



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική εργασία

Αξιολόγηση πρακτικών αποκατάστασης ποιότητας εδαφών σε  
αγρό-οικοσυστήματα της Μεσογείου

Αγγελίδου Κυριακή

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤ. 2025



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική εργασία

Αξιολόγηση πρακτικών αποκατάστασης ποιότητας εδαφών σε  
αγρό-οικοσυστήματα της Μεσογείου

Αγγελίδου Κυριακή

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΡΑΝΥΧΙΑΝΑΚΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤ. 2025

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Παρανυχιανάκη για τον πολύτιμο χρόνο, την καθοδήγηση και τις γνώσεις μου που προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον καθηγητή κ. Γεώργιο Καρατζά και τον καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους συναδέλφους του Εργαστηρίου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του καθηγητή Νικόλαου Νικολαΐδη για την πολύτιμη βοήθεια στις εργαστηριακές μετρήσεις και στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος του Καθηγητή Αλέξανδρου Στεφανάκη για τον εργαστηριακό εξοπλισμό. Δεν θα μπορούσα να παραβλέψω την υποψήφια Μεταπτυχιακού Μαρία Φραντζέσκου, για την πολύπλευρη στήριξη και βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα Safiye Tul για τη συνεισφορά της σε σημαντικό τμήμα του πειραματικού έργου.

Τέλος, με την ολοκλήρωση των σπουδών μου εκφράζω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα προς τους γονείς μου που μου πρόσφεραν την ευκαιρία στην επιστημονική μόρφωση και τους φίλους μου, για την στήριξη και δύναμη που μου πρόσφεραν.



## Περίληψη

Η παρούσα εργαστηριακή μελέτη έχει στόχο την διερεύνηση της επίδρασης δυο διαφορετικών μεθόδων στην διαχείριση του εδάφους, της συμβατικής κατεργασίας και της μη κατεργασίας του εδάφους, στους δείκτες γονιμότητας ενός αγρού. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δείγματα από έναν ελαιώνα, ο οποίος έχει υποβληθεί σε συμβατική μέθοδο κατεργασίας και τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται η πρακτική αποκατάστασης στο μισό της έκτασης του. Τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν συνολικά είναι 48 (24 για κάθε μέθοδο), από διαφορετικά σημεία του αγρού, είτε από την ρίζα του δένδρου είτε από τον διάδρομό του, από τα οποία γίνεται συλλογή δειγμάτων από 4 διαδοχικά βάθη (10, 20, 40 & 60cm). Μετρήθηκαν οι φυσικοχημικοί δείκτες δηλαδή το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και τα κλάσματά του, POM & MAOM, ο ανόργανος άνθρακας (TIC), το ολικό άζωτο (TN) και οι ανόργανες μορφές του αζώτου ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Κατά την ανάλυση συγκρίθηκε ο τρόπος, με τον οποίο κάθε μέθοδος επηρεάζει αυτά τα χαρακτηριστικά, με στόχο την ανάδειξη της αποτελεσματικότητας της πρακτική αποκατάστασης για την βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων, οι οποίοι συμβάλλουν στην ενίσχυση της υγείας του.

## Abstract

This laboratory study aims to investigate the effect of two different methods of soil management, conventional tillage and no-till farming, on the fertility indicators of a field. More specifically, samples were collected from an olive grove that has undergone conventional tillage and, in recent years, restoration practices have been applied to half of its area. A total of 48 samples (24 for each method) were collected from different points in the field, either from the canopy or from its rows, from which samples were collected from 4 consecutive depths (10, 20, 40 & 60cm). The physicochemical indicators that measured were pH, electrical conductivity (EC), total organic carbon (TOC) and its fractions, POM & MAOM, total inorganic carbon (TIC), total nitrogen (TN) and inorganic forms of nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). During the analysis, the way in which each method affects these characteristics was compared, with the aim of highlighting the effectiveness of the restoration practice in improving the physical, chemical, and biological parameters that contribute to enhancing its health.

## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	5
1.Εισαγωγή.....	7
1.1 Υφιστάμενη συνθήκη και ο ρόλος του εδάφους.....	7
1.2 Έδαφος και κλιματική αλλαγή.....	7
1.3 Μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους.....	8
1.3.1 Πρακτική αποκατάστασης εδαφών.....	9
1.4 Υγεία του εδάφους και παράγοντες που την επηρεάζουν.....	10
1.5 Ο βιογεωχημικός κύκλος του οργανικού C.....	14
1.6 Θρεπτικά στοιχεία.....	16
3. Υλικά και Μέθοδοι.....	19
3.1 Περιοχή μελέτης και δειγματοληψίες.....	19
3.2 Πρωτόκολλο πειραματικών μετρήσεων.....	20
4. Αποτελέσματα.....	25
4.1 pH.....	25
4.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	26
4.3 TIC.....	26
4.4 TOC.....	28
4.5 MAOM – POM.....	29
4.6 TN.....	31
4.7 NH <sub>4</sub> -N.....	32
4.8 NO <sub>3</sub> -N.....	34
5. Συζήτηση.....	37
Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	38
pH.....	38
Βιβλιογραφία.....	43
Παραρτήματα.....	47

## 1.Εισαγωγή

### 1.1 Υφιστάμενη συνθήκη και ο ρόλος του εδάφους

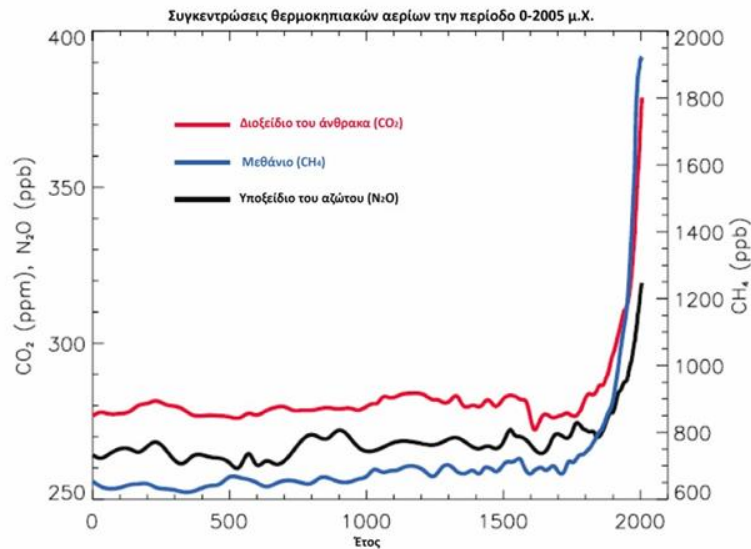
Η υποβάθμιση της γης είναι μια παγκόσμια απειλή που επηρεάζει αρνητικά την λειτουργία των οικοσυστημάτων. Η διάβρωση του εδάφους, φαινόμενο πλέον εκτενές, είναι μια από τις κύριες διαδικασίες που οδηγούν στην υποβάθμιση της γης [1], η οποία προέρχεται κυρίως λόγω της εντατικής μη αειφορικής καλλιέργειας, των μη ορθολογικών καλλιεργητικών πρακτικών και της Κλιματικής αλλαγής. [21] Επηρεάζει κυρίως το ανώτερο και γόνιμο στρώμα του εδάφους, το οποίο εξυπηρετεί πολλές σημαντικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα α) αποτελεί την βάση για την παραγωγή τροφίμων, καυσίμων και ινών και αποτελεί μείζων συνιστώσα της γεωργικής ανάπτυξης και της οικολογικής βιωσιμότητας, β) παρέχει θρεπτικά στοιχεία στους φυτικούς και ζωτικούς (μικρό) οργανισμούς και γ) αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες άνθρακα, οξυγόνου, αζώτου και άλλων αερίων. Τα αέρια αυτά επιδρούν στην σύνθεση της ατμόσφαιρας και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είτε θετικά δεσμεύοντας τα, είτε αρνητικά μέσω της απελευθέρωσης τους και τελικά της αλληλοεπίδρασης τους με την κλιματική αλλαγή.[1],[21]

### 1.2 Έδαφος και κλιματική αλλαγή

Η ικανότητα του εδάφους να αποσυνθέτει απόβλητα φυτών και ζώων και να τα μετατρέπει σε θρεπτικά συστατικά, που οδηγούν στην αναγέννηση της ζωής, είναι ευρέως γνωστή και συχνά αξιοποιείται ή/και καταχράται για την απόρριψη αστικών και βιομηχανοποιημένων αποβλήτων. Λιγότερο γνωστή, όμως, είναι η ζωτική λειτουργία του εδάφους στις διαδικασίες μεγαλύτερης κλίμακας που μπορούν να διατηρήσουν ή να τροποποιήσουν το κλίμα της γης ή/και των κύκλο των στοιχείων της ατμόσφαιρας.

Στο σύστημα έδαφος-ατμόσφαιρα, το έδαφος μπορεί να συμβάλλει στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, αλλά και να τις υποστεί. Πέρα από τις γνωστές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στο έδαφος, όπως είναι η ενίσχυση της αποσύνθεσης οργανικής ύλης λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας ή οι συνθήκες ξηρασίας, λόγω αλλαγών στα πρότυπα των βροχοπτώσεων (είτε διάβρωσης λόγω υπερβολικής βροχής), υπάρχει και η αμφίδρομη δράση του εδάφους προς την ατμόσφαιρα, κατά την οποία το έδαφος γίνεται πηγή αερίων του θερμοκηπίου.[37]

Η διαχείριση της γης τα τελευταία χρόνια, με αρχή την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική εξάντληση της οργανικής ύλης του εδάφους και την απελευθέρωση της στην ατμόσφαιρα σε μορφή αερίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) κ.α. [36]



Εικόνα 1.1 Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων και μακροβιότερων αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2000 ετών. Οι μονάδες είναι μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb). (Πηγή: IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.*)

Ο στόχος της διαχείρισης των εδαφών, θα πρέπει να είναι η ουδετερότητα στην υποβάθμιση της γης (LDN – Land Degradation Neutrality), δηλαδή το έδαφος θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να αντισταθμίζει τις όποιες απώλειες προκύπτουν, ώστε να μην υπάρχει μείωση της υγείας και της παραγωγικότητας του. Η επίτευξη της συνθήκης αυτής απαιτεί δράσεις με γνώμονα τη μείωση της ήδη υπάρχουσας υποβάθμισης, τη πρόληψη νέας υποβάθμισης και την ενίσχυση των προσπαθειών αποκατάστασης.

### 1.3 Μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους

Ο τρόπος με τον οποίο θα επιλέξει κάποιος να κατεργαστεί το έδαφος διαφέρει ανάλογα με τους στόχους των παραγωγών με βασικούς συντελεστές την ποσότητα παραγωγής καλλιεργειών, την κερδοφορία και την προστασία του εδάφους και του περιβάλλοντος. Το βέλτιστο σύστημα θα πρέπει να μειώνει το κόστος παραγωγής, την διάβρωση και την σπατάλη νερού, ενώ πρέπει ταυτόχρονα να βελτιώνει το έδαφος.

Συχνά, το ίδιο σύστημα αναφέρεται σε περισσότερους όρους και πολλές φορές ένας όρος αναφέρεται σε περισσότερα συστήματα. Για να αποφευχθεί η σύγχυση αυτή, οι μέθοδοι εξυγίανσης του εδάφους μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: την συμβατική κατεργασία (Conventional Tillage) και την πρακτική αποκατάστασης (Conservation Tillage), οι οποίες μπορούν να διακριθούν περεταίρω με βάση τον βαθμό έντασης της κατεργασίας, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, το βάθος και τον τρόπο κατεργασίας. Η κατηγορία στην οποία θα επικεντρωθεί η συγκεκριμένη εργασία αφορά τον τρόπο κατεργασίας, δηλαδή την κατεργασία αναστροφής (Tillage) ή μη αναστροφής (No-Tillage) του εδάφους. [8]



Στην κατηγορία των συμβατικών μεθόδων εξυγίανσης του εδάφους συμπεριλαμβάνεται κάθε μηχανισμός όπου κατά την εφαρμογή του αναστρέφει το έδαφος και μεταβάλλει τη φυσική του δομή.

Το εντατικό όργωμα μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του εδάφους και να μειώσει τη γονιμότητα και τη βιολογική δραστηριότητα του. Αυτό οφείλεται στην ελάχιστη ή καθόλου κάλυψη από υπολείμματα του εδάφους, η οποία είναι συνάρτηση της έντασης κατεργασίας του. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η εξάτμιση και η ευαισθησία του στην διάβρωση από τον άνεμο και το νερό. Επίσης, η δομή του εδάφους έπεται από το όργωμα υποβαθμίζεται, με αποτέλεσμα την μείωση της διήθησης του νερού και την αύξηση του ρυθμού απορροής.

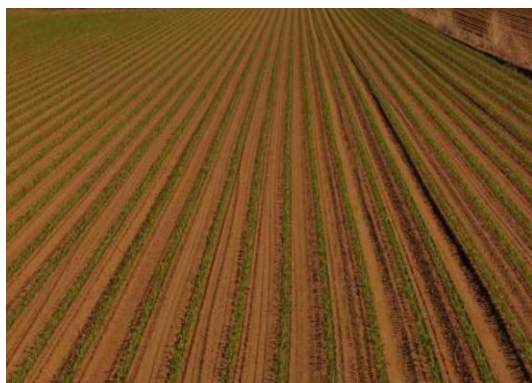
### 1.3.1 Πρακτική αποκατάστασης εδαφών

Η μη κατεργασία του εδάφους είναι η πλέον διαδεδομένη πρακτική αποκατάστασης των επιπτώσεων που δημιουργεί η κατεργασία. Βασίζεται στην φιλοσοφία της μειωμένης διατάραξης του σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Στο σύστημα αυτό, η καλλιέργεια φυτεύεται στο έδαφος χωρίς πρωτογενή κατεργασία. Στόχοι της μεθόδου είναι η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, η αύξηση της γονιμότητας και της οργανικής ύλης και η βελτίωση της διαθέσιμης υγρασίας.

Η τεχνική της μη-άροσης του εδάφους αποτελεί ένα παράδειγμα μη κατεργασίας, καθώς αφήνει όλα τα επιφανειακά υπολείμματα (πχ κλαδιά, φύλλα) στο έδαφος μετά την συγκομιδή, τα οποία απορροφούν και αντισταθμίζουν την διαβρωτική ενέργεια των σταγόνων της βροχής, καθώς μειώνουν την αποκόλληση των αδρανών υλικών και την σφράγιση και τη δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια.

Η ενσωμάτωση της πρακτικής της αμειψισποράς υπηρετεί καλύτερα το σύστημα ιδεών της μεθόδου, από την καταπολέμηση με ζιζανιοκτόνα. Η πρακτική της αμειψισποράς βασίζεται στην εναλλαγή των καλλιεργειών από έτος σε έτος για την διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, την μείωση ασθενειών των φυτών και τον έλεγχο των ζιζανίων.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν όμως, πως η απόδοση της μεθόδου εξαρτάται από τα ειδικά εδαφικά, τοπογραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής εφαρμογής, με σημαντικότερες ευεργετικές επιπτώσεις να σημειώνονται στους ανώτερους εδαφικούς ορίζοντες, όπου συγκεντρώνονται τα περισσότερα υπολείμματα καλλιεργειών.[41]



Εικόνα 1.2α Συμβατική μέθοδος κατεργασίας



Εικόνα 1.2β Μη κατεργασία εδάφους (πρακτική αποκατάστασης)

### 1.3.2 Η επίδραση της μεθόδου κατεργασίας στην οργανική ουσία του εδάφους

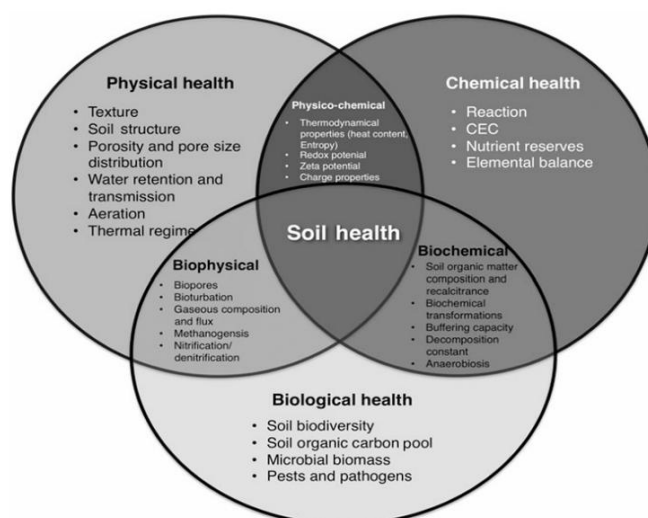
Η επιλογή ανάμεσα σε συμβατική κατεργασία ή πρακτική αποκατάστασης, επηρεάζει σημαντικά τα ποσοστά οργανικού υλικού που παραμένουν σ' αυτό. Κατά τη διαδικασία του οργώματος το έδαφος εκτίθεται σε αυξημένο αερισμό και επιταχύνεται η αναπνοή των μικροοργανισμών, γεγονός που διαταράσσει το φυσικό ισοζύγιο ανταλλαγής CO<sub>2</sub> μεταξύ εδάφους και ατμόσφαιρας. Η παραπάνω διαδικασία οδηγεί στη μείωση των οργανικών ενώσεων, που βρίσκονται στο έδαφος, με τις αρνητικές επιπτώσεις στην δομική σταθερότητα του. Η εξάρτηση της δομικής σταθερότητας από τον άνθρακα συνοψίζεται σε επόμενη ενότητα.[41]

### 1.4 Υγεία του εδάφους και παράγοντες που την επηρεάζουν

Η υγεία του εδάφους είναι ένας όρος που περιγράφει την οικολογική ισορροπία και τη λειτουργικότητα του εδάφους, όπως επίσης και την ικανότητα του να διατηρεί ένα οικοσύστημα με υψηλή βιοποικιλότητα και παραγωγικότητα. Βασίζεται στην ιδέα ότι το έδαφος είναι ένα οικοσύστημα γεμάτο ζωή που πρέπει να διαχειρίζεται προσεκτικά, αποφεύγοντας την διαταραχή του, όσο αυτό είναι εφικτό, με σκοπό την διατήρηση της βέλτιστης λειτουργίας του.[13]

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας του εδάφους δεν αρκεί να καθοριστεί η παραγωγή του ή η ποιότητα νερού του, αλλά είναι απαραίτητη η αξιολόγηση διαφόρων δεικτών με ποιοτικές ή ποσοτικές τεχνικές και η σύγκριση αποτελεσμάτων με μετρήσεις διαφορετικού χρόνου ή/και χώρου. Οι δείκτες αυτοί αποτελούν μετρήσιμες ιδιότητες του εδάφους ή ακόμη μορφολογικά και οπτικά χαρακτηριστικά.

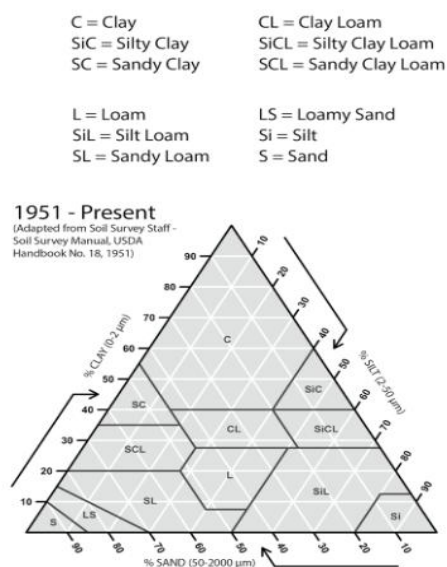
Οι τρεις βασικές παράμετροι χαρακτηρισμού της υγείας του εδάφους είναι φυσικοί, χημικοί και βιολογικοί και δεν είναι πλήρως ανεξάρτητοι μεταξύ τους, καθώς μια ιδιότητα ή δείκτης μπορεί να επηρεάσει πολλαπλές λειτουργίες. [18]



Εικόνα 1.3 Συνιστώσες της εδαφικής υγείας (πηγή βιβλίο: *Soil health and climate change*)

### 1.4.1 Υφή του εδάφους

Η υφή του εδάφους είναι μια παράμετρος που αποτελείται από τρία κλάσματα που σχηματίζουν την τελική κλάση των εδαφών, η άμμος, η ιλύς και ο άργιλος. Αναλόγως τον συνδυασμό των τριών κλασμάτων προσδιορίζεται και η υφή του. Σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα USDA υπάρχουν δώδεκα κλάσεις του εδάφους που κάθε μια έχει την θέση της στο ισοσκελές τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών.[38]



Εικόνα 1.4 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα USDA  
(Πηγή [University of Minnesota Soil Judging Team: The Historical Development of the USDA textural triangle](#))

Τα αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων, ενώ επικρατούν καλές συνθήκες αερισμού και στράγγισης για την ανάπτυξη των φυτών, λόγω της μεγάλης ταχύτητας διάχυσης του νερού. Αντιθέτως, τα αργιλώδη εδάφη έχουν αυξημένη δυνατότητα συγκράτησης και δυσμενείς συνθήκες αερισμού, συγκριτικά με το αμμώδες έδαφος. Τα εδάφη με υψηλό ποσοστό ιλύς έχουν ικανότητα συγκράτησης νερού υψηλή, αλλά μειωμένη όσον αφορά τα θρεπτικά στοιχεία. Οι συνθήκες αερισμού είναι επίσης δυσμενείς.



Εικόνα 1.5 Α: Αμμώδες Β: Αργιλώδες Γ: Έδαφος με υψηλό ποσοστό ιλύς

#### 1.4.2 Θερμοκρασία

Οι τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους είναι αποτέλεσμα του κέρδους και της απώλειας της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης, την διαδικασία της εξάτμισης, την αγωγή θερμότητας μέσω εδαφικού προφίλ και την συναγωγική μεταφορά μέσω της κίνησης του αέρα και του νερού. [14] Επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία των οικοσυστημάτων, καθώς έχει επιπτώσεις στην βλάστηση, την ανάπτυξη των φυτών και την ύπαρξη και δραστηριότητα των μικροοργανισμών.[19] Οι υψηλές τιμές της επιταχύνουν την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και μείωση του λόγου C/N, όπως και την χημική αποσάθρωση των ορυκτών.[14] Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας, επίσης, επηρεάζει την χορήγηση του εδάφους με φυτοπροστατευτικά / λιπάσματα των παρασίτων. [19]

#### 1.4.3 Δομή του εδάφους

Η δομή του εδάφους, αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται σε περιπτώσεις διάβρωσης, ξηρασίας, γεωργικών δραστηριοτήτων ή γενικότερης διατάραξης του. Οι ενδογενείς παράγοντες που μπορεί να μεταβάλλουν την σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους είναι η ποσότητα του αργίλου, τα προσροφημένα κατιόντα και τα περιεχόμενα σε οξείδια του σιδήρου, ενώ στους δυναμικούς παράγοντες επιρροής ανήκει η οργανική ύλη και η βιολογική δραστηριότητα. Στην πρώτη κατηγορία, οποιαδήποτε μεταβολή μπορεί προκαλέσει ρωγμές στη μάζα του εδάφους, και στην περίπτωση αλλαγής δυναμικών παραγόντων μπορεί να επηρεαστούν οι ρυθμοί αποσύνθεσης. Συνολικά, οι αλλαγές στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων αποτελούν πρώιμους δείκτες ανάταξης ή υποβάθμισης του εδάφους και επηρεάζουν άμεσα την υγεία του, καθώς είναι ο παράγοντας που «ελέγχει» την κίνηση του νερού και του αέρα στο υπέδαφος. [10]

#### 1.4.4 Εδαφική οργανική ύλη – Soil organic matter (SOM)

Η εδαφική οργανική ύλη αποτελεί θεμελιώδη συστατικό, από τον οποίο εξαρτώνται και άλλες βιολογικές διεργασίες. Η οργανική ύλη μπορεί να διατηρηθεί καλύτερα αποφεύγοντας τις συμβατικές γεωργικές μεθόδους, την άσκοπη διαταραχή του εδάφους και την εφαρμογή της αμειψισποράς, όπως η εναλλαγή καλλιεργειών από σιτηρά σε ψυχανθή, καθώς επίσης με την προσθήκη κόμποστ ή/και ζωικής κοπριάς. [13]

Η οργανική ύλη του εδάφους απαρτίζεται από ζωντανά και μη ζωντανά στοιχεία, με τη μικροβιακή βιομάζα να αποτελεί το έμβιο συστατικό του οργανικού υλικού. Το μη ζωντανό οργανικό υλικό του εδάφους μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα ετερογενές μείγμα ύλης, αναλόγως το βαθμό αποδόμησης του, τη φυσική του σύσταση (βαριά ή ελαφριά κλάσματα), τα χημικά του συστατικά (πρωτεΐνες, λιπίδια κλπ) και τις μορφές των οξέων (πχ χουμικό).

