



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Τίτλος πτυχιακής διατριβής: “Μελέτη καθίζησης ανόργανων εδαφικών τεμαχιδίων και εκτίμηση της κοκκομετρίας του εδάφους με πυκνόμετρο Βουγιούκου”

Βλάχου Φραγκούλα

ΑΜ: 1486

Επιβλέπων καθηγητής

Β. Αντωνιάδης

Βόλος, 2017

Τριμελής επιτροπή:

1. Β. Αντωνιάδης, Επίκουρος Καθηγητής (επιβλέπων)
2. Α. Δημήρκου, Καθηγήτρια
3. Η. Χαλκίδης, Λέκτορας

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Βασίλειο Αντωνιάδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να πραγματοποιηθεί η πτυχιακή διατριβή. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους υπόλοιπους επιβλέποντες της πτυχιακής διατριβής μου την κ. Δημήρκου Ανθούλα και τον κ. Χαλκίδη Ηρακλή. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που με στήριξαν και ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής διατριβής είχε ως στόχο τη μελέτη καθίζησης των ανόργανων εδαφικών τεμαχιδίων και την εκτίμηση της κοκκομετρικής ανάλυσης του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα αναλύθηκαν 50 διαφορετικά δείγματα εδάφους τα οποία λήφθηκαν από το εργαστήριο εδαφολογίας με σκοπό το προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη ταχύτητα καθίζησης των ανόργανων τεμαχιδίων. Η κοκκομετρική ανάλυση ή μηχανική σύσταση του εδάφους περιλαμβάνει το ποσοστό των ανόργανων κλασμάτων, δηλαδή της άμμου, της ιλύος και της αργίλου και ο σαφής προσδιορισμός τους επιδρά σημαντικά στις ιδιότητες του εδάφους. Η μέθοδος εκτίμησης της μηχανικής σύστασης των εδαφών που χρησιμοποιήθηκε, βασίστηκε στη καθίζηση των ανόργανων τεμαχιδίων μέσα σε ένα αιώρημα που περιγράφεται από το νόμο του Stokes. Η εργαστηριακή μέθοδος στηρίχθηκε σε πυκνομετρική ανάλυση όπου έγινε ο προσδιορισμός της πυκνότητας των αιωρημάτων με τη βοήθεια του πυκνόμετρου Βουγιούκου. Πριν από τις αναλύσεις των δειγμάτων, ακολούθησε η χημική διασπορά ώστε να διασπαρθούν τα κολλοειδή του εδάφους που είναι θρομβωμένα με τη βοήθεια χημικού διαλύματος και στη συνέχεια ακολούθησε η μηχανική διασπορά σε ηλεκτρικό mixer. Ύστερα ακολούθησαν μετρήσεις της πυκνότητας των δειγμάτων με τη βοήθεια του πυκνόμετρου αλλά και η καταγραφή της θερμοκρασίας των αιωρημάτων. Από τη διαδικασία που ακολούθησε, έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και ακολούθησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τέλος, σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν συμπεραίνεται ότι ο ρυθμός καθίζησης των ανόργανων τεμαχιδίων μειώνεται με τη πάροδο του χρόνου όπως και η πυκνότητα των αιωρημάτων και επιπλέον δεν παρατηρήθηκε πως ο η ταχύτητα καθίζησης δεν επηρεάζεται από κάποιον άλλον παράγοντα, παρά μόνο από τους παράγοντες που διέπονται στο νόμο τους Stokes.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Μηχανική σύσταση του εδάφους και ο ρόλος της στις εδαφικές ιδιότητες.....	6
1.2 Μέθοδοι εκτίμησης της μηχανικής σύστασης του εδάφους.....	8
1.2.1 Αρχή του νόμου του Stokes .....	8
1.2.2 Μέθοδος σιφωνίου .....	9
1.3 Μέθοδος πυκνόμετρου Βουγιούκου .....	10
1.3.1 Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης μεθόδου .....	10
1.3.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου .....	11
1.3.3 Περιορισμοί της μεθόδου.....	12
1.4 Κενά στη βιβλιογραφία και σκοποί της εργασίας.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	13
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	13
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός .....	13
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	13
2.3 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων .....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	16
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	16

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

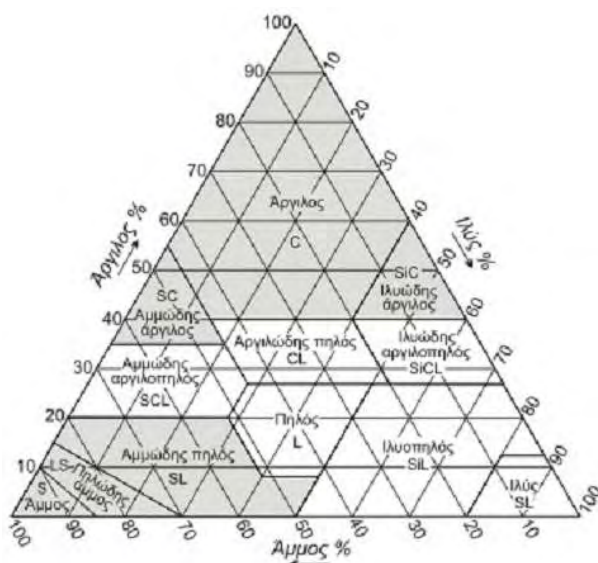
### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Μηχανική σύσταση του εδάφους και ο ρόλος της στις εδαφικές ιδιότητες

Είναι γνωστό ότι το έδαφος είναι το αποτέλεσμα της φυσικής και χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων (Μήτσιος, 2001). Τα μηχανικά κλάσματα που δομούν τα προϊόντα της φυσικής αποσάθρωσης, αποτελούν το βασικό παράγοντα προσδιορισμού της μηχανικής σύστασης ενός εδάφους, καθώς το μέγεθός τους επιδρά σε μεγάλο βαθμό στις εδαφικές ιδιότητες αυτού (Μήτσιος, 2001). Εξαιρετική σημασία παρουσιάζει ο σαφής προσδιορισμός των ποσοστών των τεμαχιδίων αυτών, ώστε να γίνεται ευκολότερη η διαχείριση ενός εδάφους (Μήτσιος, 2001).

Η μηχανική σύσταση (ή κοκκομετρική σύσταση), αναφέρεται στα ανόργανα συστατικά του εδάφους τα οποία αποτελούνται από τεμαχίδια διαφορετικού μεγέθους και διαφορετικής διαμέτρου και ορίζεται ως η εκατοστιαία περιεκτικότητα του σε άμμο, ιλύ και άργιλο (Αλιφραγκής, 2008). Επίσης, λόγω ότι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες (φυσικές και χημικές) του εδάφους, είναι η παραγωγικότητα, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη μηχανική σύσταση ενός εδάφους, καθιστά απαραίτητο το προσδιορισμό των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (Αλιφραγκής, 2008). Τα υλικά εκείνα του εδάφους που αποτελούνται κυρίως από πρωτογενή υλικά, ονομάζονται σκελετικά υλικά και εκείνα που αποτελούνται από δευτερογενή υλικά ονομάζονται λεπτή γη (Μήτσιος, 2001). Έτσι λοιπόν, ανάλογα με το μέγεθος τα ανόργανα συστατικά του εδάφους χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, την άμμο, την ιλύ και την άργιλο. Με βάση αυτήν τη κατηγοριοποίηση των τεμαχιδίων, χαρακτηρίζονται ως αμμώδη ή ελαφριά, πηλώδη ή μέσης σύστασης και αργιλώδη ή βαριά εδάφη. Εκτός από τα τρία κλάσματα, στη πραγματικότητα υπάρχουν 12 κλάσεις εδαφών όπου αναφέρονται στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 και έτσι γίνεται πιο εύκολος ο προσδιορισμός του τύπου εδάφους και της μηχανικής σύστασης (Μήτσιος, 2001). Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των τριών κλασμάτων όπου είναι απαραίτητα για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της κοκκομετρικής σύστασης αναλύονται παρακάτω.

**Σχήμα 1.1** Τρίγωνο μηχανικής σύστασης προσδιορισμού της υφής ενός εδάφους (Worldcapital.gr/καλλιέργειες/έδαφος-οργανικά-πρόσθετα/έδαφος/).



Αρχικά, το μέγεθος των τεμαχιδίων της άμμου κυμαίνεται από 2 έως 0,05 mm και ανάλογα με τον τρόπο και τις συνθήκες αποσάθρωσης το σχήμα τους ποικίλει (Αλιφραγκής, 2008). Είναι ευδιάκριτα, δηλαδή μπορεί κανείς να τα διακρίνει χωρίς τη χρήση μικροσκοπίου ή άλλου μέσου και η υφή της μοιάζει με τεμαχίδια χαλικιών (Brady and Weil, 2011). Επειδή τα τεμαχίδια της άμμου είναι σχετικά μεγάλα συνεπώς και οι πόροι ανάμεσά τους είναι σχετικά μεγάλοι, δεν μπορούν να συγκρατήσουν εύκολα το νερό και διηθείται γρήγορα, διευκολύνοντας τη κίνηση του αέρα στο έδαφος (Αλιφραγκής, 2008). Το κύριο μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι κόκκοι της άμμου, είναι η μειωμένη συγκράτηση μεγάλης ποσότητας νερού και θρεπτικών συστατικών. Έτσι λοιπόν, με βάση τις ανωτέρω ιδιότητες, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα αμμώδη εδάφη αερίζονται επαρκώς, έχουν χαλαρή δομή, αλλά είναι άγονα και ευαίσθητα στη ξηρασία (Brad and Weil, 2011).

Σε αντίθεση με την άμμο, τα τεμαχίδια της ιλύος κυμαίνονται από 0,05 έως 0,002 mm και δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι, παρότι το σχήμα τους μοιάζει με εκείνο της άμμου (Αλιφραγκής, 2008). Η υφή των κόκκων της ιλύος δεν είναι τραχειά σαν της άμμου αλλά δίνει την αίσθηση της υφής του αλευριού (Brady and Weil, 2011). Η ιλύς επίσης, δεν παρουσιάζει μεγάλη συγκράτηση νερού και έτσι η στράγγιση γίνεται σε μικρότερες ποσότητες (Brady and Weil, 2011). Αυτό οφείλεται στους πολύ μικρούς πόρους που υπάρχουν μεταξύ των τεμαχιδίων της ιλύος, με αποτέλεσμα το έδαφος να είναι συνεκτικό (Αλιφραγκής, 2008). Για το λόγω αυτό, τα εδάφη αυτά είναι

επιρρεπή στη διάβρωση από το νερό και τον άνεμο και γενικά ξεπλένονται εύκολα (Brady and Weil, 2011).

Τα αργιλώδη εδάφη χαρακτηρίζονται από πολύ τεμαχίδια πολύ μικρής διαμέτρου όπου είναι μικρότερα από 0,002 mm (Αλιφραγκής, 2008). Σε αντίθεση με την άμμο και την ιλύ, τα τεμαχίδια της αργίλου μπορούν να συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού και διαφόρων ουσιών και αυτό συμβαίνει διότι οι πόροι ανάμεσα στα σωματίδια της αργίλου είναι μικροί πολύ αλλά πολλοί σε αριθμό (Αλιφραγκής, 2008). Η άργιλος γενικά φέρει ιδιότητες των κολλοειδών που της επιτρέπει να συρρικνώνεται σε μια μάζα με απουσία της υγρασίας και όταν αυτή επανέλθει και υγροποιηθεί το έδαφος, μπορεί να επανέλθει στην αρχική κατάσταση εύκολα (Brady and Weil, 2011). Επομένως από την ορυκτολογική σύσταση και την ποσότητα της αργίλου στο έδαφος, εξαρτώνται άμεσα οι εδαφικές ιδιότητες των εδαφών, όπως η προσρόφηση του νερού για παράδειγμα (Brady and Weil, 2011).

Με τη δημιουργία συσσωματωμάτων σε ένα αργιλώδες έδαφος, αυξάνονται οι πόροι μεταξύ των τεμαχιδίων με αποτέλεσμα να συγκρατεί λιγότερο νερό λόγω της μικρής τάσης που έχει, σε αντίθεση με ένα συμπιεσμένο έδαφος όπου έχει μικρότερους πόρους αλλά το νερό μπορεί και συγκρατείται με μεγαλύτερη τάση. Επομένως, τα εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, μπορούν και δημιουργούν συσσωματώματα και για αυτό το λόγο, κρίνεται απαραίτητη η καταστροφή αυτών με τη βοήθεια της χημικής μεθόδου διασποράς, πριν από κάθε μηχανική ανάλυση (Αλιφραγκής, 2008).

