



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ - ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## Συσσώρευση Οργανικού Υλικού στα Εδάφη της Κρήτης: Ο Ρόλος της Βλάστησης

---

Διπλωματική εργασία  
Ελένη Κορύλλου

### Τριμελής Επιτροπή

Παρανυχιανάκης Νικόλαος (Επιβλέπων)  
Νικολαΐδης Νικόλαος  
Καλογεράκης Νικόλαος

### Αναπληρωματικό μέλος

Καρατζάς Γεώργιος

Χανιά, Φεβρουάριος, 2019



## Περίληψη

Παγκοσμίως είναι εμφανής η ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων. Η βελτίωση των καλλιεργητικών πρακτικών είναι σημαντική για την επίτευξη του στόχου αυτού. Καλύτερη ποιότητα εδάφους επιφέρει και επιθυμητά αποτελέσματα στον αγροτικό τομέα. Το έδαφος όμως μπορεί να αποτελέσει και περιβαλλοντικό ρυθμιστή καθώς μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες άνθρακα. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της βλάστησης στην ποιότητα του εδάφους. Η συγκέντρωση άνθρακα και αζώτου στο έδαφος αλλά και ο τρόπος αποθήκευσής τους είναι ζωτικής σημασίας για να κατανοήσουμε την λειτουργία του ισοζυγίου του άνθρακα και του αζώτου στο έδαφος.

Η περιοχή που εξετάζεται στην παρούσα έρευνα είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Με στόχο την κατανόηση του εδαφικού υλικού συγκρίνονται αποτελέσματα από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες εδαφών καλλιέργειας δέντρων ελιάς και αβοκάντο. Τα δύο αυτά δέντρα επιλέχθηκαν για τα αποκλίνοντα χαρακτηριστικά τους. Όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα που παραθέτονται αργότερα στην εργασία, τα εδάφη στα οποία καλλιεργείται αβοκάντο έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικού υλικού και αζώτου. Επιπλέον υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση ανάμεσα στα εδαφικά συσσωματώματα και το οργανικό υλικό άρα γίνεται εξέταση της δυναμικής τους.

## *Abstract*

Worldwide, the need for better management of natural resources is evident. Since a large fraction of these resources is used for agriculture, improving cultivation practices is important for achieving this goal. Better soil quality, brings about desirable results in the agricultural sector. But soil can also be an environmental regulator as it can store large amounts of carbon and nitrogen. This thesis investigates the effect of crop type on SOM accumulation. It is vital to understand, carbon and nitrogen concentration in the soil, as well as the way these compounds are stored.

The area under consideration in this research, is the Kiliaris river basin. In order to understand the soil material, results from the physical and chemical properties of olive tree and avocado cultivation lands are compared. These two crops were selected for their divergent characteristics. As shown in the results listed later in the work, the soils cultivated with avocados have a higher concentration of SOC and nitrogen. Moreover, there is a significant interaction between the soil aggregates and the organic material, so their dynamics is examined thoroughly.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Πίνακας Διαγραμμάτων .....	6
Πίνακας Εικόνων .....	6
1 Εισαγωγή .....	7
1.1 Η υφιστάμενη κατάσταση του εδάφους.....	7
1.2 Σημασία Του Οργανικού Υλικού Στο Έδαφος.....	8
1.2.1 Άνθρακας και Έδαφος .....	8
1.2.2 Διεργασίες που Μετέχει η Οργανική Ύλη .....	9
1.2.3 Κορεσμός Άνθρακα Στα Εδαφικά Συστήματα .....	10
1.3 Συσσώρευση Οργανικού Υλικού στο Έδαφος από τα Συσσωματώματα .....	10
1.3.1 Δημιουργία Συσσωματωμάτων.....	11
1.4 Παράγοντες Που Επηρεάζουν Τα Συσσωματώματα.....	13
1.4.1 Επίδραση Του Κλίματος.....	14
1.4.2 Επίδραση Κατεργασίας Εδάφους.....	15
1.4.3 Επίδραση της Ξήρανσης και Διαβροχής.....	17
1.4.4 Επίδραση των Μικροοργανισμών.....	17
1.4.5 Επίδραση των Οξειδίων του Εδάφους .....	18
1.4.6 Επίδραση της Κοκκομετρίας.....	19
1.5 Ρόλος της Βλάστησης .....	20
1.5.1 Αποδόμηση Οργανικού Υλικού – Ο Ρόλος Της Βλάστησης.....	20
2 Αντικείμενα Διπλωματικής Εργασίας.....	21
3 Υλικά Και Μέθοδοι .....	21
4 Πρωτόκολλο Πειραματικών Μετρήσεων .....	23
4.1.1 Περιεχόμενη Υγρασία.....	23
4.1.2 Υφή Εδάφους - Bouyoukos Hydrometer Method .....	24
4.1.3 Μέτρηση Συσσωματωμάτων (WSA: Water Stable Aggregate) .....	25
4.1.4 Αμμωνιακό Άζωτο ( $N-NH_4^+$ ) .....	26
4.1.5 Νιτρικό Άζωτο ( $N-NO_3^-$ ) .....	27
4.1.6 Μέτρηση Μικροβιακής Αναπνοής (Respiration ).....	28
4.1.7 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) & Ολικό Άζωτο (TN).....	28
5 Αποτελέσματα .....	30
5.1 Δομή του εδάφους.....	30
5.1.1 Υφή Εδάφους.....	31

5.1.2	Ποσοστό Υγρασίας Στο Έδαφος .....	32
5.1.3	Συγκέντρωση Οργανικού Υλικού και Ολικού Αζώτου .....	34
5.1.4	Κατανομή Μάζας Συσσωματωμάτων.....	40
5.1.5	Αναπνοή Μικροοργανισμών .....	44
5.1.6	Αμμωνιακά και Νιτρικό Άζωτο .....	45
6	Συζήτηση .....	47
6.1.1	Δομή του Εδάφους .....	47
6.1.2	Είδος βλάστησης .....	48
6.1.3	Επίδραση του Βάθους .....	49
7	Βιβλιογραφία.....	50

## Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Κλασματική ανάλυση κοκκομετρίας.....	31
Διάγραμμα 2 Τοποθέτηση των εδαφών των αγρών κατηγοριοποίηση της υφής.....	32
Διάγραμμα 3 Ποσοστό υγρασίας σε αναλογία με την υφή του εδάφους. ....	33
Διάγραμμα 4 Ποσοστό υγρασίας σε αναλογία με το βάθος .....	34
Διάγραμμα 5 Συγκέντρωση TOC σε διαφορετικά εδάφη υπό καλλιέργεια ελιάς και αβοκάντο .....	35
Διάγραμμα 6 Συγκέντρωση TN σε διαφορετικά εδάφη υπό καλλιέργεια ελιάς και αβοκάντο .....	35
Διάγραμμα 7 Λόγος C:N σε καλλιέργειες ελιάς και αβοκάντο.....	36
Διάγραμμα 8 Συγκέντρωση TOC σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε βάθος A και B. ....	37
Διάγραμμα 9 Συγκέντρωση TN σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε βάθος A, B .....	38
Διάγραμμα 10 Συγκέντρωση TOC σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε διαφορετικές περιοχές.....	39
Διάγραμμα 11 Συγκέντρωση TN σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε διαφορετικές περιοχές.....	39
Διάγραμμα 12 Μέσος όρος καθαρού βάρους σε εδάφη καλλιέργειας ελιάς και αβοκάντο.....	41
Διάγραμμα 13 Συγκέντρωση TOC στα συσσωματώματα εδάφους.....	42
Διάγραμμα 14 Μέσος όρος ολικού αζώτου στα συσσωματώματα εδάφους .....	43
Διάγραμμα 15 Αναλογία άνθρακα προς αζώτου στα συσσωματώματα εδάφους .....	44
Διάγραμμα 16 Μέσος όρος μικροβιακής αναπνοής στο έδαφος.....	45
Διάγραμμα 17 Συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε βάθος A,B.....	46
Διάγραμμα 18 Συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε καλλιέργειες avocado και ελιάς .....	46

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Κύκλος Ζωής Συσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004) .....	12
Εικόνα 2: Ρυθμός ανοργανοποίησης του άνθρακα - Ποσοστό ανακύκλωσης μακροσυσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004) .....	13
Εικόνα 3 : Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση και σταθεροποίηση συσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004).....	14
Εικόνα 4 Περιοχή ποταμού Κοιλιάρη (Google Maps, 2018) .....	22
Εικόνα 5: Βλάστηση περιοχής ποταμού Κοιλιάρη (Google Maps, 2018) .....	23
Εικόνα 6 Οπτικοποίηση λειτουργίας των κοσκίνων .....	25
Εικόνα 7 Ειδικός θάλαμος μέτρησης και θερμομετρική συσκευή .....	28
Εικόνα 8 Συσκευή Multi N/C 2100 analyticjena (Technical data AnalyticJena 2014) .....	29

# **1 Εισαγωγή**

## **1.1 Η υφιστάμενη κατάσταση του εδάφους**

Στα χερσαία οικοσυστήματα, ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (soil organic carbon, SOC) είναι μακράν η μεγαλύτερη δεξαμενή οργανικού άνθρακα. Σε παγκόσμια κλίμακα περιέχει πάνω από 1550 Pg C, ακολουθούμενος από την δεξαμενή ανόργανου άνθρακα (soil inorganic carbon, SIC) (750-950 Pg C) και τη χερσαία βλάστηση (600 Pg C) (Schimel, 1995). Ως εκ τούτου, η δεξαμενή C του εδάφους (SOC και SIC) είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτήν της βλάστησης επί ξηράς και τρεις φορές μεγαλύτερη από την δεξαμενή ατμοσφαιρικού άνθρακα (C). Η ετήσια δέσμευση SOC ισοδυναμεί με το 1/4 σε σύγκριση με τους 8 Gt άνθρακα που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Lal 2004). Η καθαρή ετήσια αύξηση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>-C εκτιμάται ότι είναι περίπου 4,3 Pg/yr. Συνεπώς, ακόμη και μια μικρή ετήσια ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας του C που αποθηκεύεται ή απελευθερώνεται από τα αποθέματα SOC θα μπορούσε εύκολα να επηρεάσει την καθαρή μεταβολή του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> (Smith 2012). Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί άρα περιβαλλοντικός ρυθμιστής καθώς επηρεάζει τις εκπομπές αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), που αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου και άρα επιδρούν σημαντικά στην σύσταση της ατμόσφαιρας και στη διαμόρφωση του κλίματος (Diaz κ.ά. 2007)

Τα εδάφη δημιουργούνται μέσω φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, ξεκινώντας από στερεά πετρώματα ή από χαλαρά πετρώματα. Δυστυχώς, η διεργασία σχηματισμού του εδάφους είναι μια διαδικασία τόσο αργή που τελικά κατηγοριοποιείται ως μη ανανεώσιμος πόρος. Συγκεκριμένα, τα αποθέματα του άνθρακα στο έδαφος οφείλουν να προστατευτούν για την αποφυγή της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου και την αναβάθμιση του εδάφους για καλλιεργητικούς και μη σκοπούς. Έχει εκτιμηθεί πως το 45 % των εδαφών στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη με το φαινόμενο να

εντοπίζεται κυρίως στη Νότια Ευρώπη (Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2006), επομένως και στην περιοχή της Κρήτης.

## **1.2 Σημασία Του Οργανικού Υλικού Στο Έδαφος**

### **1.2.1 Άνθρακας και Έδαφος**

Υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ της εδαφικής δομής και των χημικών στοιχείων του άνθρακα και του αζώτου. Η εύρυθμη λειτουργία των εδαφικών οικοσυστημάτων εξαρτάται από αυτά και κατ' επέκταση και από τους βιοχημικούς τους κύκλους.

Στο έδαφος, το οργανικό υλικό έχει σημαντικό ρόλο στις βιολογικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες του. Σε βιολογικό επίπεδο αποτελεί πηγή θρεπτικών για τα φυτά και υπόστρωμα για την μικροβιακή δραστηριότητα. Χημικά ρυθμίζει και αλλάζει το pH, ενώ φυσικές ιδιότητες θεωρούμε την σταθεροποίηση της δομής του εδάφους. Ο άνθρακας αποτελεί επίσης δρώσα δύναμη για την αποσάθρωση των ορυκτών και παραγωγή μικρο-θρεπτικών. Στο έδαφος γίνεται εισροή άνθρακα κυρίως μέσω των φυτικών υπολειμμάτων και την μετέπειτα μετασχηματισμό-αποδόμηση αυτών. Το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης για τη σύνθεση χημικών ενώσεων που αποτελούν δομικά συστατικά του φυτού. Οι ενώσεις που κυριαρχούν είναι επί το πλείστον κυτταρίνη (35-45%), λιγνίνη, ημικυτταρίνη, λιπίδια, πρωτεΐνες, σάκχαρα και άμυλο. Στο τέλος της ζωής του ιστού των φυτών, ο άνθρακας που έχει αφομοιωθεί στο φυτό καταλήγει στο έδαφος με τη μορφή αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης. Κατά την διαδικασία της αποσύνθεσης το 50% του C επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο το 55-75% του C της αποδόμησης ελευθερώνετε στην ατμόσφαιρα ως CO<sub>2</sub> μετά από ένα χρόνο. Ένα μικρό ποσοστό καταφέρνει να παραμείνει στο έδαφος για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια (Φραγκιά 2012)

Το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, στο οποίο κυρίως γίνονται οι διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών, ονομάζεται χούμος. Δημιουργείται από φυτικά υπολείμματα όπως φύλλα, κλαδιά, ρίζες καθώς και από τα εκκρίματα και υπολείμματα των

ζωικών οργανισμών. Η αποσύνθεση των υπολειμμάτων αυτών γίνεται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Το στρώμα του εδάφους που αποτελεί το χούμο είναι λεπτό και έχει μαύρη όψη και κολλοειδή υφή (Φραγκιά 2012)

### 1.2.2 Διεργασίες που Μετέχει η Οργανική Ύλη

Η οργανική ύλη πρωτίστως μετέχει σε δύο διεργασίες, στην ορυκτογένεση και την χουμποποίηση. Δηλαδή την διάσπαση της αρχικής οργανικής ουσίας σε ανόργανα συστατικά και την σύνθεση νέων πολύπλοκων οργανικών ενώσεων από τα συστατικά αυτά αντίστοιχα. Αναλυτικά οι λειτουργίες της οργανικής ύλης στο έδαφος σύμφωνα με τους Bot and Benites (2005) είναι :

1. Συμβάλλει στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, καθώς συγκρατεί τα κατιόντα και τα θρεπτικά συστατικά σε οργανικές μορφές στο έδαφος με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται σταδιακά τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών.
2. Δρα ως συγκολλητικό στα σωματίδια του εδάφους με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματωμάτων που βελτιώνουν την δομή του εδάφους όπως και τον αερισμό του
3. Αυξάνει το δυναμικό του εδάφους όσο αφορά την συγκράτηση και αποθήκευση νερού. Τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη μπορούν να συγκρατήσουν περισσότερο νερό απ' ό,τι εκείνα με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη.
4. Παρέχει τροφή για τους μικροοργανισμούς που ζουν στο έδαφος.

Όπως είναι φυσικό για τους λόγους αυτούς η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε άνθρακα αποτελεί και ποιοτικό δείκτη του εδάφους. Η περιεκτικότητα μεταβάλετε σε διαφορετικά εδάφη και περιοχές και μπορεί να κυμαίνεται από 0,80% έως 98,0%. Εδάφη με οργανική ουσία <20% χαρακτηρίζονται ως ανόργανα ενώ με περιεκτικότητα από 20% έως 80% θεωρούνται ως οργανικά (Κουκουλάκης et al., 2000).

### 1.2.3 Κορεσμός Άνθρακα Στα Εδαφικά Συστήματα

Συνολικά το απόθεμα C στα εδάφη παγκοσμίως έχει υπολογιστεί ότι φτάνουν τα 2500 Pg.

Αυτά κατανέμονται μεταξύ οργανικού (1,550 Pg) και ανόργανου (950 Pg) εδαφικού άνθρακα (Dungait κ.ά. 2012).

