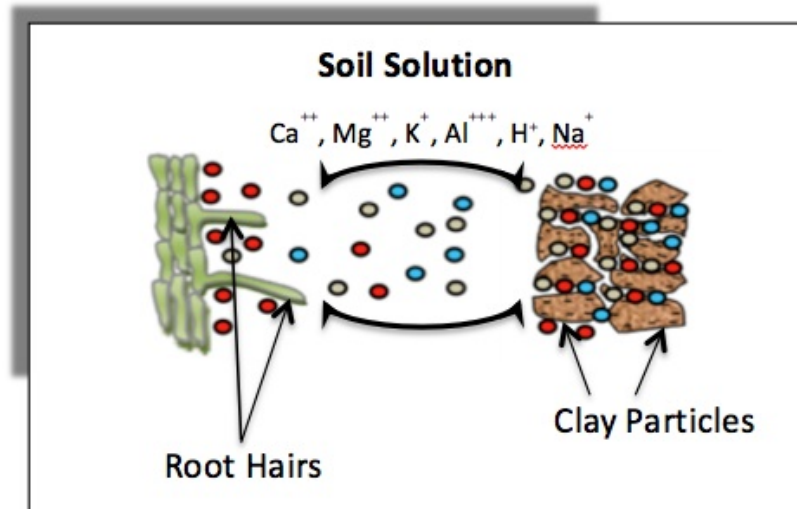




ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ
Κατεύθυνση: ΦΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ
ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ,
ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΚΑΙ ΠΗΛΩΔΗ ΕΛΑΦΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΚΑΛΑΪΤΖΟΓΛΟΥ



Επιβλέπων Καθηγητής: Στέφανος Στεφάνου
Καθηγητής Εφαρμογών

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΜΑΪΟΣ 2014

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ
Κατεύθυνση: ΦΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ
ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ,
ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΚΑΙ ΠΗΛΩΔΗ ΕΛΑΦΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΚΑΛΑΪΤΖΟΓΛΟΥ

Εισηγητής: Στέφανος Στεφάνου
Καθηγητής Εφαρμογών

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΜΑΪΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, κατά τη χρονική περίοδο από τον Μάιο του 2013 έως τον Μάρτιο του 2014.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της πτυχιακής μου διατριβής κ. Στέφανο Στέφανου, Καθηγητή Εφαρμογών του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ., καθώς και στην κ. Αγάπη Τσανακτσίδου, ΕΤΠ, για την άψογη συνεργασία και καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Αποστόλου Βασιλική και Καλαϊτζόγλου Ιωάννη, τους ανθρώπους χωρίς τους οποίους η πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	2
1.1. Έδαφος, συστατικά του εδάφους και ιδιότητές τους.....	2
1.2. Ορυκτολογία της αργίλου.....	5
1.2.1. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 1:1.....	7
1.2.2. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1.....	8
1.2.3. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1:1.....	11
1.3. Προσρόφιση και ανταλλαγή κατιόντων - Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων.....	12
1.4. Προσδιορισμός της I.A.K.....	17
1.5. Μοντέλα εκτίμησης της I.A.K.....	18
1.6. Οικολογική σημασία της I.A.K.....	19
1.7. Σκοπός.....	20
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	21
2.1. Περιοχές μελέτης και δειγματοληψίας εδάφους.....	21
2.2. Αναλύσεις προσδιορισμού μηχανικής σύστασης, οργανικής ουσίας και I.A.K.....	22
2.3. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων.....	26
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	27
3.1. Γενικά.....	27
3.2. Σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο και της I.A.K.....	31
3.3. Εφαρμογή του Μοντέλου 1.....	34
3.4. Εφαρμογή του Μοντέλου 2.....	37
3.5. Εφαρμογή του Μοντέλου 3.....	40
3.6. Σύγκριση των εκτιμώμενων τιμών I.A.K. με τις εργαστηριακές	43
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ, ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΚΑΙ ΠΗΛΩΔΗ ΕΔΑΦΗ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΚΑΛΑΪΤΖΟΓΛΟΥ

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης
Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής
Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων
Κατεύθυνση Φυτικής Παραγωγής
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εργαστήριο Εδαφολογίας

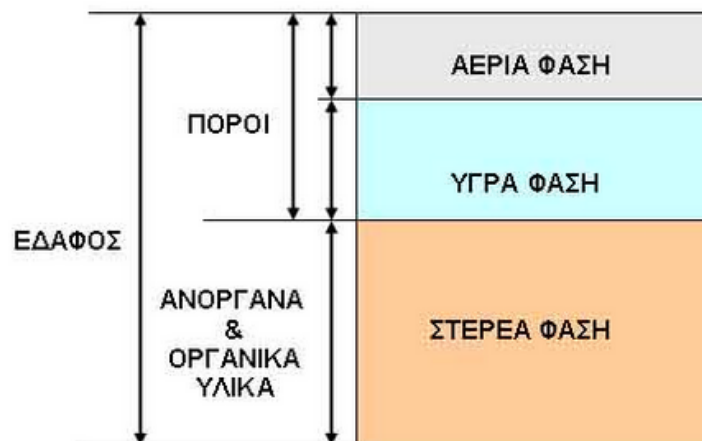
Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής διατριβής, μετρήθηκε εργαστηριακά η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.) σε 39 εδαφικά δείγματα, 20 αμμώδη από το Αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. και 19 πηλώδη από την περιοχή της Φθιώτιδας. Οι μετρούμενες στο εργαστήριο, με τη μέθοδο του οξικού νατρίου – οξικού αμμωνίου, τιμές I.A.K. συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές που δίνουν τρία διαφορετικά μοντέλα εκτίμησής της (Μοντέλο 1, Σιμώνης, 1998 – Μοντέλο 2, Foth and Ellis, 1997 – Μοντέλο 3, Soil Carbon Manager), έτσι ώστε να διαπιστωθεί ποιο από τα μοντέλα αυτά προσεγγίζει περισσότερο τις εργαστηριακές μετρήσεις. Στα αμμώδους σύστασης εδάφη (άργιλος < 10% και οργανική ουσία 0-1% περίπου) διαπιστώθηκε καλύτερη συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας σε άργιλο και μετρούμενων τιμών I.A.K., σε σχέση με τα πηλώδη εδάφη (άργιλος > 10% και οργανική ουσία 1-2% περίπου) όπου εκεί υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως η ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, ο βαθμός διάσπασης της οργανικής ουσίας και το pH. Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι στα αμμώδη εδάφη οι εργαστηριακές τιμές προσεγγίζονται πολύ ικανοποιητικά με αυτές που δίνει το Μοντέλο 2, ενώ στα περισσότερα πηλώδη εδάφη οι εργαστηριακές τιμές προσεγγίζονται καλύτερα με αυτές που δίνει το Μοντέλο 3.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.1. Έδαφος, συστατικά του εδάφους και ιδιότητές τους

Το έδαφος είναι το ανώτερο στρώμα του στερεού φλοιού της γης που αποτελείται από χαλαρά υλικά που προήλθαν από τη φυσική και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Την αποσάθρωση την προκαλούν μακροχρόνιες ατμοσφαιρικές και βιολογικές επιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός υλικού (το έδαφος) που είναι διαφοροποιημένο σε σχέση με το υλικό από το οποίο προήλθε (μητρικό υλικό).

Το έδαφος αποτελείται από τρεις φάσεις (Σχήμα 1): τη στερεή φάση (ανόργανη και οργανική), την υγρή (εδαφικό νερό) και την αέρια (εδαφικός αέρας).



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση του εδάφους ως συστήματος τριών φάσεων.

(Πηγή: www.lib.teicrete.gr/webnotes/steg/Geniki_Georgia/lecture3/lecture3.htm)

Το ανόργανο μέρος του εδάφους χωρίζεται σε τρία κλάσματα με βάση το μέγεθός τους:

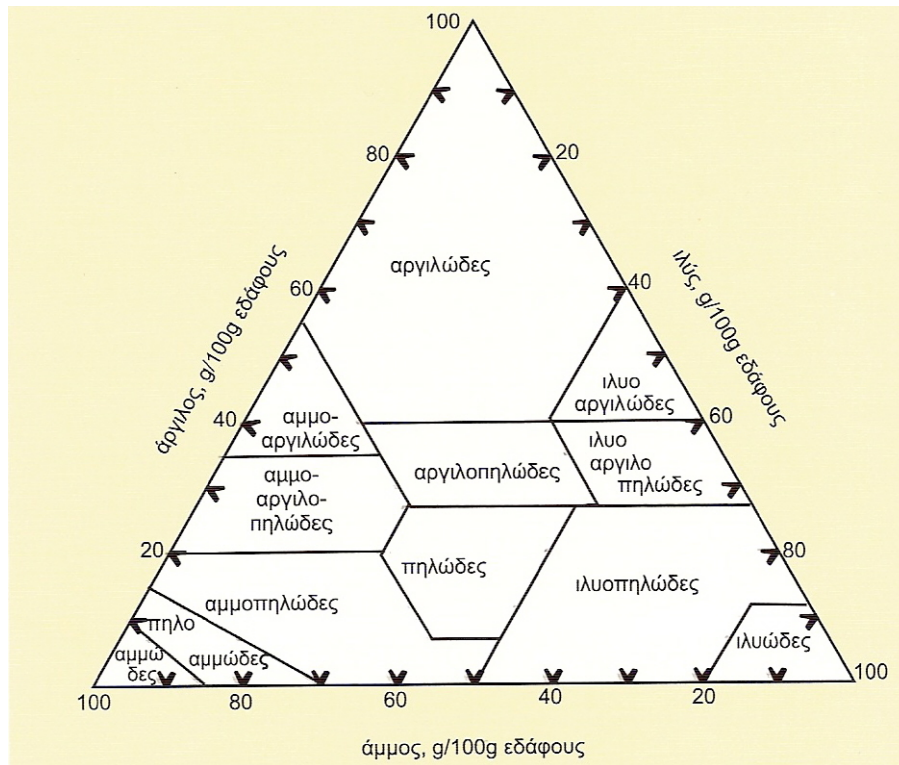
την άμμο (2 mm – 0,02 mm),

την ιλύ (0,02 mm – 0,002 mm) και

την άργιλο (< 0,002 mm) που είναι κολλοειδών διαστάσεων.

Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής καθενός των τριών κλασμάτων, τα εδάφη κατατάσσονται σε 12 κατηγορίες μηχανικής σύστασης (Σχήμα 2) που σε πιο γενική

κατάταξη αναφέρονται σαν αμμώδη, πηλώδη και αργιλώδη εδάφη. Η μηχανική σύσταση, αλλά και το είδος της αργίλου, καθορίζουν την ποσότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος, καθώς και την ευκολία κατεργασίας του με γεωργικά μηχανήματα.



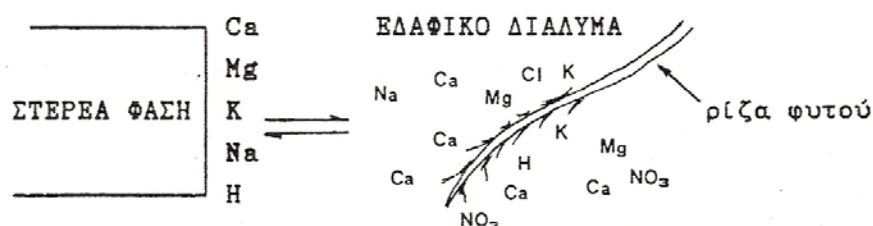
Σχήμα 2. Το τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)

Παρόλο που η κατάταξη των ανόργανων συστατικών του εδάφους γίνεται με βάση το μέγεθος των τεμαχιδίων, εντούτοις αυτά διαφέρουν και ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση. Η άμμος και η ιλύ αποτελούνται από πρωτογενή ορυκτά (χαλαζία, αστρίους) και θεωρούνται αδρανή, σκελετικά συστατικά του εδάφους, ενώ η άργιλος αποτελείται κυρίως από δευτερογενή, φυλλόμορφα αργιλοπυριτικά ορυκτά (π.χ. καολινίτη, ιλίτη, μοντμοριλλονίτη) και θεωρείται το ενεργό συστατικό του εδάφους. Αυτό οφείλεται στο ότι η άργιλος εμφανίζει, λόγω μεγέθους και κρυσταλλικής δομής, μεγάλη ειδική επιφάνεια και ηλεκτρικά φορτία (κυρίως αρνητικά). Επομένως, συγκράτηση κατιόντων και νερού, ανταλλαγή κατιόντων με το εδαφικό διάλυμα, προσρόφηση ορισμένων ανιόντων και δέσμευση κατιόντων, οφείλονται στην άργιλο, ώστε δικαιολογημένα πολλοί επιστήμονες αναφέρουν ότι η άργιλος, εκτός του ρόλου της στην ανάπτυξη των φυτών, αποτέλεσε

το υπόστρωμα για την ανάπτυξη και εξέλιξη των πρώτων πρωταρχικών μονοκυτταρικών οργανισμών και δραματοποιώντας το ρόλο της την αποκαλούν “πηγή της ζωής” στον πλανήτη μας.

Η οργανική ουσία του εδάφους προέρχεται από τα υπολείμματα φυτών και μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν στο έδαφος, και παρόλο το συνήθως μικρό ποσοστό της επηρεάζει σημαντικά ορισμένες από τις ιδιότητες του εδάφους. Κυρίως, είναι πηγή θρεπτικών συστατικών για τα φυτά (μετά από διάσπασή της) και συγκρατεί αρκετές ποσότητες νερού και θρεπτικών. Η οργανική ουσία επηρεάζει ευνοϊκά τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών προσδίδοντας σε αυτά μία καλή δομή και γι’ αυτό η σωστή γεωργική πρακτική θα πρέπει να είναι η διατήρησή της στα επίπεδα που υπαγορεύονται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες και το σύστημα εκμετάλλευσης.

