόνια. Η προέλευση πολλών από τα σημερινά γεωργικά προϊόντα σε ολόκληρο τον κόσμο βρίσκεται επίσης στη περιοχή της Μεσογείου και είναι ένα από τα σημαντικότερα κέντρα προέλευσης καλλιεργούμενων φυτών παγκόσμιας σημασίας.

3.2. Μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης

Σύμφωνα με την IPCC (IPCC., 2006), ο άνθρακας μπορεί να αποθηκευτεί στη βιομάζα καλλιεργήσιμων εκτάσεων που περιέχουν πολυετή ξυλώδη βλάστηση που περιλαμβάνει αλλά δεν περιορίζεται σε μονοκαλλιέργειες όπως ο καφές, η φοινικέλαιο, η καρύδα, οι φυτείες από καουτσούκ, οι οπωροφόροι οίνοι και οι πολυκαλλιέργειες όπως τα αγροτικά συστήματα. Για να εκτιμηθεί με βάση τα παραπάνω ο άνθρακας της βιομάζας θα πρέπει πρώτα να βρεθεί το ποσοστό κάλυψης δέντρων στη γεωργική γη. Για να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση του ποσοστού της κάλυψης των δένδρων μόνο σε γεωργικές εκτάσεις, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο δεδομένων τηλεπισκόπησης με δορυφορικές εικόνες MODIS από το 2000 έως το 2018 και συνδυάστηκε με τη βάση δεδομένων Global Land Cover 2000 (GLC 2000) για την εξαγωγή μόνο των κατηγοριών που ανήκουν στην γεωργική γη. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει η συγκεκριμένη διαδικασία είναι τα εξής :

- MOD44B MODIS/Terra Vegetation Continuous Fields Yearly Global 250m - Collection 6 (2000 through to 2018): • Percent Tree Cover
- Global Land Cover 2000 (GLC 2000) Database⁴ • Land-cover categories

⁴<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/global-land-cover-250m>

Η κάλυψη δένδρων έχει καταγραφεί από το σύνολο δεδομένων VCF- Collection 6 για τα έτη 2000 – 2018, επειδή η χρονική περίοδος στην οποία η μελέτη αφορά είναι σχεδόν 20 έτη και για να μειωθεί η επίδραση αυτής της μεταβλητότητας στις εκτιμήσεις της μεταβολής κατά τη διάρκεια της περιόδου και να είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα της ανάλυσης, υπολογίστηκε κατά μέσο όρο τα πρώτα τρία έτη του συνόλου δεδομένων (2000-2002), τα τρία έτη (2008-2010) και τα τρία τελευταία έτη (2016-2018). Με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των 3 ετών για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους ώστε να γίνει η ανάλυση των αλλαγών. Επιπλέον, για την εξαγωγή των κατηγοριών που ανήκουν στη γεωργικής γη χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι γεωργικών χρήσεων από τη βάση δεδομένων κάλυψης γης Global Land Cover 2000 οι οποίοι είναι οι εξής :

- Cultivated and Managed Areas (agriculture — intensive),
- Cropland/Other Natural Vegetation (non-trees: mosaic agriculture/degraded vegetation)
- Cropland/Tree Cover Mosaic (agriculture/degraded forest)

Με την βοήθεια του λογισμικού ArcGIS 10.2 και αφού υπολογίστηκε ο μέσος όρος τριών ετών για το ποσοστό κάλυψης δέντρων, εξήχθησαν τα εικονοστοιχεία και για τα τρία έτη (2000, 2010, 2018) όπου ανήκαν στις κατηγορίες που ορίστηκαν ως γεωργική γη αλλά και η διαφορά του ποσοστού αυτού από το 2000 έως το 2018.

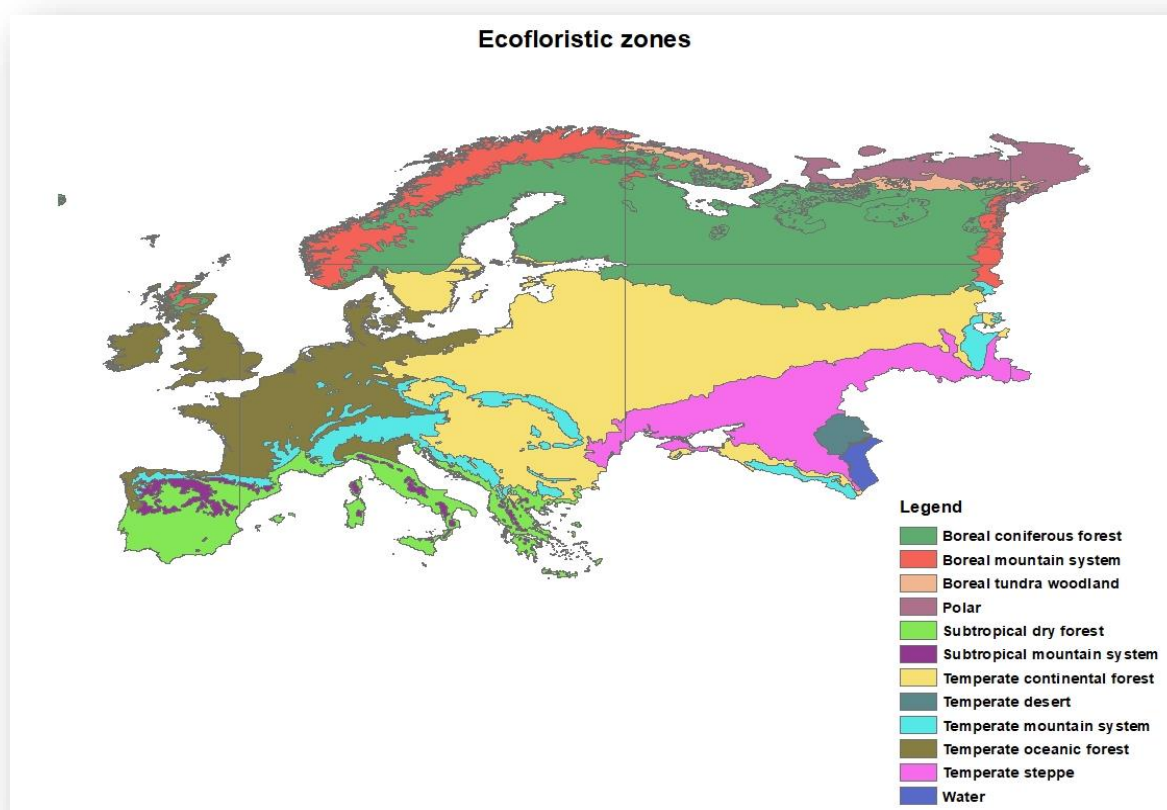
Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το ποσοστό κάλυψης δέντρων μόνο για την γεωργική γη υπολογίστηκαν οι εκτιμήσεις του άνθρακα της βιομάζας στις συγκεκριμένες εκτάσεις. Για την ποσοτικοποίηση, των εκτιμήσεων του άνθρακα βιομάζας σε γεωργικές εκτάσεις, χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες εκτιμήσεις IPCC Tier 1 για τον άνθρακα βιομάζας που αποθηκεύτηκαν σε ποικίλους τύπους κάλυψης εδάφους ανάλογα με τις κλιματικές ζώνες που βρίσκονταν και συνδυάστηκαν με τις εκτιμήσεις κάλυψης δένδρων που ανήκουν σε γεωργικές εκτάσεις. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC του 2006 (Chapter 5, τμήμα 5.2.1), οι μεταβολές του άνθρακα στις καλλιεργούμενες εκτάσεις που παραμένουν στην ίδια κατηγορία χρήσης γης μπορούν να εκτιμηθούν είτε από: α) ετήσιους ρυθμούς αύξησης και απώλειας βιομάζας είτε από (β) αποθέματα άνθρακα σε δύο χρονικά σημεία , ανάλογα με την μέθοδο Tier που χρησιμοποιείται.

Για τις παγκόσμιες εκτιμήσεις Tier 1 του άνθρακα βιομάζας χρησιμοποιήθηκε το "New Global Tier-1 Carbon Map for IPCC Tier-1 for the year of 2000" (το οποίο είναι διαθέσιμο από το Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) Oakridge National Laboratory)⁵. Οι (Ruesch & Gibbs, 2008) συνθέσαν και χαρτογραφήσαν τις προεπιλεγμένες τιμές IPCC Tier-1 χρησιμοποιώντας ένα παγκόσμιο χάρτη κάλυψης εδάφους διαστρωματωμένο ανάλογα με την ήπειρο, την οικοπεριοχή και το επίπεδο δασικής διαταραχής και συγκέντρωσαν συνολικά 124 ζώνες άνθρακα ή περιοχές με μοναδικές τιμές αποθέματος άνθρακα βάσει των μεθόδων IPCC Tier-1. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η προστιθέμενη συνεισφορά της κάλυψης των δένδρων στις γεωργικές εκτάσεις, χρησιμοποιήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή άνθρακα βιομάζας της κατηγορίας 1 για γεωργική γη (5tC / ha) ως τιμή βάσης, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν δέντρα στην έκταση αυτή (κάλυψη δέντρου = 0%), ανεξάρτητα από την κλιματική ζώνη που βρίσκεται λαμβάνει τιμή άνθρακα βιομάζας 5 tC / ha.

⁵ https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/epubs/ndp/global_carbon/carbon_documentation.html

Για τον υπολογισμό της βιομάζας, με την βοήθεια του λογισμικού ArcMap 10.2, διαχωρίστηκε το ποσοστό κάλυψης δέντρων ανάλογα με την κλιματική ζώνη (carbon zone) στην οποία ανήκει. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν για την Ευρώπη από το New Global Tier-1 Carbon Map for IPCC Tier-1 for the year of 2000, οι τιμές που αφορούσαν τις Mixed Classes Forests (GLC2000 Classes 6-8) για 5 κλιματικές ζώνες οι οποίες είναι οι εξής :

- Subtropical Dry Forest
- Subtropical Mountain Systems
- Temperate Oceanic Forest
- Temperate Continental Forest
- Temperate Mountain Systems



Εικόνα 3: Κλιματικές ζώνες της Ευρώπης.