## 1.2 Μέθοδοι εκτίμησης της μηχανικής σύστασης του εδάφους

### 1.2.1 Αρχή του νόμου του Stokes

Για τη μέτρηση της μηχανικής σύστασης του εδάφους υπάρχουν πολλές μέθοδοι, αλλά εκείνη που χρησιμοποιείται περισσότερο σήμερα και είναι ευρέως γνωστή, είναι η μέθοδος καθίζησης. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή της ταχύτητας καθίζησης των σωματιδίων μέσα σε ένα αιώρημα ενός υγρού και δίνεται από την εξίσωση του νόμου του Stokes. Η εξίσωση του νόμου του Stokes περιγράφει τη ταχύτητα καθίζησης ( $V$ ) ενός τεμαχιδίου όπου είναι ανάλογη της διαφοράς της πυκνότητας των κόκκων του εδάφους και της πυκνότητας του υγρού μέσα στο αιώρημα ( $d_1-d_2$ ), της επιτάχυνσης της βαρύτητας ( $g$ ), του τετραγώνου της ακτίνας των σωματιδίων ( $r^2$ ) και αντιστρόφως ανάλογη του ιξώδους του υγρού ( $n$ ). Επίσης, είναι γνωστό ότι η ταχύτητα γενικά ενός σώματος είναι ανάλογη της απόστασης ( $h$ ) που



διανύει και αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου (t) και έτσι προκύπτει η εξίσωση του νόμου του Stokes (Αλιφραγκής, 2008):

$$V = \frac{h}{t} = \frac{2}{9} \cdot \frac{(d_1 - d_2)}{n} \cdot g \cdot r^2$$

Όπου:

V= είναι η ταχύτητα καθίζησης ενός κόκκου σε cm/sec,

$d_1$ = η πυκνότητα των στερεών τεμαχιδίων του εδάφους σε  $g/cm^3$  (για τα περισσότερα εδάφη ισούται με  $2.65 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  όπου η τιμή αυτή θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τη μέση πυκνότητα των ανόργανων συστατικών του εδάφους),

$d_2$ = η πυκνότητα του υγρού στο οποίο αιωρούνται οι κόκκοι σε  $g \cdot cm^{-3}$  (για το νερό λαμβάνεται  $1 \text{ g/cm}^3$ ),

n= το ιξώδες του υγρού αιώρησης σε poises,

r= η ακτίνα του κόκκου και

g= η επιτάχυνση της βαρύτητας σε  $cm/sec^2$

Οι ανωτέρω συντελεστές της εξίσωσης, αποτελούν και τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η ταχύτητα καθίζησης.

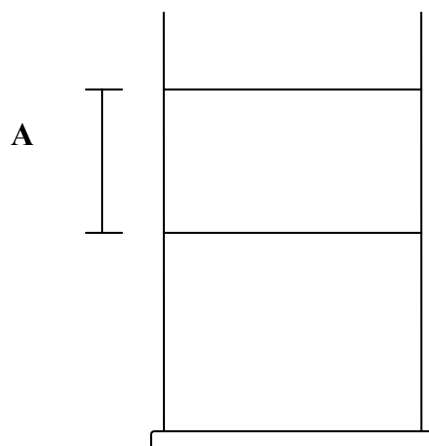
### 1.2.2 Μέθοδος σιφωνίου

Μέχρι το 1920 πραγματοποιούνταν έρευνες όπου επικεντρώνονταν κυρίως στις ιδιότητες του εδάφους όπως στη γονιμότητα ενός εδάφους, καθώς στόχευαν σε ταχύτερες μεθόδους προσδιορισμού της μηχανικής σύστασης των εδαφών. Έτσι, το 1922 αναπτύχθηκε μια καινούργια μέθοδος από τον Robinson, η μέθοδος του σιφωνίου (πιπέτας), χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές δειγματοληψίες εδαφών. Η μέθοδος αυτή είναι ακριβής αλλά χρονοβόρα (Miller et al., 1988). Έτσι, λίγα καιρό αργότερα ο Γιώργος Βουγιούκος πρότεινε μία νέα απλούστερη και γρηγορότερη μέθοδο (αυτή του πυκνόμετρου), βασισμένη και αυτή στη καθίζηση των σωματιδίων του εδάφους, δηλαδή στο νόμο του Stokes (Beretta et al., 2014). Με τη μέθοδο του σιφωνίου, ο προσδιορισμός των τεμαχιδίων του εδάφους πραγματοποιείται μέσα στο αιώρημα, καθώς αυτά κινούνται. Επίσης, για να γίνει η μηχανική ανάλυση ενός εδάφους με τη μέθοδο αυτή, θα πρέπει πρώτα να καταστρέφεται η οργανική ύλη διότι συνενώνει τα μηχανικά συστατικά του εδάφους και παρεμποδίζει τη διασπορά (Μήτσιος, 2004). Από τη μέθοδο του σιφωνίου προκύπτει ένας σημαντικός περιορισμός. Η μέτρηση του ποσοστού κλάσματος της αργίλου εξαρτάται από τη

θερμοκρασία άμεσα και ο χρόνος αναμονής προσδιορισμού της πυκνότητας μπορεί να ξεπερνά τις 2 ώρες (Beretta et al., 2014).

Η αρχή της μεθόδου του σιφωνίου βασίζεται στο νόμο του Stokes, δηλαδή εάν σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο συγκεκριμένης σύστασης υγρού, αιωρούνται τα σωματίδια της άμμου, της ιλύος και της αργίλου, σύμφωνα με την εξίσωση θα καθιζάνουν πρώτα τα τεμαχίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. Μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, παρατηρείται μία περιοχή Α στο κύλινδρο η οποία είναι απαλλαγμένη από τα μεγάλα τεμαχίδια όπως περιγράφεται στο Σχήμα 1.2. Έτσι, με τη χρήση ενός σιφωνίου βυθίζεται στη περιοχή αυτή, συλλέγεται ένα δείγμα από το αιώρημα το οποίο περιέχει σωματίδια μικρότερης διαμέτρου και έτσι καταγράφονται οι πυκνότητες των σωματιδίων του εδάφους (Jackson and Saeger, 1935).

**Σχήμα 1.2** Απεικόνιση της απαλλαγμένης περιοχής από χονδροειδή τεμαχίδια μέσα στο κύλινδρο κατά τη διάρκεια καθίζησης των ανόργανων τεμαχιδίων.



### 1.3 Μέθοδος πυκνόμετρου Βουγιούκου

#### 1.3.1 Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης μεθόδου

Ο Γιώργος Βουγιούκος γεννήθηκε στις 23 Μαΐου το 1890 στην Ελλάδα και απεβίωσε στις 15 Ιουνίου το 1981. Μετανάστευσε με την οικογένειά του από την Ελλάδα στην Αμερική το 1901, σε ηλικία 11 ετών και έζησε στο Σικάγο όπου φοίτησε σε σχολείο. Στην ηλικία των 15 ετών κατάφερε να μάθει την αγγλική γλώσσα και γράφθηκε στο πανεπιστήμιο του Ιλινόις και αποφοίτησε μετά από τρία. Το 1908, αποφοίτησε από το εν λόγω πανεπιστήμιο και έλαβε το πτυχίο του και στη συνέχεια ακολούθησε η κατάκτηση του διδακτορικού διπλώματος από το πανεπιστήμιο Cornell το 1911. Ύστερα από την πρόοδο αυτή, ο Γιώργος Βουγιούκος εισήλθε στο προσωπικό του πανεπιστημίου του Μίσιγκαν και βραβεύτηκε με σημαντικό βαθμό από την ελληνική

κυβέρνησης. Στο βιογραφικό του υπάρχουν πολλές και εντυπωσιακές δημοσιεύσεις, περισσότερες από 100 στον αριθμό σε περιοδικά και βραβεία τόσο από την Ελλάδα όσο και από το εξωτερικό. Το πρώτο άρθρο στο οποίο έγινε αναφορά της μεθόδου με το πυκνόμετρο για την εκτίμηση της μηχανικής σύστασης των εδαφών είχε τίτλο “The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils” και δημοσιεύθηκε το 1927 (Stemart, 1986).

Ο Γιώργος Βουγιούκος είχε μελετήσει στις αρχές του 1920 το μέγεθος των ανόργανων τεμαχιδίων του εδάφους. Έτσι λοιπόν, για το προσδιορισμό και την καταγραφή των κολλοειδών του εδάφους, ανέπτυξε μια νέα μέθοδο στην οποία το δείγμα αντιπροσώπευε τη λεπτή γη. Αργότερα, από τις εκτιμήσεις των δεδομένων με βάση την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, παρατήρησε σύντομα ότι για το προσδιορισμό των κολλοειδών, εξαρτάται από το είδος του κολλοειδούς. Ύστερα από την έρευνα αυτή, κατάλαβε ότι ο μόνος ακριβής τρόπος προσδιορισμού του μεγέθους των κλασμάτων του εδάφους είναι η καθίζηση αυτών σε ένα αιώρημα, με γνωστή πυκνότητα ρευστού όπου για πρώτη φορά, ο Βουγιούκος το 1928 εφάρμοσε το νόμο του Stokes με τη μέθοδο του πυκνόμετρου. Ο προσδιορισμός των τεμαχιδίων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του πυκνόμετρου Βουγιούκου, το οποίο είναι βαθμονομημένο και έτσι καταγράφεται η πυκνότητα της άμμου, της ιλύος και της αργίλου όπου και διατίθεται στο εμπόριο για τις εργαστηριακές αναλύσεις (Miller et al., 1988).

Στη βιβλιογραφία του συμπεριλαμβάνονται 74 δημοσιεύσεις άρθρων σε περιοδικά, με τις κυριότερες αναφορές των ερευνών του να εστιάζουν κυρίως στην εκτίμηση της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Η πρώτη δημοσίευση άρθρου χρονολογείται το 1915 στο περιοδικό Science με τίτλο “A new method of measuring the concentration of the soil solution around the soil particles” και αφορούσε μία νέα μέθοδο, κατάλληλη για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος γύρω από τα σωματίδια του εδάφους (Bouyoucos, 1915).

### 1.3.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η μηχανική ανάλυση του εδάφους πραγματοποιείται σήμερα με τη χρήση του πυκνόμετρου Βουγιούκου διότι είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος μέτρησης της πυκνότητας των τεμαχιδίων του εδάφους στα εργαστήρια εδαφολογίας. Την καθιστά εύχρηστη, γρήγορη και εύκολη στη χρήση της για αναλύσεις ρουτίνας εφόσον μπορεί να καταγράφει με ακρίβεια τις πυκνότητες της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Η

αρχή της μεθόδου βασίζεται στο νόμο του Stokes, δηλαδή στη ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών τεμαχιδίων σε ένα ομογενές εδαφικό μέσο. Με τη χρήση του πυκνόμετρου σε λίγα μόλις δευτερόλεπτα καταγράφεται η πυκνότητα της άμμου σε ένα αιώρημα και ύστερα από λίγες ώρες και η πυκνότητα της ιλύος και της αργίλου, σύμφωνα με τη διαδικασία της μηχανικής ανάλυσης του εδάφους. Έτσι λοιπόν, η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα εύχρηστη και απλή λόγω ότι δεν χρειάζεται κάποιος πολύπλοκος εξοπλισμός για τη κοκκομετρική ανάλυση ενός εδάφους.

### 1.3.3 Περιορισμοί της μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέθοδος του υδρόμετρου βασίζεται στη καθίζηση των τεμαχιδίων που αιωρούνται σε μία στήλη υγρού. Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα καθίζησης είναι το ιξώδες του υγρού αιώρησης. Λόγω της μεταβολής του είναι απαραίτητη η μέτρηση της θερμοκρασίας του αιωρήματος όπου πρότεινε ο Βουγιούκος για τη διόρθωση των αποτελεσμάτων. Επίσης, λόγω της ειδικής βαθμολόγηση του πυκνόμετρου, η χρήση του σε βαριά αργιλώδη και ελαφρά αμμώδη εδάφη μπορεί να παρουσιάζει ορισμένα σφάλματα και για αυτό συνίσταται για την εδαφολογική ανάλυση μέσης μηχανικής σύστασης εδαφών.

### 1.4 Κενά στη βιβλιογραφία και σκοποί της εργασίας

Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθεί η μέθοδος του πυκνομέτρου Βουγιούκου στη μέτρηση της κοκκομετρικής σύστασης 50 εδαφών έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι εδαφικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο ρυθμός καθίζησης των εδαφικών τεμαχιδίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 50 διαφορετικά δείγματα εδάφους όπου υπήρχαν στο εργαστήριο εδαφολογίας. Από τα δείγματα αυτά, ζυγίστηκε μια ποσότητα εδάφους, η οποία αντιπροσώπευε το κάθε δείγμα ξεχωριστά ώστε να πραγματοποιηθεί το πείραμα. Σημαντικό κομμάτι του πειράματος ήταν να πραγματοποιηθεί η πλήρης διασπορά των τεμαχιδίων του εδάφους πριν από την μηχανική ανάλυση σε κάθε δείγμα έτσι ώστε να αποφευχθούν λανθασμένα αποτελέσματα κατά τις μετρήσεις. Έτσι, με τη χρήση του πυκνόμετρου Βουγιούκου και ενός θερμομέτρου ολοκληρώνεται το πείραμα μετρώντας τις πυκνότητες των κλασμάτων του εδάφους και τη θερμοκρασία του αιωρήματος.