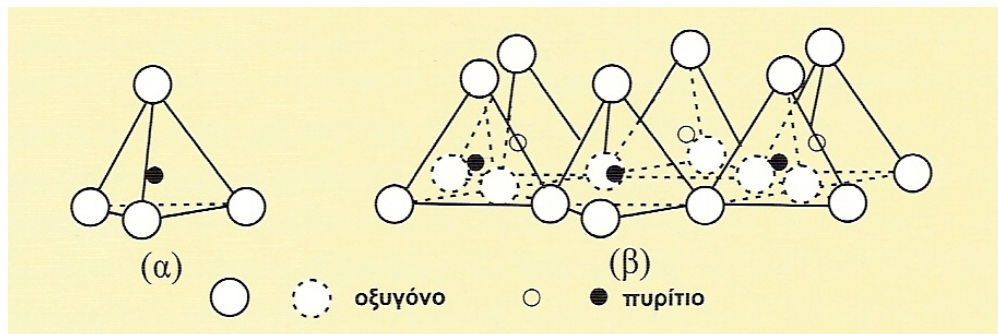
Το τρίτο συστατικό του εδάφους είναι το νερό. Σε ένα κανονικό έδαφος με optimum συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, καταλαμβάνει το 50% του ολικού πορώδους. Σε ένα έδαφος πλημμυρισμένο, το νερό καταλαμβάνει πρακτικά όλο τον όγκο των εδαφικών πόρων. Η ικανότητα ενός εδάφους να συγκρατεί νερό εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, το είδος των ορυκτών της αργίλου, τη δομή και το ποσοστό της οργανικής ουσίας του εδάφους. Αυτό που αποκαλούμε εδαφικό νερό είναι στην πραγματικότητα ένα αραιό διάλυμα ηλεκτρολυτών και το ονομάζουμε εδαφικό διάλυμα. Περιέχει, δηλαδή, διαλυμένα διάφορα άλατα με μορφή ιόντων, πολλά από τα οποία είναι θρεπτικά συστατικά και τα οποία ανταλλάσσονται με αντίστοιχα ιόντα της στερεής φάσης με την οποία το εδαφικό διάλυμα βρίσκεται σε ισορροπία. Οι ρίζες των φυτών “λούζονται” από το εδαφικό διάλυμα και προσλαμβάνουν από αυτό τα θρεπτικά συστατικά κυρίως με μορφή ιόντων. Οι απώλειες του εδαφικού διαλύματος σε ιόντα διαταράσσουν την χημική ισορροπία με τη στερεή φάση και την αναγκάζουν να κινητοποιήσει τις εφεδρείες των ιόντων της για να αναπληρώσει τις απώλειες. Αυτή η αλυσίδα των διεργασιών μπορεί να παρασταθεί με το απλό σχήμα:



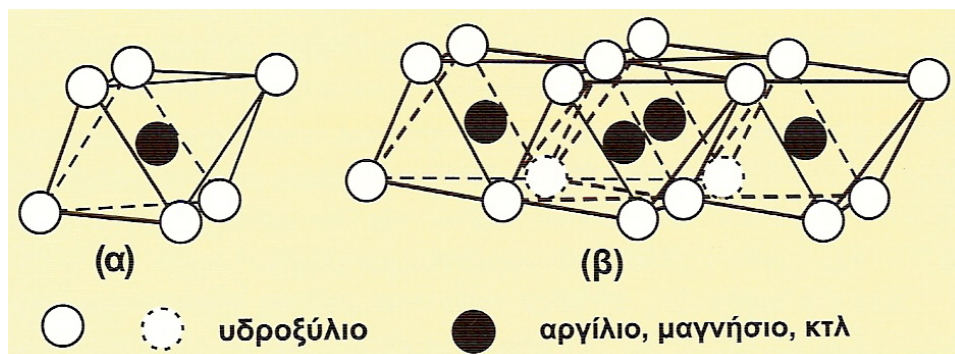
Το τέταρτο συστατικό του εδάφους είναι ο αέρας, το οξυγόνο του οποίου είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ριζών. Σε πλημμυρισμένο με νερό έδαφος (αναερόβιες συνθήκες) η έλλειψη οξυγόνου αναστέλλει σημαντικά την ανάπτυξη ριζών και οι καλλιέργειες υποφέρουν, γεγονός που υποδηλώνει τη σημασία της καλής στράγγισης.

1.2. Ορυκτολογία της αργίλου

Τα δευτερογενή αργιλοπυριτικά ορυκτά είναι κρύσταλλοι κολλοειδών διαστάσεων, ποικίλου βαθμού κρυσταλλικής οργάνωσης και αποτελούν το κύριο συστατικό της αργίλου των εδαφών και γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως πυριτικές άργιλοι ή ορυκτά της αργίλου. Οι δομικές μονάδες των ορυκτών της αργίλου διατάσσονται κατά στρώσεις (φύλλα), γι' αυτό και ονομάζονται φυλλοπυριτικά ορυκτά. Βασικές δομικές μονάδες των φύλλων είναι: τα τετράεδρα πυριτίου (Σχήμα 3) και τα οκτάεδρα αργιλίου (Σχήμα 4).



Σχήμα 3. Τετράεδρο και φύλλο τετραέδρων πυριτίου.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)



Σχήμα 4. Οκτάεδρο και φύλλο οκταέδρων αργιλίου.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)

Τα φύλλα τετραέδρων πυριτίου συνδέονται με τα φύλλα οκταέδρων αργιλίου, έτσι ώστε τα οξυγόνα των κορυφών των τετραέδρων να αντικαθιστούν OH^- από τις κορυφές των οκταέδρων. Η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει, είτε μόνο από τη μία πλευρά του οκταέδρου, οπότε δημιουργούνται στιβάδες δύο φύλλων, είτε και από τις δύο πλευρές, οπότε δημιουργούνται στιβάδες τριών φύλλων. Διαφορετικός συνδυασμός των στιβάδων δίνει γένεση στα διάφορα ορυκτά της αργίλου. Τα διάφορα ορυκτά της αργίλου δεν διαφέρουν μόνο ως προς των αλληλοδιαδοχή των στιβάδων, αλλά και ως προς τη χημική σύσταση και το φορτίο τους. Εκείνο που έχει ιδιαίτερη σημασία και μεγάλη σπουδαιότητα για τη θρέψη των φυτών είναι ότι τα ορυκτά της αργίλου εκδηλώνουν με διάφορους μηχανισμούς κυρίως αρνητικά φορτία, το σύνολο των οποίων υπερέχει κατά πολύ των θετικών, με αποτέλεσμα τα ορυκτά να εμφανίζονται τελικά αρνητικά φορτισμένα. Τα αρνητικά φορτία οφείλονται σε δύο μηχανισμούς: την ισόμορφη αντικατάσταση ενός κατιόντος από άλλο μικρότερου σθένους και τη διάσταση υδροξυλίων των θραυσιγενών ακμών του κρυστάλλου.

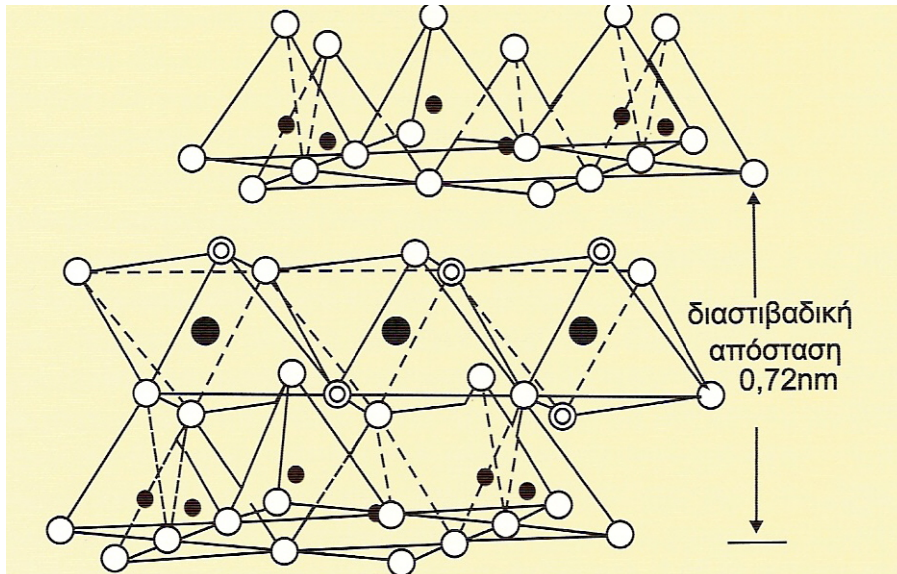
Το καθαρό αρνητικό φορτίο των ορυκτών της αργίλου καθορίζει την ποσότητα των κατιόντων (ανταλλάξιμα), που μπορούν να συγκρατήσουν και χαρακτηρίζεται ως *Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων* (I.A.K) ή με τον αγγλικό όρο C.E.C. (Cation Exchange Capacity). Η μονάδα έκφρασης της I.A.K. είναι centimol φορτίου ανά kg ορυκτού (cmol/kg), ο δε δείκτης c υποδηλώνει ότι πρόκειται για κατιόντα. Η τιμή της I.A.K. ενός ορυκτού δεν είναι σταθερή, αφού αποτελεί το άθροισμα των μονίμων φορτίων και των φορτίων των εξαρτώμενων από το pH, αποκτά δε το μεγαλύτερο μέγεθός της σε αλκαλικό περιβάλλον.

Ο ένας τρόπος σύνδεσης των φύλλων τετραέδρων πυριτίου και οκταέδρων αργιλίου, δηλαδή οι στιβάδες δύο φύλλων, αναφέρεται στα ορυκτά με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 1:1 και ο δεύτερος, δηλαδή οι στιβάδες τριών φύλλων, αναφέρεται στα ορυκτά με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1. Υπάρχει και ένας τρίτος τρόπος σύνδεσης των φύλλων τετραέδρου πυριτίου και των φύλλων οκταέδρων αργιλίου, 2:1:1 ή 2:2. Σε αυτόν τον τύπο, μεταξύ των δύο στιβάδων με τύπο 2:1 παρεμβάλλεται ένα φύλλο οκταέδρων μαγνησίου.

Πολλές στιβάδες, όπως περιγράφηκαν προηγούμενα, συνδέονται μεταξύ τους και έτσι δημιουργούνται οι υπομικροσκοπικοί κρύσταλλοι των ορυκτών της αργίλου. Ο χώρος μεταξύ των στιβάδων χαρακτηρίζεται ως διαστιβαδικός χώρος, οι διαστάσεις του μεταβάλλονται από ορυκτό σε ορυκτό και μέσα σ' αυτόν είναι δυνατό να εισχωρήσουν μόρια νερού και κατιόντα.

1.2.1. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 1:1

Οι στιβάδες των ορυκτών της ομάδας αυτής αποτελούνται από ένα φύλλο τετραέδρων πυριτίου και ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου, τα οποία συγκροτούν την στιβάδα 1:1. Οι στιβάδες συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου, έτσι ώστε να μην είναι εύκολος ο αποχωρισμός τους και να μην είναι δυνατή η διείσδυση μορίων νερού και κατιόντων ανάμεσά τους. Ο κυριότερος εκπρόσωπος της ομάδας αυτής είναι ο καολινίτης ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).



Σχήμα 5. Σχηματική παράσταση της δομής του καολινίτη.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)

Στα ορυκτά αυτού του τύπου, οι ισόμορφες αντικαταστάσεις είναι ελάχιστες. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα συγκροτούνται στις θραυστιγενείς ακμές και επιφάνειες. Η Ι.Α.Κ του καολινίτη είναι πολύ μικρή της τάξης των 5-10 cmol/kg. Εδάφη, η άργιλος των οποίων περιέχει σε μεγάλο ποσοστό καολινίτη, θεωρούνται μικρής γονιμότητας. Δεν εμφανίζουν μεγάλη πλαστικότητα. Δεν συγκροτούν πολύ νερό, ούτε είναι δυνατή η είσοδος μορίων νερού μεταξύ των στιβάδων. Επομένως, οι άργιλοι στις οποίες συμμετέχει σε υψηλά ποσοστά ο καολινίτης, δεν διογκώνονται κατά την προσρόφηση νερού, ούτε συρρικνώνονται κατά την απώλειά του. Ο καολινίτης είναι κυρίως προϊόν της αποσάθρωσης των αστρίων. Απαντάται σε διάφορα ποσοστά στην άργιλο όλων σχεδόν των εδαφών. Είναι το επικρατέστερο μεταξύ των ορυκτών της αργίλου σε εδάφη παλαιά, που σχηματίστηκαν κάτω από συνθήκες έντονης αποσάθρωσης.

1.2.2. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1

Στα ορυκτά της ομάδας αυτής, ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου παρεμβάλλεται μεταξύ δύο φύλλων τετραέδρων πυριτίου. Ανάλογα με την ικανότητα διόγκωσής τους κατά την πρόσληψη νερού, τα ορυκτά τύπου 2:1 κατατάσσονται σε δύο υποομάδες:

- α) στα ορυκτά με διογκούμενο ή εκτατής δομής κρυσταλλικό πλέγμα, όπως π.χ. ο μοντμοριλονίτης και
- β) στα ορυκτά με μη διογκούμενο κρυσταλλικό πλέγμα, όπως π.χ. ο ιλλίτης.

Τα ορυκτά της ομάδας αυτής, ανάλογα με το είδος του κεντρικού κατιόντος στα οκτάεδρα, κατατάσσονται ως εξής:

- α) Διοκταεδρικά, με κεντρικό οκταεδρικό κατιόν το αργίλιο ή τον τρισθενή σίδηρο.

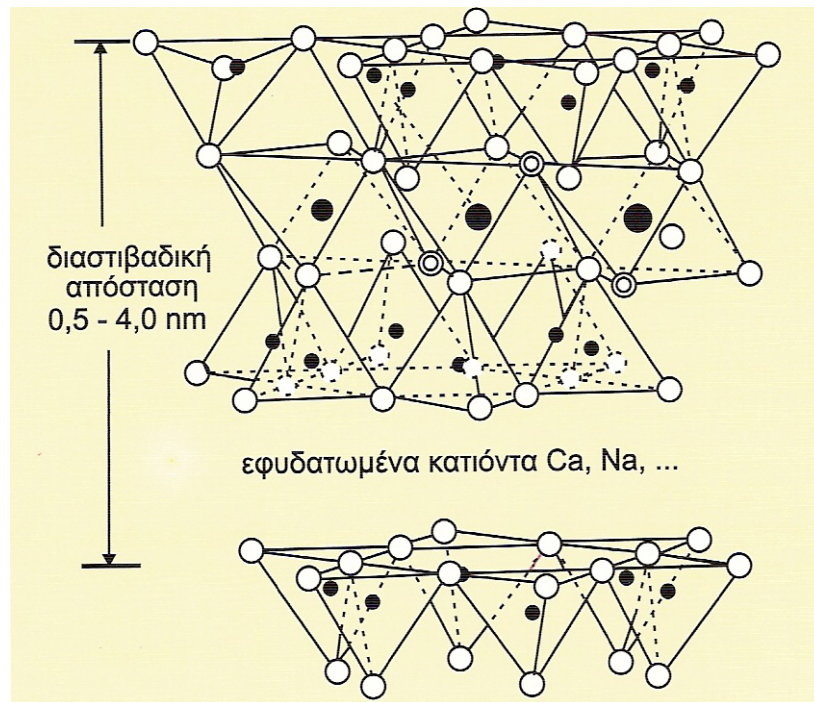
Τα 2/3 των οκταεδρικών θέσεων καταλαμβάνονται από το τρισθενές κατιόν. Στην υποομάδα αυτή ανήκει το πρωτογενές μαρμαρυγιακό ορυκτό μοσχοβίτης και τα δευτερογενή ορυκτά που προέρχονται από την αποσάθρωσή του, όπως είναι ο ιλλίτης και ο διοκταεδρικός μοντμοριλλονίτης.

- β) Τριοκταεδρικά, με κεντρικό κατιόν το μαγνήσιο ή το δισθενή σίδηρο.

Όλες οι οκταεδρικές θέσεις είναι κατειλημμένες από το δισθενές κατιόν. Στην υποομάδα αυτή ανήκει το πρωτογενές μαρμαρυγιακό ορυκτό βιοτίτης και τα δευτερογενή ορυκτά που προέρχονται από την αποσάθρωσή του, όπως είναι ο βερμικουλίτης και ο τριοκταεδρικός μοντμοριλλονίτης.

A) Μοντμοριλλονίτης

Το αρνητικό φορτίο του μοντμοριλλονίτη προκύπτει από ισόμορφες αντικαταστάσεις, τόσο στα τετράεδρα του πυριτίου όσο και στα οκτάεδρα του αργιλίου και εξουδετερώνεται από ανταλλάξιμα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . Εξαιτίας του μεγάλου φορτίου του, ο μοντμοριλλονίτης έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών συστατικών, έχει δηλαδή μεγάλη Ι.Α.Κ. (80-120 cmol/kg). Η εύκολη διείδυση ενυδατωμένων κατιόντων και μορίων νερού στο διαστιβαδικό χώρο (Σχήμα 6), επιτρέπει στο ορυκτό να διογκώνεται πολύ κατά τη δύγρανση και να συρρικνώνεται κατά την ξήρανση, γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως ορυκτό διογκούμενης ή εκτατής δομής. Προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση ιζηματογενών πετρωμάτων σε περιοχές με εύκρατο κλίμα και συνθήκες περιορισμένης στράγγισης.



