

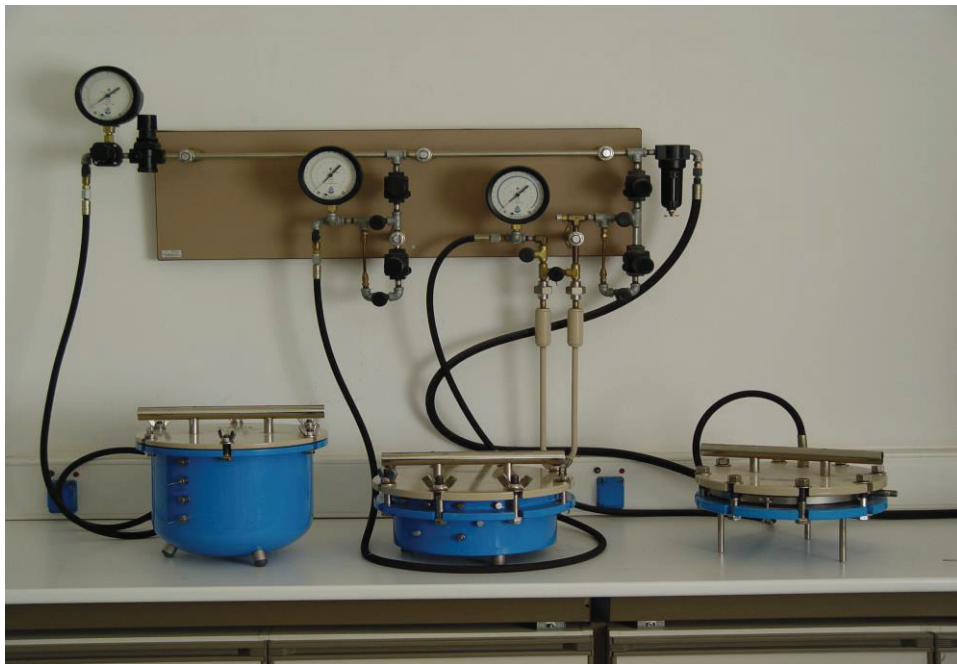
Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗ RICHARDS



ΒΥΤΙΝΙΩΤΗΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. Ν. ΜΑΛΑΜΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ
ΜΑΙΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στα Εργαστήρια του Τμήματος Μηχανολογίας και Υδάτινων Πόρων του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή Δρ. Νικόλαο Μαλάμο, ο οποίος μου προσέφερε το ενδιαφέρον θέμα και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στο συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα.

Τον ευχαριστώ επίσης για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου παρείχε, καθώς και για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής διατριβής μου, χωρίς την βοήθεια του οποίου η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν δυνατή καθώς και την άψογη συνεργασία σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν το διάστημα αυτό και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τους καρδιακούς μου φίλους για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόηση τους.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μεγάλη αξία για όσους υπολογίζουν το αρδευτικό νερό, εντοπίζεται στο ότι μπορούν να προσδιορίσουν, τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος, χωρίς άλλες αξιοσημείωτες μειώσεις από την εσωτερική στράγγιση.

Η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας επιτρέπει τη μελέτη της σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στη μύζηση και την ποσότητα του εδαφικού νερού σε όλο το εύρος της εδαφικής υγρασίας.

Αυτό ήταν η βάση για την πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας με θέμα ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής, χρειάστηκε αρκετός χρόνος και κόπος. Επίσης η υπευθυνότητα ήταν άλλος ένας παράγοντας που έπρεπε να υπάρχει κατά την εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας.

Συναντήθηκαν δυσκολίες τόσο έξω στον αγρό, όσο και μέσα στο εργαστήριο, που ξεπεράστηκαν όμως με σωστή συνεργασία καθώς δόθηκαν έγκαιρες και έγκυρες λύσεις. Έτσι εκτελέστηκαν, καταγράφηκαν και σας παρουσιάζεται αυτή η εργασία.

Βυτινώτης Φίλιππος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	6
2.1	Υφή του εδάφους.....	6
2.1.1	Ιδιότητες της άμμου.....	7
2.1.2	Ιδιότητες της ιλύος.....	8
2.1.3	Ιδιότητες της αργίλου	8
2.2	Δομή του εδάφους.....	9
2.2.1	Παράγοντες που επηρεάζουν την δομή του εδάφους.....	10
2.3	Ειδικά βάρη εδάφους.....	10
2.3.1	Πραγματικό ειδικό βάρος.....	10
2.3.2	Φαινόμενο ειδικό βάρος	11
2.4	Πορώδες του εδάφους.....	11
3	ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	12
3.2	Ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας	12
3.3	Επηρεασμός της εδαφικής υγρασίας.....	13
3.4	Σταθερές εδαφικής υγρασίας	14
3.5	Οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού	18
3.6	Η χαρακτηριστική καμπύλη εδαφικής υγρασίας.....	21
3.7	Υστέρηση της εδαφικής υγρασίας	23
3.8	Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας.....	24
3.9	Η ανακατανομή της εδαφικής υγρασίας.....	25
3.10	Σχέση νερού – φυτού.....	25
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	29
4.1	Εργαστηριακές μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας.....	29
4.1.1	Η μέθοδος Haines.....	29
4.1.2	Η μέθοδος στήλης σε ισορροπία με σταθερή στάθμη	30
4.1.3	Η μέθοδος στήλης με διάφραγμα πίεσης	31
4.1.4	Μέθοδος σχετικής υγρασίας.....	32
4.1.5	Μέθοδος του σημείου πήξης του ύδατος του εδάφους	32

4.1.6 Μέθοδος πιεστικού δίσκου – Συσκευή Richards	32
4.1.6.1 Με διαταραγμένα δείγματα	32
4.1.6.2 Με αδιατάρακτα δείγματα	32
4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας στον αγρό.....	33
4.2.1 Τασίμετρα.....	33
4.2.2 Πορώδη σώματα	33
4.2.3 Μέθοδος νετρονίων	33
5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ RICHARDS	34
5.1. Συσκευή Richards.....	34
5.2. Δειγματοληψία	36
5.2.1 Τρόπος δειγματοληψίας εδάφους για τη μηχανική ανάλυση του.....	37
5.3 Εισαγωγή στο Τρόπο Μηχανικής Ανάλυσης του Εδάφους	37
5.3.1 Εκτέλεση διαδικασίας.....	39
5.3.2 Υπολογισμοί	45
5.3.3 Συστάσεις και προφυλάξεις.....	45
5.3.4 Παρουσίαση αποτελέσματος.....	46
5.4 Πειραματική διαδικασία.....	47
5.4.1 Δειγματοληψία αδιατάρακτων δειγμάτων.....	47
5.4.2 Κορεσμός πλάκας.....	52
5.4.3 Κορεσμός δειγμάτων	53
5.4.4 Τοποθέτηση της πλάκας στην συσκευή πιεστικού δίσκου	55
5.4.5 Άσκηση πίεσης στα δείγματα μέσω συσκευής.....	56
5.4.6 Εξαγωγή των δειγμάτων από τη συσκευή	57
5.4.7 Τοποθέτηση και εξαγωγή των δειγμάτων από το πυριαντήριο	58
5.4.8 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας	59
6 ΠΙΝΑΚΕΣ - ΚΑΜΠΥΛΕΣ	61
6.1 Δειγματοληψία στα 30cm	63
6.2 Δειγματοληψία στα 60cm	66
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
Παραπομπές	71
Βιβλιογραφία	72

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία με την οποία ασχολήθηκα και σας παρουσιάζω, είναι η κατασκευή των χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας από τον αγρό στον περιβάλλοντα χώρο του Τ. Ε. Ι. Δυτικής Ελλάδος και πιο συγκεκριμένα στον πειραματικό χλοοτάπητα που βρίσκεται στον αγρό μπροστά από το Πάρκο Αρδεύσεων.