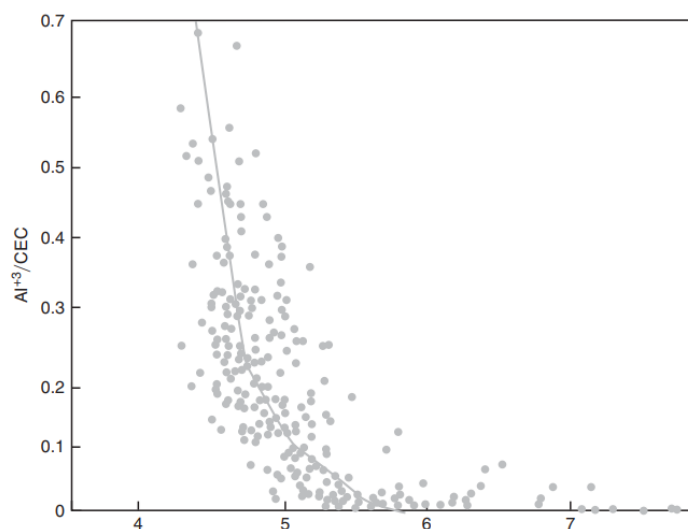
Τα βασικά στοιχεία που βρίσκονται στην οργανική ύλη του εδάφους είναι ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το θείο (S) και το απόθεμα του εξαρτάται από το ισοζύγιο εισροών και εκροών. Οι εισροές, όπως προαναφέρθηκε, προέρχονται κυρίως από την υπέργεια βιομάζα και την προσθήκη οργανικών υποστρωμάτων,

ενώ οι εκροές αναφέρονται κυρίως στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, στην διάβρωση και την απορροή. [39]

#### 1.4.5 pH

Το pH εκφράζει την ενεργότητα των ιόντων H, τα οποία συνήθως είναι εφυδατωμένα με ένα μόριο νερού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στα διαλύματα με τη μορφή ιόντων υδροξωνίου ( $H_3O^+$ ). Η τιμή του επηρεάζει άμεσα την ύπαρξη ή μη των μικροθρεπτικών στοιχείων Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo και φυσικά του P. [11], τη γονιμότητα του εδάφους και την παραγωγή βιομάζας.[13] Οι συνθήκες του εδάφους, όσον αφορά το pH, δεν υπόκεινται σε ταχείες μεταβολές, λόγω παραγόντων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όμως αυτοί θα επηρεάσουν συντελεστές όπως την ύπαρξη θρεπτικών στοιχείων και οργανικής ύλης και κατ' επέκταση θα επηρεαστούν οι τιμές του pH. [1].

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οργανικού C, η οποία επηρεάζει την διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων, ελέγχεται από το pH του εδάφους. Τα σωματίδια του εδάφους έχουν αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες, οι οποίες όμως σε χαμηλές τιμές pH χάνουν μέρος του αρνητικού τους φορτίου και έτσι τα θετικώς φορτισμένα θρεπτικά στοιχεία δεν προσροφώνται εύκολα στο έδαφος. Αυτό τα καθιστά άμεσα διαθέσιμα στα φυτά, γεγονός που σε υπερβολικό βαθμό μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητες (κυρίως για Al & Mn). Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του pH όταν ξεπερνά το εύρος του ορίου προσρόφησης οδηγεί σε υπερβολική μείωση διαλυτότητας των θρεπτικών, οδηγώντας σε χαμηλές συγκεντρώσεις αυτών στο έδαφος.[42]



Εικόνα 1.5 Όσο το pH αυξάνεται η διαλυτότητα του  $Al^{+3}$  μειώνεται  
(πηγή: Thomas and Hargrove, 1984, Soil Acidity and Liming)



Εξίσου σημαντική, είναι η επίδραση του pH στην μικροβιακή δραστηριότητα. Ακραίες τιμές pH μπορεί να προκαλέσουν απώλεια βιωσιμότητας σε βακτήρια και μύκητες, ενώ ακόμη μπορεί να απενεργοποιήσουν τη δράση των ενζύμων που διασπούν την οργανική ύλη (πχ ουρεάση). Εκτός από τον άμεσο αυτό τρόπο επιρροής του pH στην μικροβιακή δραστηριότητα, υπάρχει και ο έμμεσος που σχετίζεται με την αλυσιδωτή σχέση των θρεπτικών συστατικών και των μικροοργανισμών, αφού η έλλειψη θρεπτικών εμποδίζει λειτουργίες όπως η κυτταρική ανάπτυξη.[43]

#### 1.4.6 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ή διαπερατότητα αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ιδιότητα εξαρτάται άμεσα από την υγρασία και την ποσότητα των διαλυμένων ιόντων, όπως το Na και το K, στο εδαφικό διάλυμα. Στην εδαφολογία χρησιμοποιείται και ως μέτρο αλατότητας, ενώ οι μετρήσεις της μεταβάλλονται με την αλλαγή της θερμοκρασίας του νερού στο έδαφος και έχει παρατηρηθεί ότι στα αμμώδη εδάφη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα αργιλικά. [40]

Η EC δεν μεταβάλλει άμεσα τις ιδιότητες του εδάφους, αλλά λειτουργεί ως δείκτης φυσικοχημικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την υγεία του εδάφους και την ανάπτυξη των φυτών. Για παράδειγμα, οι υψηλές μετρήσεις της επισημαίνουν την υψηλή συγκέντρωση αλάτων ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ), η οποία μειώνει την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν νερό εξαιτίας της ώσμωσης. Ακόμη, ο δείκτης EC δίνει πληροφορίες για α) την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό β) τα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία του γ) την ισορροπία των ιόντων και των χημικών αντιδράσεων στο έδαφος και δ) για την κατάλληλη διαχείριση της άρδευσης [17]

### 1.5 Ο βιογεωχημικός κύκλος του οργανικού C

Το ατμοσφαιρικό  $\text{CO}_2$  αντιπροσωπεύει την κύρια φάση στον κύκλο του C πάνω στον πλανήτη, ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά από δεξαμενές στη βιόσφαιρα της Γης, οι οποίες συνδέονται με ανταλλαγή των ροών του άνθρακα και διακρίνεται σε δυο κατηγορίες : στον γρήγορο και στον αργό κύκλο του C. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσεται η μεγάλη ανταλλαγή ροών του άνθρακα με την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς και το έδαφος, ενώ στη δεύτερη οι τεράστιες αποθήκες C που βρίσκονται στα πετρώματα, στα ιζήματα, στους υδρογονάνθρακες και ανταλλάσσει C με το επιφανειακό σύστημα της γης.

Η ροή C αποδίδεται σε φυσικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις. Ειδικότερα, οι φυσικές διεργασίες που εμπλέκονται στον κύκλο του είναι η φωτοσύνθεση και η κυτταρική αναπνοή. Κάθε κύτταρο χρειάζεται να αναπνεύσει για να παραγάγει την ενέργεια που χρειάζεται, αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως κυτταρική αναπνοή, όπου κατά τη διάρκεια της οποίας παράγεται σε ενέργεια και  $\text{CO}_2$  που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

### 1.5.1 Ανόργανος Άνθρακας (IC)

Ο ολικός άνθρακας (TC) του εδάφους χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τον οργανικό (Soil Organic Carbon ,SOC) και τον ανόργανο (Soil Inorganic Carbon, SIC). Ο IC εμφανίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανθρακικά άλατα, όπως το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και τον δολομίτη ( $\text{MgCO}_3$ ), ενώ τα εδάφη με το μεγαλύτερο ποσοστό IC είναι τα ξηρά και αυτά που σχηματίζονται πάνω σε ασβεστολιθικά γονικά υλικά. Εν συνεχεία, το SIC ταξινομείται περεταίρω σε 3 κατηγορίες. Τα Λιθογενή ανθρακικά άλατα, όπου προέρχονται από ασβεστολιθικά μητρικά υλικά, τα Βιογενή που σχηματίζονται μέσα σε έμβιους οργανισμούς ως μέρος του σκελετού ή των μελών του σώματος τους και τα Πεδογενή που σχηματίζονται αυτογενώς στα εδάφη.[5]

### 1.5.2 Οργανικός Άνθρακας (OC)

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα, τα εδάφη έχουν ικανότητα να αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες οργανικής ουσίας (SOM), οι οποίες βοηθούν στην παροχή πολλαπλών οικοσυστημικών υπηρεσιών. Πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι μεταξύ 2.334 έως σχεδόν 3.000 PgC οργανικού C είναι αποθηκευμένα στο έδαφος, όταν συμπεριλαμβάνονται τα βαθύτερα στρώματα.[26] Αυτός ο υπάρχων εδαφικός OC θεωρείται ιδιαίτερα ευάλωτος στην κλιματική αλλαγή, με πιθανή συνέπεια την αύξηση στις ροές  $\text{CO}_2$  από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα λόγω αύξησης της θερμοκρασίας. Για την καλύτερη κατανόηση του SOM, έπεται από μελέτες, υπήρξε ευρεία συμφωνία για την ανάγκη διαχωρισμού των συνολικών αποθεμάτων SOM σε συνιστώσες με διαφορετική συμπεριφορά. Τέτοιες μορφές αποτελούν η σωματιδιακή οργανική ύλη (POM) και η οργανική ύλη που βρίσκεται προσροφημένη στην στερεά φάση του εδάφους (MAOM), οι οποίες έχουν διαφορετικές ιδιότητες. [25]

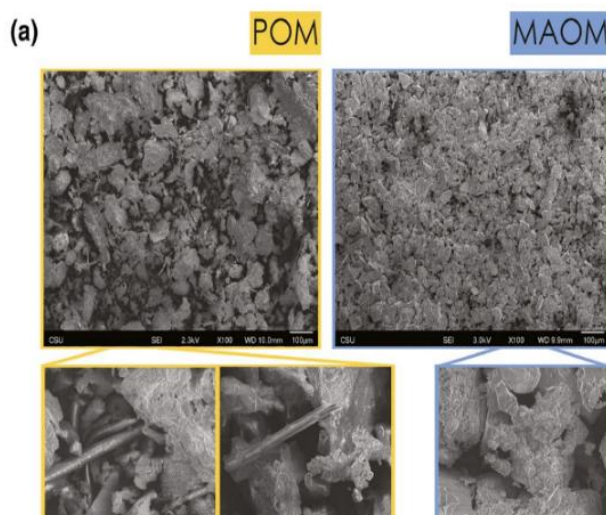
Το POM αποτελείται από πολυμερείς δομικές ενώσεις κυρίως φυτικής προέλευσης, περιέχει πολλές δομικές ενώσεις C με χαμηλή περιεκτικότητα σε N και παραμένει στο έδαφος μέσω εγγενούς βιοχημικής ανακλητότητας, φυσικής προστασίας σε συσσωματώματα ή/και μικροβιακής αναστολής. Είναι σχετικά βραχύβιο, με μέσους χρόνους παραμονής να εκτιμώνται από μερικά χρόνια μέχρι δεκαετίες. Όταν δεν προστατεύεται σε συσσωματώματα, η διάρκεια παραμονής του ελέγχεται από τη βιοχημική του ανθεκτικότητα και την αναστολή της μικροβιακής δραστηριότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το POM να είναι εξαιρετικά ευάλωτο στις περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως η θέρμανση ψυχρών και παγωμένων εδαφών ή η αποξήρανση των υγροτόπων. Αυτό το, συνήθως, ασταθές κλάσμα αποτελεί πηγή ενέργειας και θρεπτικών συστατικών για τους μικροοργανισμούς.[4],[25], [26].

Η συσσώρευση του POM παρατηρείται σε περιοχές με ψυχρότερα κλίματα και σε περιοχές με συχνή υπερβολική υγρασία, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το POM συσσωρεύεται λόγω μικροβιακής αναστολής. Ακόμη, η υψηλή εισροή φυτικών υπολειμμάτων, για παράδειγμα στα κωνοφόρα δάση, συνδυαστικά με τη μικροβιακή αναστολή που αποδίδεται στο κλίμα, συμβάλλουν επίσης στη συσσώρευση C κυρίως υπο μορφή POM. [25]

Το MAOM αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, που σχηματίζονται, κυρίως, από την αποτελεσματική μικροβιακή επεξεργασία των ευδιάλυτων φυτικών εισροών, που είναι πλουσιότερες σε N, και παραμένει στο έδαφος λόγω χημικής σύνδεσης με τα ορυκτά και φυσικής προστασίας σε μικρά συσσωματώματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής του MAOM στο έδαφος να είναι της τάξης των δεκαετιών

έως αιώνων με χαμηλότερη ευπάθεια σε διαταραχές και περιβαλλοντικές αλλαγές από ό,τι το POM.

Τα εδάφη με χαμηλό περιεχόμενο σε C παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό σε MAOM, καθώς οι ενώσεις με ορυκτά παρέχουν ισχυρή προστασία στην οργανική ύλη. Η συγχώνευση του MAOM εξαρτάται από την συνολική ποσότητα άνθρακα, την υφή του εδάφους, την ποσότητα του N και το pH, γεγονός που υποδεικνύει ότι το MAOM εξαρτάται από τις διαθέσιμες μεταλλικές επιφάνειες και την αποτελεσματικότητα της μικροβιακής μετατροπής του άνθρακα.[25], [26]



Εικόνα 1.6 Από σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM, αριστερά) και οργανικής ύλης συνδεδεμένης με ορυκτά (MAOM, δεξιά)

## 1.6 Θρεπτικά στοιχεία

Η διερεύνηση των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη και την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών ξεκίνησε στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Σήμερα, είναι πλέον γνωστό, ότι το μεγαλύτερο μέρος του φυτού (92-95%) αποτελείται από C, O<sub>2</sub> και H, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό από άλλα 14 απαραίτητα ανόργανα στοιχεία. Τα πιο βασικά από αυτά είναι τα εξής 6: N, P, K, S, Ca και Mg, και καλούνται κύρια θρεπτικά στοιχεία ή μακροστοιχεία. Τα υπόλοιπα βρίσκονται σε μικρές ποσότητες και απαιτήσεις, όπως ο Fe και το Mn, και ονομάζονται ιχνοστοιχεία. [3]

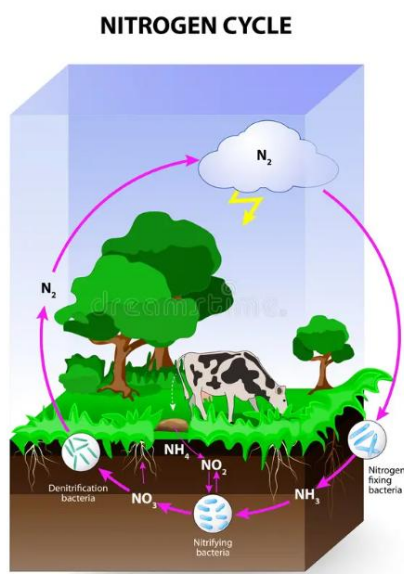
### 1.6.1 Άζωτο

Το N αποτελεί βασικό συστατικό αρκετών ενώσεων των ιστών των φυτών, όπως τα αμινοξέα, τα συνένζυμα, οι πρωτεΐνες. Η ισορροπία του στο έδαφος, όσον αφορά την ποσότητα και την περιεκτικότητα, είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη, την καρποφορία και την αναπαραγωγή του φυτού. Το μοριακό N είναι αδρανές, άοσμο, άγευστο σε αέρια



κατάσταση στοιχείο, κατά την οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το φυτό. Ο τρόπος που δεσμεύεται από το έδαφος θα αναλυθεί παρακάτω.[3]

Σε συνέχεια όσων έχουν ήδη αναφερθεί, τα άτομα του N των πρωτεϊνών, αμινοξέων, αλκαλοειδών κλπ, προκύπτουν από τον κύκλο του, ο οποίος βρίσκεται στα αποθέματα της ατμόσφαιρας. Το N δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα με την διαδικασία της αζωτοδέσμευσης και επιστρέφει με αυτήν της απονιτροποίησης, ενώ μπορεί να υπάρξει σε ενδιάμεσα ή μη στάδια υπό την μορφή των συστατικών  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $NH_4$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_2OH$ . Αν η ποσότητα του N που υπάρχει στο έδαφος είναι εκτός των ορίων επάρκειας μπορεί να αυξήσει την ευπάθεια σε ασθένειες, ειδικά σε εδάφη με υψηλή υγρασία, ενώ σε ξηρά κλίματα μπορεί να εξαντλήσει την υγρασία του εδάφους.[3],[42]



Εικόνα 1.7 Ο κύκλος του N  
[Πηγή: <https://qr.dreamstime.com>]

#### 1.7.1 Ο Ρόλος των Νιτρικών και Αμμωνιακών στο έδαφος

Η αναλογία των νιτρικών ( $NO_3-N$ ) και των αμμωνιακών ( $NH_4-N$ ) στο έδαφος είναι καίριος παράγοντας προσδιορισμού της υγείας του εδάφους. Διαταραχές στην ισορροπία των συγκεντρώσεων μπορούν να επηρεάσουν τη γονιμότητα, τη βιολογική δραστηριότητα αλλά και τη χημεία και τη δομή του εδάφους.

Τα  $NO_3-N$  είναι χρήσιμες ενώσεις για την ανάπτυξη, τη φωτοσύνθεση και την σύνθεση πρωτεϊνών στα φυτά. Πριν τα φυτά μπορέσουν να τα απορροφήσουν, με σκοπό να τα χρησιμοποιήσουν σε διεργασίες όπως η φωτοσύνθεση ή η πρόσληψη θρεπτικών, πρέπει πρώτα να μετατρέψουν μια ποσότητα τους σε  $NH_3$ . Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω δύο ενζυματικά καταλυόμενων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στις ρίζες ή/και στα φύλλα των φυτών. Αν η συγκέντρωση των  $NO_3-N$  είναι υπερβολική, δεν μπορεί να απορροφηθεί από

τα φυτά και ξεπλένεται προς τα υπόγεια ύδατα, όπου ακολούθως μπορεί να εξελιχθεί σε ρύπανση των πηγαδιών και των υπόγειων υδροφορέων, είτε να ενισχύσει την απονιτροποίηση, άρα την απελευθέρωση  $N_2O$  στην ατμόσφαιρα και να συμβάλει στο

φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αν το φαινόμενο συνεχίσει να υπάρχει, μακροπρόθεσμα αυξάνει την οξύτητα του εδάφους, λόγω της έκκρισης  $H^+$  κατά την απορρόφηση των  $NO_3-N$ , και εμφανίζονται έτσι τα χαρακτηριστικά των όξινων εδαφών που έχουν αναλυθεί στην ανάλυση της παραμέτρου του pH. Ενώ αν η συγκέντρωσή τους είναι κάτω του ορίου, οδηγεί σε επιβράδυνση όλων των μεταβολικών διεργασιών, η ποιότητα των προϊόντων παραγωγής καταλήγει να είναι υποβαθμισμένη.

Η αυξημένη συγκέντρωση  $NH_4-N$  οδηγεί σε άμεση μείωση του pH του εδάφους, σε αντίθεση με την περίπτωση των  $NO_3-N$  όπου η όξυνση είναι δευτερογενής. Αυτό συμβαίνει επειδή τα θετικά φορτισμένα ιόντα  $NH_4^+$  προσροφώνται άμεσα από το έδαφος εκτοπίζοντας βασικά κατιόντα όπως το  $K^+$  και το  $Ca^{+2}$ . Το κλάσμα των  $NH_4-N$  που μετατρέπεται σε  $NH_3$ , όταν βρίσκεται σε περίσσεια μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα του εδάφους, λόγω της ανασταλτικής δράσης της σε πολλούς μικροοργανισμούς. [42],[3]

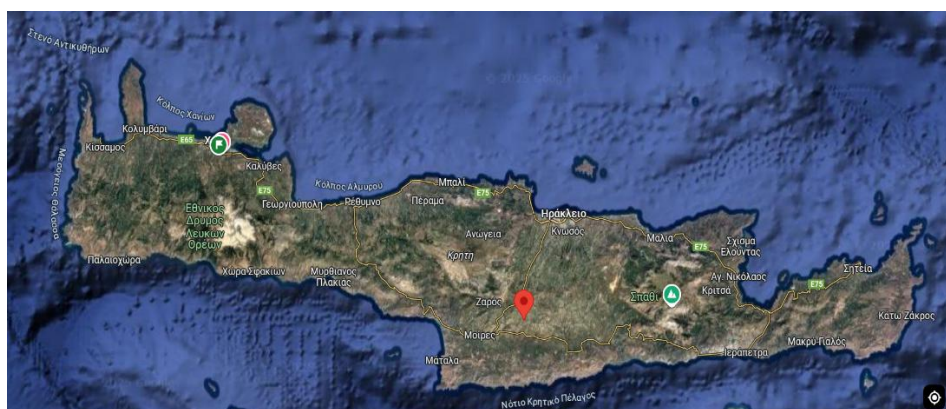
### 1.8 Αντικείμενα εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση δυο μεθόδων διαχείρισης του εδάφους, της συμβατικής κατεργασίας και της μη κατεργασίας του εδάφους. Η μη κατεργασία αποτελεί κύρια πρακτική για την αποκατάσταση της ποιότητας του εδάφους και είναι ευρύτερα διαδεδομένη στη Β Ευρώπη, στις ΗΠΑ και την Ασία. Ωστόσο τα δεδομένα για την μη κατεργασία του εδάφους σε περιοχές με ξηρό κλίμα παραμένουν περιορισμένα. Για την αξιολόγηση των επιδράσεων της μη κατεργασίας του εδάφους στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του επιλέχθηκε ένας ελαιώνας και δείγματα εδάφους ελήφθησαν από διαφορετικά βάθη και θέσεις. Η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους, αποσκοπεί στην ανάδειξη της σημασίας των πρακτικών διαχείρισης για την προστασία του και την αποφυγή της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω της δημιουργίας κατάλληλων συνθηκών που ευνοούν τη συσσώρευση οργανικού C.

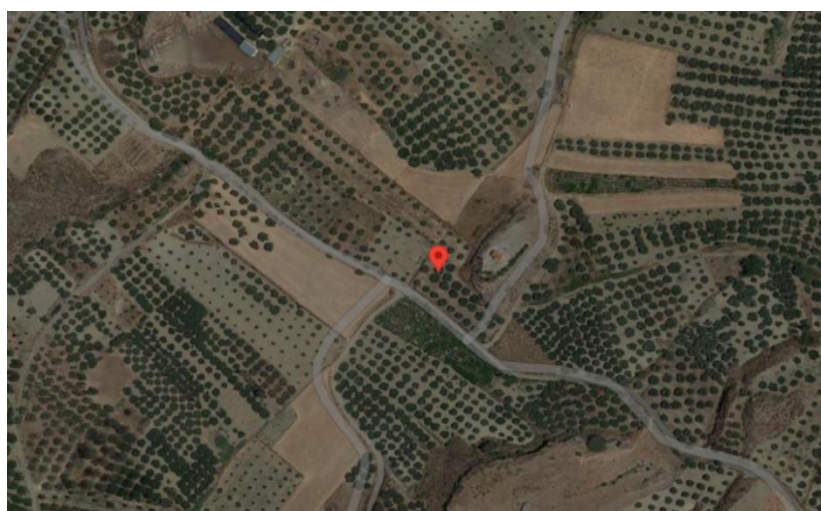
### 3. Υλικά και Μέθοδοι

#### 3.1 Περιοχή μελέτης και δειγματοληψίες

Για την εκπόνηση του πειράματος συλλέχθηκαν δείγματα από έναν ελαιώνα στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης συγκεκριμένα στον Ν. Ηρακλείου σε υψόμετρο 357m. Το κλίμα της περιοχής προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του εύκρατου μεσογειακού, όπου οι χειμερινοί μήνες είναι ήπιοι με υψηλές υγρασίες, ενώ οι θερινοί μήνες να έχουν υψηλές θερμοκρασίες σχεδόν χωρίς καθόλου βροχοπτώσεις. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται στο ύψος των 431 ως 4640mm, η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18°C και η μέση ετήσια διάρκεια ηλιοφάνειας είναι 2785 ώρες. (Εικ. 3.1 & 3.2)



Εικόνα 3.1 Τοποθεσία της δειγματοληψίας 35°09'02.8'' N, 25°01'71.1'' E



Εικόνα 3.2 Μορφολογία εδάφους της περιοχής δειγματοληψίας

Ο ελαιώνας φυτεύτηκε το 2002 και από το 2021 έχει στραφεί κατά το ήμισυ στη μη κατεργασία του εδάφους, με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση της στην αποκατάσταση της υγείας του εδάφους και την δέσμευση του OC. Επομένως τα μισά δείγματα που έχουν συλλεχθεί είναι από το μέρος του ελαιώνα που έχουν δεχθεί κατεργασία και τα υπόλοιπα είναι από το μέρος του ελαιώνα που εφαρμόζονται πρακτικές αποκατάστασης του εδάφους.