Σχήμα 6. Σχηματική παράσταση της δομής του μοντμοριλλονίτη.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)

Η εδαφολογική σημασία της ύπαρξής του στα εδάφη:

- Εξασφαλίζει, λόγω της υψηλής του I.A.K., την ικανοποιητική γονιμότητα στα εδάφη.
- Συντελεί στην αύξηση της υδατοχωρητικότητας των εδαφών (αραιότερες αρδεύσεις).
- Η μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και η μεγάλη πλαστικότητα του, καθιστούν δύσκολη την κατεργασία των εδαφών, στην άργιλο των οποίων κυριαρχεί.

Εδάφη στην άργιλο των οποίων κυριαρχεί ο μοντμοριλλονίτης, δεν στραγγίζουν ικανοποιητικά, ενώ κατά τη διόγκωση – συρρίκνωση του ορυκτού δημιουργούνται ρωγμές κατά τους θερινούς μήνες. Για την ομάδα των ορυκτών που έχουν παρόμοιες ιδιότητες με το μοντμοριλλονίτη, έχει ορισθεί το όνομα σμεκτίτες.

B) Βερμικουλλίτης

Προέρχεται από την αποσάθρωση του βιοτίτη (τριοκταεδρικός) ή του μοσχοβίτη (διοκταεδρικός), από τους οποίους διαφέρει στο ότι έχει χάσει σημαντικό μέρος του ολικού του φορτίου (το οποίο διατηρείται αρκετά υψηλό) και όλο το K^+

που βρισκόταν στο διαστιβαδικό χώρο. Το φορτίο του εξουδετερώνεται από ενυδατωμένα κατιόντα Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ που είναι ανταλλάξιμα.

Η τριοκταεδρική μορφή του απαντά σε εδάφη εύκρατων ή υποτροπικών κλιματικών περιοχών, ενώ η διοκταεδρική μορφή στην άργιλο των εδαφών που σχηματίστηκαν κάτω από έντονες συνθήκες αποσάθρωσης. Η I.A.K. του βερμικουλίτη είναι 150-160 $cmol_c/kg$. Η συγκράτηση των στιβάδων μεταξύ τους με τη μεσολάβηση των ενυδατωμένων κατιόντων Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ δεν είναι ισχυρή γεγονός που επιτρέπει την είσοδο μορίων νερού ανάμεσά τους, με αποτέλεσμα τη μερική διόγκωσή τους. Η διόγκωση των στιβάδων στο βερμικουλίτη είναι μικρότερη εκείνης του μοντμοριλλονίτη. Η σχετικά υψηλή I.A.K. και η όχι μεγάλη τάση διόγκωσης – συρρίκνωσης καθιστά επιθυμητή την παρουσία του βερμικουλίτη στα εδάφη.

Η εδαφολογική σημασία του βερμικουλίτη είναι ότι, αν και έχει χάσει όλο το K^+ από το διαστιβαδικό του χώρο, δεν έχει χάσει και τη δεσμευτική του ικανότητα προς το κατιόν αυτό. Η δέσμευση αυτή επεκτείνεται και στο NH_4^+ το οποίο έχει τις ίδιες διαστάσεις με το K^+ .

Γ) Ιλλίτης

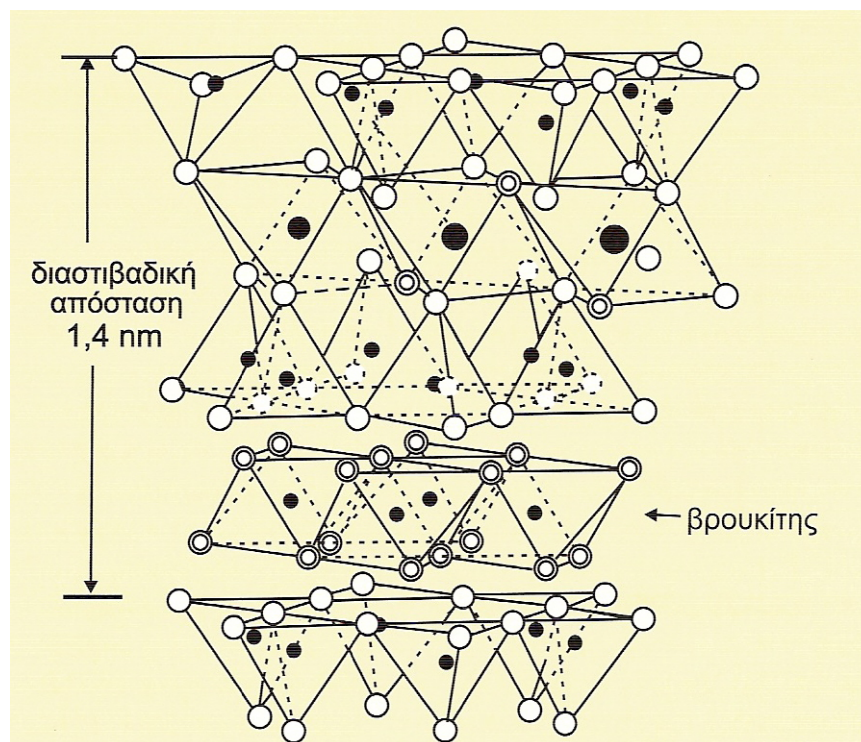
Ο ιλλίτης είναι κυρίως προϊόν αποσάθρωσης του μοσχοβίτη. Το αρνητικό ηλεκτρικό του φορτίο οφείλεται κυρίως σε ισόμορφες αντικαταστάσεις που πραγματοποιούνται στα τετράεδρα του πυριτίου σε ποσοστό 15-20%. Στο διαστιβαδικό χώρο, λόγω εγγύτητας, αναπτύσσεται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, με αποτέλεσμα οι στιβάδες να συγκρατούνται ισχυρά μεταξύ τους με τη μεσολάβηση K^+ . Η ισχυρή συγκράτηση των στιβάδων μεταξύ τους με τη μεσολάβηση K^+ , έχει σαν αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η είσοδος κατιόντων και μορίων νερού στο διαστιβαδικό χώρο. Έτσι, το ορυκτό δεν υφίσταται αισθητή διόγκωση κατά την προσρόφηση νερού. Επομένως, ο ιλλίτης θεωρείται ότι ανήκει στα μη διογκούμενα ορυκτά. Η I.A.K. του ιλλίτη είναι 15-40 $cmol_c/kg$. Το μέγεθος των κρυστάλλων, καθώς και οι ιδιότητές του που έχουν σχέση με τη διόγκωση, συρρίκνωση, συνοχή και πλαστικότητα είναι μεταξύ του καολινίτη και του μοντμοριλλονίτη.

Η εδαφολογική σημασία της ύπαρξης ιλλιτών στην άργιλο των εδαφών είναι ότι αποτελούν πηγή K^+ για τα φυτά και ότι συμβάλλουν στη διαμόρφωση καλών φυσικών ιδιοτήτων.

1.2.3. Ορυκτά της αργίλου με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1:1

Τα ορυκτά της ομάδας αυτής διαφέρουν από τα ορυκτά της ομάδας 2:1 ως προς τη δομή του κρυσταλλικού τους πλέγματος, γιατί μεταξύ των στιβάδων τους, αντί για ενυδατωμένα κατιόντα παρεμβάλλονται φύλλα οκταέδρων, τα οποία έχουν ως κεντρικό κατιόν το Mg^{2+} (οκτάεδρα βρουκίτη). Κύριος εκπρόσωπος της ομάδας αυτής είναι ο χλωρίτης (Σχήμα 7).

Ο χλωρίτης απαντάται στην άργιλο πολλών εδαφών και προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση πυριγενών πετρωμάτων πλούσιων σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά. Το αρνητικό φορτίο της στιβάδας εξουδετερώνεται σχεδόν όλο από το θετικό των οκταέδρων του βρουκίτη και, έτσι, απομένει μια μικρή μόνο ποσότητα αρνητικού φορτίου που εξουδετερώνεται από κατιόντα που διατάσσονται στις εξωτερικές επιφάνειες των κρυστάλλων. Στο διαστιβαδικό χώρο δεν μπορεί να εισχωρήσει νερό, επομένως ο χλωρίτης δεν διογκώνεται. Η Ι.Α.Κ. του χλωρίτη είναι 10-40 $cmol_c/kg$.



Σχήμα 7. Σχηματική παράσταση της δομής του χλωρίτη.
(Πηγή: Παναγιωτόπουλος, 2008)

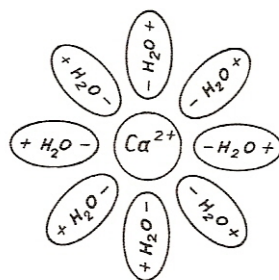
Κολλοειδών διαστάσεων είναι, επίσης, και ο χούμος του εδάφους που εμφανίζει μεγάλη I.A.K (100-400 cmolc/kg) και παρόλο που υπάρχει σε μικρό συνήθως ποσοστό στα συνήθη εδάφη, παίζει σημαντικό ρόλο στη θρέψη των φυτών λόγω της μεγάλης του ικανότητας συγκράτησης κατιόντων και νερού, της επίδρασής του στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και της ικανότητάς του, μετά από διάσπαση, να αποτελεί πηγή θρεπτικών στοιχείων για τα αναπτυσσόμενα φυτά.

Οι κυριότερες ιδιότητες των διαφόρων τύπων ορυκτών της αργίλου και του χούμου παρουσιάζονται, συνοπτικά, στον παρακάτω πίνακα (Κεραμίδας και Σινάνης, 2005).

Όνομασία	I.A.K.	Ειδική επιφάνεια	Ικανότητα διογκώσεως	Βασική απόσταση	Τύπος Πλέγματος
	cmol _c /kg	m ² /g		nm	
Καολινίτης	5-10	10-20	καμία	0,71	1:1
Ιλλίτης	15-40	70-170	μικρή	1,0	2:1
Βερμικουλίτης	150-160	600-800	μέση	1,4	2:1
Μοντμοριλλονίτης	80-120	600-900	μεγάλη	1,4	2:1
Χλωρίτης	3-7	70-150	καμία	1,4	2:1:1
Οξυ-υδροξείδια	5-8	80-300	καμία	0,42-0,48	-
Χούμος	100-300	ποικίλει (20-800)	-	άμορφο	-

1.3. Προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων – Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων

Από τη συζήτηση που έγινε για τα ορυκτά της αργίλου θα πρέπει να έγινε φανερό η ικανότητά τους να συγκρατούν διάφορα κατιόντα. Όπως προαναφέρθηκε, η προσρόφηση των ιόντων από τα κολλοειδή του εδάφους (άργιλο και οργανική ουσία) οφείλεται στα ηλεκτρικά φορτία που βρίσκονται στην επιφάνειά τους. Κάθε κολλοειδές εδαφικό τεμαχίδιο έλκει ένα μεγάλο αριθμό κατιόντων, όπως Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, H⁺, Na⁺ κ.ά., τα οποία και συγκρατεί στην επιφάνειά του. Στα υγρά εδάφη τα κατιόντα αυτά βρίσκονται υπό ενυδατωμένη μορφή (Σχήμα 8).



Σχήμα 8. Ενυδατωμένα ιόντα Ca
(Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)

Σε πολλές περιπτώσεις, τα κατιόντα αυτά μπορούν να αντικατασταθούν από άλλα κατιόντα με ίδιο φορτίο. Η αντικατάσταση αυτή γίνεται για την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας. Αν, για παράδειγμα, αυξηθεί η συγκέντρωση των κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα, ένας αριθμός από αυτά θα αντικαταστήσει τα κατιόντα που βρίσκονται προσροφημένα στα κολλοειδή. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για πολλές χημικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και για τη θρέψη των φυτών. Τα κατιόντα που προσροφούνται από τα κολλοειδή του εδάφους, ονομάζονται *ανταλλάξιμα* ή *εναλλακτικά κατιόντα*, τα οποία υπερτερούν κατά πολύ ποσοτικά των αντίστοιχων του εδαφικού διαλύματος και γι' αυτό χαρακτηρίζονται σαν “εφεδρείες” που κινητοποιούνται για να αναπληρώσουν τις απώλειες του εδαφικού διαλύματος. Επιπλέον, η ικανότητα της στερεής φάσης να συγκρατεί διάφορα κατιόντα έχει σαν συνέπεια την παρεμπόδιση της έκπλυσής τους και, επομένως, της απώλειάς τους με το νερό της βροχής.

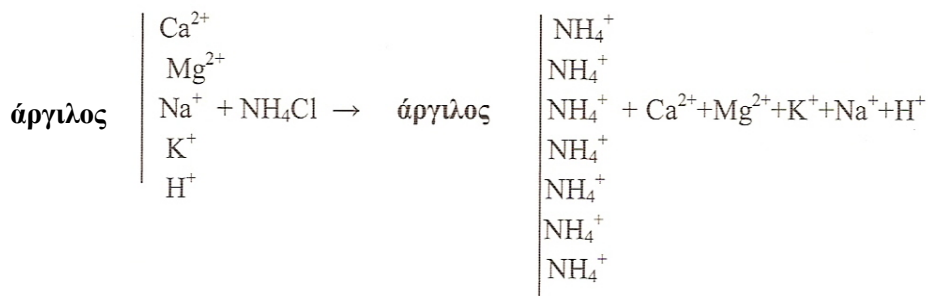
Η ικανότητα του εδάφους να προσροφά και να ανταλλάσει κατιόντα ονομάζεται, όπως προαναφέρθηκε, *Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων* (I.A.K.). Με άλλη διατύπωση, η I.A.K. ορίζεται ως το άθροισμα των θετικών φορτίων (+) των κατιόντων τα οποία μπορεί ένα έδαφος να προσροφήσει σε μία δεδομένη τιμή pH. Έτσι, κάθε προσροφημένο μονοσθενές κατιόν (π.χ. K^+) συμβάλλει με ένα θετικό (+) φορτίο στη συνολική I.A.K., κάθε προσροφημένο δισθενές κατιόν (π.χ. Ca^{2+}) συμβάλλει με δύο θετικά φορτία στη συνολική I.A.K., κ.ο.κ. Σε αντιστοιχία με τον προηγούμενο ορισμό, η I.A.K. αναφέρεται πάντα σε συγκεκριμένη τιμή pH (συνήθως σε pH = 7 ή 8,2). Η έκφραση της I.A.K. σε $cmol_c/kg$ είναι αριθμητικά ισοδύναμη με τη μονάδα $meq/100g$ ($meq =$ χιλιοστογραμμοϊσοδύναμο) που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα.

Η άμμος και η ιλύς έχουν ασήμαντη συνεισφορά στη συνολική I.A.K. του

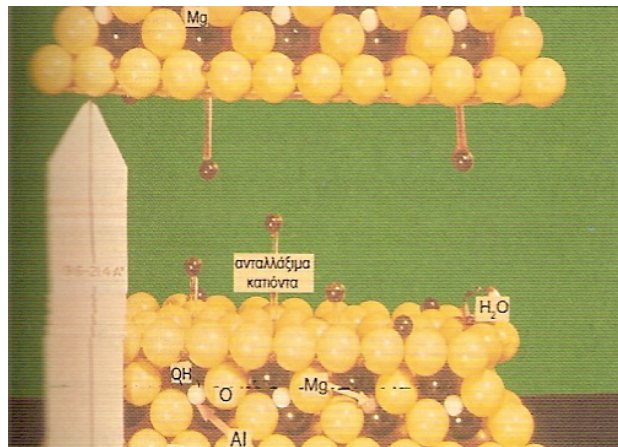
εδάφους. Έτσι, η I.A.K. ενός εδάφους εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό και την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου (παρ. 1.2) και το βαθμό διάσπασης της οργανικής ουσίας.