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι ο πειραματικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας σε αδιατάρακτα δείγματα εδαφών του Τ. Ε. Ι. με χρήση της συσκευής των πιεστικών δίσκων Richards του εργαστηρίου και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα $\Theta(H)$.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Αρδεύσεων του τμήματος ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ κ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ της σχολής ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ του Τ. Ε. Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Τα δείγματα εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν αδιατάρακτα. Η λήψη τους ξεκίνησε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Απριλίου του 2013 έως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου του 2013. Έγινε εδαφολογική ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Εδαφολογίας κ Αρδεύσεων του Τ. Ε. Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Ο αγρός στον οποίο έγινε η δειγματοληψία ήταν ακαλλιέργητος. Για την ορθή προσέγγιση του προβλήματος θα πρέπει να ληφθούν δείγματα εδάφους από χαρακτηριστικά βάθη. Αυτά τα βάθη προκύπτουν από τη συνήθη πρακτική αντίστοιχων δειγματοληψιών και από τα βάθη ριζοστρώματος των καλλιεργειών που ασχολούμαστε ερευνητικά. Αυτά είναι

1. 0-30cm (λήψη δείγματος μεταξύ 20 και 30 cm)
2. 30-60cm (λήψη δείγματος μεταξύ 50 και 60cm)

Με βάση λοιπόν την στατιστική μεθοδολογία, πρέπει να λαμβάνονται τρία δείγματα σε κάθε θέση και δυο σε κάθε βάθος, ώστε να εξασφαλίζεται η επανάληψιμότητα των μετρήσεων και να μπορεί να εξαχθεί με ασφάλεια ο μέσος όρος των μετρήσεων.

Τα δείγματα μετά την δειγματοληψία κορέστηκαν πάνω στις ήδη κορεσμένες πορώδεις πλάκες της συσκευής. Μετά τον κορεσμό τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη συσκευή και ασκήθηκε πίεση από 0,33 έως 6 bar. Οι ενδεικτικές πιέσεις που ασκήθηκαν ήταν 0,33bar, 0,6bar, 1bar, 2bar, 4bar, 6bar.

Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν σε πίνακες από τα οποία κατασκευάστηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες εδαφικής υγρασίας. Για κάθε σημείο και βάθος κατασκευάστηκαν ξεχωριστές καμπύλες.

Από τις συγκρίσεις που έγιναν, εξήχθησαν συμπεράσματα για το ποσοστό της υγρασίας που μπορεί να συγκρατεί το έδαφος για κάθε σημείο πάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη.

2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνθετο σύστημα που ταυτόχρονα είναι:

- 1)Μια από θήκη θρεπτικών στοιχείων.
- 2)Ένα περιβάλλον στο οποίο ανάπτυσσεται και δρα ένα πολύ μεγάλο πλήθος μικροοργανισμών.
- 3)Ένα μέσο στερεώσεως των φυτών.
- 4)Ένα μέσο διακινήσεως του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις.
- 5)Μια από θήκη νερού από την οποία τα φυτά αντλούν την απαραίτητη για την ανάπτυξη τους υγρασία.

Τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά ενός εδάφους είναι η υφή ή χημική σύσταση και δομή.

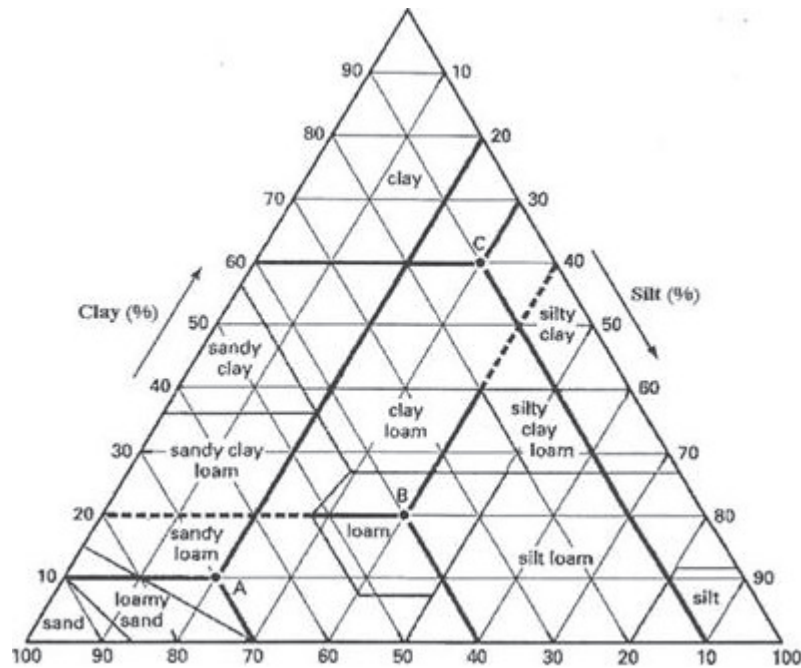
2. 1 Υφή του εδάφους

Η υφή του εδάφους είναι η διεργασία που κάνουμε για να διαχωρίσουμε σε ομάδες με διαφορετική διάμετρο σωματιδίων όπου κυμαίνεται

Χαρακτηρισμός σωματιδίων	Διάμετρος κόκκων (mm)
Άμμος	2,00-0,05
Πολύ χονδρή	2,00-1,00
Χονδρή	1,00-0,50
Ενδιάμεση	0,50-0,25
Λεπτή	0,25-0,10
Πολύ λεπτή	0,10-0,05
Ιλύς	0,05-0,002
Άργιλος	< 0,002

Πίνακας 2. 1 :Χαρακτηρισμός σωματιδίων ανάλογα με την διάμετρο κόκκων

Τα εδάφη έχουν κατάταχθεί σε 12 κατηγορίες ή είδη εδαφών από άποψη μηχανικής σύστασης. Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει καθορισμένους ποσοτικούς συνδυασμούς άμμου, ιλύος, αργίλου. Οι τύποι αυτοί του εδάφους μπορούν να παρατηρηθούν στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2. 1: Διάγραμμα κατάταξης των εδαφών με βάση την μηχανική σύσταση.