#### 2.2 Μέθοδοι ανάλυσης

##### *Υλικά*

Για τη συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- Πλαστικά ποτήρια ζέσεως 600 mL
- Ηλεκτρονικός ζυγός
- Δείγμα εδάφους
- Πλαστικός ογκομετρικός κύλινδρος 1000 mL
- Ταινία parafilm
- Πυκνόμετρο Βουγιούκου
- Θερμόμετρο
- Αντιδραστήρια διασπορικού διαλύματος  $(\text{NaPO}_3)_6$  και  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- Υδροβολέας νερού
- Γυάλινος ογκομετρικός κύλινδρος 50 mL
- Χρονόμετρο
- Ηλεκτρικό mixer

### *Μέθοδος*

Αρχικά, για τη μέτρηση της μηχανικής σύστασης ενός εδάφους, ζυγίστηκαν από κάθε δείγμα 50 gr. εδάφους σε πλαστικά ποτήρια ζέσεως των 600 mL. Ύστερα προστέθηκαν σε αυτά 50 mL διασπορικού διαλύματος με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου των 50 mL και συμπληρώθηκε μικρή ποσότητα νερού, μέχρι να καλύψει το μίγμα. Τα δείγματα καλύφθηκαν με ταινία parafilm και αφέθηκαν στο πάγκο εργασίας όλη τη νύχτα έως την επόμενη μέρα. Αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα να επιτευχθεί πλήρης η χημική διασπορά. Την επόμενη μέρα, τα δείγματα μεταφέρθηκαν ποσοτικά στα ειδικά ποτήρια του mixer και με τη βοήθεια του υδροβολέα συμπληρώθηκαν με νερό μέχρι τα 2/3 του ποτηριού. Ακολούθησε η μηχανική διασπορά των δειγμάτων όπου έγινε ανάδευση στο ηλεκτρικό mixer για 10 λεπτά. Έπειτα από την ανάδευση, μεταφέρθηκαν τα δείγματα σε πλαστικούς ογκομετρικό κυλίνδρους των 1000 mL και συμπληρώθηκαν με νερό βρύσης μέχρι τη χαραγή. Τα δείγματα, αναδεύτηκαν γυρίζοντας το κύλινδρο γρήγορα και προσεκτικά, αφού είχαν καλυφθεί πρώτα με ταινία parafilm για να μην υπάρχει καμία διαρροή δείγματος. Από τη στιγμή που αφέθηκε ο κύλινδρος στο πάγκο εργασίας βυθίστηκε αμέσως το πυκνόμετρο και άρχισε να καταγράφει το χρονόμετρο με ακρίβεια 40 δευτερόλεπτα. Μετά από τα 40 δευτερόλεπτα καταγράφηκε με ακρίβεια η ένδειξη του πυκνόμετρου όπου αντιστοιχούσε στην πυκνότητα του αιωρήματος εκείνη τη χρονική στιγμή και με τη βοήθεια του θερμομέτρου καταγράφηκε και η θερμοκρασία του αιωρήματος. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για 7 ακόμη μετρήσεις, όπου ανά μία ώρα γινόταν βύθιση του πυκνόμετρου και θερμομέτρου, με ιδιαίτερη προσοχή να μην μετακινηθεί ο κύλινδρος με το αιώρημα, λαμβάνοντας την ένδειξη της πυκνότητας και της θερμοκρασίας.

**Εικόνα 2.1** Αντιπροσωπευτικά δείγματα καθίζησης των τεμαχιδίων κατά τη διάρκεια του πειράματος.



### 2.3 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων

Στα δεδομένα έγιναν συσχετίσεις και βρέθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης όπως και η σημαντικότητά τους στο επίπεδο του  $p < 0.05$ . Επίσης έγινε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) και εκτιμήθηκε το επίπεδο σημαντικότητας στο επίπεδο του  $p < 0.05$  μεταξύ μέσων όρων. Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 2.1.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### *Αποτελέσματα*

Η μηχανική ανάλυση των εδαφών στηρίζεται κυρίως στο προσδιορισμό της ταχύτητας καθίζησης των στερεών σωματιδίων που αιωρούνται σε ένα υγρό και υπολογίζεται από το νόμο του Stokes όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω. Εκτός από τη ταχύτητα καθίζησης βασίζοντας στο νόμο αυτό, μπορεί να προσδιοριστεί και ο χρόνος καθίζησης των σωματιδίων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Ο χρόνος που απαιτείται για να καθιζάνουν τα 3 κλάσματα αυτά δεν είναι ίδιος καθώς σχετίζεται άμεσα από τη διάσταση του κάθε σωματιδίου. Για το λόγο αυτό, η πυκνότητα του αιωρήματος από την έναρξη της μεθόδου προσδιορισμού της μηχανικής ανάλυσης με τη βοήθεια του πυκνόμετρου, μεταβάλλεται και συγκεκριμένα μειώνεται με τη πάροδο του χρόνου καθώς το πυκνόμετρο βυθίζεται σε μεγαλύτερο βάθος. Έτσι λοιπόν, έχει υπολογισθεί ότι η άμμος καθιζάνει σε 40 δευτερόλεπτα από τη πρώτη μέτρηση της πυκνότητας του διαλύματος, η ιλύς σε 2 ώρες ενώ η άργιλος καθιζάνει σε 7 ώρες.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης, οι τιμές του OC, του pH και του CaCO<sub>3</sub>. Από τις ληφθέντες τιμές, παρατηρήθηκαν ορισμένες μεταβολές στις τιμές της ιλύος (silt) και της αργίλου (clay) τόσο στις 2 ώρες όσο και στις 7. Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι σε όλα τα εδάφη, οι τιμές της ιλύος στις 7 ώρες είναι μεγαλύτερες απ' ό τι στις 2 ώρες, ενώ οι τιμές της αργίλου στις 7 ώρες είναι μικρότερη απ' ό τι στις 2 ώρες. σύμφωνα με την εξίσωση της μορφής  $y = a \cdot \ln(x) + b$  που προκύπτει από τη συσχέτιση πυκνότητας σε συνάρτηση με το χρόνο, αναφέρονται αναλυτικά οι συντελεστές κάθε δείγματος εδάφους στον Πίνακα 3.1. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.1 και 3.2, προκύπτουν οι συσχετίσεις των επιμέρους δεδομένων όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.3 μεταξύ του συντελεστή  $a$ , του OC, του pH και του CaCO<sub>3</sub>, της άμμου (sand), της ιλύος (silt 2-silt 7) και της αργίλου (clay 2-clay 7). Κάθε συσχέτιση περιγράφεται από μία εξίσωση της μορφής  $y = ax + b$  και από το συντελεστή  $R^2$  όπου είναι καθαρός αριθμός και συντέλεσε το κύριο κριτήριο για την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων. Από τις συσχετίσεις των δεδομένων εξετάστηκαν εκείνες που ο συντελεστής  $R^2$  ήταν μεγαλύτερος του 2. Η πρώτη παρατήρηση αφορούσε τη συσχέτιση άμμου-ιλύος και άμμου-αργίλου κατά τη μέτρηση της πυκνότητας στις 2 ώρες και στις 7 ώρες. Ο συντελεστής που προκύπτει από τη συσχέτιση της άμμου και



της ιλύος στις 2 ώρες είναι μικρότερος αριθμητικά σε σχέση με τη συσχέτιση της άμμου και της ιλύος στις 7 ώρες. Αυξανόμενη όμως ήταν η μεταβολή του συντελεστή στη συσχέτιση της άμμου και της αργίλου στις 2 ώρες και σχέση με εκείνη της άμμου και της αργίλου στις 7 ώρες. Αυτή η μεταβολή της ιλύος και της αργίλου σε συνάρτηση με την άμμο, παρατηρήθηκε σε όλες τις συσχετίσεις των πειραματικών δεδομένων όπως περιγράφονται στους Πίνακες 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 και 3.10.

Με βάση τη ταξινόμηση του  $\text{CaCO}_3$  από το 0 έως το 5, από το 5 έως τη μέγιστη τιμή και από τα εδάφη που δεν περιέχουν  $\text{CaCO}_3$ , παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6 αντίστοιχα οι εξισώσεις και οι τιμές του συντελεστή  $R^2$  που προέκυψαν από τις συσχετίσεις των δεδομένων. Οι σημαντικότερες παρατηρήσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ των συσχετίσεων αυτών, περιορίζονται στις τιμές του συντελεστή  $R^2$  της αργίλου στις 2 ώρες και στις 7 ώρες, αλλά και της ιλύος αντίστοιχα στις 2 ώρες και στις 7. Αρχικά, η συσχέτιση της αργίλου στις 2 και στις 7 ώρες παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή στα εδάφη όπου η περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$  ήταν υψηλή Πίνακας 3.5, ενώ στα εδάφη που παρουσίασαν χαμηλή περιεκτικότητα  $\text{CaCO}_3$  Πίνακας 3.4 παρατηρήθηκε η μικρότερη τιμή. Εξετάζοντας και τις αρχικές συσχετίσεις των δεδομένων Πίνακας 3.3, η τιμή της συσχέτισης της αργίλου στις 2 και στις 7 ώρες ήταν φανερά πιο μικρή. Όσον αφορά την ιλύ, η συσχέτιση της ιλύος στις 2 και στις 7 ώρες παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή στα εδάφη που δεν περιέχουν  $\text{CaCO}_3$  και η τιμή του pH είναι μικρότερη του 5. Επίσης, η μέγιστη τιμή αυτή της ιλύος είναι μικρότερη και από την αντίστοιχη συσχέτιση του Πίνακα 3.3.

Ακολουθώς πραγματοποιήθηκαν ανάλογες συσχετίσεις μεταξύ των πειραματικών δεδομένων όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.7 και 3.8 με βάση τη ταξινόμηση του OC για τιμές από 0 έως 1 και από 1 έως τη μέγιστη. Τα εδάφη που παρουσίασαν χαμηλές τιμές OC παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη τιμή της συσχέτισης αργίλου στις 2 ώρες και στις 7 σε σχέση με τα εδάφη που παρουσίασαν τιμές OC από το 1 έως τη μέγιστη τιμή. Όπως η άργιλος έτσι αντίστοιχα και στη συσχέτιση της ιλύος η μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή παρατηρήθηκε στα εδάφη με τις χαμηλές τιμές OC. Εκτός από τις τιμές του συντελεστή  $R^2$  της αργίλου και της ιλύος στις 2 και στις 7 ώρες που μελετήθηκαν, διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά και στη συσχέτιση του pH με το  $\text{CaCO}_3$ . Στα δεδομένα του Πίνακα 3.8 όπου οι συσχετίσεις έγιναν με βάση τις μέγιστες τιμές του OC, διαπιστώθηκε ότι η τιμή του συντελεστή  $R^2$  που προέκυψε από τη συσχέτιση του pH με το  $\text{CaCO}_3$  είναι μεγαλύτερη από εκείνη με τις τιμές του OC από 0 έως 1.

Στους Πίνακες 3.9 και 3.10 παρουσιάζονται συσχετίσεις των δεδομένων όπου η άμμος (sand) ταξινομήθηκε από το 0 έως το 25 και από το 25 έως τη μέγιστη τιμή. Στη περίπτωση αυτή στη συσχέτιση της αργίλου στις 2 και στις 7 ώρες, η τιμή του συντελεστή ήταν μεγαλύτερη στα εδάφη που οι τιμές της άμμου κυμαίνονταν από το 0 έως το 25. Επίσης από τη συσχέτιση της ιλύος αντίστοιχα στις 2 και στις 7 ώρες, προκύπτει ότι ο συντελεστής παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στα εδάφη με χαμηλές τιμές άμμου. Τέλος, από τα αποτελέσματα που δίνονται και από τους δύο πίνακες στη συσχέτιση μεταξύ του pH με το CaCO<sub>3</sub> η μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε στα εδάφη όπου οι τιμές της άμμου κυμαίνονταν από το 25 έως τη μέγιστη τιμή.