Εκτός από την προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων, αντίστοιχη διαδικασία, αλλά με πολύ μικρότερη ένταση, παρατηρείται και με την προσρόφηση και ανταλλαγή ανιόντων, όπως είναι τα Cl^- , NO_3^- και SO_4^{2-} .

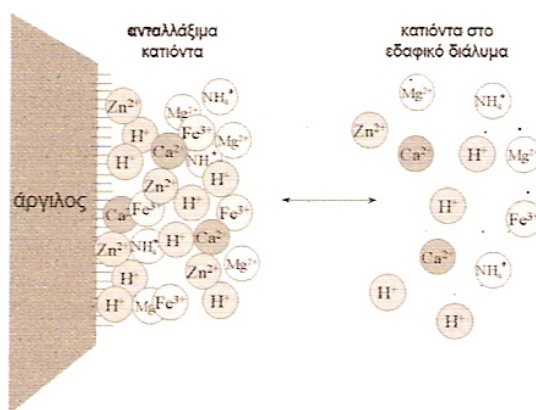
Το φαινόμενο της προσρόφησης και ανταλλαγής κατιόντων παρουσιάζεται στα σχήματα 9, 10 και 11.



Σχήμα 9. Ανταλλαγή κατιόντων στην άργιλο
(Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)



Σχήμα 10. Ανταλλάξιμα κατιόντα στον ενδοκρυσταλλικό χώρο
(Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)



Σχήμα 11. Διαδικασία ανταλλαγής κατιόντων
(Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)

Η ανταλλαγή κατιόντων του εδάφους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των ανιόντων, διότι τα ορυκτά της αργίλου φέρουν κυρίως αρνητικό φορτίο. Τα κυριότερα κατιόντα και ανιόντα του εδάφους που βρίσκονται υπό ανταλλάξιμη μορφή δίνονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Κυριότερα κατιόντα και ανιόντα που βρίσκονται προσροφημένα στα κolloειδή του εδάφους (Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)

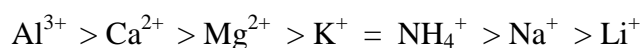
Κατιόντα		Ανιόντα	
NH_4^+	θρεπτικό στοιχείο	$B(OH)_4^-$	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό
Al^{3+}	τοξικό για τα φυτά	HCO_3^-	τοξικό σε αλκαλικά εδάφη
Ca^{2+}	θρεπτικό στοιχείο	CO_3^{2-}	σχηματίζει ασθενές οξύ
Mg^{2+}	θρεπτικό στοιχείο	CrO_4^{2-}	τοξικό
Mn^{2+}	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό	Cl^-	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό
Cu^{2+}	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό	F^-	τοξικό
K^+	θρεπτικό στοιχείο	OH^-	προκαλεί την αλκαλικότητα
Na^+	καταστρέφει τη δομή	NO_3^-	θρεπτικό στοιχείο
Si^{2+}	ραδιενεργό	MoO_4^{2-}	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό
Zn^{2+}	θρεπτικό στοιχείο, τοξικό	HPO_4^{2-}	θρεπτικό στοιχείο
H^+	προκαλεί την οξύτητα	$H_2PO_4^-$	θρεπτικό στοιχείο
Cd^{2+}	τοξικό στοιχείο		
Cs^+	ραδιενεργό		
Fe^{2+}	θρεπτικό στοιχείο		
Ni	τοξικό για τα φυτά		

Η ανταλλαγή των κατιόντων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- ✓ το σθένος,
- ✓ το μέγεθος των προσροφημένων κατιόντων,
- ✓ το μέγεθος του ενυδατώματος,
- ✓ τη φύση του κολλοειδούς,
- ✓ τη συγκέντρωση των κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα και
- ✓ το είδος των ανταλλάξιμων κατιόντων.

Σθένος

Σύμφωνα με τον κανόνα του Schulze, τα τρισθενή κατιόντα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, προσροφούνται ισχυρότερα από τα δισθενή και τα δισθενή ισχυρότερα από τα μονοθενή. Η προσρόφηση των ιόντων, ανάλογα με την ένταση προσρόφησης, ακολουθεί τη σειρά:



Μέγεθος ενυδατώματος

Εκτός από το σθένος, το μέγεθος του ενυδατώματος επιδρά στη δύναμη προσρόφησης. Η σειρά προσρόφησης των κατιόντων, ανάλογα με το ενυδάτωμά τους, ακολουθεί τη σειρά:



Το μέγεθος του ενυδατώματος έχει άμεση σχέση με το μέγεθος του κατιόντος.

Φύση του κολλοειδούς

Η I.A.K. στα διάφορα ορυκτά της αργίλου κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων (παρ. 1.2). Η άργιλος που σχηματίζεται κάτω από ήπιες συνθήκες αποσάθρωσης παρουσιάζει μεγάλη I.A.K., επειδή κάτω από αυτές τις συνθήκες σχηματίζονται σμεκτίτες και βερμικουλίτης, δηλαδή ορυκτά του τύπου 2:1. Αντίθετα, όταν επικρατούν συνθήκες έντονης αποσάθρωσης σχηματίζονται ορυκτά της ομάδας του καολινίτη ή οξείδια και υδροξείδια του αργιλίου και σιδήρου τα οποία έχουν μικρή I.A.K.. Το αντίθετο παρατηρείται στην προσρόφηση ανιόντων, δηλαδή όσο αυξάνεται η ένταση της αποσάθρωσης όσο αυξάνεται η προσρόφηση ανιόντων.

1.4. Προσδιορισμός της Ι.Α.Κ.

Ο προσδιορισμός της Ι.Α.Κ. προϋποθέτει μία διεργασία αντικατάστασης των προσροφημένων στα κolloειδή του εδάφους ιόντων, με εκχύλιση. Για τον προσδιορισμό της Ι.Α.Κ. χρησιμοποιούνται διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα τα οποία συνήθως είναι διαλύματα αλάτων του οξικού οξέος (CH_3COOH) με διάφορες τιμές pH. Η τιμή του pH του εκχυλιστικού διαλύματος επηρεάζει την Ι.Α.Κ. γιατί επιδρά στα ηλεκτρικά φορτία της αργίλου.

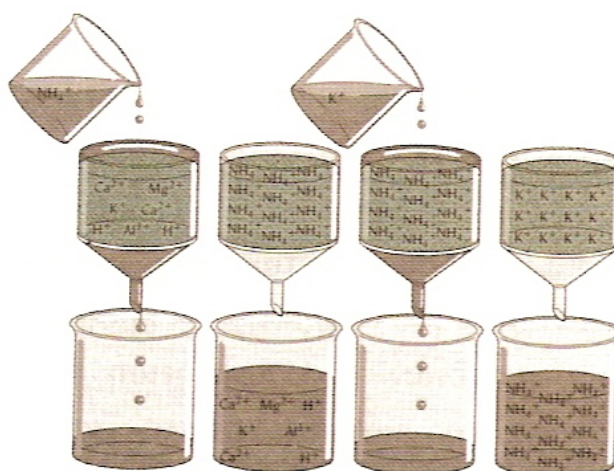
Τα εκχυλιστικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται περισσότερο για τον προσδιορισμό της Ι.Α.Κ. είναι :

το οξικό αμμώνιο ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) pH 7, pH 9

το οξικό νάτριο (CH_3COONa) pH 8,2

Στο Σχήμα 12 δίνεται παραστατικά μία συνήθης διαδικασία προσδιορισμού της Ι.Α.Κ. ενός εδάφους. Στη διαδικασία αυτή περιλαμβάνονται τα στάδια:

1. *εκχύλιση* μιας ορισμένης ποσότητας εδάφους με $\text{CH}_3\text{COONH}_4$,
2. *απομάκρυνση* της περίσσειας του NH_4^+ με ακετόνη,
3. *αντικατάσταση* του προσροφηθέντος από τα κolloειδή του εδάφους NH_4^+ με άλλα κατιόντα (συνήθως Na^+) με νέα εκχύλιση και
4. *προσδιορισμός* της ποσότητας του εκχυλισθέντος NH_4^+ το οποίο και αντιπροσωπεύει την Ι.Α.Κ.



Σχήμα 12. Διαδικασία αντικατάστασης των προσροφημένων κατιόντων με σκοπό τον υπολογισμό της Ι.Α.Κ. (Πηγή: Αλιφραγκής, 2008)

1.5. Μοντέλα εκτίμησης της I.A.K.

Επειδή η I.A.K. συσχετίζεται σημαντικά με φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών όπως προαναφέρθηκε, οι τιμές της μπορούν να “εκτιμηθούν” εμπειρικά στα περισσότερα ανόργανα κυρίως εδάφη σύμφωνα με διάφορους τύπους (μοντέλα). Παρατίθενται παρακάτω ορισμένοι τρόποι εκτίμησης της I.A.K. από τη βιβλιογραφία (Γκέρτσης, 2011):

Μοντέλο 1. (Σιμώνης, 1998):

$$\text{CEC (cmol}_c\text{/kg)} = [\text{Clay, \%} * \text{CEC}_{\text{clay}}] + [\text{SOM, \%} * \text{CEC}_{\text{SOM}}] * 0,01$$

όπου:

Clay, % = Άργιλος, %

SOM,% = Οργανική Ουσία Εδάφους, %

CEC_{clay} = η μέση τιμή I.A.K. για την άργιλο (50 cmol_c/kg) και

CEC_{SOM} = η μέση τιμή I.A.K. για την οργανική ουσία (200 cmol_c/kg).

Το παραπάνω μοντέλο σε μια απλοποιημένη μορφή του είναι η εξής:

$$\text{CEC (cmol}_c\text{/kg)} = [\text{Clay, \%} * 0,5] + [\text{SOM, \%} * 2]$$

Μοντέλο 2. Μια άλλη εμπειρική προσέγγιση δίνεται από τον τύπο (Foth and Ellis, 1997):

$$\text{CEC (cmol}_c\text{/kg)} = 3,2 + (3,67 * \text{OC, \%}) + (0,196 * \text{Clay, \%})$$

όπου:

Clay, % = Άργιλος, % και

OC,% = Οργανικός Άνθρακας Εδάφους,%

Η παραπάνω εξίσωση εξηγεί κατά 55% την I.A.K. που προέρχεται από τον οργανικό C και την άργιλο. Η μέση τιμή της I.A.K. του οργανικού άνθρακα εκτιμάται ότι είναι 367 cmol_c/kg και η μέση της αργίλου 19,6 cmol_c/kg. Η οργανική ουσία θεωρείται ότι περιέχει 58% άνθρακα και, έτσι, η μέση τιμή της I.A.K. για την οργανική ουσία είναι περίπου 212 cmol_c/kg.

Μοντέλο 3. Ο εμπειρικός αυτός τύπος συσχετίζει την I.A.K. μόνο με την άργιλο (Soil Carbon Manager ®- Μοντέλο προσομοίωσης της οργανικής ουσίας και άνθρακα του εδάφους).

$$\text{CEC (cmol}_l\text{/kg)} = [(11,64 * \text{Clay, \%}) - 51,3] / 10$$

Η χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ των τριών μοντέλων είναι ότι το Μοντέλο 3 (SCM) υπολογίζει την I.A.K. μόνο απ το ποσοστό της αργίλου (και άλλες εσωτερικές παραμέτρους και αλγόριθμους), ενώ τα άλλα δύο το συνυπολογίζουν και με το ποσοστό της οργανική ουσίας.

Από πειραματικά δεδομένα έχει αποδειχθεί ότι το μοντέλο SCM προσομοιώνει πιο ρεαλιστικά την I.A.K. για υψηλές τιμές αργίλου (> 25%), γεγονός που δεν παρουσιάζεται στα άλλα δύο μοντέλα. Στα μοντέλα των Foth and Ellis και του Σιμώνη, η I.A.K., για υψηλές τιμές αργίλου, δεν μεταβάλλεται γραμμικά, όπως το μοντέλο SCM.

1.6. Οικολογική σημασία της I.A.K.

Η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων θεωρείται ως μία από τις σπουδαιότερες χημικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς λόγω αυτής τα θρεπτικά στοιχεία συγκρατούνται στο έδαφος και δεν εκπλύνονται, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους από τα φυτά. Δηλαδή, τα κολλοειδή του εδάφους δρουν ως αποθήκη στην οποία παραμένουν τα θρεπτικά στοιχεία έως ότου αυτά προσληφθούν από τις ρίζες των φυτών.

Η I.A.K., καθώς και το είδος των προσροφημένων από τα κολλοειδή του εδάφους κατιόντων, επηρεάζουν την κατάσταση γονιμότητας του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η I.A.K. τόσο γονιμότερο είναι το έδαφος. Επίσης, η I.A.K. καθορίζει την ποσότητα και την ασφάλεια της λίπανσης. Για παράδειγμα, στα εδάφη που παρουσιάζουν μικρή I.A.K., όπως συμβαίνει στα αμμώδη πτωχά σε οργανική ουσία εδάφη, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων, γιατί αυτά είτε βλάπτουν την καλλιέργεια, είτε εκπλύνονται. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η λίπανση πρέπει να γίνεται με μικρές ποσότητες λιπάσματος και ανά συχνότερα διαστήματα. Αντίθετα, όταν η I.A.K. είναι μεγάλη, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα πλούσια σε μοντμοριλονιτική άργιλο εδάφη, η λίπανση μπορεί να γίνεται με

μεγάλες ποσότητες λιπάσματος χωρίς να κινδυνεύει αυτό να εκπλυθεί.

Η I.A.K. επηρεάζει και την αντίσταση των εδαφών στα όξινα κατακρημνίσματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η I.A.K., τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση των εδαφών στη μεταβολή της οξύτητάς τους. Παράλληλα, η I.A.K. επηρεάζει την ποσότητα του Ca^{2+} που απαιτείται για τη μείωση της οξύτητας στα όξινα εδάφη, καθώς και την ποσότητα του θείου (S) που απαιτείται για τη μείωση της αλκαλικότητας του εδάφους.

Η I.A.K. των εδαφών της χώρας μας κυμαίνεται από 10 έως 40 cmol_c/kg , ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις, αυτή υπερβαίνει τα 50 cmol_c/kg .