Οι 12 τύποι εδαφών είναι οι εξής:

Αμμώδη εδάφη ή ελαφρός σύστασης	1. Αμμώδες	S	Sand Loamy Sand
	2. Πηλοαμμώδες	LS	
Πηλώδη εδάφη ή μέσης σύστασης	3. Αμμοπηλώδες	SL	Sandy Loam
	4. Πηλώδες	L	Loam
	5. Ιλυοπηλώδες	SiL	Silty Loam Silt
	6. Ιλυώδες	Si	Sandy Clay Loam
	7.	SCL	
Αμμοαργιλοπηλώδες	8. Αργιλώδες	CL	Clay Loam
	9. Ιλυοαργιλοπηλώδες	SiCL	Silty Clay Loam
	10. Αμμοαργιλώδες	SC	Sandy Clay Silty
Αργιλλώδη εδάφη ή βαριάς σύστασης	11. Ιλυοαργιλώδες	SiC	Clay Clay
	12. Αργιλώδες	C	

Πίνακας 2. 2: Τύποι εδαφών

2. 1. 1 Ιδιότητες της άμμου

Τα τεμαχίδια της άμμου έχουν την ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια ανά μονάδα βάρους και για το λόγο αυτό η συμμετοχή τους στις χημικές και φυσικές δραστηριότητες του εδάφους είναι σχετικά μηδαμινή. Η άμμος δεν συγκρατεί νερό.

2. 1. 2 Ιδιότητες της Ιλύος

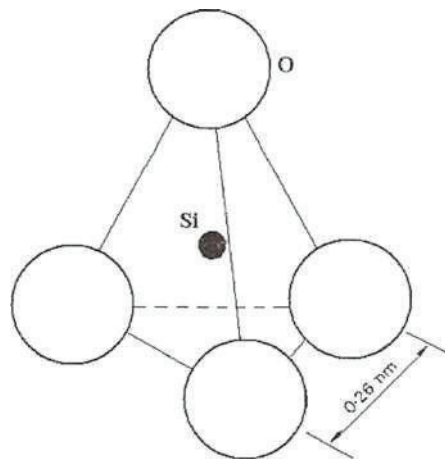
Τα χονδρότερα τεμάχια της ιλύος έχουν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με την άμμο. Ενώ τα λεπτότερα τεμάχια της ιλύος έχουν εκτεθειμένη επιφάνεια ανά μονάδα βάρους και εμφανίζει κάποια δραστηριότητα στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Η ιλύς συγκρατεί περισσότερο νερό.

2. 1. 3 Ιδιότητες της αργίλου

Μεγαλύτερη εκτεθειμένη επιφάνεια για κάθε γραμμάριο βάρους εδάφους. Συγκρατεί μεγάλη ποσότητα νερού με μορφή μεμβράνης γύρω από τα εδαφικά τεμάχια της αργίλου. Η αργίλος ενεργεί σαν από θήκη θρεπτικών στοιχείων και νερού.

Η αργίλος αποτελείται από διάφορα είδη ορυκτών όμως σε κάθε έδαφος κυριαρχεί μια ομάδα ορυκτών της αργίλου. Τα ορυκτά από τελούνται από κρυστάλλους όπου είναι:

1) Το τετράεδρο με τέσσερα μεγάλα ανιόντα οξυγόνου που περιβάλλουν ένα μικρό κατιόν Si^{4+} .



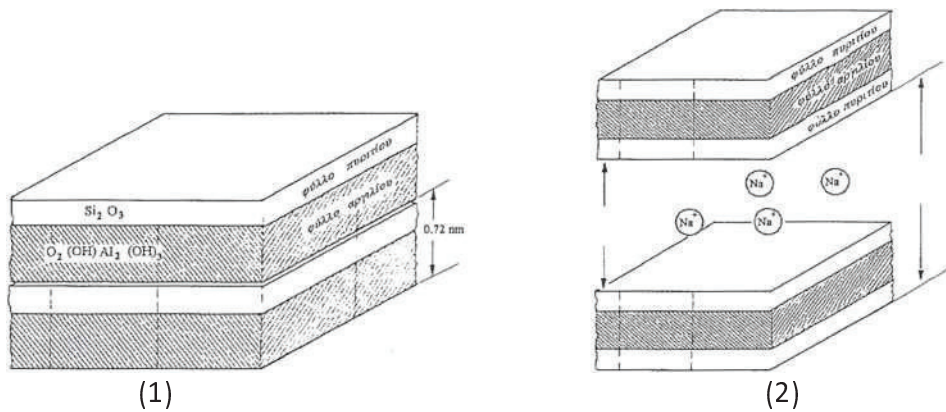
Σχήμα 2. 2: Τετράεδρο με τέσσερα ανιόντα οξυγόνου που περιβάλλουν ένα κατιόν Si^{4+}

2) Το οκτάεδρο έξι ανιόντων οξυγόνου που περιβάλλουν ένα μικρό κατιόν Al^{3+} .

Τα ορυκτά της αργίλου χωρίζονται σε δυο ομάδες:

Της ομάδας του καολινίτη όπου σε αυτό έχουμε μια στρώση τετράεδρων Si^{4+} και μια στρώση οκτάεδρων Al^{3+} . Η κρυσταλλική δομή της είναι 1:1 δηλαδή μια στρώση τετράεδρων Si^{4+} και μια στρώση οκτάεδρων Al^{3+} . Έχει μικρή εναλλάκτική ικανότητα 3 έως 15mg/100gr, τα ορυκτά του καολινίτη δεν διογκώνονται.

Της ομάδας του μοντμοριλονίτη έχουν διάταξη 2:1 δηλαδή δυο στρώσεις τετράεδρων Si^{4+} και μια στρώση οκτάεδρων Al^{3+} . Έχουν μεγάλη εναλλάκτική ικανότητα από 80 έως 100mg/100gr, εύκολα διογκώνονται και συρρικνώνονται.



Σχήμα 2. 3: 1)Οκτάεδρο της ομάδας του καολινίτη
2)Οκτάεδρο της ομάδας του μοντμοριλονίτη

2. 2 Δομή του εδάφους

Δομή εδάφους ονομάζουμε τον τρόπο διάταξης των εδαφικών σωματιδίων μεταξύ τους. Η δομή έχει σχέση με την γονιμότητα των εδαφών αφού συνδέεται με την ελεύθερη κίνηση του νερού και του αέρα μέσα στο έδαφος, την ανάπτυξη των ριζών καθώς και την απόθκευση του νερού. Η δομή του εδάφους μπορεί να είναι ομοιόμορφη ή να διαφέρει από οριζόντια σε οριζόντια.

Η δομή του εδάφους μπορεί να αλλάξει με διάφορες επεμβάσεις από το χειρότερο στο καλύτερο και το αντίθετο. Από γεωργικής άποψης διακρίνεται:

1)Σε μονόκοκκη δομή. Στην κατηγορία αυτή τα σωματίδια του εδάφους δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, αυτή η δομή συνίσταται σε ελαφρά και αμμώδη εδάφη.

2)Σε συσσωματώδη δομή. Στην κατηγορία αυτή η άργιλος ανάμειγνύεται με την άμμο και έτσι σχηματίζονται συσσωματώματα. Η δομή αυτή εξασφαλίζει κανονική κυκλοφορία νερού και αέρα και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών. Στην συσσωμάτωση του εδάφους βοηθάνε και οι μικροοργανισμοί.

Τα συσσωματώματα ανάλογα με την διάμετρο διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- Μακροσυσσωματώματα > 5 mm.
- Μεσοσυσσωματώματα 5 – 0,2 mm.
- Μικροσυσσωματώματα < 0,2 mm.