Παλαιότερα, η δυναμική αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος θεωρούνταν πως λειτουργούσε ως κινητική 1<sup>ης</sup> τάξης για την αποδόμηση των διάφορων εννοιολογικών αποθηκών OM. Αυτό σημαίνει πως ο αποθηκευμένος C είναι γραμμικά ανάλογος του C εισροής. Με αυτό το μοντέλο η αποθήκη του εδαφικού οργανικού άνθρακα δεν θα παρουσίαζε ανώτατο όριο και δεν θα υπήρχε το ενδεχόμενο εδαφικού κορεσμού. Η νέα αποδεκτή θεωρία είναι πως τα εδάφη παρουσιάζουν ανώτατο όριο στην αποθήκευση άνθρακα, άρα είναι πιθανός ο κορεσμός τους (Six κ.ά. 2002)

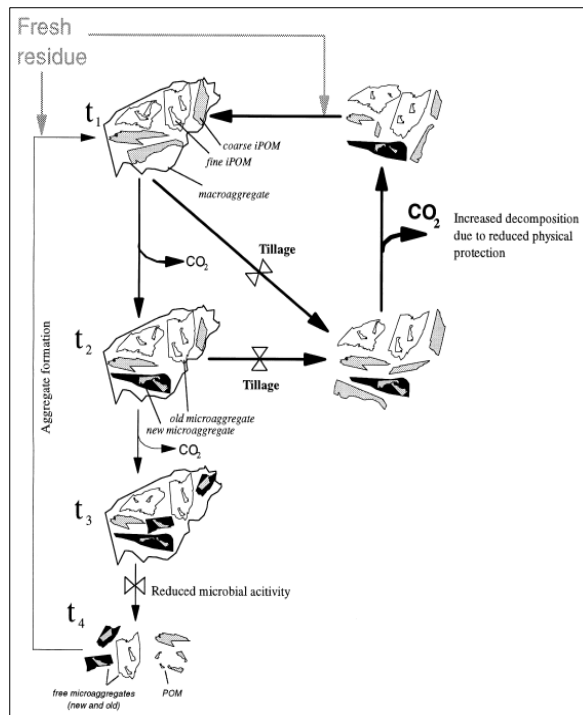
### 1.3 Συσσώρευση Οργανικού Υλικού στο Έδαφος από τα Συσσωματώματα

Βασικός παράγοντας που επιδρά στην συσσώρευση οργανικού υλικού, είναι η παρουσία συσσωματωμάτων στο έδαφος. Συσσωμάτωμα, ονομάζεται μια σύνδεση μεταξύ των ορυκτών σωματιδίων του εδάφους και της κολλοειδούς φάσης. Τα συσσωματώματα του εδάφους αποτελούν μια φυσική ασπίδα προστασίας του εδαφικού οργανικού υλικού από παράγοντες που προκαλούν την αποικοδόμηση του. Τα συσσωματώματα όχι μόνο προστατεύουν φυσικά την οργανική ύλη στο έδαφος, αλλά επηρεάζουν την δομή των μικροβιακών αποικιών, μειώνουν την διάχυση του οξυγόνου από το έδαφος και την ροή του νερού και καθορίζουν την ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών. Όλες αυτές οι διεργασίες έχουν προφανή επίδραση στην αποθήκευση της οργανικής ύλης στο έδαφος και την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών. Η γονιμότητα, λοιπόν, του εδάφους έχει συσχετιστεί με την συσσωμάτωση των σωματιδίων (το μέγεθος και την σταθερότητα τους) η οποία και παρέχει δομή στα εδάφη (Stamati, Nikolaidis, και Schnoor 2013). Αγρονομικά

πολύτιμο έδαφος είναι εκείνο που έχει ποσοστό συσσωματωμάτων <60% που να είναι κλίμακας μεταξύ των 0,25 και 10 mm (Banwart κ.ά. 2012). Από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά ποιότητας είναι τα συσσωματώματα που παραμένουν σταθερά κατά τη διέλευση του νερού (water stable aggregates, WSA). Τα συσσωματώματα αυτά είναι ευαίσθητα στις αγροτικές πρακτικές, σχετίζονται άμεσα με τη διάβρωση του εδάφους, τη δυναμική του άνθρακα και τη μεταφορά των χημικών στοιχείων (Stamati κ.ά. 2013). Τα συσσωματώματα αυτά εξετάζονται στην παρούσα εργασία.

### 1.3.1 Δημιουργία Συσσωματωμάτων

Είναι γνωστά δύο βασικά εννοιολογικά μοντέλα που μπορούν να περιγράψουν τον σχηματισμό συσσωματωμάτων στο έδαφος. Το πρώτο υποστηρίζει πως αρχικά δημιουργούνται τα μικρο-συσσωματώματα και από την ένωση αυτών παράγονται τα μακρο-συσσωματώματα (Oades και Tisdall 1982). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό τα ελεύθερα εδαφικά ορυκτά (σωματίδια αργίλου και ιλύος) συνδέονται μεταξύ τους υπό την δράση δισθενών και τρισθενών κατιόντων (όπως Fe, Ca και Al), αλλά και οργανικού υλικού και οξειδίων (κυρίως σε εδάφη που έχουν υποστεί έντονη αποσάθρωση, όπως τα Oxisols), σχηματίζοντας τα clay domains, και στη συνέχεια τα μικρο-συσσωματώματα. Οι συνδετικοί παράγοντες σχηματισμού των μικρο-συσσωματωμάτων είναι ιδιαίτερα ισχυροί και σταθεροί. Τα μικρο-συσσωματώματα στη συνέχεια, υπό την επίδραση συνδετικών παραγόντων μέσης σταθερότητας συνδέονται για να σχηματίσουν τα μακρο-συσσωματώματα.

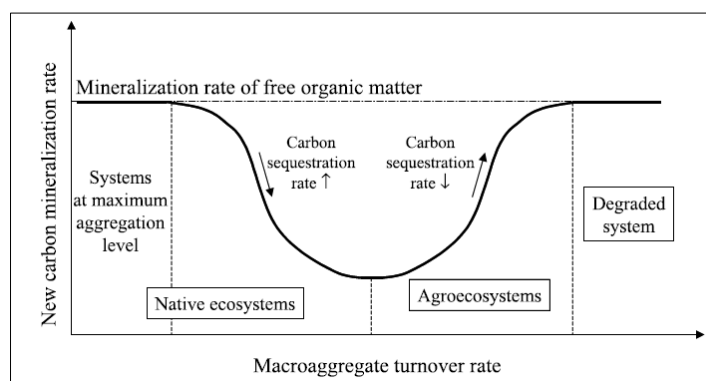


Εικόνα 1 Κύκλος Ζωής Συσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004)

Το δεύτερο μοντέλο προτείνει πως πρωτίστως διαμορφώνονται τα μάκρο- συσσωματώματα και στο εσωτερικό τους δημιουργούνται αργότερα τα μικρο-συσσωματώματα (Oades 1984; Elliott και Coleman 1988). Σύμφωνα με το μοντέλο, οι εδαφικοί μικροοργανισμοί αποδομούν τα φυτικά υπολείμματα και παράγουν βλεννώδης ουσίες, οι οποίες σε συνδυασμό με χονδρόκοκκο οργανικό υλικό (coarse intra-POM)– (Particulate Organic Matter), σχηματίζουν τα μακρο-συσσωματώματα (>250μm). Μέσα από τη συσσωμάτωση το coarse intra-POM αποδομείται περεταιίρω σε POM λεπτής μορφής (fine intra-POM). Τα λεπτά αυτά σωματίδια δρουν ως βάση για τον σχηματισμό των μικρο-συσσωματωμάτων (250-53μm). Επικαλυπτόμενα από αργιλικά σωματίδια και νέα μεταβολικά προϊόντα μικροοργανισμών, σχηματίζουν τα μικρο-συσσωματώματα εντός των μακρο-συσσωματωμάτων. Τα μικρο-συσσωματώματα απελευθερώνονται μετά από την αποσύνθεση των μακρο-συσσωματωμάτων που τα περιέχουν. Τα ελεύθερα αυτά μικρο-συσσωματώματα συμμετάσχουν στον νέο κύκλο σχηματισμού συσσωματωμάτων.

Συνδυαστικά από τις δύο μεθόδους φαίνεται πως οι παράγοντες που ορίζουν την σύνθεση των διαφορετικών συσσωματωμάτων ποικίλουν και χαρακτηρίζονται από διαφορετική ανθεκτικότητα. Έτσι στο έδαφος υπάρχουν και διαβαθμίσεις συσσωματωμάτων όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους.

Τα περισσότερα οικοσυστήματα και ειδικά τα αγροοικοσυστήματα, εμφανίζουν εποχικές διακυμάνσεις στην κατανομή των μακρο-συσσωματωμάτων (Angers και Mehuys 1988; Coote κ.ά. 1988; Perfect κ.ά. 1990). Τα μακρο-συσσωματώματα δημιουργούνται και καταστρέφονται σε πολύ μικρότερο ρυθμό από τον ρυθμό εισροής νέου άνθρακα στο σύστημα. Επίσης, ο μέσος χρόνος παραμονής ενός μακρο-συσσωματώματος στο έδαφος έχει υπολογιστεί περίπου στις 27 μέρες με τις χαμηλότερες μετρήσεις να είναι κυμαίνονται στις 5 μέρες (Plante και McGill 2002). Κατά συνέπεια υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ της χρονικής κλίμακας των μακρο-συσσωματωμάτων και της εισροής νέου άνθρακα μετά την συγκομιδή στα αγροοικοσυστήματα. Η διαφορά αυτή στους ρυθμούς φαίνεται καθαρά στο διάγραμμα της εικόνας 2.



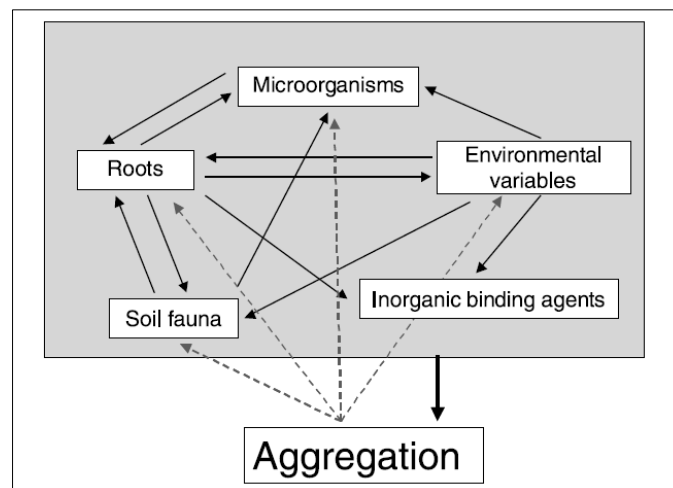
Εικόνα 2: Ρυθμός ανοργανοποίησης του άνθρακα - Ποσοστό ανακύκλωσης μακροσυσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004)

#### 1.4 Παράγοντες Που Επηρεάζουν Τα Συσσωματώματα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των συσσωματωμάτων μπορούν να συνοψιστούν σε πέντε κατηγορίες (Εικόνα 3)

1. Η παρουσία ή έλλειψη ριζών κατέχει σημαντικό ρόλο στον σωματιδιακό οργανικό άνθρακα και στην σωματιδιακή διαμόρφωση
2. Η δραστηριότητα της εδαφικής πανίδας, όπως των γαιοσκωλήκων έχει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση των μικρο- και μακρο-συσσωματωμάτων.
3. Η παρουσία εδαφικών μικροοργανισμών
4. Περιβαλλοντικοί παράγοντες
5. Ανόργανοι συνδετικοί παράγοντες

Τέλος, είναι πλέον ξεκάθαρο πως αλλαγές στον ρυθμό διαμόρφωσης συσσωματωμάτων επηρεάζει την σταθεροποίηση του SOM σε όλα τα είδη εδάφους και κάτω από όλες τις συνθήκες διατάραξης.



Εικόνα 3 : Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση και σταθεροποίηση συσσωματωμάτων (Six κ.ά. 2004)

#### 1.4.1 Επίδραση Του Κλίματος

Η αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων είναι μια θεμελιώδης διαδικασία που διατηρεί την παραγωγικότητα των χερσαίων οικοσυστημάτων μέσω της ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών σε βιομάζα φυτικής προέλευσης. Η επίδραση του κλίματος στην αποσύνθεση φυτικών απορριμμάτων είναι πλέον αναγνωρισμένη. Το κλίμα είναι γνωστό ότι διευθετεί το ρυθμό της αποσύνθεσης μέσω της άμεσης επιρροής του στην κινητική της αντίδρασης και τη μικροβιακή φυσιολογία σε διεργασίες γήρανσης του ιστού. Η αύξηση της θερμοκρασίας

συνοδευόμενη από συχνή ξηρασία επιφέρει σοβαρή αβιοτική πίεση στην ανάπτυξη και την επιβίωση των μικροοργανισμών στο έδαφος (Suseela και Tharayil 2017). Επίσης, το κλίμα μπορεί να τροποποιήσει τον μεταβολισμό των φυτών κατά τη φάση σχηματισμού των ιστών τους και επομένως, θα μπορούσε να διαμορφώσει την τελική χημική σύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων που είναι διαθέσιμα για αποσύνθεση, επηρεάζοντας έμμεσα την χουμοποίηση και την ανακύκλωση των επίγειων θρεπτικών ουσιών (Suseela και Tharayil 2017). Πολλά φυτά προσαρμόζονται στους περιβαλλοντικούς παράγοντες με επαναπρογραμματισμό του κυτταρικού μεταβολισμού τους, που έχει ως αποτέλεσμα μοναδικά προφίλ μεταβολιτών (Suseela και Tharayil 2017). Φυτά που ανήκουν σε ξηρά μεσογειακά οικοσυστήματα όπως της Κρήτης είναι πλούσια σε φαινολικές ενώσεις, παρουσιάζουν αυξήσεις στην περιεκτικότητα σε λιγνίνη και αυξάνουν την αναλογία C: N όταν είναι εκτεθειμένα σε έντονη ξηρασία (Sardans, Rodà, και Peñuelas 2006; Sardans, Rivas-Ubach, και Peñuelas 2012).

#### 1.4.2 Επίδραση Κατεργασίας Εδάφους

Η κατεργασία του εδάφους για αύξηση της γονιμότητας του είναι μια δεδομένη πρακτική. Η άροση, κάτω από σωστές συνθήκες, μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα. Ευνοεί τον αερισμό του εδάφους, την ενσωμάτωση του επιφανειακά τοποθετημένου οργανικού υλικού στο βαθύτερο έδαφος και αυξάνει το πορώδες συντελώντας έτσι στην ανάπτυξη των ριζών, την διείσδυση του νερού και τη μείωση της διάβρωσης από επιφανειακή απορροή (X.Liu, S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang 2006). Επιπροσθέτως με την διατάραξη των μακρο-συσσωματωμάτων, μεγάλη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων ελευθερώνεται στο έδαφος μετά το όργωμα. Φαινόμενο που έχει θετικό αντίκτυπο βραχυπρόθεσμα αφού ενισχύει την ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Συχνά όμως, η τεχνική του οργώματος εφαρμόζεται σε καλλιέργειες που δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν τα θετικά αυτά αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα καταστρέφει τη δομή του επιφανειακού εδάφους και δημιουργεί δυνητικούς κινδύνους. Σε πολύ ξηρό ή πολύ υγρό

έδαφος, για παράδειγμα, η καταστροφή των συσσωματωμάτων προκαλεί σταδιακά την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση της δομής, ενώ παρεμποδίζει την κατακράτηση άνθρακα.

Ιδανικά, αντί για συνεχές συμβατικό όργωμα, μπορούν να γίνονται εναλλακτικά συστήματα άροσης όπως το ελάχιστο όργωμα ή το υπεδάφιο σπάσιμο τα οποία βελτιώνουν τον σχηματισμό των πόρων του εδάφους.

Σε ετήσιες καλλιέργειες, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος της αγρανάπαυσης, κατά την οποία η καλλιεργούμενη έκταση αφήνεται για ένα ή περισσότερα έτη χωρίς καλλιέργεια. Επίσης, μία μέθοδος ιδιαίτερα αποτελεσματική είναι η αμειψισπορά (crop rotation). Αμειψισπορά, ονομάζεται η εναλλαγή καλλιέργειας σιτηρών και ψυχανθών, ώστε το έδαφος να εμπλουτίζεται με N και να μην εξασθενεί. Επιτυγχάνεται έτσι, μια μορφή φυσικής λίπανσης του εδάφους, που περιορίζει την ανάγκη χρήσης χημικών σκευασμάτων και ευνοεί την ανάπτυξη της μικροβιακής δραστηριότητας και τη συγκέντρωση του άνθρακα σε αυτό.

Σε καλλιέργειες που δεν υπόκεινται σε κατεργασία εδάφους (no-tillage, NT), γίνεται αυξημένη συσσώρευση οργανικής ύλης, συγκριτικά με καλλιέργειες που δέχονται συμβατική κατεργασία (conventional tillage, CT). Το φαινόμενο αυτό βοηθά, στην βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, την γονιμότητα του εδάφους και την συγκράτηση άνθρακα (Six, Elliott, και Paustian 2000). Προκειμένου, να μειωθεί ρυθμός της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης του εδάφους, υπάρχουν μηχανισμοί με τους οποίους γίνεται μείωση της κατεργασίας του εδάφους (π.χ. μείωση των διαταραχών του εδάφους και ανακατανομή των φυτικών υπολειμμάτων) (Oades 1984). Επίσης, η αποθήκευση του οργανικού υλικού μέσα στα συσσωματώματα του εδάφους, βοηθά στην μείωση του ρυθμού αποσύνθεσης του (Elliott και Coleman 1988). Συνολικά, τα φαινόμενα αυτά λαμβάνουν χώρα σε εδάφη NT. Όπως παρατηρούν οι Six, Elliott, et al., αύξηση στην συσσώρευση και ταυτόχρονα αύξηση του οργανικού C, έχουν παρατηρηθεί στα NT συστήματα.