Τον Νοέμβριο του 2024 συλλέχθηκαν δείγματα από τις δύο μεταχειρίσεις (6 ανά μεταχείριση). Τα σημεία δειγματοληψίας περιλαμβάνουν διαφορετικά βάθη (10,20,40 & 60cm) και θέσεις (στην κόμη του δένδρου είτε ανάμεσα από τις γραμμές), οπότε συνολικά 48 δείγματα εδάφους.

### 3.2 Πρωτόκολλο πειραματικών μετρήσεων

#### pH

Για τον προσδιορισμό του pH χρησιμοποιήθηκε το όργανο Orion Star™ A211 pH-Benchtop Meter, της εταιρίας Thermo Scientific. Σε σωληνάρια των 40ml τοποθετήθηκαν 10g εδάφους και αναμείχθηκαν με 25ml CaCl<sub>2</sub> (0,01mol/l) για 1 ώρα. Έπειτα αφέθηκαν σε ηρεμία για 30min και πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του pH.

#### Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η διαδικασία για την μέτρηση της EC είναι ίδια με αυτή της μέτρησης του pH, με την χρήση του οργάνου Multi 3510 IDS

#### Ολικό Άζωτο και Ολικός άνθρακας

Οι μετρήσεις έγιναν στο εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης του εδάφους με τη χρήση του οργάνου multi N/C 2100S της Analytik Jena, με ανιχνευτές NDIR για τον υπολογισμό του C και CLD για το άζωτο. Ο διαχωρισμός οργανικού και ανόργανου άνθρακα έγινε με τον τύπο:

$$TIC = TC - TOC$$

#### Νιτρικό και Αμμωνιακό

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο έδαφος χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

- Αναδευτήρας οριζόντιου τύπου, Gerhardt
- Φυγοκεντρικό μηχάνημα, Thermo Scientific μοντέλο: Hereas Pico 21
- Φούρνος (37°C)
- Φασματοφωτόμετρο, Perkin Elmer μοντέλο: Lambda 25

και τα χημικά αντιδραστήρια:

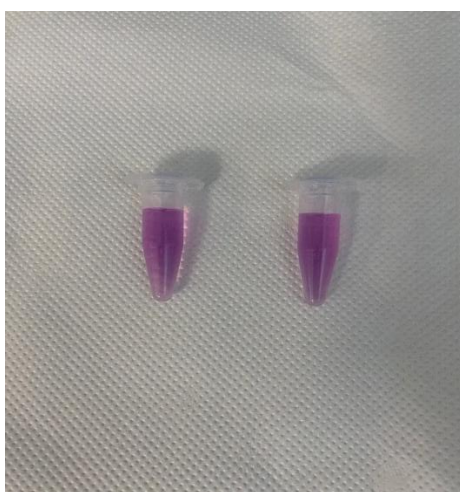
- Vanadium (iii) chloride, 32g σε 1ml HCL[1M]
- Sulfanilamide, 10g σε 150ml HCl [3M] και 850 ml d. H<sub>2</sub>O
- N-(1-naphtyl) ethylene diamine- dihydride chloride (NED), 200mg σε 1000ml d. H<sub>2</sub>O

Αρχικά σε δοχεία 150ml προστέθηκαν 1,75g εδάφους και 10,5ml απιονισμένου νερού (d.H<sub>2</sub>O), τα οποία τοποθετήθηκαν στον αναδευτήρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 15min. Στη συνέχεια με τη χρήση πιπέτας μεταφέρθηκε 1ml των δειγμάτων σε erpendorfs, τα οποία φυγοκεντρήθηκαν για 3min στα 10.000xg. Από αυτά χρησιμοποιήθηκε ποσότητα του 1μl.



Εικόνα 3.2 Φυγοκεντρίμενα δείγματα του ενός ml

Στα δείγματα προστέθηκαν με την ακόλουθη σειρά : 100 μl Vanadium, 500μl Sulfanilamide και 500μl NED και διατηρήθηκαν σε σταθερές συνθήκες στον φούρνο στους 37°C για 1h. Τέλος, ο φωτομετρικός προσδιορισμός τους έγινε στα 540nm.



Εικόνα 3.3 Τελικά δείγματα Νιτρικών



Η διαδικασία για τον προσδιορισμό της αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) είναι παρόμοια με αυτή των νιτρικών. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ίδια που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Υλικά:

- 10g Trisodium Citrate (Sigma Aldrich S1804) & 10g Sodium Salicylate (Sigma Aldrich S3007) σε κατάλληλο όγκο d.  $\text{H}_2\text{O}$  και προστίθενται 35ml  $\text{NaOH}$  [2M], το μείγμα θερμαίνεται μέχρι να διαλυθεί πλήρως και ξεκουράζεται.
- Sodium nitroprusside, 100mg σε 10ml d.  $\text{H}_2\text{O}$
- Sodium hypochloride, 100ml με 942μl  $\text{NaOH}$  [2M]
- KCL [2M]

Χρησιμοποιώντας την ίδια ποσότητα μάζας και απιονισμένου νερού όπως στην διαδικασία προσδιορισμού των  $\text{NO}_3\text{-N}$ , προστέθηκαν επιπλέον 1,54g KCL [2M] και έπειτα τα δείγματα αναδεύτηκαν για 1h. Για την φυγοκέντρωση χρησιμοποιήθηκαν 2ml, ενώ τελικά από τα φυγοκεντρίμενα δείγματα χρησιμοποιήθηκε 1ml. Στη συνέχεια προστίθενται 200μl salicylate solution, 20μl nitroprusside και sodium hypochloride και αφήνονται σε ηρεμία για 1h σε θερμοκρασία δωματίου πριν το φωτομετρικό προσδιορισμό τους στα 697nm.



Εικόνα 3.4 Τελικά δείγματα αμμωνιακών

#### Διαχωρισμός οργανικού υλικού εδάφους (POM & MAOM)

Είναι η διαδικασία κατά την οποία διαχωρίζονται τα κλάσματα POM & MAOM.

Για την διεκπεραίωση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν:

- Αναδευτήρας
- Φούρνος (61°C)
- Κόσκινο (0,056 & 0,250mm)
- Χωνιά διήθησης
- Φίλτρα διήθησης, 2 μεγεθών
- Πλαστικά δοχεία

Χημικά αναλώσιμα:

- Hexametaphosphate or Sodium polytungstate solution (SHMP) [0,5M]
- Glassbeates
- d. H<sub>2</sub>O

Σε falkons χωρητικότητας 50ml προστέθηκαν 5g δείγματος εδάφους, 25ml SHMP και 12 glass beats, τα οποία τοποθετήθηκαν στον αναδευτήρα για 18h. Μετά το πέρας του διαστήματος αυτού, ακολούθησε διαχωρισμός του μείγματος από κόσκινο 0,055mm. Το πρώτο κλάσμα, αυτό που δεν διαπέρασε το κόσκινο αντιστοιχεί στο POM. Το κόσκινο έπειτα καθαρίστηκε καλά με απιονισμένο νερό, ώστε να μην υπάρχουν υπολείμματα κλάσματος, και έπειτα το POM διηθήθηκε από φίλτρα για να διαχωριστεί από το νερό.

Η ποσότητα που πέρασε αρχικά από το κόσκινο είναι το κλάσμα MAOM, το οποίο πέρασε και αυτό από φίλτρο για τον διαχωρισμό του από το νερό.



Εικόνα 3.5 Διαχωρισμός κλασμάτων POM-MAOM με φίλτρα διήθησης.

Όταν έχει διαχωριστεί πλήρως το κλάσμα από την υγρασία, τα δείγματα τοποθετούνται στον φούρνο για ξήρανση στους 61°C για περίπου 2 ημέρες. Στη συνέχεια, τα αποξηραμένα δείγματα λειοτριβούνται στο γουδί και περνούν από το κόσκινο 0,250mm, ώστε να αποκτήσουν μορφή «πούδρας» και φυλάσσονται σε zip-lock bags.



*Εικόνα 3.6 Κατά τη διαδικασία που λειώνονται τα δείγματα στο γουδί*

Στη συνέχεια τα δείγματα αναλύθηκαν με την χρήση του SSM-5000A Shimadzu στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μηχανικής και Διαχείρισης για τον υπολογισμό της διαφοράς μεταξύ ολικού άνθρακα (TC) και του ανόργανου (IC), υπολογίζοντας έτσι τον ολικό άνθρακα με τον τύπο:

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

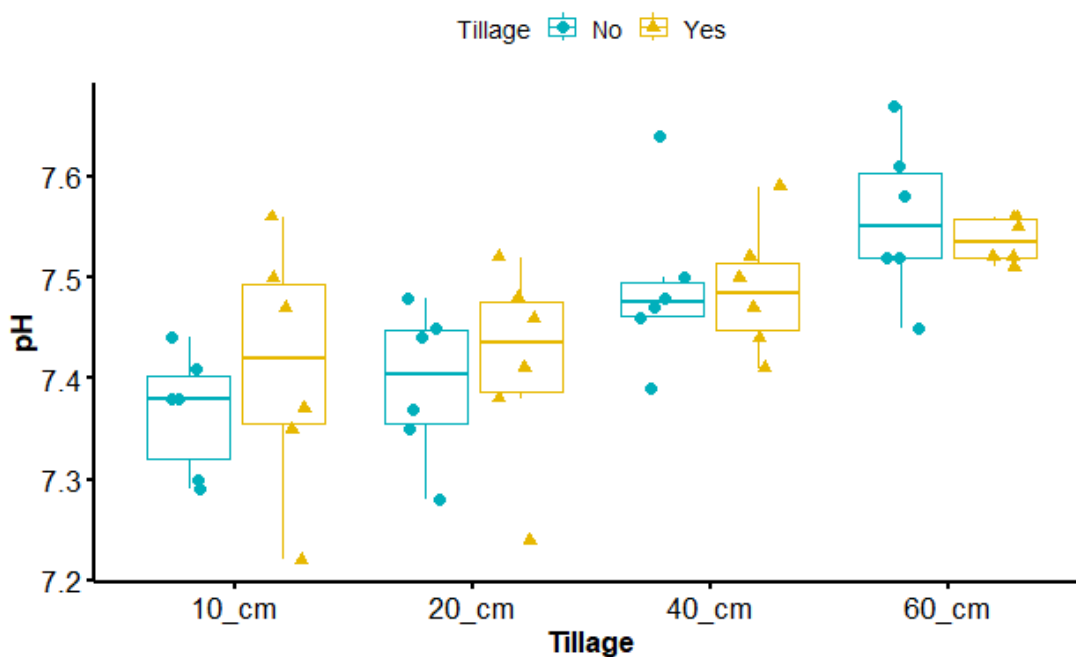


#### 4. Αποτελέσματα

Στις ενότητες που ακολουθούν συνοψίζεται η επίδραση της κατεργασίας του εδάφους σε βασικές χημικές και φυσικές παραμέτρους.

##### 4.1 pH

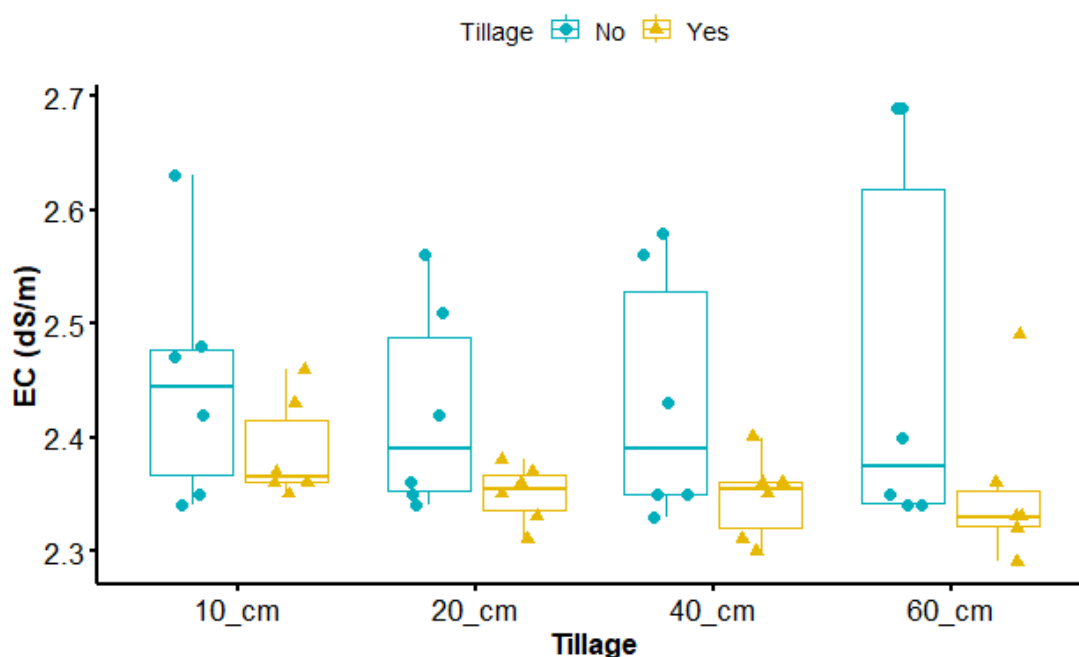
Οι τιμές του pH (Διάγρ 4.1) και στις δυο μεθόδους διαχείρισης του εδάφους έχουν μια τάση αύξησης με την αύξηση του βάθους. Πιο συγκεκριμένα η συμβατική κατεργασία παρουσιάζει μια πιο ομαλή συνολική άνοδο, με μεγαλύτερες όμως διακυμάνσεις αναλύοντας κάθε βάθος ξεχωριστά. Στην περίπτωση της μη κατεργασίας του εδάφους παρατηρείται απότομη άύξηση τιμών στα 40-60cm, ενώ παράλληλα διαπιστώνεται σύγκλιση τιμών μεταξύ των δύο διαχειριστικών μεθόδων.



Διάγραμμα 4.1 Μεταβολή του PH του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

## 4.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

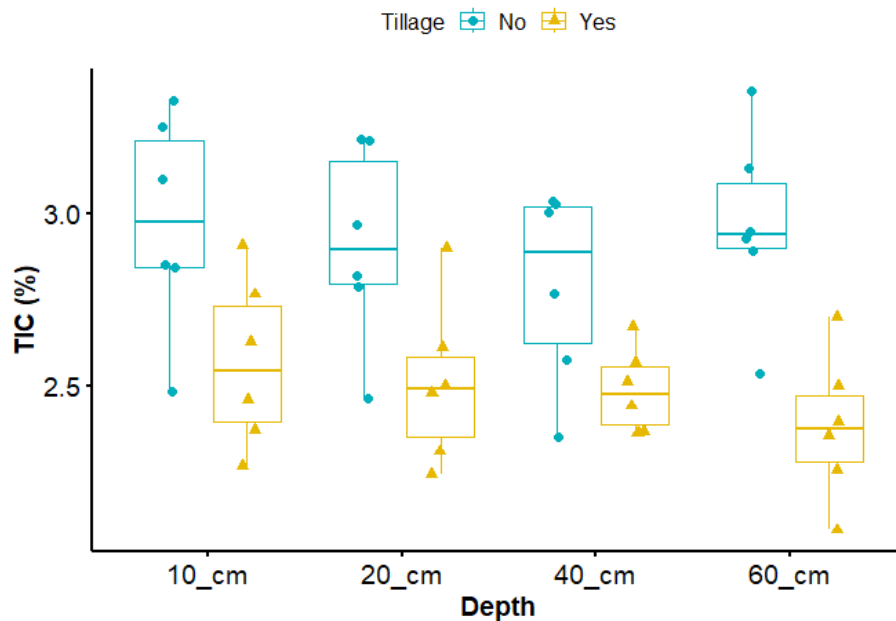
Όπως διαπιστώνεται (Διάγ. 4.2), στην περίπτωση των δειγμάτων που ελήφθησαν από την μεταχείριση όπου το έδαφος δεν έχει δεχθεί κατεργασία, σημειώνεται μεγάλη διακύμανση τιμών συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που μετρήθηκαν στην μεταχείριση όπου το έδαφος είχε δεχθεί κατεργασία. Η επεξεργασία του εδάφους παρουσιάζει τιμές με λιγότερες διακυμάνσεις, ήπια μείωση με το βάθος και σταθερά μικρότερες συγκριτικά με την προηγούμενη πρακτική.



Διάγραμμα 4.3 Μεταβολή του EC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

## 4.3 TIC

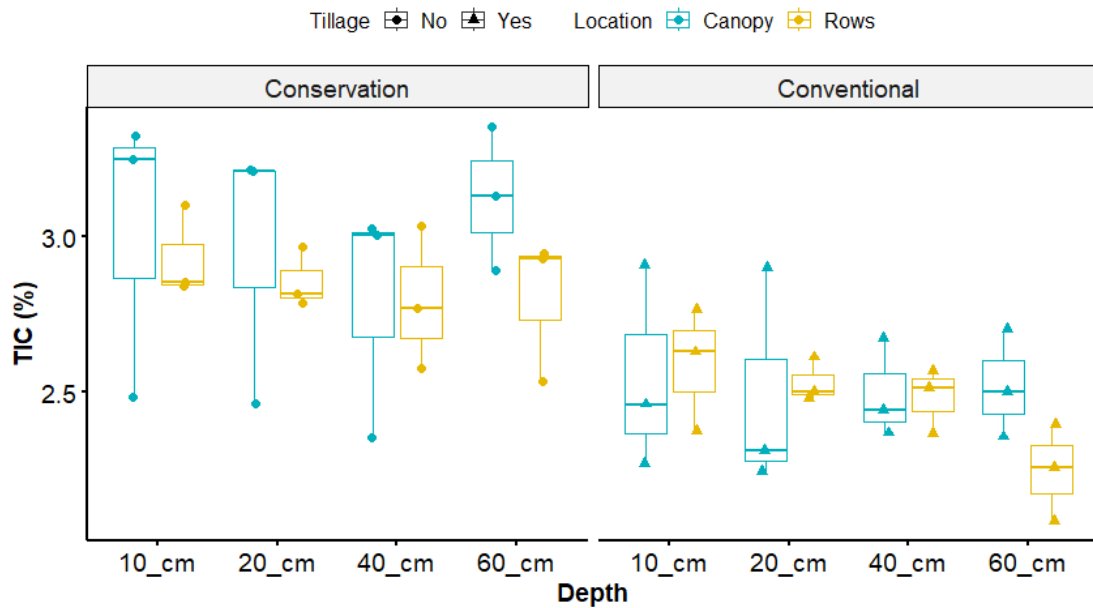
Η εφαρμοσμένη πρακτική διαχείρισης του εδάφους είχε σημαντική επίδραση στην συγκέντρωση TIC στο έδαφος. Σύμφωνα με τα δεδομένα (Διάγ. 4.3), υψηλότερες τιμές TIC προσδιορίστηκαν στα σημεία που δεν έχουν δεχθεί κατεργασία, με μικρή μείωση της συγκέντρωσης με το βάθος. Αντίθετα, αύξηση της συγκέντρωσης TIC διαπιστώθηκε στο μεγαλύτερο βάθος στη μεταχείριση που δεν είχε δεχθεί κατεργασία εδάφους.



Διάγραμμα 4.3 Μεταβολή του TIC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

Σχετικά με την επίδραση της θέσης δειγματοληψίας (κόμη ή επί των σειρών), η ανάλυση έδειξε (Διάγ. 4.4) υψηλότερες τιμές στα δείγματα που έχουν ληφθεί κάτω από την κόμη των δένδρων, στην πρακτική αποκατάστασης, συγκριτικά με αυτές που λήφθηκαν από τις σειρές του αγρού. Στα αρχικά βάθη η συγκέντρωση σταδιακά μειώνεται, ενώ στα 40-60cm αυξάνεται ξεπερνώντας την συγκέντρωση στα 0-10cm.

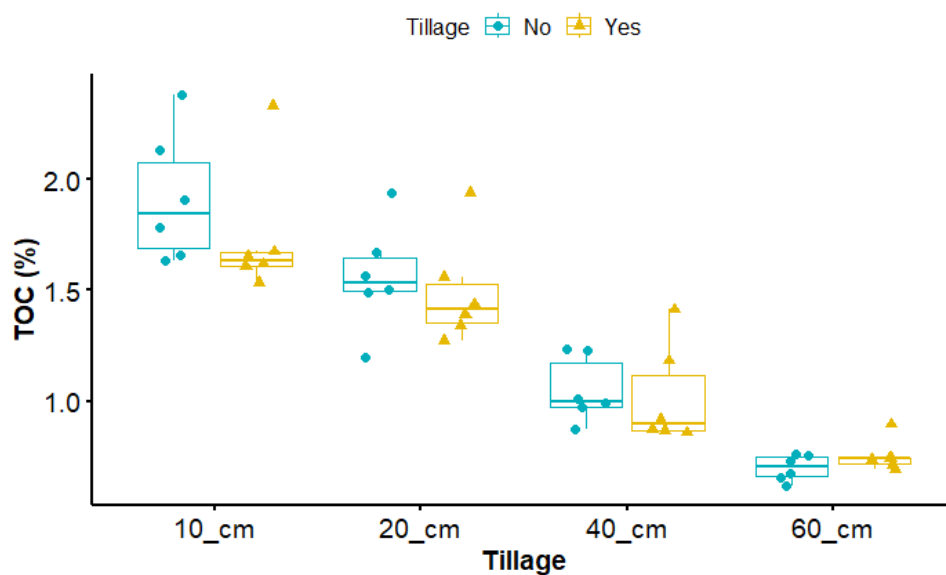
Τα δείγματα από τη συμβατική μέθοδο κατεργασίας που λήφθηκαν από τις διαδρόμους του αγρού παρουσιάζουν συνεχής μείωση με το βάθος, με την μεγαλύτερη μείωση να σημειώνεται στα 40-60cm. Ενώ αντιθέτως, τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την κόμη των ελαιόδενδρων παρουσίασαν ισχυρή διακύμανση, με αρχική μείωση συγκέντρωσης TIC στα 10-20cm και αύξηση στα 20-40 & 40-60cm σε επίπεδα ανάλογα του επιφανειακού στρώματος εδάφους.



Διάγραμμα 4.4 Μεταβολή του TIC του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

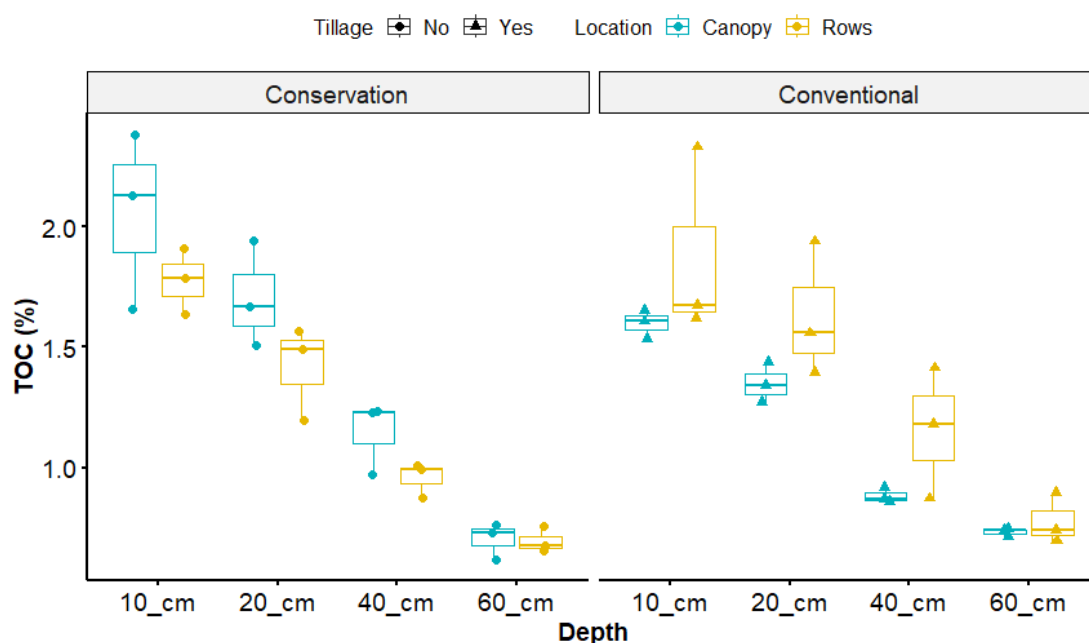
#### 4.4 TOC

Σημαντική επίδραση της κατεργασίας του εδάφους διαπιστώθηκε και στον οργανικό-C (Διάγ. 4.5). Η μη κατεργασία του εδάφους είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του TOC στα 0-10 και 10-20 cm, ενώ δεν διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση στα μεγαλύτερα βάθη (Διάγ. 4.5). Επίσης διαπιστώθηκε μία σημαντική μείωση της συγκέντρωσης TOC με το βάθος ανεξάρτητα μεταχείρισης και θέσης δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 4.5 Μεταβολή του TOC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

Σχετικά με την επίδραση της θέσης δειγματοληψίας, διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση η οποία ωστόσο ήταν συνάρτηση της μεθόδου κατεργασίας. Ειδικότερα, στην μεταχείριση μη κατεργασίας του εδάφους μετρήθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις TOC στα σημεία που βρίσκονται στην κόμη του δένδρου, ενώ στη μεταχείριση που δέχθηκε κατεργασία διαπιστώθηκε μία αντίθετη τάση (Διαγ. 4.6).