#### Παράγοντες συσσωμάτωσης

##### *Οργανικός Άνθρακας (OC)*

Ο ρόλος του οργανικού άνθρακα στο έδαφος είναι πολύ σημαντικός διότι επηρεάζει τη δομή και τις ιδιότητες του εδάφους. Η ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων είναι βασικά χαρακτηριστικά των εδαφών που σχετίζονται άμεσα με τον αερισμό του εδάφους και τη ροή του ύδατος μέσα σε αυτό. Η οργανική ύλη, εκτός από το οξυγόνο και τον άνθρακα περιέχει και άζωτο, στοιχείο που την καθιστά σημαντική πηγή θρεπτικών ουσιών για το έδαφος αλλά και για την καλλιέργεια, συμβάλλοντας έτσι και στη δομή του εδάφους (Chaudhari et al., 2013).

Στόχος ενός πειράματος που διεξήχθη στο Οχάιο περιελάμβανε μία έρευνα βασισμένη στις ιδιότητες του οργανικού άνθρακα και πώς αυτός επηρεάζεται από ορισμένα δομικά επίπεδα όπως η σωματιδιακή οργανική ύλη (Jagadamma and Lal, 2010) και πώς σχετίζεται η κατανομή του με τα τεμαχίδια. Μία σημαντική παρατήρηση που προέκυψε από τη χρήση γραφημάτων με ραντάρ, έδειξε ότι ο οργανικός άνθρακας επηρεάζεται άμεσα από τα φυτικά υπολείμματα μιας καλλιέργειας όταν σχετίζεται με τα τεμαχίδια της αργίλου και της ιλύος. Επίσης μία σημαντική πληροφορία που προκύπτει από την έρευνα αυτή, είναι ότι η συσσώρευση του οργανικού άνθρακα είναι μεγαλύτερη στα τεμαχίδια της αργίλου (Jagadamma and Lal, 2010).

Η μη ορθολογική χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων, η αλόγιστη άρδευση, η λανθασμένη διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων και η βαθιά άροση των χωραφιών αποτελούν παράγοντες υποβάθμισης του εδάφους. Συνέπεια των χειρισμών αυτών είναι η δημιουργία σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η διάβρωση εδάφους που επηρεάζει κυρίως τη συνεκτικότητα του εδάφους, αλλά και σοβαρά

περιβαλλοντικά φαινόμενα που απειλούν τον πλανήτη, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Diacono and Montemurro, 2010). Η οργανική ύλη περιέχει σημαντική ποσότητα άνθρακα, ικανή ώστε να συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Fageria, 2012). Επομένως τα εδάφη αυτά δεν είναι λειτουργικά για τη σωστή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας διότι έχουν ξεπλυθεί τα θρεπτικά στοιχεία και δεν είναι γόνιμα. Έρευνες που βασίστηκαν στη μελέτη του οργανικού άνθρακα έδειξαν ότι ο εμπλουτισμός οργανικών υπολειμμάτων στο έδαφος βοηθάει στην αύξηση της γονιμότητας των εδαφών (Diacono and Montemurro, 2010).

**Πίνακας 3.1** Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων των γραφικών παραστάσεων της μορφής  $y = a \cdot \ln(x) + b$ .

Δείγμα	Συντελεστής a	Συντελεστής b	R <sup>2</sup>
1	-3,30	21,46	0,997
2	-3,66	20,49	0,997
3	-3,70	17,19	0,996
4	-4,32	23,57	0,997
5	-4,55	20,43	0,998
6	-3,28	27,68	0,986
7	-5,86	23,52	0,990
8	-4,78	21,61	0,989
9	-4,85	28,40	0,997
10	-4,24	22,73	0,998
11	-3,17	15,70	0,998
12	-2,94	27,09	0,993
13	-3,54	15,91	0,985
14	-3,89	17,65	0,994
15	-4,30	21,68	0,998
16	-2,96	15,32	0,986
17	-2,22	16,33	0,990
18	-3,76	15,96	0,991
19	-3,54	19,96	0,994
20	-2,31	18,81	0,975
21	-3,32	19,05	0,983
22	-4,63	18,67	0,996
23	-3,26	17,37	0,998
24	-3,82	19,39	0,993
25	-3,08	17,55	0,987
26	-2,93	15,06	0,984
27	-3,93	25,30	0,990
28	-3,58	22,00	0,982
29	-3,90	20,09	0,994
30	-3,54	23,66	0,985
31	-4,17	18,29	0,999
32	-1,94	21,50	0,992
33	-3,02	18,28	0,991
34	-2,95	12,99	0,953
35	-4,15	22,21	0,997
36	-4,07	23,04	0,995
37	-2,12	15,09	0,982
38	-4,19	25,43	0,994
39	-4,00	18,83	0,995
40	-2,11	21,91	0,991
41	-2,82	10,75	0,962
42	-2,46	16,70	0,978
43	-4,49	18,20	0,989
44	-4,25	20,33	0,996
45	-3,65	16,36	0,979

**Πίνακας 3.1 (Συνέχεια)**

46	-3,31	19,15	0,993
47	-2,65	15,37	0,978
48	-3,70	15,88	0,996
49	-3,45	16,01	0,995
50	-3,61	17,72	0,997

**Πίνακας 3.2** Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του οργανικού άνθρακα (OC), του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO<sub>3</sub>), του pH και των στοιχείων της κοκκομετρικής ανάλυσης κάθε δείγματος.

Δείγμα	OC%	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
1	0,992105	5,32		26,4	35,2	38,4	43,2	30,4
2	1,588889	7,75	16,99091	25,6	38	36,4	48	26,4
3	0,234	7,67	1,184532	30,8	40,8	28,4	48,8	20,4
4	1,3125	7,55	0,68869	13,6	44	42,4	56	30,4
5	1,032353	7,58	0,663137	17,6	48	34,4	60	22,4
6	1,009821	7,86	7,542373	15,6	32	52,4	44	40,4
7	0,892373	5,18		-2,8	66	36,8	76	26,8
8	0,975	7,83	1,047059	11,2	54	34,8	62	26,8
9	0,52619	6,52		-0,8	50	50,8	64	36,8
10	0,850909	6,97		15,2	46	38,8	56	28,8
11	0,4125	7,73	1,116431	39,2	34	26,8	42	18,8
12	0,4125	7,53	0,573693	19,2	30	50,8	40	40,8
13	0,688235	6,7		34,4	40	25,6	46	19,6
14	1,042241	7,91	3,807222	28,4	44	27,6	50	21,6
15	1,444444	7,76	2,992241	16,4	46	37,6	56	27,6
16	1,263889	7,44	0,455114	40,4	36	23,6	38	21,6
17	1,701818	7,66	3,461111	46,4	24	29,6	30	23,6
18	0,917647	5,54		32,4	42	25,6	50	17,6
19	0,994118	7,67	0,381429	28	35,2	36,8	47,2	24,8
20	0,5625	7,85	0,62093	42	23,2	34,8	31,2	26,8
21	0,975	7,74	2,082979	30	37,2	32,8	43,2	26,8
22	0,6375	7,98	6,105814	19,2	50	30,8	60	20,8
23	1,5	7,63	0,677572	35,2	34	30,8	42	22,8
24	1,210345	7,91	32,50435	25,2	42	32,8	50	24,8
25	1,092	7,96	25,95833	37,2	30,8	32	42,8	20
26	0,7125	5,86		42	34	24	40	18
27	0,4875	7,79	2,373333	14	40	46	54	32
28	0,626786	7,54	0,370833	24	36	40	50	26
29	1,123729	6,93		23,2	42,8	34	52,8	24
30	1,140566	6,46		21,2	34,8	44	48,8	30
31	1,149107	7,73	6,387903	24,8	44,8	30,4	54	21,2
32	0,567273	7,33	0,101797	38,8	22	39,2	26	35,2
33	0,766071	5,95		34,8	34	31,2	40	25,2
34	0,956604	6,52		44,8	36	19,2	38	17,2
35	0,433333	7,76	6,666909	16,8	44	39,2	54	29,2
36	0,806897	7,79	11,73182	16,8	42	41,2	54	29,2

**Πίνακας 3.2 (Συνέχεια)**

37	0,24375	7,83	9,499038	50,8	20	29,2	28	21,2
38	1,392857	7,89	0,580435	10,8	42,8	46,4	56,8	32,4
39	0,675	5,95		24,8	44,8	30,4	52,8	22,4
40	1,114286	5,97		36,8	22,8	40,4	28,8	34,4
41	0,26	7,58	0,389163	50,8	32,8	16,4	36,8	12,4
42	0,8775	6,16		42,8	28,8	28,4	32,8	24,4
43	1,05	6,34		20,8	50,8	28,4	58,8	20,4
44	0,4875	7,07	0,407634	20,8	42,8	36,4	54,8	24,4
45	1,406557	7,84	2,750909	33,6	38	28,4	48	18,4
46	0,9375	5,78		30,4	37,2	32,4	43,2	26,4
47	1,1375	5,77		43,6	32	24,4	34	22,4
48	0,675	7,78	0,478495	33,6	40	26,4	48	18,4
49	1,009821	7,19	0,261765	35,6	38	26,4	46	18,4
50	0,815455	5,65		31,6	38	30,4	48	20,4

**Πίνακας 3.3** Εξισώσεις της μορφής  $y = ax + b$  που προέκυψαν από τις συσχετίσεις μεταξύ των στοιχείων OC, CaCO<sub>3</sub>, pH, Sand, Silt 2, Clay 2, Silt 7, Clay 7 και του συντελεστή a.

	a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a		$Y = -0,002x + 0,894$ $R^2 = 8E-05$	$Y = 0,068x + 7,345$ $R^2 = 0,012$	$Y = -0,467x + 3,191$ $R^2 = 0,010$	$Y = 2,533x + 36,43$ $R^2 = 0,085$	$Y = -1,836x + 32,23$ $R^2 = 0,089$	$Y = -0,696x + 31,33$ $R^2 = 0,015$	$Y = -2,606x + 38,30$ $R^2 = 0,129$	$Y = 0,072x + 25,27$ $R^2 = 0,000$
OC			$Y = 0,075x + 7,046$ $R^2 = 0,001$	$Y = 3,728x + 1,341$ $R^2 = 0,043$	$Y = -2,110x + 29,78$ $R^2 = 0,003$	$Y = 1,759x + 36,84$ $R^2 = 0,005$	$Y = 0,350x + 33,37$ $R^2 = 0,000$	$Y = 1,722x + 45,54$ $R^2 = 0,003$	$Y = 0,387x + 24,67$ $R^2 = 0,000$
pH				$Y = 16,22x - 120,0$ $R^2 = 0,204$	$Y = -0,419x + 30,86$ $R^2 = 0,000$	$Y = -0,939x + 45,11$ $R^2 = 0,008$	$Y = 1,358x + 24,02$ $R^2 = 0,021$	$Y = 0,101x + 46,37$ $R^2 = 7E-05$	$Y = 0,318x + 22,75$ $R^2 = 0,002$
CaCO <sub>3</sub>					$Y = -0,011x + 27,94$ $R^2 = 6E-05$	$Y = -0,007x + 37,73$ $R^2 = 5E-05$	$Y = 0,019x + 34,32$ $R^2 = 0,000$	$Y = 0,038x + 46,74$ $R^2 = 0,000$	$Y = -0,026x + 25,31$ $R^2 = 0,001$
Sand						$Y = -0,542x + 53,55$ $R^2 = 0,586$	$Y = -0,457x + 46,44$ $R^2 = 0,502$	$Y = -727x + 67,36$ $R^2 = 0,757$	$Y = -272x + 32,63$ $R^2 = 0,305$
Silt 2							$Y = 0,081x + 30,55$ $R^2 = 0,008$	$Y = 1,128x + 3,736$ $R^2 = 0,914$	$Y = -0,046x + 26,81$ $R^2 = 0,004$
Clay 2								$Y = 0,387x + 34,05$ $R^2 = 0,089$	$Y = 0,710x + 1,075$ $R^2 = 0,863$
Silt 7									$Y = 0,041x + 23,06$ $R^2 = 0,004$
Clay 7									



