



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΤΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΟΪΒΑΡΗ ΕΥΘΥΜΙΑ ΒΙΟΛΕΤΤΑ**

Τριμελής επιτροπή:

- Παρανυχιανάκης Νικόλαος (Επιβλέπων)
- Νικολαΐδης Νικόλαος
- Καρατζάς Γεώργιος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Παρανυχιανάκη Νικόλαο για την κατανόηση και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την Μουργελά Ραφαήλα για την βοήθεια της και την καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια του εργαστηρίου.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Η σημασία της οργανικής ύλης του εδάφους	10
1.3 Δέσμευση οργανικού άνθρακα και η σχέση του με βασικά στοιχεία του εδάφους.....	12
1.4 Ο ρόλος του εδάφους στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα	13
1.5 Συνέπειες της Ανθρώπινης Δραστηριότητας στην Υποβάθμιση του Εδάφους.....	14
1.6 Επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στα θρεπτικά συστατικά του εδάφους.....	15
1.7 Η σχέση της εδαφικής οργανικής ύλης και της κλιματικής αλλαγής	16
1.8 Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης για τη Διαχείριση Οργανικού Υλικού στο Έδαφος	18
1.9 Αντικείμενα εργασίας	20
• Μεταβολές pH.....	20
• Μεταβολές στην συγκέντρωση SOC.....	20
• Μεταβολές στην διαθεσιμότητα ανόργανων μορφών N.....	20
• Μεταβολές στην διαθεσιμότητα P.....	20
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
2.1 Περιοχή μελέτης.....	21
2.2 Ανάλυση ποιοτικών παραμέτρων εδάφους	22
2.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων.....	22
2.2.2 Προσδιορισμός Υγρασίας.....	22
2.2.3 Προσδιορισμός τιμής pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας	23
2.2.4 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης P κατά Olsen (P- Olsen)	23
2.2.5 Προσδιορισμός συγκεντρώσεων N(NO ₃ -N) και (NH ₄ -N)	24
2.2.6 Προσδιορισμός ολικού άνθρακα (total carbon, TC)	25
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	27
3.1 Επίδραση της κατεργασίας εδάφους	27
3.2 Επίδραση του βάθους του εδάφους.....	32
3.3 Επίδραση της θέσης δειγματοληψίας (κόμη δένδρων και γραμμών).....	39

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	44
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	52
7.1 Παραρτήματα εικόνων.....	52
7.2 Παραρτήματα διαγραμμάτων.....	54
7.3 Παραρτήματα καμπυλών	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το έδαφος αποτελεί μία σημαντική δεξαμενή C. Η βιοχημική του οξείδωση λόγω της εφαρμογής μη κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης έχει συμβάλει στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, το οργανικό υλικό του εδάφους συμβάλει στην βελτίωση της ανθεκτικότητας των αγροοικοσυστημάτων στα ακραία γεγονότα που αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή και συνεπώς στην επισιτιστική ασφάλεια. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση της μη κατεργασίας εδάφους στον C και στα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους κατά τα πρώτα στάδια μετάβασης από συμβατικές μορφές καλλιέργειας σε πρακτικές αποκατάστασης σε διαφορετικά βάθη και θέσεις εντός δύο ελαιώνων στην νήσο Κρήτη. Τα δεδομένα εκτιμάται ότι θα συμβάλουν στην καλύτερη παραμετροποίηση βιογεωχημικών μοντέλων και ενσωμάτωση μηχανισμών. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής μελέτης μετρήθηκαν η μεταβολή της τιμής του pH με χρήση της συσκευής μέτρησης pH. Έγινε προσδιορισμός του αφομοιώσιμου P κατά Olsen. Έγινε ανάλυση των NO_3 και NH_4 . Και τέλος έγινε ο προσδιορισμός του TC χρησιμοποιώντας το όργανο SSM-5000A, Solid sample module της SHIMADZU.

ABSTRACT

Soil is an important reservoir of C. Its biochemical oxidation due to inappropriate management practices has contributed to climate change. In addition, soil organic matter contributes to improving the resilience of agro-ecosystems to extreme events attributed to climate change and thus to food security. In this study, the effect of no-tillage on soil C and soil nutrients during the early stages of transition from conventional farming to restoration practices at different depths and locations within two olive groves on the island of Crete is investigated. The data are expected to contribute to better parameterization of biogeochemical models and incorporation of mechanisms. During the experimental study, the variation of pH value was measured using the pH measuring device. Olsen's digestible P was determined. NO₃ and NH₄ were analyzed and finally TC was determined using SSM-5000A, Solid sample module of SHIMADZU.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 . Η τιμή του pH περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.2 Η συγκέντρωση TC (mg C/kg soil) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2

Διάγραμμα 3.3 Η συγκέντρωση IC (mg C/kg soil) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.4 Η συγκέντρωση TOC (mg C/kg soil) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2

Διάγραμμα 3.5 Η συγκέντρωση N-NO₃ (mg/Kg) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.6 Η συγκέντρωση N-NH₄ (mg/Kg) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.7 Η μέση συγκέντρωση P (mg/Kg) περιοχής αποκατάστασης και συμβατικού αγρού στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2

Διάγραμμα 3.8 Η τιμή του pH σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2

Διάγραμμα 3.9 Η συγκέντρωση TC (mg C/kg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.10 Η συγκέντρωση IC (mg C/kg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.11 Η συγκέντρωση TOC (mg C/kg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.12 Η μέση συγκέντρωση N- NO₃ (mg/Kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.13 Η μέση συγκέντρωση N-NH₄ (mg/Kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.14 Η μέση συγκέντρωση P(mg/Kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.15 Η τιμή του pH που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.16 Η συγκέντρωση TC (mg C/kg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.17 Η συγκέντρωση IC (mg C/kg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.18 Η συγκέντρωση TOC (mg C/kg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.19 Η μέση συγκέντρωση N-NO₃ (mg/Kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

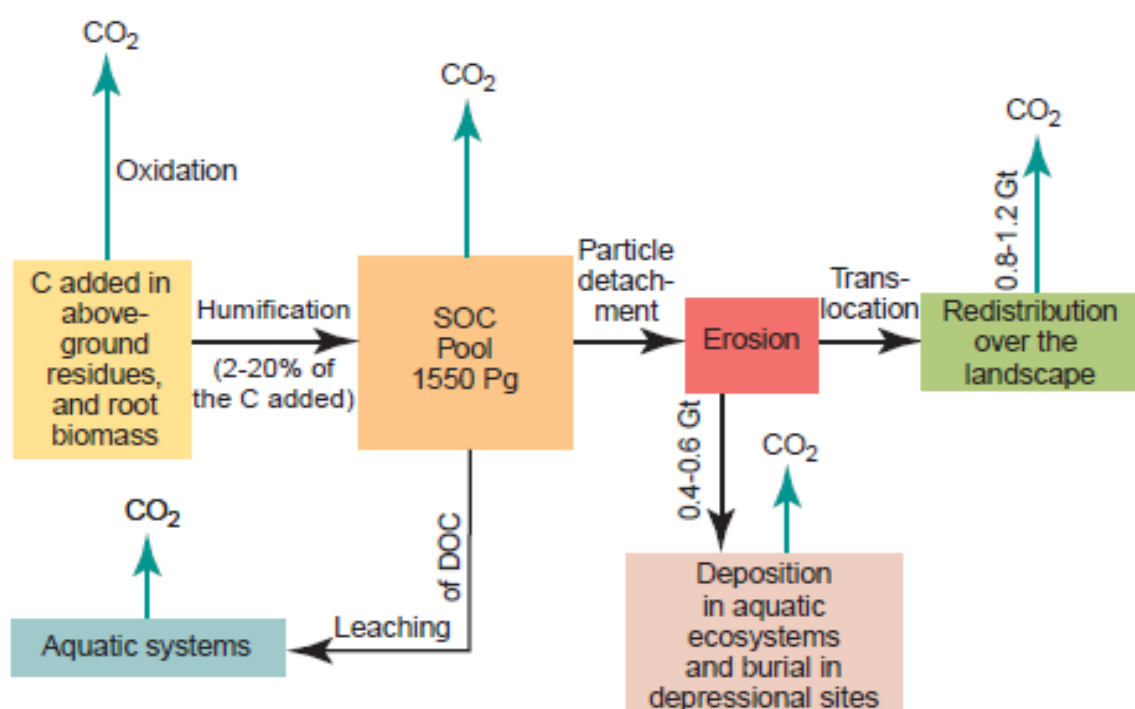
Διάγραμμα 3.20 Η μέση συγκέντρωση N-NH_4 (mg/Kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Διάγραμμα 3.21 Η μέση συγκέντρωση P (mg/Kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η μάζα του άνθρακα (C) που βρίσκεται αποθηκευμένη στο έδαφος σε παγκόσμιο επίπεδο υπολογίζεται στους 2500 Gt εκ των οποίων οι 1550 Gt είναι οργανικός άνθρακας (SOC) και οι υπόλοιποι 950 Gt ανόργανος άνθρακας (SIC). Επιπλέον, το έδαφος εμπεριέχει 3,3 φορές παραπάνω ποσότητα C συγκριτικά με την ατμόσφαιρα και 4,5 φορές παραπάνω από τους βιοτικούς παράγοντες, όπως περιγράφεται στην Εικόνα 1.1 (Lal, R, 2004).



Εικόνα 1.1. Διεργασίες που επιδρούν στην προσθήκη και απομάκρυνση του εδαφικού οργανικού άνθρακα (Lal, 2004)

Η περιεκτικότητα σε SOC έως το βάθος του 1 m κυμαίνεται από 30 t/str έως 800 t/str σε οργανικά εδάφη, ενώ στα συμβατικά από 50 έως 150 t/str. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 1.1 υπάρχει μία δυναμική ισορροπία μεταξύ των απωλειών και της προσθήκης του SOC. Η ποσότητα του οργανικού άνθρακα (SOC) που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ των ρυθμών εισροής οργανικού άνθρακα (από τη βλάστηση, τις ρίζες) και εκροής (ως CO₂ από τη μικροβιακή αποσύνθεση) (Krull et al., 2004). Οι απώλειες από τα εδάφη λόγω της γεωργικής δραστηριότητας κυμαίνεται περί του 60% σε εδάφη στις εύκρατες περιοχές και πάνω από 75% σε καλλιεργούμενη εδάφη σε τροπικές περιοχές. Υπολογίζεται ότι 20 έως 80 t C/ha, εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους, μείωση της παραγωγικότητας, της

βιομάζας, επιβάρυνση της ποιότητας του νερού και τέλος την εκπομπή αερίων που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Climate Change Position Statement Working Group, 2001).

Επιπλέον, τα χερσαία οικοσυστήματα συνέβαλαν στον ατμοσφαιρικό εμπλουτισμό με CO₂ κατά τη προβιομηχανική και βιομηχανική εποχή. Κατά την προβιομηχανική εποχή, η ολική ποσότητα του C που εκπεμπούταν ήταν διπλάσια από αυτή της βιομηχανικής εποχής. Συγκεκριμένα, πριν από 7800 χρόνια, η εκπομπή του C είχε τιμή 320 Gt ή 0,04 Gt C/έτος, ενώ στη βιομηχανική εποχή έφτασε τους 160 Gt ή 0,8 Gt C/έτος (1). Από το 1850 έως το 1998, οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων ήταν 270 ± 30 Gt, ενώ από τα οικοσυστήματα ανήλθαν σε 136 ± 55 Gt (2). Από αυτές οι 78 ± 12 Gt προέρχονταν από το έδαφος, όπου περίπου το ένα τρίτο να οφείλεται σε υποβάθμιση του εδάφους και σε διάβρωση και τα δύο τρίτα στην ανοργανοποίηση (Lal, R, 2004).

Είναι γεγονός ότι ο SOC παίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών μέσω της βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους και την παροχή θρεπτικών στοιχείων (Krull et al., 2004). Από την άλλη, οι καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στις γεωργικές εκτάσεις οδήγησαν σε σημαντικές απώλειες αυτού. Παρόλα αυτά, μέσα από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι αναθεωρώντας τις γεωργικές πρακτικές μπορεί να επιτευχθεί η αποκατάσταση τουλάχιστον ενός μέρους του SOC που έχει χαθεί από τα γεωργικά εδάφη, συνεισφέροντας έτσι στη δέσμευση του ατμοσφαιρικού CO₂ και στη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους (García-Díaz et al., 2018).

Οι Balesdent et al., (2018) συμπέραναν ότι η συγκέντρωση του οργανικού C στο έδαφος συνήθως μειώνεται με το βάθος, όμως η μάζα του σε βάθος μεγαλύτερο των 20 cm αντιστοιχεί σχεδόν στο 50% του SOC. Επιπλέον, το υπέδαφος δύναται να αποθηκεύσει τον C αποτελεσματικότερα συγκριτικά με το επιφανειακό έδαφος, διότι ενώ παρουσιάζουν χαμηλές συγκεντρώσεις C ταυτόχρονα έχουν υψηλή ικανότητα σταθεροποίησης (Stewart et al., 2008). Στο υπέδαφος περιέχεται γενικά μεγαλύτερης ηλικίας SOC από ότι το επιφανειακό έδαφος λόγω της μεγαλύτερης σταθερότητας του. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το υπέδαφος θεωρείται μία δεξαμενή C. Η αποθηκευτική του ικανότητα μεγαλώνει όταν αυξάνονται οι εισροές C σε βαθύτερα στρώματα εδάφους, όπου σε αυτά μειώνεται ο ρυθμός ανοργανοποίησης. Ο OC σε βαθύτερα στρώματα προστίθεται κυρίως μέσω του ριζικού συστήματος (Rumpel and Kögel-Knabner, 2011).

1.2 Η σημασία της οργανικής ύλης του εδάφους

Οι Krull et al. (2004) όρισαν την οργανική ύλη του εδάφους (SOM) ως το σύνολο των οργανικών υλικών που βρίσκονται σε αυτά ανεξάρτητα από την προέλευση ή την κατάσταση αποσύνθεσης τους. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν μεγάλο εύρος οργανικών ενώσεων, οι οποίες σχετίζονται με μεγάλο αριθμό διαφορετικών μηχανισμών και διαδικασιών και εμπεριέχει όλα τα κλάσματα του εδάφους, δηλαδή ορυκτά, οργανικά και βιολογικά κλάσματα καθώς και τα οργανικά υλικά του εδάφους που προστέθηκαν από την επέμβαση του ανθρώπου. Η SOM αποτελείται από C, H,

O, N, P και S, είναι δύσκολο να μετρηθεί πραγματικά η περιεκτικότητα σε SOC. Οι περισσότερες αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε οργανική ύλη του εδάφους (SOM) στην πραγματικότητα προσδιορίζουν την περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα του εδάφους (SOC) και όχι την ίδια την SOM. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται συντελεστής μετατροπής που λαμβάνει υπόψη το ποσοστό της SOM του εδάφους που δεν αποτελείται από άνθρακα, ώστε να υπολογιστεί η συνολική περιεκτικότητα σε SOM (Peverill, K. I., 1999):

$$SOM \left(\frac{g}{kg} \text{ soil} \right) = SOC \left(\frac{g C}{kg} \text{ soil} \right) \times 1.72$$

Η οργανική ύλη διαχωρίζεται σε υπέργεια και υπόγεια κλάσματα. Τα φυτικά και ζωικά υπολείμματα αποτελούν την υπέργεια οργανική ύλη και η υπόγεια περιλαμβάνει τη ζωντανή εδαφική πανίδα και μικροχλωρίδα, όπως επίσης τα μερικώς αποσυντεθειμένα φυτικά και ζωικά υπολείμματα και τις χουμικές ουσίες (FAO). Σε ζεστές και ξηρές περιοχές, όπως η Νότια Ευρώπη, η μείωση της OM μπορεί να είναι ταχεία, καθώς οι διαδικασίες αποσύνθεσης επιταχύνονται σε υψηλές θερμοκρασίες (Jones et al., 2004).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την οργανική ύλη του εδάφους χωρίζονται σε δύο ομάδες:

1. Φυσικοί παράγοντες

- Κλίμα: για παράδειγμα, εύκρατο ή μεσογειακό.
- Μητρικό υλικό εδάφους: όξινο ή αλκαλικό (ή ακόμα και αλατούχο).
- Κάλυψη εδάφους και τύπος βλάστησης.
- Μορφολογία: κλίση και προσανατολισμός του εδάφους.

2. Ανθρωπογενείς παράγοντες

- Χρήση γης και τύπος γεωργικών συστημάτων.
- Διαχείριση γης.
- Υποβάθμιση εδάφους και γης.

Η SOM αποτελεί βασικό στοιχείο για τον βιογεωχημικό κύκλο των κύριων θρεπτικών συστατικών των φυτών, όπως του N, του P ή του S. Με βάση το βάρος, ο λόγος C:N της SOM είναι 12:1, ο λόγος C:P 50:1 και ο C:S 70:1 (Havlin, 2016). Η κύρια λειτουργία της οργανικής ύλης είναι η δυνατότητα αποσύνθεσης και ανοργανοποίησης και η παροχή θρεπτικών στοιχείων για τη διατροφή των φυτών και την ανάπτυξη της βιομάζας (Page, K. L., et al. (2020). Ο λόγος C:N επίσης χρησιμοποιείται για να υποδείξει το είδος του υλικού και την ευκολία αποσύνθεσης του (FAO) .

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι δύσκολη η ακριβής εκτίμηση της ποσότητας του C που βρίσκεται αποθηκευμένη στο περιβάλλον και ακόμη δυσκολότερη στο έδαφος που αποτελεί ένα ανοιχτό και δυναμικό σύστημα. Πέρα από τις τιμές που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, σε νεότερες μελέτες βρέθηκε ότι η δεξαμενή του εδάφους και των οργανισμών υπολογίζεται περίπου 2000 Gt, ενώ η δεξαμενή βλάστησης κυμαίνεται από 500 έως 600 Gt. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι εκτιμήσεις χαρακτηρίζονται από υψηλή αβεβαιότητα (Lal, R, 2009).

1.3 Δέσμευση οργανικού άνθρακα και η σχέση του με βασικά στοιχεία του εδάφους.

Ο όρος δέσμευση SOC υπονοεί την απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού CO₂ από τα φυτά και την αποθήκευση του C ως οργανική ουσία στο έδαφος (Lal, R, 2004). Τα αποθέματα του SOC είναι το αποτέλεσμα του αθροίσματος των εισροών και των απωλειών από το έδαφος, με την διαχείριση του εδάφους να παίζει σημαντικό ρόλο για τον έλεγχο των εισροών. Οι εισροές περιλαμβάνουν τόσο τα υπέργεια όσο και τα υπόγεια υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά ζώων, κομπόστ, και άλλα, ενώ οι εκροές αποτελούνται από τις απώλειες που προκύπτουν μέσω διάβρωσης από το νερό και τον άνεμο, από ροές αερίων που συνδέονται με τη μικροβιακή και φυτική αναπνοή, καθώς και τη βαθιά έκπλυση (Blanco-Canqui et al., 2013).

Η σημασία του Οργανικού Άνθρακα του Εδάφους (SOC) στην διατήρηση της υγείας του εδάφους είναι ευρέως αναγνωρισμένη καθώς συμβάλλει στις ζωτικές, βιολογικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Αυτές οι ιδιότητες, μαζί με το SOC, το άζωτο (N) και τον φώσφορο (P), αποτελούν βασικούς δείκτες της υγείας και της ποιότητας του εδάφους (Krull et al., 2004). Η εντατικοποίηση της γεωργίας κατά τον 20ο αιώνα παρέχει σαφείς ενδείξεις ότι προκάλεσε τη μείωση της περιεκτικότητας σε OC σε πολλά εδάφη.

Σύμφωνα με τους Grover et al. (2015) η εισροή C στο έδαφος αποτελεί τον απαραίτητο τρόπο για δέσμευση SOC κατά την ανάπτυξη του φυτού, η οποία επηρεάζεται άμεσα με την διαθεσιμότητα του N και άλλων θρεπτικών συστατικών. Παρόλο που τα εμπορικά λιπάσματα δεν προσθέτουν οργανικό υλικό, επηρεάζουν την υγεία του εδάφους μέσω του φορτισμένου C. Κατά συνέπεια, η ενίσχυση του συνδυασμού βιολογικών σταθεροποιητών N και των θρεπτικών στοιχείων μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική τεχνική για την ενίσχυση της δέσμευσης SOC στο αγροοικοσύστημα.

Το SOC και το N διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δυναμική των θρεπτικών συστατικών των φυτών. Η εφαρμογή λίπανσης N μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα και την ποσότητα της φυτικής παραγωγής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντιστάθμιση των αυξημένων ατμοσφαιρικών εκπομπών CO₂ και επιστροφή του αφομοιώσιμου CO₂ στο απόθεμα SOC. Ωστόσο, η αναποτελεσματική και υπερβολική χρήση λιπάσματος N όχι μόνο δεν είναι οικονομικά αποδοτική αλλά και προκαλεί ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, οξίνιση του εδάφους και αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η προσθήκη χημικού N μειώνει την αναλογία C:N και προάγει την ανάπτυξη βακτηρίων που δεν δεσμεύουν N₂ με ασταθή C. Ο P είναι απαραίτητο στοιχείο για την ενέργεια των φυτών και το μεταβολισμό των σακχάρων. Η διαθεσιμότητα του P επηρεάζεται από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Η ανοργανοποίηση του P στα απορρίμματα τείνει να αυξάνεται καθώς οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν. Η διαχείριση των ανόργανων θρεπτικών συστατικών όπως το N, P, και S είναι κρίσιμη για τη δέσμευση του C στο έδαφος (Lal, R, 2009).

Επομένως, μια από τις σημαντικότερες στρατηγικές για την μείωση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι να ευνοηθεί η δέσμευση και αποθήκευση C από τα εδάφη, η οποία θεωρείται ως η μεγαλύτερη επίγεια δεξαμενή C αυξάνοντας τα επίπεδα του SOC. Η σημασία του έγκειται στην επείγουσα ανάγκη αντιστάθμισης

των αυξήσεων της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπου από 280 ppm που ήταν το 1750 έφτασε σε 385 ppm το 2009 (Lal, R, 2009).

1.4 Ο ρόλος του εδάφους στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα

Τα εδάφη παίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω της ικανότητάς τους να αποθηκεύουν OC, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών CO₂ (EEA, 2012). Περίπου το 45% των εδαφών στην Ευρώπη παρουσιάζουν μικρή ή πολύ μικρή περιεκτικότητα σε OC (0–2%), ενώ το 45% παρουσιάζουν μέτρια περιεκτικότητα σε OC (2–6%).

Σύμφωνα με τον Lal, R, 2004 θεωρείται ότι στα πρώτα 1–2m του εδάφους ο SOC είναι περίπου 1500 Gt, έπειτα από πλήθος μελετών. Στην Ευρώπη, τα αποθέματα του εδαφικού άνθρακα εκτιμώνται σε περίπου 75 δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα εκ των οποίων το 50% βρίσκεται στην Ιρλανδία, τη Φινλανδία, τη Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο, εξαιτίας της μεγάλης έκτασης των τυρφώνων στις χώρες αυτές. Ένα τέτοιο ποσό αντιστοιχεί σε πάνω από 50 φορές των συνολικών εκπομπών του ισοδύναμου CO₂ των 27 κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2009, που υπολογίζονται σε 4,6 δισεκατομμύρια τόνοι (EEA, 2012).

Συνεπώς, είναι αναγκαίος ο έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν τα εδάφη. Η αντιμετώπιση του προβλήματος προκύπτει εξετάζοντας διάφορους παράγοντες που είτε βελτιώνουν είτε επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργικότητα του εδάφους ως αποθήκευση C και μπορεί να μετριάσει την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ακολουθώντας τις συστάσεις του IPCC, η διαχείριση του C του εδάφους είναι δυνητικά εφαρμόσιμη σε ένα ευρύ φάσμα διαφόρων τύπων χρήσεων γης και όχι μόνο για γεωργικές ή δασικές εκτάσεις. Επιπρόσθετα, δεδομένης της ειδικής φύσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην τροφική αλυσίδα και στα αγροοικοσυστήματα, οι επιλογές προσαρμογής και μετριασμού συνδέονται τόσο με το περιβαλλοντικό όσο και το πολιτιστικό πλαίσιο σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Τέλος, το κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο κάθε κράτους και κάθε περιοχής παρουσιάζει μεγάλη επίδραση στη διαχείριση του εδάφους και κατά συνέπεια στην ικανότητα αποθήκευσης άνθρακα και στις συνέπειες από την υπερθέρμανση του πλανήτη (IPCC, 2019).