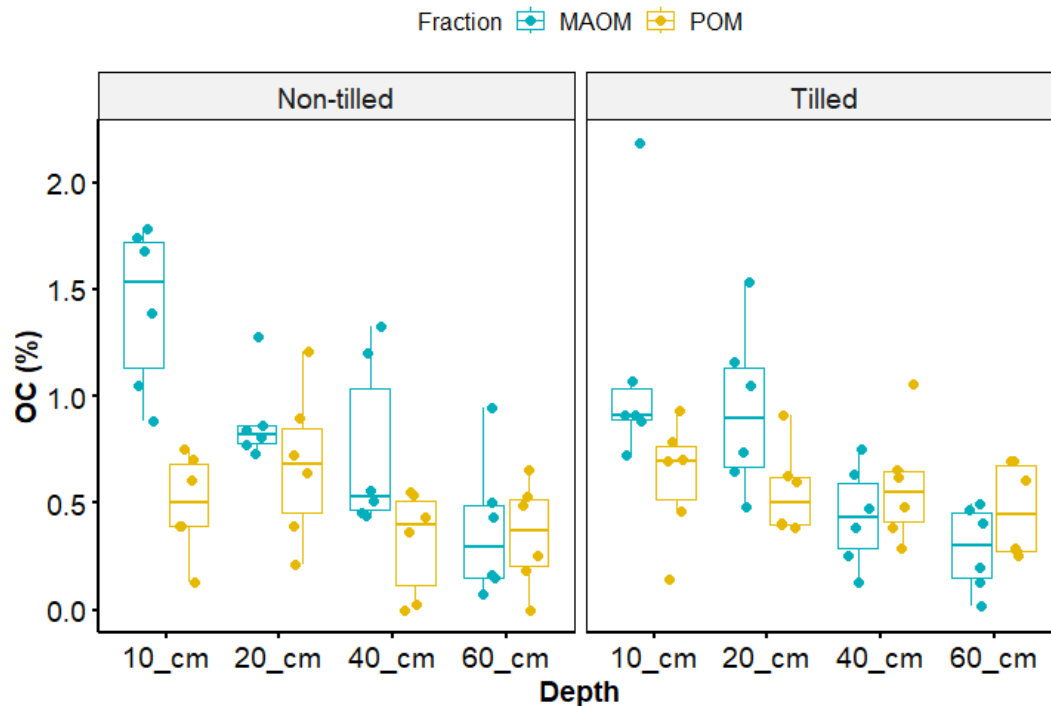
Διάγραμμα 4.6 Μεταβολή του TOC του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

#### 4.5 MAOM – POM

Η μέθοδος της μη κατεργασίας του εδάφους επηρέασε σημαντικά την συγκέντρωση του κλάσματος MAOM στα επιφανειακά στρώματα, καθώς σημειώνονται μεγαλύτερη συγκέντρωση συγκριτικά με την μέθοδο όπου το έδαφος έχει δεχθεί κατεργασία (Διάγ. 4.7). Η συγκέντρωση του κλάσματος MAOM μειώνεται σταδιακά με το βάθος, ενώ το κλάσμα του POM παρουσιάζει μια αύξηση στα 10-20cm.

Στα δείγματα της μεθόδου κατεργασίας του εδάφους, οι τιμές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, με τις αποκλίσεις των τιμών στα δυο κλάσματα να είναι μικρότερες και συγκέντρωση να μειώνεται με την αύξηση του βάθους.

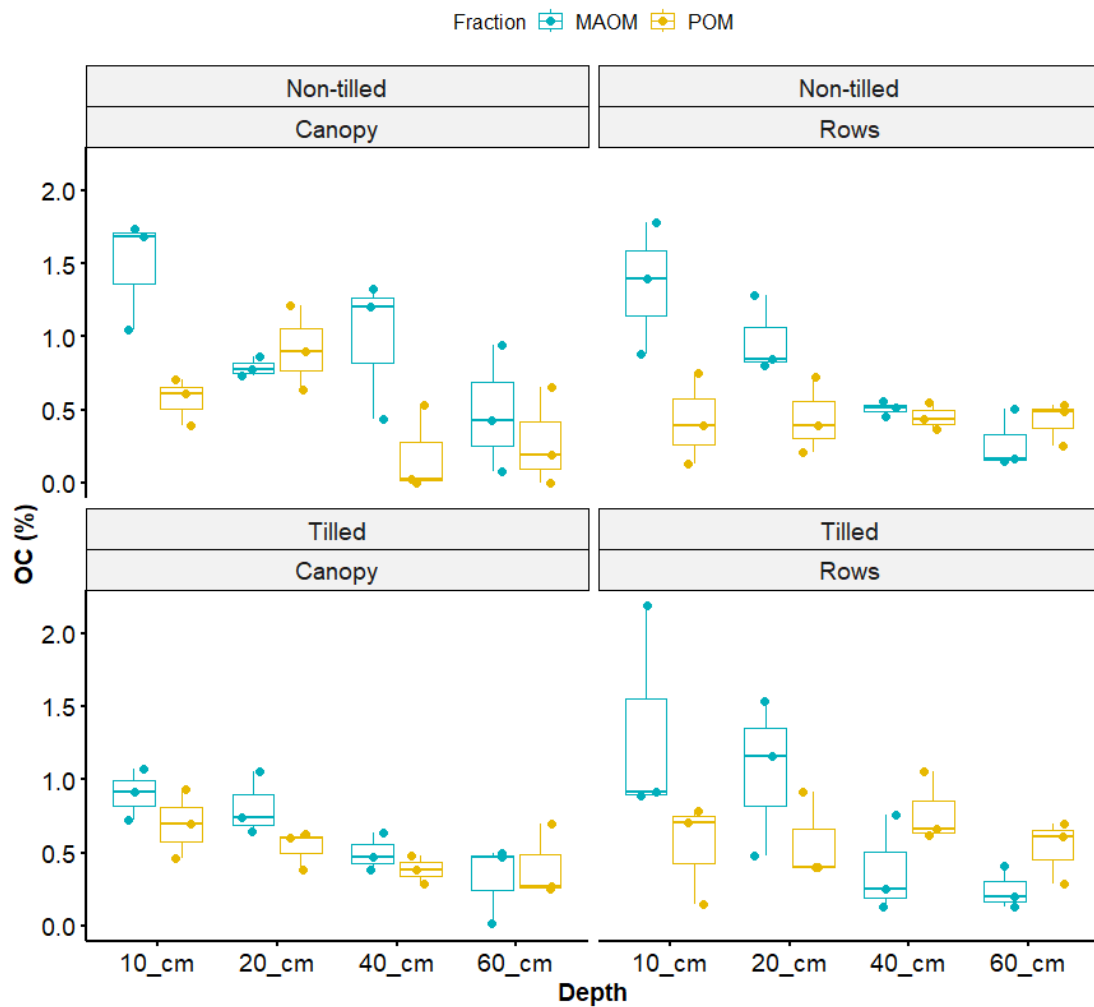
Στη μέθοδο μη κατεργασίας παρατηρείται σημαντικά υψηλότερο ποσοστό MAOM στα 0-10cm, ενώ στα υπόλοιπα βάθη οι τιμές τείνουν να συμφωνούν. Το κλάσμα POM δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές



Διάγραμμα 4.7 Μεταβολή των POM & MAOM του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

Το κλάσμα MAOM στα δείγματα μη κατεργασίας παρουσιάζει υψηλότερες τιμές στη κόμη των δένδρων, παρουσιάζοντας αυξομειώσεις με την αύξηση του βάθους, φαινόμενο που δεν παρουσιάζεται στα αποτελέσματα των δειγμάτων που λήφθηκαν από τις σειρές του αγρού, όπου τα αποτελέσματα ακολουθούν μια σταθερή μείωση. Το ίδιο αντίστοιχα παρατηρείται και για το POM, με τις μεταβολές στις διαδρόμους να είναι ελάχιστες. (Διάγ. 4.8)

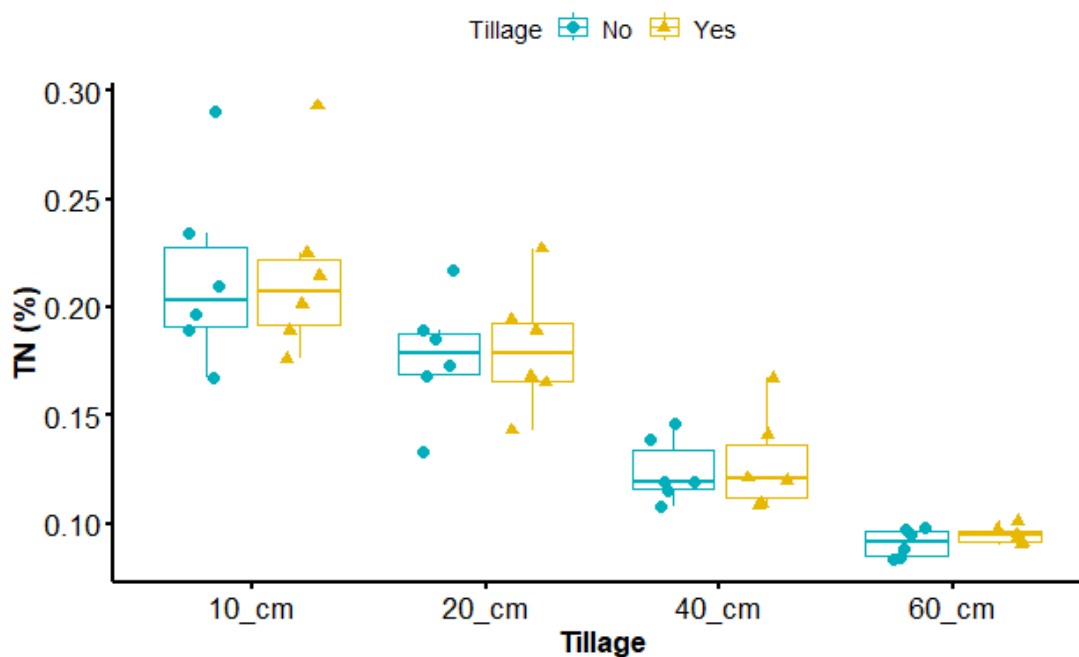
Τα δείγματα που λήφθηκαν από τις κόμες των δένδρων στην περίπτωση που το έδαφος έχει δεχθεί κατεργασία, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα στις τιμές, ενώ στους διαδρόμους σημειώνεται αύξηση στα 10-20cm και έπειτα μείωση τιμών στα βαθύτερα στρώματα.



Διάγραμμα 4.8 Μεταβολή των POM & MAOM του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

#### 4.6 TN

Σχετικά με τη συγκέντρωση του TN, παρατηρείται ομοιόμορφη μείωση και στις δύο μεθόδους κατεργασίας, με τις τιμές των δειγμάτων της συμβατικής μεθόδου να εμφανίζονται ελαφρώς υψηλότερες σε όλα τα βάθη δειγματοληψίας. Στα επιφανειακά στρώματα εντοπίζονται διακυμάνσεις της συγκέντρωσης, οι οποίες περιορίζονται με το βάθος, με αποτέλεσμα στα βαθύτερα στρώματα οι τιμές να συγκλίνουν και να καταλήγουν σχεδόν ταυτόσημες (Διαγρ. 4.9)

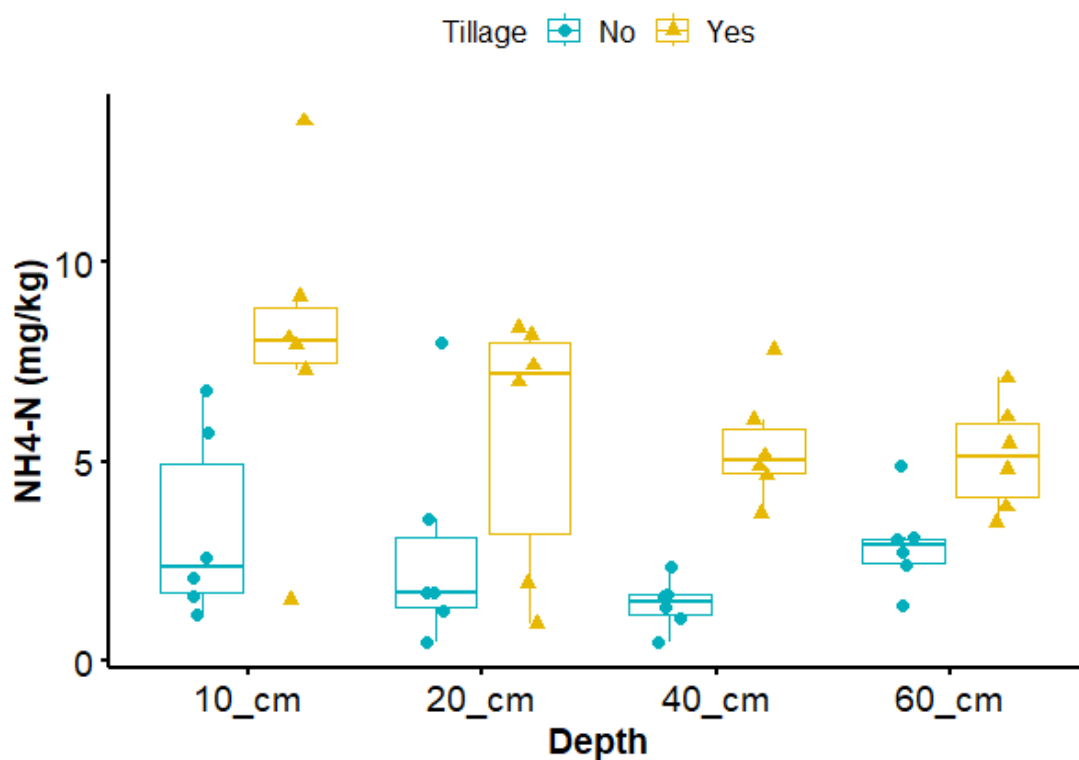


Διάγραμμα 4.9 Μεταβολή του TN του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

#### 4.7 NH<sub>4</sub>-N

Η συγκέντρωση του NH<sub>4</sub>-N εμφανίζεται υψηλότερη σε όλα τα βάθη στα δείγματα που έχουν δεχθεί κατεργασία, παρουσιάζοντας αρχικά μείωση και στη συνέχεια στρώματα σταθεροποίηση στα βαθύτερα στρώματα. Αντίθετα, στα δείγματα της δεύτερης μεθόδου μετά την μείωση που παρατηρείται στα 10-20 και 20-40cm ακολουθεί αύξηση στα 40-60cm, όπου η τιμή υπερβαίνει εκείνη των επιφανειακών στρωμάτων. Και στις δυο περιπτώσεις καταγράφεται έντονη διασπορά τιμών, η οποία είναι ιδιαίτερα εμφανείς στα βάθη 0-10cm & 10-20cm. (Διάγ. 4.10)

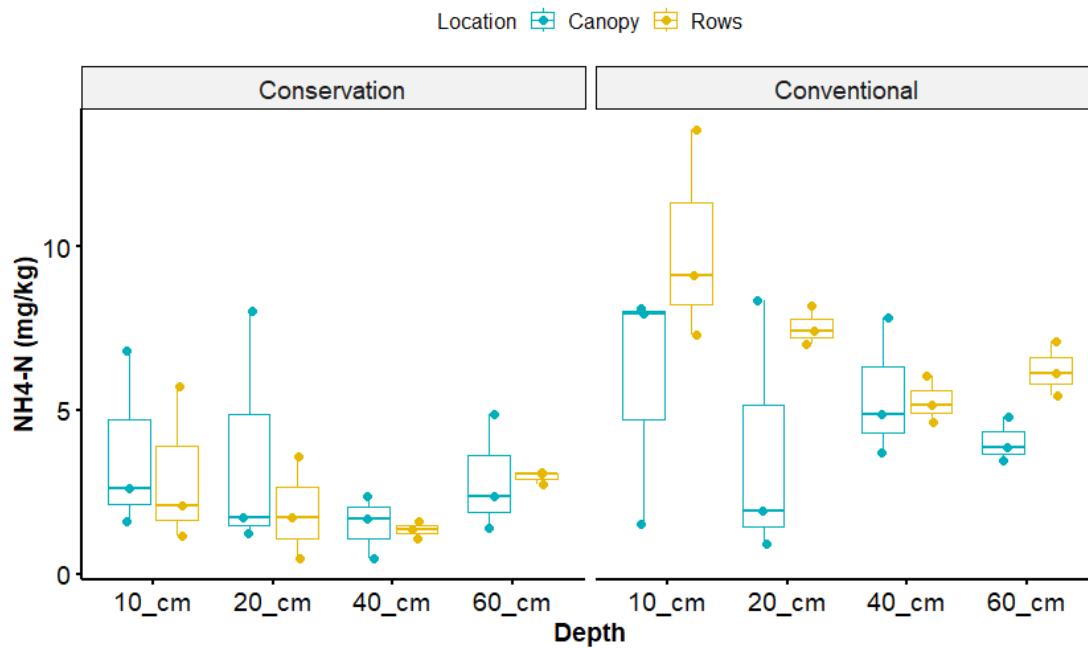




Διάγραμμα 4.10 Μεταβολή του  $\text{NH}_4\text{-N}$  του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

Στη μέθοδο της μη κατεργασίας του εδάφους, η συγκέντρωση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  στις κόμες των δένδρων είναι υψηλότερη συγκριτικά με τις τιμές στις διαδρόμους, με μοναδική εξαίρεση στα 40–60cm. Στα ανώτερα στρώματα (0–10, 10–20 και 20–40 cm) παρατηρείται σταδιακή μείωση τιμών, ενώ στο βάθος 40–60 cm σημειώνεται αύξηση.

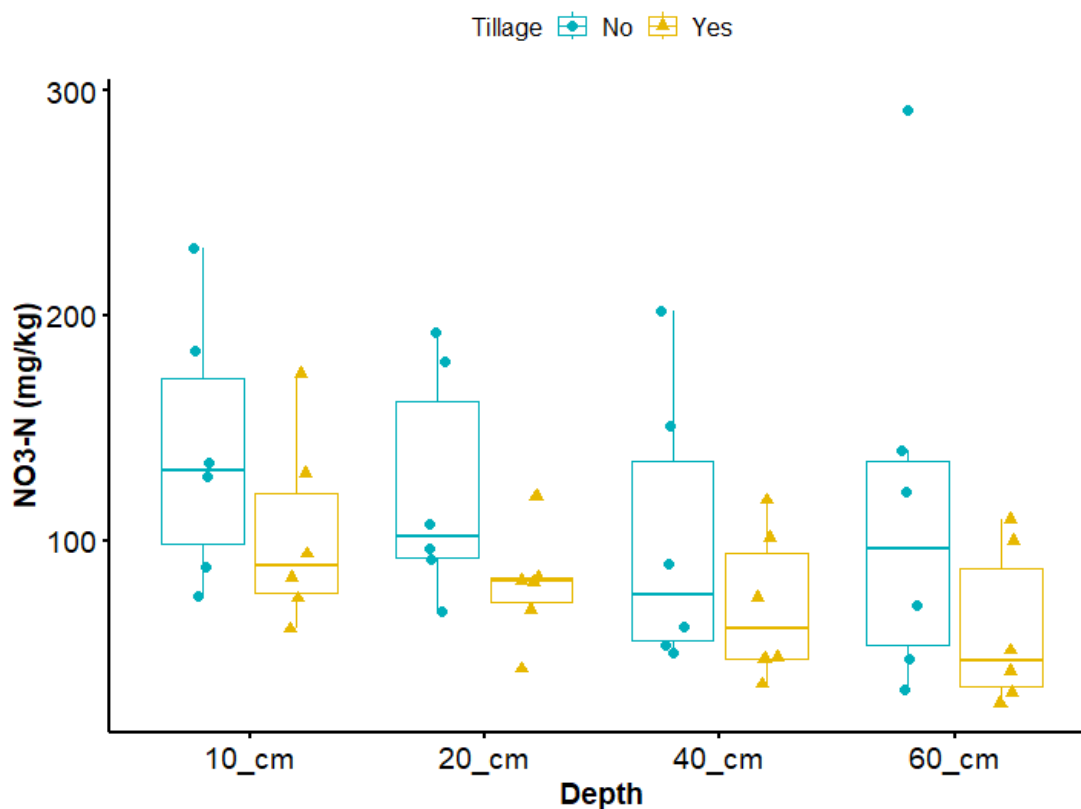
Στη μέθοδο κατεργασίας του εδάφους, σε αντιστοιχία με τη μέθοδο της μη κατεργασίας, καταγράφονται υψηλότερες συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4\text{-N}$ , καθώς και διακυμάνσεις τιμών ανάλογα με την τοποθεσία δειγματοληψίας. Στις ρίζες των ελαιόδενδρων παρατηρείται εναλλαγή αυξομειώσεων μεταξύ των διαδοχικών βαθών, ενώ στις διαδρόμους σημειώνεται αύξηση συγκέντρωσης μόνο στα 40–60cm (Διάγ. 4.11)



Διάγραμμα 4.11 Μεταβολή του  $\text{NH}_4\text{-N}$  του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

#### 4.8 $\text{NO}_3\text{-N}$

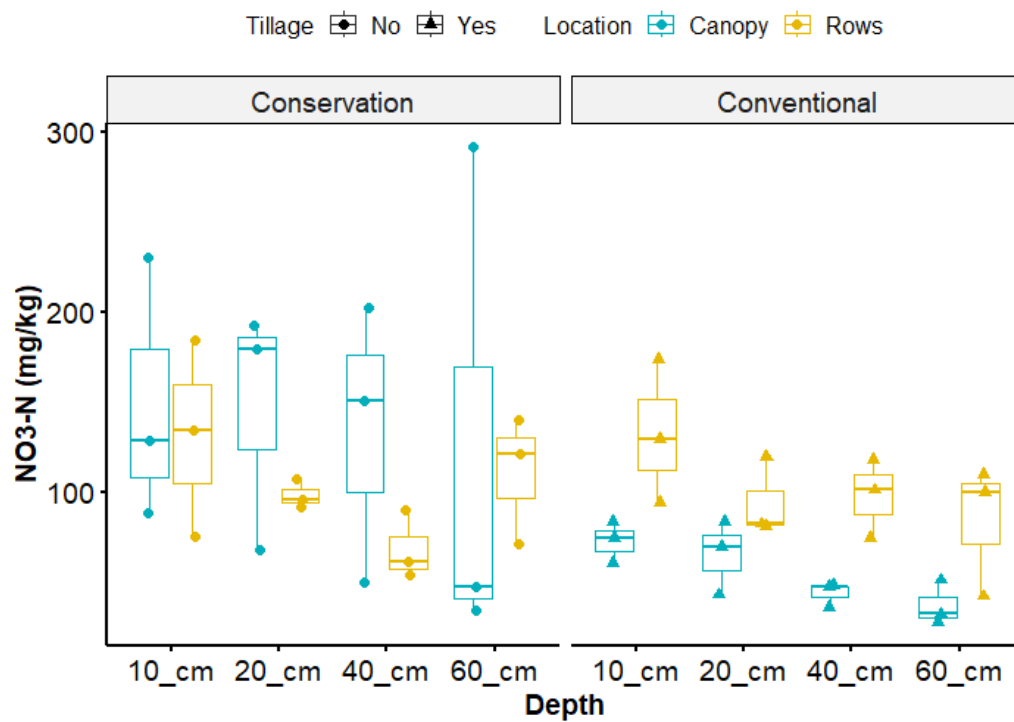
Η συγκέντρωση  $\text{NO}_3\text{-N}$  εμφανίζεται σταθερά υψηλότερη στα δείγματα που δεν έχουν δεχθεί κατεργασία, ανεξάρτητα από το βάθος δειγματοληψίας. Στα πρώτα στρώματα του εδάφους παρατηρείται μείωση τιμών, η οποία στα βαθύτερα στρώματα (40-60cm) ακολουθείται από αύξηση. Στην εναλλακτική μέθοδο, καταγράφεται πιο ομοιόμορφη μείωση της συγκέντρωσης, χωρίς να καταγράφεται αύξηση με το βάθος. (Διαγ. 4.12)



Διάγραμμα 4.12 Μεταβολή του  $\text{NO}_3\text{-N}$  του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

Η διασπορά των τιμών της συγκέντρωσης εμφανίζεται εντονότερη στη μέθοδο μη κατεργασίας του εδάφους. Στα δείγματα που λήφθηκαν από τις κόμες των δένδρων σημειώνονται ευμετάβλητες τιμές, με αρχική αύξηση στα επιφανειακά στρώματα και στη συνέχεια σταδιακή μείωση. Συγκριτικά με τις διαδρόμους του αγρού, οι συγκεντρώσεις στα ενδιάμεσα βάθη ( 10-20, 20-40cm) καταγράφονται υψηλότερες.