#### 1.4.3 Επίδραση της Ξήρανσης και Διαβροχής

Η περιεχόμενη υγρασία σε ένα έδαφος έχει αξιοσημείωτη επίδραση στην δομή του. Το έδαφος συνέχεια περνά από τον κύκλο υγρασίας και ξηρασίας λόγω του αέρα της βροχής και του χιονιού. Γενικά, η διαδικασία της διαβροχής και της ξήρανσης λειτουργούν αντίθετα. Η δράση τους στο έδαφος μπορεί να επιφέρει αύξηση ή μείωση στον ρυθμό παραγωγής συσσωματωμάτων και άρα στη δέσμευση του SOM και N. Ωστόσο αυτό μπορεί επηρεάζεται και από τις ιδιότητες του εδάφους και της διαχείρισης του. Η ξήρανση και η διαβροχή (DW : Drying and Wetting cycle) έχουν σχετιστεί κυρίως με την διαμόρφωση συσσωματωμάτων σε εδάφη που δεν γίνεται καλλιέργεια (Utomo και Dexter 1982). Σε μη επεξεργασμένα εδάφη η DW θα επιφέρει σπάσιμο των συσσωματωμάτων εδάφους και ομαδοποίηση των μικρότερων σωματιδίων (Chaney και Swift 1986). Σε καλλιεργούμενα εδάφη υπάρχει μια γενική μείωση στο ποσοστό των συσσωματωμάτων όταν υπάρχει DW (Denef κ.ά. 2001). Η μείωση αυτή οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας και την διόγκωση των αργιλικών κλασμάτων κατά την διαβροχή. Σύμφωνα με τον Denef et al. (2001) συχνή ξήρανση και διαβροχή προκαλεί σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων και όχι διαταραχή τους. Η διάσπαση των συσσωματωμάτων βοηθά τα σωματίδια να διευθετηθούν σε πιο συμπυκνωμένους σχηματισμούς που τελικά έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα στην επόμενη επανάληψη DW (Bullock, Nelson, και Kemper 1988).

Η ορυκτολογία του εδάφους σχετίζεται με την επίδραση του DW στα συσσωματώματα. Στα εδάφη στα οποία υπερισχύουν αργιλικά κλάσματα (που μπορούν να διογκώνονται) υπάρχει χαμηλή σταθερότητα στα συσσωματώματα. Οι Burroughs, Luce, and Phillips (1992) παρατήρησαν ότι συμβαίνουν περίπου 50% περισσότερες διασπάσεις συσσωματωμάτων στα εδάφη με αργιλικά κλάσματα.

#### 1.4.4 Επίδραση των Μικροοργανισμών

Η συμβολή της μικροβιακής δραστηριότητας είναι σημαντική στην δημιουργία των συσσωματωμάτων, την σταθεροποίηση και τελικά την αποδόμησή τους. Ο βαθμός της

επίδρασης τους εξαρτάται από την βιομάζα των μικροοργανισμών και είδος των μικροβιακών προϊόντων. Συγκεκριμένα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες.

1. Τις διαφορετικές κλίμακες επίδρασης μυκήτων και βακτηρίων. Όπως για παράδειγμα στα μακρό έναντι των μικρο-συσσωματωμάτων.
2. Την σύσταση του χώματος
3. Την ορυκτολογία του εδάφους

Τα μικκύλια (fungal mycelium) παγιδεύουν στο δίκτυο των υφών τους τα σωματίδια και τα σταθεροποιούν με μία εξωκυτταρική πολυσακχαρική αντίδραση (Oades και Waters 1991). Σε αντίθεση η παραγωγή βλέννας από βακτήρια και μύκητες ενισχύει την δημιουργία μικρο-συσσωματωμάτων (Chenu 1989; Oades 1993). Σε αμμώδη εδάφη η δημιουργία συσσωματωμάτων δεν είναι τόσο εξαρτώμενη από την βακτηριακή βιομάζα και δραστηριότητα (B. P. Degens, Sparling, και Abbot 1994; B. Degens και Sparling 1996). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι, μόνο το δίκτυο μυκητιακών υφών (hypha) μπορεί να ενώσει τα ελεύθερα σωματίδια άμμου και να δημιουργήσει σταθερά συσσωματώματα. Σε αργιλώδη εδάφη, αντίθετα, τα βακτήρια και τα προϊόντα μεταβολισμού τους έχουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία συσσωματωμάτων.

#### 1.4.5 Επίδραση των Οξειδίων του Εδάφους

Τα οξείδια μέσα στο έδαφος έχουν επίδραση κυρίως στην συσσωμάτωση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης του εδάφους. Η δέσμευση από τα οξείδια, λαμβάνει χώρα κυρίως στο επίπεδο των μικρο-συσσωματωμάτων. Οι τρόποι σταθεροποίησης των συσσωματωμάτων και της οργανικής ύλης του εδάφους από τα οξείδια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες.:

1. Την προσρόφηση οργανικής ουσίας στην επιφάνεια τους.
2. Την δημιουργία ηλεκτροστατικού δεσμού μεταξύ των θετικά φορτισμένων οξειδίων και των αρνητικά φορτισμένων ορυκτών της αργίλου.

3. Την δημιουργία συνδετικών γεφυρών μεταξύ πρωτογενών και δευτερογενών σωματιδίων, μετά από κάλυψη της επιφάνειας των ορυκτών από οξείδια.

Η τελευταία κατηγορία αναφέρεται στην σταθερότητα που δημιουργείτε στα μακρο-συσσωματώματα εδαφών πλούσιων σε οξείδια (oxisols), σε αντίθεση με την σταθερότητα που υπάρχει σε εδάφη με χαμηλά επίπεδα οξειδίων (Six κ.ά. 2004)

#### 1.4.6 Επίδραση της Κοκκομετρίας

Η υφή του εδάφους (soil texture) είναι ένας φυσικός δείκτης της κλίμακας μεγέθους των σωματιδίων μέσα σε ένα έδαφος. Συμβατικά, η συνολική ταξινόμηση της υφής ενός εδάφους καθορίζεται ως συνάρτηση των αναλογιών μάζας αυτών των κλασματικών υφών (Fernandez-Illescas, Porporato, και Laio 2001). Δηλαδή εδάφη με διαφορετικά ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου, αντιστοιχούν σε διαφορετικές κατηγορίες. Το έδαφος είναι εύκολο να χαρακτηριστεί ως πηλώδες, αργιλώδες, αμμώδες ή ως κάποιος συνδυασμός των κατηγοριών αυτών.

Από το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USDA, 1951), έχει καθοριστεί η ταξινόμηση των διακριτών στοιχείων του εδάφους να διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες. Χαλίκια είναι τα σωματίδια διαμέτρου  $>2.0$  mm. Άμμος θεωρούνται τα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 0,05 και 2,0 mm. Ιλύος αυτά που κυμαίνονται στο διάστημα των 0,002 και 0,05 mm. Άργιλος θεωρούνται τα σωματίδια με διάμετρο κάτω από 0,002 mm.

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη και διατήρηση της δομής του εδάφους. Οι (Douglas και Goss 1982) αναφέρουν πως, εδάφη με αυξημένη περιεκτικότητα σε άργιλο, χρειάζονται υψηλότερα ποσοστά οργανικής ουσίας προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Ενώ, οι Virto et al. το 2008, απέδειξαν ότι η άργιλος που δεν είναι δεσμευμένη σε συσσωματώματα, ήταν λιγότερο εμπλουτισμένη σε οργανικό άνθρακα συγκριτικά με την άργιλο εντός των συσσωματωμάτων. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή, η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης του

εδάφους, στην συγκράτηση οργανικού υλικού. Εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα αργίλου στα συσσωματώματα τους, έχουν αυξημένη ικανότητα αποθήκευσης οργανικού υλικού. Ενώ η παρουσία του οργανικού υλικού στα συσσωματώματα αυτά, αυξάνει την σταθερότητα τους.

## **1.5 Ρόλος της Βλάστησης**

### **1.5.1 Αποδόμηση Οργανικού Υλικού – Ο Ρόλος Της Βλάστησης**

Πόσο εύκολα αποδομήσιμο είναι το οργανικό υλικό, επιδρά στην μικροβιακή ανάπτυξη καθώς αυτό είναι που αποτελεί την πηγή του άνθρακα. Όσο καλύτερη είναι η ποιότητα του υλικού (αποδομείτε γρήγορα) τόσο ταχύτερα μπορεί να μεγαλώσει ο μικροβιακός πληθυσμός (Agren και Bosatta 1996). Χημικοί παράγοντες του αποδομήσιμου υλικού, όπως ο λόγος C:N είναι επίσης σημαντικοί για την ταχύτερη παραγωγή των προϊόντων αποδόμησης (Meentemeyer 1978; Jerry M. Melillo 1982). Ο λόγος C:N είναι καλό να κυμαίνεται σε τιμές 25:1 έως 30:1 για καλύτερη ανάπτυξη του μικροβιακού πληθυσμού. Οι ζωντανοί οργανισμοί χρησιμοποιούν περίπου 30 μονάδες άνθρακα για κάθε μία μονάδα αζώτου επομένως θεωρητικά η βέλτιστη αναλογία εισροής για χουμοποίηση είναι τριάντα προς ένα (30:1) . Η αναλογία αυτή σε συνδυασμό με αερισμό και την απαραίτητη υγρασία επιφέρει γρήγορη μικροβιακή ανάπτυξη (Robert O. Miller 2002) και επομένως αύξηση της συσσωμάτωσης και αποθήκευσης άνθρακα.

Οι Vicente-Vicente et al., στην έρευνα τους εξετάζουν καλλιέργειες ελιάς, αμυγδάλων και αμπελώνες. Αναφέρουν πως οι μεσογειακές αυτές καλλιέργειες, καλλιεργούνται συνήθως, σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα οργανικής ύλης, με περιορισμένη διαθεσιμότητα ύδατος και συχνά σε απότομες πλαγιές. Επομένως, οι καλλιέργειες αυτές, όταν δέχονται συμβατική κατεργασία αποτελούν πηγή CO<sub>2</sub>, κατά την διάβρωση του εδάφους και την ανοργανοποίηση του οργανικού άνθρακα. Προκειμένου να γίνει συσσώρευση του άνθρακα στα εδαφικά αυτά συστήματα, συνιστούν ωφέλιμες πρακτικές όπως, η κάλυψη με φυτικά υπολείμματα στις περιοχές μεταξύ των δένδρων της καλλιέργειας και ελάχιστη ή καθόλου κατεργασία του εδάφους.

## **2 Αντικείμενα Διπλωματικής Εργασίας**

Για τον έλεγχο του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη η μείωση των εκλύσεων CO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>O. Σε αυτό μπορεί να έχει σημαντική συνεισφορά η προστασία των διαθέσιμων αποθεμάτων οργανικού-C στο έδαφος και η υιοθέτηση πρακτικών που ευνοούν την συσσώρευση του στο έδαφος. Είναι λοιπόν εμφανής η ανάγκη για μετατόπιση της ισορροπίας των δεξαμενών άνθρακα στο περιβάλλον.

Με δεδομένα τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία διερευνώνται παράγοντες που καθορίζουν το γίνεσθαι του οργανικού-C στο έδαφος και ειδικότερα την επίδραση του τύπου της καλλιέργειας και πως αυτή διαφοροποιείται με την υφή του εδάφους. Ακόμη, διερευνάται πως ο οργανικός-C κατανέμεται μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων συσσωματωμάτων σε εδάφη στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κουιάρη.

Με βασικό στόχο την εκτίμηση του ρόλου της βλάστησης στην διαδικασία συσσώρευσης του οργανικού υλικού στο έδαφος, συλλέχθηκαν δεδομένα για την συγκέντρωση οργανικού-C και N σε εδάφη καλλιεργειών ελιάς και αβοκάντο. Επίσης γίνεται εκτενής έλεγχος στην παρουσία συσσωματωμάτων καθώς είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την συγκράτηση του οργανικού-C και N στο έδαφος για μεγάλη χρονική διάρκεια.

## **3 Υλικά Και Μέθοδοι**

Για την παρούσα ερευνά έγινε λήψη δειγμάτων σε εδάφη που ανήκουν στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κουιάρη. Το κλίμα της περιοχής θεωρείται εύκρατο με μεγάλη διάρκεια ξηρασίας κατά το θέρος, μέση ετήσια ώρα ηλιοφάνειας είναι 2.769 hr. Η μέση ετήσια βροχόπτωση έχει ύψος 654 mm. Μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 17.3 °C.

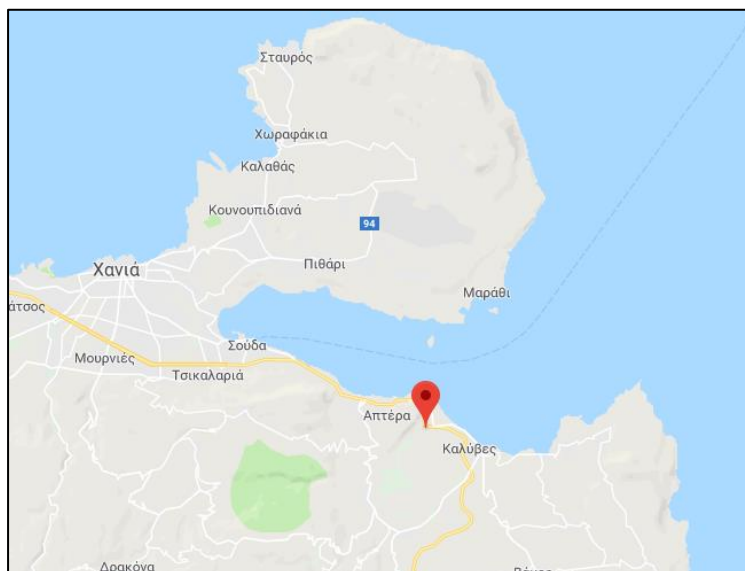
Οι αγροί που επιλέχθηκαν φέρουν καλλιέργειες δένδρων ελιάς και αβοκάντο. Η επιλογή αυτών των δύο δέντρων έγινε γιατί έχουν διαφορετικές απαιτήσεις στην φροντίδα τους, στην

ποσότητα της βιομάζας και της σύστασης της. Οι εξεταζόμενοι αγροί διαφοροποιούνται και στον τρόπο καλλιέργειας. Ο πρώτος αγρός που εξετάζεται δεν έχει οργωθεί για 25 χρόνια. Ο δεύτερος αγρός δέχεται ετήσια κατεργασία. Ο τρίτος είναι ακατέργαστος για 10 χρόνια. Ο τέταρτος αγρός υπόκειται σε κατεργασία τα τελευταία 25 χρόνια. Οι αντιθέσεις αυτές δημιουργούν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

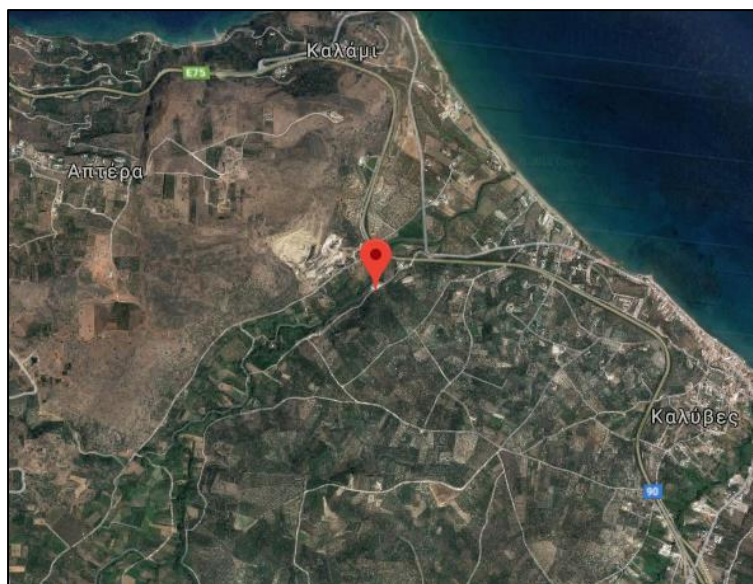
Η δειγματοληψία έγινε κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Συγκεκριμένα το μήνα Σεπτέμβριο. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές, χρονικά, στα αποτελέσματα καθώς δεν υπήρξε βροχόπτωση η οποία θα επηρέαζε σημαντικά τις μετρήσεις.

Τα δείγματα πάρθηκαν από στρατηγικά επιλεγμένες θέσεις μέσα στους αγρούς προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα της μέτρησης όσο το δυνατόν περισσότερο. Το χώμα που εξετάστηκε στο εργαστήριο μεταφέρθηκε κλεισμένο αεροστεγώς για να αποφευχθούν τυχών μολύνσεις αυτού ή αλλαγή των στοιχείων του όπως η υγρασία.

Για μία γενική εικόνα της περιοχής παραθέτονται χάρτες που δείχνουν την τοποθεσία και την βλάστηση της.



Εικόνα 4 Περιοχή ποταμού Κοιλιάρη (Google Maps, 2018)



Εικόνα 5: Βλάστηση περιοχής ποταμού Κουιλάρη (Google Maps, 2018)

## **4 Πρωτόκολλο Πειραματικών Μετρήσεων**

### **4.1.1 Περιεχόμενη Υγρασία**

Η πρώτη παράμετρος του εδάφους, που εξετάστηκε, είναι η υγρασία. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία προέρχονται από τις τέσσερις εξεταζόμενες περιοχές καλλιέργειας αβοκάντο και ελιάς. Έγινε δειγματοληψία σε δυο διαφορετικά βάθη. Στην συνέχεια προς χάρη συντομίας τα βάθη θα αναφέρονται ως Α και Β. Με Α συμβολίζεται το επιφανειακό δείγμα, που λήφθηκε στα 0-10 cm, και με Β το δείγμα που λήφθηκε στα 10-20 cm.