Η ποσότητα του C που δεσμεύεται στο έδαφος αντανάκλα τη μακροπρόθεσμη ισορροπία μεταξύ των μηχανισμών απορρόφησης και απελευθέρωσης C, όπου και οι δύο σχετίζονται με το περιβάλλον και τις πρακτικές διαχείρισης. Για τον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, το ισοζύγιο θα πρέπει να είναι θετικό για την αποθήκευση C στα εδάφη, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες.

1.5 Συνέπειες της Ανθρώπινης Δραστηριότητας στην Υποβάθμιση του Εδάφους

Ένας ακριβής ορισμός για την υποβάθμιση του εδάφους έχει δοθεί και ορίζεται ως μια αρνητική τάση στην κατάσταση του εδάφους, που προκαλείται είτε από άμεσες είτε από έμμεσες ανθρωπογενείς επιδράσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής ως μακροπρόθεσμη μείωση ή απώλεια της βιολογικής παραγωγικότητας και της οικολογική ακεραιότητας (Jones et al., 2004).

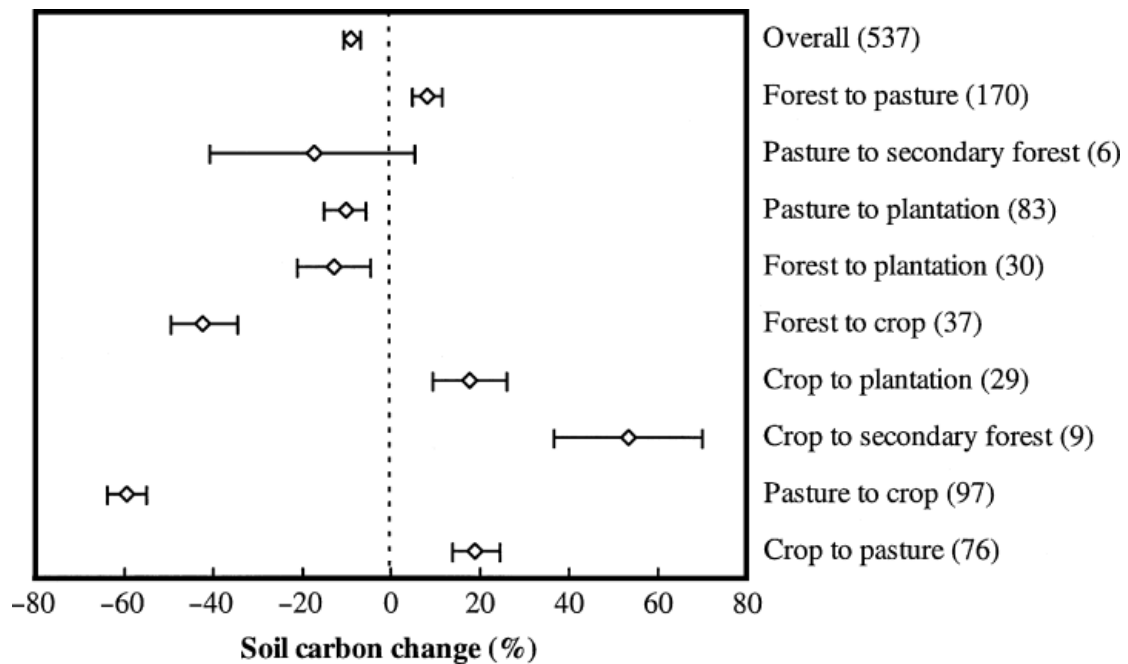
Τα χαρακτηριστικά του εδάφους που υποδηλώνουν υποβάθμιση του εδάφους είναι το μειωμένο πάχος λόγω της διάβρωσης, η δομή του εδάφους και η χύδην πυκνότητα, η μείωση του OC που προκύπτει από την μικροβιακή οξείδωση της οργανικής ύλης σε διαταραγμένο έδαφος, το άζωτο N όπου τα NO_3 και NH_4 είναι φυτικά διαθέσιμες μορφές του N, το οποίο είναι συνήθως ένας βασικός περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών, ο φώσφορος P (τόσο ολικός όσο και διαθέσιμος) είναι ένα άλλο μακροθρεπτικό συστατικό που έχει αποδειχθεί ότι μειώνεται λόγω της καλλιέργειας σε ορισμένες περιπτώσεις και το υψηλό pH που υποδεικνύει συσσώρευση αλάτων (Horwath and Kuzyakov, 2018).

Υπάρχουν παράμετροι που έχουν επιδράσει αρνητικά και ευθύνονται για τη μείωση του SOM με το μεγαλύτερο ποσοστό να προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Jones et al., 2004), όπως:

- η αλλαγή χρήσης γης και η μετατροπή λιβαδιών, δασών και άλλης φυσικής βλάστησης σε καλλιεργήσιμη γη
- οι καλλιεργητικές τεχνικές, όπως το βαθύ όργωμα των αρόσιμων εδαφών που προκαλεί την γρήγορη ανοργανοποίηση των ασταθών συστατικών του SOC
- η υπερβόσκηση περιοχών όπου παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά κτηνοτροφίας
- η διάβρωση του εδάφους από το νερό και από τον άνεμο
- η έκπλυση
- οι δασικές πυρκαγιές
- η αστικοποίηση αγροτικών περιοχών

Σε αντίθεση με τη βόρεια Ευρώπη, στη Μεσόγειο η γεωργία βασίζεται κυρίως σε οπωροφόρα δέντρα, εσπεριδοειδή, ελιές, αμπέλια, λαχανικά και σιτηρά. Οι βοσκότοποι και η κτηνοτροφία είναι περιορισμένης έκτασης και η συσσώρευση SOM που σχετίζεται με αυτές τις χρήσεις είναι περιορισμένη (Jones et al., 2004).

Όσον αφορά τις αλλαγές χρήσης γης και τη διαχείριση του εδάφους, οι Guo και Gifford (2002) ανέφεραν αφενός ότι τα αποθέματα εδαφικού άνθρακα μειώνονται μετά τις αλλαγές χρήσης γης, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.3, από λιβάδι σε φυτεία κατά 10%, από γηγενές δάσος σε φυτεία κατά 13%, από γηγενές δάσος σε αγροτική γη κατά 42% και από λιβάδια σε γεωργική γη κατά 59%. Από την άλλη, τα αποθέματα εδαφικού άνθρακα αυξάνονται έπειτα από τις αλλαγές χρήσης γης από γηγενές δάσος σε λιβάδι κατά +8%, καλλιεργήσιμη γη σε λιβάδι +19%, από γεωργική γη σε φυτεία +18% και από γεωργική γη σε δευτερεύοντα δάσος +53%.



Εικόνα 1.2. Αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα λόγω αλλαγής χρήσης γης με βάση τους Guo και Gifford (2002).

1.6 Επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στα θρεπτικά συστατικά του εδάφους

Τα συστήματα κατεργασίας του εδάφους επηρεάζουν σημαντικά τη δέσμευση C στο έδαφος. Η μη κατεργασία του εδάφους ελαχιστοποιεί τη διατάραξη του, μειώνει τη διάβρωση, αυξάνει τη διείσδυση του νερού, διατηρεί την υγρασία και ενισχύει τη βιοποικιλότητα, επιδρώντας παράλληλα θετικά στη δέσμευση του SOC. Η συμβατική άροση περιλαμβάνει μεθόδους όπως το όργωμα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αναστάτωση του εδάφους και την αναστροφή του σε βάθος 25-30 cm. Η μείωση της έντασης καλλιέργειας από τη συμβατική σε μηδενική κατεργασία οδηγεί στην παραμονή των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και τη δημιουργία μίας διαστρωμάτωσης του SOC και των θρεπτικών στοιχείων. Από την άλλη η συμβατική καλλιέργεια οδηγεί σε ομοιόμορφη κατανομή των θρεπτικών συστατικών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η μείωση της κατεργασίας ή η εισαγωγή συστημάτων μη κατεργασίας μπορεί να αυξήσει τη δέσμευση SOC. Παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις η κατεργασία έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνει τα αποθέματα του SOC σε σύγκριση με συστήματα μειωμένης ή μη κατεργασίας. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε περιοχές που πραγματοποιείται πλήρης αναστροφή του εδάφους με τη κατεργασία, οπότε τα υπολείμματα μπορεί να θαφτούν σε περιοχή όπου επικρατούν συνθήκες με μειωμένο αερισμό του εδάφους και να περιοριστεί η αποσύνθεση. Η διαφορά της επίδρασης της μη κατεργασίας και της κατεργασίας στον SOC εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το κλίμα, ο τύπος του εδάφους, τα αρχικά επίπεδα του OC στο έδαφος, την διαχείριση των καλλιεργειών, το χρόνο από την αλλαγή της μεθόδου καλλιέργειας και το βάθος και τη μεθοδολογία της δειγματοληψίας. Οι αλλαγές στον SOC μετά τη μετάβαση σε μη κατεργασία του εδάφους παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση. Ενδεικτικά, οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από -0.15 Mg/ha/έτος στη μεσοδυτική ΗΠΑ έως $+0.93 \text{ Mg/ha/έτος}$ στη Βραζιλία. Πιο συγκεκριμένα σε περιοχές

που ευνοείται η παραγωγή βιομάζας, δηλαδή περιοχές με ευνοϊκές και καλές κλιματικά συνθήκες η μη κατεργασία του εδάφους αυξάνει τα επίπεδα του SOC κυρίως κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Page, K. L., et al. ,2020).

Οι βελτιώσεις στα αποθέματα SOC επηρεάζουν θετικά τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στα συστήματα μη κατεργασίας. Όταν εφαρμόζεται η μη κατεργασία αυξάνονται τα φυτικά υπολείμματα, άρα και η συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών όπως άζωτο (N), φώσφορος (P), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), κάλιο (K), μαγγάνιο (Mn) και ψευδάργυρος (Zn), χάρη στην ενίσχυση της SOM. Η αυξημένη παρουσία θρεπτικών συστατικών στο έδαφος στα συστήματα μη κατεργασίας δεν εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητά τους για τα φυτά. Για παράδειγμα, το N μπορεί να είναι λιγότερο διαθέσιμο στα αρχικά στάδια εφαρμογής. Αυτό συχνά απαιτεί τη χρήση λιπασμάτων N για τη διατήρηση των αποδόσεων (Page, K. L., et al. ,2020).

Η διαθεσιμότητα του N για απορρόφηση από τις καλλιέργειες εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ ανοργανοποίησης και απονιτροποίησης κατά την αποδόμηση της SOM στο έδαφος. Η ανοργανοποίηση επηρεάζεται θετικά από την υγρασία, τον αερισμό και τη θερμοκρασία του εδάφους, καθώς και την μικροβιακή δραστηριότητα. Με την παραμονή των υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους είναι δυνατόν να περιοριστεί η νιτροποίηση εξαιτίας της SOM. Η ανοργανοποίηση του N παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την υγεία του εδάφους καθώς συνδυάζεται η αλληλεπίδραση του N με την SOM και τη μικροβιακή δραστηριότητα (Ajirloo, A. R., & Ahangar, A. G. (2014)).

Σύμφωνα με μελέτες για τη συγκέντρωση του P, προέκυψε ότι οι ποσότητες του P ήταν μεγαλύτερες για μη κατεργασία κοντά στην επιφάνεια τους εδάφους σε σύγκριση με τη κατεργασία. Σχετικά με την συγκέντρωση του σε μεγαλύτερα βάθη, το αποτέλεσμα ήταν, ίσες ή μεγαλύτερες ποσότητες σε μη κατεργασία. Ενώ σε άλλες μελέτες η συγκέντρωση του διαθέσιμου P μειώθηκε σε βαθύτερα βάθη. Παρά τις ασυνέπειες, οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες έδειξαν υψηλότερες επιφανειακές συγκεντρώσεις διαθέσιμου P σε καλλιέργειες μη κατεργασίας για καλαμπόκι και λαχανικά (Ajirloo, A. R., & Ahangar, A. G. (2014)).

1.7 Η σχέση της εδαφικής οργανικής ύλης και της κλιματικής αλλαγής

Η IPCC αναφέρει ότι το κλίμα της γης αλλάζει ραγδαία λόγω των συνεχών εισροών CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (GHG) όπως για παράδειγμα N₂O, CH₄ στην ατμόσφαιρα που οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο γεωργικός τομέας επηρεάζεται άμεσα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων και των συγκεντρώσεων CO₂ στην ατμόσφαιρα, αλλά συμβάλλει επίσης κατά το ένα τρίτο στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως μέσω της παραγωγής ζώων και ρυζιού, της αζωτούχου λίπανσης και της αποψίλωσης των τροπικών δασών (Lotze-Campe et.al 2011).

Η SOM είναι μια από τις σταθερότερες αποθήκες C στα χερσαία οικοσυστήματα και οι όποιες αλλαγές παρατηρηθούν είναι συνήθως μικρές συγκριτικά με τις περισσότερες άλλες αποθήκες, επειδή η αύξηση του CO₂ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ροών και των βιογεωχημικών κύκλων με την αποθήκη C να παραμένει σταθερή (Kuzayakov, et al., 2019) . Επιπλέον οι Arndal et al.(2013), επισήμαναν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας πιθανότατα να επιμηκυνθεί η καλλιεργητική περίοδος και θα ενισχυθεί η ανοργανοποίηση με αποτέλεσμα με αποτέλεσμα να

αυξηθεί η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Η έλλειψη των θρεπτικών συστατικών μειώνει την απόδοση των καλλιεργειών και περαιτέρω έχει επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

Ο Lotze-Campe εξήγησε ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες επηρεάζουν τη διατήρηση των θρεπτικών ουσιών επειδή πιθανώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν τη φυσική αποσύνθεση του SOM ως αποτέλεσμα της διέγερσης της μικροβιακής δραστηριότητας. Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του αποθέματος SOC. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε η αύξηση της εκροής CO₂ από το έδαφος προκαλεί μείωση του SOC, μειώνοντας το ρυθμό παραμονής C στο έδαφος. Όταν η ανοργανοποίηση είναι υψηλότερη από την πρόσληψη των φυτών, η συνέπεια θα είναι η έκπλυση των θρεπτικών συστατικών. Αυτό παρατηρείται όταν οι απαιτήσεις των φυτών είναι χαμηλές και οι ρυθμοί ανοργανοποίησης του N αυξάνονται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του εδάφους.

1.7.1 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη δέσμευση C

Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες επιδρούν στην αύξηση του ρυθμού διάσπασης της SOM στο έδαφος λόγω της αύξησης της μικροβιακής δραστηριότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του ρυθμού απελευθέρωσης CO₂ και CH₄ στην ατμόσφαιρα λόγω της αυξημένης αναπνοής των μικροοργανισμών του εδάφους. Παράλληλα έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση συγκέντρωσης του CO₂ και CH₄ δύναται να επηρεάσει θετικά τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών με αποτέλεσμα να δεσμεύεται περισσότερος C στο έδαφος, επηρεάζοντας κατ' επέκταση την SOM (Kuzakov, et al., 2019).

Η επιταχυνόμενη διάβρωση του εδάφους έχει σημαντικές επιπτώσεις στη δεξαμενή SOC. Ένα μέρος του SOC που αναδιανέμεται στο τοπίο από τη διάβρωση, μεταφέρεται στα υδάτινα οικοσυστήματα και με την ανοργανοποίηση της SOM μπορεί να απελευθερωθεί ως CO₂ ενώ το υπόλοιπο μέρος μπορεί να δεσμευθεί (Lal, 2004).

1.7.2 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διατροφή των φυτών

Η κλιματική αλλαγή, με την αύξηση της θερμοκρασίας και τις μεταβαλλόμενες βροχοπτώσεις, θα επηρεάσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στα χερσαία οικοσυστήματα μέσω της έκπλυσης και της διάβρωσης του εδάφους. Οι αυξημένες θερμοκρασίες ενισχύουν βιολογικές διεργασίες όπως η αποσύνθεση και η ανοργανοποίηση της SOM καθώς και τη νιτροποίηση του N. (Cookson et al., 2007). Επιπλέον θα επηρεαστούν οι κύκλοι των θρεπτικών συστατικών, κυρίως των C, N και P που αποτελούν τα θεμελιώδη θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Παράλληλα επηρεάζονται και οι φυσιολογικές διαδικασίες των φυτών, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Ο καθαρός αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής ποικίλλει λόγω συγκεκριμένων προϋποθέσεων (Adavi et al., 2018).

Οι καλλιεργείες για να αναπτυχθούν σωστά χρειάζονται θρεπτικά συστατικά. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για τη σύνθεση μεγάλου αριθμού μακρομορίων, όπως νουκλεϊκά οξέα, φωσφολιπίδια, αμινοξέα και διάφορα συνένζυμα, τα οποία συμβάλλουν στον κυτταρικό μεταβολισμό των φυτών. Επιπλέον, βοηθούν στον σχηματισμό της χλωροφύλλης, στις οξειδοαναγωγικές διεργασίες, στην ακεραιότητα της πλασματικής μεμβράνης και στο οσμωτικό δυναμικό (Soares et al., 2019).

Η αύξηση του CO₂ μπορεί να επηρεάσει την διατροφή των φυτών, ιδίως μέσω της αλληλεπίδρασής του με το N. Σύμφωνα με τους Hatfield and Prueger (2011), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση του αυξημένου CO₂ σε καλλιεργούμενα οικοσυστήματα και διαπίστωσαν ότι το N αποτελεί ένα περιοριστικό στοιχείο για ορισμένα από αυτά. Το N σε χερσαία οικοσυστήματα υπάρχει κυρίως σε οργανικές μορφές που δεν είναι διαθέσιμες στα φυτά. Με την αποσύνθεση της SOM στο έδαφος απελευθερώνονται οι διαθέσιμες μορφές N και άλλων θρεπτικών συστατικών. Η αλληλεπίδραση του CO₂ και του N σε καλλιεργούμενα οικοσυστήματα είναι πολύπλοκη. Με βάση των αποτελεσμάτων τους διαπίστωσαν ότι η κρίσιμη συγκέντρωση του N για επαρκή ανάπτυξη μειωνόταν για αρκετά είδη φυτών όταν αυξάνεται η συγκέντρωση του CO₂. Σε μη ξυλώδη φυτά, το αυξημένο CO₂ στην ατμόσφαιρα διεγείρει την ανάπτυξη των ριζών και των βλαστών, με την ανάπτυξη των ριζών να υπερβαίνει την ανάπτυξη των βλαστών. Ωστόσο, η ανάπτυξη των ριζών ενθαρρύνεται μόνο εάν το N δεν είναι περιοριστικός παράγοντας.

1.8 Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης για τη Διαχείριση Οργανικού Υλικού στο Έδαφος

Οι γεωργικές δραστηριότητες ευθύνονται για το 10-15% των παγκόσμιων εκπομπών των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου CO₂, CH₄ και N₂O. Παρά τις εκπομπές από τη γεωργία, τα δάση και τους βοσκότοπους, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για μείωση αυτών των εκπομπών και δέσμευση άνθρακα στο έδαφος και στη βιομάζα. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού της κλιματικής αλλαγής μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ενισχύουν τη δέσμευση C. Η αυξημένη δέσμευση άνθρακα στο έδαφος βελτιώνει τη γονιμότητα και την ανθεκτικότητα των γεωργικών συστημάτων (Climate Change Position Statement Working Group (2011).

Για παράδειγμα, τα αποθέματα C ήταν 18% υψηλότερα στα εδάφη μη καλλιεργήσιμων εκτάσεων από ό,τι στα καλλιεργήσιμα εδάφη όπως αναφέρει ο Kämpf et al. (2016). Η μη άροση του εδάφους επηρέασε σημαντικά τις εδαφομηχανικές (πυκνότητα, αντίσταση διείσδυσης), τις υδρολογικές (ρυθμός διείσδυσης και κορεσμένα υδραυλική αγωγιμότητα) ιδιότητες σε συνδυασμό με την εφαρμογή υπολειμμάτων. Επιπλέον, η συγκέντρωση του C στο έδαφος ενισχύεται μέσω του σχηματισμού μακρο-συσσωματωμάτων μακροπρόθεσμα το όργανο διατήρησης μαζί με την εφαρμογή καλλιεργειών (Kahlon et al. ,2013). Οι Kämpf et al. (2016) εκτίμησαν ότι η υιοθέτηση της συντηρητικής κατεργασίας του εδάφους έχει τη δυνατότητα να δεσμεύσει περίπου 23 Tg C/έτος στην Ευρωπαϊκή Ένωση ή περίπου 43 Tg C/έτος στην ευρύτερη Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.

Οι εναλλακτικές στρατηγικές διαχείρισης του εδάφους, όπως η χρήση κάλυψης εδάφους ή εδαφοκάλυψης σε εδάφη μεσογειακών αμπελώνων που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε SOM, βελτιώνουν την ποιότητα του εδάφους σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια. Συγκεκριμένα με την κάλυψη του εδάφους αυξάνεται η δέσμευση ατμοσφαιρικού CO₂ στο έδαφος μέσω της αύξησης των αποθεμάτων SOC. Μέσω της αύξησης των αποθεμάτων SOC προάγεται η βελτίωση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων και η δομή του εδάφους, κάνοντας το έδαφος πιο ανθεκτικό στη διάβρωση από το νερό. . Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση της σταθεροποιημένης SOM σε εδάφη που σχετίζονται με ορυκτά κλάσματα. Έχοντας

σχολιάσει τα προηγούμενα παραδείγματα, μερικές φορές είναι πολύπλοκο να επιβεβαιωθεί ποιες είναι οι βέλτιστες πρακτικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί σημαντικά το περιεχόμενο της SOM καθώς και ένας γενικός κανόνας (García-Díaz et al., 2018). Το βιοεξανθράκωμα (biochar) ορίζεται ως η οργανική ύλη που παράγεται από τη θέρμανση βιομάζας σε ένα περιβάλλον περιορισμένο σε οξυγόνο και χρησιμοποιείται ως βελτιωτικός παράγοντας για το έδαφος. Επιπλέον το η εφαρμογή του βιοεξανθρακώματος μπορεί να συμβάλει σημαντικά τόσο στην αντιμετώπιση της υποβάθμισης του εδάφους όσο και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2019). Η εφαρμογή του βιοεξανθρακώματος είναι λιγότερο χρήσιμη σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα SOM, επειδή και η προσθήκη του σε τέτοια εδάφη μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, η εφαρμογή ακατάλληλων τύπων biochar σε συγκεκριμένα εδάφη (π.χ. αλκαλικά εδάφη με υψηλό pH) μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα του εδάφους (Hussain, 2017).

Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες θα καθορίσουν ποια από αυτές τις πρακτικές είναι η καταλληλότερη, μαζί με τις ιδιότητες του εδάφους. Οι πρακτικές καλλιέργειας και διαχείρισης του εδάφους που συστήνονται για την ενίσχυση του SOC στο έδαφος είναι (Lal, R. 2004):

- Μείωση ή εξάλειψη της συμβατικής άροσης και υιοθέτηση μη άροσης (NT) ή όργωμα διατήρησης. Τα εδάφη δείχνουν να συσσωρεύουν C κατά τη μετάβαση από συμβατική άροση σε όργωμα συντήρησης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της διατάραξης του εδάφους, τη μείωση της περιόδου αγρανάπαυσης και την ένταξη καλλιεργειών κάλυψης στον κύκλο αμειψισποράς.
- Χρήση υπολειμμάτων καλλιεργειών ή συνθετικών υλικών ως επιφανειακής επικάλυψης σε συνδυασμό με ενσωμάτωση καλλιεργειών κάλυψης στον κύκλο αμειψισποράς ενισχύθηκε από την υιοθέτηση της κατεργασίας συντήρησης.
- Διαχείριση θρεπτικών συστατικών: Η ορθή διαχείριση των θρεπτικών συστατικών είναι καθοριστική για τη δέσμευση του SOC. Η επαρκής παροχή N και άλλων βασικών θρεπτικών συστατικών μπορεί να ενισχύει την παραγωγή βιομάζας σε συνθήκες που η συγκέντρωση του CO₂ είναι αυξημένη. Επιπλέον η εφαρμογή οργανικής κοπριάς και κομπόστ ενισχύει τη δεξαμενή SOC σε σχέση με την εφαρμογή ίδιας ποσότητας θρεπτικών συστατικών όπως τα ανόργανα λιπάσματα.
- Άρδευση: Η συνετή εφαρμογή νερού άρδευσης σε εδάφη που πλήττονται από ξηρασία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής βιομάζας και παράλληλα την αύξηση της ποσότητας της υπέργειας και της ριζικής βιομάζας που επιστρέφει στο έδαφος και να ενισχύσει την συγκέντρωση SOC.
- Αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών: Τα περισσότερα υποβαθμισμένα εδάφη έχουν χάσει μεγάλο μέρος της προϋπάρχουσας ποσότητας SOC. Με την μετατροπή σε καλλιέργεια αποκατάστασης ή σε άλλες συνετές πρακτικές χρήσης γης μπορεί να αποκατασταθεί η ποσότητα SOC.
- Βελτίωση συστημάτων βοσκής: που ενισχύουν τη διατροφή των ζώων. Με την αποκατάσταση υποβαθμισμένων βοσκοτόπων και την βελτίωση των

κτηνοτροφικών ειδών είναι δυνατή η δέσμευση SOC και SIC. Επίσης, η μετατροπή οριακών καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε βοσκότοπους, μπορεί να ενισχύσει τη δέσμευση C. Παρόμοια με τη διαχείριση των καλλιεργειών, οι πρακτικές που μπορούν να βελτιώσουν τους βοσκότοπους περιλαμβάνουν την προσεκτική χρήση λιπασμάτων, τον ελεγχόμενο τρόπο βόσκησης, τη σπορά ψυχανθών, τη βελτίωση της εδαφικής πανίδας και την εφαρμογή άρδευσης.