Αντίθετα, στη μέθοδο κατεργασίας του εδάφους παρατηρείται μεγαλύτερη ομοιομορφία, με τις τιμές των δειγμάτων από τις διαδρόμους να είναι σταθερά υψηλότερες και να εμφανίζουν περιορισμένες διακυμάνσεις (Διαγ. 4.13)



Διάγραμμα 4.13 Μεταβολή του NO<sub>3</sub>-N του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

## 5. Συζήτηση

Τα εδάφη περιέχουν την μεγαλύτερη δεξαμενή C στον πλανήτη. Δεδομένου ότι περίπου το 12% του C βρίσκεται σε καλλιεργούμενα εδάφη [44], η διαχείριση αυτών των γεωργικών εκτάσεων είναι κρίσιμη, καθώς μπορεί να επηρεάσει το παγκόσμιο βιογεωχημικό κύκλο του.

Η εντατική κατεργασία του εδάφους, μαζί με την αύξηση επιπέδων CO<sub>2</sub> και της θερμοκρασίας λόγω κλιματικής αλλαγής, έχει συνδεθεί με αρκετές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του εδάφους, μεταξύ των οποίων και η μείωση αποθέματος SOC. Η εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης του εδάφους, όπως η πρακτική αποκατάστασης, έχει αποδεχθεί ότι συμβάλει στην συγκράτηση του OC, [45] αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τα αποθέματα SOC και περιορίζοντας τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η συγκριτική αξιολόγηση των δύο πρακτικών διαχείρισης, της κατεργασίας του εδάφους και της πρακτικής αποκατάστασης, σε παραμέτρους όπως pH, EC, TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> με έμφαση στο TOC και το TIC. Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση του βάθους και του σημείου δειγματοληψίας. Στόχος είναι να διερευνηθεί αν η πρακτική μη κατεργασίας του εδάφους οδηγεί σε συσσώρευση SOC, SIC αλλά και στην αύξηση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρατηρείται ότι η πρακτική αποκατάστασης συνέβαλε θετικά στις περισσότερες ιδιότητες του εδάφους. Το pH βρέθηκε πιο υψηλό στα ανώτερα βάθη στην συμβατική κατεργασία (Διάγρ. 4.1), ενώ η ομοιομορφία τιμών στην ίδια πρακτική είναι εμφανής (Διάγρ. 4.2). Οι συγκεντρώσεις του TIC και TOC βρέθηκαν υψηλότερες στην πρακτική αποκατάστασης, ανεξαρτήτως του βάθους δειγματοληψίας (Διάγρ. 4.3 & 4.5 αντίστοιχα), και πιο συγκεκριμένα η συσσώρευση παρατηρείται στις κόμες των δένδρων (Διάγρ. 4.4 & 4.6). Τα κλάσματα του OC του εδάφους, POM & MAOM, παρουσίασαν επίσης μεγαλύτερη συγκέντρωση στην πρακτική αποκατάστασης ειδικότερα στα επιφανειακά στρώματα και στα σημεία κοντά στις κόμες των δένδρων (Διάγρ. 4.7 & 4.8). Η συγκέντρωση του TN δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο πρακτικών (Διάγρ. 4.9), σε αντίθεση με το NH<sub>4</sub>-N του οποίου η συγκέντρωση είναι υψηλότερη στην συμβατική μέθοδο (Διάγρ. 4.10) και σε αντίθεση με τις προηγούμενες παραμέτρους οι συσσώρευση του παρουσιάζεται στις διαδρόμους του αγρού. Τέλος, η συγκέντρωση του NO<sub>3</sub>-N καταγράφηκε σταθερά υψηλότερη στην πρακτική μη αποκατάστασης ανεξάρτητα από το βάθος δειγματοληψίας (Διάγρ. 4.11), ενώ παρουσίασε μεγαλύτερη ομοιομορφία στις τιμές με μεταβλητή την τοποθεσία των δειγμάτων στη μη κατεργασία (Διάγρ. 4.12).

## Σχολιασμός αποτελεσμάτων

### pH

Η σταδιακή αύξηση του pH, ανεξαρτήτως κατεργασίας συνδέεται με το βάθος δειγματοληψίας. Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει το αποτέλεσμα, είναι η συσσώρευση της οργανικής ύλης στα επιφανειακά στρώματα, λόγω των φυτικών υπολειμμάτων και της έλλειψης μηχανισμών μεταφοράς της σε βαθύτερα στρώματα, ιδίως στις περιπτώσεις μη κατεργασίας του εδάφους. Η οργανική ύλη καθορίζει και τη παραγωγή οργανικών οξέων μέσω της μικροβιακής αποσύνθεσης, η οποία μειώνεται με το βάθος οδηγώντας σε αύξηση του pH. [46] Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η συσσώρευση των ανθρακικών αλάτων στα μεγαλύτερα βάθη του εδάφους, η οποία αποδίδεται τόσο στη μείωση των βιολογικών διεργασιών όσο και στη μικρότερη έκπλυση αυτών των στρωμάτων από τη βροχή.

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους διαχείρισης διαπιστώνεται πως οι τιμές του pH δεν έχουν σημαντική απόκλιση μεταξύ τους. Ειδικότερα στα μεγαλύτερα βάθη η απόκλιση αυτή μειώνεται ακόμη περισσότερο, λόγω της μείωσης ανάδευσης στη μέθοδο κατεργασία λόγω βάθους. [47] Επομένως, συμπεραίνεται ότι με την εφαρμογή της μεθόδου κατεργασίας δεν μεταβάλλεται σημαντικά η τιμή του pH.

### EC

Η αστάθεια που παρουσιάζεται στα αποτελέσματα της μεθόδου μη κατεργασίας του εδάφους, οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την κατανομή των αλάτων και της υγρασίας. Εφόσον το έδαφος δεν αναμιγνύεται, η κατανομή των αλάτων είναι ανομοιόμορφη, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται σε συγκεκριμένα σημεία. [48] Αντιθέτως στη μέθοδο κατεργασίας του εδάφους, τα άλατα ομογενοποιούνται με το έδαφος, γεγονός που συμβάλει στη μείωση των διακυμάνσεων στα αποτελέσματα. Παρομοίως, τα υπολείμματα που συσσωρεύονται στην επιφάνεια του εδάφους οδηγούν σε ετερογενή κατανομή της υγρασίας, η οποία είναι βασικός παράγοντας που επηρεάζει τα επίπεδα EC, καθώς περιορίζουν την διείσδυση του νερού και καθορίζουν τόσο την ποσότητα όσο και τα σημεία κατανομής του στο εδαφικό προφίλ. [48] Όμως, η μέση τιμή των μετρήσεων των δύο μεθόδων διαχείρισης του εδάφους, και στην παράμετρο της EC, δεν έχουν μεγάλη απόκλιση.

### TIC

Η διαφορά της συγκέντρωσης του TIC στις δυο μεθόδους κατεργασίας του εδάφους, αποδίδεται στις διαφορετικές επιδράσεις της κάθε διαχείρισης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μη κατεργασία του εδάφους συντελεί στην διατήρηση υψηλότερων επιπέδων TIC, γεγονός που οφείλεται στη σταθερότητα που επικρατεί, καθώς το έδαφος δεν υφίσταται ανάδευση. [49] Η απουσία ανάδευσης ευνοεί την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, η οποία σχηματίζει ανόργανα ανθρακικά άλατα (πχ  $\text{CaCO}_3$ ), και ταυτόχρονα συμβάλλει στη

διατήρηση της υγρασίας, η οποία ενισχύει τις χημικές αντιδράσεις που σχηματίζουν ανθρακικές ενώσεις ενώ μειώνει τις απώλειες μέσω εξάτμισης, οδηγώντας έτσι σε συσσώρευση ανθρακικών αλάτων.

Επιπλέον, στη μέθοδο μη κατεργασίας η συγκέντρωση του TIC είναι υψηλότερη στην κόμη των δένδρων σε σχέση με τους διαδρόμους, πιθανόν λόγω ριζικών εκκριμάτων και οργανικών καταλοίπων που αυξάνουν τα αποθέματα άνθρακα. Η πυκνότερη φυτοκάλυψη στα σημεία αυτά συμβάλλει επίσης στην προστασία του εδάφους από διάβρωση και απώλειες άνθρακα. Αντίθετα, στη μέθοδο κατεργασίας, όπου το όργωμα επικεντρώνεται κοντά στα δένδρα, η θετική επίδραση της φυτοκάλυψης εξουδετερώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση των επιπέδων άνθρακα.

## TOC

Στην μέθοδο κατεργασίας του εδάφους τα ποσοστά TOC είναι χαμηλότερα, γεγονός που αποδίδεται σε διάφορους παράγοντες. Αρχικά, η ανάδευση του εδάφους διαλύει τα σταθερά συσσωματώματα του εδάφους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιταχύνονται οι διαδικασίες αποσύνθεσης της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς και η έκλυση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.[41] Η τάση αυτή αποτυπώνεται και στο Διάγρ. 4.5, καθώς στα μικρότερα βάθη παρατηρείται μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των μεθόδων, λόγω της συνεχούς κατεργασίας, ενώ στα μεγαλύτερη βάθη όπου η διαταραχή είναι ελάχιστη τα αποτελέσματα συγκλίνουν.

Αντίθετα, η μη κατεργασία του εδάφους συμβάλλει στην διατήρηση, και με την πάροδο του χρόνου αύξηση, του οργανικού άνθρακα στα επιφανειακά στρώματα, λόγω της μειωμένης διατάραξης και της συσσώρευσης φυτικών υπολειμμάτων τα οποία προστατεύουν τα εδάφη από τις απώλειες C.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων το TOC, όσον αφορά τα σημεία δειγματοληψίας, δεν διαφέρει πολύ από αυτή του TIC. Η φυτοκάλυψη δημιουργεί ένα πέπλο προστασίας στην απώλεια του άνθρακα, οργανικού και ανόργανου, και αυτό βοηθά στην αύξηση της ποσότητας του στην μέθοδο μη κατεργασίας. Αντιθέτως, η διαδικασία του οργώματος τείνει να μετατοπίζει τα υπολείμματα των καλλιεργειών προς τους διαδρόμους του αγρού οδηγώντας σε τοπικά αυξημένη συγκέντρωση TOC.

### POM-MAOM

Με την αύξηση του βάθους παρατηρείται τάση σύγκλισης των τιμών, και αυτό οφείλεται, όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, στην μειωμένη διατάραξη του εδάφους και στις δυο μεθόδους κατεργασίας. Στα 0-10 cm η απόκλιση είναι εντονότερη, επιβεβαιώνοντας πως η διάλυση των συσσωματωμάτων στη μέθοδο κατεργασίας οδηγεί στην μειωμένη ύπαρξη TOC. Η απότομη μείωση MAOM στη μέθοδο μη κατεργασίας από τα 0-10 στα 10-20cm, οφείλεται στην αυξημένη ύπαρξη φυτικών υπολειμμάτων στα επιφανειακά στρώματα, τα οποία δεν αναμειγνύονται με τα βαθύτερα λόγω της έλλειψης οργώματος. Αντίθετα, στη μέθοδο κατεργασίας παρατηρείται πιο ομαλή μείωση του MAOM στα επιφανειακά στρώματα, όπου το έδαφος αναδεύεται, ενώ εμφανίζεται εντονότερη μεταβολή μεταξύ των 10-20 και 20-40cm, όπου η ανάδευση είναι πιο περιορισμένη

Τα δύο κλάσματα εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά με την αλλαγή της μεθόδου κατεργασίας και αυτό οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο σχηματισμού τους. Το κλάσμα MAOM έχει σαφώς μεγαλύτερες διακυμάνσεις, καθώς αυτό δημιουργείται από προϊόντα μικροβιακής αποσύνθεσης στις επιφάνειες των ορυκτών.[25] Η διαδικασία του οργώματος σπάει τα συσσωματώματα που προστατεύουν το MAOM, η ύλη γίνεται εύκολα αποδομήσιμη, διαταράσσονται οι ενώσεις μεταξύ οργανικής ύλης και ανόργανων σωματιδίων και η συσσώρευση του MAOM μειώνεται. Το POM επηρεάζεται περισσότερο από τις ποσότητες των φυτικών υπολειμμάτων και λιγότερο από την σύσταση του εδάφους ή/και την διαταραχή των επιφανειών, γι' αυτό παρουσιάζει σταθερότητα στις τιμές του, ανεξαρτήτως της διαχείρισης που έχει υποβληθεί στο έδαφος.

### TN

Τα ποσοστά TN εξαρτώνται από την ποσότητα οργανικής ύλης και την βιολογική δραστηριότητα του εδάφους, επομένως η φθίνουσα τάση των δειγμάτων θεωρείται εύλογη.[3] Η συμφωνία των συγκεντρώσεων TN στις δυο μεθόδους υποδεικνύει πως με την εφαρμογή της πρακτικής αποκατάστασης οι διαφορές στις επιμέρους μορφές του N αντανakλούν σε εσωτερικούς μετασχηματισμούς εντός του εδαφικού συστήματος και όχι σε απώλειες N μέσω ατμοσφαιρικής αποβολής ή έκπλυσης. Η συγκεκριμένη κατάσταση ισορροπίας ήταν ένας από τους στόχους της εφαρμογής της πρακτικής αποκατάστασης, κατά την οποία, χωρίς απώλειες N μεταβάλλονται οι ανόργανες μορφές του στο έδαφος, συμβάλλοντας έτσι στον εμπλουτισμό του με θρεπτικά στοιχεία.



#### NH<sub>4</sub>-N

Το πείραμα της αμμωνιοποίησης ανέδειξε σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωση NH<sub>4</sub>-N του εδάφους ανάλογα με την μέθοδο διαχείρισης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν στην μέθοδο κατεργασίας οφείλονται στην αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα, η οποία οδηγεί στον αυξημένο ρυθμό ανοργανοποίησης του οργανικού N, λόγω του καλύτερου αερισμού που δημιουργεί το όργωμα, καθώς και στην καλύτερη ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων στα ανώτερα στρώματα.[51] Η διασπορά που εμφανίζεται σε κάθε βάθος, πιθανόν είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής κατανομής της υγρασίας, των υπολειμμάτων και του ρυθμού αποσύνθεσης τους.

Αντιθέτως, η μη κατεργασία του εδάφους χαρακτηρίζεται από πιο σταθερές και χαμηλές συγκεντρώσεις με μικρότερες αποκλίσεις. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τη συσσώρευση οργανικού υλικού και N στην επιφάνεια του εδάφους, όπου η αποσύνθεση είναι πιο αργή, οδηγώντας σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις NH<sub>4</sub>-N. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων μειώνεται με την αύξηση του βάθους, διότι η επίδραση του οργώματος εξασθενεί στα κατώτερα στρώματα.

#### NO<sub>3</sub>-N

Η συγκέντρωση NO<sub>3</sub>-N φαίνεται να ευνοείται υπό τις συνθήκες που επικρατούν στην μέθοδο της μη κατεργασίας του εδάφους. Η πρακτική αυτή διατηρεί σχετικά σταθερά τα επίπεδα του O<sub>2</sub>, θερμοκρασίας και υγρασίας και αυτό ευνοεί την διαδικασία της νιτροποίησης και αυξάνει σταδιακά την συγκέντρωση NO<sub>3</sub>-N. Παράλληλα, η παρουσία φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια, λειτουργεί προστατευτικά, μειώνοντας τον κίνδυνο έκπλυσης και συμβάλλοντας στην αύξηση των συγκεντρώσεων.

Αντίθετα, στη μέθοδο κατεργασίας του εδάφους η χαλαρότερη δομή που προκύπτει από το όργωμα ευνοεί τη διήθηση νερού. Σε συνδυασμό με το αρνητικό φορτίο των νιτρικών ιόντων, το οποίο περιορίζει την συγκράτησή τους από τα εδαφικά κολλοειδή, παρατηρούνται αυξημένες απώλειες NO<sub>3</sub>-N.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της πρακτικής αποκατάστασης δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές του pH, EC και TN στο έδαφος, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην αύξηση των συγκεντρώσεων του TIC, TOC  $\text{NO}_3\text{-N}$  και στη διατήρηση χαμηλότερων τιμών  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Οι συνθήκες αυτές δείχνουν πως η πρακτική αποκατάστασης επικεντρώνεται στην αύξηση της οργανικής ύλης και την εξισορρόπηση των θρεπτικών στοιχείων, προάγοντας τη βελτίωση της υγείας και της γονιμότητας του, χωρίς να διαταράσσει τις λοιπές φυσικοχημικές παραμέτρους.

Η σταθερότητα του TN υποδηλώνει ότι οι διαφορές στις επιμέρους μορφές του N απορρέουν κυρίως από εσωτερικούς μετασχηματισμούς εντός του εδαφικού συστήματος και δεν οφείλονται σε απώλειες λόγω εκπλύσεων ή αέριων εκπομπών. Η παρατηρούμενη μείωση στη συγκέντρωση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  σε συνδυασμό με την αυξημένη του  $\text{NO}_3\text{-N}$  υποδηλώνει κατανάλωση των αμμωνιακών από τα φυτά και ενίσχυση της διεργασίας νιτροποίησης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει πιο αποδοτική κυκλοφορία του N στο εδαφικό περιβάλλον. Οι συνθήκες αυτές θεωρούνται ευνοϊκές, καθώς αντικατοπτρίζουν υψηλό επίπεδο μικροβιακής δραστηριότητας, βελτιωμένη δομή και αερισμό του εδάφους.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του TIC και TOC υπό την εφαρμογή της πρακτικής αποκατάστασης, υποδηλώνει βελτίωση της εδαφικής ποιότητας και ενίσχυση της ικανότητάς του εδάφους στην αποθήκευση C. Η υψηλότερη συγκέντρωση MAOM στα ανώτερα στρώματα, συγκριτικά με την μέθοδο κατεργασίας, φανερώνει πως η μη κατεργασία του εδάφους ευνοεί την συσσώρευση C και ενισχύει τη μακροχρόνια δέσμευση του, περιορίζοντας τις απώλειες μέσω οξείδωσης και κατ' επέκταση, τις εκπομπές  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό καθιστά την πρακτική αποκατάστασης περιβαλλοντικά αποδοτικότερη και βιώσιμη με τον χρόνο.

Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις οφείλονται στην ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων, τη μικροβιακή δραστηριότητα και τον σταθερό αερισμό του εδάφους. Επιπλέον, η θέση δειγματοληψίας (κόμη του δένδρου ή διάδρομοι αγρού) επιδεικνύει σημαντική επίδραση. Τα σημεία κάτω από την κόμη του δένδρου παρουσιάζουν γενικά υψηλότερες συγκεντρώσεις TOC, TIC & MAOM, γεγονός που υπογραμμίζει την αποδοτικότητα της εφαρμογής της φυτοκάλυψης στην συσσώρευση C στο έδαφος.

## Βιβλιογραφία

1. Joris P.C. Eekhout, Joris de Vente, 2022, *Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation*, Earth Science Reviews, v.226
2. Yaqi Song, Dianming Wu , Wenxu Dong, Peter Dörsch, Lanting Yue, Lingling Deng, Yuanchun Yu, 2023. *Improved Extraction Method of Soil Nitrite*. [Improved Extraction Method of Soil Nitrite\[v1\] | Preprints.org](#)
3. Κολοκυθάς Θωμάς, 2012, *Μελέτη της συμπεριφοράς ορισμένων εδαφικών συστατικών στη πρόσληψη νιτρικών ιόντων από την καλλιέργεια του σπανακιού*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πτυχιακή διατριβή.
4. Moussadek, R. Mrabet, R. Dahan, A. Zouahri, M. El Mourid, E. Van Ranst, 2014, *Tillage System Affects Soil Organic Carbon Storage and Quality in Central Morocco*, Applied and Environmental Soil Science - Wiley Online Library
5. Donald L. Sparks, 2023, *ADVANCES IN AGRONOMY*, volume 178, 2-298
6. J. Balesdent, 1990, *Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields*, 41, 587-596
7. Bhattacharyya, S. S., Leite, F. F. G. D., France, C. L., Adekoya, A. O., Ros, G. H., de Vries, W., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2022). *Soil carbon sequestration, greenhouse gas emissions, and water pollution under different tillage practices*. *Science of The Total Environment*, 826, 154161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154161>
8. Γιουβανίδης Ευστράτιος, 2015, *Αλληλεπίδραση της κατεργασίας του εδάφους και αμειψισποράς σε ενεργειακές καλλιέργειες*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, μεταπτυχιακή διατριβή.
9. Κατσαφάδος Π, & Μαυροματίδης Η, 2015, *Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-639>
10. Ξενοφών Βασιλείου, 2018, *Συγκριτική αξιολόγηση της ποσότητας της οργανικής ουσίας που συσσωρεύεται στο έδαφος σε καλλιέργειες συμβατικών και βιολογικών σπρωφόρων δένδρων*, Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Μεταπτυχιακή διατριβή
11. Σινάνης, κ. (2022), *Εδαφολογία*, [Προπτυχιακό Εγχειρίδιο], Κάλλιπος, Ανοικτές ακαδημαϊκές Εκδόσεις, <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-14>, 63-65, 87-95, 103-107.
12. Blanco H., & Lal. R., (2023), *Soil conservation and management* (2η έκδ.). Springer Cham, 127-155

13. Usharani KV, Roopashree KM and Dhananjay Naik, 2019, *Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture*, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, Vol. 8, Issue 5, 1258-1262
14. Atish Patil and Mutum Lamnganbi, 2018, *Impact of climate change on soil health: A review*, International Journal of Chemical Studies, 2399-2403
15. Uffe N. Nielsen, Diana H. Wall and Johan Six, 2015, *Soil Biodiversity and the Environment*, Annual Review of Environment and Resources, 40, 64-74
16. Singh, B. P., Cowie, A. L., & Chan, K. Y. (Eds.). (2011). *Soil health and climate change*, Soil Biology (Vol. 29), 3-25, 49-107.
17. Brady and Weil, 2008, *The Nature and Properties of Soils*, 14th edition, 1-8
18. Κορέλης Ελευθέριος, 2015, *Διαχείριση και προστασία περιβάλλοντος*, Ανοιχτό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Μεταπτυχιακή διατριβή.
19. Αικατερίνη Σ. Κουτελίδου, 2010, *Ανάλυση και εκτίμηση θερμοκρασιών εδάφους*, Γεωπονικό πανεπιστήμιο Αθηνών, Μεταπτυχιακή διατριβή
20. P. Nannipieri & K. Smalla (Eds.), 2006, *Nucleic Acids and Proteins in Soil*
21. Αποστολάκης Αντώνιος, 2015, *Κατανομή μάζας, χημικές και βιοχημικές ιδιότητες συσσωματωμάτων σε χρονοσειρά εδαφών*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική εργασία
22. Φραντζέσκου Μαρία, 2022, *Βιομάζα και σύνθεση μικροβιακών κοινοτήτων σε θερμοκήπια συμβατικής και βιολογικής γεωργίας*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική εργασία
23. Κωνσταντίνα Κακαφώνη, 2021, *Διερεύνηση της προσρόφησης του φωσφόρου σε εδάφη της Δυτικής Ελλάδας – Μελέτη περίπτωσης Ι*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική εργασία
24. Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., & Lugato, E., 2019, *Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter*, Nature Geoscience, 12(12), 989–994. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>
25. Lavalley, J. M., Soong, J. L., & Cotrufo, M. F., 2020, *Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century*, Global Change Biology, 26(1), 261–273. [https://doi.org/10.1111/gcb.14859&#8203;;contentReference\[oaicite:1\]{index=1}](https://doi.org/10.1111/gcb.14859&#8203;;contentReference[oaicite:1]{index=1})
26. Lugato, E., Lavalley, J. M., Haddix, M. L., Panagos, P., & Cotrufo, M. F., 2021, *Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter*, Nature Geoscience, 14(5), 295–300. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00744-x>
27. Jafarzadeh-Haghighi, A. H., Shamshuddin, J., Hamdan, J., & Zainuddin, N., 2016, *Structural composition of organic matter in particle-size fractions of soils along a climo-biosequence in the main range of Peninsular Malaysia*, Open Geosciences, 8(1), 503–