Η μέτρηση της υγρασίας έγινε με ζύγιση και ξήρανση. Αρχικά ζυγίστηκαν τα δείγματα με την κανονική τους υγρασία (wet soil –WS) και τοποθετήθηκαν σε αλουμινένια ταψάκια των οποίων είχαμε πρώτα μετρήσει το βάρος (aluminum tray-A). Έπειτα τα δείγματα ξηράνθηκαν στους 40-45 °C για 48 περίπου ώρες. Μετρώντας ξανά το βάρος των πλέον ξηρών δειγμάτων (dry soil-DS) υπολογίσαμε την περιεχόμενη υγρασία κάθε δείγματος. Η περιεχόμενη επί ξηρού υγρασία υπολογίστηκε με βάση τη σχέση :

$$\text{υγρασία \%} = \frac{WS - DS}{DS - A} \cdot 100\%$$

#### 4.1.2 Υφή Εδάφους - Bouyoukos Hydrometer Method

Ο υπολογισμός της κοκκομετρίας έγινε με την υδρομετρική μέθοδο Bouyoukos (Hallmark κ.ά. 2013). Για την διεξαγωγή του πειράματος ζυγιστήκαν 50 g δείγματος εδάφους. Μαζί με 2 g  $\text{NaPO}_3$  και 200 mL  $\text{dH}_2\text{O}$ , τοποθετήθηκαν δοχείο χωρητικότητας 300 mL. Χρησιμοποιήθηκε sodium metaphosphate ( $\text{NaPO}_3$ ) για να γίνει διάσπαση των εδαφικών συσσωματωμάτων και των δομών ιλύος και αργίλου. Διαφορετικά θα μπορούσε να γίνει καθίζηση μαζί με την άμμο και να υπάρξει σφάλμα μέτρησης.

Τα διαλύματα των δειγμάτων αναδεύτηκαν για μια ημέρα και ακριβώς πριν την έναρξη του πειράματος για 2 min σε ηλεκτρικό αναδευτήρα (shaker). Το μίγμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρικούς κυλίνδρους των 1000 mL οι οποίοι συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό. Μετά από 20 sec τοποθετήθηκε στον κύλινδρο το υδρόμετρο και μετά από ακόμα 20 sec έγινε λήψη της πρώτης μέτρησης. Η μέτρηση των 40 sec καθορίζει το ποσοστό της άμμου. Το υδρόμετρο αφαιρέθηκε και έγινε μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος. Μετά από 2 h έγινε λήψη δεύτερης μέτρησης του υδρόμετρου και της θερμοκρασίας. Μέτρηση που υποδεικνύει την αρχική περιεκτικότητα του διαλύματος σε άργιλο.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρίας πραγματοποιείται από τις σχέσεις :

$$\text{άργιλος (\%)} = \frac{AY_{2\text{ hr}}}{\text{Weight of dry soil}} \cdot 100$$

$$(\text{ιλύς και άργυλος}) (\%) = \frac{AY_{40\text{ sec}}}{\text{Weight of dry soil}} \cdot 100$$

$$\text{άμμος (\%)} = [100 - (\text{ιλύς και άργυλος})] (\%)$$

Καθώς η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την διαδικασία, οι μετρήσεις του υδρόμετρου διορθώνονται σύμφωνα με τις αλλαγές της. Συγκεκριμένα επηρεάζεται το ιξώδες του νερού

και η πυκνότητα του, σε μικρότερο βαθμό βέβαια. Η αρχική ρύθμιση του δείγματος γίνεται στους 20 °C. Η διόρθωση της ένδειξης του υδρομέτρου γίνεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{αποτέλεσμα υδρομέτρου (AY)} \left( \frac{\text{g}}{\text{L}} \right) = \begin{cases} \text{ένδειξη υδρομέτρου} + (\text{ένδειξη θερμοκρασίας} - 20) * 0,36 & T > 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{ένδειξη υδρομέτρου} - (20 - \text{ένδειξη θερμοκρασίας}) * 0,36 & T < 20 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

#### 4.1.3 Μέτρηση Συσσωματωμάτων (WSA: Water Stable Aggregate)

Για την μέτρηση των συσσωματωμάτων WSA απαιτούνται 60 g αδιατάραχτου εδάφους από κάθε εξεταζόμενη περιοχή. Τα δείγματα είναι ξηραμένα σε αέρα για τουλάχιστον 24 ώρες. Η διαδικασία μπορεί να διαιρεθεί σε δεκατρία βήματα. Συνολικά υπάρχουν τέσσερα κόσκινα, με πόρους διαφορετικής διαμέτρου.



Εικόνα 6 Οπτικοποίηση  
Λειτουργίας των κοσκίνων

1. Αρχικά απομονώθηκαν τα συσσωματώματα διαμέτρου >2000 μm. Το κόσκινο των 2000 μm τοποθετείται σε μία λεκάνη με απιονισμένο νερό αρκετό για να καλύψει από το πλέγμα του κόσκινου κατά 1,5 cm.
2. Το δείγμα βυθίζεται στο νερό αυτό και αφήνεται σε κατάσταση ηρεμίας για 5 min.
3. Το κόσκινο ανακινείται προς τα πάνω και προς τα κάτω, βγάζοντας και βάζοντας το ξανά στο νερό, για περισσότερο από 2 min και γίνεται κοσκίνισμα του χώματος.
4. Με υδροβολέα απιονισμένου νερού γίνεται συλλογή του δείγματος που έχει μείνει πάνω στο κόσκινο σε μεταλλικό ταψάκι. (>2000 μm)
5. Σε καθαρή λεκάνη τοποθετείται το κόσκινο των 1000 μm.
6. Στην νέα λεκάνη τοποθετούμε το νερό και το χώμα που έχει μείνει στην λεκάνη από την προηγούμενη κοσκίνιση.

7. Με ανοδικές και καθοδικές κινήσεις γίνεται και πάλι κοσκίνιση.

8. Με τον τρόπο αυτό, πάνω στο κόσκινο των 1000  $\mu\text{m}$  θα μείνει το κλάσμα των 1000 $\mu\text{m}$  – 2000 $\mu\text{m}$
9. Σε τρίτη λεκάνη τοποθετείται το κόσκινο των 250  $\mu\text{m}$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Από το κόσκινο αυτό συγκρατούμε το κλάσμα των 1000  $\mu\text{m}$  – 250  $\mu\text{m}$ .
10. Η διαδικασία θα επαναληφθεί μία ακόμη φορά με το λεπτότερο κόσκινο (53  $\mu\text{m}$ ). Από το κόσκινο αυτό έχουμε το κλάσμα των 250  $\mu\text{m}$  -53  $\mu\text{m}$ .
11. Στο νερό που έχει απομείνει στην τελευταία λεκάνη έχουμε το κλάσμα χώματος με διάμετρο κόκκων και συσσωματωμάτων μικρότερα των 53  $\mu\text{m}$ .
12. Τα ταψάκια με τα 5 διαφορετικά κλάσματα (>2000  $\mu\text{m}$ , 1000 $\mu\text{m}$  – 2000 $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$  – 250  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  -53  $\mu\text{m}$ , <53  $\mu\text{m}$ ) , αφήνονται σε φούρνο στους 40°C μέχρι την ξήρανση τους.
13. Τα ξηρά πλέον δείγματα ζυγίζονται και αποθηκεύονται σε θερμοκρασία δωματίου.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και για τα 4 δείγματα εδάφους. Τα ταψάκια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν προζυγισμένα και καθαρά.

#### 4.1.4 Αμμωνιακό Άζωτο ( $\text{N-NH}_4^+$ )

Η μέτρηση του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου έγινε με την βοήθεια φασματοφωτόμετρου HACH DR-2800. Έγινε χωριστά ανάλυση για το αμμωνιακό ( $\text{N-NH}_4^+$ ) και το νιτρικό ( $\text{N-NO}_3^-$ ). Με αυτή την μέθοδο μπορούν να προσδιοριστούν συγκεντρώσεις από 0,02 έως 250 mg/L N-  $\text{NH}_4^+$ . Ο μηδενισμός του φασματοφωτοφωτόμετρου γίνεται με nano  $\text{H}_2\text{O}$ . Αναλυτικά η διαδικασία γίνεται ως εξής.

1. Σε δύο εσφυρισμένους ογκομετρικούς κυλίνδρους των 25 ml, μπαίνουν 25 ml δείγματος και 25 ml  $\text{H}_2\text{O}$ .
2. Προστίθεται και στα δύο 3 σταγόνες mineral stabilizer.

3. Μετά από ανάμιξη του μίγματος προστίθενται και 3 σταγόνες Polivinyl Alcohol Dispersing Agent και το διάλυμα αναμειγνύεται ξανά.
4. Προστίθεται στο καθένα 1mL αντιδραστήριο Nessler και αναδεύεται ξανά.
5. Αφήνεται σε ηρεμία για 1 min προκειμένου να γίνει η αντίδραση και στην συνέχεια τοποθετείται στις κυψελίδες.
6. Με προσοχή και αφού γίνει μηδενισμός, γίνεται η μέτρηση της απορρόφησης (Abs) του δείγματος.

#### 4.1.5 Νιτρικό Άζωτο ( $N-NO_3^-$ )

Η μέτρηση του  $NO_3^-$ -N έγινε για όλα τα δείγματα εδάφους με την βοήθεια φασματοφωτόμετρου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής.

1. Αρχικά προετοιμάζουμε το δείγμα για τον μηδενισμό χρησιμοποιώντας απιονισμένο νερό
2. Σε ένα NitraVer X Reagent A Test σωλήνα, προστίθεται 1,00 mL δείγματος.
3. Προσθέτουμε στο δείγμα του σωλήνα το περιεχόμενο ενός φάκελου NitraVer X Reagent B Powder Pillow.
4. Αφού τοποθετηθεί το καπάκι το δείγμα αναδεύεται ισχυρά σε vortex
5. Μετά την παρέλευση χρόνου 5 min ακολουθεί προσδιορισμός της απορρόφησης στα 405 nm,

#### 4.1.6 Μέτρηση Μικροβιακής Αναπνοής (Respiration)

Για τον προσδιορισμό την μικροβιακής αναπνοής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της έκλυσης του CO<sub>2</sub> (μmol/sec) με χρήση του οργάνου LI-COR 6400 (Portable Photosynthesis System) στο οποίο προσαρμόστηκε ειδικός θάλαμος μέτρησης (64000-09 Soil CO<sub>2</sub> Flux Chamber). Έγιναν μετρήσεις σε συνολικά 4 σημεία στους επιμέρους αγρούς. Η μεταφορά των αρχείων από το όργανο στον υπολογιστή έγινε με το λογισμικό Li6400X Term, σε αρχεία μορφής excel. Η δειγματοληψία έγινε 28 Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 7 Ειδικός θάλαμος μέτρησης και θερμομετρική συσκευή

#### 4.1.7 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) & Ολικό Άζωτο (TN)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας και το ολικό άζωτο προσδιορίστηκαν με την βοήθεια της συσκευής Multi N/C 2100 analyticjena. Με βάση τον ορισμό του TKN αυτό μπορεί να υπολογιστεί γνωρίζοντας το TN και το N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Έγιναν μετρήσεις για κάθε κλάσμα εδάφους που διαχωρίστηκε με τη μέθοδο υγρής κοσκίνησης. Πέντε, δηλαδή, συνολικά διαφορετικές μετρήσεις για κάθε δείγμα εδάφους. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο 'Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών'.



Εικόνα 8 Συσκευή Multi N/C 2100 analyticjena (Technical data AnalyticJena 2014)

## 5 Αποτελέσματα

### 5.1 Δομή του εδάφους

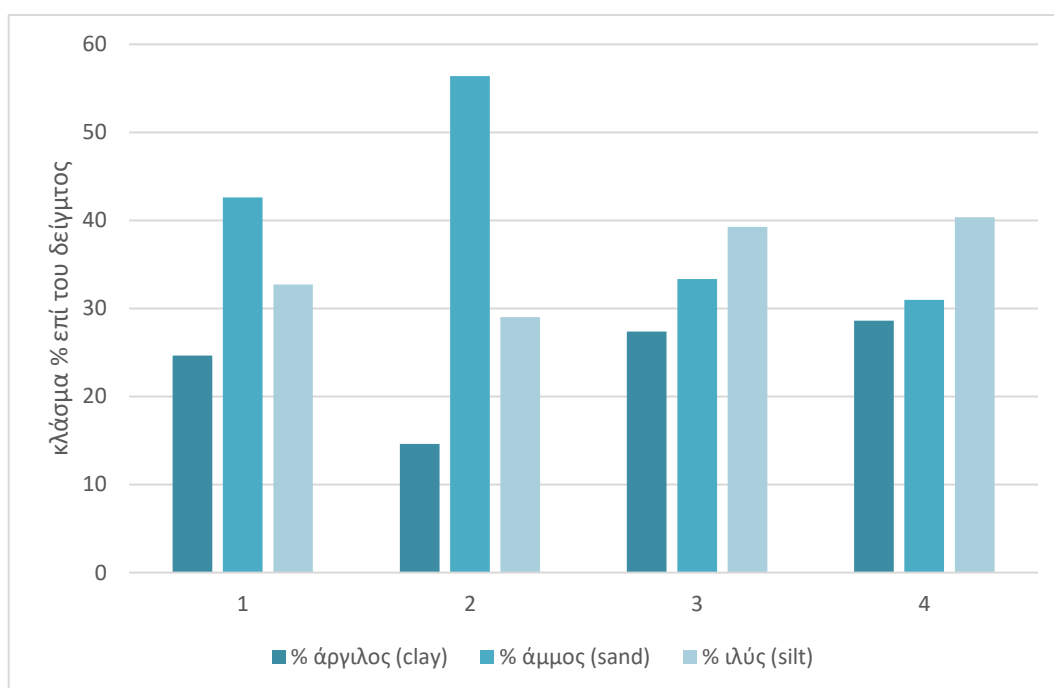
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά ο αριθμός των δειγμάτων που λήφθηκαν στην κάθε τοποθεσία. Ο αγρός 1 δεν έχει δεχτεί κατεργασία για τα τελευταία 25 έτη. Ο αγρός 2 δέχεται ετήσια κατεργασία εδάφους. Στον αγρό 3 το έδαφος είναι ακατέργαστο τα τελευταία 10 έτη. Τέλος, ο αγρός 4 υπόκειται σε κατεργασία εδάφους τα τελευταία 25 έτη. Στους τέσσερεις αγρούς υπάρχουν καλλιέργειες δένδρων ελιάς και αβοκάντο.

Στις τοποθεσίες συνολικά λήφθηκαν 25 δείγματα για καλλιέργειες ελιάς και 23 δείγματα για καλλιέργειες αβοκάντο.

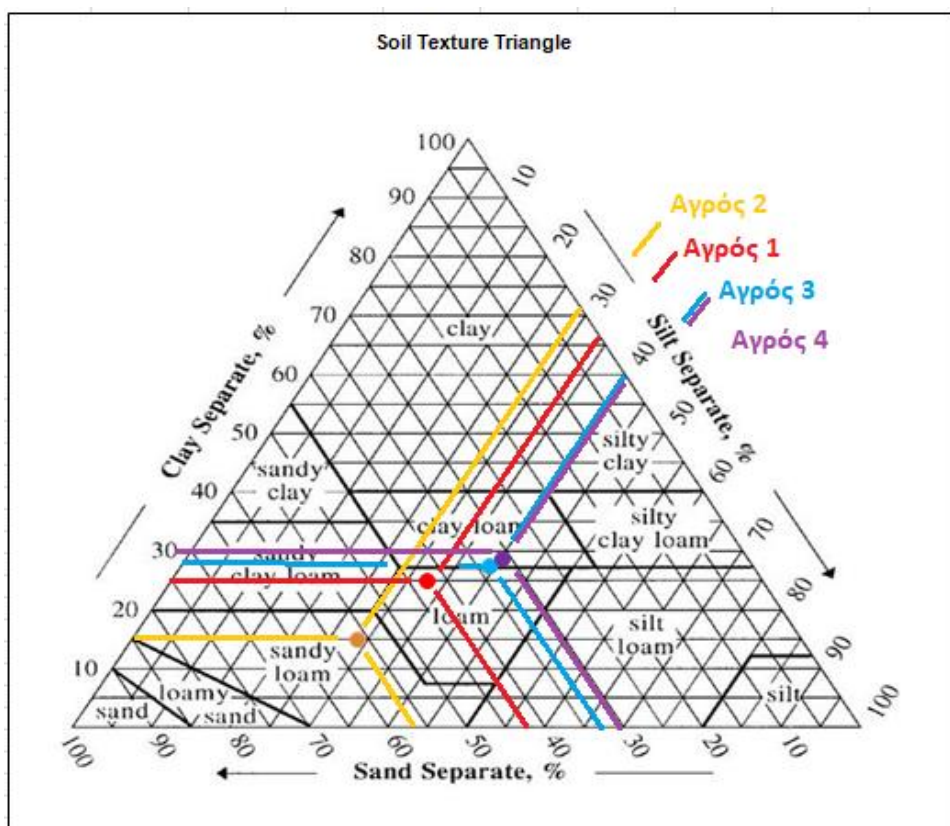
Υφή εδάφους στους αγρούς		
Αγρός	Υφή Εδάφους	Κατεργασία εδάφους
1	Πηλώδης	Όχι
2	Αμμοπηλώδης	Ναι
3	Πηλώδης-Αργιλώδης	Όχι
4	Πηλώδης-Αργιλώδης	Ναι
Αριθμός δειγμάτων στις ελεγχόμενες τοποθεσίες		
Περιοχές	Δείγματα	
	Ελιές	Αβοκάντο
Αγρός 1	6	5
Αγρός 2	7	6
Αγρός 3	6	6
Αγρός 4	6	6
Συνολικά	25	23