**Πίνακας 3.4** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση της στήλης CaCO<sub>3</sub> από 0 έως 5.

a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a	$Y=-0,006x+0,882$ $R^2=0,000$	$Y=0,017x+7,686$ $R^2=0,022$	$Y=-0,039x+1,071$ $R^2=0,004$	$Y=-0,162x+28,20$ $R^2=0,000$	$Y=0,429x+38,84$ $R^2=0,010$	$Y=-0,266x+32,95$ $R^2=0,003$	$Y=-0,114x+46,02$ $R^2=0,000$	$Y=0,277x+25,76$ $R^2=0,006$
OC		$Y=0,101x+7,541$ $R^2=0,041$	$Y=1,030x+0,263$ $R^2=0,162$	$Y=-3,180x+31,58$ $R^2=0,014$	$Y=3,068x+34,74$ $R^2=0,029$	$Y=0,112x+33,27$ $R^2=4E-05$	$Y=3,183x+43,50$ $R^2=0,020$	$Y=-0,002x+24,90$ $R^2=2E-08$
pH			$Y=2,66x-19,11$ $R^2=0,266$	$Y=-7,317x+84,56$ $R^2=0,018$	$Y=6,209x-9,885$ $R^2=0,029$	$Y=1,108x+25,31$ $R^2=0,000$	$Y=7,661x-12,10$ $R^2=0,029$	$Y=-0,344x+27,53$ $R^2=0,000$
CaCO <sub>3</sub>				$Y=-0,252x+29,01$ $R^2=0,000$	$Y=0,873x+36,47$ $R^2=0,015$	$Y=-0,621x+34,51$ $R^2=0,007$	$Y=0,650x+45,60$ $R^2=0,005$	$Y=-0,398x+25,38$ $R^2=0,004$
Sand					$Y=-0,483x+51,38$ $R^2=0,513$	$Y=-0,516x+48,61$ $R^2=0,547$	$Y=-0,694x+66,33$ $R^2=0,702$	$Y=-0,305x+33,66$ $R^2=0,313$
Silt 2						$Y=0,063x+31,38$ $R^2=0,003$	$Y=1,165x+2,660$ $R^2=0,898$	$Y=-0,101x+28,72$ $R^2=0,015$
Clay 2							$Y=0,338x+34,93$ $R^2=0,081$	$Y=0,720x+0,577$ $R^2=0,851$
Silt 7								$Y=0,011x+24,37$ $R^2=0,000$
Clay 7								

**Πίνακας 3.5** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση της στήλης CaCO<sub>3</sub> από το 5 έως το μέγιστο.

	a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a		Y=-0,114x+0,489 R <sup>2</sup> =0,041	Y=0,006x+7,866 R <sup>2</sup> =0,003	Y=2,371x+22,4 R <sup>2</sup> =0,034	Y=12,55x+71,79 R <sup>2</sup> =0,663	Y=-12,14x-6,328 R <sup>2</sup> =0,988	Y=-0,411x+34,53 R <sup>2</sup> =0,001	Y=-12,42x+2,786 R <sup>2</sup> =0,991	Y=-0,133x+25,42 R <sup>2</sup> =0,000
OC			Y=-0,021x+7,860 R <sup>2</sup> =0,009	Y=11,49x+3,274 R <sup>2</sup> =0,253	Y=-6,493x+31,67 R <sup>2</sup> =0,055	Y=4,527x+34,06 R <sup>2</sup> =0,043	Y=1,966x+34,25 R <sup>2</sup> =0,012	Y=5,167x+43,62 R <sup>2</sup> =0,053	Y=1,326x+24,70 R <sup>2</sup> =0,007
pH				Y=41,05x-308,2 R <sup>2</sup> =0,157	Y=18,19x-116,9 R <sup>2</sup> =0,021	Y=-3,997x+69,52 R <sup>2</sup> =0,001	Y=-14,19x+147,3 R <sup>2</sup> =0,031	Y=-1,855x+62,86 R <sup>2</sup> =0,000	Y=-16,34x+154,0 R <sup>2</sup> =0,054
CaCO <sub>3</sub>					Y=0,304x+21,59 R <sup>2</sup> =0,064	Y=-0,124x+39,88 R <sup>2</sup> =0,017	Y=-0,180x+38,51 R <sup>2</sup> =0,054	Y=-0,145x+50,29 R <sup>2</sup> =0,022	Y=-0,159x+28,10 R <sup>2</sup> =0,055
Sand						Y=-0,609x+53,87 R <sup>2</sup> =0,590	Y=-0,390x+46,12 R <sup>2</sup> =0,372	Y=-0,668x+65,54 R <sup>2</sup> =0,682	Y=-0,331x+34,45 R <sup>2</sup> =0,345
Silt 2							Y=-0,030x+37,21 R <sup>2</sup> =0,001	Y=1,005x+9,908 R <sup>2</sup> =0,970	Y=-0,036x+27,30 R <sup>2</sup> =0,002
Clay 2								Y=0,089x+45,09 R <sup>2</sup> =0,005	Y=0,863x-5,218 R <sup>2</sup> =0,963
Silt 7									Y=0,021x+24,89 R <sup>2</sup> =0,000
Clay 7									

**Πίνακας 3.6** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση της στήλης CaCO<sub>3</sub> με τις μηδενικές τιμές.

	a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a		Y=0,057x+1,103 R <sup>2</sup> =0,083	Y=0,000x+6,089 R <sup>2</sup> =1E-06		Y=13,72x+77,04 R <sup>2</sup> =0,816	Y=-10,48x+2,138 R <sup>2</sup> =0,960	Y=-3,232x+20,81 R <sup>2</sup> =0,135	Y=-12,91x+1,121 R <sup>2</sup> =0,994	Y=-0,809x+21,83 R <sup>2</sup> =0,016
OC			Y=-0,096x+6,173 R <sup>2</sup> =0,001		Y=17,61x+12,04 R <sup>2</sup> =0,052	Y=-15,23x+53,42 R <sup>2</sup> =0,079	Y=-2,374x+34,53 R <sup>2</sup> =0,002	Y=-18,45x+63,98 R <sup>2</sup> =0,079	Y=0,848x+23,97 R <sup>2</sup> =0,000
pH					Y=1,096x+34,54 R <sup>2</sup> =0,001	Y=-0,635x+43,60 R <sup>2</sup> =0,001	Y=1,732x+21,85 R <sup>2</sup> =0,012	Y=0,432x+44,76 R <sup>2</sup> =0,000	Y=0,664x+20,68 R <sup>2</sup> =0,003
CaCO <sub>3</sub>									
Sand						Y=-0,580x+55,91 R <sup>2</sup> =0,679	Y=-0,419x+44,08 R <sup>2</sup> =0,524	Y=-0,777x+69,07 R <sup>2</sup> =0,832	Y=-0,222x+30,92 R <sup>2</sup> =0,288
Silt 2							Y=0,169x+25,65 R <sup>2</sup> =0,042	Y=1,171x+0,861 R <sup>2</sup> =0,937	Y=-0,001x+24,78 R <sup>2</sup> =6E-06
Clay 2								Y=0,586x+28,41 R <sup>2</sup> =0,158	Y=0,665x+3,170 R <sup>2</sup> =0,867
Silt 7									Y=0,070x+21,39 R <sup>2</sup> =0,021
Clay 7									

**Πίνακας 3.7** Συσχετίσεις με βάση τη ταξινόμηση του OC από 0 έως 1.

a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a	$Y=0,017x+0,737$ $R^2=0,016$	$Y=0,131x+7,378$ $R^2=0,060$	$Y=-0,311x+1,749$ $R^2=0,034$	$Y=1,511x+32,96$ $R^2=0,037$	$Y=-0,946x+35,46$ $R^2=0,029$	$Y=-0,564x+31,57$ $R^2=0,014$	$Y=-1,505x+42,12$ $R^2=0,055$	$Y=-0,005x+24,91$ $R^2=2E-06$
OC		$Y=-1,934x+8,267$ $R^2=0,245$	$Y=-0,618x+3,011$ $R^2=0,001$	$Y=-10,23x+35,02$ $R^2=0,032$	$Y=11,65x+30,61$ $R^2=0,085$	$Y=-1,415x+34,36$ $R^2=0,001$	$Y=9,709x+40,39$ $R^2=0,043$	$Y=0,528x+24,57$ $R^2=0,000$
pH			$Y=7,390x-54,06$ $R^2=0,201$	$Y=0,883x+21,92$ $R^2=0,003$	$Y=-2,223x+53,99$ $R^2=0,047$	$Y=1,339x+24,08$ $R^2=0,023$	$Y=-1,473x+57,24$ $R^2=0,015$	$Y=0,590x+20,83$ $R^2=0,007$
CaCO <sub>3</sub>				$Y=-0,432x+29,73$ $R^2=0,015$	$Y=0,243x+36,05$ $R^2=0,008$	$Y=0,188x+34,20$ $R^2=0,006$	$Y=0,409x+44,79$ $R^2=0,018$	$Y=0,023x+25,46$ $R^2=0,000$
Sand					$Y=-0,563x+54,35$ $R^2=0,644$	$Y=-0,436x+45,64$ $R^2=0,520$	$Y=-0,725x+67,37$ $R^2=0,784$	$Y=-0,274x+32,62$ $R^2=0,342$
Silt 2						$Y=0,143x+27,86$ $R^2=0,027$	$Y=1,127x+3,563$ $R^2=0,933$	$Y=0,016x+24,30$ $R^2=0,000$
Clay 2							$Y=0,465x+31,44$ $R^2=0,118$	$Y=0,728x+0,609$ $R^2=0,882$
Silt 7								$Y=0,081x+21,11$ $R^2=0,020$
Clay 7								

**Πίνακας 3.8** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση του OC από 1 έως το μέγιστο.

a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a	$Y=0,049x+1,411$ $R^2=0,028$	$Y=-0,321x+6,206$ $R^2=0,110$	$Y=1,866x-13,86$ $R^2=0,013$	$Y=11,94x+70,30$ $R^2=0,654$	$Y=-10,25x+1,613$ $R^2=0,923$	$Y=-1,689x+28,08$ $R^2=0,024$	$Y=-12,83x+1,361$ $R^2=0,986$	$Y=0,887x+28,33$ $R^2=0,011$
OC		$Y=1,122x+5,968$ $R^2=0,113$	$Y=-4,392x+12,65$ $R^2=0,009$	$Y=8,411x+17,20$ $R^2=0,027$	$Y=-7,972x+48,13$ $R^2=0,047$	$Y=-0,438x+34,66$ $R^2=0,000$	$Y=-8,425x+57,65$ $R^2=0,035$	$Y=0,014x+25,14$ $R^2=3E-07$
pH			$Y=25,34x-188,3$ $R^2=0,278$	$Y=-3,862x+56,01$ $R^2=0,064$	$Y=2,545x+19,55$ $R^2=0,053$	$Y=1,317x+24,42$ $R^2=0,013$	$Y=4,349x+15,24$ $R^2=0,106$	$Y=-0,486x+28,73$ $R^2=0,003$
CaCO <sub>3</sub>				$Y=0,085x+26,49$ $R^2=0,006$	$Y=-0,097x+39,51$ $R^2=0,021$	$Y=0,012x+33,99$ $R^2=0,000$	$Y=-0,066x+48,57$ $R^2=0,007$	$Y=-0,018x+24,93$ $R^2=0,001$
Sand					$Y=-0,489x+51,78$ $R^2=0,5178$	$Y=-0,510x+48,21$ $R^2=0,479$	$Y=-0,730x+67,40$ $R^2=0,696$	$Y=-0,269x+32,59$ $R^2=0,238$
Silt 2						$Y=-0,064x+36,57$ $R^2=0,004$	$Y=1,132x+3,906$ $R^2=0,874$	$Y=-0,196x+32,66$ $R^2=0,065$
Clay 2							$Y=0,254x+38,54$ $R^2=0,046$	$Y=0,683x+1,834$ $R^2=0,833$
Silt 7								$Y=-0,046x+27,35$ $R^2=0,005$
Clay 7								