Για την διάκριση της συσσωματώδους δομής επινοήθηκε ο βαθμός συσσωματώσεως που εκφράζει τον λόγο % των συσσωματωμάτων με διάμετρο μεγαλύτερη των 0,05 – 0,1 mm προς το συνολικό ποσοστό του δείγματος σε ήλυ και άργιλο.

$$B. \Sigma. = \frac{A}{B} * 100 \quad (2. 1)$$

Όπου B. Σ. = ο βαθμός συσσωματώσεως σε %

A = συσσωματώματα με διάμετρο μεγαλύτερη των 0,05 mm

B = συνολικό ποσοστό του δείγματος σε ήλυ και άργιλο.

2. 2. 1 Παράγοντες που επηρεάζουν την δομή του εδάφους

- 1) Η διαβροχή του εδάφους μπορεί να προκαλέσει θρυμματισμό των συσσωματωμάτων με τη διάλυση των συγκολλητικών ουσιών.
- 2) Η από ξήρανση τείνει να θρυμματίσει τα μεγάλα και να σταθεροποιήσει τα μικρά συσσωματώματα.
- 3) Ο παγετός και η τήξη προκαλεί στη δομή του εδάφους αύξηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων με αποτέλεσμα τη διατήρηση της καλής δομής.
- 4) Η ύπαρξη της οργανικής ουσίας συντελεί στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων λόγω συγκολλησέως των τεμαχιδίων.
- 5) Η ύπαρξη σκουληκιών και μικροοργανισμών του εδάφους συντελούν στην καλή δομή του εδάφους.
- 6) Το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) προκαλεί συσσωμάτωση ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη.
- 7) Το ασβέστιο και μαγνήσιο (Ca & Mg) όπου είναι απαραίτητα λιπαντικά στοιχεία.
- 8) Η προσθήκη γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) στα αλκαλιωμένα και ασβεστίου στα όξινα.

2.3 Ειδικά βάρη εδάφους

2.3.1 Πραγματικό ειδικό βάρος

Πραγματικό ειδικό βάρος είναι η μάζα των στερεών υλικών του εδάφους στην μονάδα του όγκου. Αυτό κυμαίνεται από 2,6 μέχρι 2,7 gr/cm^3 (Πανάγιωτόπουλος Λ. 2002).

$$E_{\pi} = \frac{M_{\sigma\tau}}{O_{\sigma\tau}} \quad (2. 2)$$

όπου $M_{\sigma\tau}$ = μάζα στερεών υλικών εδάφους
 $O_{\sigma\tau}$ = στερεός όγκος εδάφους χωρίς πόρους.

2.3.2 Φαινόμενο ειδικό βάρος

Φαινόμενο ειδικό βάρος είναι ο λόγος της μάζας ξηρού εδάφους προς τον συνολικό όγκο στην φυσική του κατάσταση (αδιατάρακτα δείγματα). Για βαριά εδάφη είναι 1,0 – 1,6 gr/cm³ και για ελαφριά 1,2 – 1,8 gr/cm³ (Πανάγιωτόπουλος Λ. 2002).

$$E_{\phi} = \frac{M_{\xi}}{O_{\sigma\tau}} \quad (2.3)$$

Όπου B_{ξ} = μάζα ξηρού εδάφους
 $O_{\sigma\tau}$ = συνολικός όγκος εδάφους και πόρων

Με το φαινόμενο ειδικό βάρος επηρεάζει την δόση άρδευσης.

Μπορούμε να το υπολογίσουμε :

- 1) Με ογκομετρική συσκευή.
- 2) Με ειδικό εδαφολήπτη για αδιατάρακτα δείγματα εδάφους και δακτυλίδια γνωστού όγκου.
- 3) Με χρήση ακτίνων γ.

2.4 Πορώδες του εδάφους

Το πορώδες του εδάφους ορίζεται ως το πόσοστό επί τοις εκατό του όγκου του, το οποίο στην φυσική κατάσταση κατάλαμβάνεται από τους μεταξύ των στερεών συστατικών πόρους του εδάφους και έχει άμεση εξάρτηση από την δομή του εδάφους.

$$\Pi = \frac{E_{\pi} - E_{\phi}}{E_{\pi}} * 100 \quad (2.4)$$

Όπου E_{π} = πραγματικό ειδικό βάρος
 E_{ϕ} = φαινόμενο ειδικό βάρος

Τα χονδρόκοκκα, αμμώδη εδάφη έχουν μικρό πορώδες από 36% ενώ τα λεπτόκοκκα ή αργιλώδη εδάφη έχουν μεγάλο πορώδες 60% (Αλεξιάδης 1977).

3 ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

3.1 Γενικά

Κάτω από φυσικές συνθήκες το έδαφος περιέχει πάντα μια ποσότητα νερού που αν εκφραστεί στη μονάδα βάρους ή όγκου του εδάφους ή σαν ποσοστό επί τοις εκατό ονομάζεται εδαφική υγρασία.

Το νερό είναι απαραίτητο για τα φυτά γιατί συμμετέχει σε πολλές λειτουργίες. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

1) Το νερό μεταφέρει διαλυμένα τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στις ρίζες ή τα θρεπτικά στοιχεία διαχέονται μέσα στο νερό προς τις ρίζες και στη συνέχεια από ρροφώνται από τα φυτά.

2) Συμμετέχει στη παραγωγή υδατανθράκων με τη φωτοσύνθεση.

3) Είναι το σπουδαιότερο περιβάλλον για όλες τις χημικές και βιολογικές διεργασίες του μεταβολισμού των φυτών.

4) Διατηρεί σε σπαργή (υπό πίεση) όλα τα κύτταρα των φυτών. Το 60-90% του νωπού βάρους ενός φυτού αποτελείται από νερό.

5) Χρησιμοποιείται για τη διάλυση και τη μετάφορά των προϊόντων της φωτοσύνθεσης (σάκχαρα) και του μεταβολισμού μέσα στο φυτό.

6) Με την διαπνοή ελέγχεται η θερμοκρασία γενικά του φυτού. Ειδικότερα με την εξάτμιση του νερού στους μεσοκυττάρους χώρους επιτυγχάνεται η ψύξη και επομένως η διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας για τις διεργασίες του μεταβολισμού.

Η μετάφορά του νερού δια μέσου του φυτού είναι συνεχής. Υπάρχει συνεχής κίνηση του νερού από το έδαφος στις ρίζες και από τις ρίζες στα διάφορα μέρη του φυτού και τελικά στα φύλλα από τα οποία με τη μορφή ατμών μέσω των στομάτων απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η λειτουργία αυτή του φυτού λέγεται διαπνοή και καταναλώνει σχεδόν το 99% του νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη του. Η διαπνοή μαζί με την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους και τα υγρά φυτικά μέρη, λέγεται εξατμισοδιαπνοή και από τελεί την συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

3.2 Ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας

Πολλοί είναι οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με την ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας. Επικράτησε όμως εκείνο του BRIGGS με τη προσθήκη του LEBEDEF (1928). Το σύστημα αυτό κατάτάσσει την εδαφική υγρασία σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Νερό βαρύτητας ή διηθήσεως (Drainage water): το νερό αυτό δεν συγκρατείται από το έδαφος αλλά στραγγίζεται από την επίδραση της βαρύτητας. Αυτό προκαλεί πολλές φορές ζημιές στη καλλιέργεια όταν η στράγγιση είναι πολύ βραδέα.