### 5.1.1 Υφή Εδάφους

Κατά την μέθοδο κοκκομέτρησης Βουγουκος έγιναν διακριτά τα κλάσματα αργίλου, άμμου και ιλύος στα εξεταζόμενα εδάφη. Τα εδάφη στους αγρούς 1 και 2 παρουσίασαν μεγαλύτερα ποσοστά άμμου, ενώ τα εδάφη των αγρών 3 και 4 μεγαλύτερα ποσοστά αργίλου. Η υφή του εδάφους στον αγρό 1 χαρακτηρίζεται ως πηλώδης, ενώ στον αγρό 2 ως αμμοπηλώδης. Αντίθετα, τα εδάφη των αγρών 3 και 4 ταξινομούνται ως πηλώδης-αργιλώδης (Διάγραμμα 2)



Διάγραμμα 1 Κλασματική ανάλυση κοκκομετρίας

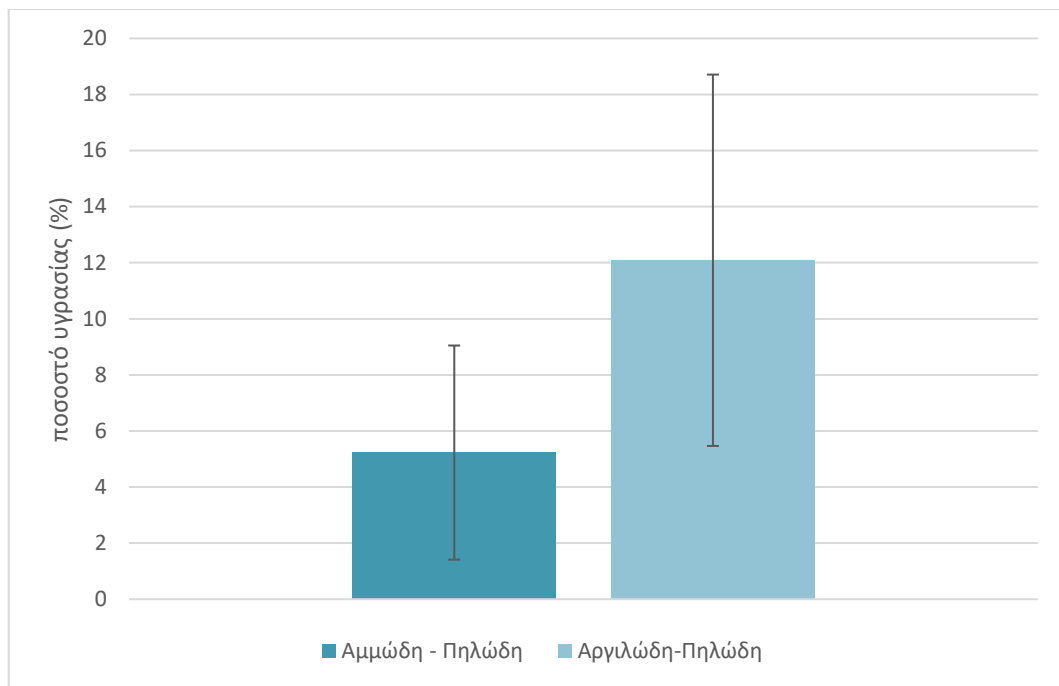


Διάγραμμα 2 Τοποθέτηση των εδαφών των αγρών κατηγοριοποίηση της υφής

### 5.1.2 Ποσοστό Υγρασίας Στο Έδαφος

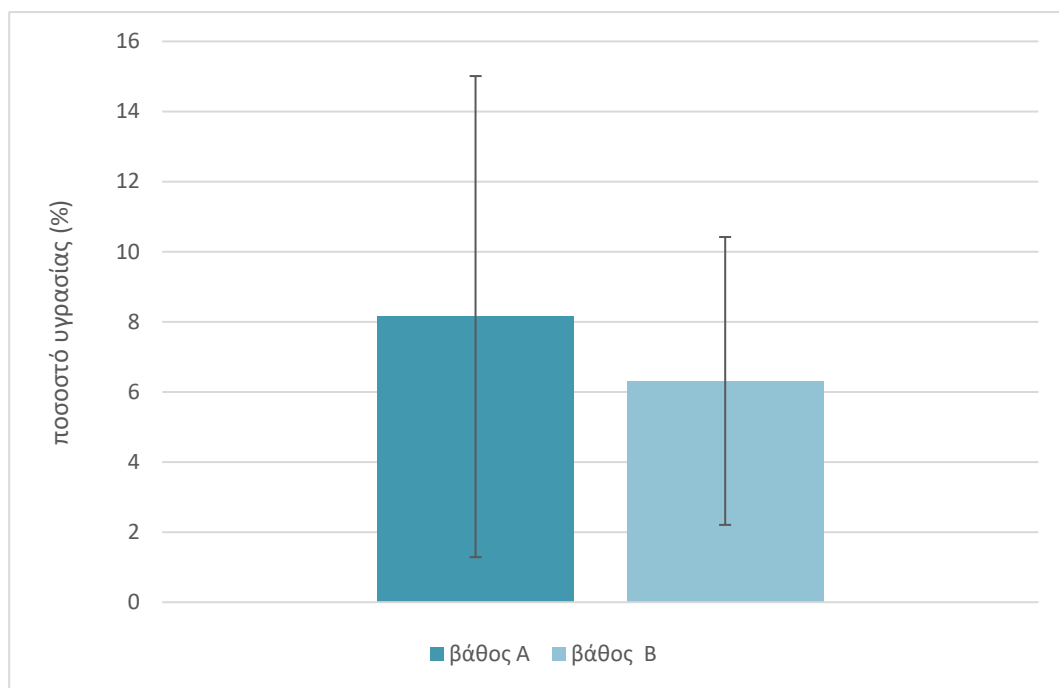
Η περιεχόμενη υγρασία στα αμμώδη και αργιλώδη εδάφη παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.

Γενικά παρατηρήθηκε υψηλότερο ποσοστό υγρασίας στο αργιλώδες έδαφος (12,1 %) σε σχέση με το αμμώδες (5,2 %)



Διάγραμμα 3 Ποσοστό υγρασίας σε αναλογία με την υφή του εδάφους.

Επόμενη εξετάστηκε η υγρασία, στα δύο εξεταζόμενα βάθη εδάφους. Δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο ποσοστών. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4 η υγρασία είναι αυξημένη στο βάθος Α (επιφανειακό στρώμα του εδάφους) με τιμή 8,149% . Στο βάθος Β (βαθιά λήψη δείγματος) το ποσοστό υγρασίας ήταν ελαφρώς χαμηλότερο (6,3%).

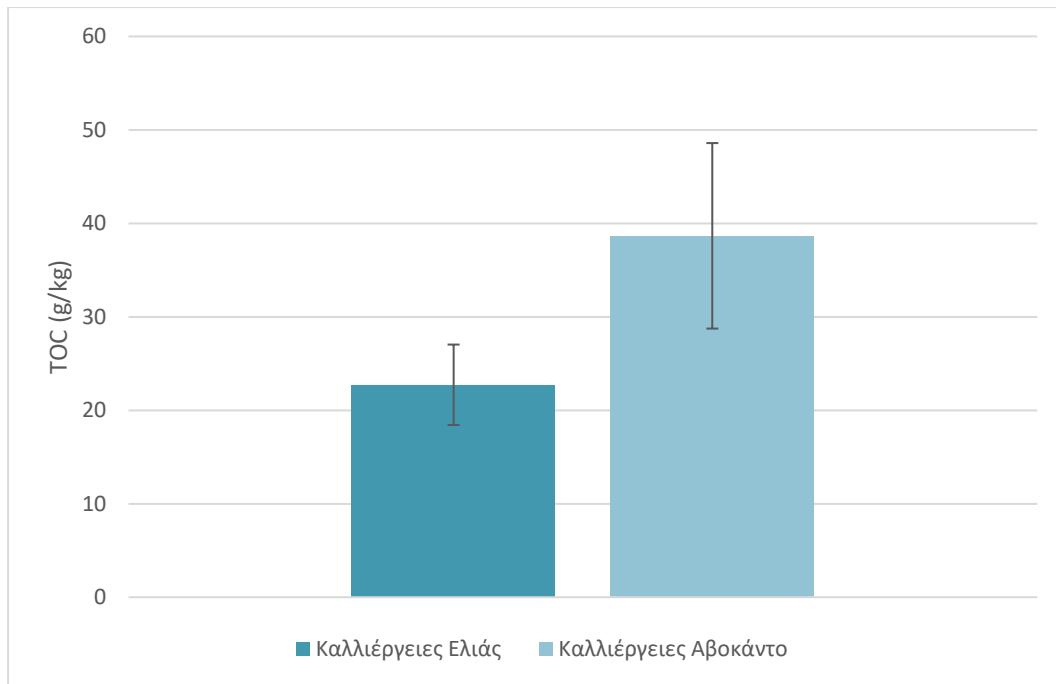


Διάγραμμα 4 Ποσοστό υγρασίας σε αναλογία με το βάθος

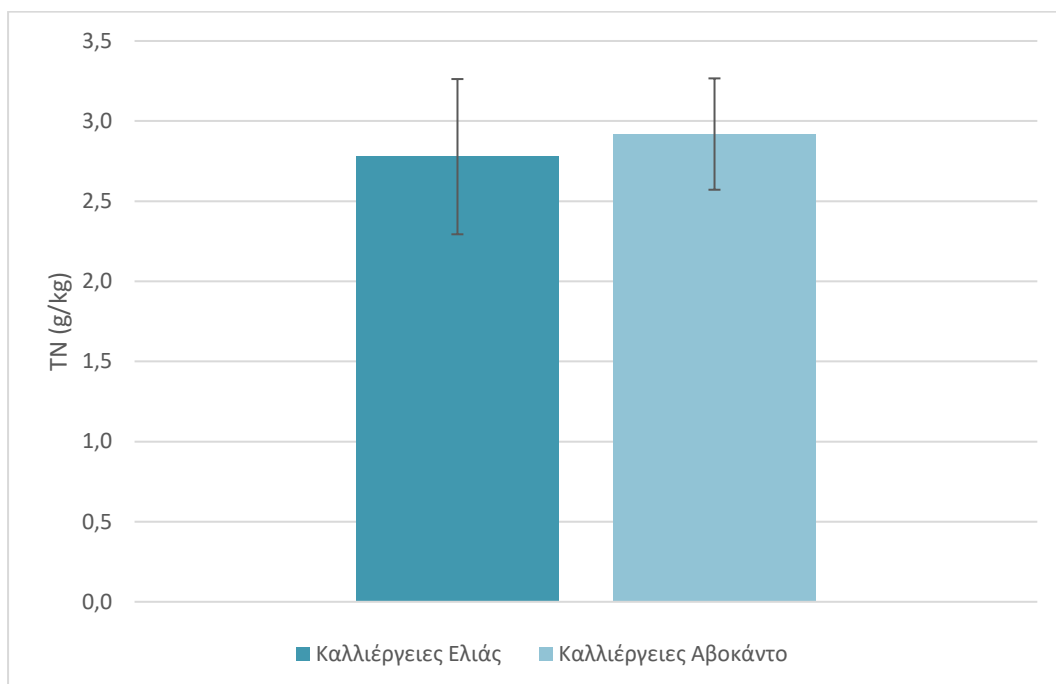
### 5.1.3 Συγκέντρωση Οργανικού Υλικού και Ολικού Αζώτου

Στο Διάγραμμα 5 συνοψίζεται η συγκέντρωση TOC σε διαφορετικά εδάφη υπό καλλιέργεια ελιάς και αβοκάντο. Η συγκέντρωση TOC και TN έδειξε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών καλλιεργειών και εδαφών. Τα εδάφη των καλλιεργειών αβοκάντο τείνουν να έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις TOC και TN. Στις καλλιέργειες αβοκάντο η συγκέντρωση TOC έφθασε τα 38,67 g/kg, ενώ στις καλλιέργειες ελιάς η αντίστοιχη συγκέντρωση ήταν περίπου 50% μικρότερη (22,73 g/kg).

Αντίθετα, όσο αφορά την συγκέντρωση του TN δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφοροποίηση. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6 οι συγκεντρώσεις είναι σχεδόν ίσες.

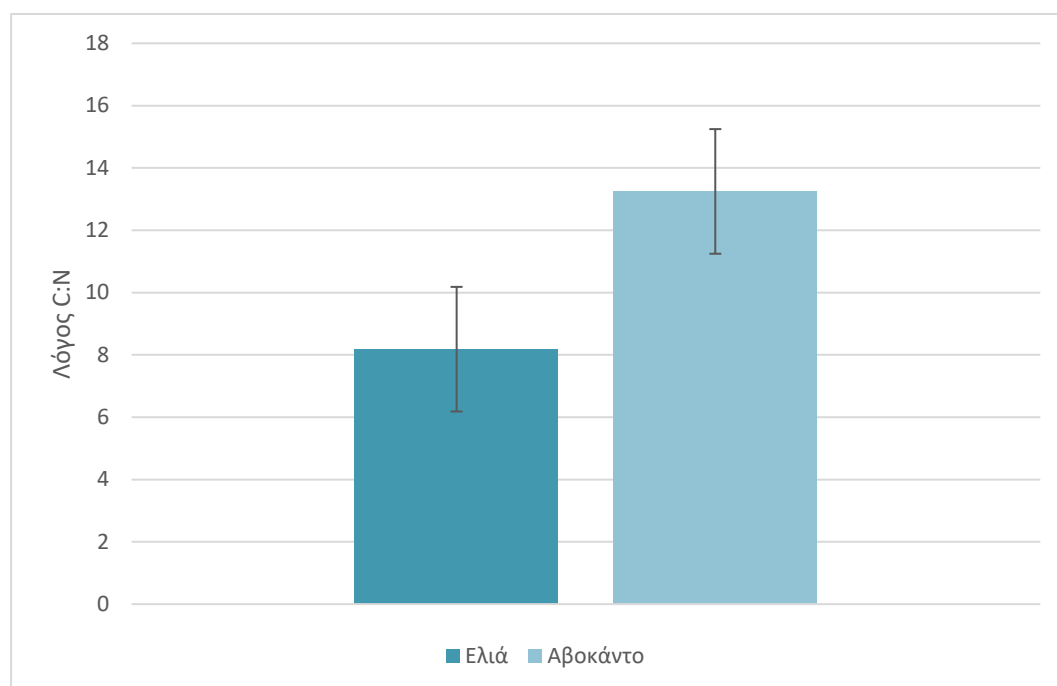


Διάγραμμα 5 Συγκέντρωση TOC σε διαφορετικά εδάφη υπό καλλιέργεια ελιάς και αβοκάντο



Διάγραμμα 6 Συγκέντρωση TN σε διαφορετικά εδάφη υπό καλλιέργεια ελιάς και αβοκάντο

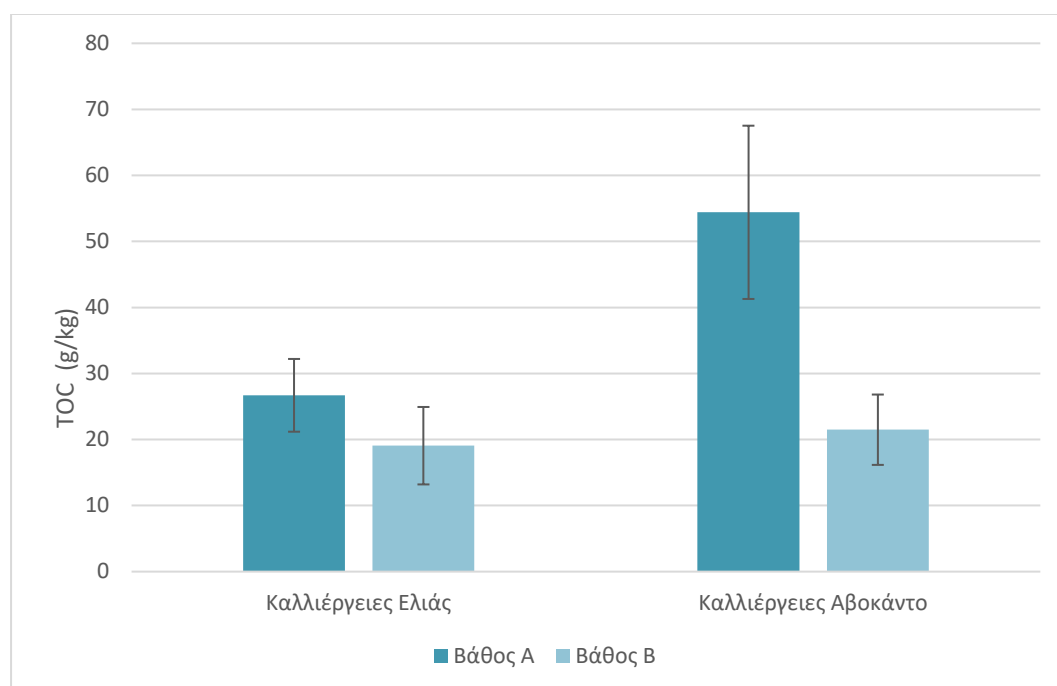
Προκειμένου, να διαπιστωθεί ακριβώς η προσφορά του κάθε δένδρου στην σύσταση του εδάφους, υπολογίστηκε ο λόγος C:N. Το αβοκάντο έχει υψηλότερο λόγο C:N (13:1) από την ελιά (8:1). Ο λόγος των δένδρων αβοκάντο φαίνεται άρα, να έχει τιμή πιο κοντά στην επιθυμητή. Χρειάζεται λόγος που να κυμαίνεται από 25:1 έως 30:1 για βέλτιστη μικροβιακή δραστηριότητα (Jerry M. Melillo 1982).