- Δασικά εδάφη: Η μετατροπή γεωργικών εκτάσεων σε δασικές έχει τη δυνατότητα δέσμευσης SOC. Το μέγεθος και ο ρυθμός της δέσμευσης εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους, τα είδη και τη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών. Σύμφωνα με τον Lal, 2001 ο ρυθμός δέσμευσης του C είναι είτε χαμηλός ή ακόμη και αρνητικός τα πρώτα 3-5 yr, ενώ αυξάνεται στα επόμενα 10-15yr και μειώνεται ξανά στο 0 όταν το έδαφος βρίσκεται σε ισορροπία με τη βλάστηση.

Οι ορθές πρακτικές διαχείρισης επικεντρώνονται γενικά στην προσθήκη επαρκών βιολογικών υπολειμμάτων και την εφαρμογή τεχνικών διατήρησης στα εδάφη. Επιπλέον, οι αλλαγές σε λιβάδια αναφέρεται ως η κύρια αλλαγή χρήσης γης που ωφελεί την αποθήκευση SOM. Ωστόσο, το αντίθετο θα μπορούσε να ευνοήσει την απελευθέρωση του CO₂. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε κανείς ότι η επιτυχής εφαρμογή των πρακτικών διαχείρισης και η ανταπόκριση εξαρτάται από την εξέταση των τοπικών περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών συνθηκών. Έτσι, δεν είναι δυνατή η αλλαγή χρήσης γης χωρίς να ληφθεί υπόψη το περιβάλλον του (Scoones et al., 2015).

1.9 Αντικείμενα εργασίας

Τα κύρια αντικείμενα της παρούσας διατριβής είναι η κατανόηση των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων και C στα πρώτα στάδια μετάβασης από συμβατικά συστήματα καλλιέργειας (κατεργασία εδάφους) σε γεωργικά συστήματα αποκατάστασης ποιότητας εδάφους (μη κατεργασία εδάφους) και ειδικότερα:

- Μεταβολές pH
- Μεταβολές στην συγκέντρωση SOC
- Μεταβολές στην διαθεσιμότητα ανόργανων μορφών N
- Μεταβολές στην διαθεσιμότητα P

Οι παραπάνω παράμετροι διερευνώνται σε διαφορετικά βάθη εδάφους και θέσεις δειγματοληψίας (μεταξύ των γραμμών φύτευσης, κάτω από την κόμη) ώστε να αποτυπωθεί επίσης η χωρική μεταβλητότητα.

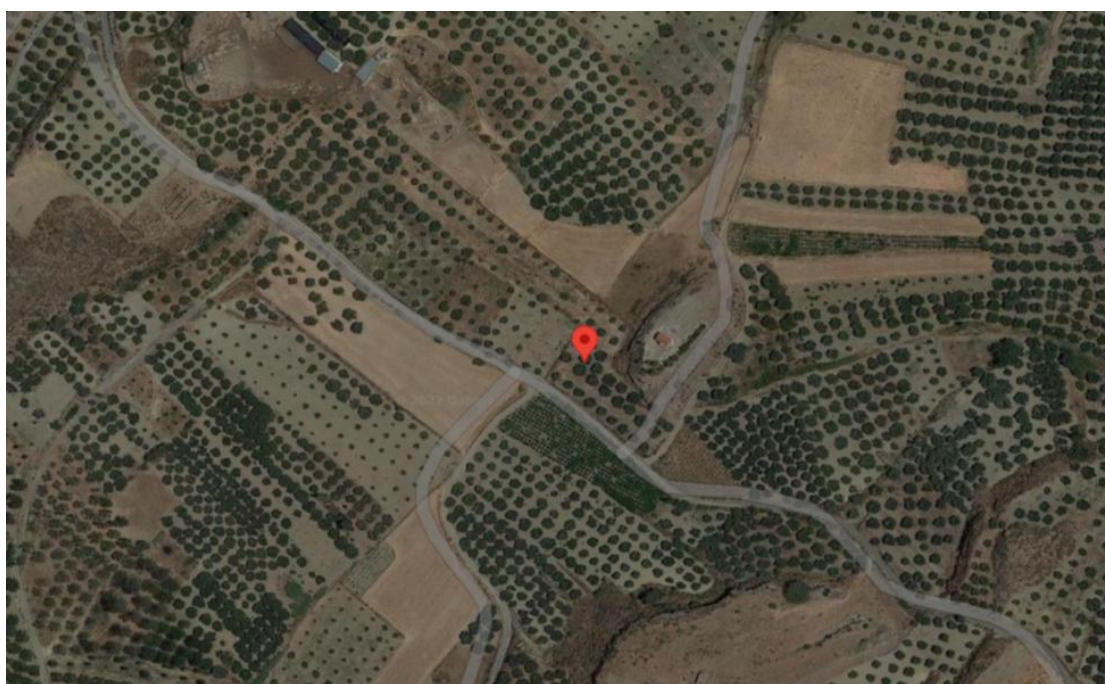
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Περιοχή μελέτης

Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν δύο αγροί που βρίσκονται στην Κρήτη με ελαιόδενδρα. Η Κρήτη ανήκει στη μεσογειακή κλιματολογική ζώνη που προσδίδει τον κύριο κλιματικό χαρακτήρα της, όπου χαρακτηρίζεται ως εύκρατο. Οι αγροί που επιλέχθηκαν έχουν χωριστεί σε δύο επιμέρους τμήματα, με κάποια από αυτά, στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες να παραμένουν σε συνθήκες συμβατικής καλλιέργειας (κατεργασία εδάφους) και κάποια να δέχονται πρακτικές αποκατάστασης εδάφους (μη κατεργασία εδάφους και μηχανική συγκομιδή ζιζανίων).

Αγρός 1:

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα κεντρικά της Κρήτης στην Αγία Βαρβάρα Γόρτυνας. Πρόκειται για αγρόκτημα που φυτεύτηκε το 2002 με ελαιόδενδρα και από το 2021 έχει γίνει μετάβαση σε καθεστώς αποκατάστασης εδάφους (μη κατεργασία εδάφους και μηχανική κοπή ζιζανίων) για να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση σχετικά με την αποκατάσταση της υγείας του εδάφους αλλά και του δυναμικού δέσμευσης SOM.



Εικόνα 2.1.1. Περιοχή μελέτης του αγρού 1.

Αγρός 2:

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον Άγιο Ανδρέα της Κρήτης. Ο αγρός φυτεύτηκε το 1970 και από το 2021 έχει μετατραπεί σε βιολογική καλλιέργεια.



Εικόνα 2.1.2. περιοχή μελέτης του αγρού 2.

2.2 Ανάλυση ποιοτικών παραμέτρων εδάφους

2.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων

Στις περιοχές μελέτης προηγήθηκε η δειγματοληψία εδάφους. Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν σύμφωνα με τους κανόνες που διέπουν την μεθοδολογία της δειγματοληψίας εδάφους, δηλαδή την ομοιογένεια και την αντιπροσωπευτικότητα αυτών. Αρχικά, τα δείγματα ξηράθηκαν στους 60 °C για 4 ημέρες και ακολούθησε η λειοτρίβιση και τέλος το κοσκίνισμα με κόσκινο 2 mm. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές σακούλες, όπου αναλύθηκαν για προσδιορισμό των παραμέτρων.

2.2.2 Προσδιορισμός Υγρασίας

Αρχικά προσδιορίστηκε η υγρασία των δειγμάτων:

1. Αφού πρώτα ζυγίστηκαν καταγράφηκε το αρχικό τους βάρος (Min) και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα ταψάκια των οποίων είχε μετρηθεί το βάρος.
2. Έπειτα τα δείγματα ξηράθηκαν στους 60 °C για 24 περίπου ώρες.
3. Αφού μετρήθηκε ξανά το βάρος των ξηρών δειγμάτων (Mfin) προσδιορίστηκε η περιεχόμενη υγρασία του κάθε δείγματος. Η περιεχόμενη επί ξηρού υγρασία υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$\text{Υγρασία(Moisture)}(\%) = \frac{Min - Mfin}{Min} * 100\%$$

Min→ αρχική μάζα του δείγματος πριν την ξήρανση (g)

Mfin→ τελική μάζα του δείγματος μετά την ξήρανση (g)

2.2.3 Προσδιορισμός τιμής pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Ο προσδιορισμός του pH έγινε με χρήση συσκευής μέτρησης pH τύπου "microPH 2002" της εταιρείας Thermo Scientific™, ενώ όσον αφορά στην αγωγιμότητα και την αλατότητα, με χρήση συσκευής τύπου "Orion Star™ A111" της εταιρείας Thermo Scientific™.

Για το pH έγινε προσθήκη 8g δείγματος σε 20ml DI H₂O ή αντιδραστήριο CaCl₂ 0.01M, για να προκύψει αναλογία στερεού προς υγρού ήταν 1/2.5 (g/mL). Στη συνέχεια τα δείγματα αναδεύονται για 24h και ακολουθεί ο προσδιορισμός των παραμέτρων.



Εικόνα 2.2.3: Thermo Scientific™ Orion Star™ A111 pH (Fisher scientific)

2.2.4 Προσδιορισμός της συγκέντρωσης P κατά Olsen (P- Olsen)

Η διαδικασία του προσδιορισμού του αφομοιώσιμου P κατά Olsen περιλαμβάνει δύο φάσεις. Η πρώτη είναι η εκχύλιση των στερεών υλικών και η δεύτερη ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του P στο εκχύλισμα.

Η εκχύλιση του εδάφους πραγματοποιήθηκε ως ακολούθως [Olsen & Sommers, 1982; Sarkar & Halдар, 2005]:

1. Αρχικά τα δείγματα εδάφους ποσότητας 2.5g τοποθετήθηκαν σε κωνική φιάλη μαζί με 50mL διαλύματος NaHCO₃ 0.5M. Το pH του διαλύματος NaHCO₃ ρυθμίστηκε 8.5 με χρήση NaOH 5N.
2. Το αιώρημα αναδεύτηκε σε τράπεζα ανάδευσης για 30min στα 150rpm.
3. Μετά την ανάδευση, το αιώρημα διηθήθηκε με φίλτρο glass microfiber τύπου GF/CTM. Έπειτα, το διήθημα διηθήθηκε εκ νέου με φίλτρο σύριγγας διαμέτρου 0.45μm.

4. Για το δεύτερο μέρος δηλαδή τη μέτρηση του διηθήματος ακολουθήθηκε η πρότυπη μέθοδος 4500-P Ascorbic Acid Method [APHA, 1992] και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου P μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά στα 880nm με τη χρήση του φασματοφωτόμετρου LAMBDA 25 του οίκου PerkinElmer.

2.2.5 Προσδιορισμός συγκεντρώσεων $\text{N}(\text{NO}_3\text{-N})$ και $(\text{NH}_4\text{-N})$

Για τον προσδιορισμό των $\text{NO}_3\text{-N}$:

1. Τοποθετήθηκαν 2.5gr εδάφους σε 20ml DI H₂O σε κωνική φιάλη με σκοπό να έχουμε αναλογία στερεού προς υγρού 1/8.
2. Στη συνέχεια το αιώρημα αναδεύτηκε για 30min.
3. Όσον αφορά στον προσδιορισμό των $\text{NO}_3\text{-N}$ χρησιμοποιήθηκε το kit αντιδραστηρίων NitraVer® 5 Reagent Powder Pillows της Hach.
4. Αφού ανακατεύτηκε σε vortex και ο προσδιορισμός της απορρόφησης έγινε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου LAMBDA 25 του οίκου PerkinElmer στα 425nm.

Για τον προσδιορισμό των $(\text{NH}_4\text{-N})$:

1. Σε κωνική φιάλη τοποθετήθηκαν 2.5g εδάφους μαζί με 12,5mL KCl 1M, για να έχει αναλογία 1:5.
2. Στη συνέχεια το αιώρημα αναδεύτηκε για 1h.
3. Το αιώρημα μετά την ανάδευση διηθήθηκε με φίλτρο σύριγγας διαμέτρου 0.45 μm και για τον προσδιορισμό των $\text{NH}_4\text{-N}$ χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Nessler (Hach Method 8038).
4. Η απορρόφηση των δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου LAMBDA 25 του οίκου PerkinElmer στα 425nm.



Εικόνα 2.2.5: Perkin Elmer Lambda 25 UV φασματοφωτόμετρο

2.2.6 Προσδιορισμός ολικού άνθρακα (total carbon, TC)

Ο προσδιορισμός του ολικού άνθρακα (total carbon – TC) πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το όργανο SSM-5000A, Solid sample module της SHIMADZU.

Ο TC αποτελεί το άθροισμα του ολικού οργανικού άνθρακα (total organic carbon – TOC) και του ολικού ανόργανου άνθρακα (total inorganic carbon – TIC), που αναφέρεται στα ανθρακικά άλατα του δείγματος.

Όσον αφορά στη μέτρηση του **TC**, η αρχή λειτουργίας του οργάνου συνοψίζεται ως εξής:

1. Αρχικά το δείγμα εισάγεται απευθείας στο σωλήνα καύσης που περιέχει τον καταλύτη ο οποίος αποτελεί μίγμα Pt και Co.
2. Ο TC του δείγματος οξειδώνεται στο σωλήνα καύσης στους 900°C και σχηματίζει CO₂. Το φέρον αέριο (O₂) ρέει μέσα από το σωλήνα καύσης, όπου παραλαμβάνει το CO₂ και τα υπόλοιπα προϊόντα της καύσης, τα οποία μεταφέρει σε ένα αφυγραντήρα όπου απομακρύνεται η υγρασία ενώ ταυτόχρονα ψύχονται τα αέρια της καύσης.
3. Στη συνέχεια το φέρον αέριο καταλήγει στο κελί του ανιχνευτή NDIR (non dispersive infra-red gas analyzer) όπου ανιχνεύεται το CO₂.

Για τη μέτρηση του **TIC**:

1. Το δείγμα καταρχάς οξινίζεται με χρήση H₃PO₄ ούτως ώστε το pH να είναι χαμηλότερο του 3. Έτσι, τα ανθρακικά άλατα που περιέχονται στο δείγμα μετατρέπονται σε CO₂.
2. Στη συνέχεια, το δείγμα διαβιβάζεται στο φέρον αέριο και το CO₂ που παράχθηκε οδηγείται σε αφυγραντή, όπου απομακρύνεται η υγρασία. Ακολούθως το φέρον αέριο καταλήγει στο κελί του ανιχνευτή NDIR (non dispersive infra-red gas analyzer) όπου ανιχνεύεται το CO₂.

Τέλος, ο **TOC** υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ TC και TIC:

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{TIC},$$

Όπου

TOC= Ολικός Οργανικός άνθρακας

TC = Ολικός άνθρακας

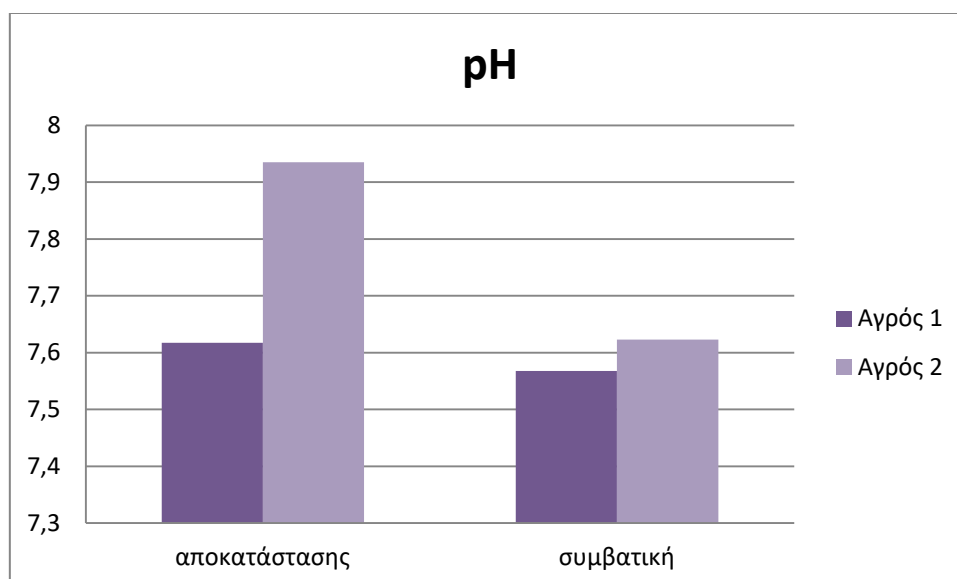
TIC= Ολικός Ανόργανος άνθρακας

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα από τα πειραματικά δεδομένα ομαδοποιήθηκαν στα παρακάτω γραφήματα και έγιναν με βάση τις καμπύλες που βρίσκονται στο κεφάλαιο **Παραρτήματα**.

3.1 Επίδραση της κατεργασίας εδάφους

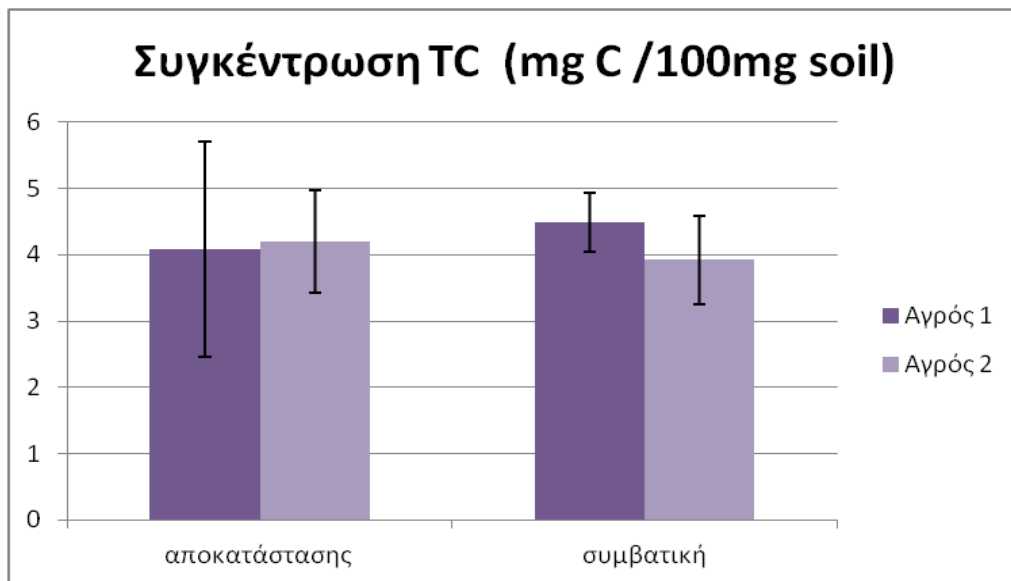
Στα παρακάτω γραφήματα πραγματοποιείται σύγκριση των δύο αγρών με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους που υπόκεινται σε πρακτικές αποκατάστασης ποιότητας εδάφους (μη κατεργασία εδάφους) και σε αυτά που έχει πραγματοποιηθεί συμβατική καλλιέργεια(κατεργασία εδάφους). Μεταχειρίζεις η 1^η αφορούσας πρακτικής αποκατάστασης και ιδιαίτερα μη κατεργασίας εδάφους και η 2^η συμβατική γεωργία με κατεργασία εδάφους.



Γράφημα 3.1. Η τιμή του pH στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω Γράφημα και στους δύο Αγρούς οι τιμές του pH έχουν τιμές πάνω από 7,5. Αυτό καθιστά το έδαφος ως ήπια αλκαλικό και στους δύο αγρούς και για τις δύο μορφές καλλιέργειας.

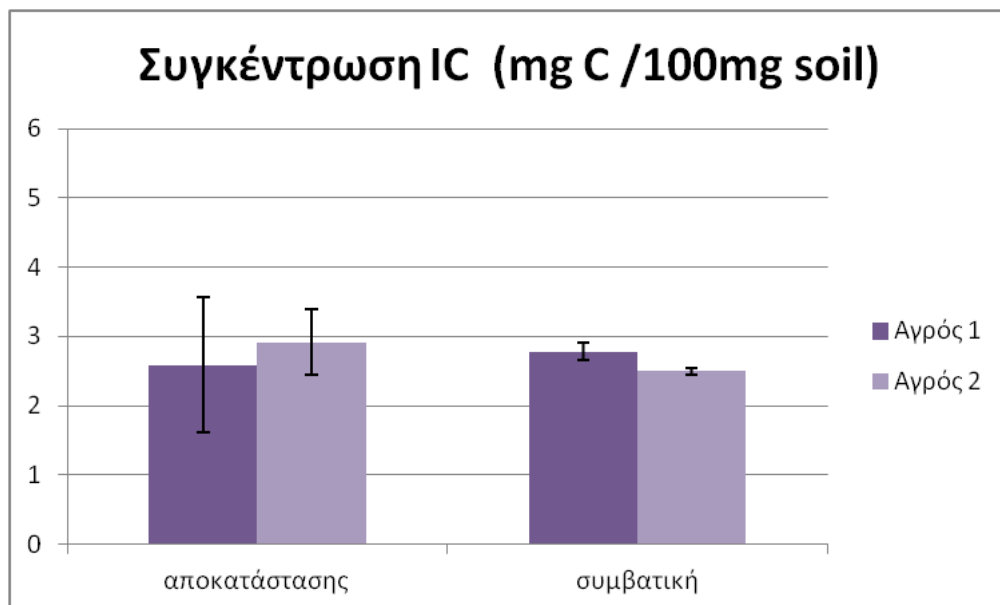
Ειδικότερα στον Αγρό 1 που εφαρμόστηκε αποκατάσταση εδάφους με μη κατεργασία το pH είναι 7,61 και για τη συμβατική καλλιέργεια 7,56 δηλαδή δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή. Όμοια και στον Αγρό 2 οι τιμές είναι 7,9 για καλλιέργεια διατήρησης και 7,6 για συμβατική.



Γράφημα 3.2. Η Συγκέντρωση TC (mg C/100mg soil) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Παρατηρείται ότι, για τον Αγρό 2 ενώ παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στην τιμή του TC αυτές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Συγκεκριμένα ο Αγρός 1 η συγκέντρωση του TC είναι κοντά 41 mg C /100mg εδάφους για μεταχείριση με μη κατεργασία εδάφους και για την μεταχείριση με συμβατική κατεργασία 45 mg C /100mg εδάφους. Από την άλλη, στον Αγρό 2 οι τιμές της συγκέντρωσής του TC και στις δυο μεταχειρίσεις ήταν 42 και 39 mg C /100mg εδάφους για καλλιέργεια αποκατάστασης και συμβατική αντίστοιχα.

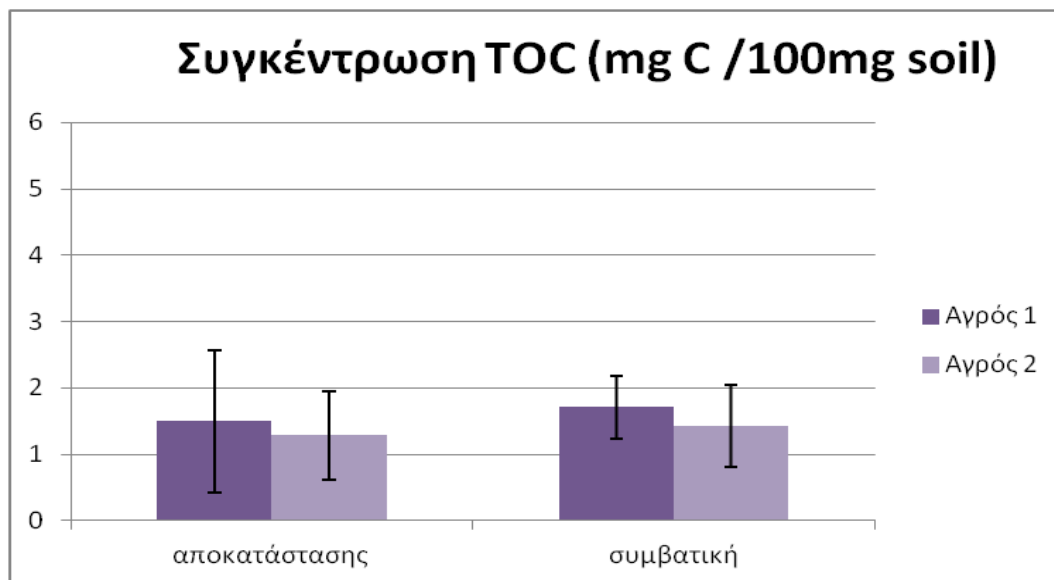


Γράφημα 3.3 Η Συγκέντρωση IC (mg C/100mg soil) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Στο Γράφημα 3.3 παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του ανόργανου ολικού άνθρακα (IC) παρουσιάζει στους δύο αγρούς μία εντελώς διαφορετική και αντίθετη κατανομή.