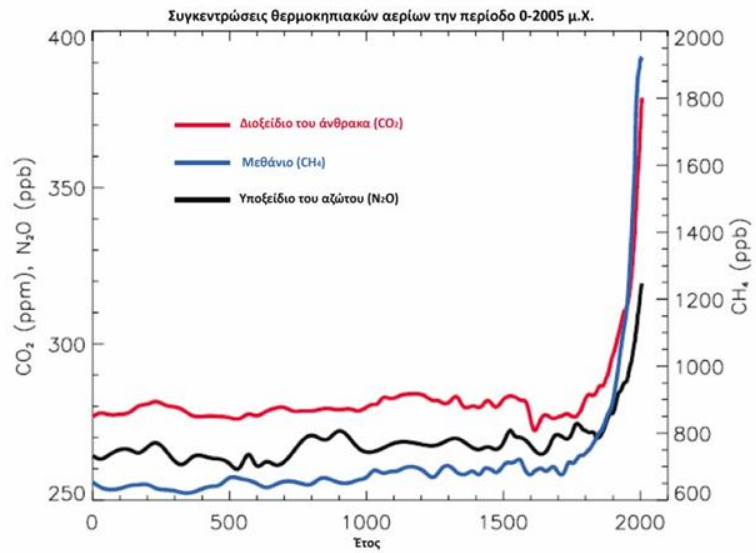
513. <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0034>
28. Denis C., Michael H. BEARE, Weiwen QIU and Joanna SHARP, 2019, *Does Particulate Organic Matter Fraction Meet the Criteria for a Model Soil Organic Matter Pool?*, *Pedosphere*, Volume 29, Issue 2, 195-203 [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60049-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60049-9)
29. Anthony J. Mirabito, Lisa G. Chambers, 2023, *Quantifying mineral-associated organic matter in wetlands as an indicator of the degree of soil carbon protection*, *Geoderma*, Volume 430, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116327>
30. Yunyu Zhanga, Sarah E. Hobbie, William H. Schlesingerd, Björn Berge, Tao Suna, and Jiaojun Zhu, 2024, *ECOLOG*, Volume 121 <https://doi.org/10.1073/pnas.2318382121>
31. Katerina Georgiou, Charles D. Koven, William R. Wieder, Melannie D. Hartman, William J. Riley, Jennifer Pett-Ridge, Nicholas J. Bouskill, Rose Z. Abramoff, Eric W. Slessarev, Anders Ahlström, William J. Parton, Adam F. A. Pellegrini, Derek Pierson, Benjamin N. Sulman, Qing Zhu & Robert B. Jackson, 2024, *Emergent temperature sensitivity of soil organic carbon driven by mineral associations*, *Nature geoscience*, 17, 205–212, <https://www.nature.com/articles/s41561-024-01384-7>
32. Xiao-Dong Song, Fei Yang., 2022, *Significant loss of soil inorganic carbon at the continental scale*, *National Science Review*, 120, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab120>
33. Jinqian Li, Junmin Pei, Changming Fang, Bo Li & Ming Nie, 2024, *Drought may exacerbate dryland soil inorganic carbon loss under warming climate conditions*, *Nature communications*, Article number: 617, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44895-y>
34. Julia Rosen, 2021, *The Science of Climate Change Explained: Facts, Evidence and Proof*, The New York Times
35. Πέτρος Κατσαφάδος, Αχιλλέας Πληθάρας, 2010, *Κλιματική αλλαγή*, Γεωγραφίες, αρ.17
36. Rosenzweig, Cynthia; Hillel, Daniel, 2000, *Soils and global climate change: challenges and opportunities*, 165, 47-56
37. Matthias C. Rillig, Marcel G. A. van der Heijden, Miguel Berdugo, Yu-Rong Liu, Judith Riedo, Carlos Sanz-Lazaro, Eduardo Moreno-Jiménez, Ferran Romero, Leho Tedersoo & Manuel Delgado-Baquerizo, 2023, *Increasing the number of stressors reduces soil ecosystem services worldwide*, *Nature Climate Change*, 13, 478–483,
38. Σικιτάκης & Τόλιος, 2018, *Απορρύπανση εδάφους με τεχνολογίες ψυχρού πλάσματος*, *ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, διπλωματική εργασία*
39. Bhupinder P, Anne L, Yin Chan K., 2011, *Soil health and climate change*, *Soil Biology*, 29
40. Σινάνης Κ., 2022, *Εδαφολογία*, Προπτυχιακό Εγχειρίδιο <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-14>

41. Simon F. Watts, 2000, *Atmospheric Environment*, 34, Issue 5, 761-779
42. John L. Halvin, Samuel L. Tisdale, Werner L. Nelson, James D. Beaton, 2014, *Soil Fertility and Fertilizers: an introduction to Nutrient Management*, 8<sup>th</sup> ed. p 75-76, 121-165
43. Paul, E. A., 2014, *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, 4<sup>th</sup> ed.
44. Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2016). *How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review protocol*. *Environmental Evidence*, 5, Article 1.  
<https://doi.org/10.1186/s13750-016-0052-0>
45. Lal, R., 2005, *Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security*. *Science*, 309(5738), 1628-1632.  
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1097396>
46. Liu, Y., He, X., Zhang, D. and Yan, J., 2014. *Vertical distribution of pH and nutrients in forest soil on water-eroded area of Southern China*. *JSM Biology*, 2(2), p.1032
47. Smith, J., & Doe, A. 2023. *Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth*. *Soil & Tillage Research*. v.225  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105527>
48. Zhengkai Peng, Linlin Wang, Junhong Xie, Lingling Li, Jeffrey A. Coulter, Renzhi Zhang, Zhuzhu Luo, Jana Kholova, Sunita Choudhary, 2019, *Conservation Tillage Increases Water Use Efficiency of Spring Wheat by Optimizing Water Transfer in a Semi-Arid Environment*, *Agronomy*, v.583  
<https://doi.org/10.3390/agronomy9100583>
49. Xiao-Dong Song, Fei Yang, Hua-Yong Wu, 2021, *Significant loss of soil inorganic carbon at the continental scale*, *National Science Review*, Volume 9, Issue 2.  
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwab120>
50. Liu, J. and Matocha, J.E., 1996. *Soil microbial biomass and nitrogen mineralization influenced by tillage practices and fertilizers*. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences*, pp.1238–1242  
<mailto:https://www.cotton.org/beltwide/proceedings/getPDF.cfm?paper=Y012.pdf&year=1996>

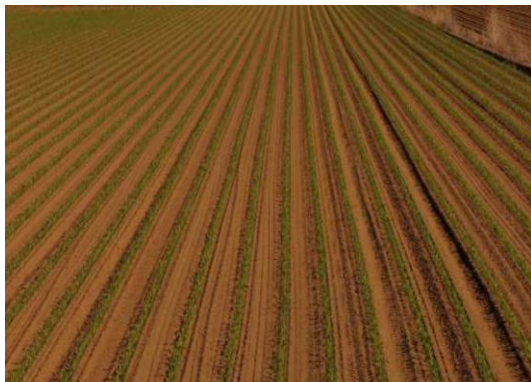


## Παραρτήματα

### Παράρτημα εικόνων



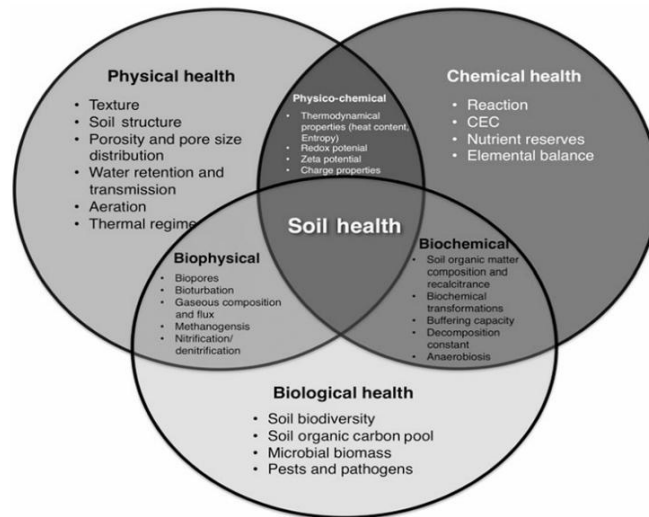
Εικόνα 2.1 Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων και μακροβιότερων αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2000 ετών. Οι μονάδες είναι μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb).  
Πηγή: IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.



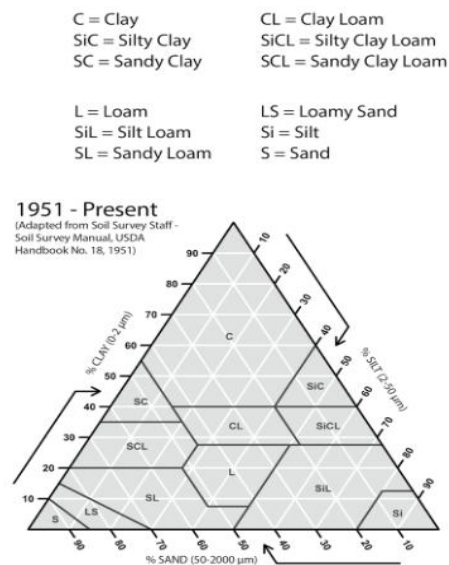
Εικόνα 1.2α Συμβατική μέθοδος κατεργασίας



Εικόνα 1.2β Μη κατεργασία εδάφους (πρακτική αποκατάστασης)



Εικόνα 1.3 Συνιστώσες της εδαφικής υγείας [πηγή βιβλίο: *Soil health and climate change*]

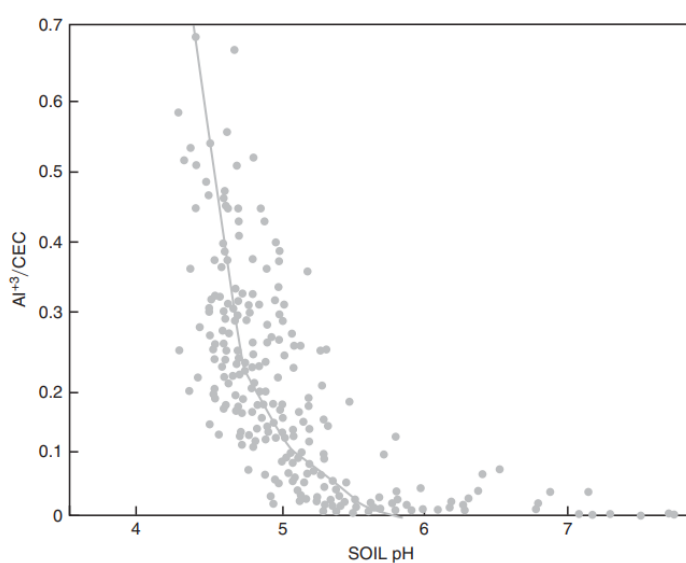


Εικόνα1.4 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα USDA  
Πηγή [University of Minnesota Soil Judging Team: The Historical Development of the USDA textural triangle](#)

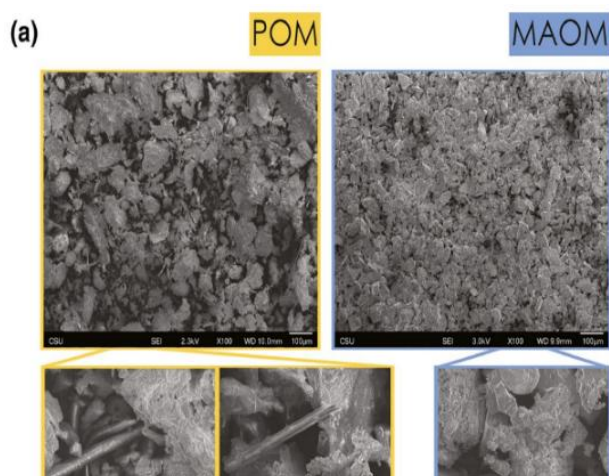




Εικόνα 1.5 Α: Αμμώδες Β: Αργιλώδες Γ: Έδαφος με υψηλό ποσοστό ύλης



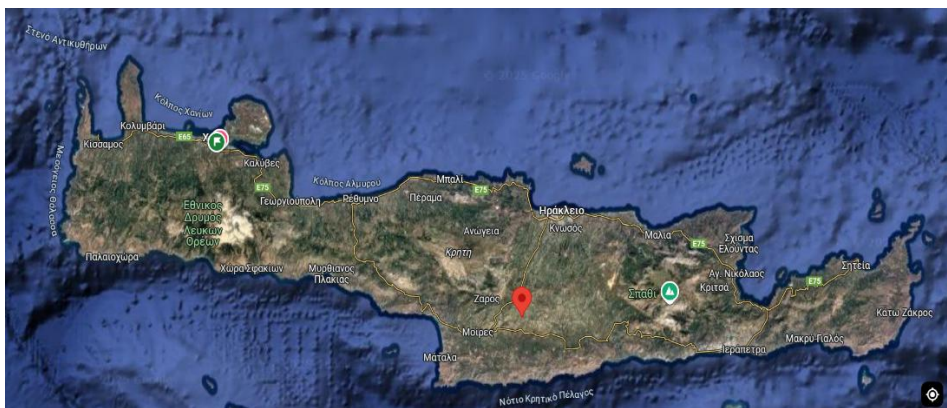
Εικόνα 1.5 Όσο το pH αυξάνεται η διαλυτότητα του  $Al^{+3}$  μειώνεται  
[πηγή: Thomas and Hargrove, 1984, Soil Acidity and Liming]



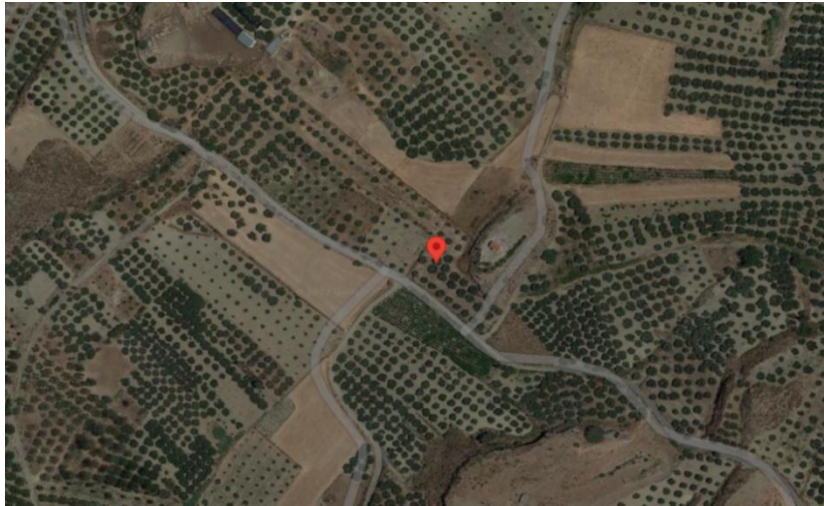
Εικόνα 1.6 Από σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM, αριστερά) και οργανικής ύλης συνδεδεμένης με ορυκτά (MAOM, δεξιά)

The diagram illustrates the nitrogen cycle within a 3D landscape. At the top, a cloud contains  $N_2$  and a yellow lightning bolt indicates atmospheric nitrogen fixation. A pink arrow leads from the cloud to a tree on the left. Below the tree, a circular arrow shows the cycle:  $NH_4^+$  (labeled with a blue circle and '4') is converted to  $NO_2^-$  (labeled with a blue circle and '2'), then to  $NO_3^-$  (labeled with a blue circle and '3'), and finally back to  $NH_4^+$ . This process is labeled 'Nitrifying bacteria' at the bottom. A pink arrow leads from the cloud to a cow on the right. Below the cow, a circular arrow shows the cycle:  $NH_3$  (labeled with a blue circle and '3') is converted to  $NH_4^+$  (labeled with a blue circle and '4'), then to  $NO_2^-$  (labeled with a blue circle and '2'), and finally back to  $NH_4^+$ . This process is labeled 'Denitrification bacteria' on the left. A pink arrow leads from the cloud to a tree on the right. Below the tree, a circular arrow shows the cycle:  $NH_3$  (labeled with a blue circle and '3') is converted to  $NH_4^+$  (labeled with a blue circle and '4'), then to  $NO_2^-$  (labeled with a blue circle and '2'), and finally back to  $NH_4^+$ . This process is labeled 'Nitrogen fixing bacteria' on the right. A pink arrow leads from the cloud to a tree on the left. Below the tree, a circular arrow shows the cycle:  $NH_4^+$  (labeled with a blue circle and '4') is converted to  $NO_2^-$  (labeled with a blue circle and '2'), then to  $NO_3^-$  (labeled with a blue circle and '3'), and finally back to  $NH_4^+$ . This process is labeled 'Nitrifying bacteria' at the bottom.

[Πηγή: <https://gr.dreamstime.com>]



Εικόνα 3.1 Τοποθεσία της δειγματοληψίας 35°09'02.8" N, 25°01'71.1" E



Εικόνα 3.2 Μορφολογία εδάφους της περιοχής δειγματοληψίας



Εικόνα 3.2 Φυγοκεντρίμενα δείγματα του ενός ml



Εικόνα 3.3 Τελικά δείγματα Νιτροποίησης





Εικόνα 3.4 Τελικά δείγματα αμμωνιοποίησης

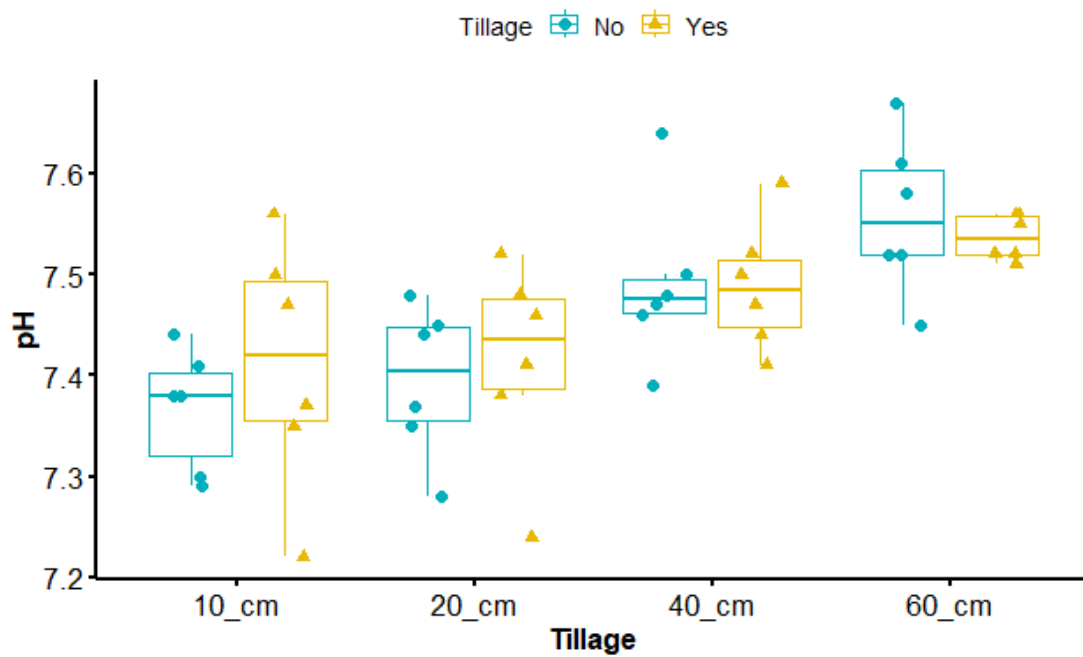


Εικόνα 3.5 Διαχωρισμός κλασμάτων POM-MAOM με φίλτρα διήθησης.

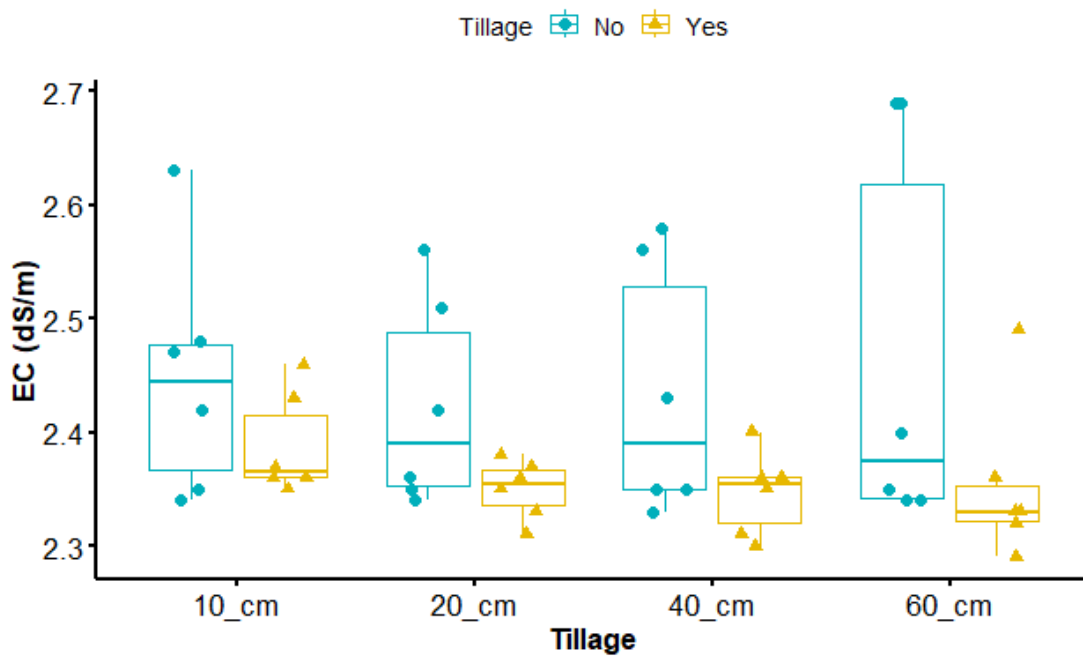


Εικόνα 3.6 Κατά τη διαδικασία που λειώνονται τα δείγματα στο γουδί

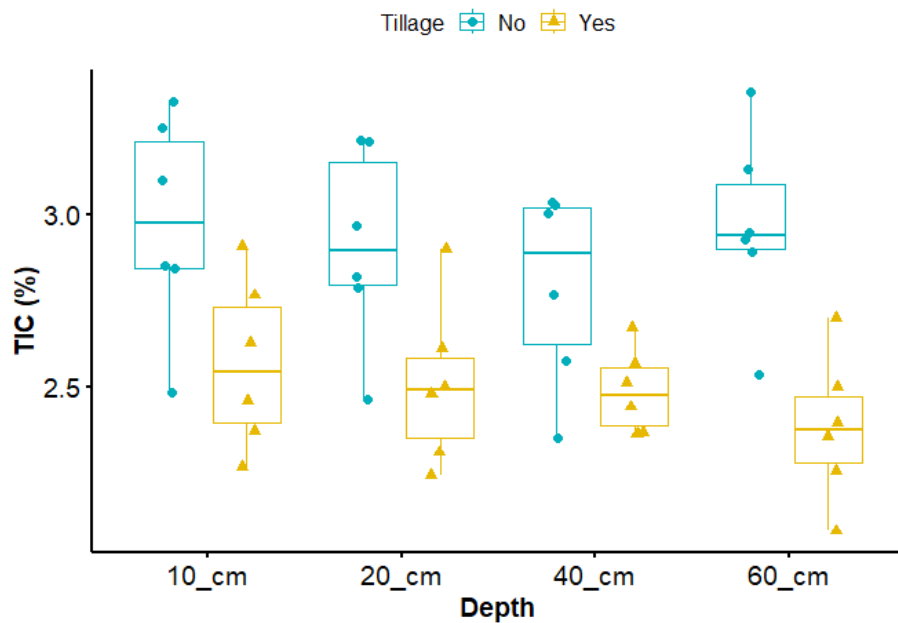
Παράρτημα διαγραμμάτων



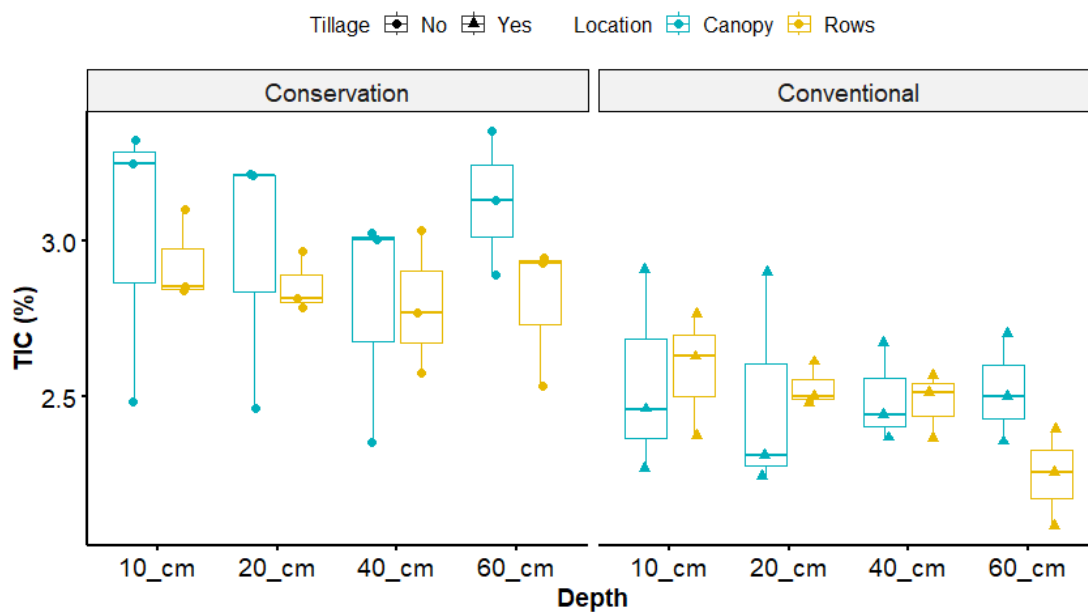
Διάγραμμα 4.1 Μεταβολή του PH του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