**Διάγραμμα 7 Λόγος C:N σε καλλιέργειες ελιά και αβοκάντο**

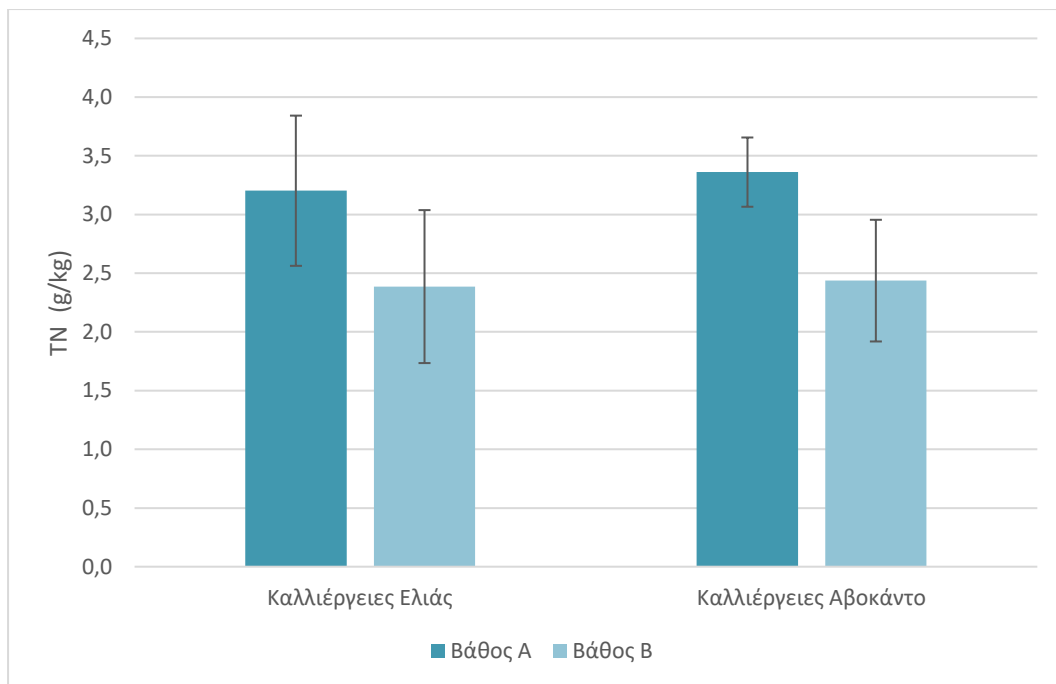
Στα διαγράμματα 8 και 9 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις TOC και TN συναρτήσει του βάθους του εδάφους, καθώς και του τύπου καλλιέργειας. Η συγκέντρωση TOC και στις δύο καλλιέργειες έχει υψηλότερη τιμή στο επιφανειακό έδαφος, με την μέγιστη τιμή να παρατηρείται στην καλλιέργεια αβοκάντο (54,41 g/kg). Λόγω του ρυθμού μεταφοράς του οργανικού υλικού από το βάθος A στο βάθος B και της απελευθέρωσης CO<sub>2</sub> κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού στην επιφάνεια του εδάφους, το ποσοστό του TOC που τελικά καταλήγει στο βαθύτερο κομμάτι του εδάφους είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό που αρχικά εναποτίθεται. Στις καλλιέργειες ελιάς το έδαφος, όπως παρατηρείται και στα παραπάνω διαγράμματα, είχε μικρότερη συγκέντρωση TOC, όμως και πάλι η μεγαλύτερη

συγκέντρωση TOC εμφανίζεται στο επιφανειακό έδαφος (26,70 g/kg). Η διαφορά που υπάρχει στις καλλιέργειες ελιάς είναι ότι τα ποσοστά του βάθους A και B δεν διαφέρουν τόσο όσο στις καλλιέργειες αβοκάντο. Η απόκλιση των δύο ποσοστών είναι ελάχιστη.



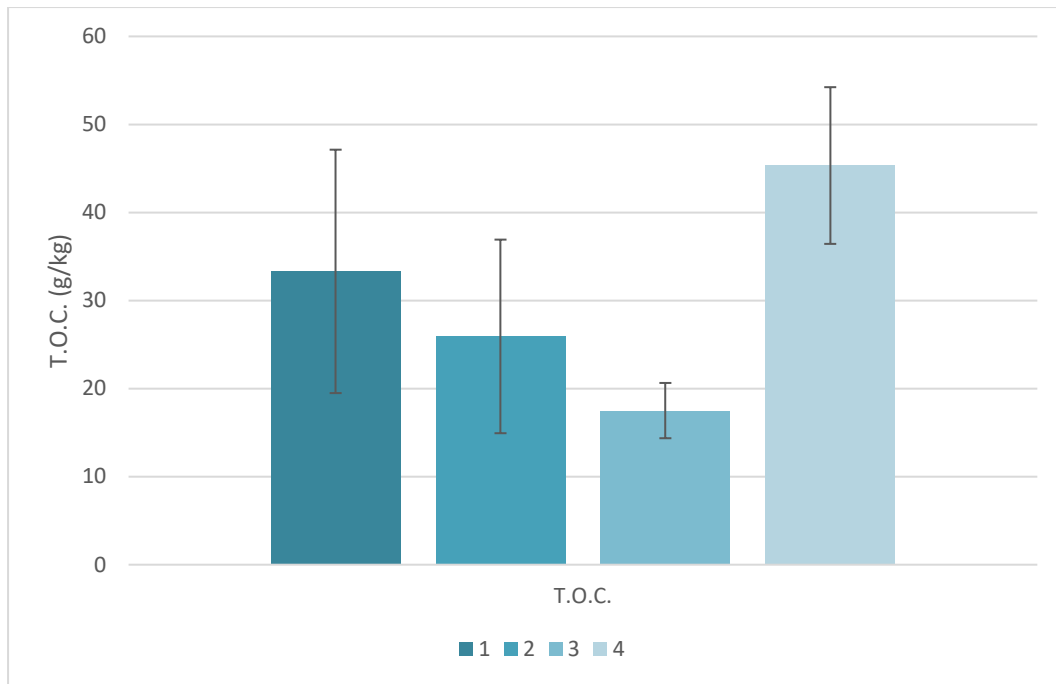
Διάγραμμα 8 Συγκέντρωση TOC σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε βάθος A και B.

Στο Διάγραμμα 9 παραθέτονται οι τιμές συγκέντρωσης TN για τις ίδιες παραμέτρους. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με αυτά του TOC. Σε βάθος A παρατηρήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το βάθος B. Η μέγιστη τιμή είναι αυτή του βάθους A καλλιέργειας αβοκάντο, που ανέρχεται στα 3,36 g/kg. Τα ποσοστά σε σχέση με αυτά του TOC είναι πολύ μικρότερα, αλλά η γενικότερη τάση ακολούθησε το ίδιο μοτίβο. Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο βάθος B στις καλλιέργειες ελιάς (2,39 g/kg) αν και με μικρή απόκλιση από τις καλλιέργειες αβοκάντο. Επίσης, δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ βάθους A και B. Για την ελιά η διαφορά των τιμών των συγκεντρώσεων είναι 0,81 g/kg και για το αβοκάντο 0,92 g/kg.



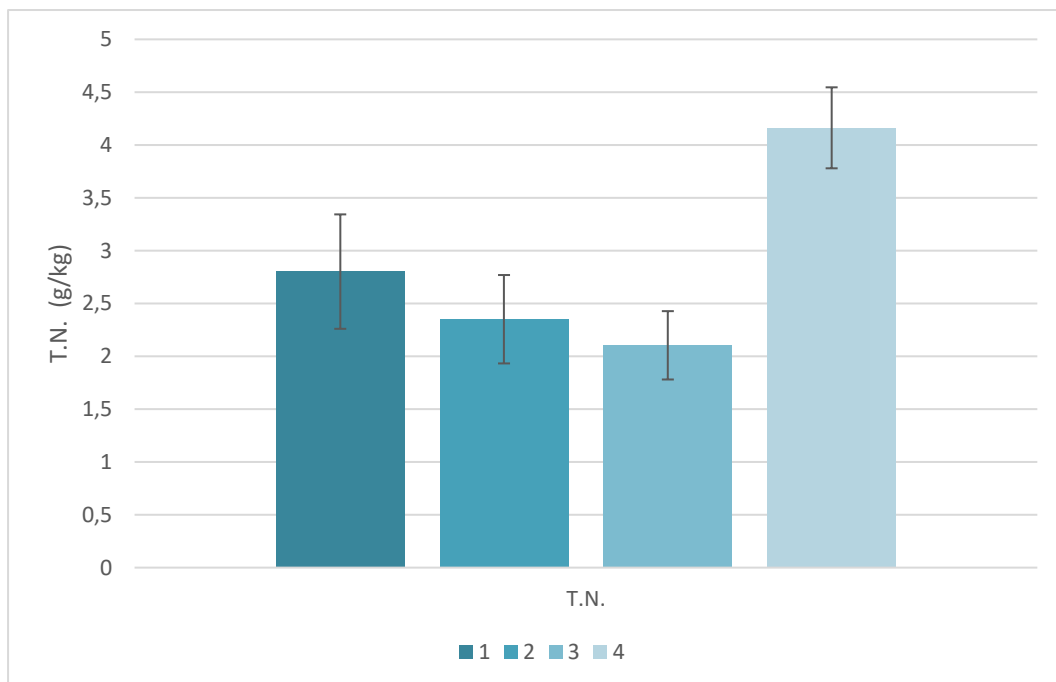
Διάγραμμα 9 Συγκέντρωση TN σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε βάθος A, B

Σημαντικό για την πορεία της παρούσας έρευνας είναι να εξεταστεί η διαφορά των συγκεντρώσεων TOC και TN σε σχέση με την υφή του εδάφους. Η μέγιστη συγκέντρωση διαπιστώθηκε στον αγρό 4 όπου το έδαφος αποτελείται κυρίως από ιλύς και δέχεται κατεργασία (45.34 g/kg). Η ελάχιστη συγκέντρωση μετρήθηκε στον αγρό 3 όπου το έδαφος είναι αμμώδες και δεν οργώνεται τα τελευταία 10 έτη (33.31 g/kg). Στα εδάφη που η σύσταση τους κυριαρχούνταν από άμμο διαπιστώθηκε χαμηλότερη συγκέντρωση TOC. Οι αγροί 3 και 2 έχουν αντίστοιχα (17.50 g/kg), (25.93 g/kg), τα οποία είναι και οι μικρότερες συγκεντρώσεις.



Διάγραμμα 10 Συγκέντρωση TOC σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε διαφορετικές περιοχές.

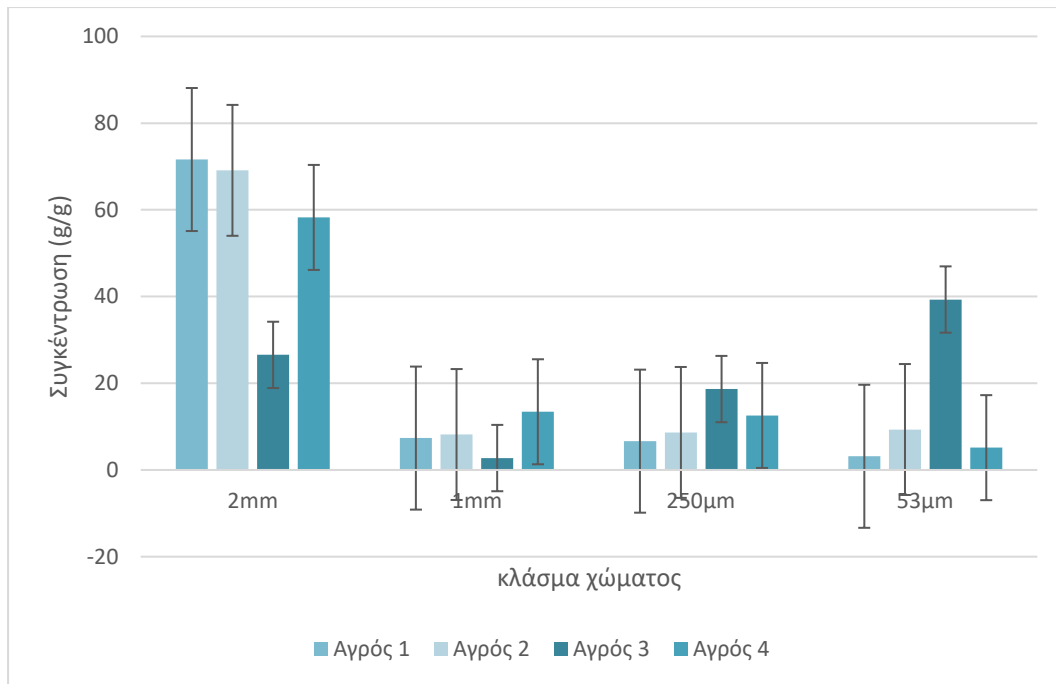
Το ίδιο μοτίβο παρατήθηκε και για τις συγκεντρώσεις του TN. Η μέγιστη τιμή μετρήθηκε στον αγρό 1 που κυριαρχεί η άργιλος (4,16 g/kg), ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις προσδιορίστηκαν στα αμμώδη εδάφη με συγκεντρώσεις περίπου 2 g/kg .



Διάγραμμα 11 Συγκέντρωση TN σε καλλιέργειες αβοκάντο και ελιάς σε διαφορετικές περιοχές.

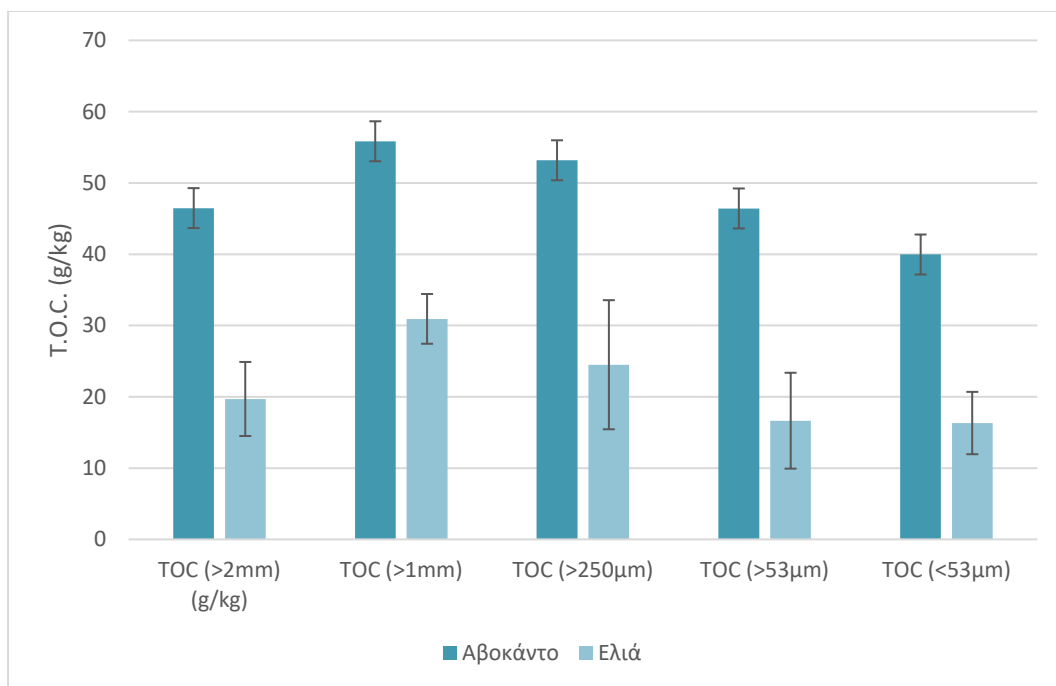
#### 5.1.4 Κατανομή Μάζας Συσσωματωμάτων

Ο καθορισμός της περιεκτικότητας του εδάφους σε συσσωματώματα αποτελεί σημαντικό σημείο της παρούσας εργασίας. Όπως ήδη αναφέρθηκε στο κεφάλαιο ανάλυσης των πειραματικών μετρήσεων, ο καθορισμός των κλασμάτων των συσσωματωμάτων έγινε μετά την υγρή κοσκίνηση. Στο Διάγραμμα 12 συνοψίζονται τα αποτελέσματα για τους διαφορετικούς τύπους εδαφών, καθώς και την διαφορά που επιφέρει η κατεργασία εδάφους. Οι αγροί 1 και 2 παρουσίασαν υψηλότερο ποσοστό μακρο-συσσωματωμάτων (>2 mm) ακολουθούμενοι από τον αγρό 4, ενώ το μικρότερο ποσοστό παρατηρήθηκε στον αγρό 3. Όσο αφορά τα κλάσματα 1-2 mm και 0,25-1 mm δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των αγρών δειγματοληψίας. Αντίθετα στο μικρότερο κλάσμα συσσωματωμάτων 53-250 μm το υψηλότερο ποσοστό διαπιστώθηκε στον αγρό 3. Δηλαδή στα εδάφη που έχουν αργιλώδη υφή (3 και 4), επικρατούν μικρότερα ποσοστά στο κλάσμα αυτό. Αξιοσημείωτες, είναι οι τιμές του οργωμένου αργιλώδους εδάφους όπου υπερισχύουν τα συσσωματώματα του κλάσματος 250μm-53μm. Αγρονομικά πολύτιμα μπορούν να χαρακτηριστούν όλα τα εδάφη καθώς έχουν ποσοστό συσσωματωμάτων 0,25-1 mm μικρότερο από 60% (Banwart κ.ά. 2012).