Δυο ημέρες περίπου μετά από μια άρδευση το νερό στραγγισέως από μακρύνεται από τη κυρίως ζώνη του ριζοστρώματος στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

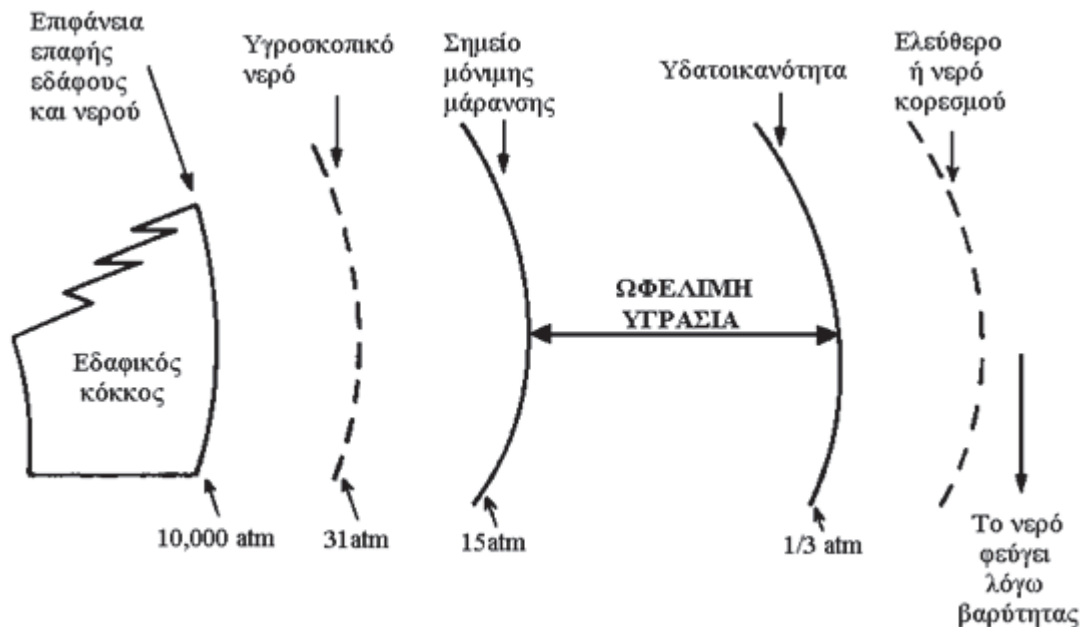
2. Τριχοειδές νερό (Capillary water): το νερό κρατείται στο έδαφος από δυνάμεις επιφανειακής τάσης ή έλξέως σαν συνεχείς μεμβράνες γύρω από τους εδαφικούς κόκκους και μέσα στους τριχοειδούς πόρους αυτού.

Το τριχοειδές νερό είναι η μοναδική πηγή τροφοδοσίας των καλλιεργειών γι' αυτό ονομάζεται και ωφέλιμο ή διαθέσιμο. Συγκρατείται από το έδαφος με τάση 1/3 μέχρι 31 atm.

3. Υγροσκοπικό νερό (hygroscopic water): το νερό αυτό συγκρατείται πολύ ισχυρά από δυνάμεις επιφανειακής τάσεως σαν μια λεπτή μεμβράνη που περιβάλλει τους εδαφικούς πόρους. Η τάση συγκρατήσεως είναι τόσο ισχυρή που φτάνει στις 10.000 atm. Τα φυτά δεν μπορούν να το προσλάβουν.

Το υγροσκοπικό νερό αυξάνει με την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων του εδάφους και μάλιστα με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο και χούμο.

4. Νερό σε αέρια φάση ή προσροφημένο νερό (absorbed water): το νερό αυτό οφείλεται στην εξάτμιση, κινείται δε από περιοχές υψηλών πιέσεων προς χαμηλότερες πιέσεις. Το νερό αυτό δεν χρησιμοποιείται από τα φυτά.



Σχήμα 3. 1: Κατάταξη εδαφικής υγρασίας.

3.3 Επηρεασμός της εδαφικής υγρασίας

Το έδαφος αποτελείται από στερεά τεμαχίδια, με διαφορετικό μέγεθος και σχήμα με διάφορους τρόπους διατεταγμένα στο χώρο, αφήνουν μεταξύ τους κενά (πόρους) που έχουν ποικιλία διαστάσεων και σχημάτων. Οι πόροι κατάλαμβάνονται από εδαφικό νερό και αέρα σε αναλογίες που ποικίλουν και εξαρτώνται από την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους.

Το εδαφικό νερό δεν είναι χημικά καθαρό νερό αλλά ένα διάλυμα στερών και αερίων που γι' αυτό το λόγο θα πρέπει σωστότερα να αναφέρεται σαν εδαφικό διάλυμα (soil solution). Η σύσταση και η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος εξαρτάται από τις αυξομειώσεις

του διαλύτη (νερού), τη προέλευση και σύσταση της στερεής φάσης του εδάφους καθώς και από το ρυθμό ανάπτυξης αλλά και από την πυκνότητα των φυτικών οργανισμών που ζουν και αναπτύσσονται στο έδαφος.

Η εδαφική υγρασία ποικίλει πάρα πολύ στα διάφορα σημεία του εδάφους πράγμα που οφείλεται τόσο σε εδαφικά χαρακτηριστικά όσο και στα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό. Τα εδαφικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι κυρίως η μηχανική σύσταση, η δομή, που με τη σειρά τους επηρεάζουν την φαινομενική πυκνότητα, το πορώδες, τις διαστάσεις, τη κατανομή μεγέθους και την γεωμετρία των πόρων καθώς και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.

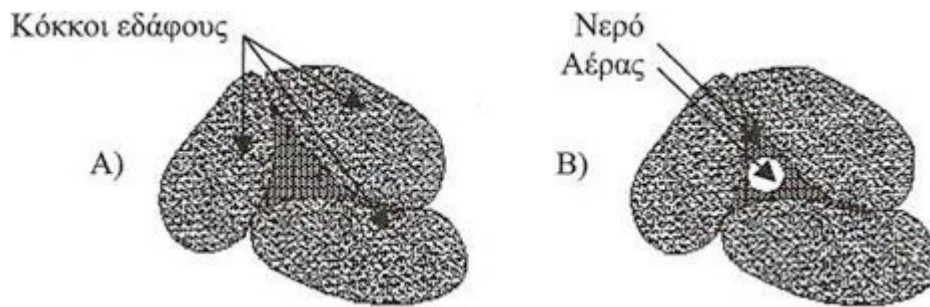
Η υδραυλική αγωγιμότητα ή υδατοπερατότητα (infiltration) καλείται η ταχύτητα με την οποία το νερό μπορεί να κινηθεί μέσω της μάζας του εδάφους. Άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει την τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι η τοπογραφία στην επιφάνεια του εδάφους. Τα καλλιεργούμενα φυτά δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια, αλλά και το ριζικό τους σύστημα παρουσιάζει ανομοιόμορφη ανάπτυξη. Έτσι, τα φυτά δεν εκμετάλλευονται όλα ίσο όγκο εδάφους και κατά συνέπεια από μακρύνουν διαφορετικά ποσά νερού από διάφορα σημεία του εδάφους.