Ανάλογα με την κλιματική ζώνη και την προκαθορισμένη τιμή άνθρακα που παίρνουν οι παραπάνω κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τον πίνακα από το New Global Tier-1 Carbon Map for IPCC Tier-1 for the year of 2000 υπολογίστηκε μια γραμμική αύξηση του άνθρακα βιομάζας από το 0% έως 100% κάλυψης δέντρων ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει. Πρακτικά, χρησιμοποιώντας σαν βάση το ποσοστό της κάλυψης δέντρων για κάθε έτος έγινε επαναταξινόμηση σε tC από την ελάχιστη τιμή 5tC/ ha μέχρι τη μέγιστη τιμή που λαμβάνει ο άνθρακας της βιομάζας στις 5 διαφορετικές κλιματικές ζώνες που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή οι τιμές άνθρακα

βιομάζας σε γεωργικές εκτάσεις αν υπάρχει 100% κάλυψη δέντρων είναι ίσες με τη σχετική τιμή που υπάρχει για τις Mixed Forest Classes, στη κάθε κλιματική ζώνη. Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων υπολογίστηκαν σε tC/ km² και στη συνέχεια έγινε μετατροπή σε tC/ ha. Επιπλέον υπολογίστηκε η διαφορά του επίπεδου του άνθρακα της βιομάζας τόσο για την δεκαετία 2000-2010 αλλά και για σχεδόν την εικοσαετία 2000-2018.

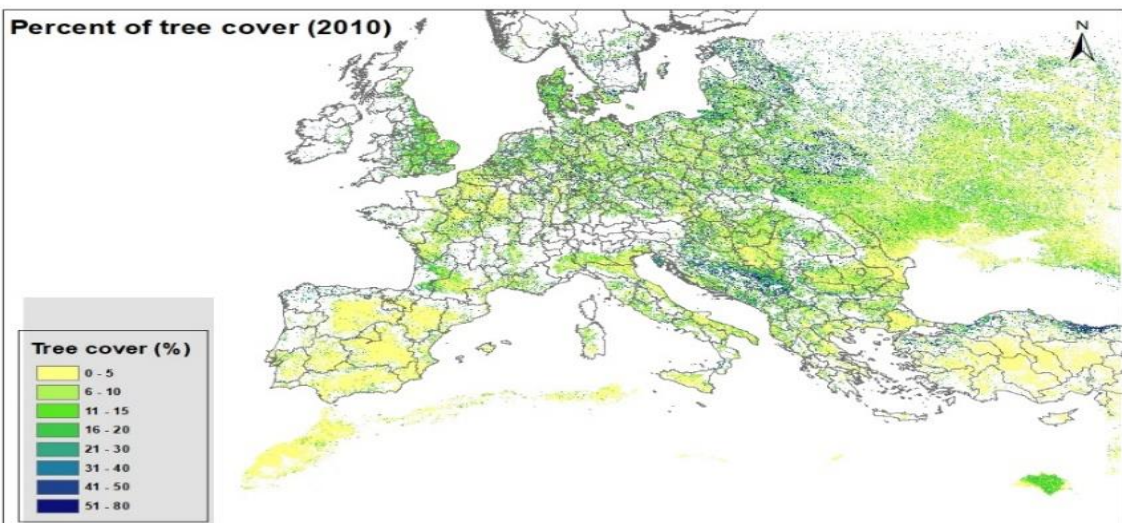
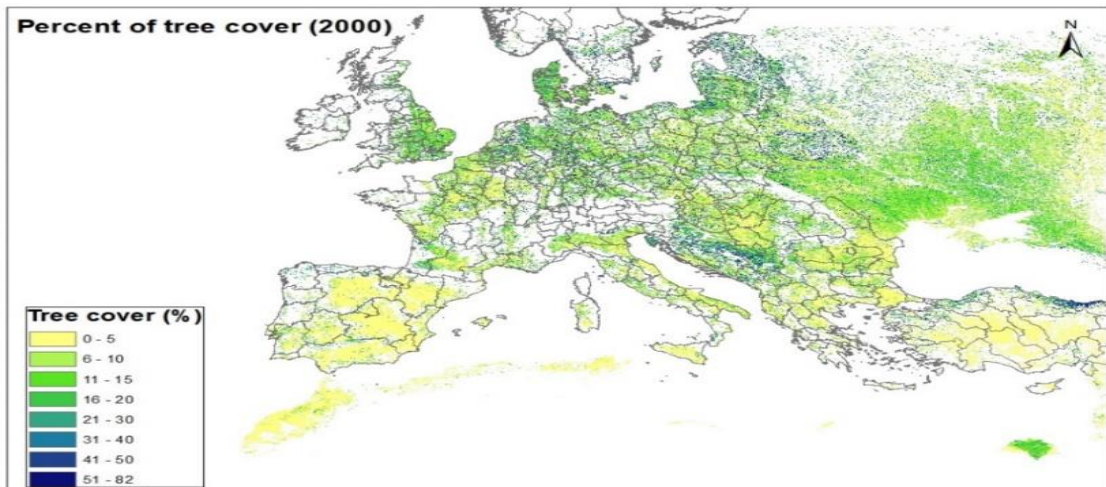
Τέλος, έγινε υπολογισμός και χωρική απεικόνιση των εκτιμήσεων του άνθρακα βιομάζας στις γεωργικές εκτάσεις σε επίπεδο χωρών και περιφερειών της Μεσόγειου και της Ευρώπης για την χρονική περίοδο 2000-2018. Για τον υπολογισμό του άνθρακα βιομάζας για την κάθε χώρα και για τις περιφέρειες της χρησιμοποιήθηκαν τα γεωγραφικά – διοικητικά όρια της Eurostat - Nuts 2016. Ο υπολογισμός τόσο σε επίπεδο χώρας αλλά και περιφέρειας έγινε σε tC / km² και στη συνέχεια μετατράπηκε σε tC/ ha.

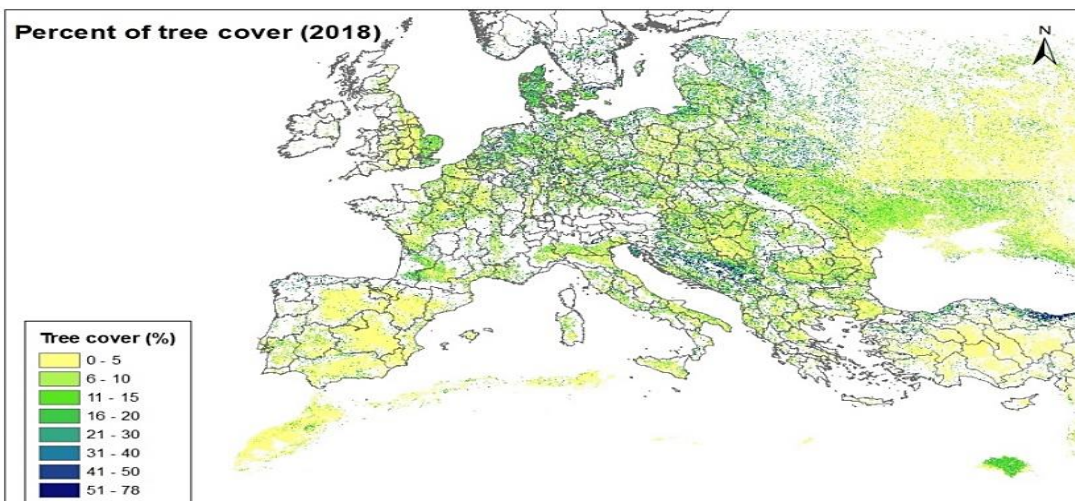
Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα

4.1. Ποσοστό κάλυψης δέντρων

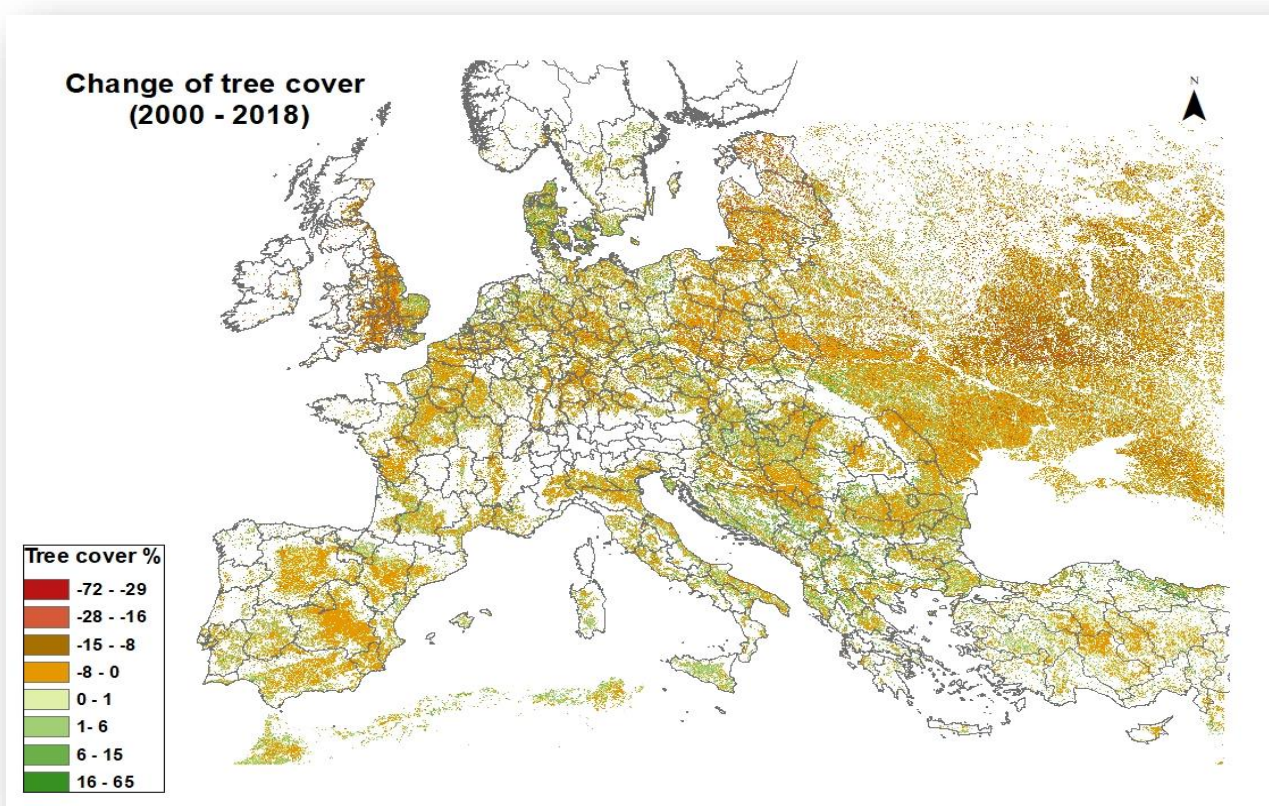
Λαμβάνοντας υπόψιν, την μεθοδολογία και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις εκτιμήσεις του άνθρακα της βιομάζας όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο κρίνεται σκόπιμο να διερευνηθεί πρώτα η κατανομή της κάλυψης των δένδρων σε γεωργικές εκτάσεις για έτη της ανάλυσης, καθώς αποτελεί βασικό στοιχείο της ανάλυσης (Εικ.2), και στη συνέχεια να εξεταστεί η κατανομή των εκτιμήσεων του άνθρακα της βιομάζας σε επίπεδο χωρών και περιφερειών. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις εκτιμάται ότι είναι η μεγαλύτερη πηγή άνθρακα που χάνεται στην ατμόσφαιρα στην Ευρώπη κάθε χρόνο (Smith, 2004). Η υπάρχουσα κάλυψη των δένδρων - που μέχρι στιγμής αγνοείται στους περισσότερους παγκόσμιους και περιφερειακούς υπολογισμούς φαίνεται να συμβάλλει σημαντικά στη συγκέντρωση του άνθρακα στις γεωργικές εκτάσεις (Zomer, et al., 2016), γεγονός που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς ένα μεγάλο μέρος του εδάφους τόσο της Ευρώπης αλλά και της Μεσογείου καλύπτεται από γεωργικές εκτάσεις.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικ.2, Εικ.3) απεικονίζεται το ποσοστό κάλυψης δέντρων σε γεωργική γη για το 2000, 2010, 2018 αντίστοιχα αλλά και η αλλαγή αυτού του ποσοστού από το 2000 μέχρι και το 2018. Από τα δεδομένα κάλυψης δέντρων έχουν αποκλειστεί περιοχές που είναι είτε μη γεωργικές είτε αστικές περιοχές. Η έκταση των γεωργικών εκτάσεων έχει διαστρωματωθεί για κάθε αξία κάλυψης δένδρων από 0 έως 100. Οι χώρες της Μεσογείου φαίνεται να έχουν χαμηλό ποσοστό κάλυψη δέντρων έως 15%, μοτίβο που ακολουθείται διαχρονικά και για τα 3 έτη που εξετάζονται. Σε βάθος σχεδόν εικοσαετίας (2000-2018), οι περισσότερες χώρες της Ευρώπης παρουσιάζουν χαμηλά έως μέτρια ποσοστά κάλυψης δέντρων (10% - 30%) στην γεωργική γη. Παρόλα αυτά για τα έτη 2000 – 2018, φαίνεται πως υπάρχει μικρή μείωση 2% της κάλυψης δέντρων τόσο μεταξύ του 2000 και του 2010 αλλά και από το 2010 έως το 2018. Αναλυτικότερα, από 82% που ήταν η μέγιστη τιμή του ποσοστού κάλυψης δέντρων το 2000, το 2018 η μέγιστη τιμή είναι στο 78%. Διαχρονικά, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6 φαίνεται ότι στην Ευρώπη το ποσοστό κάλυψης δέντρων σε σχεδόν βάθος εικοσαετίας (2000-2018) παρουσιάζει στο μεγαλύτερο μέρος της μείωση έως -8% ενώ η διαφορά του ποσοστού κάλυψης δέντρων παρουσιάζει τιμές από -72% έως + 65%. Επιπλέον, εντοπίζεται ότι μικρό μέρος της Ελλάδας και της Ιταλίας παρουσιάζουν αύξηση έως και 15 %. Ανάμεσα στα έτη 2000-2018, η Ευρώπη έχει στο μεγαλύτερο μέρος της χαμηλό ποσοστό κάλυψης δέντρων μέχρι 20 %, γεγονός που εμφανίζεται έντονα και στις χώρες της Μεσογείου (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία).





Εικόνα 4: Ποσοστό κάλυψης δέντρων σε γεωργικές εκτάσεις για τα έτη 2000, 2010 και 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 5: Μεταβολή του ποσοστού κάλυψης δέντρων για τα έτη 2000 - 2018. (Ιδία επεξεργασία)

4.2. Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας

Όσον αφορά τις εκτιμήσεις για τον άνθρακα βιομάζας που αποθηκεύεται στις γεωργικές εκτάσεις, τα αποτελέσματα των οποίων απεικονίζονται παρακάτω, φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιοχών και των βιοκλιματικών ζωνών. Οι εκτιμήσεις αναδεικνύουν ότι η πλειονότητα των γεωργικών περιοχών στην Ευρώπη έχει αρκετά χαμηλά έως μέτρια επίπεδα άνθρακα βιομάζας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για να ληφθεί υπόψη η προστιθέμενη συμβολή της κάλυψης των δένδρων στις γεωργικές εκτάσεις, χρησιμοποιήσαμε την τιμή αναφοράς άνθρακα βιομάζας Tier 1 για γεωργική γη (5tC / ha) ως βασική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι όταν το ποσοστό κάλυψης δέντρων είναι 0%, η τιμή που υπολογίστηκε για του άνθρακα της βιομάζας είναι 5tC / ha χωρίς να λαμβάνετε υπόψη η κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει.

Παρακάτω παρουσιάζονται (Πίνακας 1) ο μέσος όρος των εκτιμήσεων του άνθρακα της βιομάζας των χωρών της Μεσογείου αλλά και συνολικά της Ευρώπης για το 2000, 2010, 2018 αντίστοιχα και οι διαφορές στα επίπεδα της βιομάζας τόσο σε βάθος δεκαετίας (2000-2010 και 2010-2018) αλλά και εικοσαετίας (2000-2018). Με βάση τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι ανάμεσα στη δεκαετία 2000 – 2010, η Ευρώπη παρουσιάζει μια πολύ μικρή μείωση στον άνθρακα της βιομάζας, το ίδιο πρότυπο ακολουθείται και συγκρίνοντας τις μεταβολές και μεταξύ των υπόλοιπων ετών (2010-2018 και 2000-2018). Αντίθετα, σε επίπεδο χωρών φαίνεται ότι οι χώρες της Μεσογείου, εκτός από την Πορτογαλία, παρουσιάζουν αύξηση από το 2000 στο 2010.

Για την πιο πρόσφατη δεκαετία (2010- 2018) εντοπίζεται ότι η Ιταλία παρουσιάζει μια αρνητική μεταβολή το 2018 σε σχέση με το 2010 ενώ για την Ελλάδα, την Ισπανία και την Πορτογαλία η μεταβολή ακολουθήσε θετική πορεία για αυτή την δεκαετία. Παρατηρώντας όμως τις αλλαγές από το 2000 στο 2018, φαίνεται η Ελλάδα, η Ισπανία και η Ιταλία να έχουν αύξηση των επιπέδων του άνθρακα της βιομάζας. Παρόλο που ο μέσος όρος του άνθρακα της βιομάζας είναι χαμηλότερος το 2018 σε σχέση με το 2010 και πάλι συγκρίνοντας τον με τα αρχικά αποτελέσματα του 2000 παρουσιάζει αύξηση. Η Πορτογαλία μπορεί να είναι η μόνη χώρα από την Μεσόγειο που παρουσιάζει διαχρονικά μειούμενες τιμές από το 2000 αλλά φαίνεται από τον πίνακα 1 ότι από το 2010 στο 2018 υπάρχει αύξηση στον άνθρακα της βιομάζας και έχει επιστρέψει σε πολύ κοντινά επίπεδα με το 2000. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες, η Ελλάδα είναι αυτή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη αύξηση σε βάθος εικοσαετίας. Επιπλέον, για το έτος 2000 η Ιταλία και η Πορτογαλία βρίσκονταν πάνω από το μέσο όρο της Ευρώπης αντίθετα με την Ελλάδα και την Ισπανία, ενώ για το 2010 και το 2018 μόνο η Ισπανία συνέχισε να βρίσκεται κάτω από τον μέσο όρο της Ευρώπης. Για το 2018 , φαίνεται ότι σε επίπεδο χωρών για την Μεσόγειο υπάρχει αύξηση αντίθετα συνολικά για την Ευρώπη φαίνεται να υπάρχει μείωση από το 2000 έως το 2018. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι οι χώρες της Μεσογείου και ιδιαίτερα η Ισπανία εκτιμώνται σε πολύ χαμηλές τιμές < 10 tC / ha για όλα τα έτη ανάλυσης.

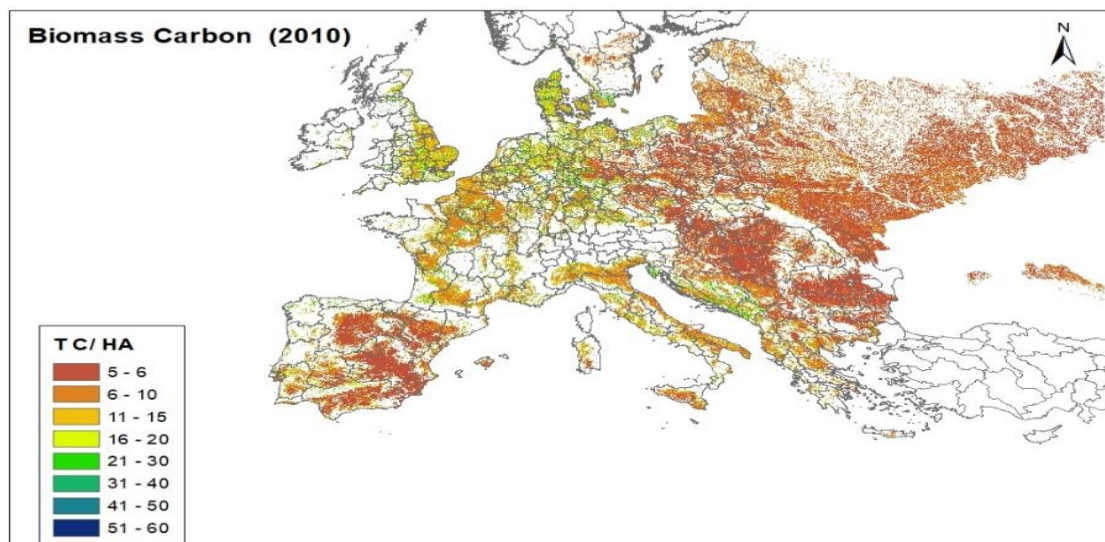
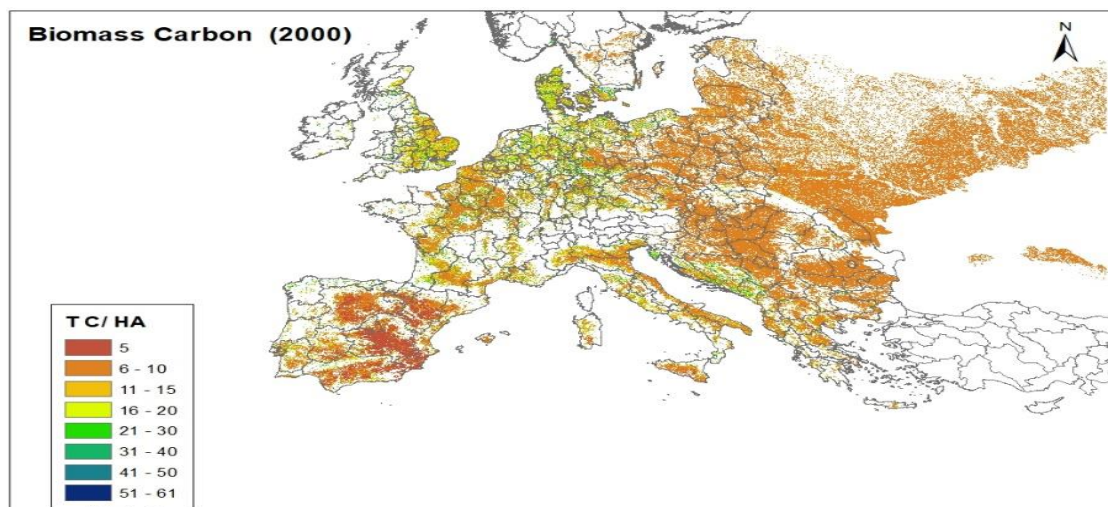
Average Biomass Carbon (t C/ ha)