Μία κατάταξη των εδαφών σύμφωνα με την I.A.K. τους, δίνεται από τον Μήτσιο (1999):

Χαρακτηρισμός I.A.K. εδάφους	I.A.K. (cmol_c/kg)
Πολύ χαμηλή	< 6
Χαμηλή	6 - 12
Μέση	13 - 25
Υψηλή	26 - 40
Πολύ υψηλή	> 40

1.7. Σκοπός

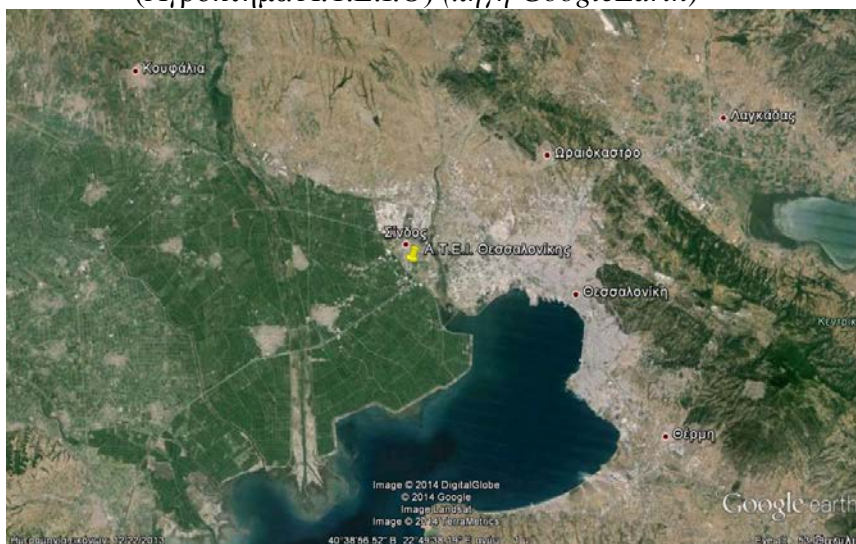
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει και να συγκρίνει τις εργαστηριακά μετρούμενες, με τη μέθοδο του οξικού νατρίου – οξικού αμμωνίου, τιμές I.A.K. με τις αντίστοιχες τιμές που δίνουν τα τρία προαναφερόμενα μοντέλα εκτίμησής της, σε αμμώδη και πηλώδη εδάφη, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν και σε πιο βαθμό οι εκτιμώμενες με τα διάφορα μοντέλα τιμές προσεγγίζουν τις εργαστηριακές.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

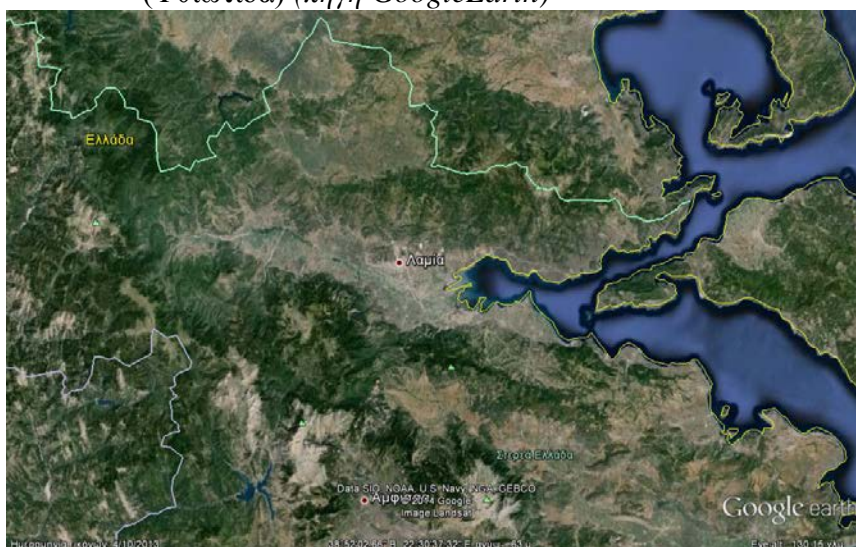
2.1. Περιοχές μελέτης και δειγματοληψίας εδάφους

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από δύο περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, 20 εδαφικά δείγματα αμμώδους μηχανικής σύστασης ελήφθησαν από το αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης (Εικόνα 1), ενώ 19 δείγματα πηλώδους σύστασης ελήφθησαν από αγροτεμάχια με καλλιέργεια ακτινιδίων από περιοχές της Φθιώτιδος (Εικόνα 2).

Εικόνα 1. Περιοχή δειγματοληψίας αμμωδών εδαφών (Αγρόκτημα Α.Τ.Ε.Ι.Θ) (πηγή GoogleEarth)



Εικόνα 2. Ευρύτερη περιοχή δειγματοληψίας πηλωδών εδαφών (Φθιώτιδα) (πηγή GoogleEarth)



2.2. Αναλύσεις προσδιορισμού μηχανικής σύστασης, οργανικής ουσίας και I.A.K.

Τα διαταραγμένα δείγματα μετά την αεροζήρανση στο εργαστήριο, λειοτριβήθηκαν και περάστηκαν από κόσκινο με διάμετρο οπών 2 mm. Στο κλάσμα <2 mm πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες αναλύσεις:

A) Η κατανομή μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων (κοκκομετρική σύσταση) προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του πυκνομέτρου (Bouyoukos, 1962) και ως διαμεριστικό χρησιμοποιήθηκε το μεταφωσφορικό νάτριο. Πιο συγκεκριμένα:

Ποσότητα εδάφους 50 g (ή 100 g όταν το έδαφος είναι αμμόδες) ζυγίζεται και μεταφέρεται στον υποδοχέα (μεταλλικό ποτήρι) του mixer. Προστίθενται 10 mL διαλύματος $(\text{NaPO}_3)_6$ και ≈ 200 mL H_2O με τον ογκομετρικό κύλινδρο και γίνεται ανάδευση του αιωρήματος στο mixer για 5 min (χημικός και μηχανικός διαμερισμός). Κατόπιν, το εδαφικό αιώρημα μεταφέρεται στον κύλινδρο της μηχανικής ανάλυσης και προστίθεται H_2O μέχρι το 1 L. Το αιώρημα αναδεύεται καλά με μεταλλική ράβδο ώστε να γίνει ομοιογενές σ' όλο το ύψος του κυλίνδρου. Μετά το τέλος της ανάδευσης, σε ≈ 20 sec τοποθετείται το πυκνόμετρο με προσοχή μέσα στο αιώρημα και σε 40 sec από το τέλος της ανάδευσης διαβάζεται και σημειώνεται η ένδειξη του πυκνόμετρου, στο σημείο που η επιφάνεια του αιωρήματος τέμνει το πυκνόμετρο. Η 1^η ένδειξη αντιστοιχεί στην πυκνότητα του αιωρήματος που οφείλεται στην ιλύ και στην άργιλο και εκφράζει g (ιλύος + αργίλου) / L. Μετά τη λήψη της 1^{ης} ένδειξης του πυκνόμετρου, αφαιρείται το πυκνόμετρο, μετράται η θερμοκρασία του αιωρήματος με το θερμόμετρο και το αιώρημα μένει σε ηρεμία. Στη συνέχεια, 2 ώρες (h) μετά το τέλος της ανάδευσης, τοποθετείται πάλι το πυκνόμετρο με προσοχή μέσα στο αιώρημα και λαμβάνεται η 2^η ένδειξη του πυκνόμετρου που οφείλεται στην άργιλο και εκφράζει g αργίλου / L. Μετά τη λήψη της 2^{ης} ένδειξης, αφαιρείται το πυκνόμετρο και μετράται πάλι η θερμοκρασία του αιωρήματος με το θερμόμετρο.

Επειδή η πυκνότητα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία (θ) και το πυκνόμετρο είναι βαθμολογημένο στους 20 °C, οι δύο ενδείξεις πυκνότητας του αιωρήματος πρέπει να διορθωθούν (ένδειξη $\pm \Delta\theta$, όπου $\Delta\theta$ = διόρθωση θερμοκρασίας) με την παρακάτω εμπειρική μέθοδο, αν η θερμοκρασία του αιωρήματος είναι διαφορετική από τους 20 °C.

Συγκεκριμένα, αν $\theta = 20$ °C, τότε η ανάγνωση του πυκνομέτρου παραμένει η ίδια.

Αν $\theta > 20$ °C, τότε για κάθε επιπλέον 0,5 °C προστίθενται 0,2 g/L στην ανάγνωση του

πυκνόμετρου.

Αν $\theta < 20$ °C, τότε για κάθε 0,5 °C αφαιρούνται 0,2 g/L από την ανάγνωση του πυκνόμετρου.

Με βάση τα παραπάνω, ο υπολογισμός της % κ.β. περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο δίνεται από τις σχέσεις:

$$\underline{\text{Άμμος (\%) + Ιλύς (\%) + Άργιλος (\%) = 100 \%}} \quad (1)$$

$$[(1^{\text{η}} \text{ ανάγνωση πυκνόμετρου}) \pm \Delta\theta] \times 2 = \text{Ιλύς + Άργιλος (\%)} \quad (2)$$

$$100 - (\text{Ιλύς + Άργιλος, \%}) = \underline{\text{Άμμος (\%)}} \quad (3)$$

$$[(2^{\text{η}} \text{ ανάγνωση πυκνόμετρου}) \pm \Delta\theta] \times 2 = \underline{\text{Άργιλος (\%)}} \quad (4)$$

$$(\text{Ιλύς + Άργιλος, \%}) - (\text{Άργιλος, \%}) = \underline{\text{Ιλύς (\%)}} \quad (5)$$

Αν η ανάλυση γίνει με 100 g εδάφους, τότε από τις σχέσεις (2) και (4) παραλείπεται ο πολλαπλασιασμός επί 2.

B) Ο οργανικός C προσδιορίστηκε ογκομετρικά με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης (Nelson and Sommers, 1982). Πιο συγκεκριμένα:

Ποσότητα εδάφους ≈ 1 g ζυγίζεται και μεταφέρεται στην κωνική φιάλη. Προστίθενται 10 mL διαλύματος $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N με την προχοΐδα και ακολουθεί ήπια ανάδευση με περιστροφική κίνηση, ώστε να διαβραχεί το έδαφος (αλλά όχι τα τοιχώματα της φιάλης). Ακολουθεί προσθήκη 20 mL πυκνού H_2SO_4 και νέα ανάδευση για 1 min περίπου στην απαγωγό εστία. Στη συνέχεια, η φιάλη παραμένει σε ηρεμία 30 min, ώστε να οξειδωθεί ο C της οργανικής ουσίας. Μετά το τέλος των 30 min, προστίθενται στην κωνική φιάλη ≈ 200 mL H_2O με τον ογκομετρικό κύλινδρο, 10 mL πυκνού φωσφορικού οξέως (H_3PO_4) και 1 – 2 mL δείκτη διφαινυλαμίνης, ώστε το εδαφικό αιώρημα να αποκτήσει χρώμα σκούρο μπλε. Ακολουθεί, με τη βοήθεια της προχοΐδας, ογκομέτρηση της περισσειας $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ που δεν έλαβε μέρος στην οξείδωση του C, με διάλυμα FeSO_4 0,5 N. Η ογκομέτρηση σταματά (τελικό σημείο της αντίδρασης) τη στιγμή κατά την οποία το χρώμα του αιωρήματος αλλάζει από σκούρο μπλε σε σκούρο πράσινο.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται χωρίς έδαφος (λευκός προσδιορισμός) για να υπολογιστεί η κανονικότητα του διαλύματος FeSO_4 , η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο.

Στο τέλος των δύο ογκομετρήσεων, σημειώνονται οι όγκοι V και V_0 (mL) του διαλύματος FeSO_4 0,5 N, που καταναλώνονται για το δείγμα και το λευκό,

αντίστοιχα.

Η % κ.β. περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό C υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Οργανικός C (\% κ.β.)} = \frac{10 (\text{mL}) \times [V_0 (\text{mL}) - V (\text{mL})] \times 0,003 \times 100 (\text{g}) \times f}{V_0 (\text{mL}) \times W (\text{g})}$$

όπου:

10 = ο όγκος (mL) του διαλύματος $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N

V_0 = ο όγκος (mL) του διαλύματος FeSO_4 0,5 N που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του λευκού,

V = ο όγκος (mL) του διαλύματος FeSO_4 0,5 N που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του δείγματος,

W = το βάρος (g) του εδάφους,

0,003 = συντελεστής μετατροπής 1 mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N σε 1 g C,

f = 1,3 είναι ο συντελεστής που αφορά στο ποσοστό του C που οξειδώθηκε.

Σύμφωνα με τη μέθοδο, μόνο το 77% (κατά μέσο όρο) του C οξειδώνεται.

Η % κ.β. περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Οργανική Ουσία (\% κ.β.)} = \text{Οργανικός C (\% κ.β.)} \times 1,724$$

όπου 1,724 είναι ο συντελεστής μετατροπής του οργανικού C σε οργανική ουσία, καθώς ο οργανικός C αποτελεί το 58% (κατά μέσο όρο) της οργανικής ουσίας των καλλιεργούμενων εδαφών. Ο συντελεστής αυτός αλλάζει ανάλογα με το είδος της οργανικής ουσίας.

Γ) Η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ ή CEC) μετρήθηκε με τη μέθοδο του οξικού νατρίου (CH_3COONa) 1N, pH 8,2 – οξικού αμμωνίου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N, pH 7.

Το μέγεθος του συνολικού αρνητικού φορτίου του εδάφους που χαρακτηρίζει την Ι.Α.Κ. του, προσδιορίζεται συνήθως με κορεσμό του εδάφους με ένα συγκεκριμένο κατιόν, το οποίο στην συνέχεια αντικαθιστάται από ένα άλλο κατιόν (αποκορεσμός), συλλέγεται και προσδιορίζεται. Η συγκέντρωση του κατιόντος κορεσμού εκφράζει την Ι.Α.Κ. του εδάφους. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που

προτείνουν διάφορα διαλύματα για τον κορεσμό και αποκορεσμό του εδάφους. Στη συγκεκριμένη μέθοδο για τον αποκορεσμό χρησιμοποιείται διάλυμα οξικού αμμωνίου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N, pH 7. Δηλαδή, το κατιόν κορεσμού είναι το Na^+ , το οποίο μετά από ανταλλαγή με το NH_4^+ , συλλέγεται και προσδιορίζεται. Πιο συγκεκριμένα:

Ποσότητα εδάφους $2,5 \pm 0,01$ g ζυγίζεται, μεταφέρεται σε σωλήνα φυγοκέντρωσης και προστίθενται 30 mL διαλύματος CH_3COONa , 1N, pH 8,2 με τον ογκομετρικό κύλινδρο. Ο σωλήνας πωματίζεται, ανακινείται 5 min, φυγοκεντρείται και το υπερκείμενο διαυγές υγρό αποχύνεται στο νιπτήρα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δυο φορές (3 φορές συνολικά) χρησιμοποιώντας το ίδιο εδαφικό δείγμα (κορεσμός). Στη συνέχεια, προστίθενται στο σωλήνα φυγοκέντρωσης 30 mL υδατικού διαλύματος ακετόνης 80% v/v, με τον ογκομετρικό κύλινδρο. Ο σωλήνας πωματίζεται, ανακινείται 5 min, φυγοκεντρείται και το υπερκείμενο διαυγές υγρό αποχύνεται στο νιπτήρα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές (3 φορές συνολικά) χρησιμοποιώντας το ίδιο δείγμα (έκπλυση). Τέλος, στο σωλήνα φυγοκέντρωσης προστίθενται 30 mL διαλύματος $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N, pH 7, με τον ογκομετρικό κύλινδρο. Ο σωλήνας πωματίζεται, ανακινείται 5 min, φυγοκεντρείται και το υπερκείμενο διαυγές υγρό συλλέγεται στην ογκομετρική φιάλη των 100 mL, με τη βοήθεια χωνιού και διηθητικού χαρτιού. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές (3 φορές συνολικά) χρησιμοποιώντας το ίδιο εδαφικό δείγμα (αποκορεσμός). Μετά την τρίτη εκχύλιση, η ογκομετρική φιάλη συμπληρώνεται μέχρι την χαραγή με H_2O και στο εκχύλισμα προσδιορίζεται το νάτριο (Na) με το φλογοφωτόμετρο, η δε συγκέντρωσή του δίνεται σε ppm (ή $\text{mg/L} = \mu\text{g/mL}$, σύμφωνα με το SI).

Η μετατροπή της συγκέντρωσης του Na σε meq/100g (ή cmol_c/kg εδάφους, σύμφωνα με το SI), η οποία είναι η I.A.K του εδάφους, δίνεται από τον τύπο:

$$[\text{IAK}] (\text{meq}/100\text{g}) = \frac{C(\text{mg}/\text{L}) \times V(\text{mL}) \times 100(\text{g})}{W(\text{g}) \times 1000 \times \text{XI}(\text{g})}$$

όπου :

C = η συγκέντρωση του Na στο εκχύλισμα (ppm),

V = ο όγκος του εκχυλίσματος (mL),

W = το βάρος του εδάφους (g),

XI = το βάρος του χημικού ισοδύναμου του Na (23g)

Στον προηγούμενο τύπο αντικαθιστώντας τις μεταβλητές V με 100 mL, W με 2,5 g και απλοποιώντας, προκύπτει ο τύπος:

$$[\text{IAK}] (\text{meq}/100\text{g}) = \frac{C(\text{mg}/\text{L}) \times 4}{\text{XI}(\text{g})}$$

Υπενθυμίζεται ότι στους υπολογισμούς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τυχόν αραίωση, η οποία δεν περιλαμβάνεται στους παραπάνω τύπους.