3.4 Σταθερές εδαφικής υγρασίας

Η εδαφική υγρασία, μπορεί να μετάβάλλεται από μηδέν, όταν το εδαφικό δείγμα ξηρανθεί για 48 ώρες σε 105 ° C, μέχρι μια τιμή ίση με το πορώδες του εδάφους, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό. Βρίσκουν εφαρμογή όμως και δυο ενδιάμεσα στάδια εδαφικής υγρασίας.

Το πρώτο ονομάζεται υδατοϊκανότητα ή υδατοχωρητικότητα (field capacity) του εδάφους. Για μεγάλο χρονικό διάστημα είχε αγνωρισθεί παγκοσμίως ότι η υδατοϊκανότητα (ΥΔ) ή υδατοχωρητικότητα είναι μια φυσική και χαρακτηριστική σταθερά του εδάφους. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό από τους Veihmeyer και Hendrickson (1952), υδατοϊκανότητα είναι το ποσό του νερού (περιεχόμενη υγρασία, gr νερού ανά cm³ εδάφους) που συγκρατεί το έδαφος, όταν η περίσσεια του νερού έχει από μακρυνθεί (έχει στραγγίσει) και η ταχύτητα της διήθησης του προς τα κάτω είναι αμελητέα. Η στράγγιση αυτή συνήθως διαρκεί 2-3 ημέρες μετά από την άρδευση ή τη βροχόπτωση ενός ομοιόμορφου, όσο αφορά τη δομή και υφή του εδάφους. Στη κατάσταση αυτή το νερό από τους μεγάλους πόρους, που δεν μπορεί να συγκρατηθεί λόγω της βαρύτητας, έχει από μακρυνθεί ενώ οι μικροπόροι είναι πλήρεις με νερό.

Η μεγάλη αξία για όσους υπολογίζουν το αρδευτικό νερό, του ορισμού της υδατοϊκανότητας είναι ότι προσδιορίζει τη μέγιστη ποσότητα νερού περίπου, που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος χωρίς άλλες αξιοσημείωτες μειώσεις από την εσωτερική στράγγιση.



Σχήμα 3. 2: A) Έδαφος σε κατάσταση κορεσμού.
B) Έδαφος σε κατάσταση υδατοϊκανότητας.

Είναι όμως σήμερα γνωστό ότι η υδατοϊκανότητα δεν είναι μια σταθερά της εδαφικής υγρασίας γιατί η εσωτερική στράγγιση του νερού συνεχίζεται με αργό ρυθμό για μερικές ημέρες. Στα χονδρόκοκκα εδάφη η στράγγιση διαρκεί 2-3 ημέρες αλλά στα λεπτόκοκκα μπορεί να διαρκέσει 7 ημέρες ή και περισσότερο.

Ως υδατοϊκανότητα ανάφέρεται επίσης η εδαφική υγρασία που συγκρατείται στο έδαφος όταν υποστεί τάση (εφελκυσμό) $1/3$ της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Οι προσπάθειες για να συσχετιστεί το σημείο υδατοϊκανότητας με μια συγκεκριμένη τάση υγρασίας αγνοούν το γεγονός ότι η υγρασία σε ένα προφίλ εδάφους δεν εξαρτάται μόνο από τις δυνάμεις που το συγκρατούν αλλά και από την υδατοπερατότητα ολόκληρου του προφίλ του εδάφους. Η προς τα κάτω παροχή q του νερού ανά μονάδα επιφανείας εδάφους είναι:

$$q = k \left(\frac{ds_m}{dz} + 1 \right)$$

όπου: S_m = η τάση της εδαφικής υγρασίας (cm στήλης νερού).

Z = το βάθος (cm)

K = ο συντελεστής υδατοπερατότητας (cm/day)

Η ύπαρξη υψηλού υπόγειου ορίζοντα ή αδιαπέραστου εδαφικού στρώματος σε μικρό βάθος επιμηκύνει το χρόνο της στράγγισης. Επίσης εάν ένα βαθύ έδαφος κορεσθεί αρχικά σε μεγάλο βάθος η εσωτερική στράγγιση θα είναι αργή και επομένως το επιφανειακό έδαφος θα φτάσει στην υδατοϊκανότητα πιο γρήγορα σε σύγκριση με ένα άλλο έδαφος της ίδιας δομής που έχει κορεσθεί σε μικρό βάθος. Η ομοιογένεια του εδάφους επίσης επηρεάζει την υδατοϊκανότητα. Για παράδειγμα ένα λεπτόκοκκο έδαφος που βρίσκεται πάνω σε ένα χονδρόκοκκο εδαφικό ορίζοντα θα έχει μεγαλύτερη υδατοϊκανότητα από ένα ομοιογενή έδαφος. Γενικότερα η υδατοϊκανότητα ενός εδάφους εξαρτάται από τις συνθήκες που γίνεται η μέτρηση και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Η υδατοϊκανότητα συνδέεται στενά με τη φυσικοχημική κατάσταση του εδάφους δεδομένου ότι αυτή εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, της περιεχόμενης οργανικής ουσίας, της υφής, του πόσού και το είδος του, των ενυπαρχόντων κολλοειδών συστατικών και του πόσού και το είδος των προσφερομένων κατιόντων. Η τιμή της υδατοϊκανότητας ποικίλει από 4% για τα ελαφρά αμμώδη εδάφη

έως και 40% για ή και περισσότερο για τα βαριά αργιλώδη εδάφη. Γενικά το νερό πληροί το 40 έως το 60% των κενών χώρων ενός εδάφους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εσωτερική στράγγιση και επομένως την υδατοϊκανότητα είναι:

1. Η υφή του εδάφους. Τα αργιλώδη εδάφη συγκρατούν περισσότερο νερό και έχουν τη τάση να το διατηρούν για περισσότερο χρόνο από τα αμμώδη. Επομένως όσο περισσότερο άργιλο περιέχει ένα έδαφος τόσο μεγαλύτερη είναι η υδατοϊκανότητα. Μετά το κορεσμό του, το αργιλώδες έδαφος θέλει περισσότερες μέρες από ότι τα αμμώδη για να φτάσει στην υδατοϊκανότητα.
2. Ο τύπος της αργίλου που επικρατεί. Εάν σε ένα έδαφος το κυρίαρχο ορυκτό της αργίλου είναι ο μοντμοριλλονίτης τότε απορροφάει και συγκρατεί περισσότερη ποσότητα νερού στην υδατοϊκανότητα από έδαφος με κυρίαρχο ορυκτό το καολινίτη.
3. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε οργανική ουσία τόσο περισσότερο νερό συγκρατεί.
4. Η δομή του εδάφους. Ένα έδαφος με σταθερά συσσωματώματα και καλή δομή στραγγίζει πιο γρήγορα από τους μακροπόρους ενώ οι μικροπόροι συγκρατούν αρκετό νερό. Συμπιεσμένα εδάφη με κακή δομή συγκρατούν λιγότερο νερό και στραγγίζουν αργά.
5. Το βάθος κορεσμού του εδάφους. Όταν ένα βαθύ έδαφος κορεσθεί με νερό σε μεγάλο βάθος η ανάκατανομή του νερού θα είναι πολύ αργή και το επιφανειακό έδαφος θα φτάσει στην υδατοϊκανότητα πιο αργά, αλλά θα έχει μεγαλύτερη τιμή από ένα έδαφος που έχει κορεσθεί αρχικά σε μικρό βάθος.
6. Η ύπαρξη εδαφικών στρωμάτων με διαφορετικές υδραυλικές ιδιότητες παρεμποδίζουν την εσωτερική στράγγιση και κατανομή του νερού. Έτσι παρατηρείται επιβράδυνση της κίνησης του νερού. Ιδιαίτερα ένα αδιαπέραστο στρώμα παρεμποδίζει τη κίνηση του νερού στο υπερκείμενο εδαφικό στρώμα.
7. Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να επηρεάσει την εδαφική υγρασία πριν την διήθηση και επομένως και τη διήθηση.