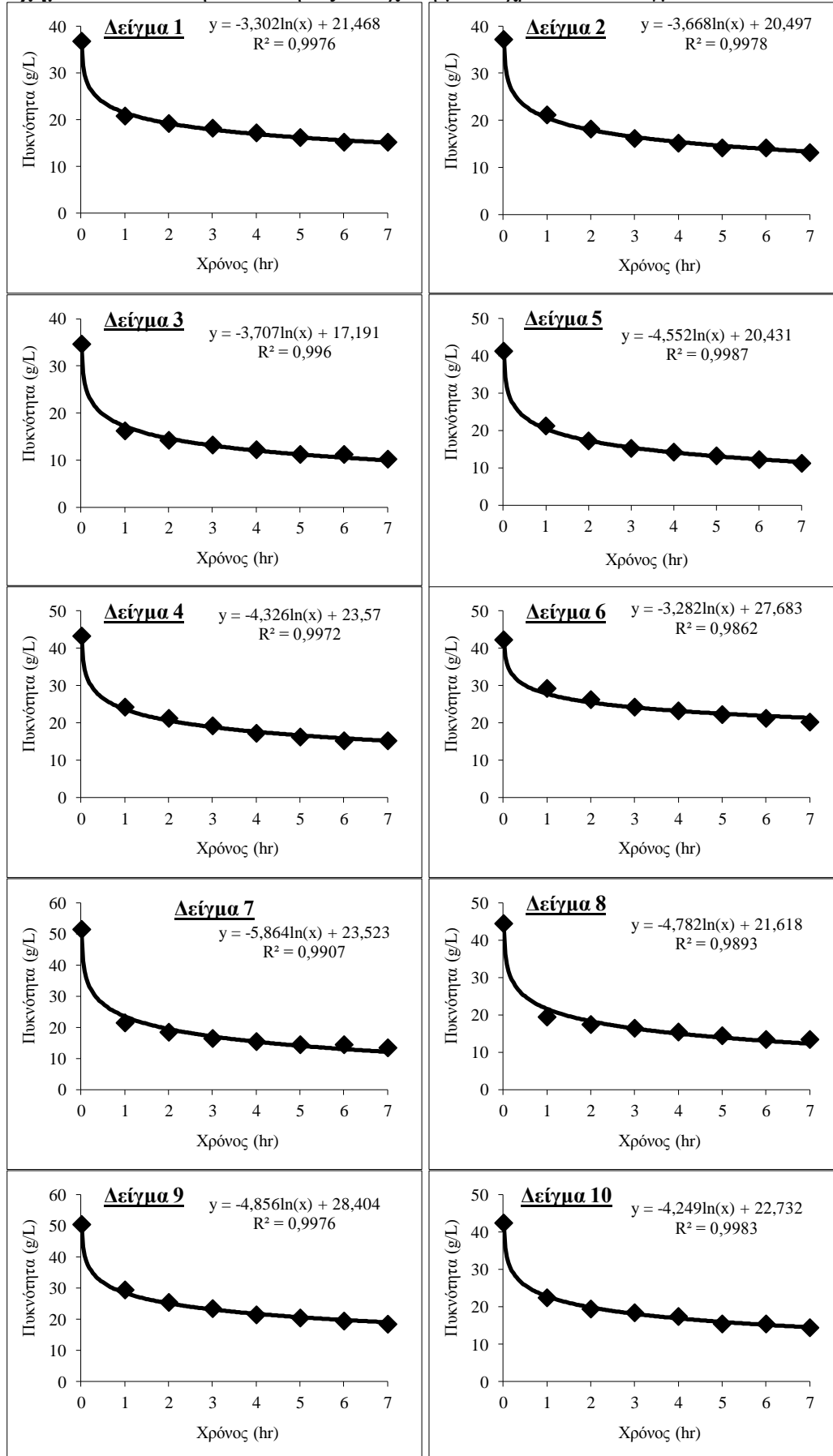
**Πίνακας 3.9** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση της στήλης Sand από 0 έως 25.

a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a	$Y=0,005x+0,898$ $R^2=0,001$	$Y=0,113x+7,664$ $R^2=0,093$	$Y=-0,291x+2,446$ $R^2=0,037$	$Y=0,102x+16,68$ $R^2=0,000$	$Y=-0,018x+44,29$ $R^2=2E-05$	$Y=-0,084x+39,01$ $R^2=0,000$	$Y=-0,305x+54,32$ $R^2=0,007$	$Y=0,202x+28,98$ $R^2=0,004$
OC		$Y=0,163x+7,094$ $R^2=0,004$	$Y=-0,698x+4,039$ $R^2=0,004$	$Y=0,325x+16,01$ $R^2=0,000$	$Y=3,108x+41,62$ $R^2=0,016$	$Y=-3,433x+42,35$ $R^2=0,024$	$Y=2,757x+53,04$ $R^2=0,014$	$Y=-3,082x+30,93$ $R^2=0,028$
pH			$Y=7,614x-55,12$ $R^2=0,229$	$Y=2,742x-3,547$ $R^2=0,081$	$Y=-4,725x+78,56$ $R^2=0,207$	$Y=1,982x+24,98$ $R^2=0,045$	$Y=-4,191x+85,81$ $R^2=0,190$	$Y=1,449x+17,73$ $R^2=0,034$
CaCO <sub>3</sub>				$Y=0,143x+16,70$ $R^2=0,015$	$Y=-0,043x+42,75$ $R^2=0,000$	$Y=-0,099x+40,54$ $R^2=0,002$	$Y=-0,149x+54,49$ $R^2=0,008$	$Y=0,005x+28,80$ $R^2=1E-05$
Sand					$Y=-0,608x+54,28$ $R^2=0,318$	$Y=-0,391x+45,71$ $R^2=0,161$	$Y=-0,670x+66,40$ $R^2=0,451$	$Y=-0,329x+33,59$ $R^2=0,165$
Silt 2						$Y=-0,477x+60,51$ $R^2=0,280$	$Y=0,893x+15,84$ $R^2=0,931$	$Y=-0,370x+44,66$ $R^2=0,243$
Clay 2							$Y=-0,389x+70,80$ $R^2=0,144$	$Y=0,803x-3,356$ $R^2=0,931$
Silt 7								$Y=-0,327x+46,4$ $R^2=0,163$
Clay 7								

**Πίνακας 3.10** Συσχετίσεις των στοιχείων με βάση τη ταξινόμηση της στήλης Sand από το 25 έως το μέγιστο.

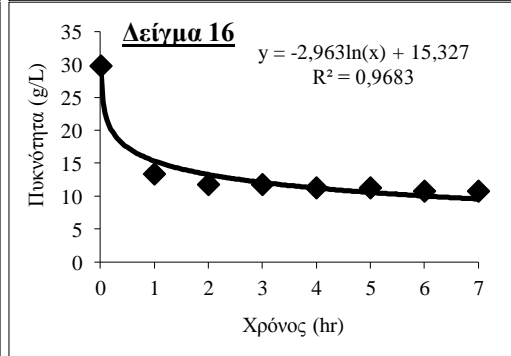
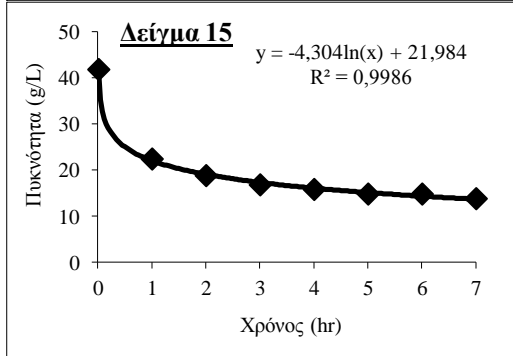
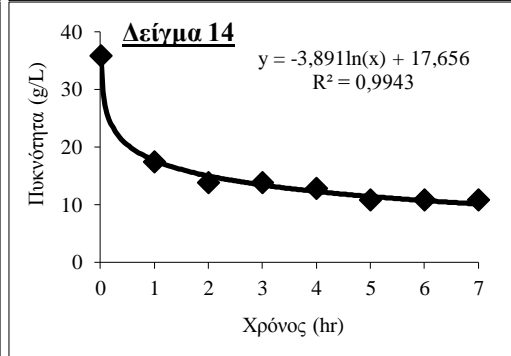
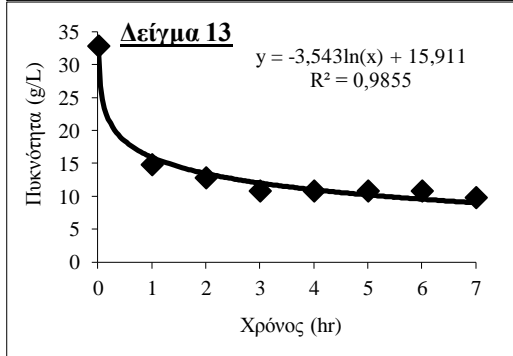
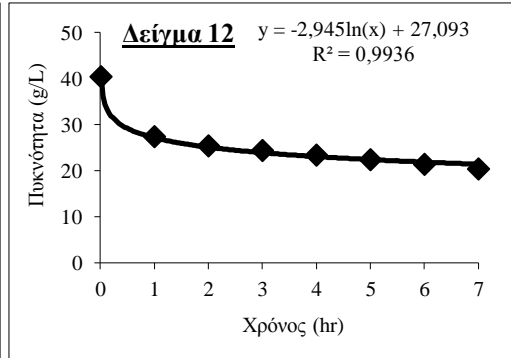
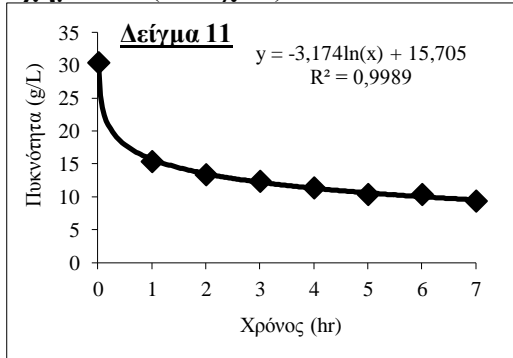
a	OC	pH	CaCO <sub>3</sub>	Sand	Silt 2	Clay 2	Silt 7	Clay 7
a	$Y=-0,103x+0,596$ $R^2=0,024$	$Y=-0,127x+6,626$ $R^2=0,006$	$Y=-3,172x+4,269$ $R^2=0,042$	$Y=9,264x+65,09$ $R^2=0,562$	$Y=-10,68x+0,879$ $R^2=0,910$	$Y=1,423x+34,02$ $R^2=0,021$	$Y=-12,73x+1,419$ $R^2=0,989$	$Y=3,465x+33,48$ $R^2=0,155$
OC		$Y=0,055x+6,972$ $R^2=0,000$	$Y=5,495x+0,595$ $R^2=0,073$	$Y=-5,748x+41,54$ $R^2=0,094$	$Y=2,301x+32,02$ $R^2=0,018$	$Y=3,446x+26,43$ $R^2=0,053$	$Y=2,927x+38,34$ $R^2=0,022$	$Y=2,820x+20,11$ $R^2=0,044$
pH			$Y=24,23x-180,6$ $R^2=0,267$	$Y=0,239x+34,58$ $R^2=0,001$	$Y=-0,247x+35,87$ $R^2=0,001$	$Y=0,007x+29,54$ $R^2=2E-06$	$Y=0,598x+36,82$ $R^2=0,005$	$Y=-0,838x+28,59$ $R^2=0,023$
CaCO <sub>3</sub>				$Y=-0,245x+37,60$ $R^2=0,090$	$Y=0,095x+33,34$ $R^2=0,016$	$Y=0,15x+29,05$ $R^2=0,072$	$Y=0,202x+40,29$ $R^2=0,059$	$Y=0,043x+22,10$ $R^2=0,007$
Sand					$Y=-0,595x+55,72$ $R^2=0,431$	$Y=-0,404x+44,27$ $R^2=0,259$	$Y=-0,782x+69,41$ $R^2=0,571$	$Y=-0,217x+30,58$ $R^2=0,093$
Silt 2						$Y=-0,275x+39,00$ $R^2=0,098$	$Y=1,068x+4,565$ $R^2=0,874$	$Y=-0,343x+34,44$ $R^2=0,191$
Clay 2							$Y=-0,150x+45,49$ $R^2=0,013$	$Y=0,791x-0,736$ $R^2=0,780$
Silt 7								$Y=-0,270x+33,79$ $R^2=0,154$
Clay 7								

Σχήμα 3.1 Μείωση πυκνότητας σε σχέση με το χρόνο στα δείγματα που αναλύθηκαν.