2.3. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς και η παραγωγή των διαγραμμάτων έγινε με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel και του στατιστικού προγράμματος JMP-8. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε 2 επαναλήψεις.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Γενικά

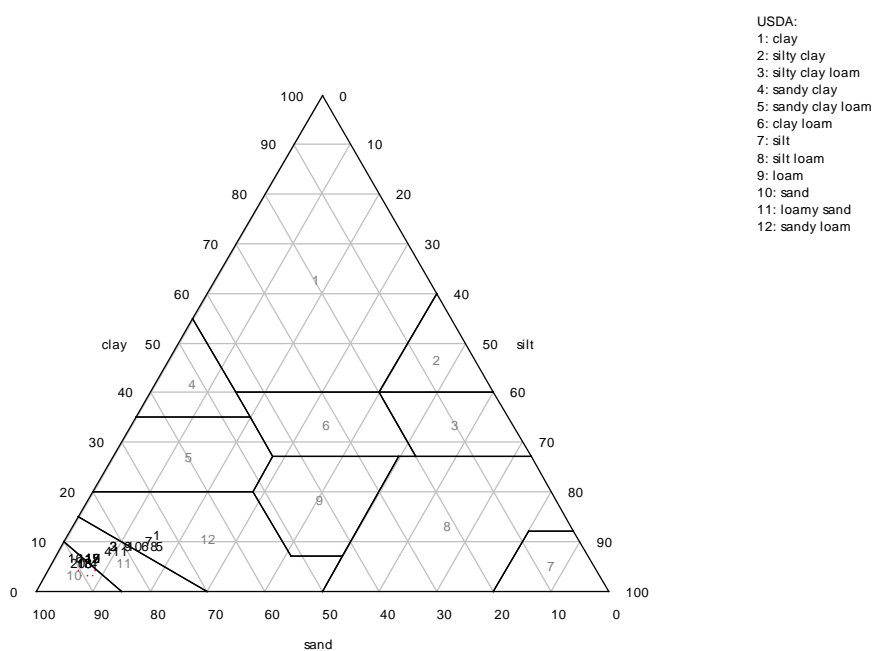
Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων σε 20 εδαφικά δείγματα από το Αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

Πίνακας 3.1. Μηχανική σύσταση, οργανικός C, οργανική ουσία και Ι.Α.Κ. των εδαφικών δειγμάτων από το αγρόκτημα του Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

α/α	Άμμος (%)	Ίλύς (%)	Αργίλος (%)	Κατάταξη	OC (%)	SOM (%)	Ι.Α.Κ. (cmol/kg)
1	74,5	17	8,5	SL	0,157	0,27	8,03
2	83	10,5	6,5	LS	0,389	0,67	5,42
3	83	10,5	6,5	LS	0,348	0,60	6,04
4	84,5	10	5,5	LS	0,273	0,47	4,38
5	75	18,5	6,5	SL	0,586	1,01	9,46
6	77,5	16	6,5	LS	0,389	0,67	7,35
7	76,5	16	7,5	SL	0,389	0,67	7,81
8	76	17,5	6,5	SL	0,284	0,49	7,74
9	80,5	13	6,5	LS	0,157	0,27	5,76
10	79,5	14	6,5	LS	0,348	0,60	6,86
11	82,5	12	5,5	LS	0,313	0,54	5,65
12	88	8	4	S	0,273	0,47	4,44
13	90	7	3	S	0,017	0,03	4,00
14	89	8	3	S	0,273	0,47	7,18
15	88	8	4	S	0,017	0,03	5,07
16	91	5	4	S	0,041	0,07	4,09
17	88	8	4	S	0,041	0,07	3,80
18	90	7	3	S	0,041	0,07	3,96
19	88	8	4	S	0,157	0,27	3,68
20	91	6	3	S	0,058	0,10	2,63

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι όλα σχεδόν τα εδάφη είναι αμμώδη (LS, S) με εξαίρεση τέσσερα δείγματα που ανήκουν μεν οριακά στα αμμοπηλώδη (SL), αλλά τα εντάσσουμε στην ευρύτερη ομάδα των αμμοδών εδαφών λόγω των πολύ υψηλών ποσοστών άμμου και των πολύ χαμηλών ποσοστών αργίλου (<10%) που περιέχουν (Διάγραμμα 1). Η οριακή ταξινόμησή τους στην κατηγορία SL οφείλεται στην ελαφρώς υψηλότερη περιεκτικότητά τους σε ιλύ σε σχέση με τα υπόλοιπα εδάφη της περιοχής αυτής. Σε αυτά τα εδάφη οι τιμές αργίλου

κυμαίνονται από 3% έως 8,5% ($5,2 \pm 1,7$). Ο οργανικός C (OC) κυμαίνεται από 0,017% έως 0,586% ($0,228 \pm 0,16$), ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών της οργανικής ουσίας (SOM) είναι από 0,03% έως 1,01% ($0,39 \pm 0,28$). Τα ποσοστά, επομένως, της οργανικής ουσίας είναι <1% σχεδόν για το σύνολο των εδαφών. Οι τιμές I.A.K κυμαίνονται από 2,63 cmol/kg έως 9,46 cmol/kg ($5,67 \pm 1,84$). Οι χαμηλές τιμές I.A.K. οφείλονται στα μικρά ποσοστά τόσο της αργίλου, όσο και της οργανικής ουσίας.



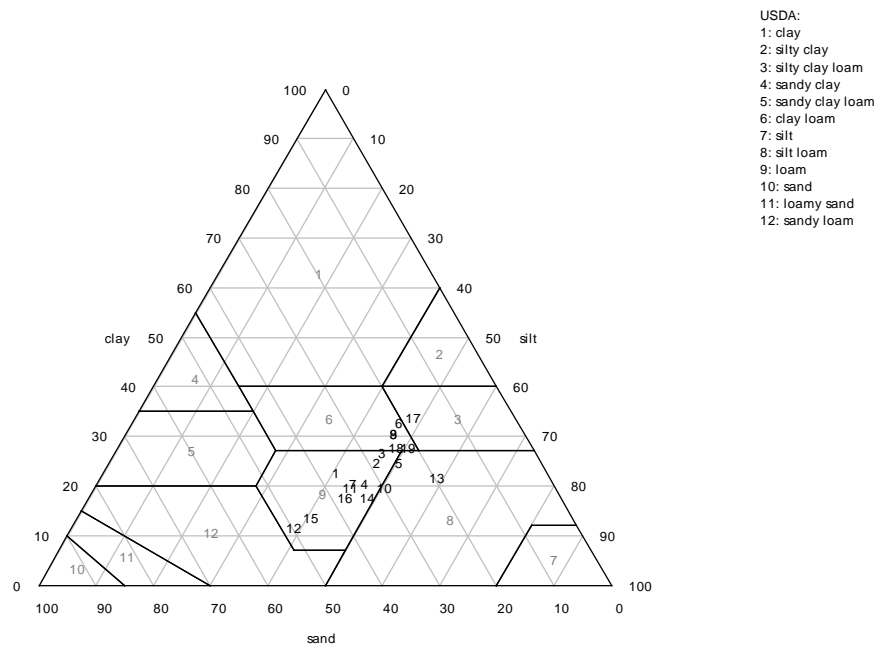
Διάγραμμα 1. Κατάταξη εδαφών από την περιοχή του αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε 19 εδαφικά δείγματα από την περιοχή Φθιώτιδας.

Πίνακας 3.2. Μηχανική σύσταση, οργανικός C, οργανική ουσία και I.A.K. των εδαφικών δειγμάτων από την περιοχή της Φθιώτιδας.

α/α	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Αργίλος (%)	Κατάταξη	OC (%)	SOM (%)	I.A.K. (cmol/kg)
1	38	42	20	L	0,643	1,11	12,73
2	30	48	22	L	1,065	1,84	16,16
3	28	48	24	L	0,583	1,01	16,54
4	34	48	18	L	0,623	1,07	20,60
5	26	52	22	SiL	0,603	1,04	26,66
6	22	48	30	CL	0,764	1,32	29,34
7	36	46	18	L	0,925	1,59	16,16
8	24	48	28	CL	1,065	1,84	16,76
9	24	48	28	CL	0,724	1,25	17,27
10	31	52	17	SiL	1,005	1,73	15,88
11	37	46	17	L	0,925	1,59	14,89
12	51	40	9	L	1,186	2,04	12,79
13	21	60	19	SiL	0,885	1,52	16,35
14	35	50	15	SiL	0,523	0,90	13,86
15	47	42	11	L	0,784	1,35	14,11
16	39	46	15	L	0,844	1,46	15,83
17	19	50	31	SiCL	0,945	1,63	29,00
18	25	50	25	SiL	0,945	1,63	24,23
19	23	52	25	SiL	0,724	1,25	19,90

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα και το Διάγραμμα 2, όλα τα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία των πηλωδών εδαφών (L, SiL, CL, SiCL) με τις τιμές αργίλου να κυμαίνονται από 9% έως 31% ($20,7 \pm 6,2$). Ο οργανικός C (OC) κυμαίνεται από 0,523% έως 1,186% ($0,830 \pm 0,187$), ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών της οργανικής ουσίας (SOM) είναι από 0,90% έως 2,04% ($1,43 \pm 0,322$). Τα ποσοστά, επομένως, της οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 1 έως 2% σχεδόν για το σύνολο των εδαφών. Οι τιμές I.A.K κυμαίνονται από 12,73 cmol/kg έως 29,34 cmol/kg ($18,51 \pm 5,1$).

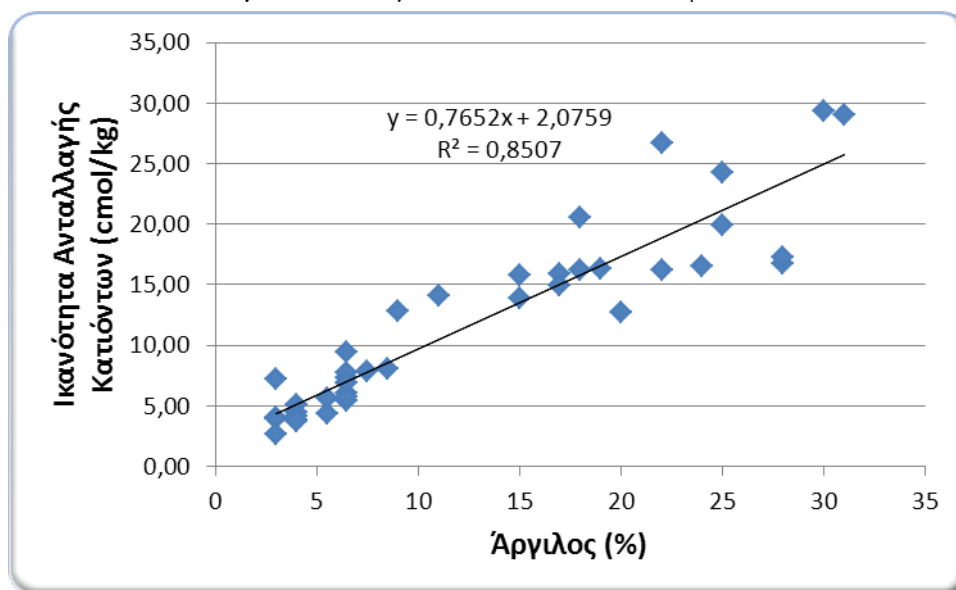


Διάγραμμα 2. Κατάταξη εδαφών από την περιοχή Φθιώτιδας.

3.2. Σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο και της I.A.K.

Μία πρώτη διερεύνηση είναι η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο και των αντίστοιχων τιμών I.A.K., για το σύνολο των εδαφών (αμμώδη και πηλώδη). Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.

Διάγραμμα 3. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης αργίλου και μετρούμενων τιμών I.A.K. για το σύνολο των εδαφών.



Linear Fit

$$\text{I.A.K. (cmol/kg)} = 2,0758536 + 0,765199 \cdot \text{Άργιλος (\%)}$$

Summary of Fit

RSquare	0,850702
RSquare Adj	0,846667
Root Mean Square Error	2,92991
Mean of Response	11,85667
Observations (or Sum Wgts)	39

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	1809,8117	1809,81	210,8264
Error	37	317,6217	8,58	Prob > F
C. Total	38	2127,4335		<,0001 *

Από την ευθεία γραμμή που προκύπτει με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων φαίνεται ότι υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ του μεγέθους των τιμών των δύο μεταβλητών. Η εξίσωση της παραπάνω ευθείας γραμμής δίνει την I.A.K. σε

συνάρτηση με τη συγκέντρωση αργίλου στα εδάφη. Μπορούμε να αποδώσουμε το γεγονός ότι τα σημεία δεν πέφτουν ακριβώς πάνω στην ευθεία στο ότι οι τιμές I.A.K. των εδαφών επηρεάζονται εκτός από την περιεκτικότητα σε άργιλο και από άλλους παράγοντες, όπως την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και το βαθμό διάσπασής της, καθώς και το pH.

Από τη στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι ο συντελεστής συμμεταβολής ($R^2 = 0,851$) είναι στατιστικά σημαντικός, δηλαδή οι τιμές της I.A.K. επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο.

Με βάση την εξίσωση της ευθείας γραμμής:

$$\text{I.A.K. (cmol}_c\text{/kg)} = 2,076 + [0,7652 * \text{άργιλος, \%}] \quad (1)$$

προκύπτουν οι παρακάτω τιμές I.A.K. (Πίνακες 3.3 και 3.4).

Πίνακας 3.3. Μετρούμενες και εκτιμώμενες (Εξ.1) τιμές I.A.K. στα αμμώδη εδάφη

α/α	Άργιλος (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) (Εξ. 1)	Αποκλίσεις
1	8,5	8,03	8,58	0,55
2	6,5	5,42	7,05	1,63
3	6,5	6,04	7,05	1,01
4	5,5	4,38	6,28	1,90
5	6,4	9,46	7,05	-2,41
6	6,5	7,35	7,05	-0,30
7	7,5	7,81	7,81	0,00
8	6,5	7,74	7,05	-0,69
9	6,5	5,76	7,05	1,29
10	6,5	6,86	7,05	0,19
11	5,5	5,65	6,28	0,63
12	4	4,44	5,14	0,70
13	3	4,00	4,37	0,37
14	3	7,18	4,37	-2,81
15	4	5,07	5,14	0,07
16	4	4,09	5,14	1,05
17	4	3,80	5,14	1,34
18	3	3,96	4,37	0,41
19	4	3,68	5,14	1,46
20	3	2,63	4,37	1,74

Πίνακας 3.4. Μετρούμενες και εκτιμώμενες (Εξ. 1) τιμές I.A.K. στα πηλώδη εδάφη

α/α	Άργιλος (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) (Εξ. 1)	Αποκλίσεις
1	20	12,73	17,38	4,65
2	22	16,16	18,91	2,75
3	24	16,54	20,44	3,90
4	18	20,60	15,85	-4,75
5	22	26,66	18,91	-7,75
6	30	29,34	25,03	-4,31
7	18	16,16	15,85	-0,31
8	28	16,76	23,50	6,74
9	28	17,27	23,50	6,23
10	17	15,88	15,08	-0,80
11	17	14,89	15,08	0,19
12	9	12,79	8,96	-3,83
13	19	16,35	16,61	0,26
14	15	13,86	13,55	-0,31
15	11	14,11	10,49	-3,62
16	15	15,83	13,55	-2,28
17	31	29,00	25,80	-3,20
18	25	24,23	21,21	-3,02
19	25	19,90	21,21	1,31

Από το Διάγραμμα 3 και τις τελευταίες στήλες των Πινάκων 3.3 και 3.4, προκύπτει ότι για μικρές περιεκτικότητες σε άργιλο (< 10%), δηλαδή στα αμμώδη εδάφη, τα σημεία βρίσκονται πολύ κοντά στην ευθεία (αποκλίσεις από -2,81 έως 1,90), ενώ για υψηλότερες περιεκτικότητες σε άργιλο (> 10%), δηλαδή στα πηλώδη εδάφη, παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά των σημείων γύρω από την ευθεία (αποκλίσεις από -7,75 έως 6,74). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι σε αυξανόμενες περιεκτικότητες των εδαφών σε άργιλο, υπεισέρχονται σε μεγαλύτερο βαθμό και άλλοι παράγοντες που θα επηρεάσουν τις τιμές της I.A.K., όπως έχει ήδη αναφερθεί.