Το δεύτερο ενδιάμεσο στάδιο εδαφικής υγρασίας ονομάζεται πόσοστό μόνιμης μάρανσης (permanent wilting percentage). Όταν η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των ανάγκών τους και για το λόγο αυτό αρχίζουν και μαραίνονται. Όταν φτάσουν σε αυτό το σημείο δεν μπορούν να επανέλθουν στη ζωή και όταν ακόμα τοποθετηθούν για ένα 24ωρο σ' ένα θάλαμο με κορεσμένη από υδρατμούς ατμόσφαιρα.

Το σημείο μόνιμης μάρανσης ΣΜΜ (Permanent Wilting Point) δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από υφή και δομή του εδάφους, το είδος και τη κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά, τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Για τους λόγους αυτούς, η τάση της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό είναι κυμαινόμενη.

Οι Furr και Reeve με εργασίες τους σε μεγάλο αριθμό ζευγών εδάφους-φυτού, εξακρίβωσαν ότι, οι δυνάμεις συνάφειας εδάφους-νερού στο σημείο διαρκούς μάρανσης των φυτών, κυμαίνονται μεταξύ 9-22 ατμοσφαιρών. Όμως, κάτω από την επίδραση τόσο υψηλών τιμών πίεσης επί των δειγμάτων εδάφους από μακρύνεται μικρό μόνο πόσοστό του εδαφικού νερού. Έτσι, για υγιή εδάφη, με μικρή ποσότητα

επιβλαβών αλάτων, ως σημείο μόνιμης μάρανσης μπορεί να ληφθεί η δύναμη συνάφειας εδάφους-νερού της τάξης των 15 ατμοσφαιρών.

Για τις μελέτες των αρδευτικών έργων έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του σημείου μόνιμης μάρανσης με μέτρηση της υγρασίας που από μένει στο έδαφος μετά από άσκηση πίεσης 15 ατμοσφαιρών. Η υγρασία στο σημείο μάρανσης εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό βάρους ξηρού εδάφους.

Όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης η ανάπτυξη των φυτών σταματά. Τα φυτά εξακολουθούν να παίρνουν νερό από το έδαφος και κάτω από το σημείο αυτό, όμως είναι μόλις αρκετό να τα κρατά στη ζωή. Αν η υγρασία ελαττωθεί λίγο περισσότερο θα προκαλέσει ξήρανση των φυτών. Το όριο της εδαφικής υγρασίας κάτω από το οποίο τα φυτά ξεραίνονται λέγεται έσχατο σημείο μάρανσης.

Η υδατοϊκανότητα και το ποσοστό μόνιμης μάρανσης είναι τα δύο όρια, από πλευράς εδαφικής υγρασίας, μέσα στα οποία τα φυτά μπορούν να επιζήσουν. Η περιοχή ανάμεσα στα δυο αυτά όρια εκφράζει το διαθέσιμο για την ανάπτυξη των φυτών νερό. Το διαθέσιμο νερό (available water) βρίσκεται από την διαφορά της εδαφικής υγρασίας του ποσοστού μόνιμης μάρανσης από την εδαφική υγρασία που αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα. Είναι το ποσοστό της εδαφικής, που μπορεί να προσληφθεί με ευχέρεια από το ριζικό σύστημα των φυτών και εκφράζεται ως επί τοις εκατό βάρους % D. w. (Dry weight).

$$aw = fc - pwp \quad (3.2)$$

όπου aw = διαθέσιμη υγρασία (% D. w.)

fc = υδατοϊκανότητα (%D. w.)

pwp = ποσοστό μόνιμης μάρανσης (% D. w.)

Η μετάβολή της εδαφικής υγρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την σε διαφορετικό βαθμό εκδήλωση ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους όπως είναι η δομή, η διόγκωση και η συρρίκνωση, η υδραυλική αγωγιμότητα, η συνεκτικότητα και η μηχανική αντοχή.

Το διαθέσιμο νερό έχει ιδιαίτερη σημασία για τις αρδεύσεις και ποικίλει από έδαφος σε έδαφος. Είναι περισσότερο στα βαριά εδάφη και λιγότερο στα ελαφριά.

Σε ένα έδαφος με καλλιέργεια η διαθέσιμη υγρασία εξαντλείται εύκολα ενώ σε ένα γυμνό έδαφος, αυτή εξαντλείται ελάχιστα και βραδέως σε σχέση με το χρόνο και παραμένει κοντά στην υδατοϊκανότητα με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει από την επιφάνεια εξάτμιση.

Για τις αρδεύσεις η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους είναι μεγάλης σημασίας διότι ανάλογα με την εξάντληση αυτή στο έδαφος, καθορίζεται η δόση αλλά και η συχνότητα άρδευσης.

Δεν πρέπει να αφήνουμε στο έδαφος να εξαντλείται ολόκληρη η διαθέσιμη υγρασία αλλά να αρδεύουμε πριν την εξάντληση της. Για το θέμα αυτό ασχολήθηκαν πολλοί ερευνητές σε διάφορες καλλιέργειες. Οι περισσότεροι όμως

συμφωνούν ότι οι αρδεύσεις πρέπει να πραγματοποιούνται όταν στο έδαφος θα εξαντληθεί το 50% μέχρι το 75% της διαθέσιμης υγρασίας.

Στο πίνακα 3. 1 δίνονται οι διακυμάνσεις διαφόρων μεγεθών όπως η ταχύτητα διήθησης, το πορώδες, η υδατοϊκανότητα, το σημείο μόνιμης μάρανσης και η διαθέσιμη υγρασία σε διάφορους τύπους εδάφους.