Ειδικότερα στον Αγρό 1, ο IC έχει μικρότερη τιμή στο τμήμα που δεν καλλιεργείται από ότι σε αυτό που καλλιεργείται με συμβατικό.

Δηλαδή, για τον Αγρό 1 στην μεταχείριση αποκατάστασης η τιμή φτάνει στα 25,8 mg C /100mg εδάφους και η τιμή στο τμήμα που ακολουθείται συμβατική φτάνει στα 27,8 mg C /100mg εδάφους. Ενώ για τον Αγρό 2 η συγκέντρωση ήταν 29 mg C /100mg εδάφους για την μεταχείριση με αποκατάσταση εδάφους και 25 mg C /100mg εδάφους για τη συμβατική καλλιέργεια.

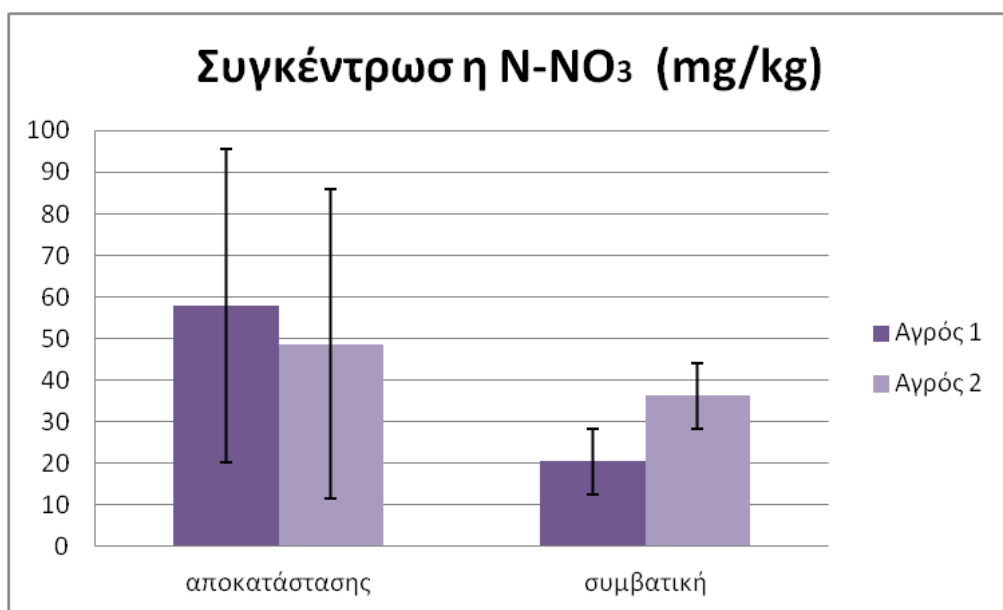


Γράφημα 3. 4 Η Συγκέντρωση OC (mg C/100mg soil) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Ανάλογα μη σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν και στους δύο αγρούς και τις μεταχειρίσεις κατεργασίας και μη κατεργασίας εδάφους όπως αναμένονταν άλλωστε λαμβάνοντας υπόψη τον μικρό χρόνο που είχε παρέλθει από την έναρξη των μεταχειρίσεων (Γράφημα 3.4).

Στον Αγρό 1 η καλλιέργεια αποκατάστασης αύξησε τη συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα στο 14,9 (mg C/100mg soil), ενώ για τη συμβατική είναι 17 (mg C/100mg soil).

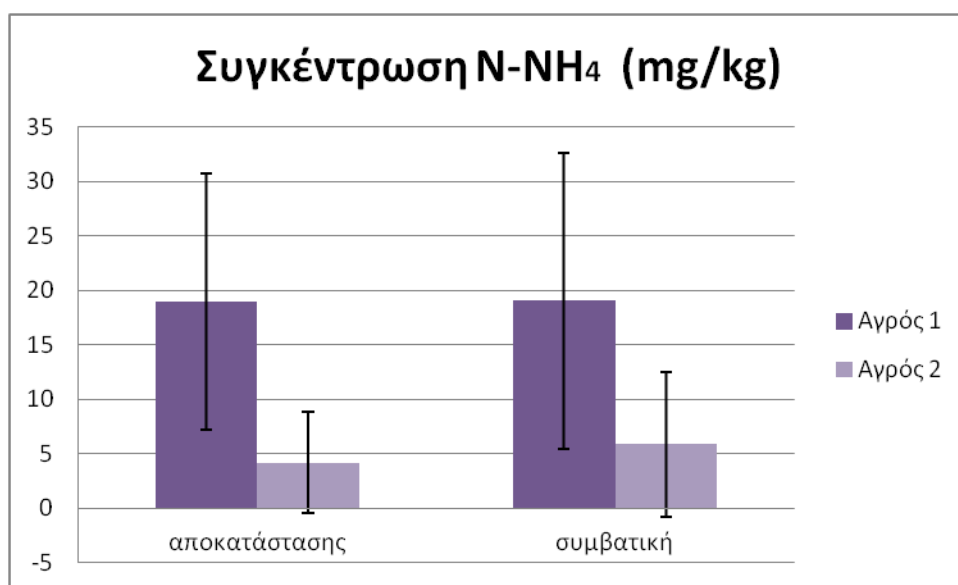
Στον Αγρό 2 για τη μη άροση η συγκέντρωση του OC στο 12,8 (mg C/100mg soil), ενώ για συμβατική 14,2 (mg C/100mg soil). Αυτό σημαίνει ότι η SOC και στους δύο αγρούς παρουσιάζει μικρή διαφορά σε σχέση με το είδος της καλλιέργειας, η οποία διαφορά πιθανώς στο μέλλον να αυξηθεί λόγω της επίδρασης που έχει το όργωμα διατήρησης στη ριζόσφαιρα και στη δέσμευση του οργανικού υλικού.



Γράφημα 3.5 Η συγκέντρωση N-NO₃ (mg/kg) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 3.5 η συγκέντρωση των N-NO₃ παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή τόσο στον Αγρό 1 όσο και στον Αγρό 2 στο τμήμα που εφαρμόσθηκε μη κατεργασία εδάφους.

Για τον Αγρό 1 συγκεκριμένα η τιμή της συγκέντρωσης των N-NO₃ είναι 58 mg/kg και 20 mg/kg για καλλιέργεια αποκατάστασης και συμβατική κατεργασία αντίστοιχα. Ομοίως για τον Αγρό 2 οι τιμές είναι 48 mg/Kg και 36 mg/kg.



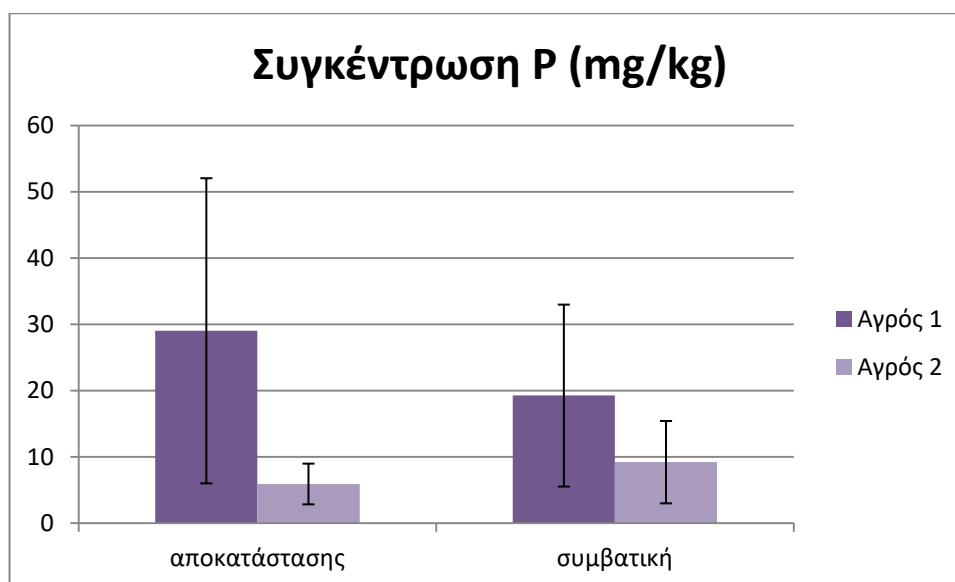
Γράφημα 3.6 Η συγκέντρωση N-NH₄ (mg/kg) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση των N-NH₄, στον Αγρό 1 οι τιμές μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση με τη συγκέντρωση στο τμήμα που ακολουθείται συμβατικός τρόπος καλλιέργειας να είναι

λίγο υψηλότερη από αυτή της μη κατεργασίας με τις τιμές να είναι περίπου 18 και 19 mg/kg αντίστοιχα.

Στον Αγρό 2 παρατηρείται γενικά ότι οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές του Αγρού 1. Και ειδικότερα δεν ξεπερνούν τα 6 mg/kg. Η μεταξύ τους συσχέτιση δείχνει ότι η συγκέντρωση στο τμήμα αποκατάστασης είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή της συμβατικής. Οι τιμές στα τμήματα αποκατάστασης και συμβατικής είναι 4 και 5,9 mg/kg αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι η λίπανση με N στη συμβατική καλλιέργεια ήταν υψηλότερη για τον αγρό 1 για αυτό και η τιμή της συγκέντρωσης των αμμωνιακών είναι μεγαλύτερη. Παρ' όλα αυτά αξίζει να σημειωθεί η συμβολή της καλλιέργειας αποκατάστασης που επέδρασε θετικά στην συγκέντρωση N-NH₄ στο έδαφος.



Γράφημα 3.7 Η μέση συγκέντρωση P (mg/kg) στους δύο αγρούς με μη κατεργασία και κατεργασία εδάφους.

Στο παραπάνω Διάγραμμα παρουσιάζεται η συγκέντρωση του P μεταξύ των Αγρών 1 και 2 και μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων

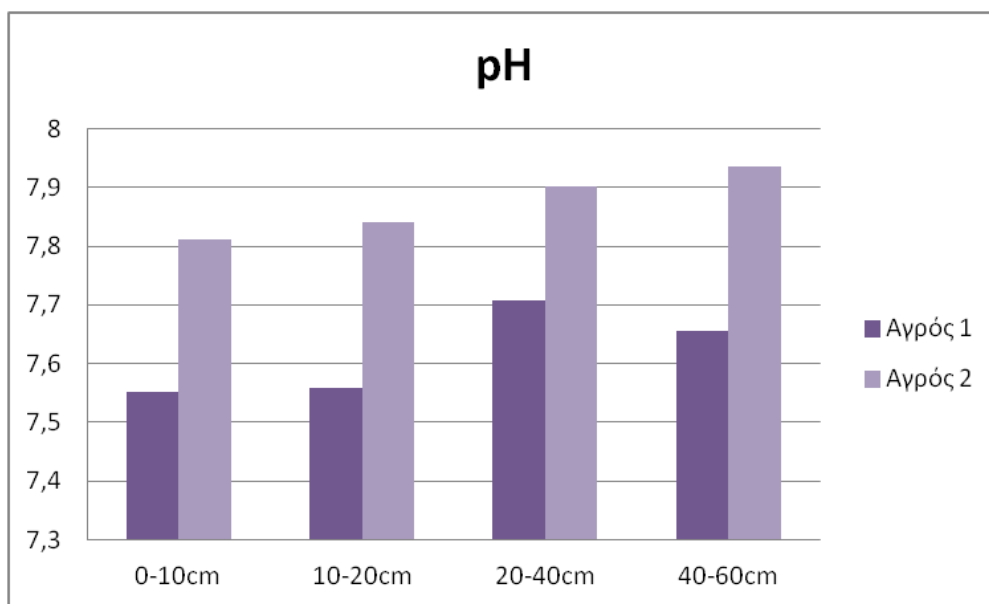
Στον Αγρό 1 παρατηρείται ότι η αλλαγή σε μη κατεργασία εδάφους από 2021 και έπειτα επέδρασε αρκετά θετικά αφού παρουσίασε την μέγιστη συγκέντρωση του P 29(mg/kg) και για τους δύο αγρούς. Από την άλλη για συμβατική καλλιέργεια η τιμή προσεγγίζει τα 19 (mg/kg).

Για τον Αγρό 2 παρατηρείται το ακριβώς αντίθετο. Η συγκέντρωση του P για συμβατική καλλιέργεια είναι μεγαλύτερη από την καλλιέργεια αποκατάστασης 9,5(mg/Kg).

3.2 Επίδραση του βάθους του εδάφους

Η ενότητα αυτή αποτελεσμάτων μελετά την επίδραση του βάθους του εδάφους στις παραμέτρους που αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη ενότητα.

Στα παρακάτω Γραφήματα γίνεται σύγκριση με βάση την επίδραση του βάθους στις ιδιότητες του εδάφους. Οι δειγματοληψίες για τα εδάφη έγιναν στα 0-10cm, 10-20cm, 20-40cm και 40-60cm.



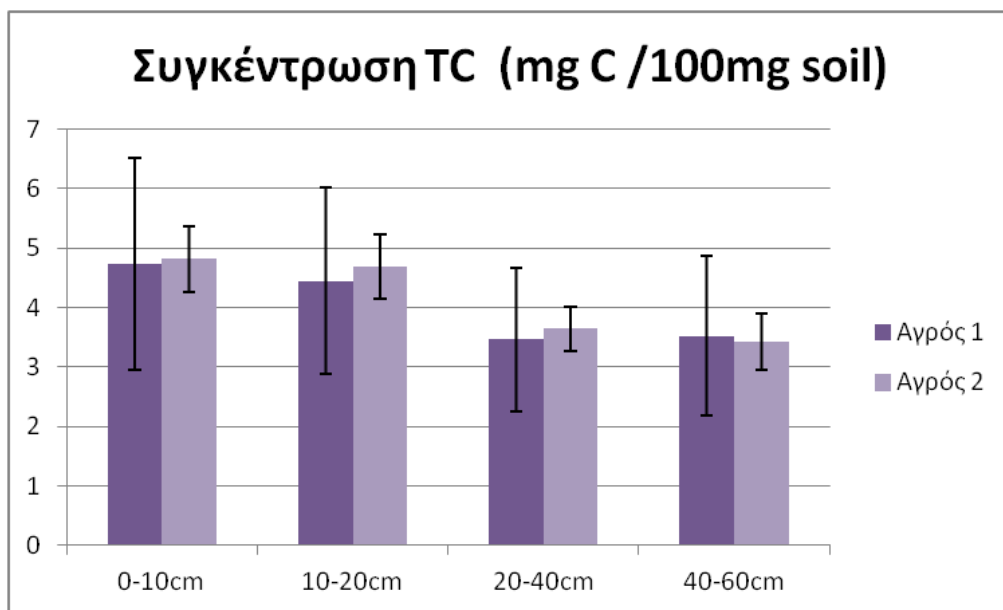
Γράφημα 3.8 Μεταβολή του pH με το βάθος του εδάφους στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Στο Γράφημα 3.8 συγκρίνονται οι τιμές του pH σε σχέση με το βάθος του εδάφους.

Αρχικά είναι σημαντικό να γίνεται η μέτρηση του pH όχι μόνο στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και σε άλλα βάθη για να γίνουν κατανοητές οι χημικές και βιολογικές δραστηριότητες του εδάφους. Και στους δύο αγρούς το μικρότερο pH παρατηρήθηκε στα πρώτα 10 cm και ίσως οφείλεται από την υψηλή συγκέντρωση του οργανικού υλικού στο ανώτερο στρώμα που οδηγεί στην απελευθέρωση ασθενών οργανικών οξέων.

Επιπλέον στον Αγρό 1 η τιμή στα βάθη 0-10 και 10-20 cm είναι περίπου στο 7,55 στα άλλα μεγαλύτερα βάθη η τιμή του pH αυξάνεται και στο 20-40 cm φτάνει στα 7,71 μετά στα 40-60 cm μειώνεται στα 7,66.

Στον Αγρό 2 η τιμή του pH ξεκινά από 7,81 στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνεται στα βάθη 10-20 , 20-40, 40-60 cm με τιμές 7,84 , 7,9 και 7,94 αντίστοιχα

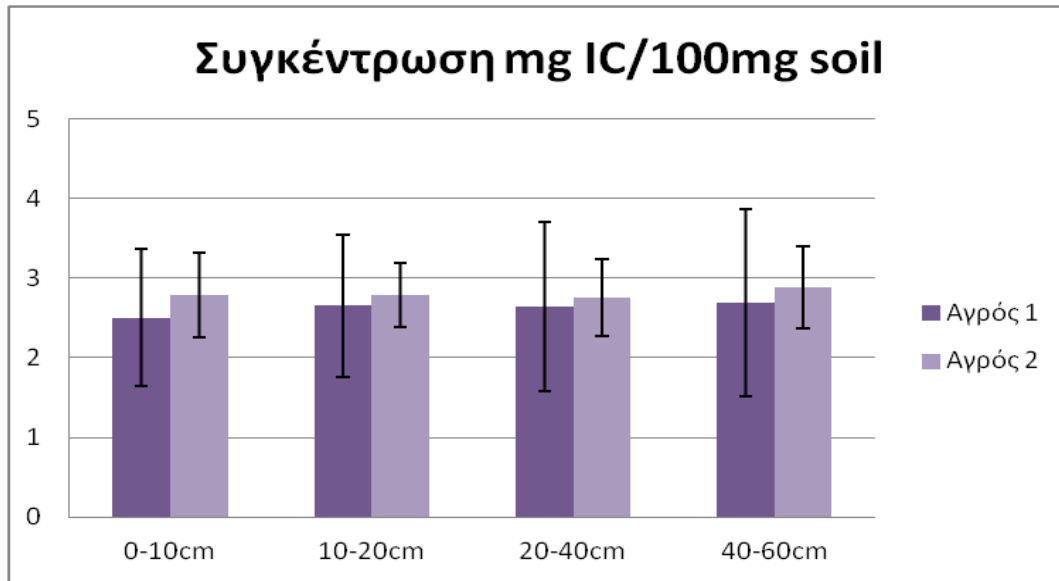


Γράφημα 3.9 Μεταβολή της συγκέντρωσης TC (mg C/100mg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Στο παραπάνω Γράφημα απεικονίζεται η τιμή της συγκέντρωσης του TC με το βάθος του εδάφους. Αρχικά μεταξύ των δύο αγρών βλέπουμε μια ομοιόμορφη κατανομή της συγκέντρωσης σε σχέση με το βάθος.

Συγκεκριμένα στον Αγρό 1 παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του στα πρώτα βάθη παραμένει σταθερή και κυμαίνεται από 47 ως 44,5 mg C /100mg εδάφους και μειώνεται στα 20-40cm στα 34,6mg C /100mg και στα 40-60cm στα 35 mg C /100mg.

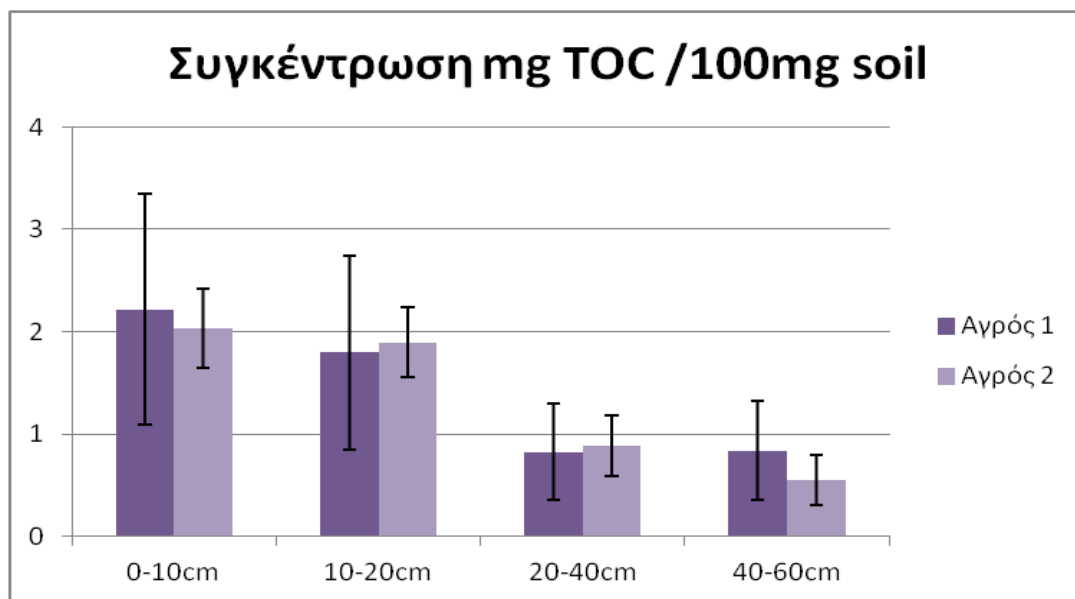
Όμοια και στον Αγρό 2. Στα βάθη 0-10 και 10-20 cm η συγκέντρωση του TC κυμαίνεται περίπου στο 46-48 mg C /100mg εδάφους αντίστοιχα στα μεγαλύτερα βάθη μειώνεται ανάλογα με την αύξηση του βάθους και οι τιμές είναι 36 και 34 mg C /100mg εδάφους αντίστοιχα.



Γράφημα 3.10 Μεταβολή της συγκέντρωσης IC (mg C/100mg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Σχετικά με τον IC οι τιμές του και στους δύο αγρούς κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα (Γράφημα 3.10).

Στον Αγρό 1 η συγκέντρωση του IC για βάθος 0-10 cm είναι 25 mg C/100mg εδάφους ενώ για τα υπόλοιπα εδάφη (10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) η συγκέντρωση παραμένει σταθερή και κυμαίνεται στα 26 mg C/100mg εδάφους. Αντίστοιχα στον Αγρό 2 η συγκέντρωση IC δεν μεταβλήθηκε σημαντικά με την αύξηση του εδάφους ως τα 40 cm και ήταν περίπου 27,8 mg C/ 100mg εδάφους και αυξήθηκε για βάθος 40-60 cm σε 28,9 mg C/ 100mg εδάφους.

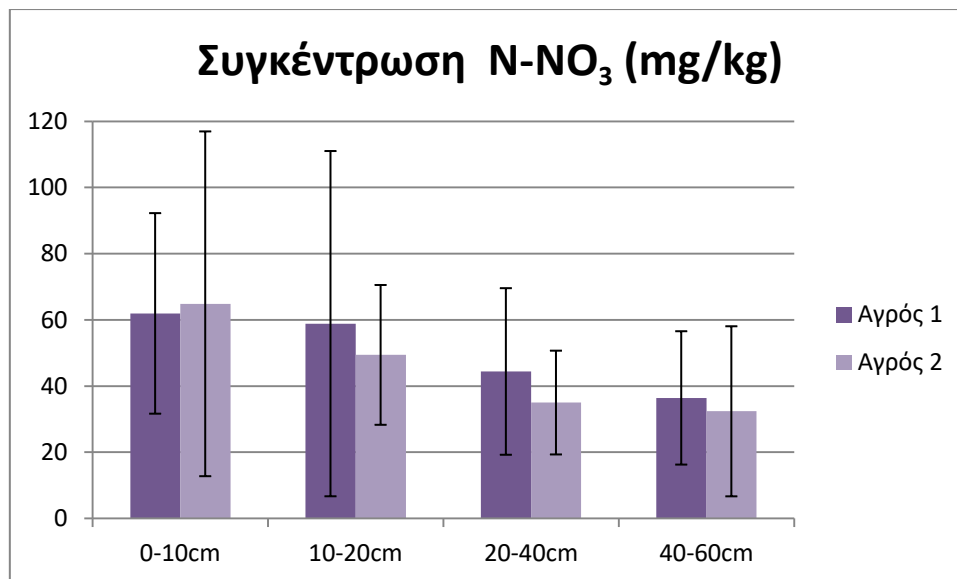


Γράφημα 3.11 Μεταβολή της συγκέντρωσης TOC (mg C/100mg soil) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Στο Γράφημα 3.11 για τον TOC παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης ανάλογα με το βάθος του εδάφους στα πρώτα 40 cm ενώ δεν διαπιστώθηκε περαιτέρω μείωση στα 60 cm. Επιπλέον και στους δύο αγρούς οι συγκεντρώσεις στα βάθη είναι περίπου στα ίδια επίπεδα (περίπου 18 – 22 mg C /100mg εδάφους) με τον Αγρό 1 να έχει λίγο υψηλότερες τιμές σε όλα τα εξεταζόμενα βάθη.