3.3. Εφαρμογή του Μοντέλου 1

Σύμφωνα με την εξίσωση του Μοντέλου 1 (Σιμώνης, 1998) απαιτούνται δύο παράμετροι για την εκτίμηση της Ι.Α.Κ., η περιεκτικότητα (%) σε άργιλο και η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία (SOM,%).

Με βάση, επομένως, τα δεδομένα των Πινάκων 3.1 και 3.2 προκύπτουν οι εκτιμώμενες τιμές Ι.Α.Κ. σύμφωνα με το Μοντέλο 1 (Πίνακες 3.5 και 3.6 για τα αμμώδη και τα πηλώδη εδάφη, αντίστοιχα). Σε αυτούς τους πίνακες, όπως και σε εκείνους που θα παρουσιαστούν για τα επόμενα μοντέλα, η κατάταξη των δεδομένων παρουσιάζεται με αύξουσα την περιεκτικότητα σε άργιλο.

Πίνακας 3.5. Εκτίμηση των τιμών Ι.Α.Κ. με χρήση του Μοντέλου 1 στα αμμώδη εδάφη.

Άργιλος (%)	SOM (%)	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) μετρούμενη	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) Μοντέλο 1	Διαφορές
3	0,03	4,00	1,56	2,44
3	0,47	7,18	2,44	4,74
3	0,07	3,96	1,64	2,32
3	0,10	2,63	1,70	0,93
4	0,47	4,44	2,94	1,50
4	0,03	5,07	2,06	3,01
4	0,07	4,09	2,14	1,95
4	0,07	3,80	2,14	1,66
4	0,27	3,68	2,54	1,14
5,5	0,47	4,38	3,69	0,69
5,5	0,54	5,65	3,83	1,82
6,5	0,67	5,42	4,59	0,83
6,5	0,60	6,04	4,45	1,59
6,5	1,01	9,46	5,27	4,19
6,5	0,67	7,35	4,59	2,76
6,5	0,49	7,74	4,23	3,51
6,5	0,27	5,76	3,79	1,97
6,5	0,60	6,86	4,45	2,41
7,5	0,67	7,81	5,09	2,72
8,5	0,27	8,03	4,79	3,24

Παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των εργαστηριακά μετρούμενων και των εκτιμώμενων (Μοντέλο 1) τιμών Ι.Α.Κ, κυμαίνονται από 0,69 έως 4,74.

Πίνακας 3.6. Εκτίμηση των τιμών I.A.K. με χρήση του Μοντέλου 1 στα πηλώδη εδάφη.

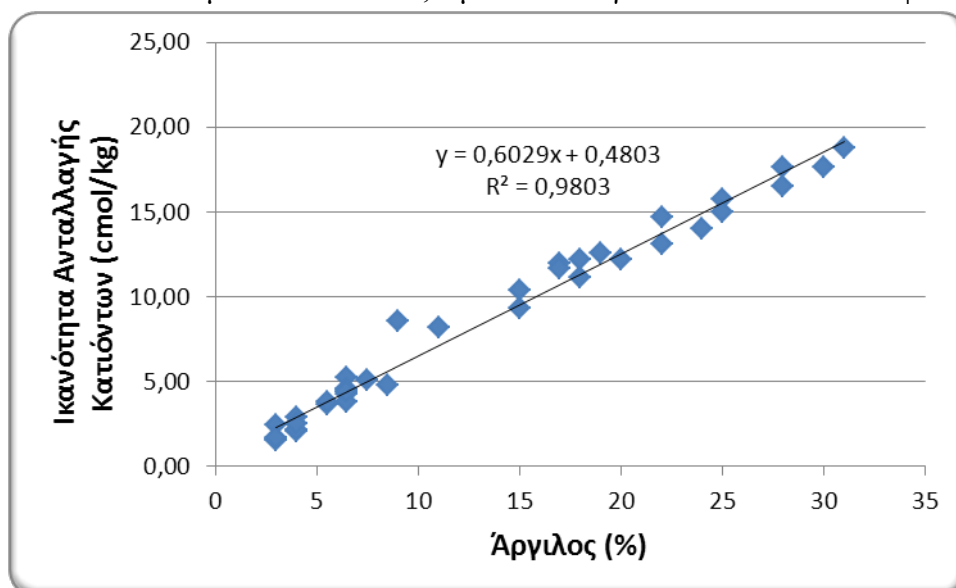
Άργιλος (%)	SOM (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 1	Διαφορές
9	2,04	12,79	8,59	4,20
11	1,35	14,11	8,20	5,91
15	0,90	13,86	9,30	4,56
15	1,46	15,83	10,41	5,42
17	1,73	15,88	11,97	3,91
17	1,59	14,89	11,69	3,20
18	1,07	20,60	11,15	9,45
18	1,59	16,16	12,19	3,97
19	1,52	16,35	12,55	3,80
20	1,11	12,73	12,22	0,51
22	1,84	16,16	14,67	1,49
22	1,04	26,66	13,08	13,58
24	1,01	16,54	14,01	2,53
25	1,63	24,23	15,76	8,47
25	1,25	19,90	15,00	4,90
28	1,84	16,76	17,67	-0,91
28	1,25	17,27	16,50	0,77
30	1,32	29,34	17,63	11,71
31	1,63	29,00	18,76	10,24

Στην περίπτωση των πηλωδών εδαφών, παρατηρούμε ότι οι διαφορές μεταξύ μετρούμενων και εκτιμώμενων (Μοντέλο 1) τιμών I.A.K. είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη και κυμαίνονται από -0,91 έως 13,58.

Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων αργίλου και των εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 1, τιμών I.A.K. Η πολύ υψηλή τιμή του συντελεστή συμμεταβολής ($R^2 = 0,98$) που είναι και στατιστικά σημαντικός, δείχνει την μικρή διασπορά των τιμών γύρω από την ευθεία γραμμή. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προκύπτει η εξίσωση:

$$\text{I.A.K. (cmol/kg)} = 0,48 + [0,603 * \text{άργιλος, \%}] \quad (2)$$

Διάγραμμα 4. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης αργίλου και εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 1, τιμών Ι.Α.Κ. για το σύνολο των εδαφών.



Linear Fit

I.A.K. (cmol/kg) - Μοντέλο 1 = $0,4795012 + 0,6029678 \cdot \text{Άργιλος (\%)}$

Summary of Fit

RSquare	0,980341
RSquare Adj	0,97981
Root Mean Square Error	0,780421
Mean of Response	8,186667
Observations (or Sum Wgts)	39

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Model	1	1123,7581	1123,76	1845,078	
Error	37	22,5351	0,61		
C. Total	38	1146,2933			<,0001 *

3.4. Εφαρμογή του Μοντέλου 2

Από την εξίσωση των Foth and Ellis (1997), οι απαιτούμενες παράμετροι για την εκτίμηση της Ι.Α.Κ. των εδαφών είναι η περιεκτικότητα (%) σε άργιλο και η περιεκτικότητα (%) σε οργανικό C.

Με βάση, επομένως, τα δεδομένα των Πινάκων 3.1 και 3.2 προκύπτουν οι εκτιμώμενες τιμές Ι.Α.Κ. σύμφωνα με το Μοντέλο 2 (Πίνακας 3.7 για τα αμμώδη και Πίνακας 3.8 για τα πηλώδη εδάφη).

Πίνακας 3.7. Εκτίμηση των τιμών Ι.Α.Κ. με χρήση του Μοντέλου 2 στα αμμώδη εδάφη.

Άργιλος (%)	Οργ. C (%)	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) μετρούμενη	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) Μοντέλο 2	Διαφορές
3	0,017	4,00	3,85	0,15
3	0,273	7,18	4,79	2,39
3	0,041	3,96	3,94	0,02
3	0,058	2,63	4,00	-1,37
4	0,273	4,44	4,99	-0,55
4	0,017	5,07	4,05	1,02
4	0,041	4,09	4,13	-0,04
4	0,041	3,80	4,13	-0,33
4	0,157	3,68	4,56	-0,88
5,5	0,273	4,38	5,28	-0,90
5,5	0,313	5,65	5,43	0,22
6,5	0,389	5,42	5,90	-0,48
6,5	0,348	6,04	5,75	0,29
6,5	0,586	9,46	6,62	2,84
6,5	0,389	7,35	5,90	1,45
6,5	0,284	7,74	5,52	2,22
6,5	0,157	5,76	5,05	0,71
6,5	0,348	6,86	5,75	1,11
7,5	0,389	7,81	6,10	1,71
8,5	0,157	8,03	5,44	2,59

Οι διαφορές μεταξύ των εργαστηριακά μετρούμενων και των εκτιμώμενων (Μοντέλο 2) τιμών Ι.Α.Κ, κυμαίνονται από -1,37 έως 2,84.

Πίνακας 3.8. Εκτίμηση των τιμών I.A.K. με χρήση του Μοντέλου 2 στα πηλώδη εδάφη.

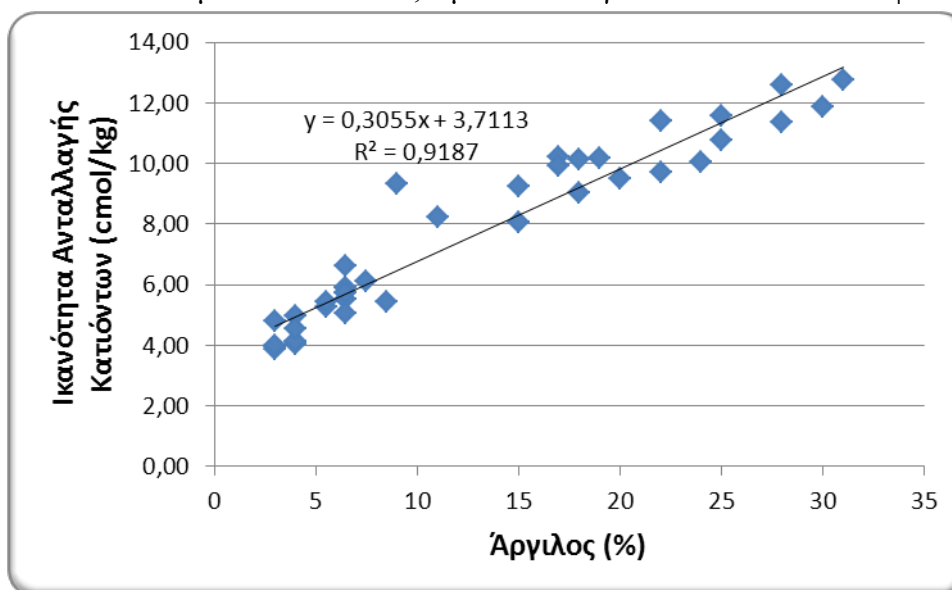
Αργίλος (%)	Οργ. C (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 2	Διαφορές
9	1,186	12,79	9,32	3,47
11	0,784	14,11	8,23	5,88
15	0,523	13,86	8,06	5,80
15	0,844	15,83	9,24	6,59
17	1,005	15,88	10,22	5,66
17	0,925	14,89	9,93	4,96
18	0,623	20,60	9,02	11,58
18	0,925	16,16	10,12	6,04
19	0,885	16,35	10,17	6,18
20	0,643	12,73	9,48	3,25
22	1,065	16,16	11,42	4,74
22	0,603	26,66	9,73	16,93
24	0,583	16,54	10,04	6,50
25	0,945	24,23	11,57	12,66
25	0,724	19,90	10,76	9,14
28	1,065	16,76	12,60	4,16
28	0,724	17,27	11,34	5,93
30	0,764	29,34	11,88	17,46
31	0,945	29,00	12,74	16,26

Στην περίπτωση των πηλωδών εδαφών, παρατηρούμε ότι οι διαφορές μεταξύ των μετρούμενων και των εκτιμώμενων (Μοντέλο 2) τιμών I.A.K. είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη και κυμαίνονται από 3,25 έως 17,46.

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων αργίλου και των εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 2, τιμών I.A.K. Η διασπορά των τιμών γύρω από την ευθεία γραμμή είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη του Μοντέλου 1, όπως φαίνεται και από την τιμή του συντελεστή συμμεταβολής ($R^2 = 0,92$, στατιστικά σημαντικός). Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προκύπτει η εξίσωση:

$$\text{I.A.K. (cmol}_c\text{/kg)} = 3,711 + [0,3055 * \text{άργιλος, \%}] \quad (3)$$

Διάγραμμα 5. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης αργίλου και εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 2, τιμών Ι.Α.Κ. για το σύνολο των εδαφών.



Linear Fit

Ι.Α.Κ. (cmol/kg) - Μοντέλο 2 = $3,7114915 + 0,3055202 \cdot \text{Άργιλος (\%)}$

Summary of Fit

RSquare	0,918614
RSquare Adj	0,916415
Root Mean Square Error	0,831167
Mean of Response	7,616667
Observations (or Sum Wgts)	39

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	288,51242	288,512	417,6261
Error	37	25,56105	0,691	Prob > F
C. Total	38	314,07347		<,0001 *

3.5. Εφαρμογή του Μοντέλου 3

Το Μοντέλο 3 (SCM) υπολογίζει την Ι.Α.Κ. μόνο από το ποσοστό της αργίλου. Με βάση τα δεδομένα των Πινάκων 3.1 και 3.2 προκύπτουν οι εκτιμώμενες τιμές Ι.Α.Κ. σύμφωνα με το Μοντέλο 3 (Πίνακας 3.9 για τα αμμώδη και Πίνακας 3.10 για τα πηλώδη εδάφη).

Πίνακας 3.9. Εκτίμηση των τιμών Ι.Α.Κ. με χρήση του Μοντέλου 3 στα αμμώδη εδάφη.

Άργιλος (%)	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) μετρούμενη	Ι.Α.Κ. (cmol/kg) Μοντέλο 3	Διαφορές
3	4,00	0,00	4,00
3	7,18	0,00	7,18
3	3,96	0,00	3,96
3	2,63	0,00	2,63
4	4,44	0,00	4,44
4	5,07	0,00	5,07
4	4,09	0,00	4,09
4	3,80	0,00	3,80
4	3,68	0,00	3,68
5,5	4,38	1,27	3,11
5,5	5,65	1,27	4,38
6,5	5,42	2,44	2,98
6,5	6,04	2,44	3,60
6,5	9,46	2,44	7,02
6,5	7,35	2,44	4,91
6,5	7,74	2,44	5,30
6,5	5,76	2,44	3,32
6,5	6,86	2,44	4,42
7,5	7,81	3,60	4,21
8,5	8,03	4,76	3,27

Οι διαφορές μεταξύ των εργαστηριακά μετρούμενων και των εκτιμώμενων (Μοντέλο 3) τιμών Ι.Α.Κ, κυμαίνονται από 2,63 έως 7,18.