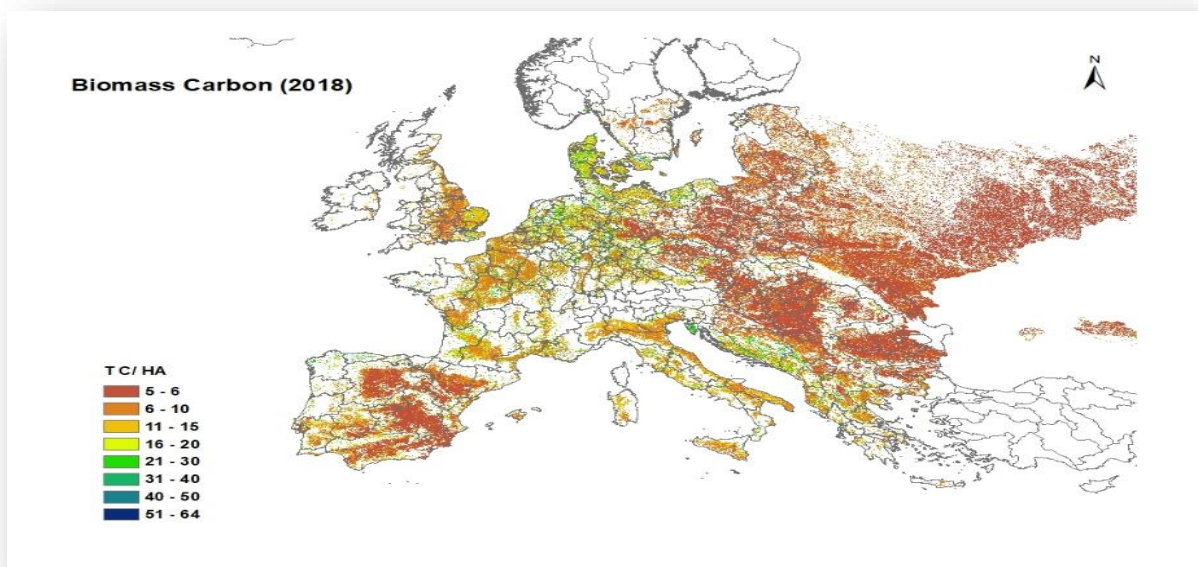
Country	2000	2010	2018	Change (2000- 2010)	Change (2010- 2018)	Change (2000- 2018)
Spain	7,5	7,71	7,9	0,21	0,19	0,4
Italy	11,05	11,45	11,39	0,4	-0,06	0,34
Greece	9,05	10,54	10,77	1,49	0,23	1,72
Portugal	11	9,7	10,63	-1,3	0,93	- 0,37
Europe	9,14	9,08	8,86	-0,06	- 0,22	- 0,28

Πίνακας 1: Μέσος όρος του άνθρακα της βιομάζας (tC/ha) για τα έτη 2000, 2010 και 2018 και η μεταβολή του σε επίπεδο χωρών της Μεσογείου και συνολικά της Ευρώπης. (Ιδία επεξεργασία)

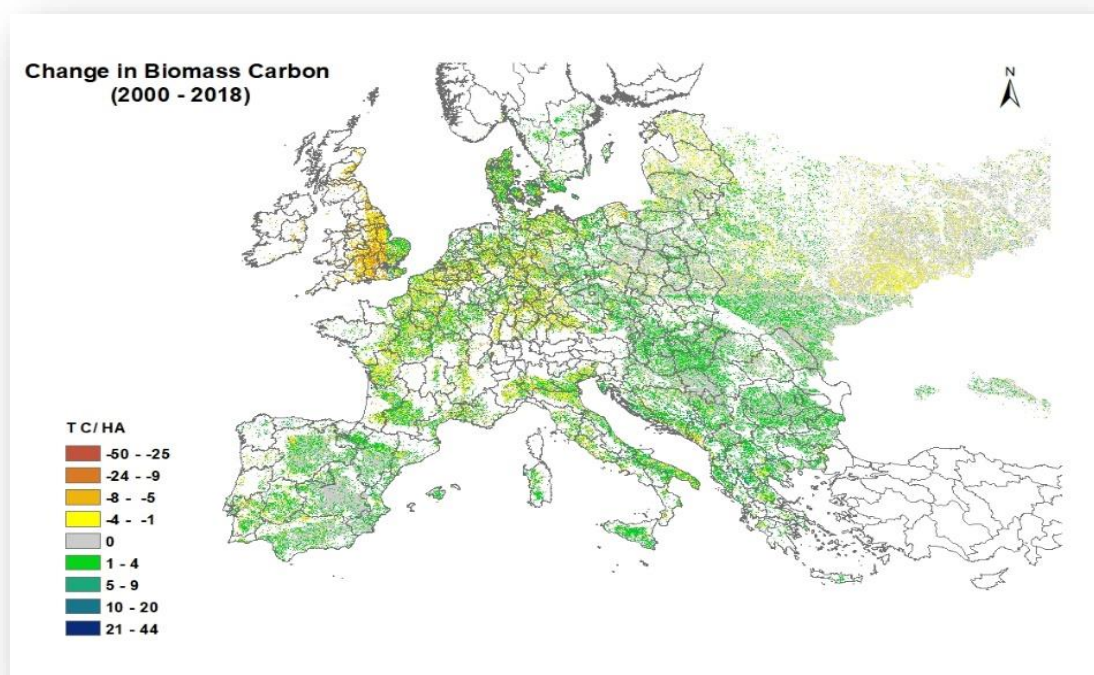
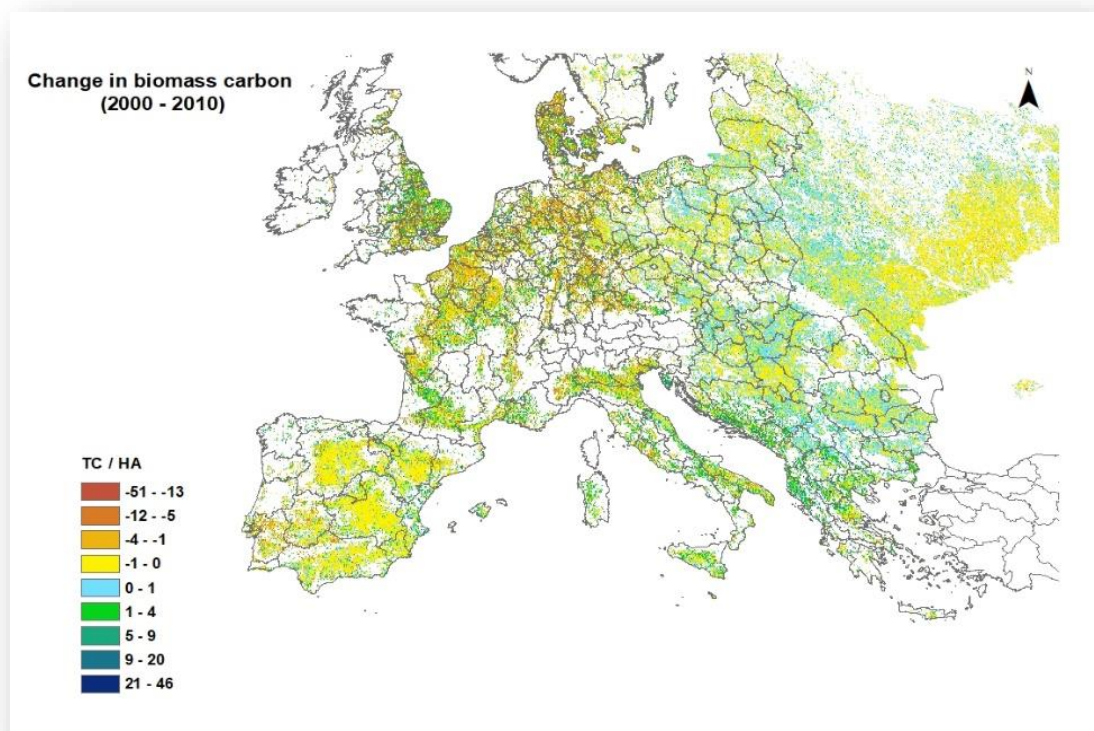
Παρακάτω αποτυπώνονται οι εκτιμήσεις του άνθρακα της βιομάζας για τα έτη 2000, 2010 και 2018 αντίστοιχα στην Ευρώπη (Εικ.4). Η πλειονότητα των γεωργικών περιοχών έχει αρκετά χαμηλά έως μέτρια επίπεδα άνθρακα βιομάζας. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωργικής γης στην Ευρώπη εκτιμάται σε επίπεδα μικρότερα από 10 t C/ha. Η ελάχιστη τιμή που εκτιμάται σε όλα τα έτη είναι 5tC / ha ενώ η μέγιστη φτάνει τους 64 tC /ha το 2018.