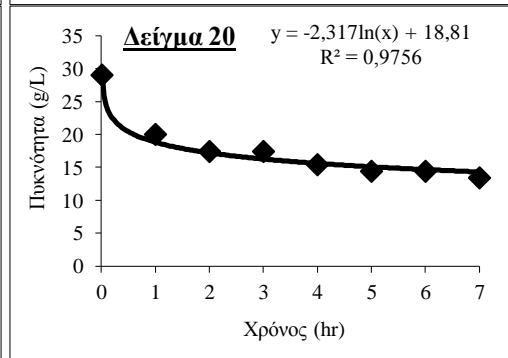
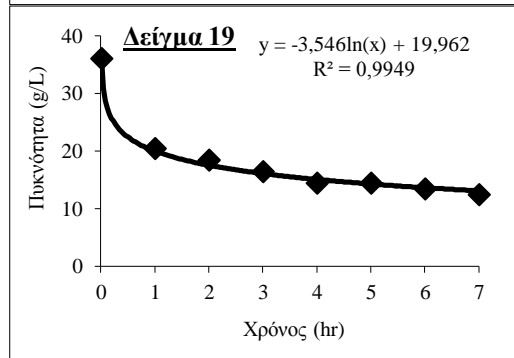
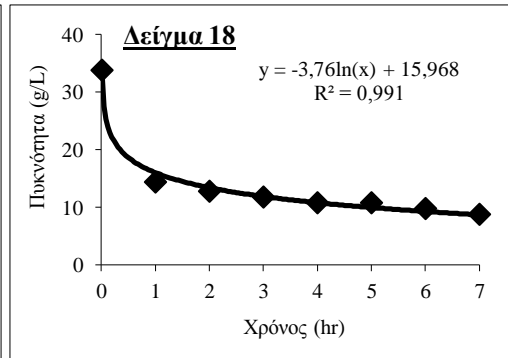
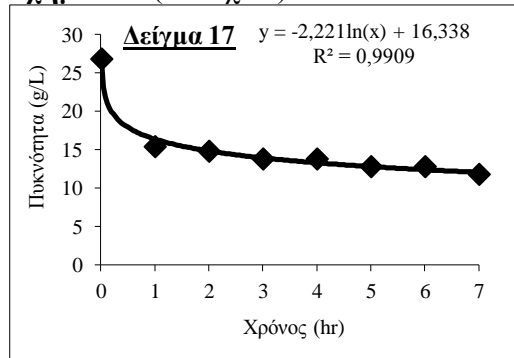




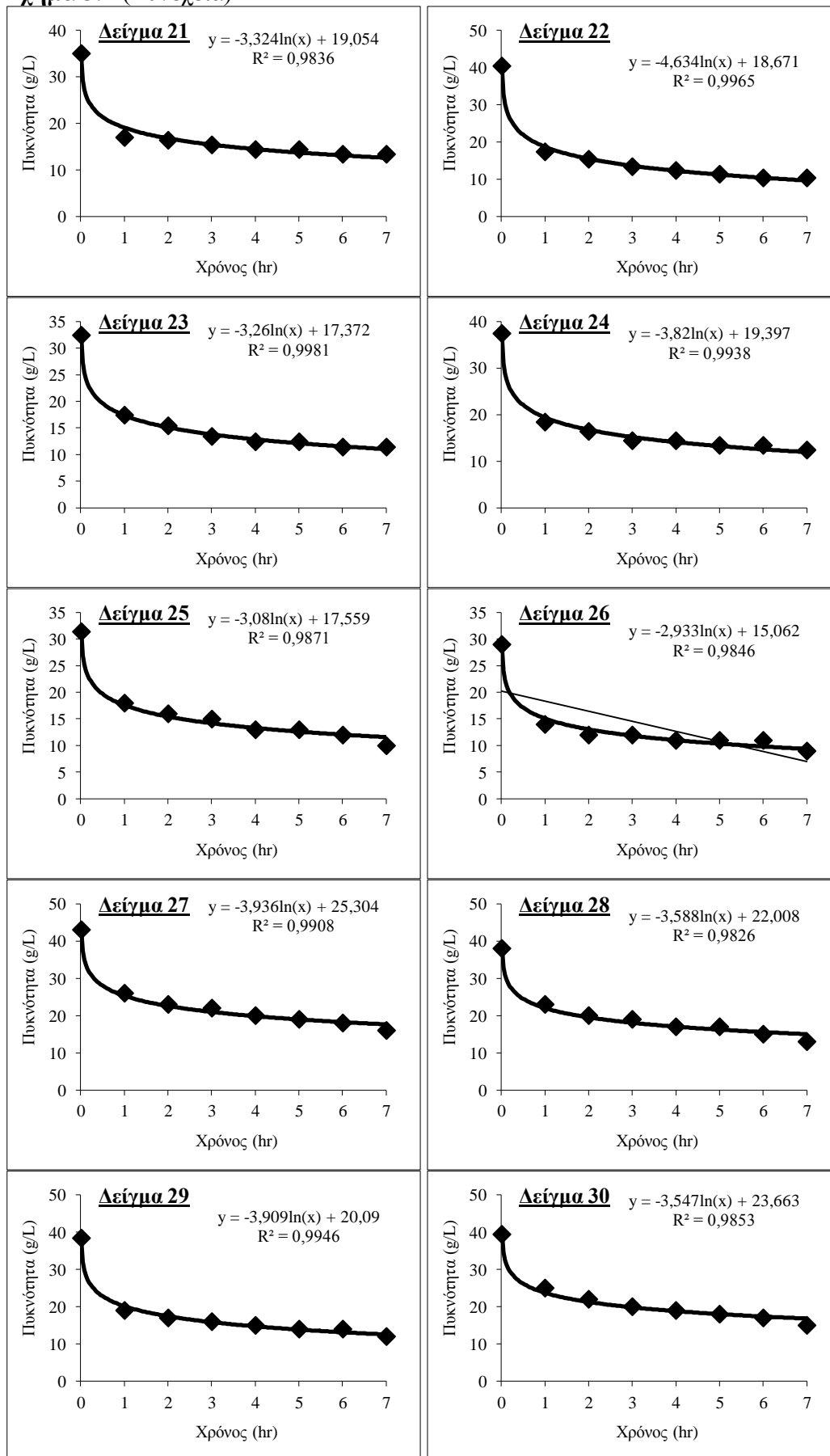
**Σχήμα 3.1 (Συνέχεια)**



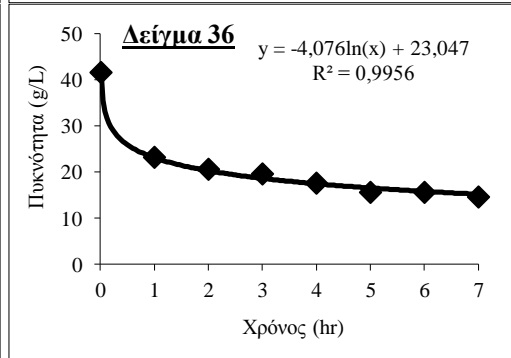
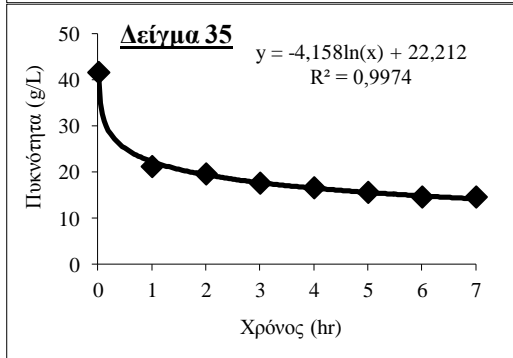
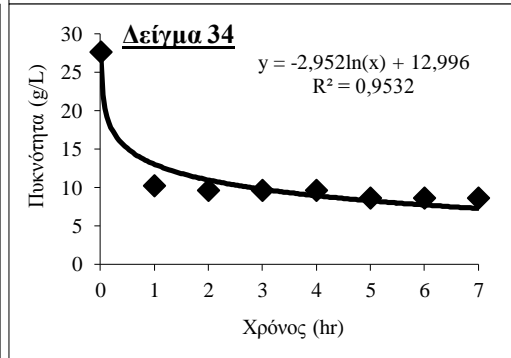
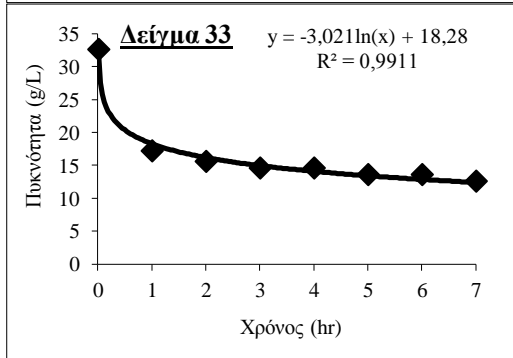
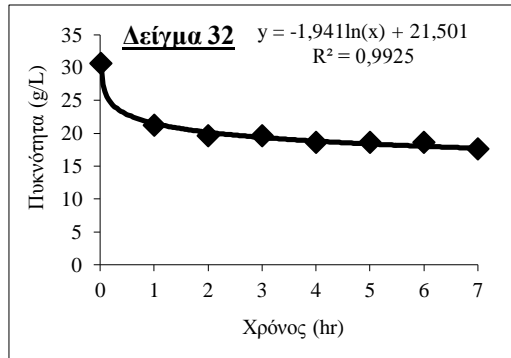
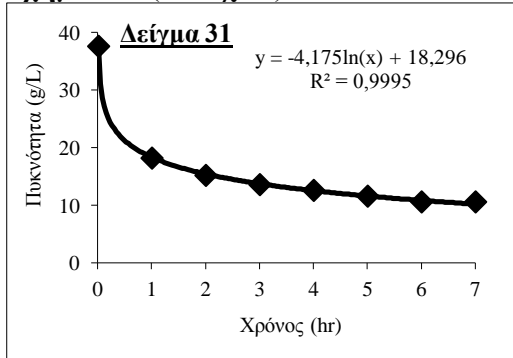
**Σχήμα 3.1** (Συνέχεια)



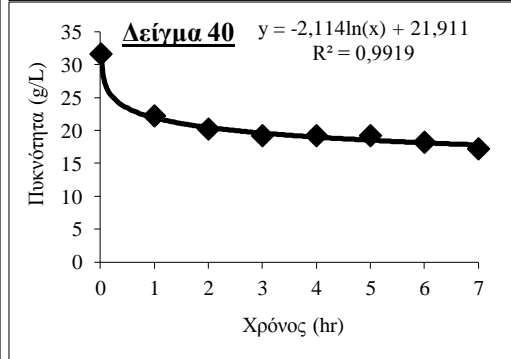
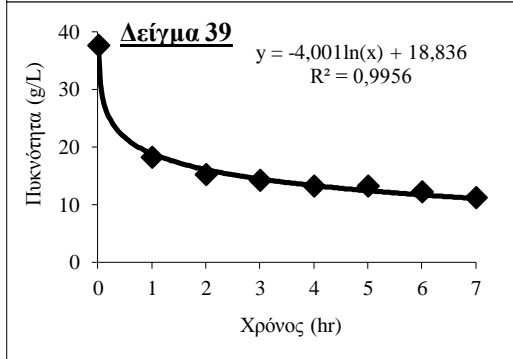
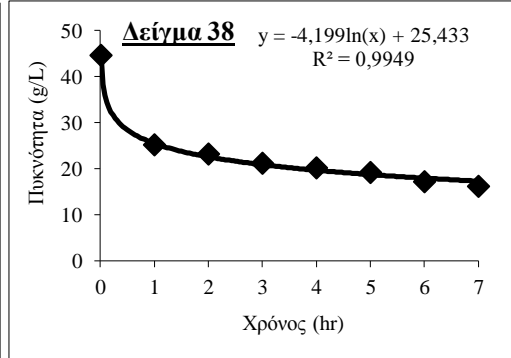
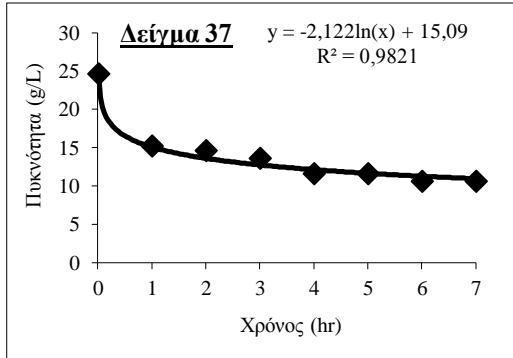
**Σχήμα 3.1 (Συνέχεια)**