Πίνακας 3.10. Εκτίμηση των τιμών I.A.K. με χρήση του Μοντέλου 3 στα πηλώδη εδάφη.

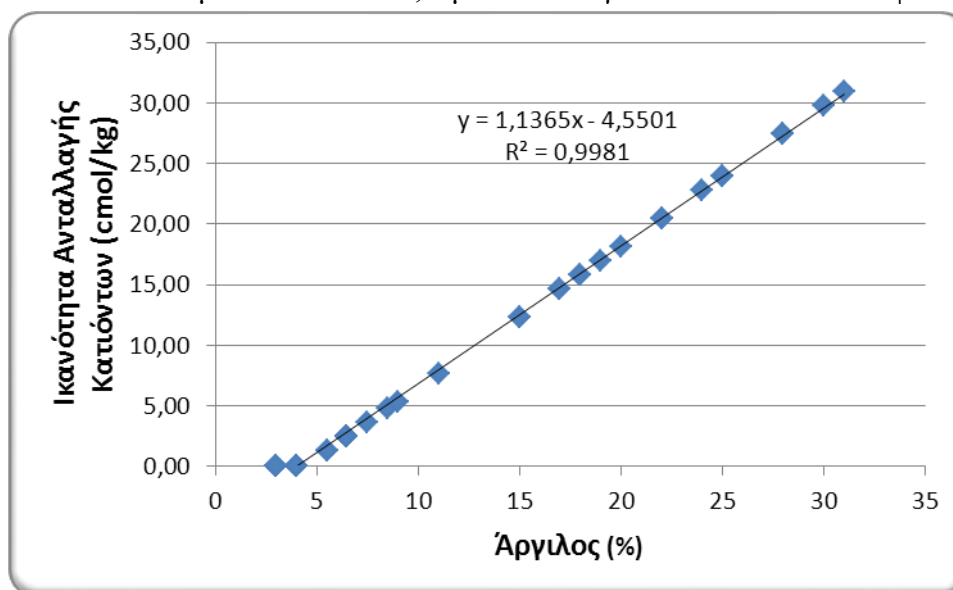
Αργίλος (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 3	Διαφορές
9	12,79	5,35	7,44
11	14,11	7,67	6,44
15	13,86	12,33	1,53
15	15,83	12,33	3,50
17	15,88	14,66	1,22
17	14,89	14,66	0,23
18	20,60	15,82	4,78
18	16,16	15,82	0,34
19	16,35	16,99	-0,64
20	12,73	18,15	-5,42
22	16,16	20,48	-4,32
22	26,66	20,48	6,18
24	16,54	22,81	-6,27
25	24,23	23,97	0,26
25	19,90	23,97	-4,07
28	16,76	27,46	-10,70
28	17,27	27,46	-10,19
30	29,34	29,79	-0,45
31	29,00	30,95	-1,95

Στα πηλώδη εδάφη, παρατηρούμε ότι οι διαφορές μεταξύ των εργαστηριακά μετρούμενων και των εκτιμώμενων (Μοντέλο 3) τιμών I.A.K. είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη και κυμαίνονται από -10,7 έως 7,44.

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων αργίλου και των εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 3, τιμών I.A.K. Η διασπορά των τιμών γύρω από την ευθεία γραμμή είναι σχεδόν μηδενική, όπως φαίνεται και από την τιμή του συντελεστή συμμεταβολής ($R^2 = 0,998$, στατιστικά σημαντικός). Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προκύπτει η εξίσωση:

$$\text{I.A.K. (cmol/kg)} = -4,55 + [1,1365 * \text{άργιλος, \%}] \quad (4)$$

Διάγραμμα 6. Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης αργίλου και εκτιμώμενων, με το Μοντέλο 3, τιμών Ι.Α.Κ. για το σύνολο των εδαφών.



Linear Fit

I.A.K. (cmol/kg) - Μοντέλο 3 = $-4,548801 + 1,1364759 \cdot \text{Άργιλος (\%)}$

Summary of Fit

RSquare	0,998134
RSquare Adj	0,998084
Root Mean Square Error	0,449087
Mean of Response	9,977692
Observations (or Sum Wgts)	39

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Model	1	3992,1334	3992,13	19794,46	
Error	37	7,4621	0,20		
C. Total	38	3999,5955			<,0001 *

3.6. Σύγκριση των εκτιμώμενων τιμών I.A.K. με τις εργαστηριακές

Στον Πίνακα 3.11 και στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εργαστηριακά μετρούμενες τιμές I.A.K., καθώς και οι εκτιμώμενες με τα Μοντέλα 1, 2 και 3. Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι, οι τιμές I.A.K. που σημειώνονται έντονα (bold) είναι οι πλησιέστερες στις τιμές I.A.K. που μετρήθηκαν εργαστηριακά.

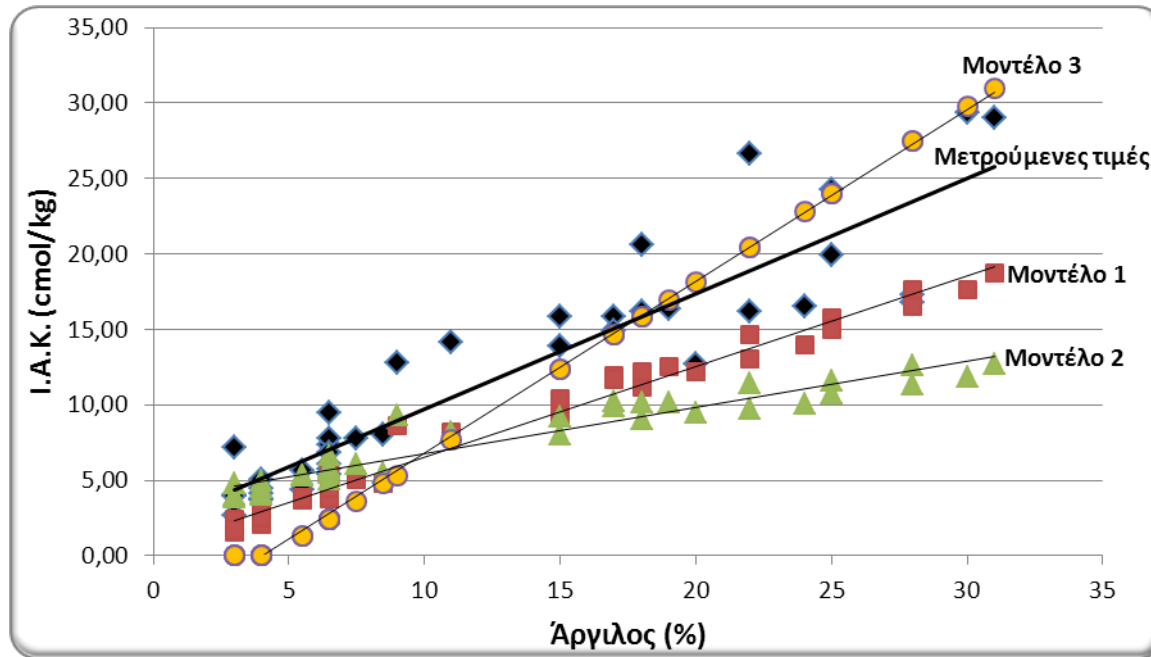
Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνεται πως, όσον αφορά στα εδάφη με ποσοστά σε άργιλο <11% περίπου (ως επί το πλείστον τα αμμώδη) και ποσοστά οργανικής ουσίας 0-1%, οι πραγματικές τιμές I.A.K. προσεγγίζονται πολύ ικανοποιητικά με τις τιμές που δίνει το Μοντέλο 2.

Στα εδάφη με μεγαλύτερα ποσοστά αργίλου (17 από τα συνολικά 39 δείγματα), παρατηρείται ότι στα 12 από αυτά, οι εργαστηριακά μετρούμενες τιμές προσεγγίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό με τις τιμές που δίνει το Μοντέλο 3, ενώ μόνο στα 5 δείγματα οι εργαστηριακές τιμές προσεγγίζονται καλύτερα με αυτές που δίνει το Μοντέλο 1. Οι διαφοροποιήσεις μπορούν να αποδοθούν είτε στο διαφορετικό βαθμό διάσπασης της οργανικής ουσίας, είτε στη διαφορετική ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, είτε σε συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων. Δεν πρέπει να διαφεύγει, επίσης, της προσοχής ότι στο Μοντέλο 1 που παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό προσέγγισης με τα εργαστηριακά δεδομένα, περιλαμβάνονται μέσες τιμές I.A.K. για την άργιλο και την οργανική ουσία.

Πίνακας 3.11. Συγκεντρωτικός πίνακας μετρούμενων και εκτιμώμενων τιμών I.A.K.

Αργίλος (%)	OC (%)	SOM (%)	I.A.K. (cmol/kg) μετρούμενη	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 1	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 2	I.A.K. (cmol/kg) Μοντέλο 3
3	0,017	0,03	4,00	1,56	3,85	0,00
3	0,273	0,47	7,18	2,44	4,79	0,00
3	0,041	0,07	3,96	1,64	3,94	0,00
3	0,058	0,10	2,63	1,70	4,00	0,00
4	0,273	0,47	4,44	2,94	4,99	0,00
4	0,017	0,03	5,07	2,06	4,05	0,00
4	0,041	0,07	4,09	2,14	4,13	0,00
4	0,041	0,07	3,80	2,14	4,13	0,00
4	0,157	0,27	3,68	2,54	4,56	0,00
5,5	0,273	0,47	4,38	3,69	5,28	1,27
5,5	0,313	0,54	5,65	3,83	5,43	1,27
6,5	0,389	0,67	5,42	4,59	5,90	2,44
6,5	0,348	0,60	6,04	4,45	5,75	2,44
6,5	0,586	1,01	9,46	5,27	6,62	2,44
6,5	0,389	0,67	7,35	4,59	5,90	2,44
6,5	0,284	0,49	7,74	4,23	5,52	2,44
6,5	0,157	0,27	5,76	3,79	5,05	2,44
6,5	0,348	0,60	6,86	4,45	5,75	2,44
7,5	0,389	0,67	7,81	5,09	6,10	3,60
8,5	0,157	0,27	8,03	4,79	5,44	4,76
9	1,186	2,04	12,79	8,59	9,32	5,35
11	0,784	1,35	14,11	8,20	8,23	7,67
15	0,523	0,90	13,86	9,30	8,06	12,33
15	0,844	1,46	15,83	10,41	9,24	12,33
17	1,005	1,73	15,88	11,97	10,22	14,66
17	0,925	1,59	14,89	11,69	9,93	14,66
18	0,623	1,07	20,60	11,15	9,02	15,82
18	0,925	1,59	16,16	12,19	10,12	15,82
19	0,885	1,52	16,35	12,55	10,17	16,99
20	0,643	1,11	12,73	12,22	9,48	18,15
22	1,065	1,84	16,16	14,67	11,42	20,48
22	0,603	1,04	26,66	13,08	9,73	20,48
24	0,583	1,01	16,54	14,01	10,04	22,81
25	0,945	1,63	24,23	15,76	11,57	23,97
25	0,724	1,25	19,90	15,00	10,76	23,97
28	1,065	1,84	16,76	17,67	12,60	27,46
28	0,724	1,25	17,27	16,50	11,34	27,46
30	0,764	1,32	29,34	17,63	11,88	29,79
31	0,945	1,63	29,00	18,76	12,74	30,95

Διάγραμμα 7. Μετρούμενες και εκτιμώμενες τιμές Ι.Α.Κ. στο σύνολο των εδαφών.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων, όπως επίσης οι συγκρίσεις μεταξύ των εργαστηριακά μετρούμενων τιμών I.A.K. και αυτών που δίνονται από τα τρία μοντέλα, δείχνουν τα ακόλουθα:

Τα εδαφικά δείγματα από την περιοχή του Αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. είναι αμμώδους μηχανικής σύστασης με περιεκτικότητα σε άργιλο <10%, σε οργανική ουσία από 0 έως 1% περίπου και τιμές I.A.K. < 10 cmol_c/kg.

Τα εδαφικά δείγματα από την περιοχή της Φθιώτιδας είναι πηλώδους μηχανικής σύστασης, με περιεκτικότητα σε άργιλο από 9 έως 31%, σε οργανική ουσία από 1 έως 2% περίπου και τιμές I.A.K. από περίπου 13 έως 29 cmol_c/kg.

Στα αμμώδους σύστασης εδάφη διαπιστώθηκε καλύτερη συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας σε άργιλο και μετρούμενων τιμών I.A.K., σε σχέση με τα πηλώδη εδάφη όπου εκεί υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως η ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, ο βαθμός διάσπασης της οργανικής ουσίας και το pH.

Στα εδάφη με ποσοστά σε άργιλο <11% περίπου, δηλαδή ως επί το πλείστον στα αμμώδη και με πολύ χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας (0-1%), οι εργαστηριακές τιμές I.A.K. προσεγγίζονται πολύ ικανοποιητικά, δηλαδή με πολύ μικρές αποκλίσεις, με τις τιμές που δίνει το Μοντέλο 2.

Στα εδάφη με μεγαλύτερα ποσοστά αργίλου, δηλαδή στα πηλώδη, παρατηρείται ότι στα περισσότερα (12) από αυτά, οι εργαστηριακά μετρούμενες τιμές προσεγγίζονται σε αρκετά μεγάλο βαθμό με τις τιμές που δίνει το Μοντέλο 3, ενώ μόνο σε 5 δείγματα οι εργαστηριακές τιμές προσεγγίζονται καλύτερα με αυτές που δίνει το Μοντέλο 1. Οι διαφοροποιήσεις μπορούν να αποδοθούν είτε στο βαθμό διάσπασης της οργανικής ουσίας, είτε στην ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, είτε σε συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων. Η μη καταλληλότητα του Μοντέλου 1 που παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό προσέγγισης με τα εργαστηριακά δεδομένα, θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει μέσες τιμές I.A.K. για την άργιλο και την οργανική ουσία.

Η μελέτη θα έχει ενδιαφέρον να συνεχιστεί τόσο με την ανάλυση περισσότερων εδαφικών δειγμάτων, όσο και με την εφαρμογή των μοντέλων σε αργιλώδη εδάφη (περιεκτικότητα σε άργιλο >35%) και σε εδάφη με περιεκτικότητα σε οργανική ουσία >2%, ώστε να υπάρχει μία περισσότερο σαφής εικόνα της συμπεριφοράς των μοντέλων αυτών σε ευρύτερες εδαφικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

(η παρακάτω ελληνική βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της Εισαγωγής – Ανασκόπησης Βιβλιογραφίας)

Αλιφραγκής, Δ. 2008. Το Έδαφος, Γένεση – Ιδιότητες – Ταξινόμηση. Τόμος Ι. Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη.

Γκέρτσης, Α.Κ. 2011. Βελτίωση και Εκμετάλλευση Εδαφών, Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.

Κεραμίδας, Β. και Κ. Σινάνης. 2005. Εδαφολογία. Τμήμα Εκδόσεων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Α.Π.Θ.

Μήτσιος, Ι.Κ. 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Παναγιωτόπουλος, Κ.Π. 2008. Εδαφολογία. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.

Σιμώνης, Α. 1998. Γεωργία – Κτηνοτροφία, Τεύχος 4, σελ. 15-19, Εκδόσεις Αγρότυπος.

Ξενόγλωσση

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.

Foth, H.D. and B.G. Ellis. 1997. *Soil fertility* (2nd ed.). Lewis Publishers – an imprint of CRC Press, Boca Raton, FL.

Nelson, D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In* *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks) Soil Science Society of America Book Series No. 5, pp. 961-1010.

Πηγές από το διαδίκτυο

www.google.gr

www.lib.teicrete.gr/webnotes/steg/Geniki_Georgia/lecture3/lecture3.htm)