Στον Αγρό 1 παρατηρείται μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης του TOC με την μεταβολή του βάθους, δηλαδή στα πρώτα 0-20 cm φτάνει το 17,9 (mg C/100mg εδάφους) ενώ στη συνέχεια σε μεγαλύτερα βάθη 20-60cm φτάνει το 8 mg C/100mg εδάφους. Αντίστοιχα και για τον Αγρό 2 κοντά στην επιφάνεια του εδάφους η τιμή της συγκέντρωσης του TOC φτάνει το 18 mg C/100mg εδάφους και στη συνέχεια μειώνεται ως το 6 mg C/100mg εδάφους.

Αυτό αποδεικνύεται και βιβλιογραφικά αφού το ποσοστό του OC είναι αρκετά μεγαλύτερο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, όπου και εναποτίθενται ενώ όσο μεγαλώνει το βάθος της δειγματοληψίας αυτό μειώνεται.



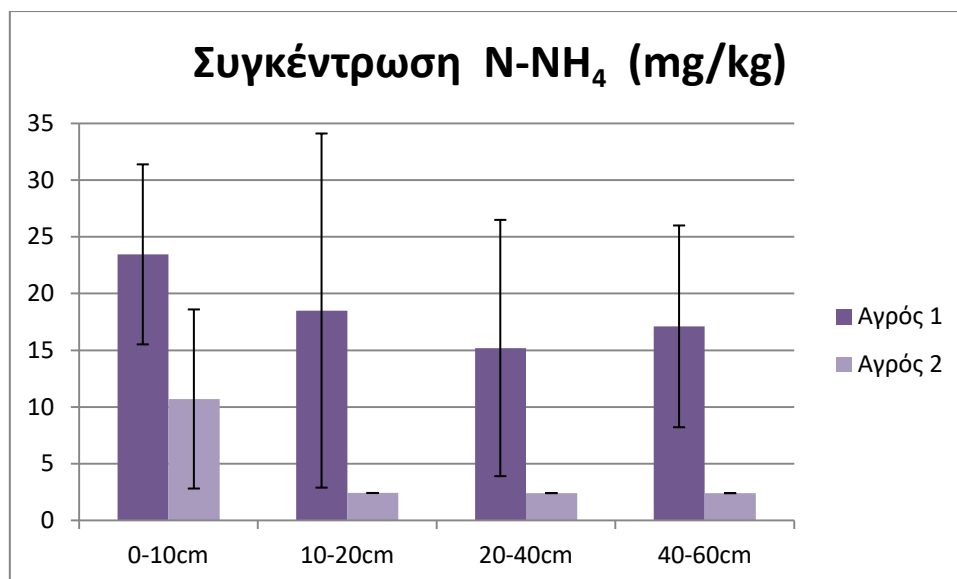
Γράφημα 3.12 Μεταβολή της συγκέντρωσης N-NO₃ (mg/kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Όπως φαίνεται από το Γράφημα 3.12 η συγκέντρωση N-NO₃ (mg/kg) μειώνεται. Σε όλα τα δείγματα η συγκέντρωση N-NO₃ ήταν υψηλότερη στο πρώτο στρώμα του εδάφους 0-10 cm. Όσο αυξάνεται το βάθος η συγκέντρωση N-NO₃ (mg/kg) τείνει να μειώνεται και στους δύο Αγρούς.

Για τον Αγρό 1 παρατηρείται μια ομοιόμορφη μείωση της συγκέντρωσης N-NO₃ (mg/Kg) με μέγιστη στα 0-10 cm να είναι 62 mg/Kg.

Στον Αγρό 2 η μέγιστη τιμή είναι στα 0-10 cm και φτάνει τα 65 mg/Kg αλλά παρατηρείται ότι σε μεγαλύτερα βάθη (20-60cm) η συγκέντρωση των N-NO₃ (mg/kg) είναι μικρότερη από τον Αγρό 1 στα ίδια βάθη. Γεγονός που μπορεί να οφείλεται στις ιδιότητες του εδάφους.

Για αυτό τον λόγο η πιθανή διήθηση του N στο έδαφος εμφανίζεται να ευνοείται στον Αγρό 1, διότι μεγαλύτερο ποσοστό N συναντάται σε μεγαλύτερα βάθη σε σχέση με το επιφανειακό στρώμα του εδάφους.

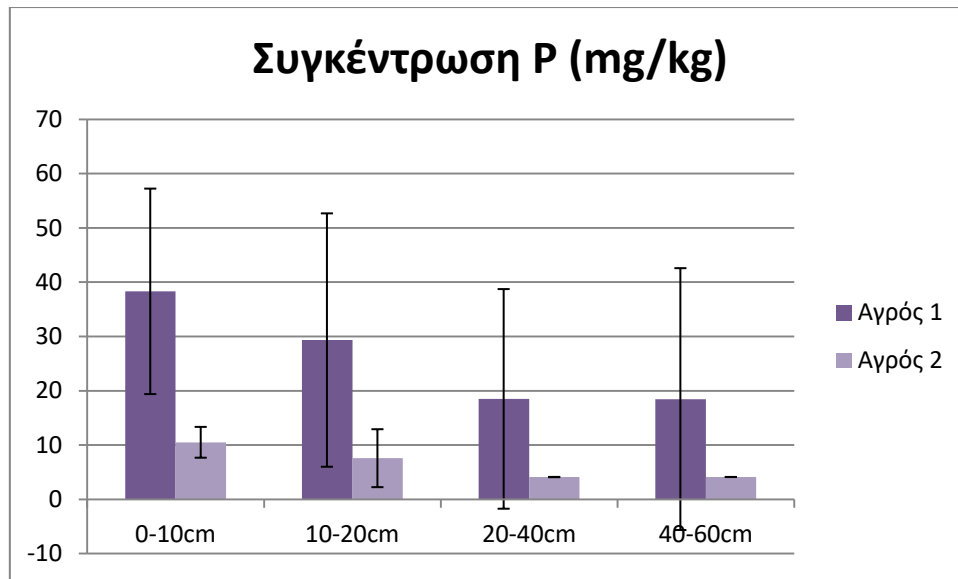


Γράφημα 3.13 Μεταβολή της συγκέντρωσης N-NH₄ (mg/kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Η τιμή της συγκέντρωσης των N-NH₄ παρουσιάζει μία ανάλογη συμπεριφορά με αυτή των νιτρικών. Οι τιμές μάλιστα στα 0-10cm βρίσκονται πολύ κοντά και στους δύο αγρούς.

Συγκεκριμένα, στον Αγρό 1 η μείωση της συγκέντρωσης είναι ανάλογη του βάθους μέχρι τα 40 cm (23.5,18.5,15.2 mg/kg) και στη συνέχεια αυξάνεται στα 40-60 cm(17(mg/kg)) με πολύ μικρή διαφορά στην τιμή.

Στον Αγρό 2 παρατηρείται όπως και παραπάνω ότι στα πρώτα 0-10 cm η τιμή φτάνει τα 10,7 (mg/kg) και στη συνέχεια μειώθηκε απότομα στα 20 cm (2,4(mg/kg)) για να παραμείνει αμετάβλητη ως τα 60 cm.



Γράφημα 3.14 Μεταβολή της συγκέντρωσης P(mg/kg) σε διαφορετικά βάθη στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

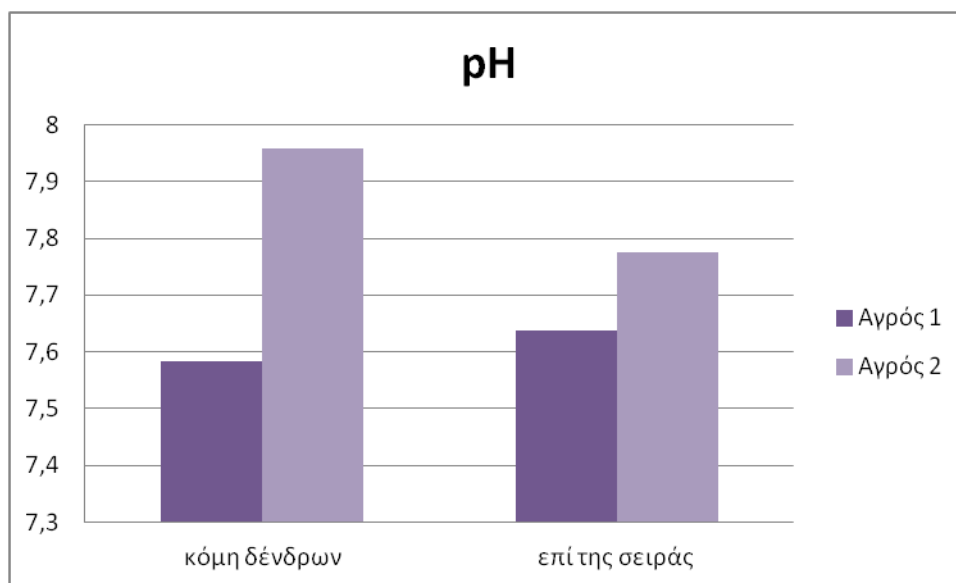
Σύμφωνα με τα ευρήματα μας ο Αγρός 1 έχει πολλαπλάσιες συγκεντρώσεις από τον Αγρό 2 (Γράφημα 3.14).

Αρχικά στον Αγρό 1 παρατηρείται μία σταδιακή μείωση της τιμής του P σε σχέση με το βάθος. Η τιμή του στα πρώτα 0-10 cm (39mg/kg) μειώνεται σημαντικά μετά το βάθος 20 – 40 cm και καταλήγει να φτάνει 40-60 cm (18mg/kg)

Στον Αγρό 2 η μείωση παρατηρείται στα βάθη 0-10 και 10-20cm με τιμές 10,5mg/kg και 7,6mg/kg αντίστοιχα και για τα βάθη 20-40cm και 40-60 cm παραμένει η ίδια με το αμέσως προηγούμενο (4,1 mg/kg).

Το έδαφος από τον Αγρό 1 εμφανίζει υψηλότερες τιμές P και αποδεικνύεται ότι οι συνθήκες που επικρατούν για τον Αγρό 1 ευνοούν στην προσρόφηση περισσότερου P στο έδαφος.

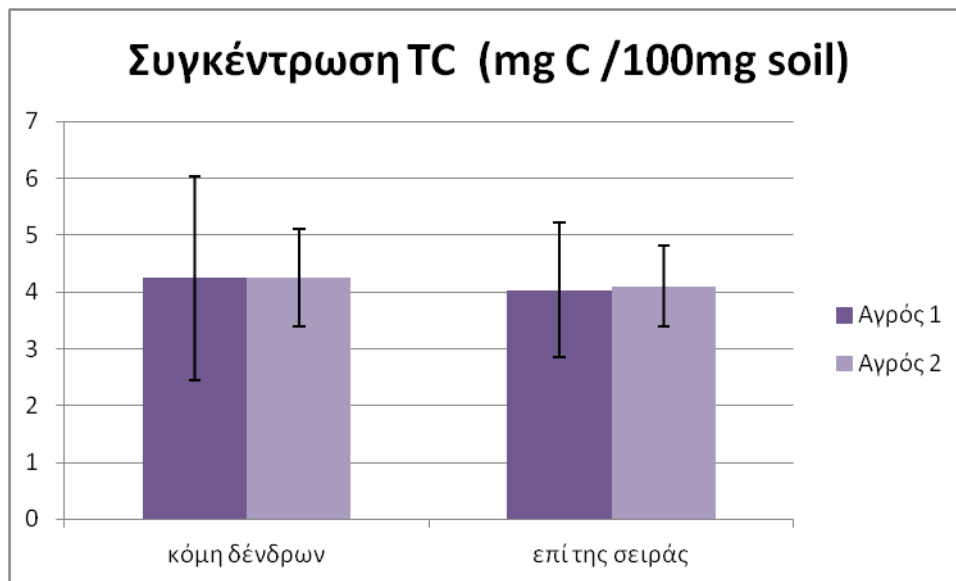
3.3 Επίδραση της θέσης δειγματοληψίας (κόμη δένδρων και γραμμών).



Γράφημα 3.15 Η τιμή του pH που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

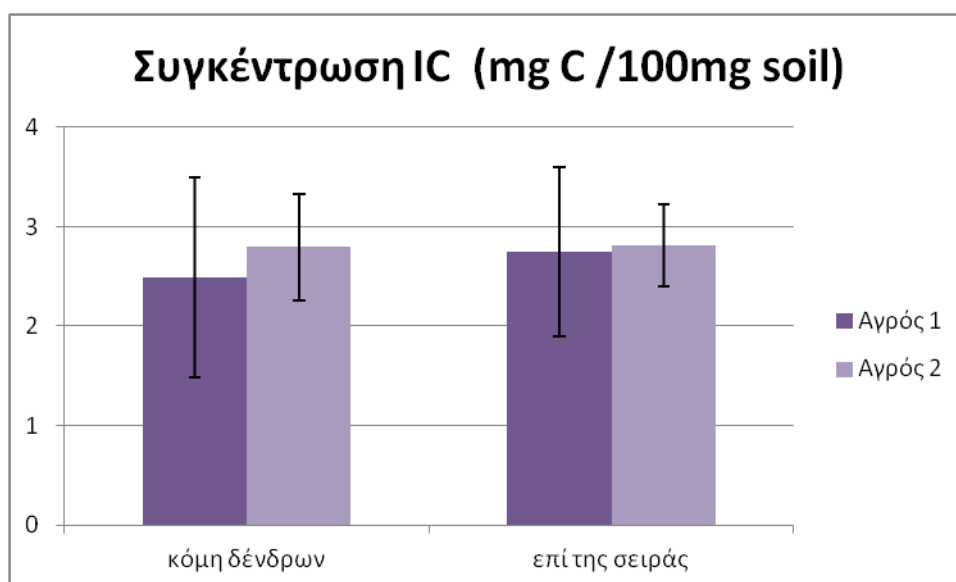
Λαμβάνοντας υπόψη την θέση εφαρμογής λίπανσης αλλά και άλλες καλλιεργητικές φροντίδες όπως άρδευση και κατανομή/ανάπτυξη ζιζανίων και εναπόθεση φύλλων, διερευνήσαμε έναν από τα παραπάνω που συμβάλουν σε σημαντική διαφοροποίηση του C και των θρεπτικών στοιχείων.

Η τιμή του pH παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις μεταξύ της κόμης των δέντρων και μεταξύ γραμμών στους αγρούς που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ειδικότερα, στον Αγρό 1 η τιμή του pH είναι 7,58 στην κόμη των δένδρων και 7,63 μεταξύ των γραμμών. Ενώ για τον Αγρό 2 που για την κόμη των δένδρων παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή του pH που είναι 7,95 σε αντίθεση με μεταξύ γραμμών που είναι 7,77.



Γράφημα 3.16 Η συγκέντρωση TC (mg C/100mg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Ο TC, όπως φαίνεται και στο παραπάνω Γράφημα παρουσιάζει μία παρόμοια κατανομή, όπου οι τιμές του στην κάτω από την κόμη των δέντρων να είναι μεγαλύτερες από τις τιμές μεταξύ των γραμμών, με συγκεντρώσεις 42,4 mg C/100mg soil και περίπου 40 mg C/100mg εδάφους αντίστοιχα. Η συγκέντρωση του TC εμφανίζεται περίπου ίση και για τους δύο αγρούς στην κόμη των δένδρων με τιμή 42,4 mg C/100mg εδάφους και στον αγρό 2, ενώ μεταξύ των γραμμών οι τιμές είναι εξίσου παρόμοιες αφού και σε αυτόν τον Αγρό είναι περίπου 40 mg C/100mg εδάφους.

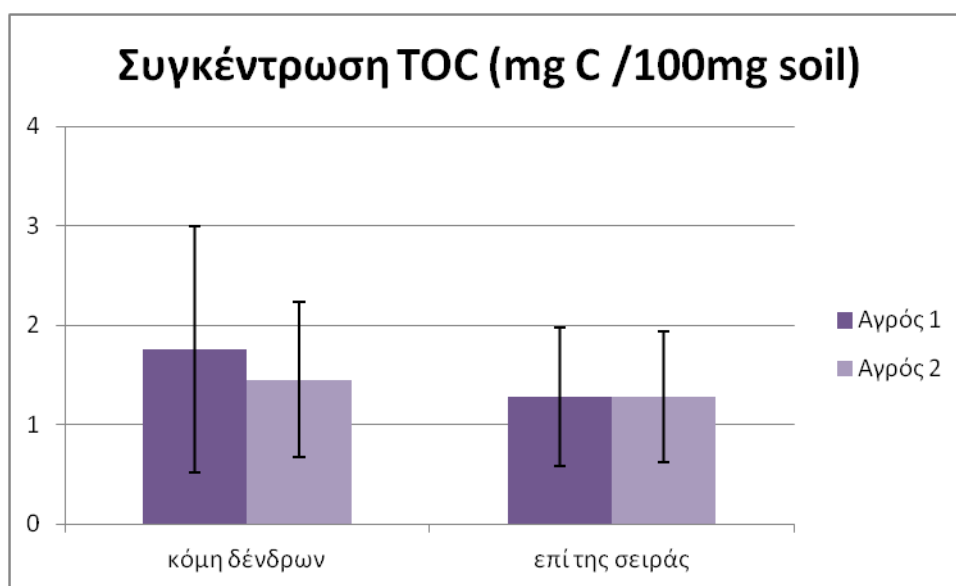


Γράφημα 3.17 Η συγκέντρωση IC (mg C/100mg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Η συγκέντρωση του IC παρουσιάζει ανάλογη διακύμανση στον Αγρό 1 συγκριτικά με τον Αγρό 2, με τις τιμές της συγκέντρωσης του IC στον Αγρό 2 να βρίσκονται πολύ κοντά.

Στον Αγρό 1 η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται μεταξύ γραμμών 27,5 mg C/100mg εδάφους και στην κόμη των δέντρων είναι μικρότερη 24,9 mg C/100mg εδάφους. Στον Αγρό 2 η συγκέντρωση του είναι σχεδόν η ίδια, δηλαδή σχεδόν 28 (mg C/100mg soil) και για τις δύο περιπτώσεις.

Επιπρόσθετα, οι τιμές του στον Αγρό 1 επί της σειράς και γενικότερα στον Αγρό 2 βρίσκονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα (περίπου στα 28 mg C /100mg εδάφους).

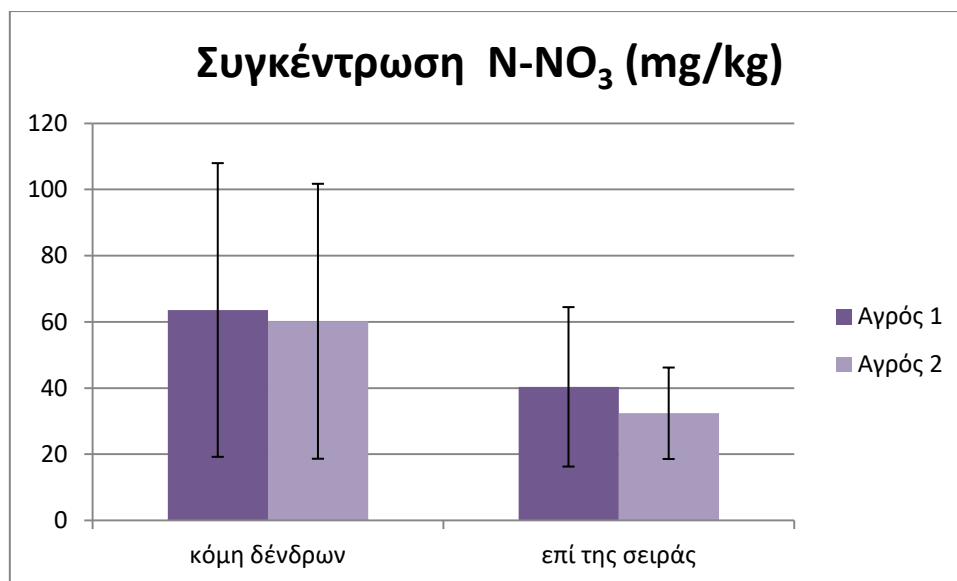


Γράφημα 3.18 Η συγκέντρωση TOC (mg C/100mg soil) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

Η συγκέντρωση του TOC και στους δύο αγρούς κυμάνθηκε επίσης στα ίδια επίπεδα κυρίως επί των γραμμών των ελαιόδενδρων.

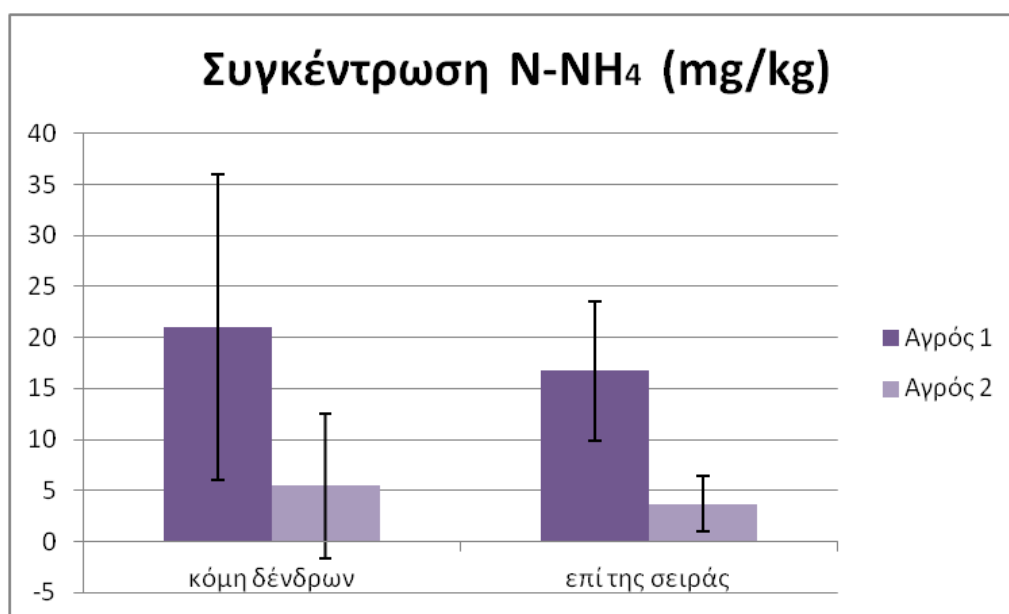
Για τον Αγρό 1, κάτω από την κόμη των δένδρων η συγκέντρωση ήταν 17,5 mg C/100mg εδάφους και 12,7 mg C/100mg εδάφους μεταξύ γραμμών. Αντίστοιχα, στον Αγρό 2 παρουσιάστηκε παρόμοια κατανομή με τιμές 14,5 mg C/100mg εδάφους και σχεδόν 12,8 mg C/100mg εδάφους για την κόμη των δένδρων και για τις γραμμές αντίστοιχα.

Άρα παρατηρείται ότι η ποσότητα TOC εντοπίζεται κυρίως στην κόμη των δένδρων και για τους δύο αγρούς.



Γράφημα 3.19 Η μέση συγκέντρωση N-NO₃ (mg/Kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) Αγρό 1 και β) Αγρό 2.