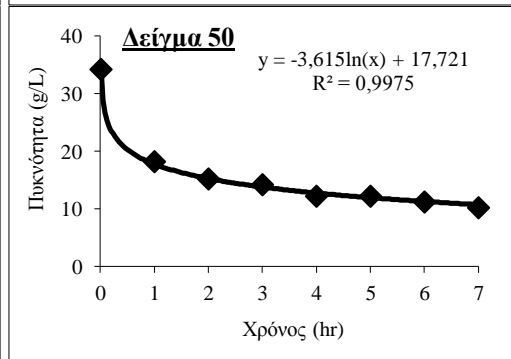
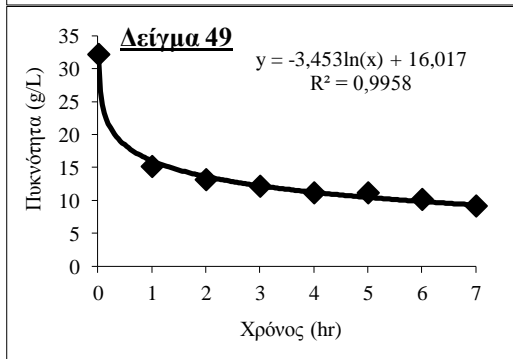
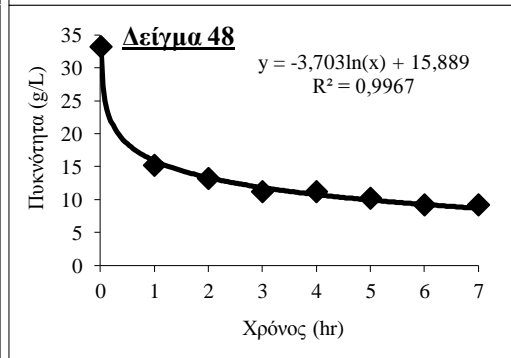
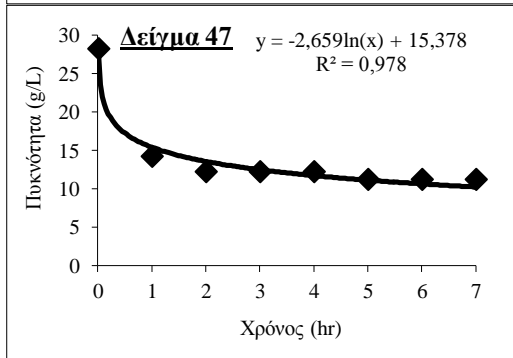
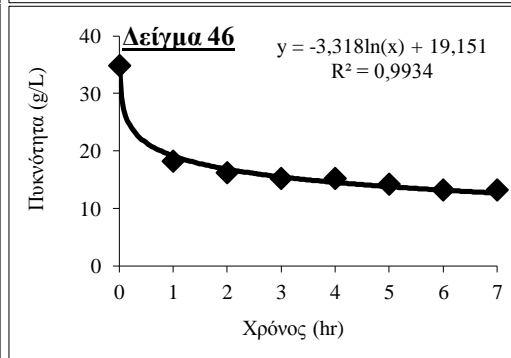
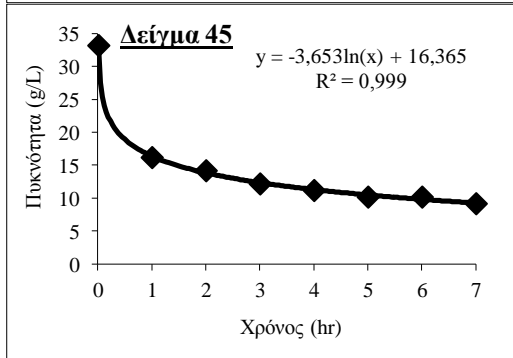
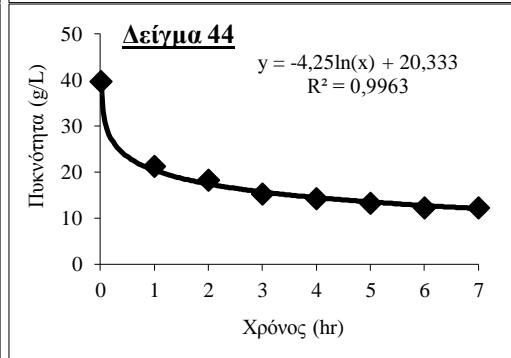
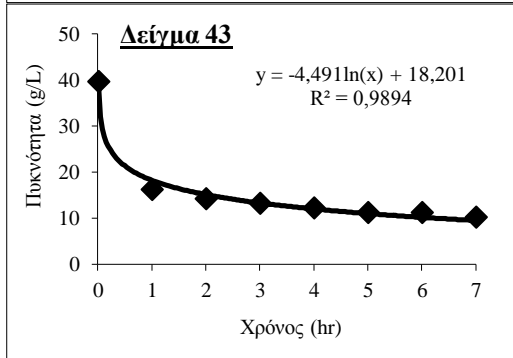
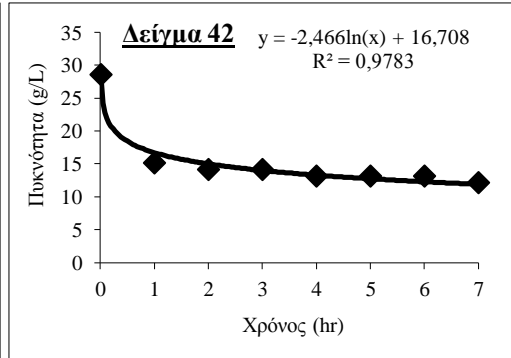
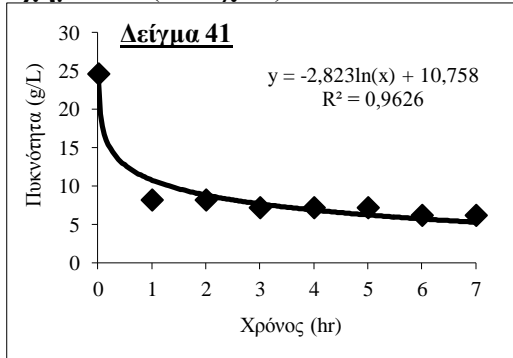
**Σχήμα 3.1 (Συνέχεια)**



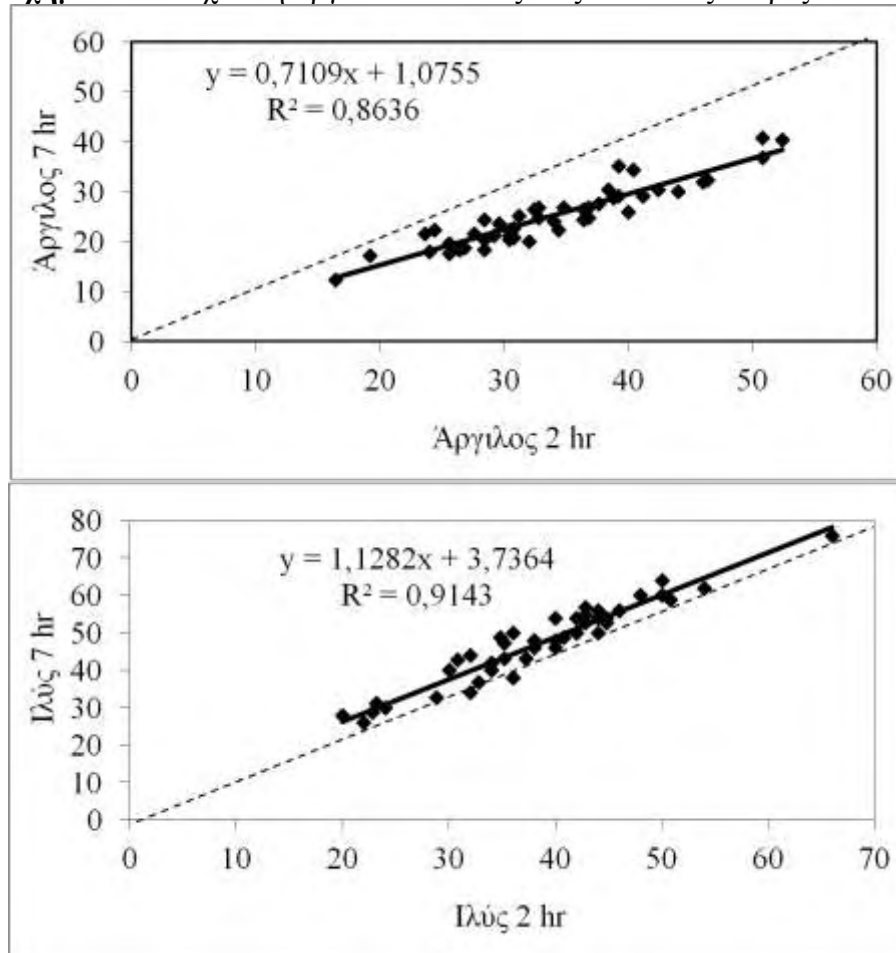
**Σχήμα 3.1** (Συνέχεια)



**Σχήμα 3.1 (Συνέχεια)**



Σχήμα 3.2 Συσχέτιση αργίλου και ιλύος στις 2 και στις 7 ώρες.



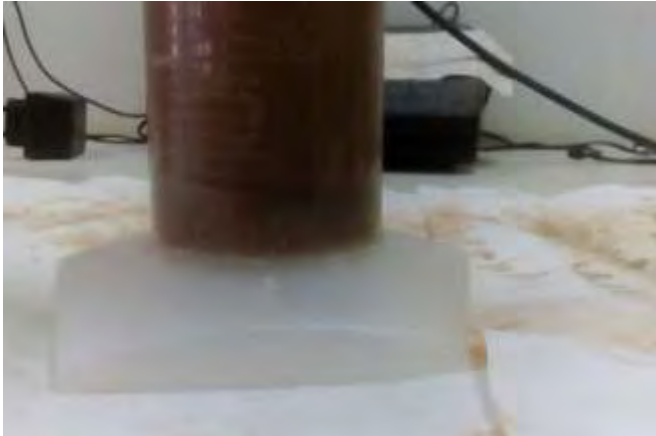
### Συζήτηση

Στη παρούσα μελέτη, αναλύθηκαν τα τρία κλάσματα του εδάφους η άμμος, η ιλύς και η άργιλος με σκοπό το προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη ταχύτητα καθίζησης των κλασμάτων αυτών. Ύστερα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε πως η ταχύτητα καθίζησης των ανόργανων τεμαχιδίων και συνεπώς η μηχανική σύσταση του εδάφους επηρεάζεται μόνο από τους παράγοντες που διέπονται στο νόμο τους Stokes. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζονται δύο διαγράμματα όπου στο πρώτο παρουσιάζονται οι τιμές της αργίλου στις 2 ώρες και στις 7 και στο δεύτερο διάγραμμα αντίστοιχα οι τιμές τις ιλύος. Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από τις συσχετίσεις των δύο κλασμάτων, παρατηρήθηκε ότι η ιλύς στις δύο ώρες και στις 7 ώρες είναι σχεδόν ίδια. Το συμπέρασμα αυτό αιτιολογείται μέσω της εξίσωσης που προέκυψε από τη γραφική παράσταση. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2 ο συντελεστής του  $x$  ισούται σχεδόν με τη μονάδα, επομένως οι δύο παράμετροι (Ιλύς 7 hr-Ιλύς 2 hr) ταυτίζονται. Αντίθετα, στο δεύτερο διάγραμμα δεν παρατηρείται ταύτιση των δύο παραμέτρων (Άργιλος 7 hr-Άργιλος 2 hr) διότι ο συντελεστής του  $x$  είναι μικρότερος της μονάδας (0,71), δηλαδή η άργιλος στις 7 ώρες είναι κατά 71% μειωμένη σε σχέση με την άργιλο στις 2 ώρες όπου μειώθηκε κατά 29%.

Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν κυρίως το ρυθμό καθίζησης των τεμαχιδίων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Έτσι λοιπόν, συμπεραίνεται ότι ο ρυθμός καθίζησης μειώνεται με τη πάροδο του χρόνου και οφείλεται στις ιδιότητες των τριών κλασμάτων και ειδικότερα στο μέγεθος τους. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η διάσταση της άμμου είναι μεγαλύτερη από εκείνη της ιλύος και της αργίλου όπου ισούται με 20  $\mu\text{m}$  επομένως καθιζάνει πιο γρήγορα σε ένα αιώρημα σε αντίθεση με τα πιο λεπτόκοκκα τεμαχίδια (άργιλος και ιλύς) που ο ρυθμός καθίζησής τους επιβραδύνεται με τη πάροδο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα της μείωσης του ρυθμού καθίζησης, παρατηρήθηκε και μείωση της πυκνότητας του αιωρήματος. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός μείωσης της πυκνότητας του αιωρήματος, εκτός από τους παράγοντες που επηρεάζουν την κοκκομετρία, επηρεάζεται και από το συντελεστή  $a$ , ο οποίος υποδηλώνει το ρυθμό μείωσης της πυκνότητας και προκύπτει από τις συσχετίσεις των στοιχείων στη μηχανική ανάλυση.



**Εικόνα 3.1** Ρυθμός καθίζησης της άμμου, της ιλύος και της αργίλου με τη πάροδο του χρόνου.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### *Ξενόγλωσση*

Beretta, A.N., Silbermann, A.V., Paladino, L., Torre, D., Bassahum, D., Mussellini, R., and Lamohte, A.G. 2014. Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e Investigation Agraria* 42, 263-271.

Brady, N.C., and Weil, R.R. 2001. *Εδαφολογία. Η Φύση και οι Ιδιότητες των Εδαφών*. Εκδόσεις Έμβρυο, Αιγάλεω.

Chaudhari, P.R., Ahire, D.V., Ahire, V.D., Chkravarty, M., and Maity, S. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3.

Diacono, M., Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 401-422.

Fageria, N.K. 2012. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43, 2063-2113.

Jackson, C.E., and Saeger, C.M. 1935. Use of the pipette method in the fineness test of molding sand. *National Bureau of Standards* 14.

Jagadamma, S., Lal, R. 2010. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. *Biology and Fertility of Soils* 46, 543-554.

Miller, W.P., Radcliffe, D.E., and Miller, D.M. 1988. An historical perspective on the theory and practice of soils mechanical analysis. *Journal of Argonomic Education* 17, 24-28.

Stewart, B.A. 1986. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-Tokyo.

*Ελληνική*

Αλιφραγκής, Δ. 2008. Το Έδαφος. Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση. Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη.

Μήτσιοι, Ι.Κ. 2001. *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

*Διαδίκτυο*

1) [Worldcapital.gr/καλλιέργειες/έδαφος-οργανικά-πρόσθετα/έδαφος](http://Worldcapital.gr/καλλιέργειες/έδαφος-οργανικά-πρόσθετα/έδαφος).