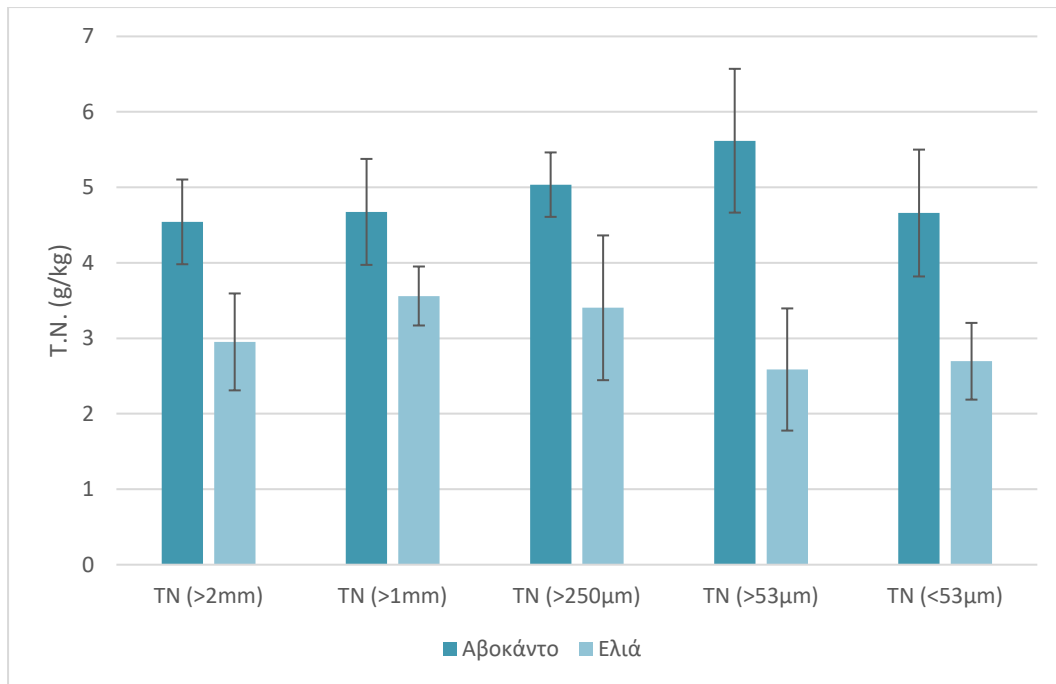
**Διάγραμμα 12 Μέσος όρος καθαρού βάρους σε εδάφη καλλιέργειας ελιάς και αβοκάντο.**

Η συγκέντρωση TOC και TN στις διαφορετικές ομάδες συσσωματωμάτων του εδάφους συνοψίζεται στο Διάγραμμα 13 και Διάγραμμα 14. Η μέγιστη συγκέντρωση TOC μετρήθηκε κυρίως στο κλάσμα συσσωματωμάτων 2 mm -1 mm (55,18 g/kg για αβοκάντο και 30,93 g/kg για ελιά). Στην συνέχεια, διατεταγμένα από το μεγαλύτερο στο μικρότερο έρχονται τα κλάσματα συσσωματωμάτων διαμέτρου 1 mm -250 μm, του 250 μm-53 μm και τα συσσωματώματα διαμέτρου μεγαλύτερης των 2 mm. Η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στο κλάσμα συσσωματωμάτων με διάμετρο <53 μm. Οι τιμές των συγκεντρώσεών τους είναι 39,96 g/kg για καλλιέργειες αβοκάντο και 16,32 g/kg για ελιάς. Στα μάκρο-συσσωματώματα μπορούν να περιέχονται μικρότερα (μικρο-συσσωματώματα) (Oades και Waters 1991). Στο φαινόμενο αυτό είναι πιθανό να οφείλονται οι αυξημένες τιμές στα κλάσματα 2 mm -1 mm και 1 mm -250 μm. Παρόλα αυτά αν και στα μικρο-συσσωματώματα η συγκέντρωση TOC είναι μικρότερη, δεν απέχει σημαντικά από τις μέγιστες συγκεντρώσεις.



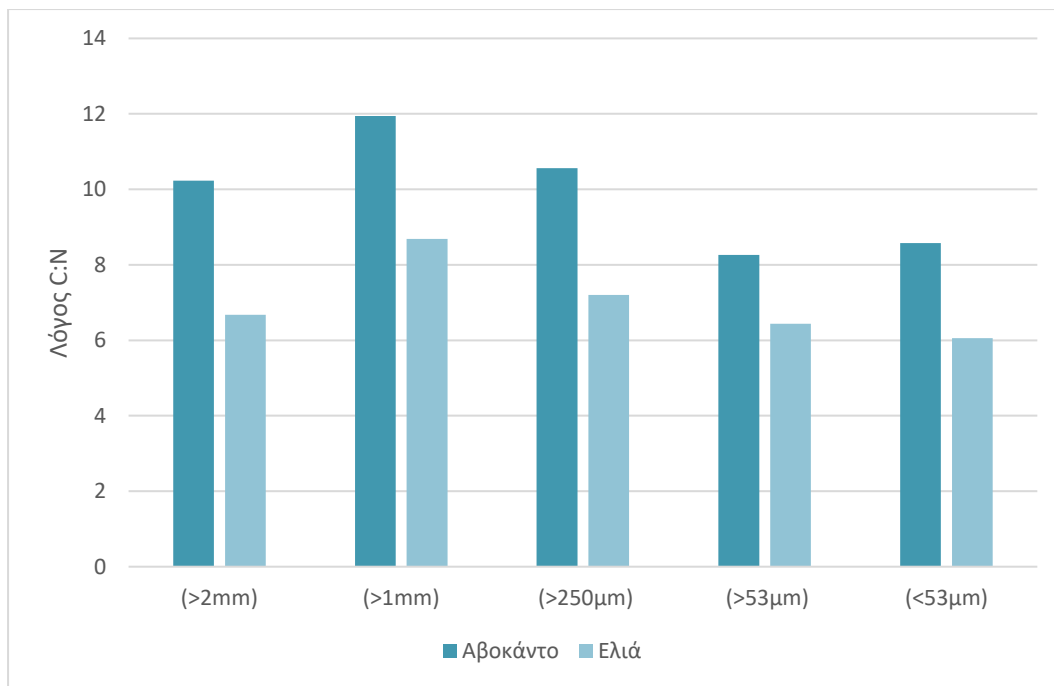
**Διάγραμμα 13 Συγκέντρωση TOC στα συσσωματώματα εδάφους**

Στην συγκέντρωση του TN η ποσοτική κατάταξη των συγκεντρώσεων αλλάζει. Στις καλλιέργειες αβοκάντο φαίνεται καθαρά η αύξηση της συγκέντρωσης με την μείωση του μεγέθους των συσσωματωμάτων. Αντίθετα, στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε καλλιέργεια ελιάς το μοτίβο που διαπιστώθηκε για το TOC διατηρείται. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο κλάσμα συσσωματωμάτων μεγέθους 250 -53 μm, με ποσοστό 5,6 g/kg για την καλλιέργεια αβοκάντο. Η χαμηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στο κλάσμα συσσωματωμάτων 250 -53 μm στις καλλιέργειες ελιάς.



Διάγραμμα 14 Μέσος όρος ολικού αζώτου στα συσσωματώματα εδάφους

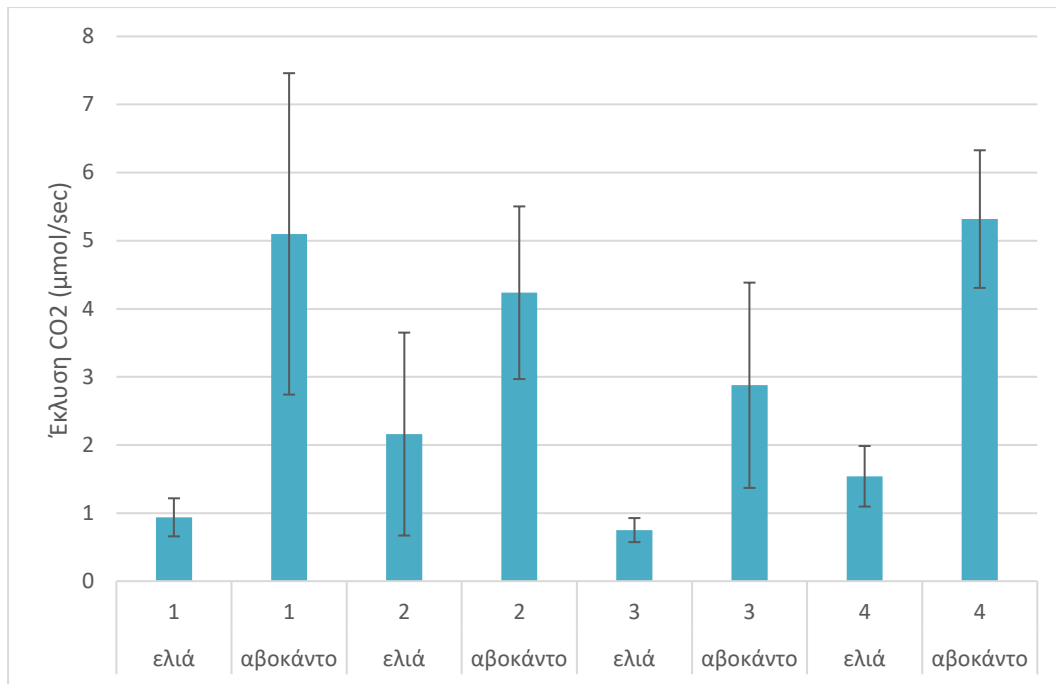
Συνοπτικά μπορούμε να δούμε την σχέση μεταξύ C και N ελέγχοντας την αναλογία των δύο χημικών στοιχείων στα κλάσματα των συσσωματωμάτων του εδάφους. Στο διάγραμμα 15 παρουσιάζεται η σχέση αυτή. Γενικά, οι τιμές του λόγου ακολουθούν το ίδιο μοτίβο σε καλλιέργειες είτε ελιάς είτε αβοκάντο. Ο μέγιστος λόγος παρουσιάζεται στο κλάσμα συσσωματωμάτων εδάφους 2mm-1mm, ενώ η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στα κλάσματα συσσωματωμάτων διαμέτρου μικρότερης των 250 μm. Η μέγιστη τιμή είναι αυτή του κλάσματος 2mm-1mm καλλιέργειας αβοκάντο (12:1) και ελάχιστη αυτή του κλάσματος συσσωματωμάτων διαμέτρου μικρότερης των 53 μm υπό καλλιέργεια ελιάς (6:1). Επομένως, το εύρος τιμών της αναλογίας C:N, δεν είναι ποτέ στα επιθυμητά επίπεδα. Παρόλα αυτά, ο λόγος των συσσωματωμάτων διαμέτρου 2mm-1mm φαίνεται να έχει τιμή πιο κοντά στην επιθυμητή (25:1 έως 30:1), για μικροβιακή δραστηριότητα (Jerry M. Melillo 1982). Αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να αυξάνει το χρόνο ζωής ενός συσσωματώματος, καθώς οι απεκκρίσεις των διαφόρων μικροοργανισμών λειτουργούν ως σύνδεσμος των σωματιδίων, γεγονός που τα κάνει πιο σταθερά.



Διάγραμμα 15 Αναλογία άνθρακα προς αζώτου στα συσσωματώματα εδάφους

#### 5.1.5 Αναπνοή Μικροοργανισμών

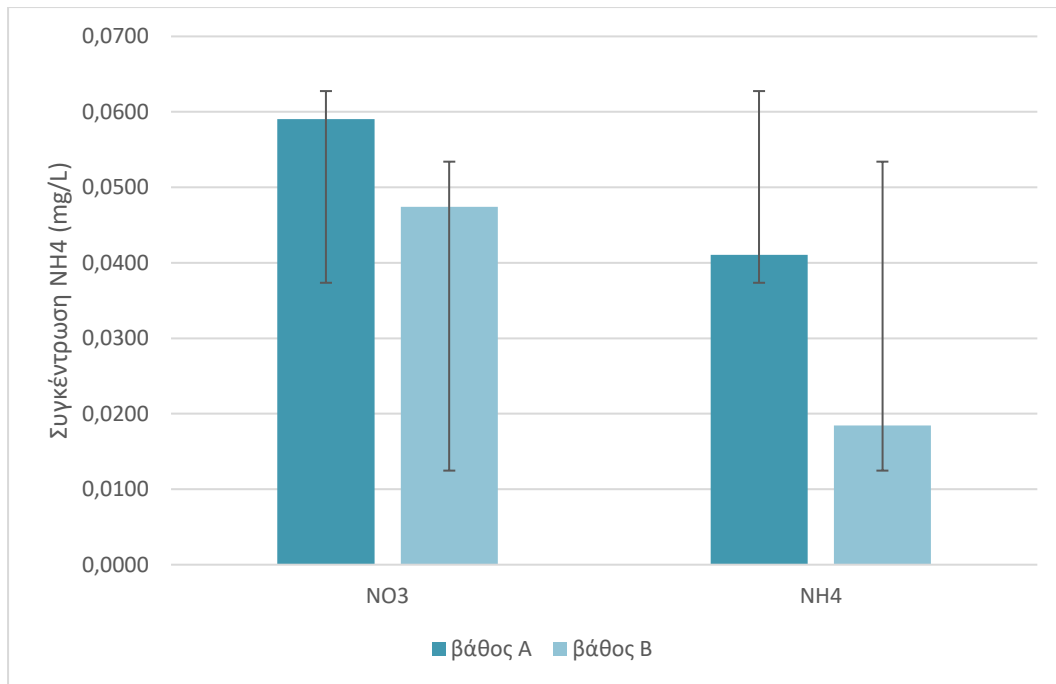
Στο Διάγραμμα 16 παρουσιάζεται η μικροβιακή αναπνοή στους διαφορετικούς τύπους εδαφών και καλλιεργειών. Διαπιστώνεται η αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα στους αγρούς υπό καλλιέργεια αβοκάντο. Η μέγιστη μικροβιακή αναπνοή παρατηρήθηκε στις καλλιέργειες αβοκάντο στους αγρούς 1 και 4. Τα εδάφη στις περιοχές αυτές είναι αργιλώδη και εφαρμόζεται άροση. Η ανάμειξη του εδάφους μπορεί να ενισχύσει την μικροβιακή αναπνοή, καθώς αυξάνει την βιο-διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων (X.Liu, S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang 2006). Αντίθετα, η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε στην περιοχή 3 όπου γίνεται καλλιέργεια ελιάς. Στην περιοχή 3 όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αμμώδες.



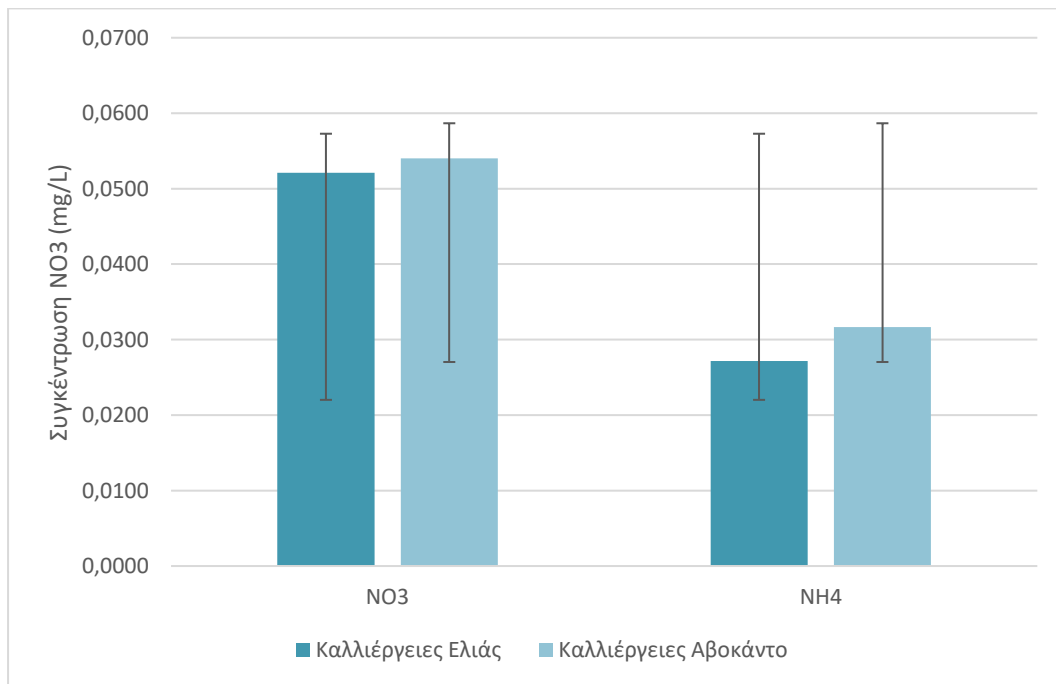
Διάγραμμα 16 Μέσος όρος μικροβιακής αναπνοής στο έδαφος

#### 5.1.6 Αμμωνιακά και Νιτρικό Άζωτο

Αν και η συγκέντρωση N στο έδαφος είναι σημαντική από μόνη της, είναι χρήσιμο να γίνουν γνωστά και τα ποσοστά αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων που βρίσκονται στο έδαφος αυτό. Διαφορετικές μορφές N μπορούν να επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα στην διαδικασία συσσωμάτωσης (Six κ.ά. 2004). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανάλογα με το βάθος του εδάφους και το είδος της καλλιέργειας. Παρατηρείται πως σε όλα τα βάθη του εδάφους επικρατεί το νιτρικό άζωτο. Κατά την σύγκριση διαφορετικών καλλιεργειών παρατηρείται κυρίως η παρουσία οξειδίων του αζώτου και στις δύο περιπτώσεις. Φυσικά υπάρχει μία μικρή αύξηση στα εδάφη που καλλιεργείται αβοκάντο λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης αποσυντιθέμενου υλικού από το δέντρο.