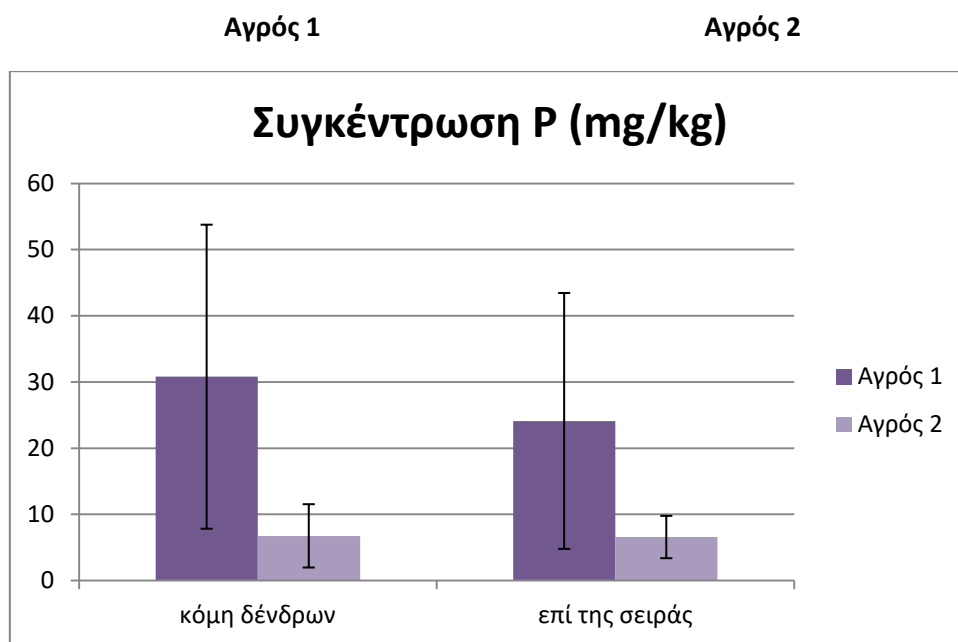
Η συγκέντρωση των N-NO₃ και στους δύο αγρούς είναι μεγαλύτερη στην κόμη των δέντρων από ότι μεταξύ γραμμών. Η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης των N-NO₃ βρέθηκε στον Αγρό 1 στην κόμη των δένδρων και είναι 63,5 mg/Kg , ενώ μεταξύ των γραμμών η τιμή της συγκέντρωσης ήταν 40 mg/Kg. Επιπλέον και στον Αγρό 2 στην κόμη των δένδρων η συγκέντρωση έφτασε τα 60 mg/Kg ενώ για μεταξύ των γραμμών τα 32 mg/Kg.



Γράφημα 3.20 Η μέση συγκέντρωση N-NH₄ (mg/Kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Το πρότυπο της κατανομής των N-NH₄ είναι παρόμοιο με αυτή των N-NO₃. Η συγκέντρωση των N-NH₄ είναι μεγαλύτερη στην κόμη των δέντρων από ότι μεταξύ

γραμμών. Συγκεκριμένα, ο Αγρός 1 έχει συγκέντρωση N-NH₄ στην κόμη των δένδρων ήταν 21 mg/Kg ενώ μεταξύ γραμμών 16 mg/Kg. Για τον Αγρό 2 η τιμή της συγκέντρωσης των N-NH₄ παρουσίασε παρόμοια κατανομή με τιμή 5,4 mg/Kg κάτω από την κόμη των δένδρων και 3,7 mg/Kg μεταξύ των γραμμών.



Γράφημα 3.21 Η μέση συγκέντρωση P (mg/kg) που εμφανίζεται στην κόμη των δένδρων και μεταξύ γραμμών στον α) αγρό 1 και β) αγρό 2.

Τέλος, όσον αφορά τη συμπεριφορά του P στον Αγρό 1 η συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστο στην κόμη των δένδρων και η τιμή της είναι 31 mg/kg και για μεταξύ γραμμών η τιμή είναι 24 mg/kg .

Στο Αγρό 2 η συγκέντρωση παραμένει στα ίδια επίπεδα κοντά στο 7 με μεγαλύτερη όμως τιμή κάτω από την κόμη των δένδρων.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η οργανική ύλη στο έδαφος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της υγείας και της γονιμότητας του εδάφους. Η εντατικοποίηση της γεωργίας και η κλιματική αλλαγή έχουν υποβαθμίσει τα εδάφη και έχουν οδηγήσει στη μείωση της συσσώρευσης του οργανικού υλικού στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα αλλά και η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής προκαλούν μείωση του αποθέματος SOC. Οι γεωργικές δραστηριότητες ευθύνονται για το 10-15% των παγκόσμιων εκπομπών των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου CO₂, CH₄ και N₂O. Κατ' επέκταση επηρεάζονται και οι βιογεωχημικοί κύκλοι των θρεπτικών συστατικών. Η εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης εδάφους έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στην ενίσχυση του SOC στο έδαφος.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατανόηση της επίδρασης των καλλιεργητικών πρακτικών σε παραμέτρους όπως pH, SOC, NO₃, NH₄ και P μεταξύ δύο αγρών που βρίσκονται στην Κρήτη. Επιπλέον η επίδραση του βάθους του εδάφους αλλά και της θέσης δειγματοληψίας. Στόχος είναι να διερευνηθεί εάν η μετατροπή από κατεργασία σε μη κατεργασία εδάφους οδηγεί στην συσσώρευση SOM. Τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα συμβάλλουν στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Με βάση τη βιβλιογραφία (Lal, R. 2004) σε σχέση με το είδος της καλλιέργειας που εφαρμόζεται στους δύο αγρούς είναι γνωστό ότι η μετατροπή της καλλιέργειας από συμβατική καλλιέργεια σε πρακτικές αποκατάστασης του εδάφους θεωρείται ο καλύτερος τρόπος για τη δέσμευση του C στο έδαφος αλλά και για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους. Από τα αποτελέσματα της μελέτης η κατεργασία του εδάφους με καλλιέργεια αποκατάστασης συνέβαλε θετικά στις περισσότερες ιδιότητες του εδάφους. Το pH βρέθηκε πιο υψηλό για τη μη κατεργασία του εδάφους και στους δύο αγρούς. Στα Γραφήματα 3.2 και 3.3 η συγκέντρωση TC και TIC βρέθηκε ανομοιόμορφη μεταξύ των δύο αγρών. Ο TC είναι το άθροισμα του TOC και του IC. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις των TC και IC για τον Αγρό 1 ήταν μικρότερη για μη κατεργασία εδάφους σε σχέση με τη κατεργασία του εδάφους. Ενώ για τον Αγρό 2 η συγκέντρωση TC και IC ήταν μεγαλύτερη για μη κατεργασία εδάφους. Στη συνέχεια στο Γράφημα 3.4 η συγκέντρωση TOC βρέθηκε μικρότερη και στους δύο αγρούς. Η τιμή στον Αγρό 1 για μη κατεργασία εδάφους ήταν περίπου 1,5 mg/100mg σε σχέση με τη συμβατική που ήταν 1,7 (mg/100mg). Ενώ παρόμοια και στον Αγρό 2 για μη κατεργασία η τιμή της συγκέντρωσης ήταν 1,3 mg/100mg και για κατεργασία 1,4 mg/100mg. Οι συγκεντρώσεις των TOC ήταν ελάχιστα μεγαλύτερες για συμβατική καλλιέργεια. Με βάση την βιβλιογραφία η καλλιέργεια αποκατάστασης συμβάλει θετικά στην αύξηση του TOC. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση του TOC για συμβατική καλλιέργεια είναι μεγαλύτερη και στους δύο αγρούς. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αλλαγή και των δύο αγρών σε καλλιέργεια αποκατάστασης που έγινε ένα χρόνο πριν από τη δειγματοληψία που αποτελεί μικρό χρονικό διάστημα, στην επίδραση της θερμοκρασίας και του κλίματος που επικράτησε. Για την παρούσα μελέτη αναμένεται ότι στα επόμενα χρόνια η συγκέντρωση του TOC θα είναι μεγαλύτερη στις καλλιέργειες αποκατάστασης. Οι συγκεντρώσεις των N-NO₃ (Γράφημα 3.5) ήταν αρκετά υψηλές για μη κατεργασία εδάφους, ειδικά στον Αγρό 1 που βρέθηκε η μέγιστη 58 mg/kg. Σύμφωνα με τον Dick(1986) οι συγκεντρώσεις του N ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με τον TOC με τις

μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για τα εδάφη όπου εφαρμόζεται μη κατεργασία του εδάφους. Επιπλέον στο Γράφημα 3.5 η μετατροπή της καλλιέργειας επίδρασε θετικά στη συσσώρευση των N-NO_3 και για τους δύο αγρούς και με βάση τα παραπάνω για συμβατική καλλιέργεια αναμένεται μικρότερη συγκέντρωση διαθέσιμου N-NO_3 . Για το Γράφημα 3.6 ο Αγρός 1 είχε υψηλότερες συγκεντρώσεις N-NH_4 σε σύγκριση με τον Αγρό 2. Στον Αγρό 1 η συγκέντρωση N-NH_4 βρέθηκε σχεδόν ίση και για τις δύο μεταχειρίσεις του εδάφους. Η συγκέντρωση του P είχε μεγάλη διαφοροποίηση για τους δύο αγρούς. Ο Αγρός 1 παρουσίασε τη μέγιστη που ήταν σχεδόν 59 mg/kg για μη κατεργασία, ενώ ο Αγρός 2 παρουσίασε μεγαλύτερη συγκέντρωση στη συμβατική καλλιέργεια με τιμή 9 mg/kg. Οι διαφορές μπορεί να οφείλονται και ότι τα δέντρα του Αγρού 2 είναι μεγαλύτερης ηλικίας από του 1, είτε από τους υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του P εδάφους, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ακόμα και η εφαρμογή λιπασμάτων με P.

Επιπλέον διερευνήθηκε η επίδραση του βάθους του εδάφους. Η μεταβολή του pH στο Γράφημα 3.8 με το βάθος του εδάφους για τον Αγρό 1 παρουσίασε ανομοιόμορφη κατανομή σε σχέση με του Αγρού 2. Για αυτό το λόγο είναι σημαντική όχι μόνο η μέτρηση του κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Το pH αυξήθηκε σε σχέση με το βάθος του εδάφους, παρέμεινε όμως σε επίπεδα που μπορεί το έδαφος να χαρακτηριστεί αλκαλικό. Επιπλέον με βάση τους Dick et al., 1986 η μη κατεργασία του εδάφους προκαλεί οξίνιση του επιφανειακού στρώματος. Αυτό συμβαίνει επειδή το έδαφος στη μη κατεργασία δεν αναμειγνύεται με αποτέλεσμα τα οργανικά υπολείμματα να συγκεντρώνονται κοντά στην επιφάνεια. Ο ανόργανος άνθρακας (IC) ακολούθησε μια αντίστροφη πορεία σε σχέση με το κλάσμα του συνολικού οργανικού άνθρακα (TOC) όσον αφορά το βάθος (Γράφημα 3.10), δηλαδή αυξήθηκε σε μεγαλύτερα βάθη. Στο Γράφημα 3.11 που αποτυπώθηκε η μεταβολή της συγκέντρωσης του TOC παρατηρήθηκε αρκετή μείωση της συγκέντρωσης στα βάθη 20-40cm και 40-60cm. Ο TOC με βάση τη βιβλιογραφία (Balesdent et al, 2018) μειώνεται σε σχέση με το βάθος του εδάφους και μετά τα 20cm μπορεί να υπάρξει και μείωση σχεδόν 50%. Αυτό επαληθεύεται με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα αφού και στους δύο αγρούς ο TOC μειώνεται γραμμικά και μετά τα 20cm είναι ίσος με τη μισή ποσότητα που υπάρχει στα 0-10cm. Η συσσώρευση TOC στην επιφάνεια του εδάφους ήταν αποτέλεσμα της έλλειψης διαταραχής του εδάφους και της επιφανειακής τοποθέτησης των υπολειμμάτων καλλιεργειών που βοήθησε να διατηρηθούν τα υπολείμματα απομονωμένα από το υπόλοιπο εδαφικό προφίλ (Ajirloo, A. R., & Ahangar, A. G. (2014)). Με την υπερθέρμανση του πλανήτη τα εδάφη αποτελούν πηγή εκπομπών CO_2 και οδηγούν στην αποσύνθεση του SOC με ταχύτερο ρυθμό. Και στα δύο εδάφη υπάρχει σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων των NO_3 , NO_4 , P σε σχέση με το βάθος. Βάση των Page, K. L., et al. (2020) παρατηρείται ότι σε βάθος χρόνου αυξάνεται το N στο επιφανειακό στρώμα (0-5 cm), παραμένοντας όμως σταθερό σε μεγαλύτερα βάθη. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη συσσώρευση της οργανικής ύλης και στη συχνότερη μικροβιακή δραστηριότητα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα N-NO_3 και N-NH_4 στο επιφανειακό στρώμα, ενώ με την αύξηση του βάθους μειώνονται. Η συγκέντρωση των N-NO_3 σε διαφορετικά βάθη ήταν υψηλότερη και στους δύο αγρούς κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια μειωνόταν. Το ίδιο μοτίβο ακολούθησε και η συγκέντρωση των N-NH_4 . Αντίστοιχα η συγκέντρωση του P μειώθηκε με την αύξηση του βάθους. Για τον Αγρό 1 υπήρχε ομοιόμορφη μείωση της συγκέντρωσης, ενώ για τον Αγρό 2 οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν αλλά παρέμειναν

σχεδόν ίδιες σε μεγαλύτερα βάθη λόγω της χαμηλότερης συγκέντρωσης του P που είχε το έδαφος του Αγρού 2. Το κάθε έδαφος αντιδρά διαφορετικά και παρόλο που επικρατεί το ίδιο κλίμα παίζει ρόλο η διαφορετική τους τοποθεσία. Επιπλέον με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση των θερμοκρασιών λόγω του ότι αυξάνεται η αποσύνθεση SOM, με αποτέλεσμα να γίνεται έκπλυση των θρεπτικών συστατικών.

Επιπλέον, διερευνήθηκε η επίδραση της θέσης δειγματοληψίας στις παραμέτρους που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Αρχικά η τιμή του pH ήταν διαφορετική για τους δύο αγρούς. Στον Αγρό 1 παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή μεταξύ των γραμμών ενώ στον Αγρό δύο κάτω από την κόμη των δένδρων. Η συγκέντρωση TC παρουσίασε παρόμοια κατανομή για τους δύο αγρούς αλλά και παρόμοιες τιμές. Και στους δύο αγρούς η μεγαλύτερη συγκέντρωση του TC βρέθηκε κάτω από την κόμη των δένδρων. Ομοίως και για τη συγκέντρωση IC, παρόλο που ο Αγρός 2 παρουσίασε παρόμοιες τιμές κάτω από την κόμη και μεταξύ των γραμμών. Η συγκέντρωση του TOC και στους δύο αγρούς κυμάνθηκε επίσης στα ίδια επίπεδα με μεγαλύτερη κάτω από την κόμη των δένδρων, γεγονός που μπορεί να προκύψει μέσω του ότι στην περιοχή αυτή η σκίαση είναι μεγαλύτερη άρα μειώνεται η απώλεια υγρασίας από το έδαφος. Για τις συγκεντρώσεις των $N-NO_3$, $N-NH_4$ και P η κατανομή είναι παρόμοια και η τιμή της συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερη και στους δύο αγρούς κάτω από την κόμη των δένδρων, άρα η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων είναι μεγαλύτερη. Αυτό ενδεχομένως να συμβαίνει επειδή κάτω από την κόμη αλλάζει η θερμοκρασία άρα αλλάζει και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών.

Τέλος αξίζει να σημειωθούν πιθανά σφάλματα κατά τη διενέργεια των πειραμάτων. Αρχικά τα παραπάνω δείγματα παρόλο που είναι αντιπροσωπευτικά αποτελούν λίγα αριθμητικά. Επιπλέον η ανάλυση των δειγμάτων έγινε ένα χρόνο μετά την μετατροπή των αγρών σε καλλιέργεια αποκατάστασης και βιολογική καλλιέργεια. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα και τη βιβλιογραφία μπορεί να φανεί η επίδραση στην αλλαγή των καλλιεργειών. Παρόλα αυτά θα πρέπει να γίνουν πιο πολλές και συχνές επαναλήψεις των διαδικασιών στα επόμενα χρόνια για να προκύψει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα. Ενώ και οι δύο αγροί βρίσκονται στο ίδιο μεσογειακό κλίμα έχουν αρκετές διαφορές στην περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά, που οφείλεται στο διαφορετικό υψόμετρο είτε στις διαφορετικές ανθρώπινες δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε αγρό. Παρόμοια η συγκεντρώσεις των $N-NH_4$, $N-NO_3$ και στους δύο αγρούς λόγω της εφαρμογής λιπασμάτων κάτω από την κόμη των δένδρων οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες από μεταξύ γραμμών με εμφανή διαφορά στις τιμές. Η συγκέντρωση του P στον Αγρό 2 παρουσίασε σχεδόν ίδια τιμή και για τις δύο θέσεις εφαρμογής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι ανθρώπινες παρεμβάσεις επέφεραν πολλά προβλήματα στο περιβάλλον με ένα από αυτά να είναι η κλιματική αλλαγή. Η συγκέντρωση του CO₂ παρουσίασε αύξηση στην ατμόσφαιρα με την επιστημονική κοινότητα να μελετά τις συνέπειες γενικά στο περιβάλλον αλλά και ειδικότερα στον τομέα της αγροτικής παραγωγής. Από την άλλη, η δέσμευση και η αποθήκευση του άνθρακα στα εδάφη είναι ένας μηχανισμός που πραγματοποιείται χιλιάδες έτη με αποτέλεσμα να διερευνάται κατά πόσο ο άνθρακας που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να δεσμευτεί στην εδαφική μάζα και κατά πόσο αυτή η συσσώρευση θα μπορέσει να διατηρηθεί. Επιπλέον μελετάται η επίδραση αυτή στη δομή του εδάφους και στη θρέψη των φυτών.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της μη κατεργασίας εδάφους στην περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα (OC) και στα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Η μελέτη της επίδρασης αυτής εξετάστηκε κατά τα αρχικά στάδια μετάβασης από συμβατικές μορφές καλλιέργειας σε πρακτικές αποκατάστασης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο ελαιώνες της νήσους Κρήτης, με ανάλυση σε διαφορετικά βάθη και θέσεις με σκοπό να αξιολογηθεί η δυναμική των εδαφικών ιδιοτήτων υπό τις συνθήκες μη κατεργασίας και η συμβολή τους στην αποκατάσταση της εδαφικής ποιότητας.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων, παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στην ποσότητα της εδαφικής οργανικής ύλης σε σχέση με το βάθος του εδάφους. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η συγκέντρωση του TOC ήταν μεγαλύτερη στα επιφανειακά στρώματα τους εδάφους σε σύγκριση με τα βαθύτερα. Ωστόσο, στα βαθύτερα στρώματα παρατηρείται σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση του TOC, γεγονός που αποδίδεται στον περιορισμένο εμπλουτισμό του εδάφους σε βαθύτερα στρώματα, σε σύγκριση με τα επιφανειακά στρώματα. Επιπλέον, διάφοροι παράγοντες φαίνεται να επηρεάζουν τόσο τη δέσμευση όσο και την απώλεια του C εντός της εδαφικής μάζας.

Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στη μείωση του SOC. Οι συμβατικές πρακτικές καλλιέργειας δεν ευνοούν την αποθήκευση του C, αντίθετα, συμβάλλουν στην απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα. Αντιθέτως, η εφαρμογή πρακτικών αποκατάστασης του εδάφους ενισχύουν την συσσώρευση του C στο έδαφος. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο C επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στα φυτά, διερευνήθηκαν επίσης οι συγκεντρώσεις των NH₄, NO₃, P στα διαφορετικά βάθη του εδάφους και στις δύο καλλιέργειες ελαιόδενδρων.

Οι δύο αγροί που μελετήθηκαν ανήκουν στην ίδια κλιματολογική ζώνη και φυτεύτηκαν με ελαιόδενδρα. Από το 2021, πραγματοποιήθηκε αλλαγή στη μέθοδο καλλιέργειας, μεταβαίνοντας σε καλλιέργεια αποκατάστασης του εδάφους. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με βάση τον τρόπο καλλιέργειας έδειξαν ότι ο OC ήταν υψηλότερος για τους δύο αγρούς στη συμβατική καλλιέργεια. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι η δειγματοληψία έγινε ένα χρόνο μετά τη μετατροπή των εδαφών σε πρακτικές αποκατάστασης του εδάφους και ενδέχεται να απαιτείται περισσότερος χρόνος για να καταγραφεί μια πιο ακριβής εικόνα. Επίσης, η

συγκέντρωση του TOC στους δύο αγρούς βρέθηκε υψηλή στα πρώτα 20cm της δειγματοληψίας, με μία σημαντική μείωση σχεδόν 50% σε μεγαλύτερα βάθη, όπως αναφέρθηκε και στη βιβλιογραφία για την κατανομή της συγκέντρωσης του C στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι το έδαφος, όπως αποδεικνύεται και από τις μετρήσεις και τα διαγράμματα, έχει την δυνατότητα της δέσμευσης C, ιδίως στα βαθύτερα στρώματα όπου η συγκέντρωση ήταν χαμηλή.

Αν και οι πρακτικές μη κατεργασίας του εδάφους ενδέχεται να ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης του TOC, τα δεδομένα δεν είναι επαρκώς πειστικά για να τεκμηριώσουν μια οριστική τάση. Περαιτέρω έρευνα, με δειγματοληψία σε περισσότερους αγρούς που έχουν υποστεί αλλαγή κατεργασία και επικρατεί το Μεσογειακό κλίμα, με έμφαση σε βαθύτερη δειγματοληψία του εδάφους, θα μπορούσε να δώσει σαφέστερα αποτελέσματα και να επιβεβαιώσει αυτή την υπόθεση. Επιπλέον θα πρέπει να προσδιοριστούν οι μικροοργανισμοί που ζουν στο έδαφος όπως και η δραστηριότητα τους για μία καλύτερη προσέγγιση, αφού επηρεάζουν τη συνολική υγεία και ανθεκτικότητα του οικοσυστήματος του εδάφους.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adavi, Z.; Moradi, R.; Saeidnejad, A.H.; Tadayon, M.R.; Mansouri, H. Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Sci. Hortic.* 2018, 228, 91–102.

Ajirloo, A. R., & Ahangar, A. G. (2014). Influence of conventional and conservation tillage on C and N mineralization in soil. A review.

Arndal, M.F.; Merrild, M.P.; Michelsen, A.; Schmidt, I.K.; Mikkelsen, T.N.; Beier, C. Net root growth and nutrient acquisition in response to predicted climate change in two contrasting heathland species. *Plant Soil* 2013, 369, 615–629.

Balesdent, J., Basile-doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S., Derrien, D., Fekiacova, Z., Hatté, C., 2018. Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 599, 599–602.

Blanco-Canqui, H., Shapiro, C. A., Wortmann, C. S., Drijber, R. A., Mamo, M., Shaver, T. M., & Ferguson, R. B. (2013). Soil organic carbon: The value to soil properties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(5), 129A-134A.

Climate Change Position Statement Working Group. Position Statement on Climate Change; Working Group Rep. ASA, CSSA, and SSSA: Madison, WI, USA, 2011

Cookson, W.; Osman, M.; Marschner, P.; Abaye, D.; Clark, I.; Murphy, D.; Stockdale, E.; Watson, C. Controls on soil nitrogen cycling and microbial community composition across land use and incubation temperature. *Soil Biol. Biochem.* 2007, 39, 744–756.

Dick, W. A., Van Doren Jr, D. M., Triplett Jr, G. B., & Henry, J. E. (1986). Influence of long-term tillage and rotation combinations on crop yields and selected soil parameters: II. Results obtained for a Typic Fragiudalf soil.

Dotaniya, M.L.; Rajendiran, S.; Meena, B.P.; Meena, A.L.; Dotaniya, C.K.; Jat, R.L.; Saha, J.K. Elevated Carbon Dioxide (CO₂) and Temperature vis-a-vis Carbon Sequestration Potential of Global Terrestrial Ecosystem. In *Conservation Agriculture*; Bisht, J.K., Ed.; Springer: Singapore, 2016.

European Environment Agency. Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012. An Indicator-Based Report. EEA Report N° 12/2012. Available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>

FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk; FAO: London, UK, 2011.

García-Díaz, A.; Marqués, M.J.; Sastre, B.; Bienes, R. Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. *Sci. Total Environ.* 2018, 621, 387–397.

Gong, H.; Gao, J. Soil and climatic drivers of plant SLA (specific leaf area). *Glob. Ecol. Conserv.* 2019, 20, e00696.

Grover, M., Maheswari, M., Desai, S., Gopinath, K. A., & Venkateswarlu, B. (2015). Elevated CO₂: Plant associated microorganisms and carbon sequestration. *Applied Soil Ecology*, 95, 73-85.

Guo, L.B.; Gifford, R.M. Soil carbon stocks and land use change: A meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 2002, 8, 345–360.

Hatfield, J.L.; Prueger, J.H. Agroecology: Implications for Plant Response to Climate Change. In *Crop Adaptation to Climate Change*, 1st ed.; Yadav, S.S., Redden, R.J., Hatfield, J.L., Lotze-Campen, H., Hall, A.E., Eds.; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2011.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). Soil fertility and fertilizers. Pearson Education India.

Horwath, W. R., & Kuzyakov, Y. (2018). The potential for soils to mitigate climate change through carbon sequestration. In *Developments in soil science* (Vol. 35, pp. 61-92). Elsevier.