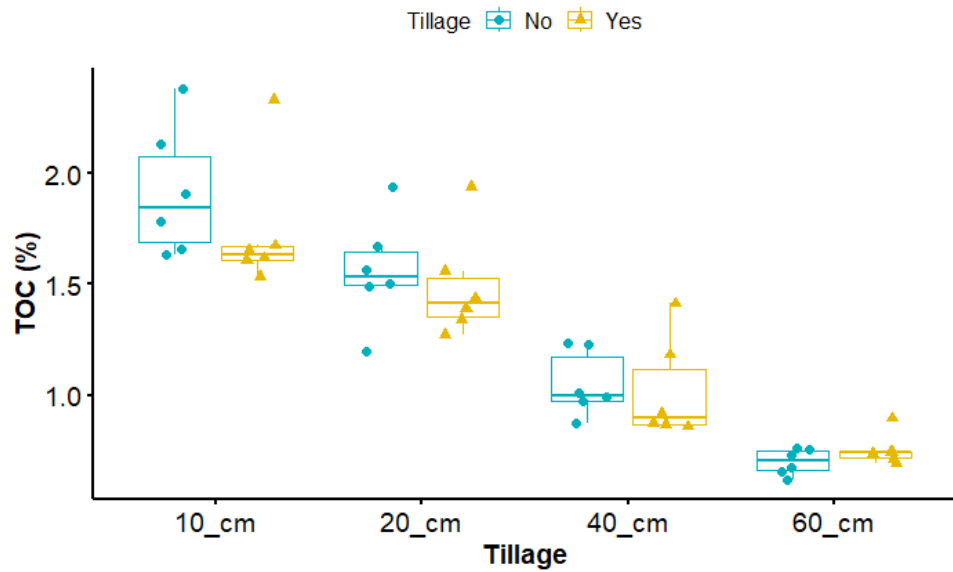
Διάγραμμα 4.2 Μεταβολή του EC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



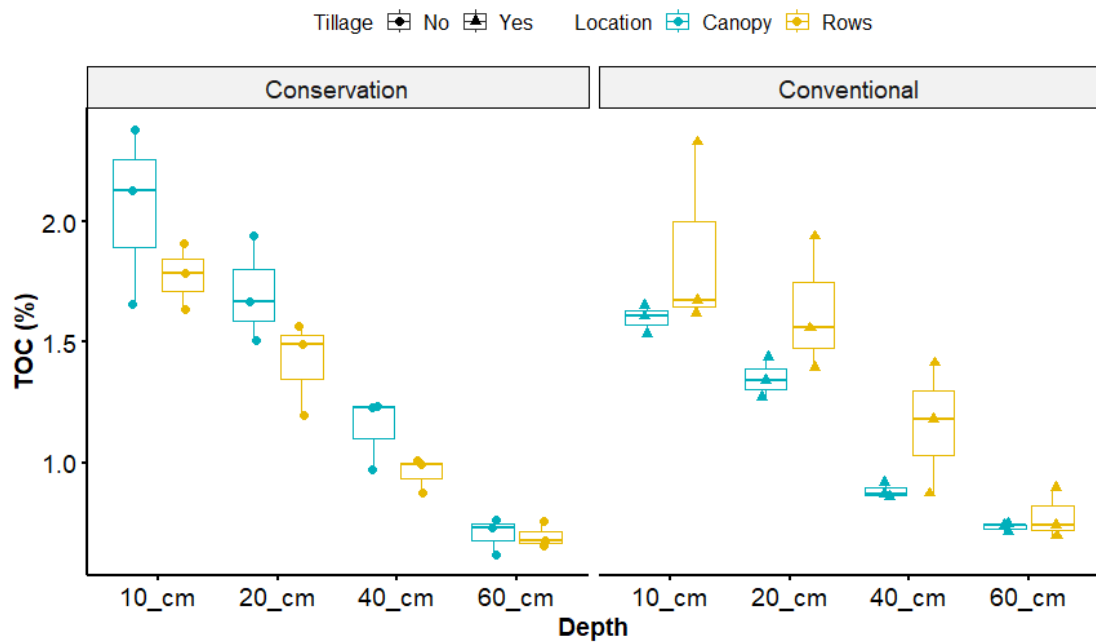
Διάγραμμα 4.3 Μεταβολή του TIC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



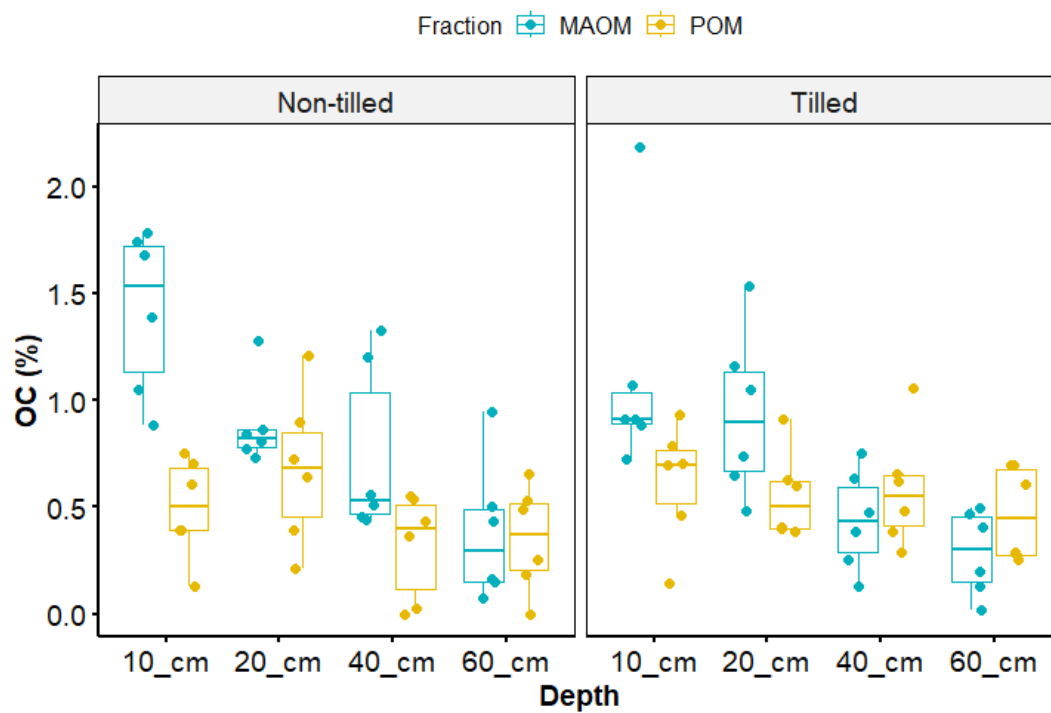
Διάγραμμα 4.4 Μεταβολή του TIC του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



Διάγραμμα 4.5 Μεταβολή του TOC του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

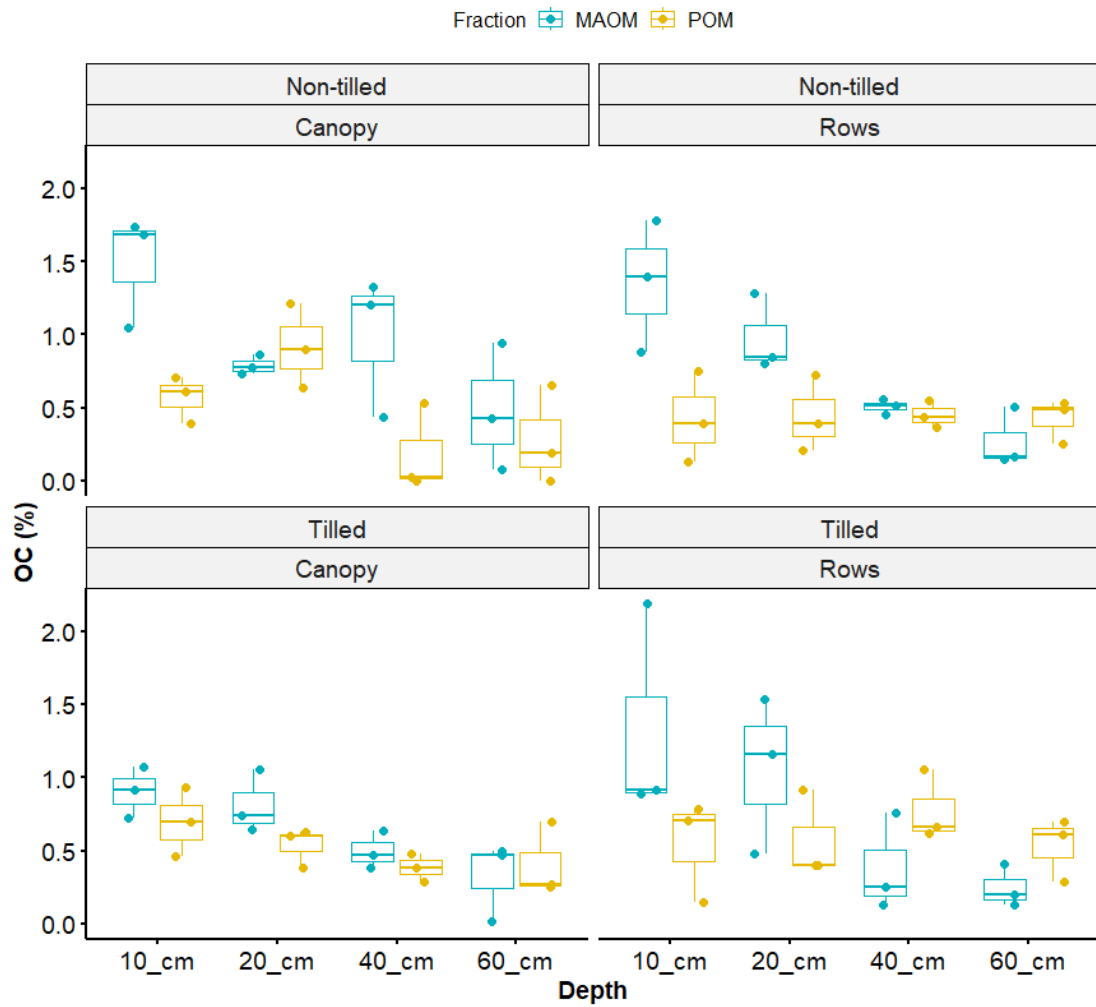


Διάγραμμα 4.6 Μεταβολή του TOC του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

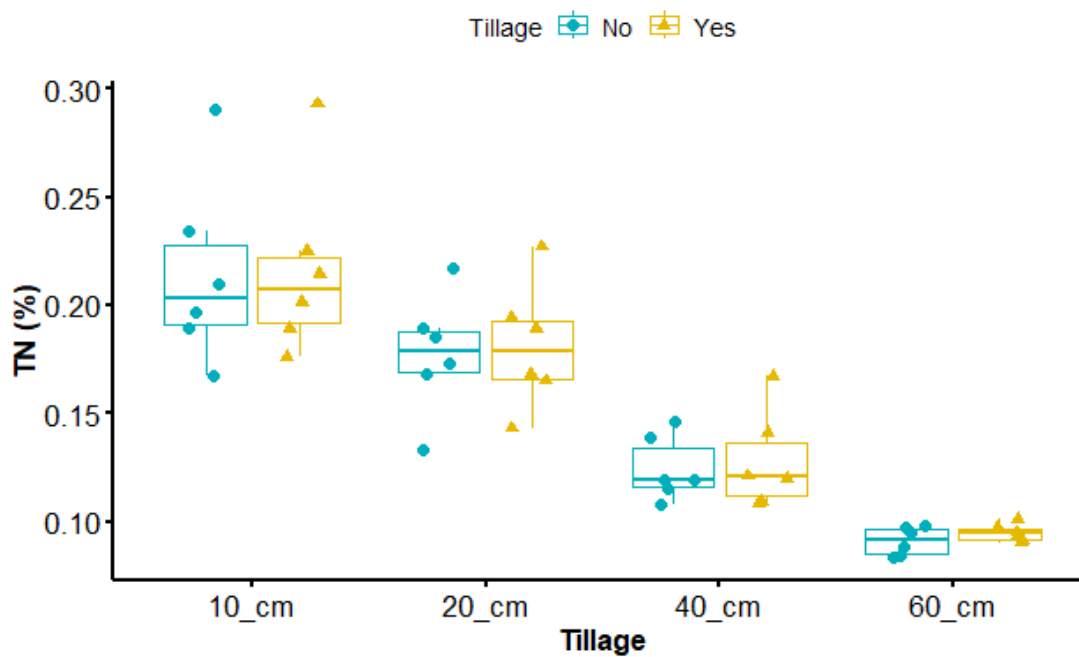


Διάγραμμα 4.7 Μεταβολή των POM & MAOM του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021

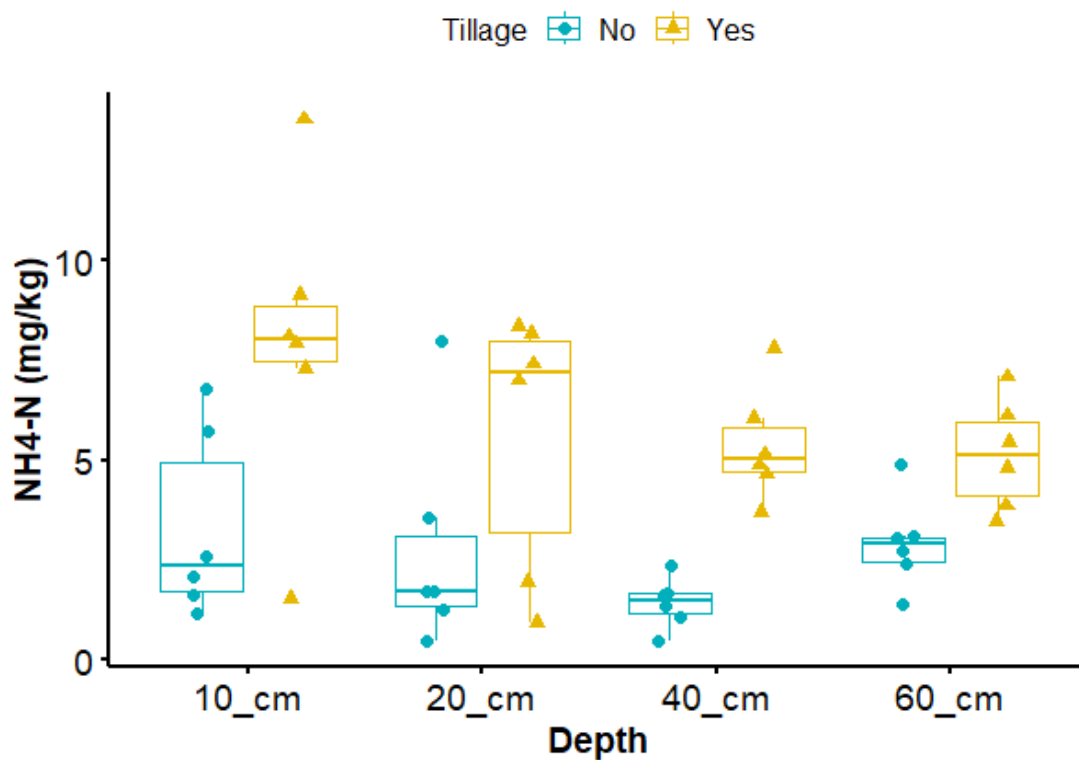




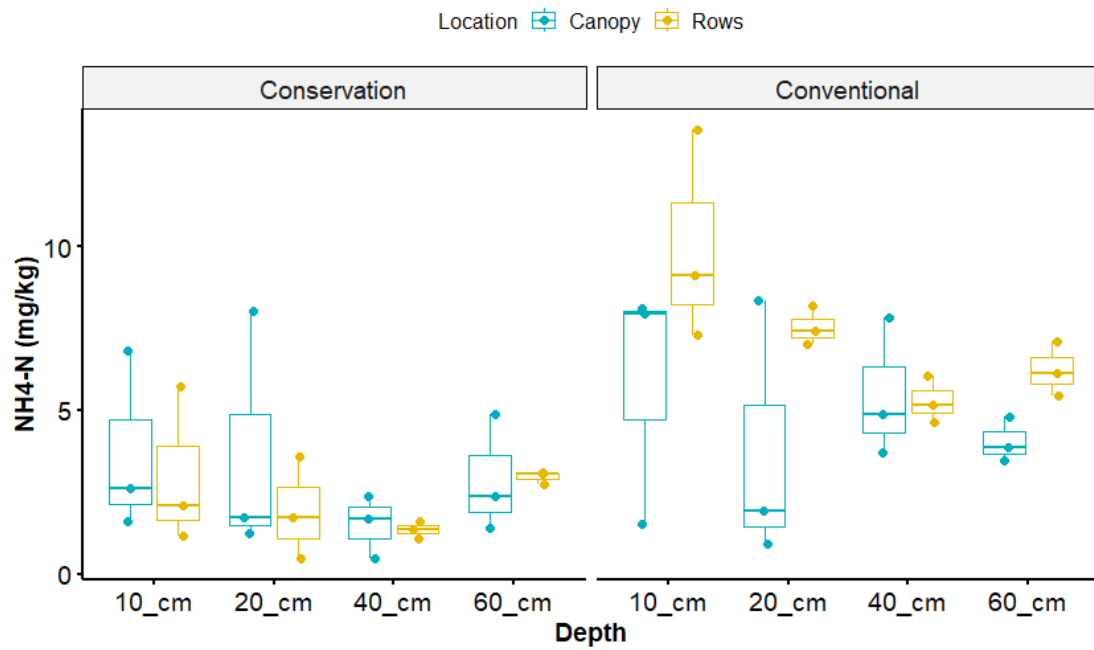
Διάγραμμα 4.8 Μεταβολή των POM & MAOM του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



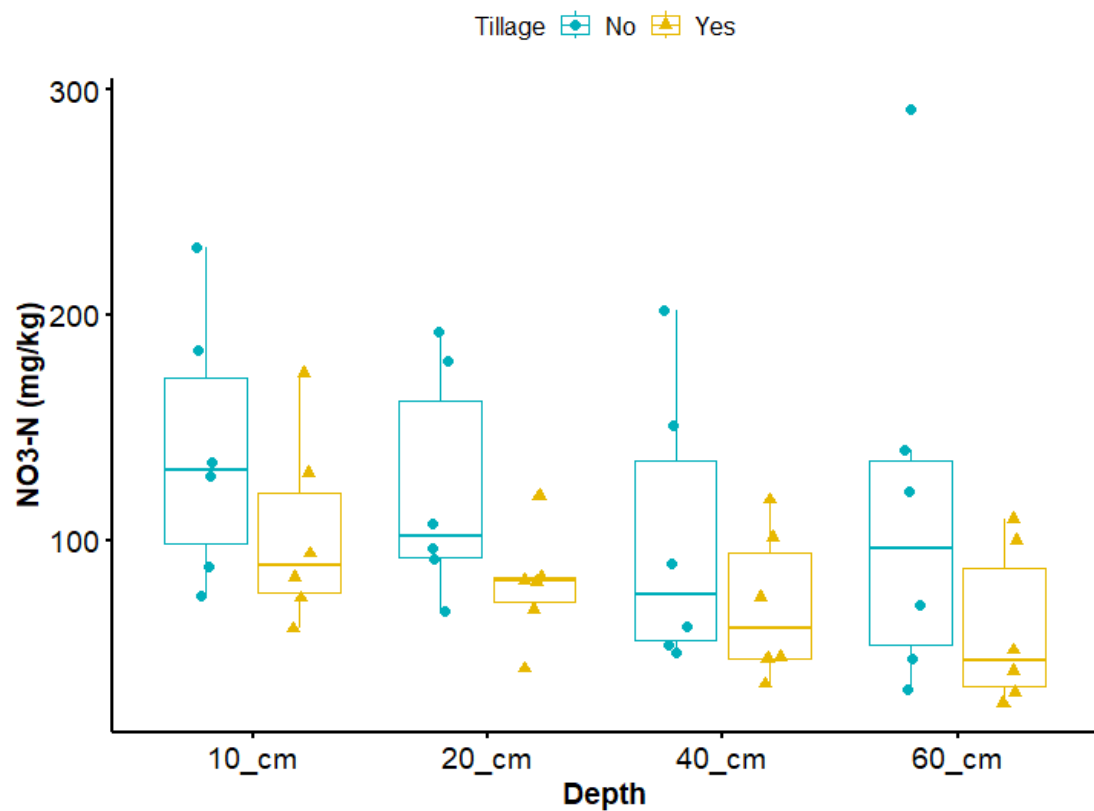
Διάγραμμα 4.9 Μεταβολή του TN του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



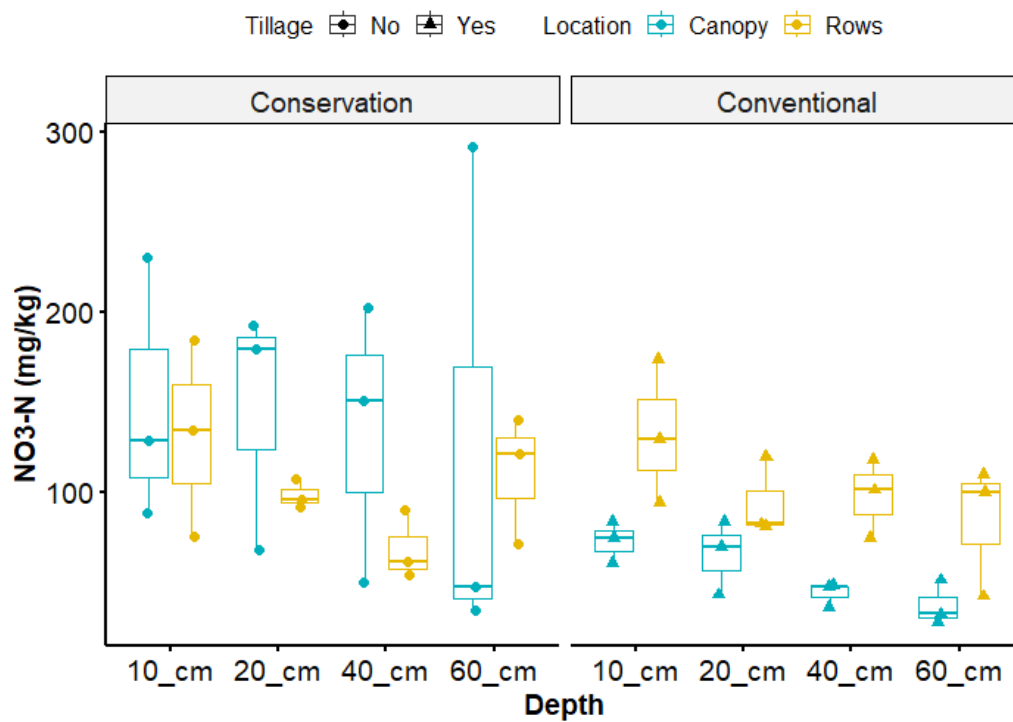
Διάγραμμα 4.10 Μεταβολή του NH4-N του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