Διάγραμμα 17 Συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε βάθος A,B



Διάγραμμα 18 Συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε καλλιέργειες avocado και ελιάς

## 6 Συζήτηση

Η βελτιστοποίηση του τρόπου διαχείρισης του εδάφους, ενός από τους σημαντικότερους πόρους για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά, αποτελεί πλέον επιτακτική ανάγκη. Η παρούσα κατάσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου οφείλεται κυρίως, στον τρόπο διαχείρισης των φυσικών πόρων. Για παράδειγμα το CO<sub>2</sub>, παράγεται όταν φυσικά καύσιμα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας ή κατά την υλοτόμηση και καύση των δασών. Επίσης, το μεθάνιο και τα νιτρικά οξείδια, που παράγονται από τις αγροτικές δραστηριότητες καθώς και από τις αλλαγές στο τρόπο εκμετάλλευσης της γης. Αντικείμενο λοιπόν της παρούσας εργασίας, είναι η μελέτη της επιρροής της βλάστησης στην συγκράτηση από το έδαφος αυτών των επιβαρυντικών για το περιβάλλον ουσιών.

### 6.1.1 Δομή του Εδάφους

Εξετάζοντας αρχικά την γονιμότητα του εδάφους, ανεξάρτητα από την επίδραση της βλάστησης σε αυτήν, μπορούν να εξαχθούν τα εξής γενικά συμπεράσματα. Γίνεται αυξημένη συγκράτηση υγρασίας στα αργιλώδη εδάφη, καθώς τα μικρής διαμέτρου σωματίδια των συγκεκριμένων εδαφών επιτρέπουν την εμφάνιση τριχοειδών φαινομένων συγκράτησης νερού. Διαφορές στις τιμές εδαφικής υγρασίας, συνδέονται με ανάλογες διαφορές στις τιμές μικροβιακής δραστηριότητας. Αυξημένη υγρασία, συνοδεύεται από αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα, όπου με τη σειρά της συνδέεται με μεγάλες συγκεντρώσεις C και N.

Τα εδάφη που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία είχαν υφή πηλώδη-αμμώδη και πηλώδη-αργιλώδη. Ανάμεσα στα δύο είδη εδάφους που εξετάστηκαν τα πηλώδη-αμμώδη εμφάνισαν μεγαλύτερα ποσοστά μακρο- συσσωματωμάτων (>2mm). Ενδεχομένως, αυτή η βασική διαφορά να οφείλεται στον τρόπο παραγωγής των συσσωματωμάτων. Όπως αναφέρουν οι Oades και Tisdall (1982) τα μικρά εδαφικά σωματίδια (αργίλου και ιλύος) με την βοήθεια δισθενών και τρισθενών κατιόντων αλλά και οργανικού υλικού σχηματίζουν μάζες αργίλου από τις οποίες δημιουργούνται μικρο-συσσωματώματα. Ομοίως, οι Oades (1984) και Elliott,

Coleman (1988) υποστηρίζουν πως το χονδρό σωματιδιακό υλικό (άμμος) σε συνδυασμό με βλεννώδεις ουσίες παράγει μακρο- συσσωματώματα.

Ωστόσο, στα πηλώδη –αργιλώδη εδάφη παρατηρείται απόκλιση στα αποτελέσματα. Το έδαφος του αγρού 3, στο οποίο δεν γίνεται τακτική κατεργασία εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό μικρών συσσωματωμάτων ( $250\mu\text{m}$  -  $53\mu\text{m}$ ) ενώ, το έδαφος του αγρού 4, το οποίο δέχεται τακτική κατεργασία παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με τα αμμώδη εδάφη. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι, τα αμμώδη εδάφη δεν επηρεάζονται από την κατεργασία τους, αντίθετα με τα αργιλώδη τα οποία εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στην δομή τους όταν υφίστανται κατεργασία.

Οι X.Liu, S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang αναφέρουν πως, η κατεργασία του εδάφους ευνοεί τον αερισμό του και την ενσωμάτωση του επιφανειακά τοποθετημένου οργανικού υλικού στο βαθύτερο έδαφος. Πράγματι, παρατηρείται στις μετρήσεις της μικροβιακής δραστηριότητας πως η κατεργασία του εδάφους σε αργιλώδη εδάφη συνοδεύεται από αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα. Την παρατήρηση αυτή έρχεται να επιβεβαιώσει και η θεωρία των Degens και Sparling, οι οποίοι αναφέρουν πως σε αμμώδη εδάφη η δημιουργία συσσωματωμάτων δεν είναι τόσο εξαρτώμενη από την βακτηριακή βιομάζα και δραστηριότητα.

Η αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα, συνοδεύεται από υψηλή τιμή των ποσοστών TOC και TN για το αργιλώδες έδαφος του αγρού 4. Επομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως, η κατεργασία του εδάφους ευνοεί τα αργιλώδη εδάφη.

#### 6.1.2 Είδος βλάστησης

Στο σύνολο των παραγόντων που εξετάστηκαν, με κεντρικό άξονα τη διαφοροποίηση ανάμεσα στους δύο τύπους βλάστησης, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν εξαιρετική απόκλιση. Τα εδάφη των αγρών που φέρουν καλλιέργειες αβοκάντο, παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά TOC και TN. Παρόλο που οι συγκεντρώσεις του αζώτου δεν έχουν μεγάλη

απόκλιση ανάμεσα στα αποτελέσματα της ελιάς και του αβοκάντο, το τελευταίο φέρει πάντα αυξημένη τιμή. Το ίδιο μοτίβο συνεχίζεται και στα δύο εξεταζόμενα βάθη, στα κλάσματα συσσωματωμάτων και στην μικροβιακή δραστηριότητα. Ανεξάρτητα από τις παραμέτρους κάτω από τις οποίες εξετάζεται η διαφορά των δύο δένδρων, το αβοκάντο παρουσιάζει πάντα αυξημένη τιμή συγκέντρωσης οργανικού εδαφικού υλικού. Τα αποτελέσματα αυτά, είναι πιθανό να οφείλονται στην δυνατότητα του οργανικού υλικού του αβοκάντο να αποδομείται ταχύτερα, γεγονός που θα εξηγούσε όχι μόνο την αυξημένη συγκέντρωση TOC και TN, αλλά και την αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα. Όπως προτείνουν οι Agren και Bosatta (1996) όσο καλύτερη είναι η ποιότητα του υλικού (αποδομείτε γρήγορα) τόσο ταχύτερα μπορεί να μεγαλώσει ο μικροβιακός πληθυσμός. Μια δεύτερη εξήγηση μπορεί να δοθεί από τους Meentemeyer (1978) και Jerry M. Melillo (1982), οι οποίοι επισημαίνουν την σημαντικότητα του λόγου C:N. Τα εδαφικά δείγματα από καλλιέργειες αβοκάντο, έχουν λόγο C:N πλησιέστερο στον βέλτιστο που απαιτείται για μικροβιακή ανάπτυξη. Μεγαλύτερη μικροβιακή δραστηριότητα, επιφέρει αυξημένη συσσωμάτωση και άρα, καλύτερη αποθήκευση T.O.C. και N.

### 6.1.3 Επίδραση του Βάθους

Ενδιαφέρον επίσης προκαλεί η διαφορά που παρατηρείται στις μετρήσεις μεταξύ βάθους A και βάθους B. Στο βάθος A διαπιστώνονται αυξημένα ποσοστά υγρασίας, καθώς και TOC και TN. Η αυξημένη υγρασία επιφέρει μικροβιακή ανάπτυξη, που με τη σειρά της αυξάνει τη συγκράτηση θρεπτικού υλικού στα εδάφη. Στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους εναποτίθεται το οργανικό υλικό από τις καλλιέργειες, εκεί γίνεται και η διαδικασία της αποσύνθεσης από τους μικροοργανισμούς (χουμοποίηση). Αντίθετα, σε βαθύτερο έδαφος το οργανικό υλικό εμφανίζεται μόνο μέσω μεταφοράς του από το επιφανειακό έδαφος. Η μεταφορά του υλικού ωστόσο, γίνεται με συγκεκριμένο ρυθμό, που δεν είναι απαραίτητα ίδιος με το ρυθμό της κατανάλωσης του (Φραγκιά 2012). Δικαιολογείται λοιπόν, η μειωμένη συγκέντρωση άνθρακα και αζώτου, στο βάθος B, συγκριτικά με το βάθος A.

## 7 Βιβλιογραφία

- Agren, Goran I, και Ernesto Bosatta. 1996. 'A Bridge between Theory and Experiment in Soil Organic Matter Studies'. *Wiley on behalf of Nordic Society Oikos* 76 (3): 522–28.
- Angers, D. A., και G. R. Mehuys. 1988. 'Effects of Cropping on Macro-Aggregation of a Marine Clay Soil'. *Canadian Journal of Soil Science* 68 (4): 723–32.  
<https://doi.org/10.4141/cjss88-070>.
- Banwart, Steven, Manoj Menon, Stefano M. Bernasconi, Jaap Bloem, Winfried E.H. Blum, Danielle Maia de Souza, Brynhildur Davidsdotir, κ.ά. 2012. 'Soil processes and functions across an international network of Critical Zone Observatories: Introduction to experimental methods and initial results'. *Comptes Rendus - Geoscience* 344 (11–12). Academie des sciences: 758–72. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2012.10.007>.
- Bot, Alexandra, και Jose Benites. 2005. *The importance of soil organic matter. FAO Soils Bulletin*. <https://doi.org/10.1080/03650340214162>.
- Bullock, M. S., S. D. Nelson, και W. D. Kemper. 1988. 'Soil Cohesion as Affected by Freezing, Water Content, Time and Tillage'. *Soil Science Society of America Journal* 52 (3): 770.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200030031x>.
- Burroughs, E R, C H Luce, και F Phillips. 1992. 'Estimating Interrill Erodibility Of Forest Soils'. *Transactions Of The ASAE* 35 (5): 1489–95. <https://doi.org/10.13031/2013.28757>.
- Chaney, K., και R. S. Swift. 1986. 'Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates'. *Journal of Soil Science* 37 (2): 329–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00035.x>.
- Chenu, C. 1989. 'Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures'. *Soil Biology and Biochemistry* 21 (2): 299–305. <https://doi.org/10.1016/0038->

0717(89)90108-9.

- Coote, D. R., C. A. Malcolm-McGo'Verni, J. G. Wall, R. P. Rudra, και W. T. Dickinsons. 1988. 'Seasonal Variation of Erodibility Indices Based on Shear'. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 416 (May): 405–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.4141/cjss88-037>.
- Degens, B. P., G. P. Sparling, και L. K. Abbot. 1994. 'The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures'. *European Journal of Soil Science* 45 (4): 459–68. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1994.tb00531.x>.
- Degens, Bradley, και Graham Sparling. 1996. 'Changes in aggregation do not correspond with changes in labile organic C fractions in soil amended with <sup>14</sup>C-glucose'. *Soil Biology and Biochemistry* 28 (4–5): 453–62. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00014-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00014-4).
- Denef, Karolien, Johan Six, Heleen Bossuyt, Serita D Frey, Edward T Elliott, Roel Merckx, και Keith Paustian. 2001. 'Influence of dry - wet cycles on the interrelationship between aggregate , particulate organic matter, and microbial community dynamics'. *Soil & Tillage Research* 33: 1599–1611. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00076-1).
- Diaz, S, S Lavorel, F S Chapin, P A Tecco, D E Gurvich, και K Grigulis. 2007. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer, Berlin, Heidelberg. τ. 47. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32730-1>.
- Douglas, J T, και M J Goss. 1982. 'Stability and Organic Matter Content of Surface Soil Aggregates Under Different Methods of Cultivation and in Grassland'. *Soil and Tillage Research* 2: 155–75.
- Dungait, Jennifer A.J., David W. Hopkins, Andrew S. Gregory, και Andrew P. Whitmore. 2012.

- ‘Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance’. *Global Change Biology* 18 (6): 1781–96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x>.
- Elliott, Author E T, και D C Coleman. 1988. ‘Oikos Editorial Office Let the Soil Work for Us Let the soil work for us’. *Ecological Bulletins*, τχ. 39: 23–32.
- Fernandez-Illescas, C P, A Porporato, και F Laio. 2001. ‘The ecohydrological role of soil texture in a water-limited ecosystem’. *Water Resources Research* 37 (12): 2863–72. <https://doi.org/10.1029/2000WR000121>.
- Hallmark, Charles, Rebecca Melton, Bruce Lesikar, και Bill Harris. 2013. ‘Soil Particle Analysis Procedure’. *AgriLife Communications and Marketing, Texas A&M System*. τ. 19.
- Jerry M. Melillo, John D. Aber and John F. Muratore. 1982. ‘Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics’. *Ecological Society of America* 63 (3): 621–26.
- Lal, R. 2004. ‘Soil carbon sequestration to mitigate climate change’. *Geoderma* 123 (1–2): 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>.
- Meentemeyer, Vernon. 1978. ‘Macroclimate and Lignin Control of Litter Decomposition Rates’. *Ecology* 59 (3): 465–72. <https://doi.org/10.2307/1936576>.
- Oades, J. M. 1984. ‘Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management’. *Plant and Soil* 76 (1–3): 319–37. <https://doi.org/10.1007/BF02205590>.
- Oades, J. M., και J. M. Tisdall. 1982. ‘Organic matter and water-stable aggregates in soils’. *Journal of Soil Science* 33 (2): 141–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>.
- Oades, J. M., και A. G. Waters. 1991. ‘Aggregate hierarchy in soils’. *Australian Journal of Soil*

- Research* 29 (6): 815–25. <https://doi.org/10.1071/SR9910815>.
- Oades, J.M. 1993. 'The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure'. *Geoderma* 56 (1–4). Elsevier B.V.: 377–400. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90123-3).
- Perfect, E., B.D. Kay, W.K.P. van Loon, R.W. Shear, και T. Pojasok. 1990. 'Factors influence soil structural stability within a growing season'. *Soil Science Society of America Journal* 54: 173–79. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010027x>.
- Plante, A. F., και W. B. McGill. 2002. 'Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies'. *Soil and Tillage Research* 66 (1): 79–92. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00015-6).
- Robert O. Miller. 2002. *Test methods for the examination of composting and compost*.
- Sardans, J., A. Rivas-Ubach, και J. Peñuelas. 2012. 'The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives'. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14 (1): 33–47.  
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.08.002>.
- Sardans, J., F. Rodà, και J. Peñuelas. 2006. 'Effects of a nutrient pulse supply on nutrient status of the Mediterranean trees *Quercus ilex* subsp. *ballota* and *Pinus halepensis* on different soils and under different competitive pressure'. *Trees - Structure and Function* 20 (5): 619–32. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0077-z>.
- Schimel, David. 1995. 'Terrestrial Ecosystems & the Carbon Cycle'. *Global Change Biology*, τχ. October 1994: 77–91.
- Six, J, H Bossuyt, S Degryze, και K Denef. 2004. 'A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics'. *Soil and Tillage*

- Research* 79 (1): 7–31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>.
- Six, J, R T Conant, E a Paul, και K Paustian. 2002. 'Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturatin of soils'. *Plant and Soil* 241: 155–76.  
<https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>.
- Six, J, E T Elliott, και K Paustian. 2000. 'Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation : a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture' 32: 2099–2103.
- Smith, Pete. 2012. 'Soils and climate change'. *Sowing Seeds in the City: Ecosystem and Municipal Services* 4 (5). Elsevier B.V.: 145–52. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7453-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7453-6_10).
- Stamati, Fotini E., ikolaos P. Nikolaidis, Steven Banwart, και Winfried E.H. Blum. 2013. 'A coupled carbon, aggregation, and structure turnover (CAST) model for topsoils'. *Geoderma* 211–212 (1): 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.014>.
- Stamati, Fotini E., Nikolaos P. Nikolaidis, και Jerald L. Schnoor. 2013. 'Modeling topsoil carbon sequestration in two contrasting crop production to set-aside conversions with RothC - Calibration issues and uncertainty analysis'. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 165. Elsevier B.V.: 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.11.010>.
- Suseela, Vidya, και Nishanth Tharayil. 2017. 'Decoupling the direct and indirect effects of climate on plant litter decomposition: Accounting for stress-induced modifications in plant chemistry'. *Global Change Biology* 24 (4): 1428–51.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.13923>.
- Technical data AnalyticJena. 2014. 'TOC/TN Analyzer'.
- Utomo, W. H., και A. R. Dexter. 1982. 'Changes in soil aggregate water stability induced by

wetting and drying cycles in non-saturated soil'. *Journal of Soil Science* 33 (4): 623–37.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01794.x>.

Vicente-Vicente, José Luis, Roberto García-Ruiz, Rosa Francaviglia, Eduardo Aguilera, και

Pete Smith. 2016. 'Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis'. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 235. Elsevier B.V.: 204–14.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>.

Virto, I., P. Barré, και C. Chenu. 2008. 'Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale'. *Geoderma* 146 (1–2): 326–35.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.021>.

X.Liu, S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang, G. Ding. 2006. 'Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - a review'. *Plant Soil and Environment* 52 (12): 531–43.

Φραγκιά, Τασούλα. 2012. 'Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός της Δομής των Εδαφών στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Καυλιάρη'.

Κουκουλάκης, Π., Σιμώνης, Α., Γκέρτσος, Α., 2000. Η οργανική ουσία του εδάφους. Το πρόβλημα των ελληνικών εδαφών. Σταμούλης Α.Ε.