Στην εικόνα 5 παρουσιάζονται οι διαφορές στα επίπεδα του άνθρακα της βιομάζας για την δεκαετία (2000 – 2010) και αντίστοιχα σχεδόν για την εικοσαετία (2000- 2018). Μικρή μείωση φαίνεται να έχουν οι περισσότερες εκτάσεις της γεωργικής γης ως προς τις εκτιμήσεις του άνθρακα βιομάζας από το 2000 στο 2010 αντίθετα το 2018 φαίνεται να υπάρχει αύξηση σε σχέση με το 2000 και το 2010. Ανάμεσα στην δεκαετία 2000 - 2010 εντοπίζεται ότι στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης ο άνθρακας της βιομάζας δεν παρουσιάζει μεταβολές ή έχει μια σχετική χαμηλή μείωση. Ειδικότερα ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι από τις χώρες της Μεσογείου, η Ελλάδα και η Ιταλία φαίνεται να έχουν σε κάποια σημεία αύξηση έως 9 tC/ ha, πρότυπο που ακολουθείται και για το 2018, αντίθετα με την Ισπανία που στο μεγαλύτερο μέρος της παρουσιάζει μειωμένα επίπεδα άνθρακα της βιομάζας. Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται οι μεταβολές των τιμών του άνθρακα της βιομάζας από το 2000 στο 2018, όπως διαπιστώνεται παρακάτω στο μεγαλύτερο μέρος, ιδιαίτερα στη Μεσόγειο, είναι αυξητική. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι η Ισπανία έχει στο μεγαλύτερο μέρος της αύξηση έως και 4 t C/ ha σε σύγκριση με το 2010 που η τάση αυτή ήταν μειούμενη.





Εικόνα 6: Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας για τα έτη 2000, 2010 και 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 7: Η μεταβολή του άνθρακα της βιομάζας ανάμεσα στα έτη 2000 – 2010 και 2000 – 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία).

4.3. Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας σε επίπεδο περιφερειών

Σε χωρικό επίπεδο puts 1 για τις εκτιμήσεις των επίπεδων του άνθρακα της βιομάζας στη Μεσόγειο φαίνεται να μην υπήρχαν έντονες διαφοροποιήσεις και να μην υπάρχουν αξιοσημείωτα χωρικά πρότυπα αντίθετα αν οι εκτιμήσεις αυτές εξεταστούν σε μικρότερη κλίμακα όπως αυτή των περιφερειών φαίνεται πως υπάρχουν διακριτά περιφερειακά πρότυπα και τάσεις για τον άνθρακα βιομάζας στις γεωργικές εκτάσεις τόσο χρονικά όσο και ποσοτικά. Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 9) απεικονίζουν τον μέσο όρο του άνθρακα της βιομάζας για κάθε περιφέρεια της Μεσογείου για τα έτη 2000, 2010, 2018. Στον πίνακα που παρουσιάζεται παρακάτω παρατίθενται οι εκτιμήσεις του μέσου όρου για τον άνθρακα της βιομάζας για τις περιφέρειες της Μεσογείου για τα έτη 2000, 2010, 2018. Διαχρονικά φαίνεται ότι όλες οι περιφέρειες έχουν αποθηκευμένο άνθρακα της βιομάζας στη γεωργική γη πάνω από 5 tC / ha. Για τις περιφέρειες της Ελλάδας, υψηλότερες τιμές κατέχει η περιφέρεια της Ηπείρου ενώ μικρότερες τιμές έχουν οι περιφέρειες της Αττικής και του Νοτίου Αιγαίου. Οι περιφέρειες της Ελλάδας δεν παρουσιάζουν μεγάλες αλλαγές τόσο διαχρονικά όσο και μεταξύ τους. Οι αποκλίσεις των τιμών μεταξύ των περιφερειών δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές. Για τις περιφέρειες της Ισπανίας, οι αποκλίσεις είναι πολύ πιο έντονες καθώς οι τιμές κυμαίνονται για το 2018 από 5,9 t C/ha έως 24,7 t C/ha. Σε βάθος εικοσαετίας, η περιφέρεια της Region de Murcia έχει τα μικρότερα επίπεδα άνθρακα ανά εκτάριο ενώ στην περιφέρεια Principado de Asturias εντοπίζονται τα υψηλότερα επίπεδα. Για την Ιταλία, η περιφέρεια με τις μικρότερες τιμές και για τα τρία έτη είναι η Sicilia ενώ τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζει το 2010 η περιφέρεια Liguria και το 2018 η περιφέρεια Provincia Autonoma di Trento. Συγκριτικά με όλες τις περιφέρειες της Μεσογείου, η Ισπανική περιφέρεια Principado de Asturias παρουσιάζει τα υψηλότερα επίπεδα για όλα τα έτη ανάλυσης. Από τις 56 περιφέρειες των χώρων της Μεσογείου οι 15 έχουν επίπεδα άνθρακα βιομάζας < 9 t C/ha, μόνο 4 έχουν επίπεδα > 20 t C/ha και όλες οι υπόλοιπες παρουσιάζουν επίπεδα 10 – 19 t C/ha. Συνολικά, ο μέσος όρος του άνθρακα της βιομάζας ανά εκτάριο στη γεωργική γη των περιφερειών της Μεσογείου παρουσιάζει αυξητική τάση στο βάθος της εικοσαετίας.

Επιπλέον, φαίνεται οι περισσότερες περιφέρειες να παρουσιάζουν αύξηση της βιομάζας με βάση τις μεταβολές στις τιμές ανάμεσα στα έτη. Για το 2010 οι περισσότερες περιφέρειες παρουσιάζουν αύξηση σε σχέση με το 2000, η αύξηση κυμάνθηκε από 0,1 t C/ ha έως και 3.5 t C/ha. Δεκαπέντε περιφέρειες της Μεσογείου παρουσίασαν αύξηση μεγαλύτερη από 1 t C/ha όπως είναι η Ήπειρος, η Δυτική Ελλάδα, η Galicia, η Comunidad Valenciana (βλ. πίνακα). Μείωση από 0,1 έως 1,7 t C/ha παρουσίασαν 14 περιφέρειες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι 3 από τις περιφέρειες που είχαν μειωμένα επίπεδα άνθρακα βιομάζας είναι ισπανικές (Castilla y Leon, Extremadura, Andalucia), 6 είναι περιφέρειες της Ιταλίας, καμία δεν είναι ελληνική ενώ όλες οι περιφέρειες της Πορτογαλίας εντοπίστηκαν να έχουν μειωμένα επίπεδα για το 2010. Αντίστοιχα εξετάζοντας τις εκτιμήσεις για το 2018 σε σχέση με το 2010 εντοπίζονται τα εξής : οι 4 από τις 5 περιφέρειες της Πορτογαλίας το 2018 είχαν αύξηση του άνθρακα της βιομάζας σε σχέση με το 2010, συνολικά 18 περιφέρειες της Μεσογείου παρουσιάζουν μείωση από - 0,1 έως -1,8 t C/ha εκ των οποίων οι 12 είναι ιταλικές περιφέρειες, οι υπόλοιπες περιφέρειες παρουσιάζουν αύξηση από 0,1 έως 1 t C/ha. Σε βάθος δεκαετίας (2010-2018), οι 12 από τις 20 περιφέρειες της Ιταλίας παρουσιάζουν μείωση.

Συγκρίνοντας τις εκτιμήσεις αυτές σε βάθος εικοσαετίας (2000-2018) εντοπίζονται θετικά στοιχεία καθώς οι περισσότερες περιφέρειες της Μεσογείου έχουν αύξηση των επίπεδων του άνθρακα της βιομάζας σε σχέση με το 2000. Τα επίπεδα αύξησης για τις περιφέρειες κυμαίνονται από 0,1 – 3,5 t C/ha. Η ισπανική περιφέρεια Galicia παρουσιάζει την υψηλότερη αύξηση 3,5 t C/ha και ακολουθεί η ελληνική περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας με αύξηση 3,4 t C/ha. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι όλες οι περιφέρειες της Ελλάδας και της Ισπανίας παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα του άνθρακα της βιομάζας σε σχέση με τα επίπεδα που εντοπίζονται για το 2000 αντίθετα με τις περιφέρειες της Πορτογαλίας που καμία δεν παρουσιάζει αύξηση, είτε παρουσιάζουν μείωση είτε βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με το 2000. Μόνο 8 από τις 56 μεσογειακές περιφέρειες που εξετάζονται φαίνεται να έχουν μείωση σε σχέση με τα επίπεδα του 2000. Τα επίπεδα μείωσης κυμαίνονται από -0,1 έως -1,2 t C/ha. Υψηλότερη μείωση παρουσιάζουν οι ιταλικές περιφέρειες Piemonte και Provincia Autonoma di Bolzano. Οι πορτογαλικές περιφέρειες Area Metropolitana de Lisboa, Algarve και η περιφέρεια της Ιταλίας Provincia Autonoma di Trento βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με αυτά του 2000.

Συγκρίνοντας τον άνθρακα της βιομάζας των περιφέρειες της Μεσογείου με το μέσο όρο της Ευρώπης και για τα 3 έτη που εξετάζονται παρατηρείται ότι για το 2000, 16 από τις 56 περιφέρειες της Μεσογείου βρίσκονται κάτω από τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. Πιο συγκεκριμένα, οι 11 από αυτές τις περιφέρειες είναι ισπανικές (βλ. πίνακα), 4 περιφέρειες από αυτές ανήκουν στην Ελλάδα ενώ για την Ιταλία μόνο η περιφέρεια της Sicilia βρίσκεται κάτω από το μέσο όρο της Ευρώπης. Αντίθετα, όλες οι περιφέρειες της Πορτογαλίας βρίσκονται πάνω από το μέσο όρο. Το ίδιο πρότυπο με μικρές διαφοροποιήσεις φαίνεται να συνεχίζεται και για το 2010 καθώς και πάλι 16 περιφέρειες βρίσκονται κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Οι ίδιες 4 ελληνικές περιφέρειες (Αττική, Βόρειο Αιγαίο, Νότιο Αιγαίο, Ανατ. Μακεδονία και Θράκη) συνεχίζουν να βρίσκονται χαμηλότερα από το μέσο όρο, η ιταλική περιφέρεια Sicilia είναι η μοναδική από τις ιταλικές περιφέρειες που και το 2010 έχει επίπεδα άνθρακα βιομάζας πιο χαμηλά από την Ευρώπη. Παρόμοια πρότυπο με το έτος 2000 ακολουθεί και η Ισπανία με 9 περιφέρειες να βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα από την Ευρώπη είναι οι ίδιες περιφέρειες με το 2000 με εξαίρεση τις περιφέρειες Illes Balears και Comunidad Valenciana που για το 2010 βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από την Ευρώπη. Για το 2010 σε αντίθεση με το 2000, οι πορτογαλικές περιφέρειες Area Metropolitana de Lisboa και Alentejo ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα από τα ευρωπαϊκά επίπεδα άνθρακα βιομάζας.