Hussain, M.; Farooq, M.; Nawaz, A.; Al-Sadi, A.M.; Solaiman, Z.M.; Alghamdi, S.S.; Ammara, U.; Ok, Y.S.; Siddique, K.H.M. Biochar for crop production: Potential benefits and risks. *J. Soils Sediments* 2017, 17, 685–716

IPCC. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems; Summary for Policymakers, Approved Draft. United Nations: New York, NY, USA, 2019. Available online: <https://www.ipcc.ch/srccl/>

Jones, R.J.A.; Hiederer, R.; Rusco, E.; Loveland, P.J.; Montanarella, L. The Map of Organic Carbon in Topsoils in Europe; Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72); European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 Format; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 2004; 26p

Kämpf, I.; Hölzel, N.; Störrle, M.; Broll, G.; Kiehl, K. Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: A meta-analysis of land-use effects. *Sci. Total Environ.* 2016, 566–567, 428–435.

Kahlon, M. S., Lal, R., & Ann-Varughese, M. (2013). Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 126, 151-158.

Kuzyakov, Y.; Horwath, W.R.; Dorodnikov, M.; Blagodatskaya, E. Review and synthesis of the effects of elevated atmospheric CO₂ on soil processes: No changes in pools, but increased fluxes and accelerated cycles. *Soil Biol. Biochem.* 2019, 128, 66–78.

Krull, E. S., Skjemstad, J. O., & Baldock, J. A. (2004). Functions of soil organic matter and the effect on soil properties (p. 129). Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.

Lal, R. Soil Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Food Security. In Platinum Jubilee Celebrations of the Indian Society of Soil Science Souvenir; Carbon Management and Sequestration Center: Ohio, OH, USA, 2009.

Lotze-Campe, H. Climate Change, Population Growth, and Crop Production: An Overview. In *Crop Adaptation to Climate Change*, 1st ed.; Yadav, S.S., Redden, R.J., Hatfield, J.L., Lotze-Campen, H., Hall, A.E., Eds.; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2011.

Niu, L., Manxia, C., Xiumei, G., Xiaohua, L., Hongbo, S., Zhaopu, L., & Zed, R. (2016). Carbon sequestration and Jerusalem artichoke biomass under nitrogen applications in coastal saline zone in the northern region of Jiangsu, China. *Science of the Total Environment*, 568, 885-890.

Olsen, S. R., and L. E. Sommers. (1982). Phosphorus sp. 403-430. In: Page, A. L., R.bM. Miller, D. R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and biological properties*. Second edition. Agronomy Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Frontiers in sustainable food systems*, 4, 31.

Peverill, K. I. (1999). *Soil analysis: an interpretation manual*. CSIRO publishing.

Rumpel, C., Kögel-Knabner, I., 2011. Deep soil organic matter—a key but poorly unorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil* 338, 143–158.

Scoones, I. (2015). Transforming soils: Transdisciplinary perspectives and pathways to sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 20-24.

Soares, J. C., Santos, C. S., Carvalho, S. M., Pintado, M. M., & Vasconcelos, M. W. (2019). Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant and Soil*, 443, 1-26.

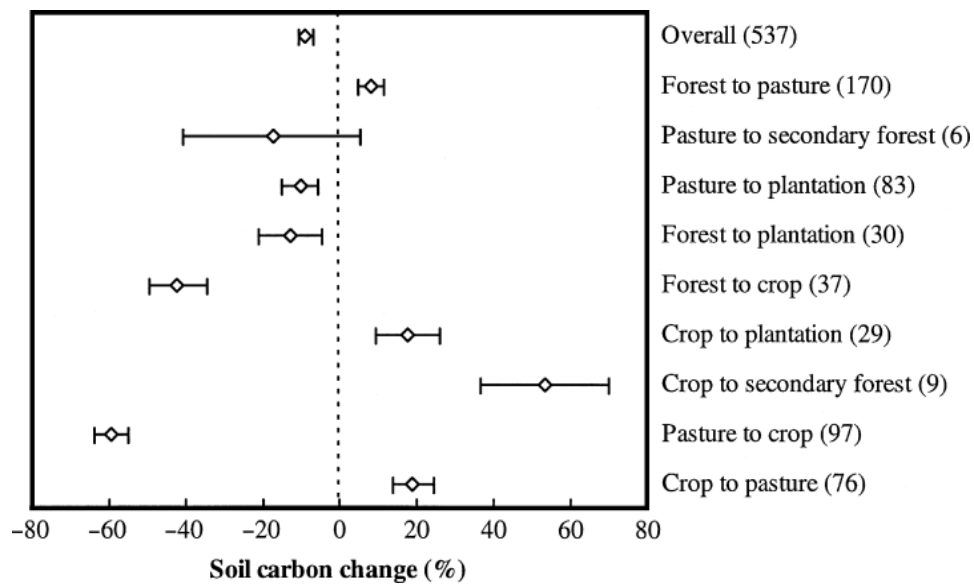
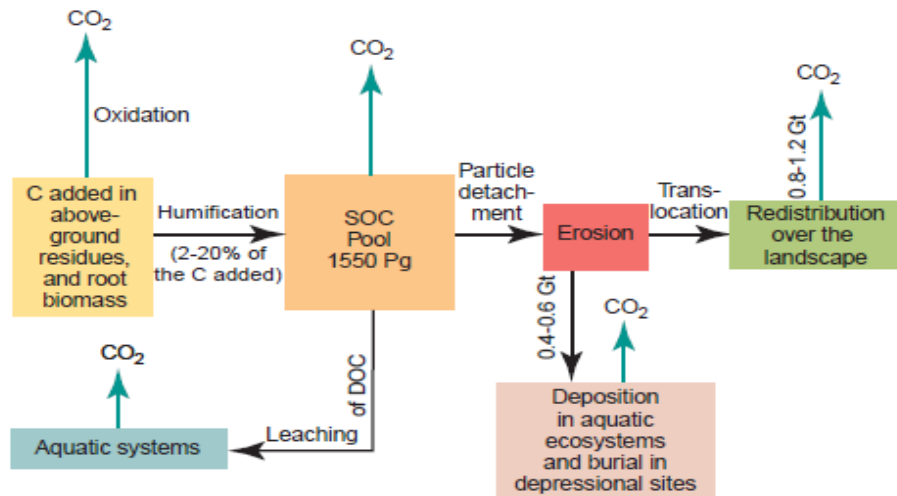
SSSA. Carbon Sequestration: Position of the Soil Science Society of America. 2001. Available online: https://www.csuchico.edu/regenerativeagriculture/_assets/documents/carbon-sequestration-paper.pdf

Stewart, C.E., Paustian, K., Conant, R.T., Plante, A.F., Six, J., 2008. Soil carbon saturation: evaluation and corroboration by long-term incubations. *Soil Biol. Biochem.* 40, 1741–1750.

Wang, J.; Zhang, X.; Li, L.; Cheng, K.; Zheng, J.; Zheng, J.; Shen, M.; Liu, X.; Pan, G. Changes in micronutrient availability and plant uptake under simulated climate change in winter wheat field. *J. Soils Sediments* 2016, 16, 2666–2675

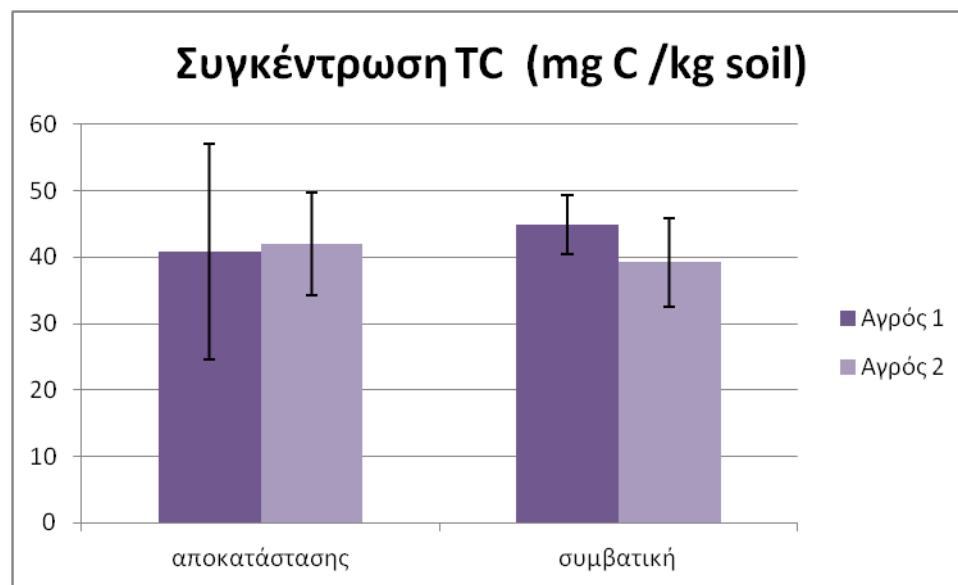
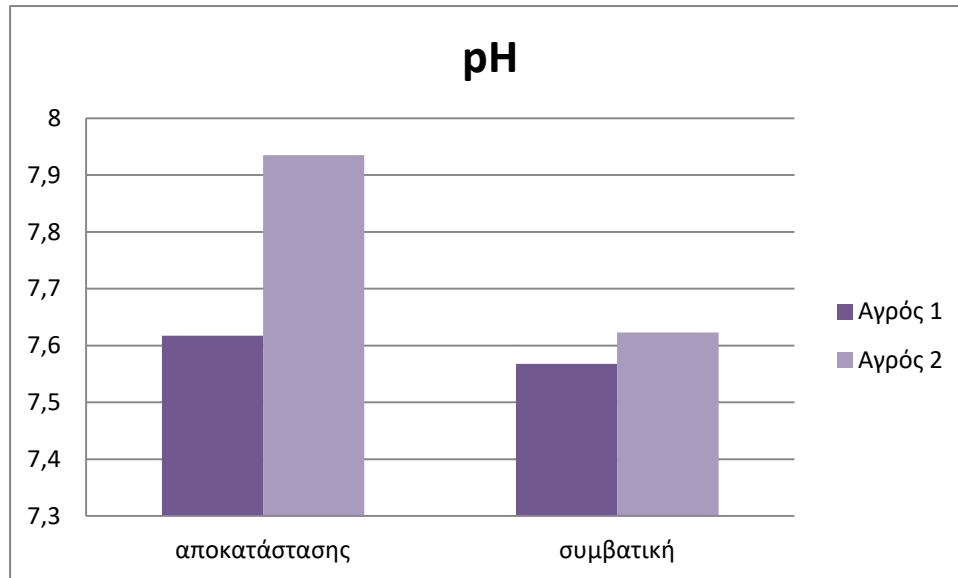
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

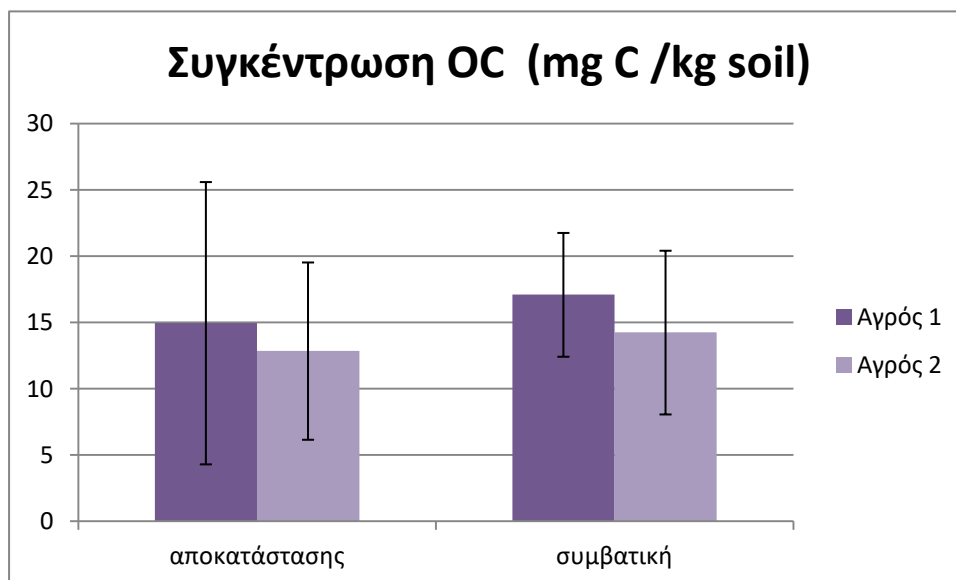
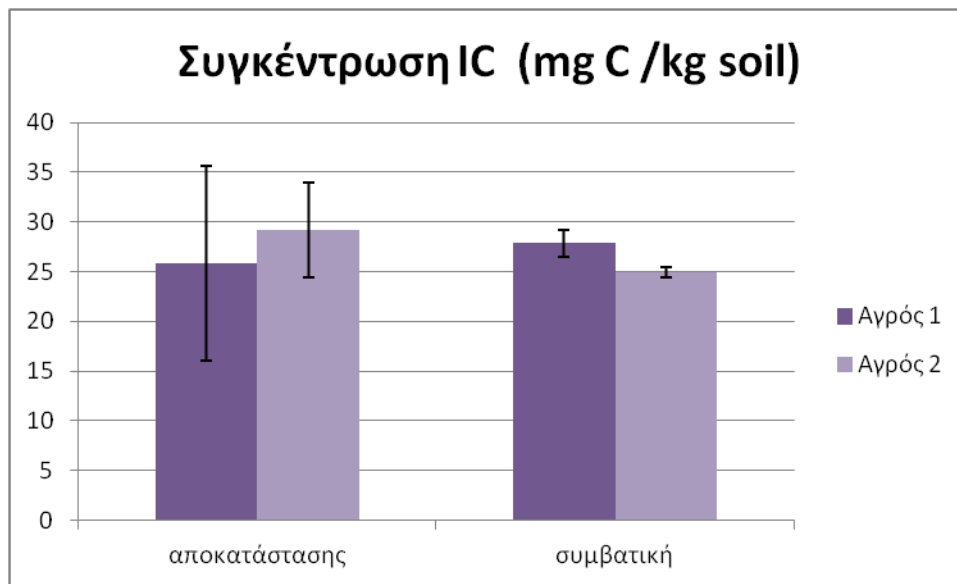
7.1 Παραρτήματα εικόνων

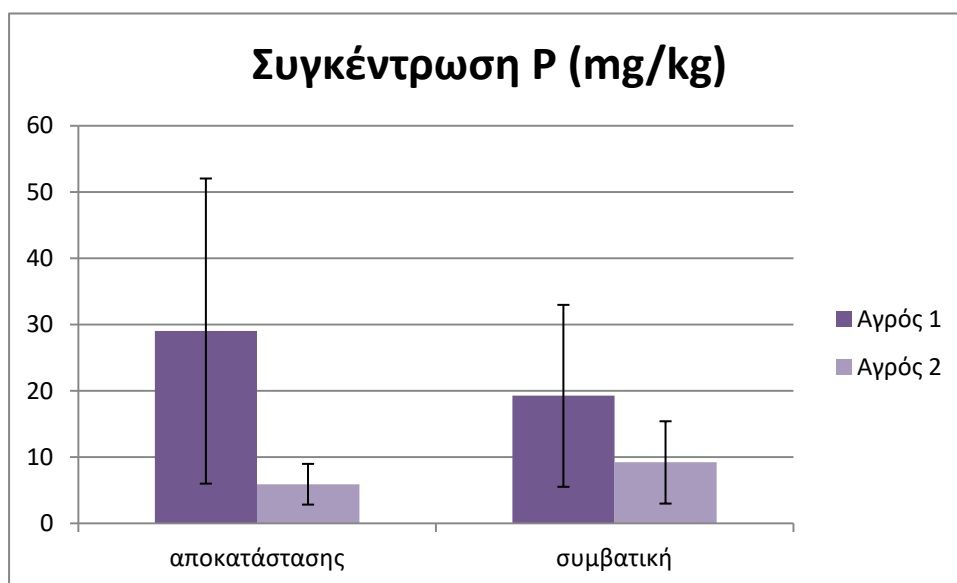
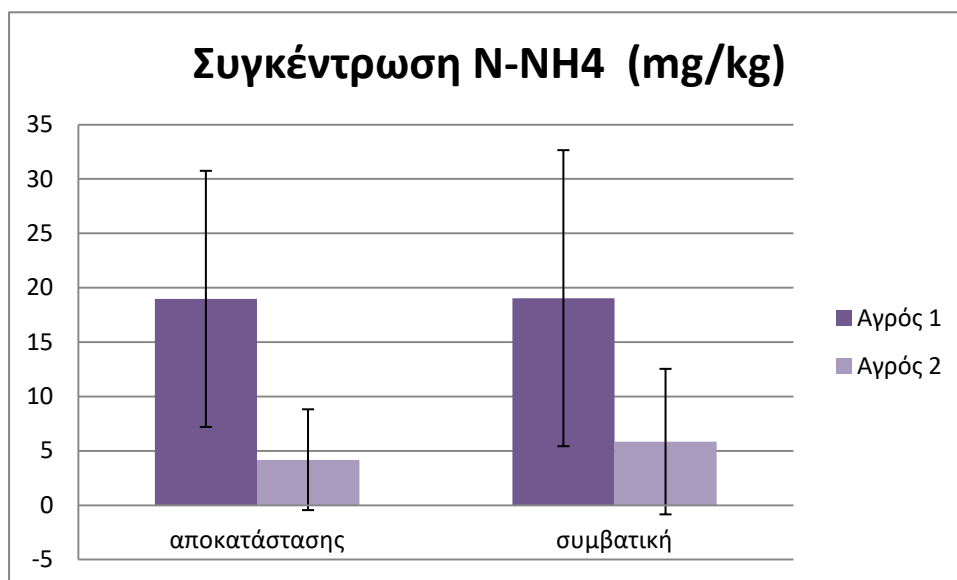
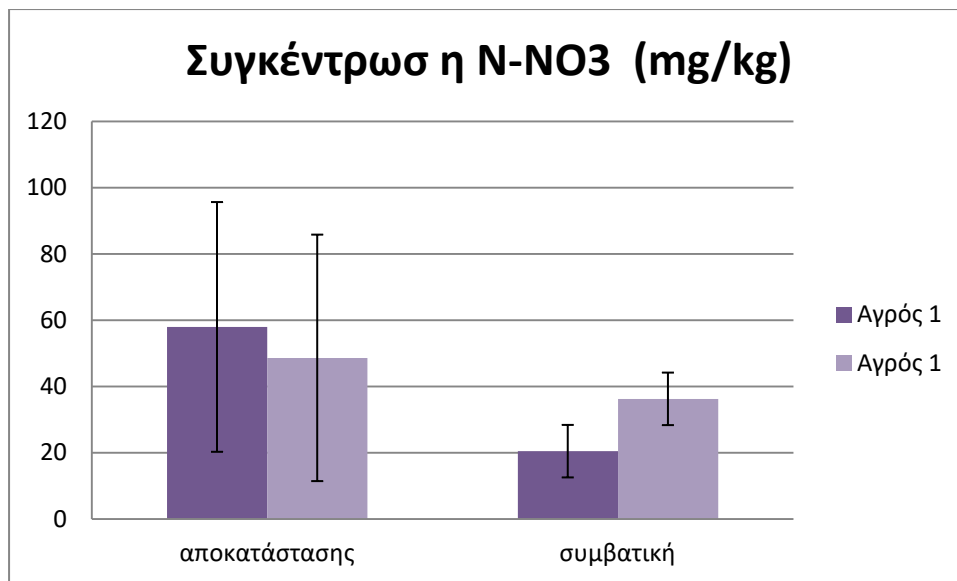


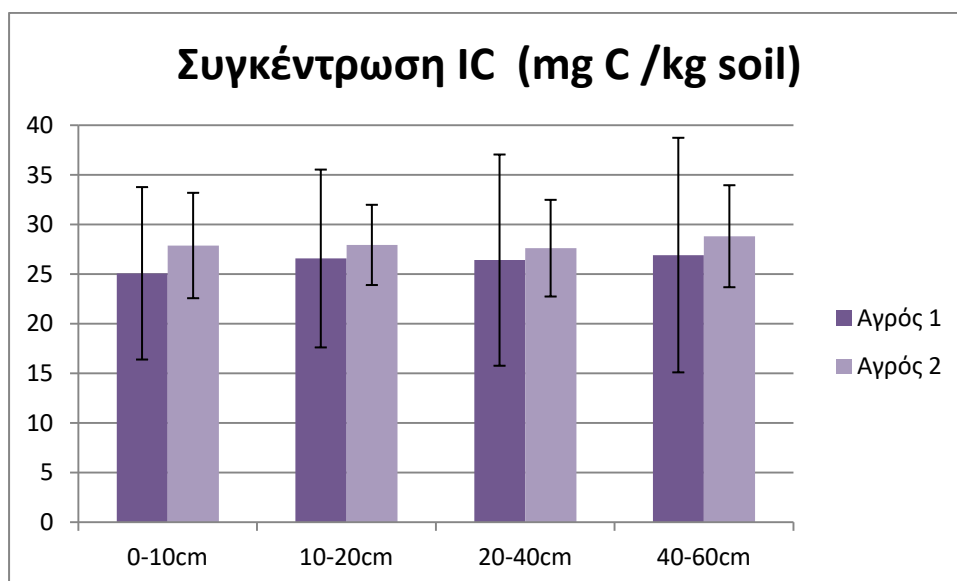
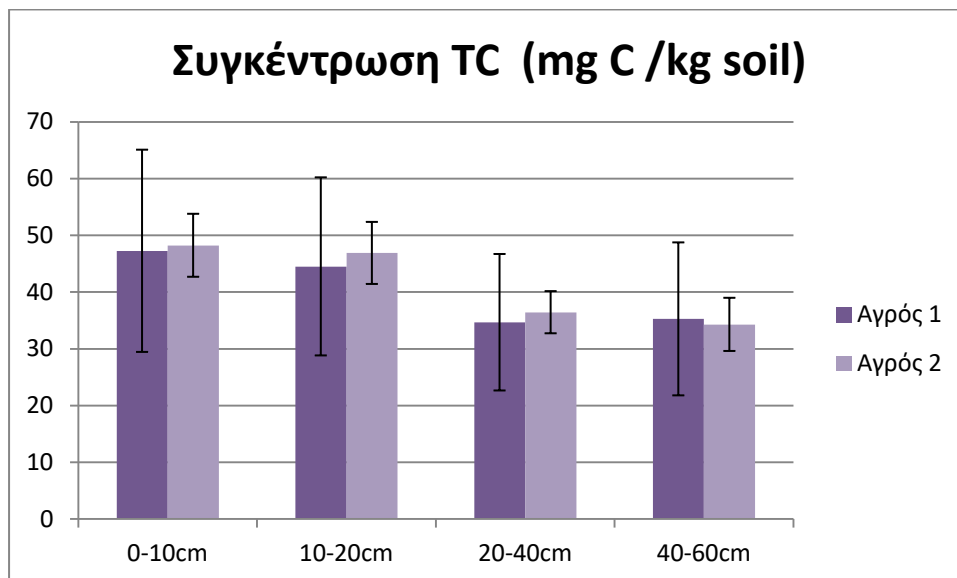
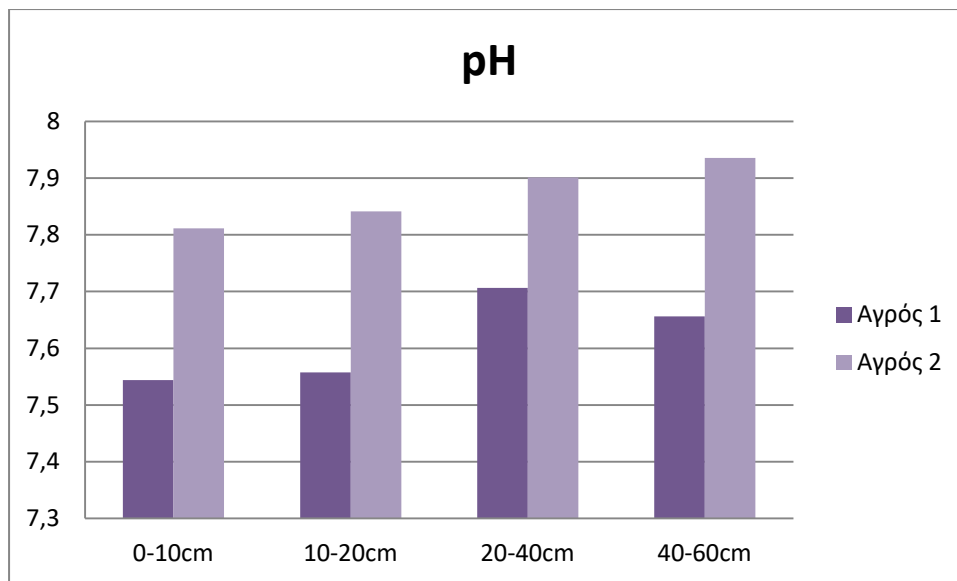