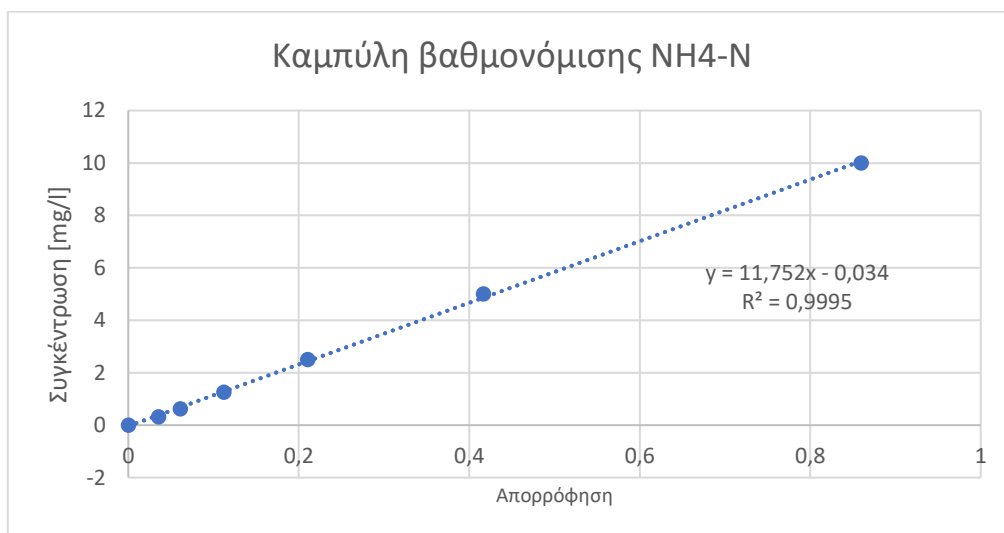
Διάγραμμα 4.11 Μεταβολή του  $\text{NH}_4\text{-N}$  του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



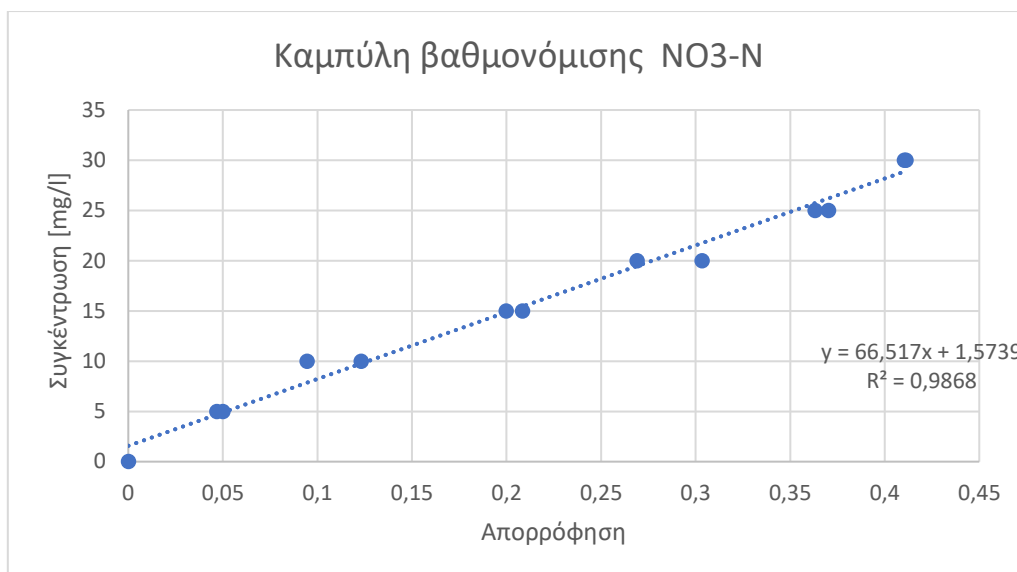
Διάγραμμα 4.12 Μεταβολή του  $\text{NO}_3\text{-N}$  του εδάφους με το βάθος στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



Διάγραμμα 4.13 Μεταβολή του NO<sub>3</sub>-N του εδάφους με το βάθος και την τοποθεσία στο έδαφος ελαιώνα που εφαρμόζεται κατεργασία και μη κατεργασία εδάφους από τον Απρίλιο του 2021



Διάγραμμα Καμπύλη βαθμονόμησης NH<sub>4</sub>-N



Διάγραμμα: Καμπύλη βαθμονόμησης NO<sub>3</sub>-N

Παράρτημα πινάκων

Sample_no	Tillage	Depth [cm]	Location	pH	EC[ms/cm]
1	Yes	10	Canopy	7,5	2,37
2	Yes	20	Canopy	7,46	2,33
3	Yes	40	Canopy	7,47	2,3
4	Yes	60	Canopy	7,52	2,33
5	Yes	10	Rows	7,37	2,36
6	Yes	20	Rows	7,38	2,35
7	Yes	40	Rows	7,44	2,36
8	Yes	60	Rows	7,51	2,32
9	Yes	10	Canopy	7,47	2,35
10	Yes	20	Canopy	7,48	2,36
11	Yes	40	Canopy	7,59	2,36
12	Yes	60	Canopy	7,52	2,36
13	Yes	10	Rows	7,35	2,43
14	Yes	20	Rows	7,41	2,31
15	Yes	40	Rows	7,5	2,31
16	Yes	60	Rows	7,56	2,29
17	Yes	10	Canopy	7,56	2,36
18	Yes	20	Canopy	7,52	2,38
19	Yes	40	Canopy	7,52	2,4
20	Yes	60	Canopy	7,56	2,49
21	Yes	10	Rows	7,22	2,46
22	Yes	20	Rows	7,24	2,37
23	Yes	40	Rows	7,41	2,35
24	Yes	60	Rows	7,55	2,33
25	No	10	Canopy	7,41	2,35
26	No	20	Canopy	7,45	2,42
27	No	40	Canopy	7,48	2,43
28	No	60	Canopy	7,58	2,34
29	No	10	Rows	7,38	2,34
30	No	20	Rows	7,35	2,35
31	No	40	Rows	7,5	2,35
32	No	60	Rows	7,45	2,34
33	No	10	Canopy	7,3	2,48
34	No	20	Canopy	7,28	2,51
35	No	40	Canopy	7,46	2,56
36	No	60	Canopy	7,61	2,69
37	No	10	Rows	7,29	2,42
38	No	20	Rows	7,37	2,34
39	No	40	Rows	7,47	2,35
40	No	60	Rows	7,52	2,35
41	No	10	Canopy	7,38	2,63
42	No	20	Canopy	7,44	2,56
43	No	40	Canopy	7,64	2,58
44	No	60	Canopy	7,67	2,69
45	No	10	Rows	7,44	2,47
46	No	20	Rows	7,48	2,36
47	No	40	Rows	7,39	2,33
48	No	60	Rows	7,52	2,4

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα πειράματος pH&EC

Sample_no	Tillage	Depth [cm]	Location	TIC[g/kg]	TIC[%]
1	Yes	10	Canopy	29,088192384770	2,909
2	Yes	20	Canopy	28,990798311445	2,899
3	Yes	40	Canopy	26,730410852713	2,673
4	Yes	60	Canopy	27,008433962264	2,701
5	Yes	10	Rows	27,664077335375	2,766
6	Yes	20	Rows	24,802637755102	2,48
7	Yes	40	Rows	25,691527617477	2,569
8	Yes	60	Rows	22,565773819387	2,257
9	Yes	10	Canopy	24,596933823529	2,46
10	Yes	20	Canopy	23,099092307692	2,31
11	Yes	40	Canopy	23,680972111554	2,368
12	Yes	60	Canopy	23,550977606178	2,355
13	Yes	10	Rows	26,291997476871	2,629
14	Yes	20	Rows	26,123591208791	2,612
15	Yes	40	Rows	25,121212598425	2,512
16	Yes	60	Rows	20,816848134991	2,082
17	Yes	10	Canopy	19,677178931061	2,268
18	Yes	20	Canopy	22,431725409836	2,243
19	Yes	40	Canopy	24,420790255987	2,442
20	Yes	60	Canopy	24,987682464455	2,499
21	Yes	10	Rows	23,734622716442	2,373
22	Yes	20	Rows	25,000016260163	2,5
23	Yes	40	Rows	23,639309505106	2,364
24	Yes	60	Rows	23,954883369331	2,395
25	No	10	Canopy	24,843405797101	2,484
26	No	20	Canopy	24,634893333333	2,463
27	No	40	Canopy	23,527648972603	2,353
28	No	60	Canopy	28,911658536585	2,891
29	No	10	Rows	28,515634020619	2,852
30	No	20	Rows	28,176938362466	2,818
31	No	40	Rows	25,766746575343	2,577
32	No	60	Rows	25,348362204724	2,535
33	No	10	Canopy	33,567309574468	3,327
34	No	20	Canopy	32,118919266055	3,212
35	No	40	Canopy	30,052234375000	3,005
36	No	60	Canopy	34,840612500000	3,354
37	No	10	Rows	28,415521305530	2,842
38	No	20	Rows	27,865897959184	2,787
39	No	40	Rows	27,686547671840	2,769
40	No	60	Rows	29,285424379233	2,929
41	No	10	Canopy	32,496255033557	3,25
42	No	20	Canopy	32,137789915966	3,214
43	No	40	Canopy	30,259213793103	3,026
44	No	60	Canopy	31,332730989370	3,133
45	No	10	Rows	31,005300791557	3,101
46	No	20	Rows	29,692573109244	2,969
47	No	40	Rows	30,363338028169	3,036
48	No	60	Rows	29,478465156794	2,948

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα πειράματος TIC

Sample_no	Tillage	Depth [cm]	Location	TOC[g/kg]	TOC[%]	MAOM	POM
1	Yes	10	Canopy	16,51969023	1,652	0,722	0,93
2	Yes	20	Canopy	14,38379869	1,438	1,051	0,387
3	Yes	40	Canopy	8,689390572	0,869	0,387	0,482
4	Yes	60	Canopy	7,444537746	0,744	0,493	0,251
5	Yes	10	Rows	16,7530963	1,675	0,887	0,788
6	Yes	20	Rows	15,58687737	1,559	1,162	0,397
7	Yes	40	Rows	11,8168487	1,182	0,126	1,056
8	Yes	60	Rows	7,408253623	0,741	0,131	0,61
9	Yes	10	Canopy	15,33526029	1,534	1,074	0,46
10	Yes	20	Canopy	13,40267597	1,34	0,74	0,6
11	Yes	40	Canopy	8,578868819	0,858	0,473	0,385
12	Yes	60	Canopy	7,388802768	0,739	0,466	0,273
13	Yes	10	Rows	16,18807447	1,619	0,914	0,705
14	Yes	20	Rows	13,92724154	1,393	0,479	0,914
15	Yes	40	Rows	8,723743818	0,872	0,253	0,619
16	Yes	60	Rows	8,953537222	0,895	0,196	0,699
17	Yes	10	Canopy	16,0704506	1,607	0,913	0,694
18	Yes	20	Canopy	12,70791507	1,271	0,645	0,626
19	Yes	40	Canopy	9,192690971	0,919	0,633	0,286
20	Yes	60	Canopy	7,127813287	0,713	0,015	0,698
21	Yes	10	Rows	26,30927025	2,331	2,186	0,145
22	Yes	20	Rows	20,40078827	1,94	1,537	0,403
23	Yes	40	Rows	14,12594409	1,413	0,755	0,658
24	Yes	60	Rows	6,935838442	0,694	0,406	0,288
25	No	10	Canopy	14,55621113	1,656	1,047	0,609
26	No	20	Canopy	15,05446383	1,505	0,865	0,64
27	No	40	Canopy	12,28043162	1,228	1,2	0,028
28	No	60	Canopy	7,614547944	0,761	0,945	0
29	No	10	Rows	16,35422724	1,635	0,884	0,751
30	No	20	Rows	15,66931872	1,567	0,843	0,724
31	No	40	Rows	9,899582674	0,99	0,556	0,434
32	No	60	Rows	7,55056252	0,755	0,504	0,251
33	No	10	Canopy	23,84343894	2,384	1,681	0,703
34	No	20	Canopy	19,39559444	1,94	0,728	1,212
35	No	40	Canopy	12,35939375	1,236	1,329	0
36	No	60	Canopy	7,314558371	0,731	0,075	0,656
37	No	10	Rows	19,08233067	1,908	1,782	0,126
38	No	20	Rows	14,91110898	1,491	1,28	0,211
39	No	40	Rows	10,08947834	1,009	0,457	0,552
40	No	60	Rows	6,536446117	0,654	0,165	0,489
41	No	10	Canopy	21,31920013	2,132	1,739	0,393
42	No	20	Canopy	15,69363852	1,669	0,775	0,894
43	No	40	Canopy	9,707628246	0,971	0,437	0,534
44	No	60	Canopy	6,171548536	0,617	0,43	0,187
45	No	10	Rows	16,16092366	1,786	1,392	0,394
46	No	20	Rows	11,27928065	1,198	0,806	0,392
47	No	40	Rows	8,728370636	0,873	0,51	0,363
48	No	60	Rows	6,757035261	0,676	0,147	0,529

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα πειράματος TOC



Sample_no	Tillage	Depth [cm]	Location	TN[g/kg]	TN[%]
1	Yes	10	Canopy	1,8936300174520	0,189
2	Yes	20	Canopy	1,6470994248151	0,165
3	Yes	40	Canopy	1,0903340757238	0,109
4	Yes	60	Canopy	0,9497084318361	0,095
5	Yes	10	Rows	2,1395673412422	0,214
6	Yes	20	Rows	1,9385011355034	0,194
7	Yes	40	Rows	1,4115789473684	0,141
8	Yes	60	Rows	0,9435362318841	0,094
9	Yes	10	Canopy	2,0058300132802	0,201
10	Yes	20	Canopy	1,6848837209302	0,168
11	Yes	40	Canopy	1,2022597212032	0,12
12	Yes	60	Canopy	0,9680340667140	0,097
13	Yes	10	Rows	2,2535714285714	0,225
14	Yes	20	Rows	1,8860517584605	0,189
15	Yes	40	Rows	1,2127856025039	0,121
16	Yes	60	Rows	1,0066001534919	0,101
17	Yes	10	Canopy	1,7573431241656	0,176
18	Yes	20	Canopy	1,4332348596750	0,143
19	Yes	40	Canopy	1,0774355083460	0,108
20	Yes	60	Canopy	0,8999169550173	0,09
21	Yes	10	Rows	2,9293296089386	0,293
22	Yes	20	Rows	2,2680456026059	0,227
23	Yes	40	Rows	1,6712809624912	0,167
24	Yes	60	Rows	0,9071038961039	0,091
25	No	10	Canopy	1,6696005706134	0,167
26	No	20	Canopy	1,7330223123732	0,173
27	No	40	Canopy	1,4632012432012	0,146
28	No	60	Canopy	0,9547577092511	0,095
29	No	10	Rows	1,9739051918736	0,197
30	No	20	Rows	1,8886765857479	0,189
31	No	40	Rows	1,1866712141883	0,119
32	No	60	Rows	0,9833764135703	0,098
33	No	10	Canopy	2,8995221238938	0,29
34	No	20	Canopy	2,1686190476191	0,217
35	No	40	Canopy	1,3917593297791	0,139
36	No	60	Canopy	0,9666057838661	0,097
37	No	10	Rows	2,1042651757189	0,21
38	No	20	Rows	1,6772064466616	0,168
39	No	40	Rows	1,1880653950954	0,119
40	No	60	Rows	0,8284604715673	0,083
41	No	10	Canopy	2,3446975546976	0,234
42	No	20	Canopy	1,8488390501319	0,185
43	No	40	Canopy	1,1514088397790	0,115
44	No	60	Canopy	0,8379648609078	0,084
45	No	10	Rows	1,8883358778626	0,189
46	No	20	Rows	1,3270220868241	0,133
47	No	40	Rows	1,0760487144790	0,108
48	No	60	Rows	0,8809120521173	0,088

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα πειράματος TN

SAMPLES	SOIL
MASS	1,75 g
VOLUME	10,5 mL
KCL 2M	Standards
ABSORPTION	Concentration NH4 (mg/l)    intercept    -0,03400
0	0    slope    11,75241
0,0353	0,31    R^2    0,995
0,0608	0,62
0,112	1,25
0,2103	2,5
0,4166	5
0,8598	10

Πίνακας 7.5 Τιμές καμπύλης βαθμονόμησης πειράματος  $NH_4-N$

Sample_no	Tillage	Depth[cm]	Location	Mass(g)	Abs	Conc(mg/l)	Conc (mg/kg)
1	Yes	10	Canopy	1,75	0,0186	0,2526	1,5155
2	Yes	20	Canopy	1,75	0,0101	0,1527	0,9162
3	Yes	40	Canopy	1,75	0,0497	0,6181	3,7085
4	Yes	60	Canopy	1,75	0,0518	0,6428	3,8566
5	Yes	10	Rows	1,75	0,1008	1,2186	7,3118
6	Yes	20	Rows	1,75	0,0963	1,1658	6,9945
7	Yes	40	Rows	1,75	0,0702	0,8590	5,1541
8	Yes	60	Rows	1,75	0,0839	1,0200	6,1201
9	Yes	10	Canopy	1,75	0,1095	1,3209	7,9253
10	Yes	20	Canopy	1,75	0,0245	0,3219	1,9316
11	Yes	40	Canopy	1,75	0,1079	1,3021	7,8125
12	Yes	60	Canopy	1,75	0,0461	0,5758	3,4547
13	Yes	10	Rows	1,75	0,1266	1,5219	9,1311
14	Yes	20	Rows	1,75	0,1131	1,3632	8,1792
15	Yes	40	Rows	1,75	0,0829	1,0083	6,0496
16	Yes	60	Rows	1,75	0,0977	1,1822	7,0932
17	Yes	10	Canopy	1,75	0,112	1,3503	8,1016
18	Yes	20	Canopy	1,75	0,1157	1,3938	8,3625
19	Yes	40	Canopy	1,75	0,0662	0,8120	4,8720
20	Yes	60	Canopy	1,75	0,0651	0,7991	4,7945
21	Yes	10	Rows	1,75	0,1892	2,2576	13,5453
22	Yes	20	Rows	1,75	0,1022	1,2351	7,4106
23	Yes	40	Rows	1,75	0,0629	0,7732	4,6393
24	Yes	60	Rows	1,75	0,0743	0,9072	5,4432
25	No	10	Canopy	1,75	0,0934	1,1317	6,7900
26	No	20	Canopy	1,75	0,1106	1,3338	8,0029
27	No	40	Canopy	1,75	0,0308	0,3960	2,3758
28	No	60	Canopy	1,75	0,0309	0,3971	2,3829
29	No	10	Rows	1,75	0,0134	0,1915	1,1489
30	No	20	Rows	1,75	0,0212	0,2831	1,6989
31	No	40	Rows	1,75	0,0124	0,1797	1,0784
32	No	60	Rows	1,75	0,0407	0,5123	3,0739
33	No	10	Canopy	1,75	0,0341	0,4348	2,6085
34	No	20	Canopy	1,75	0,0148	0,2079	1,2476

35	No	40	Canopy	1,75	0,0036	0,0763	0,4578
36	No	60	Canopy	1,75	0,0167	0,2303	1,3816
37	No	10	Rows	1,75	0,0782	0,9530	5,7182
38	No	20	Rows	1,75	0,0478	0,5958	3,5746
39	No	40	Rows	1,75	0,0163	0,2256	1,3534
40	No	60	Rows	1,75	0,0405	0,5100	3,0598
41	No	10	Canopy	1,75	0,0199	0,2679	1,6072
42	No	20	Canopy	1,75	0,0217	0,2890	1,7341
43	No	40	Canopy	1,75	0,021	0,2808	1,6848
44	No	60	Canopy	1,75	0,0664	0,8144	4,8861
45	No	10	Rows	1,75	0,0269	0,3501	2,1008
46	No	20	Rows	1,75	0,0037	0,0775	0,4649
47	No	40	Rows	1,75	0,02	0,2690	1,6143
48	No	60	Rows	1,75	0,036	0,4571	2,7425

Πίνακας 7.6 Αποτελέσματα πειράματος  $NH_4-N$

SAMPLES	SOIL
MASS	1,75 g
VOLUME	10,5 mL
KCL 2M	Standards
ABSORPTION	Concentration $NH_4$ (mg/l)    intercept    1,5738917
0	0    Slope    66,516725
0,05	5    R^2    0,9868
0,0467	5
0,1231	10
0,0944	10
0,1997	15
0,2084	15
0,269	20
0,3033	20
0,3631	25
0,3703	25
0,4104	30
0,4111	30

Πίνακας 7.7 Τιμές καμπύλης βαθμονόμησης πειράματος  $NO_3-N$

Sample_no	Tillage	Depth[cm]	Location	Mass(g)	Abs	Conc(mg/l)	Conc (mg/kg)
1	Yes	10	Canopy	1,75	0,1849	13,8728	83,2370
2	Yes	20	Canopy	1,75	0,1855	13,9127	83,4765
3	Yes	40	Canopy	1,75	0,0951	7,8996	47,3978
4	Yes	60	Canopy	1,75	0,1044	8,5182	51,1094
5	Yes	10	Rows	1,75	0,2121	15,6821	94,0925
6	Yes	20	Rows	1,75	0,1826	13,7198	82,3191
7	Yes	40	Rows	1,75	0,2714	19,6265	117,7592
8	Yes	60	Rows	1,75	0,2509	18,2629	109,5776
9	Yes	10	Canopy	1,75	0,1623	12,3696	74,2173
10	Yes	20	Canopy	1,75	0,1502	11,5647	69,3882
11	Yes	40	Canopy	1,75	0,0966	7,9994	47,9964
12	Yes	60	Canopy	1,75	0,0454	4,5938	27,5625
13	Yes	10	Rows	1,75	0,412	28,9788	173,8727
14	Yes	20	Rows	1,75	0,1797	13,5269	81,1617
15	Yes	40	Rows	1,75	0,1629	12,4095	74,4568
16	Yes	60	Rows	1,75	0,0819	7,0216	42,1297
17	Yes	10	Canopy	1,75	0,1283	10,1080	60,6479
18	Yes	20	Canopy	1,75	0,0838	7,1480	42,8880
19	Yes	40	Canopy	1,75	0,0667	6,0106	36,0633
20	Yes	60	Canopy	1,75	0,0574	5,3920	32,3517
21	Yes	10	Rows	1,75	0,3011	21,6021	129,6125
22	Yes	20	Rows	1,75	0,2758	19,9192	119,5152
23	Yes	40	Rows	1,75	0,2299	16,8661	101,1965
24	Yes	60	Rows	1,75	0,2264	16,6333	99,7997
25	No	10	Canopy	1,75	0,1975	14,7109	88,2657
26	No	20	Canopy	1,75	0,1473	11,3718	68,2308
27	No	40	Canopy	1,75	0,1013	8,3120	49,8722
28	No	60	Canopy	1,75	0,0957	7,9395	47,6373
29	No	10	Rows	1,75	0,1649	12,5425	75,2550
30	No	20	Rows	1,75	0,2453	17,8904	107,3427
31	No	40	Rows	1,75	0,1305	10,2543	61,5259
32	No	60	Rows	1,75	0,1554	11,9106	71,4635
33	No	10	Canopy	1,75	0,2975	21,3626	128,1757
34	No	20	Canopy	1,75	0,4264	29,9366	179,6197
35	No	40	Canopy	1,75	0,483	33,7015	202,2088
36	No	60	Canopy	1,75	0,7063	48,5547	291,3279
37	No	10	Rows	1,75	0,3126	22,3670	134,2021
38	No	20	Rows	1,75	0,2052	15,2231	91,3387
39	No	40	Rows	1,75	0,2014	14,9704	89,8222
40	No	60	Rows	1,75	0,3262	23,2716	139,6299
41	No	10	Canopy	1,75	0,5526	38,3310	229,9862
42	No	20	Canopy	1,75	0,4579	32,0319	192,1914
43	No	40	Canopy	1,75	0,3538	25,1075	150,6451
44	No	60	Canopy	1,75	0,0614	5,6580	33,9481
45	No	10	Rows	1,75	0,4387	30,7548	184,5287
46	No	20	Rows	1,75	0,2173	16,0280	96,1679
47	No	40	Rows	1,75	0,1109	8,9506	53,7036
48	No	60	Rows	1,75	0,2803	20,2185	121,3112

Πίνακας 7.8 Αποτελέσματα πειράματος  $\text{NO}_3\text{-N}$