Για το 2018 παρατηρείται ότι 12 περιφέρειες βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα άνθρακα βιομάζας από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Αξιοσημείωτο είναι ότι καμία από τις περιφέρειες της Ιταλίας και Πορτογαλίας δεν λαμβάνουν τιμές κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Οι περιφέρειες με χαμηλότερα επίπεδα ανήκουν στην Ελλάδα και την Ισπανία. Οι 4 από αυτές είναι ελληνικές και είναι οι ίδιες με τα προηγούμενα έτη που εξετάστηκαν και οι υπόλοιπες 8 είναι ισπανικές οι ίδιες τόσο για το 2018 όσο και για τα έτη 2000, 2010.

Average Biomass Carbon (t C/ha)

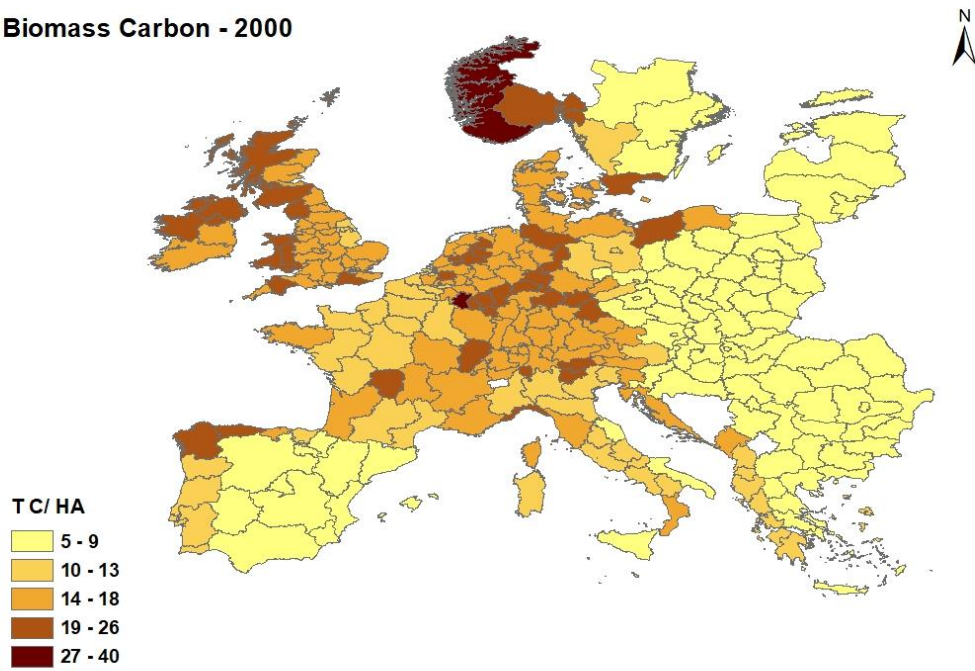
Change in Biomass Carbon (t C/ ha)

Regions	Code	2000	2010	2018	(2000 -2010)	(2010-2018)	(2000 -2018)
Αττική	EL30	6,1	7,0	8,0	0,9	1,0	1,9
Βόρειο Αιγαίο	EL41	10,7	11,4	11,6	0,7	0,2	0,9
Νότιο Αιγαίο	EL42	6,2	7,0	7,2	0,7	0,3	1,0
Κρήτη	EL43	7,2	7,2	8,4	0,1	1,2	1,3
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	EL51	7,6	8,7	8,6	1,2	-0,1	1,0
Κεντρική Μακεδονία	EL52	9,1	10,9	10,7	1,7	-0,2	1,6
Δυτική Μακεδονία	EL53	9,2	12,1	12,6	2,9	0,5	3,4
Ήπειρος	EL54	11,4	14,9	14,3	3,5	-0,6	2,9
Θεσσαλία	EL61	9,1	10,2	10,6	1,1	0,4	1,5
Ιόνια Νησιά	EL62	10,0	10,4	11,4	0,4	1,0	1,4
Δυτική Ελλάδα	EL63	11,0	11,4	11,4	0,4	0,0	0,4
Στερεά Ελλάδα	EL64	9,4	10,0	11,2	0,6	1,2	1,8
Πελοπόννησος	EL65	9,8	10,6	11,2	0,8	0,6	1,4
Galicia	ES11	19,4	22,6	22,9	3,2	0,3	3,5
Principado de Asturias	ES12	21,6	22,6	24,7	1,0	2,1	3,1
Cantabria	ES13	17,1	17,8	18,0	0,7	0,2	0,9
Pais Vasco	ES21	10,7	11,1	11,5	0,3	0,4	0,8
Comunidad Foral de Navarra	ES22	7,9	8,2	9,0	0,3	0,8	1,1
La Rioja	ES23	7,5	7,7	8,1	0,2	0,4	0,6
Aragon	ES24	6,8	7,1	7,2	0,4	0,1	0,4
Comunidad de Madrid	ES30	7,1	7,1	7,3	0,0	0,3	0,2
Castilla y Leon	ES41	7,2	7,1	7,3	-0,1	0,2	0,1
Castilla-La Mancha	ES42	6,4	6,5	6,6	0,1	0,1	0,2

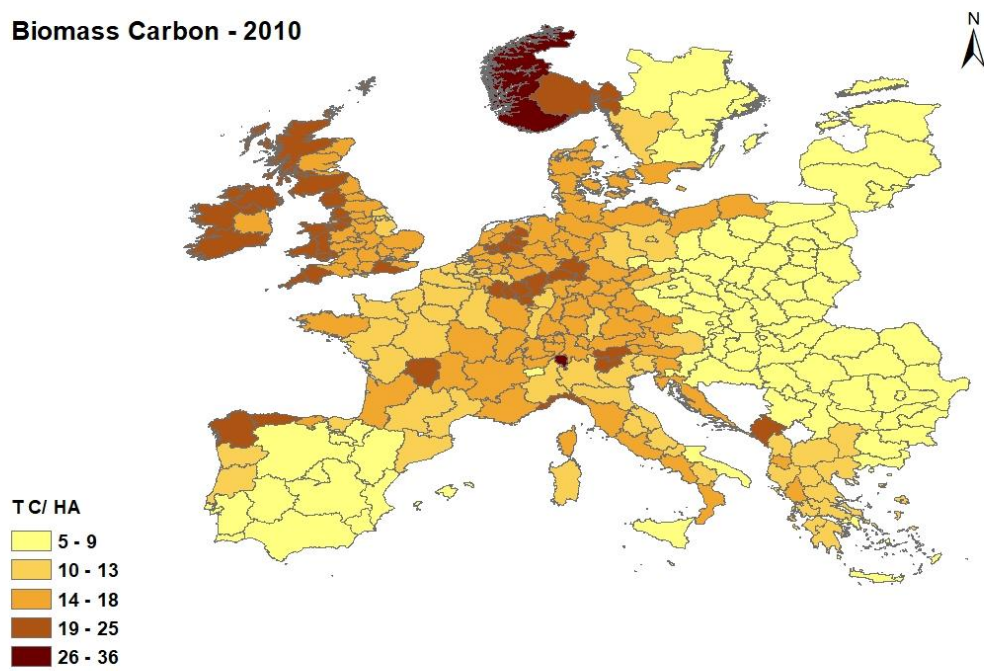
Extremadura	ES43	8,9	8,0	9,1	-1,0	1,1	0,1
Cataluna	ES51	9,3	9,8	9,7	0,5	-0,1	0,4
Comunidad Valenciana	ES52	7,5	9,5	8,5	1,9	-1,0	0,9
Illes Balears	ES53	8,1	9,4	9,6	1,4	0,2	1,6
Andalucia	ES61	7,6	7,5	7,8	-0,2	0,4	0,2
Region de Murcia	ES62	5,5	6,0	5,9	0,5	-0,1	0,3
Piemonte	ITC1	12,3	11,7	11,1	-0,6	-0,6	-1,2
Liguria	ITC3	19,0	21,9	20,1	3,0	-1,8	1,1
Lombardia	ITC4	11,4	11,2	11,1	-0,2	-0,1	-0,3
Abruzzo	ITF1	10,4	12,5	11,8	2,1	-0,7	1,4
Molise	ITF2	10,0	11,6	12,2	1,5	0,6	2,1
Campania	ITF3	12,0	13,6	13,1	1,6	-0,5	1,1
Puglia	ITF4	9,3	9,4	9,8	0,1	0,4	0,5
Basilicata	ITF5	9,7	10,8	11,2	1,1	0,4	1,5
Calabria	ITF6	14,5	15,9	15,2	1,4	-0,8	0,7
Sicilia	ITG1	8,1	8,7	9,6	0,6	0,8	1,5
Sardegna	ITG2	10,3	11,2	11,3	1,0	0,1	1,0
Provincia Autonoma di Bolzano	ITH1	19,5	19,7	18,4	0,1	-1,3	-1,1
Provincia Autonoma di Trento	ITH2	20,4	19,4	20,4	-1,1	1,1	0,0
Veneto	ITH3	11,6	11,1	11,6	-0,5	0,5	0,1
Friuli-Venezia Giulia	ITH4	12,6	12,0	11,7	-0,6	-0,3	-0,9
Emilia-Romagna	ITH5	10,2	10,1	9,9	-0,2	-0,2	-0,3
Toscana	ITI1	13,5	14,6	13,6	1,0	-0,9	0,1
Umbria	ITI2	12,0	13,2	12,6	1,2	-0,7	0,6
Marche	ITI3	9,2	10,3	10,2	1,1	0,0	1,0
Lazio	ITI4	13,5	14,1	13,6	0,6	-0,5	0,1
Norte	PT11	12,9	12,3	12,0	-0,6	-0,4	-0,9
Algarve	PT15	10,0	9,3	9,9	-0,6	0,6	0,0
Centro (PT)	PT16	12,5	11,4	11,8	-1,1	0,4	-0,7
Area Metropolitana de Lisboa	PT17	9,6	8,9	9,7	-0,7	0,7	0,0
Alentejo	PT18	10,3	8,6	10,1	-1,7	1,5	-0,2
TOTAL		580,6	613,2	622,7			
Europe		9,14	9,08	8,86	-0,06	-0,22	-0,28