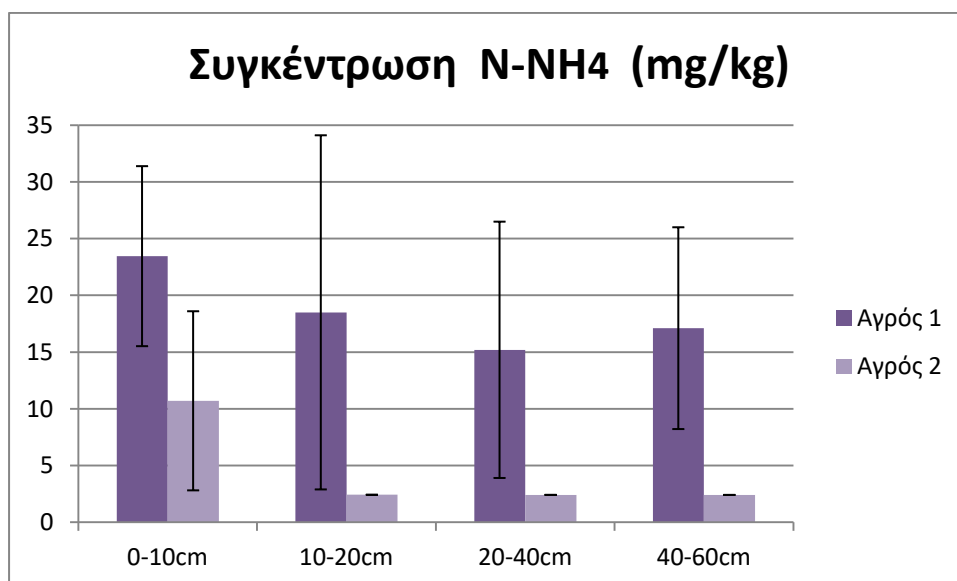
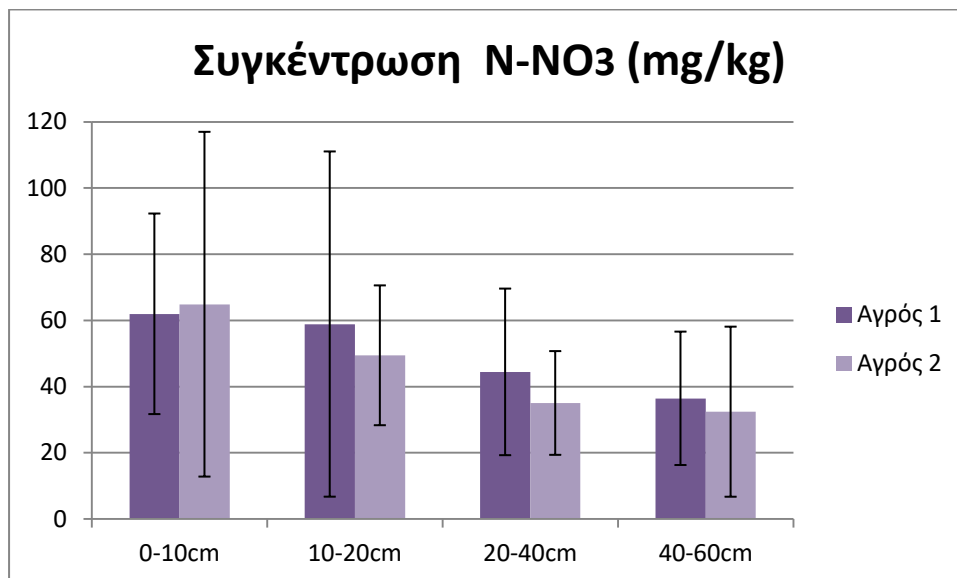
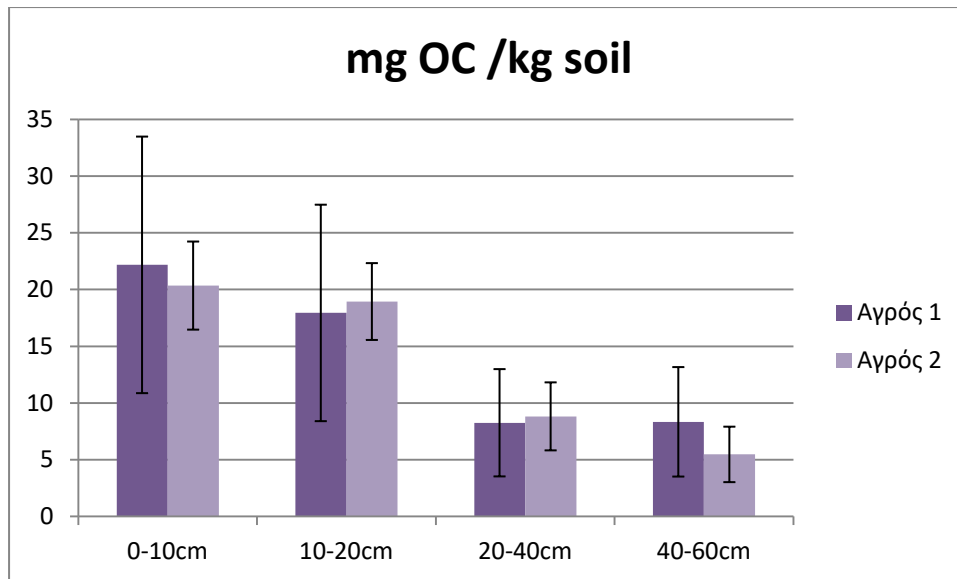
7.2 Παραρτήματα διαγραμμάτων

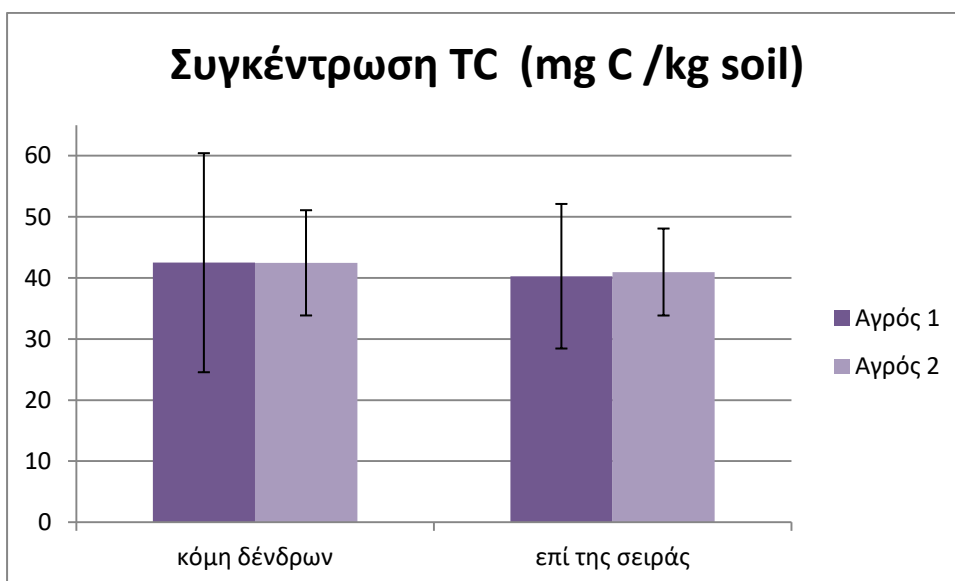
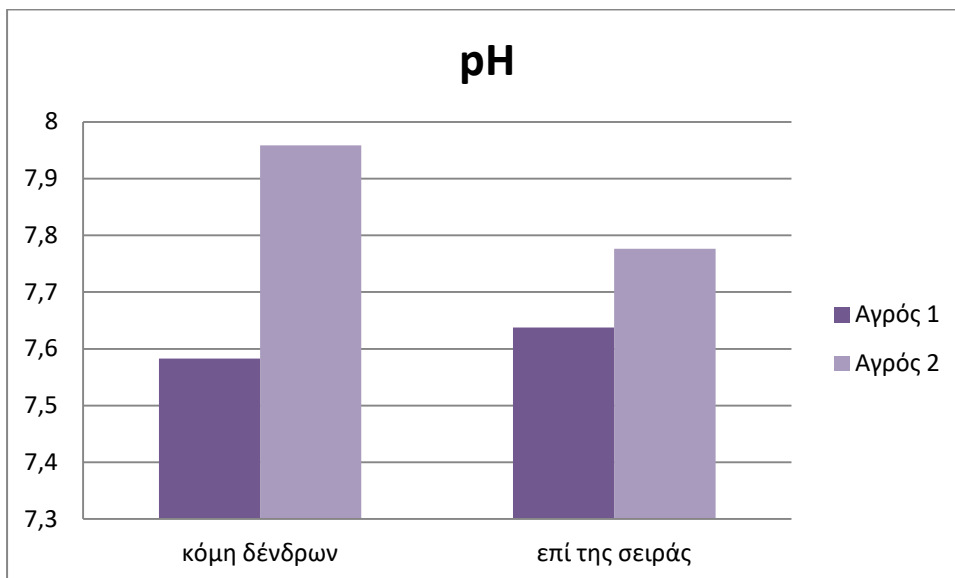
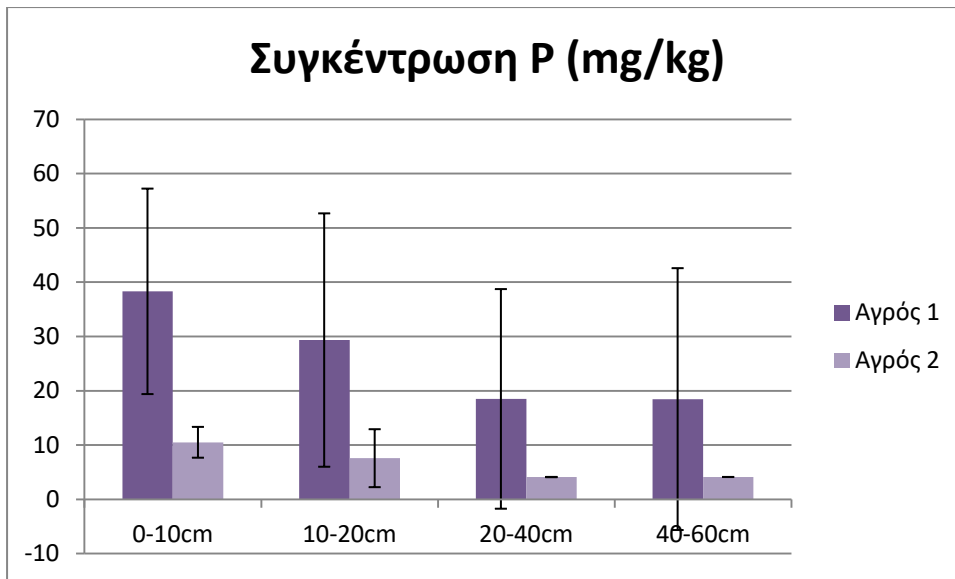


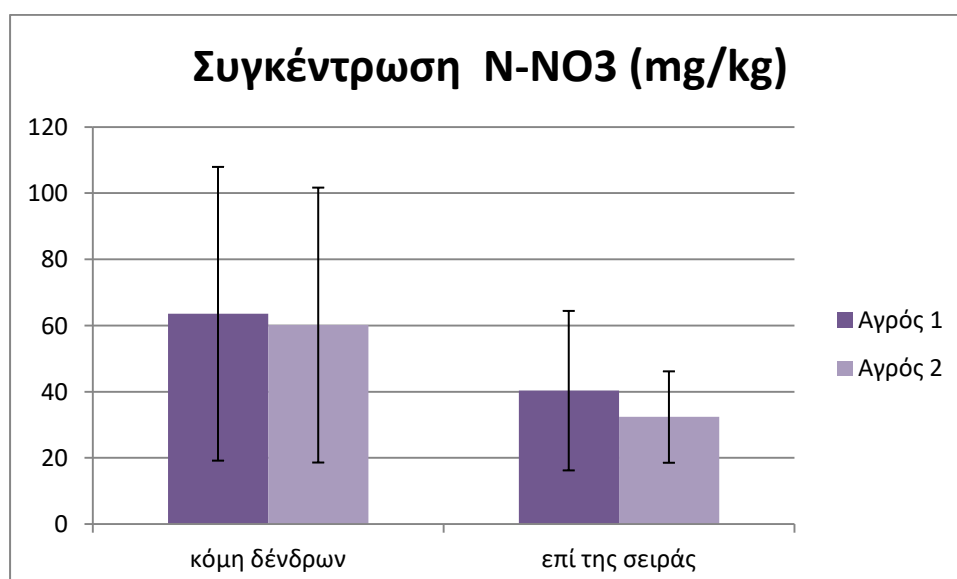
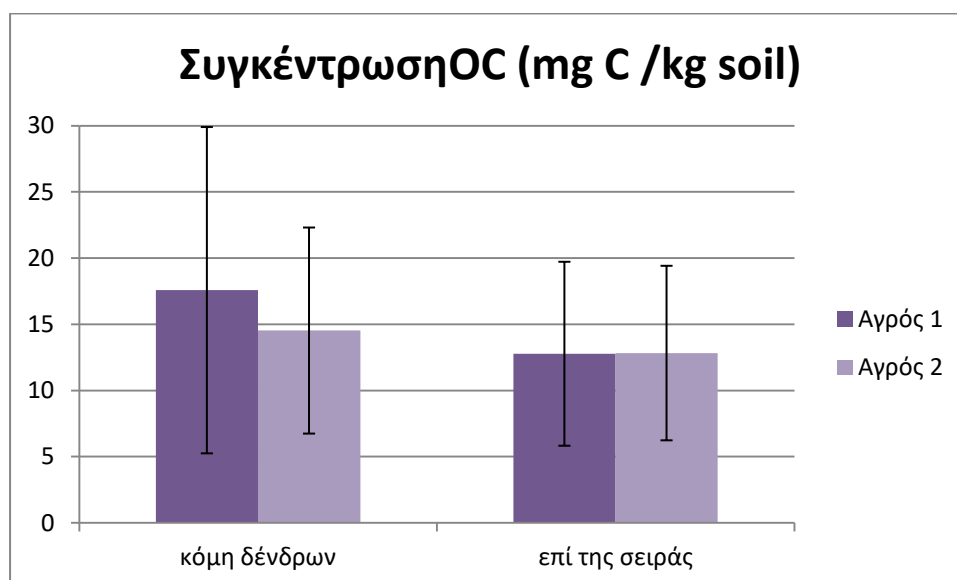
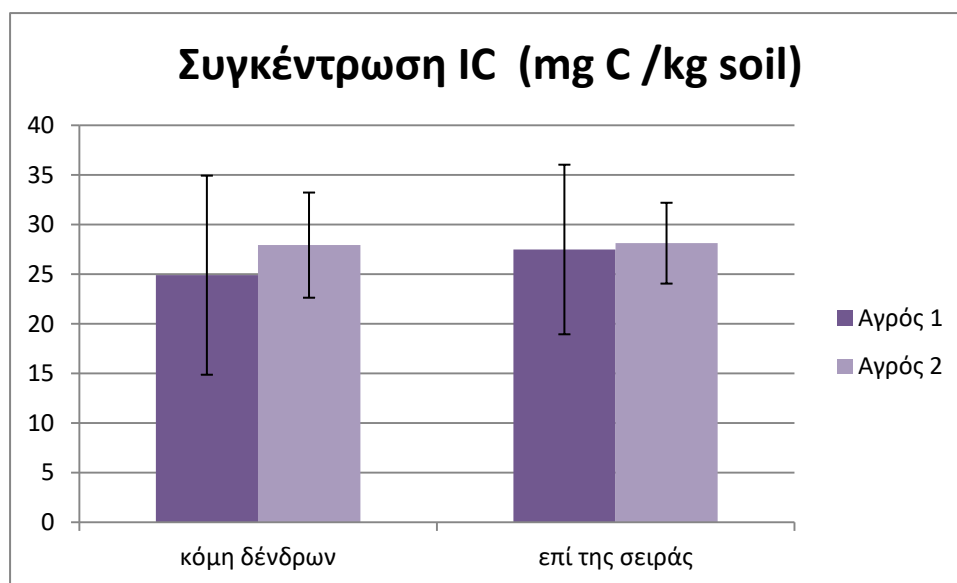


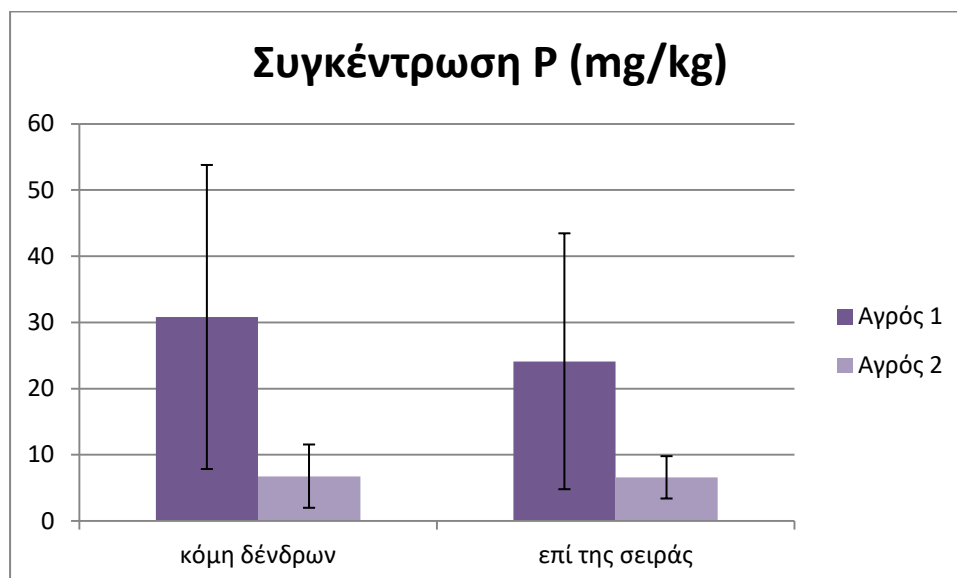
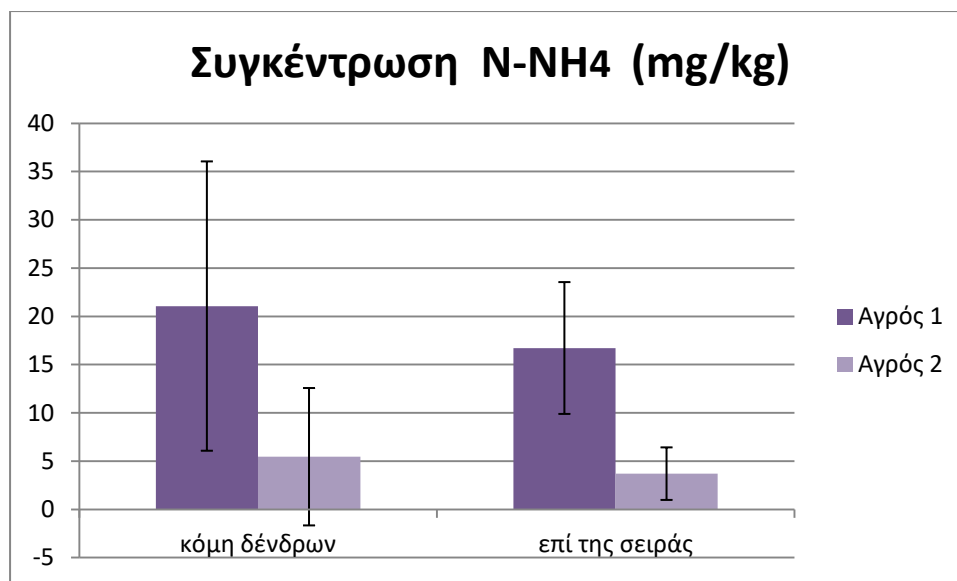






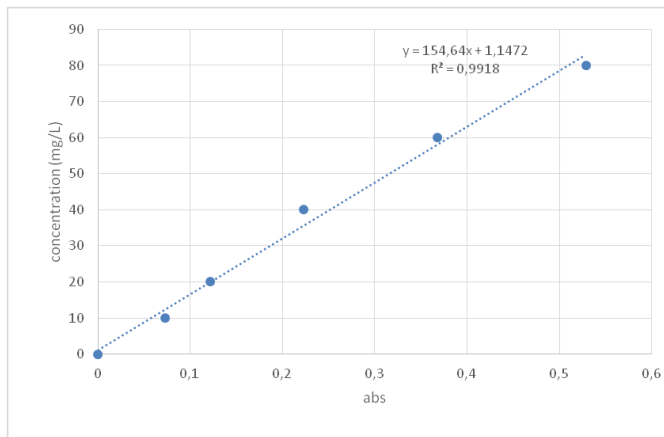




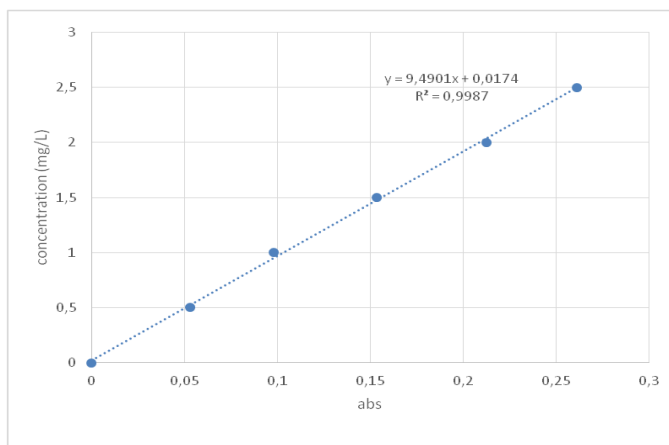


7.3 Παραρτήματα καμπυλών

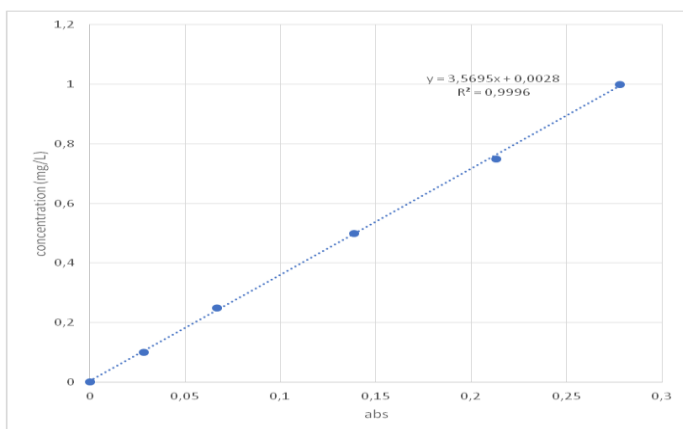
Καμπύλη νιτρικών Αγρού 1



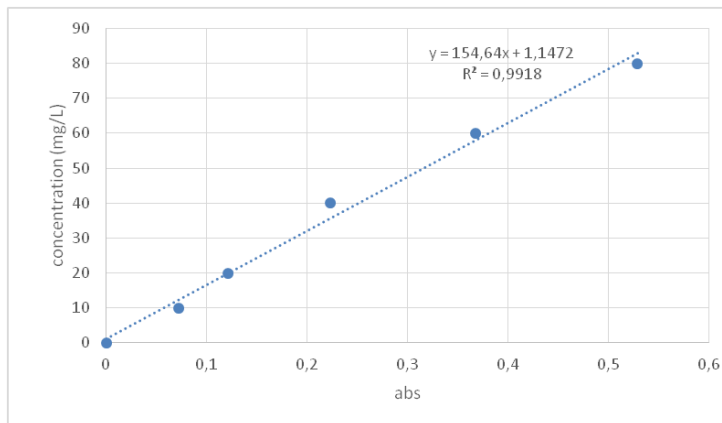
Καμπύλη αμμωνιακών Αγρού 1



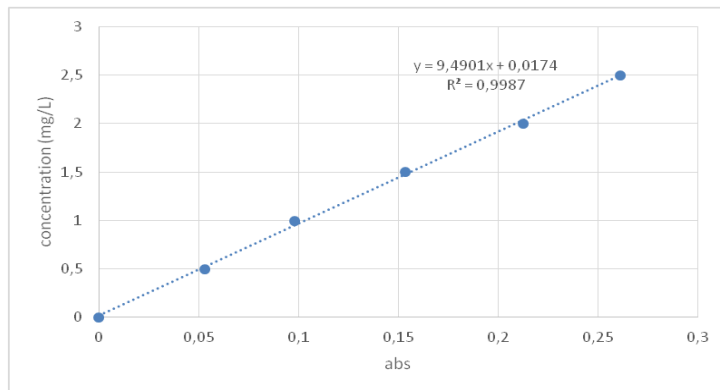
Καμπύλη φωσφόρου Αγρού 1



Καμπύλη νιτρικών Αγρού 2



Καμπύλη αμμωνιακών Αγρού 2



Καμπύλη φωσφόρου Αγρού 2