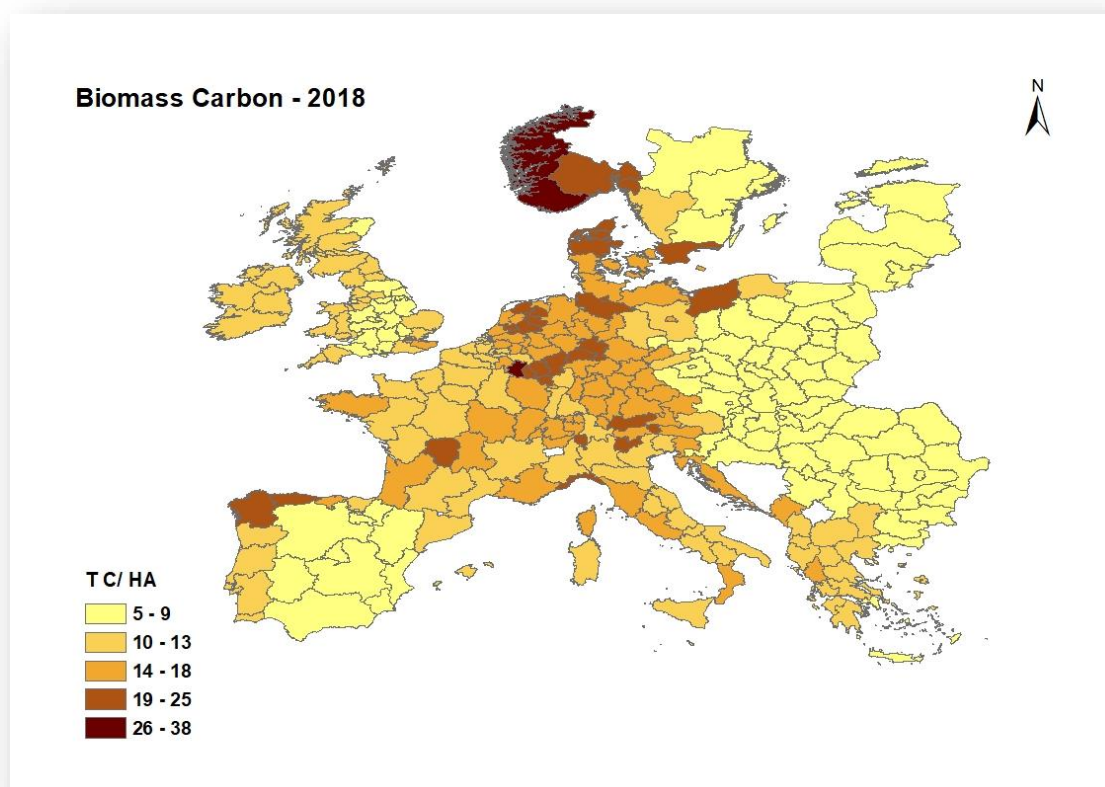
Πίνακας 2: Μέσος όρος του άνθρακα της βιομάζας (tC/ha) για τα έτη 2000, 2010 και 2018 και η μεταβολή του σε επίπεδο περιφερειών της Μεσογείου και συνολικά της Ευρώπης. (Ιδία επεξεργασία)

Biomass Carbon - 2000



Biomass Carbon - 2010





Εικόνα 8 : Εκτίμηση του άνθρακα της βιομάζας σε περιφερειακό επίπεδο για τα έτη 200, 2010, 2018 αντίστοιχα. (Ιδία επεξεργασία)

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Τα δάση και τα δέντρα αποτελούν σημαντικά συστατικά του παγκόσμιου κύκλου C καθώς αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα στη βλάστηση και τα εδάφη. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις εκτιμάται ότι είναι η μεγαλύτερη πηγή άνθρακα που χάνεται στην ατμόσφαιρα στην Ευρώπη κάθε χρόνο (Smith, 2004). Το 2016, η γεωργία κάλυψε περίπου το 40% της γης της ΕΕ. Η γεωργική δραστηριότητα αποτελεί πηγή αερίων του θερμοκηπίου (GHG), αλλά και καταβόθρα, ιδίως μέσω της αποθήκευσης άνθρακα στις οργανικές ύλες του εδάφους και στην βιομάζα. Οι μεθοδολογικές δυσκολίες στην εκτίμηση του αποθέματος C της βιομάζας και οι εκτάσεις της αποθήκευσης του εδάφους C ενισχύονται από την έλλειψη αξιόπιστων εκτιμήσεων των εκτάσεων που ανήκουν στη γεωργική- δασοκομία. Τα αποθέματα βιομάζας και άνθρακα είναι σημαντικοί δείκτες παραγωγικής ικανότητας, ενεργειακού δυναμικού και ικανότητας απομόνωσης του άνθρακα. Η σημασία του άνθρακα της βιομάζας στα δάση (πάνω και κάτω από το έδαφος) αναγνωρίζεται ευρέως, σε αντίθεση με τον άνθρακα βιομάζας στη γεωργική γη θεωρείται ως αμελητέο.

Αυτή η εργασία προσπάθησε να αξιολογήσει την συμβολή των καλλιεργήσιμων εκτάσεων στην απορρόφηση του άνθρακα της βιομάζας πάνω από το έδαφος και την μέτρηση του μέσω της βοήθειας δορυφορικών εικόνων MODIS για τα έτη 2000, 2010, 2018. Οι μετρήσεις για τον άνθρακα της βιομάζας έγιναν τόσο σε συνολικό επίπεδο για την Μεσόγειο αλλά και ξεχωριστά για εθνικό και περιφερειακό επίπεδο της Ιταλίας, της Ελλάδας, της Ισπανίας και της Πορτογαλίας. Για την εύρεση των παραπάνω συνδυάστηκαν οι εκτιμήσεις της αποθήκευσης άνθρακα Tier 1 για την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα για κάθε κλιματική ζώνη της Μεσογείου με αυτή της ανάλυση του ποσοστού κάλυψης δέντρων. Για να ληφθεί υπόψη η προστιθέμενη συμβολή της κάλυψης των δένδρων στις γεωργικές εκτάσεις, χρησιμοποιήσαμε την τιμή αναφοράς άνθρακα βιομάζας Tier 1 για γεωργική γη (5tC / ha) ως βασική τιμή.

Τα ευρήματα της εργασίας έδειξαν ότι η κατανομή της κάλυψης των δένδρων σε γεωργικές εκτάσεις ακολούθησε ευρέως τις κλιματικές ζώνες. Οι χώρες της Μεσογείου φαίνεται να έχουν χαμηλό ποσοστό κάλυψη δέντρων έως 15%, πρότυπο που ακολουθείται διαχρονικά για τα έτη ανάλυσης (2000 – 2018). Ανάμεσα στα έτη 2000-2018, η Ευρώπη έχει στο μεγαλύτερο μέρος της χαμηλό ποσοστό κάλυψης δέντρων μέχρι 20 %, γεγονός που εμφανίζεται έντονα και στις χώρες της Μεσογείου. Το ποσοστό κάλυψης δέντρων για την Μεσόγειο φαίνεται να έχει μικρές ποσοστιαίες μεταβολές από - 8% έως 6% μεταξύ των ετών 2000 - 2018.

Όσον αφορά τον άνθρακα της βιομάζας η πλειονότητα των γεωργικών περιοχών έχει αρκετά χαμηλά έως μέτρια επίπεδα άνθρακα βιομάζας. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωργικής γης στην Ευρώπη εκτιμάται σε επίπεδα μικρότερα από 10 t C/ha. Παρατηρήθηκε ότι οι χώρες της Μεσογείου παρουσιάζουν αύξηση του άνθρακα της βιομάζας το 2018 σε σχέση με το αρχικό έτος 2000. Επιπλέον η Ιταλία και η Ελλάδα βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. Τις μεγαλύτερες αυξήσεις στον άνθρακα βιομάζας που αποθηκεύτηκαν σε γεωργικές εκτάσεις φαίνεται να έχουν η Ελλάδα και η Ιταλία. Σε κάποια σημεία παρουσιάζουν αύξηση έως 9 tC/ ha.

Σε περιφερειακό επίπεδο παρατηρείται ότι σε βάθος εικοσαετίας (2000-2018) εντοπίζονται θετικά στοιχεία καθώς οι περισσότερες περιφέρειες της Μεσογείου έχουν αύξηση των επίπεδων του άνθρακα της βιομάζας σε σχέση με το 2000. Τα επίπεδα αύξησης για τις περιφέρειες κυμαίνονται από 0,1 – 3,5 t C/ha. Κατά μέσο όρο οι περιφέρειες της Μεσογείου στη μεταβλητή του άνθρακα της βιομάζας ανά εκτάριο στη γεωργική γη παρουσιάζουν αυξητική τάση έως και 3 t C/ha από το 2000 έως το 2018. Όλες οι περιφέρειες της Ελλάδας και της Ισπανίας έχουν αύξηση του άνθρακα της βιομάζας σε σχέση με το 2000. Τάση που δεν φαίνεται να ακολουθείται από τις Ιταλικές περιφέρειες καθώς σε κάποιες εντοπίστηκε μείωση.

Γενικά φαίνεται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις να είναι μια παραμελημένη δεξαμενή άνθρακα στα τρέχοντα παγκόσμια και εθνικά πρωτόκολλα παρακολούθησης του άνθρακα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υπάρχουσα κάλυψη των δένδρων συμβάλλει σημαντικά στη συγκέντρωση άνθρακα στις γεωργικές εκτάσεις και της μείωσης της κλιματικής αλλαγής. Παρόλα αυτά είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι οι μέθοδοι και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ενέχουν διάφορους περιορισμούς τόσο με την ανάλυση κάλυψης δένδρου με βάση την τηλεπισκόπηση όσο και με την εκτίμηση άνθρακα της βιομάζας. Οι μεθοδολογικές δυσκολίες στην εκτίμηση του αποθέματος C της βιομάζας και η έκταση της αποθήκευσης του εδάφους C αλλά και η έλλειψη αξιόπιστων εκτιμήσεων της έκτασης των αγροτικών συστημάτων αποτελούν σοβαρούς περιορισμούς στην εκμετάλλευση του περιβαλλοντικού οφέλους της γεωργικής δασοκομίας. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, αυτή η ανάλυση αποτελεί ένα εγχείρημα για την κατανόηση της έκτασης και της σημασίας των δέντρων στη γεωργική γη και την εκτίμηση των αποθεμάτων του άνθρακα της βιομάζας με βάση την κάλυψη δέντρων. Μπορούν να εντοπιστούν διάφορες περαιτέρω αναλύσεις που θα εμπλουτίσουν ή θα επεκτείνουν τα αποτελέσματα που βρέθηκαν σε αυτή τη μελέτη.

Τα στοιχεία στην αποθήκευση άνθρακα αλλά και οι διαφορές που εντοπίζονται σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο επηρεάζονται και ένα μέρος τους σίγουρα οφείλεται και στις πολιτικές που έχει ακολουθήσει η ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή έχει αντίκτυπο στην ευρωπαϊκή γεωργία με διάφορους τρόπους. Η επιβράδυνση του ρυθμού υποβάθμισης του εδάφους και η ενίσχυση της δέσμευσης άνθρακα των εδαφών της ΕΕ είναι μια win-win στρατηγική για το κλίμα και την επισιτιστική ασφάλεια που μειώνει τις εκπομπές CO₂ και, ταυτόχρονα, αυξάνει τη γονιμότητα και την παραγωγικότητα της γεωργικής γης της ΕΕ (European Environment Agency, 2019). Η στρατηγική της ΕΕ για την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος και η κοινή γεωργική πολιτική επέτρεψαν δράσεις προσαρμογής στον γεωργικό τομέα. Η ΕΕ ρυθμίζει τον τομέα της γεωργίας κυρίως μέσω της κοινής γεωργικής πολιτικής (ΚΓΠ). Η κοινή γεωργική πολιτική (ΚΓΠ) είναι το κύριο πλαίσιο γεωργικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης όμως εκτός από την ΚΓΠ, τα κράτη μέλη μπορούν να εφαρμόζουν μέτρα χρηματοδοτούμενα από εθνικούς προϋπολογισμούς που στοχεύουν σε συγκεκριμένους τομείς (συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας) (OECD, 2019). Η ΚΓΠ καλύπτει συνήθως μια περίοδο επτά ετών, τώρα αφορά 2014-20. Η ΚΓΠ είναι ένας ισχυρός οικονομικός μοχλός των γεωργικών αποφάσεων σε ολόκληρη την ΕΕ και εξακολουθεί να επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι μεμονωμένοι αγρότες επιλέγουν να διαχειρίζονται τη γη, τις καλλιέργειες και τα ζώα τους και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν εισροές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας, των λιπασμάτων και του νερού, η οποία εξακολουθεί να οδηγεί σε αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον σε ορισμένες περιφέρειες (European Environment Agency, 2019). Στο πλαίσιο της ΚΓΠ χρηματοδοτούνται μέτρα αγροτικής ανάπτυξης, ορισμένα

από τα οποία στοχεύουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή δασικά μέτρα για την υποστήριξη της αποθήκευσης άνθρακα.

Σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, η γεωργία καταλαμβάνει σχεδόν το ήμισυ της συνολικής έκτασης, με σχεδόν το 60% της γεωργικής έκτασης να χαρακτηρίζεται ως καλλιεργήσιμη και οι καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένων των δημητριακών, των ελαιούχων σπόρων, των φρέσκων φρούτων και λαχανικών, καθώς και των φυτών και των λουλουδιών, αντιπροσωπεύουν το 56% της συνολικής γεωργικής παραγωγής (OECD, 2019). Το 2015 ο τομέας LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) απορρόφησε επαρκή ποσότητα CO₂ για την αντιστάθμιση περίπου του 7 % των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ με άλλα λόγια, απορρόφησε ποσότητα CO₂ επαρκή για την αντιστάθμιση της συνολικής ποσότητας αερίων θερμοκηπίου που εξέπεμψε η Ισπανία (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΛΕΓΚΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ, 2017). Η ΕΕ χρηματοδοτεί ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων έρευνας και ανάπτυξης υπό τις κύριες χρηματοδοτικές της γραμμές, όπως το πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020», LIFE +, Interreg και το πρόγραμμα Copernicus. Η καινοτομία και η γνώση και η έρευνα συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό σε έναν πιο βιώσιμο γεωργικό τομέα επιτρέποντας στους αγρότες μεγαλύτερη ακρίβεια στις καθημερινές τους δραστηριότητες, αλλά και βοηθώντας στη βελτίωση της ποιότητας των καιρικών προβλέψεων, της παρακολούθησης των καλλιεργειών και της πρόβλεψης των αποδόσεων (European Environment Agency, 2019).

Σύμφωνα με την (European Environment Agency, 2019) οι αλλαγές στο κλίμα, στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, καθώς και οι ακραίες καιρικές συνθήκες επηρεάζουν ήδη τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την παραγωγικότητα των ζώων στην Ευρώπη και προβλέπεται η κλιματική αλλαγή να μειώσει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών σε περιοχές της νότιας Ευρώπης και να βελτιώσει τις συνθήκες για τις καλλιέργειες στη βόρεια Ευρώπη καθώς η παραγωγή καλλιεργειών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα, όπως θερμοκρασία, διαθεσιμότητα νερού και συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά το μέλλον η νέα προτεινόμενη κοινή γεωργική πολιτική για την ΕΕ ξεκινάει για την περίοδο 2021-2027 έχει ως σαφή στόχο την προσαρμογή, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει τα κράτη μέλη της ΕΕ να αυξήσουν τη χρηματοδότησή τους για μέτρα προσαρμογής στον τομέα. Σύμφωνα με τον (OECD, 2019) τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν ορίσει τον γεωργικό τομέα ως προτεραιότητα στις εθνικές τους στρατηγικές προσαρμογής και περιλαμβάνουν μέτρα σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο περιλαμβάνουν την ευαισθητοποίηση, πρακτικά μέτρα για τη μείωση των επιπτώσεων και των κινδύνων από ακραία καιρικά φαινόμενα ή στρατηγικές κατανομής κινδύνων και ανάπτυξη και υλοποίηση υποδομών για την άρδευση και την προστασία από πλημμύρες.

Τέλος, η δέσμευση άνθρακα στη γεωργική γη ως μέτρο για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής αποτελεί ένα από τα πολλά πεδία για περαιτέρω έρευνα που μπορεί να αποδώσει όχι μόνο τοπικές απαντήσεις, αλλά και απαντήσεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο, τόσο για την ενημέρωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων όσο και της διαμόρφωσης πολιτικής για την κλιματική αλλαγή, την γεωργία και γενικότερα την περιβαλλοντική πολιτική.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΛΕΓΚΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ. (2017). *Δράση της ΕΕ για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή*. ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ: Ευρωπαϊκή Ένωση.
2. European Environment Agency. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. Denmark: European Environment Agency.
3. FAO. (2010). *Global Forest Resources Assessment 2010 - Main report*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
4. FAO. (2015). *The Global Forest Resources Assessment*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS .
5. Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, a. J. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.* 2. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045023
6. Houghton, R. A. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology* (11), pp. 945–958. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x
7. IPCC. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Volume 4 : Agriculture, Forestry and other Land Use.
8. Liang, S., Li, X., & Wang, J. (2012). Advanced Remote Sensing. doi:10.1016/B978-0-12-385954-9.00015-0
9. Lu, D. (2005, June). Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 26(12), pp. 2509–2525. doi:10.1080/01431160500142145
10. Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), pp. 1297- 1328. doi:10.1080/01431160500486732
11. Myeong, S., Nowak, D. J., & Duggin, M. J. (2006). A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), pp. 277-282.
12. Nair, P. K. (2012). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforest Syst*(86), pp. 243–253 . doi:10.1007/s10457-011-9434-z
13. Nair, P. K., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*(172), pp. 10–23. doi:10.1002/jpln.200800030
14. Nair, P. K., Nair, V. D., Kumar, B. M., & Showalter, J. M. (2010, October). Carbon Sequestration in Agroforestry Systems. *Advanced in Agronomy*, 108, pp. 237–307. doi: 10.1016/S0065-2113(10)08005-3

15. OECD. (2019). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2019*. Paris: OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/39bfe6f3-en>
16. Ponce-Hernandez, R. (2004). *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use change*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS .
17. Ruesch, A., & Gibbs, H. K. (2008). New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000. *Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, US*. Retrieved from Available at: http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/global_carbon/carbon_documentation.html
18. Seeberg-Elverfeldt, C. (2010). *Carbon Finance Possibilities for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects in a Smallholder Context*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
19. Smith, P. (2004, August). Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Europ. J. Agronomy*(20), pp. 229–236. doi:10.1016/j.eja.2003.08.002
20. Tubiello, F., Salvatore, M., Golec, R. C., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., . . . Flammini, A. (2014, March). Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990 – 2011 Analysis ESS Working Paper. *Climate, Energy and Tenure Division, FAO*.
21. Vashum, K. T., & Jayakumar, S. (2012). Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Journal of Ecosystem & Ecograph*, 2. doi:10.4172/2157-7625.1000116
22. Zomer, R. J., Neufeldt, H., Xu, J., Ahrends, A., Bossio, D., Noordwijk, M. v., . . . Wang, M. (2016). Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Sci. Rep.* 6, 29987. doi:doi: 10.1038/srep29987
23. Zomer, R. J., Trabucco, A., Bossio, D. A., & Verchot, L. V. (2008). Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*(126), pp. 67-80. doi:10.1016/j.agee.2008.01.014
24. Zomer, R. J., Trabucco, A., Coe, R., & Place, F. (2009). *F. Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry*. ICRAF Working Paper No. 89. World Agroforestry Centre (ICRAF).
25. Καρτάλης, Κ., & Φεΐδας, Χ. (2013). *Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: Τζιόλα.
26. Κουτσόπουλος, Κ. (2005). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
27. Παρχαρίδης, Ι. (2015). *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές*. Αθήνα : Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
28. Περάκης, Κ., Φαρασλής, Ι., & Μουσιάδης, Α. (2015). *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες Θεωρία, μέθοδοι και εφαρμογές*. . Αθήνα : Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών .
29. Χαλκιάς, Χ. (2005). *Όροι και Έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)*. Αθήνα : ΙΩΝ.