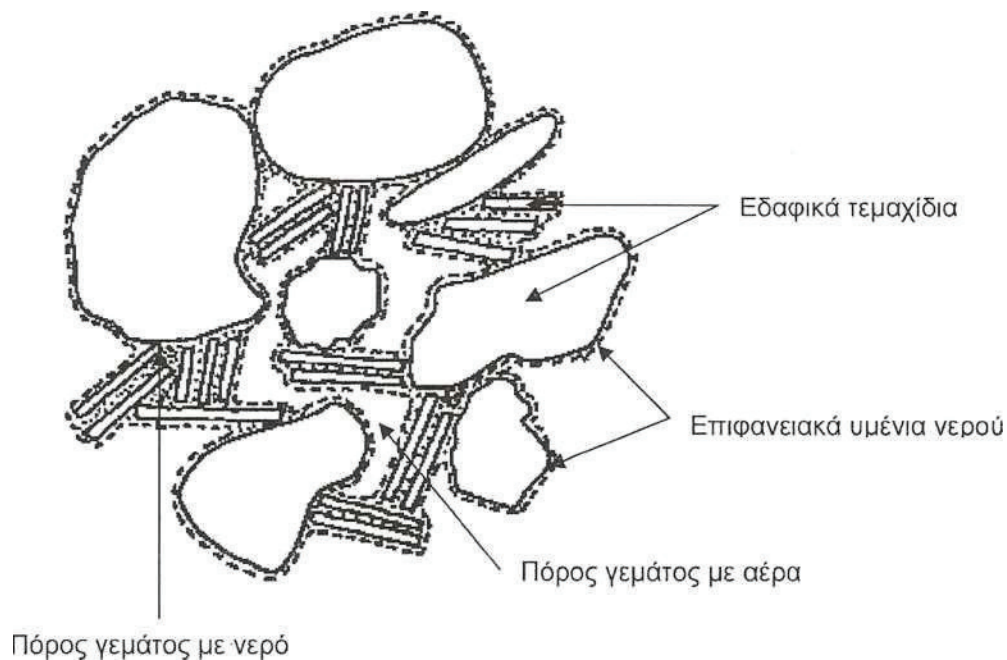
Μηχανική σύσταση	Τελική ταχύτητα διηθήσεως cm/hr		Υδατοϊκανότητα % D. w.	Σημείο μάρανσης % D. w.	Διαθέσιμη υγρασία % D. w.
	Πορώδες % n				
Αμμώδες	5 (2,5-25)	38 (32-42)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)
Αμμοπηλώδες	2,5 (1,3-7,6)	43 (40-47)	14 (10-18)	8 (4-8)	8 (6-10)
Πηλός	1.3 (0,8-2,0)	47 (43-49)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)
Αργι/πηλώδες	0,8 (0,25-1,5)	49 (47-51)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)
Ιλυοπηλώδες	0,25 (0,03-0,5)	51 (49-53)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)
Αργιλώδες	0,05 (0,01-0,1)	53 (51-55)	35 (31-39)	18 (15-21)	17 (16-18)

Πίνακας 3. 1: Διακυμάνσεις διαφόρων μεγεθών σε διάφορους τύπους εδάφους.

3.5 Οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού

Το εδαφικό νερό δεν βρίσκεται συγκεντρωμένο και από μονωμένο σε διάφορες θέσεις μέσα στους πόρους του εδάφους, αλλά από τελεί κατά κάποιο τρόπο ένα συνεχόμενο σύστημα (δίκτυο) σχήμα 3. 3 . Η συνέχεια του δικτύου αυτού γίνεται δυνατή, ακόμα και όταν η τιμή της εδαφικής υγρασίας βρίσκεται κοντά στο μηδέν, επειδή κάθε εδαφικό τεμαχίδιο καλύπτεται από μια πολύ λεπτή μεμβράνη νερού. Στα σημεία επαφής δυο εδαφικών τεμαχιδίων, όπου δυο ή περισσότερα εδαφικά τεμαχίδια βρίσκονται πολύ κοντά το ένα με το άλλο, προκαλείται συνένωση των επιφανειακών μεμβρανών νερού. Επειδή μέσα στους πόρους του εδάφους όπου δεν υπάρχει εδαφικό νερό υπάρχει αέρας στις περιοχές που οι υδατικές μεμβράνες συνενώνονται, δημιουργούνται καμπύλες διαχωριστικές επιφάνειες (μηνίσκοι) υγρού-αερίου. οι δυνάμεις με τις οποίες συγκρατείται το νερό στο έδαφος οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη των παραπάνω διαχωριστικών επιφανειών υγρού-στερεού και υγρού-αερίου. Το εδαφικό νερό δεν είναι χημικά καθαρό αλλά ένα υδατικό διάλυμα και όπως είναι φυσικό

εμφανίζει οσμωτική πίεση. Η οσμωτική αυτή πίεση αποτελεί ακόμη ένα παράγοντα συγκράτησης του εδαφικού νερού από το έδαφος.



Σχήμα 3. 3: Διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής του εδαφικού νερού σε ακόρεστο έδαφος.

Η ύπαρξη διαχωριστικής επιφάνειας υγρού-στερεού έχει μεγάλη σπουδαιότητα για τη συγκράτηση του νερού στο έδαφος καθώς και για την αλληλεπίδραση του νερού και εδάφους. Οι πιθανοί μηχανισμοί απορρόφησης και συγκράτησης του νερού από το έδαφος είναι κατά τον Low (1961) οι παρακάτω:

- 1) Δεσμοί υδρογόνου.
- 2) Ενυδάτωση των προσροφημένων κατιόντων.
- 3) Έλξη λόγω διαφοράς οσμωτικής πίεσης.
- 4) Έλξη μεταξύ αρνητικά φορτισμένης επιφάνειας και δίπολων μορίων νερού.
- 5) Έλξη που οφείλεται σε δυνάμεις London-van der Waals που ανάπτυσσονται μεταξύ στερεών και μορίων νερού.

Αν και οι περισσότεροι από τους παραπάνω μηχανισμούς συγκράτησης του εδαφικού νερού δρουν ταυτόχρονα, η σχετική σπουδαιότητα που αποκτούν για τη συγκράτηση του νερού εξαρτάται τόσο από την ποσότητα του εδαφικού νερού όσο και από ορισμένες ιδιότητες της στερεής φάσης του εδάφους όπως, η μηχανική σύσταση, το είδος των ορυκτών της αργίλου και το είδος των προσροφημένων κατιόντων.

Ακόμα και όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό είναι μικρή, υπάρχουν καμπύλες διαχωριστικής επιφάνειας (μηνίσκοι) νερού-αέρα μέσα στους πόρους του εδάφους. Επειδή η γωνία επαφής του νερού με τα περισσότερα ανόργανα στερεά εδαφικά υλικά είναι μικρότερη από 90° , δηλαδή τα ανόργανα προέλευσης εδαφικά τεμαχίδια διαβρέχονται από το νερό, οι μηνίσκοι είναι κοίλοι προς τη πλευρά της αέριας φάσης. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση μέσα στη μάζα του νερού και ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του μηνίσκου είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Λόγο αυτής

της ύπαρξης των μηνίσκων και της επακόλουθης υποπίεσης, το νερό συγκρατείται με κάποια δύναμη από τη στερεή φάση του εδάφους. Η δύναμη αυτή συγκράτησης είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη η καμπυλότητα του μηνίσκου, όσο δηλαδή μικρότερη είναι η ακτίνα των πόρων. Έτσι οι πόροι με μεγαλύτερη ακτίνα αδειάζουν πρώτοι σε σχέση με τους μικρότερους πόρους. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή κατά τη προσθήκη νερού στο έδαφος θα γεμίσουν πρώτα οι πόροι με μικρότερη ακτίνα (μικροπόροι) και μετά οι πόροι μεγαλύτερης ακτίνας (μακροπόροι).

Οι διαφορετικές κατηγορίες δυνάμεων συγκράτησης του νερού στο έδαφος που οφείλονται στις διαχωριστικές επιφάνειες υγρού-στερεού και υγρού-αερίου, δρουν ταυτόχρονα και η ύπαρξη ή η δράση της μιας δεν παρεμποδίζει ή απαγορεύει την δράση της άλλης, ανεξάρτητα από την ποσότητα του εδαφικού νερού.

Λόγω των δυνάμεων των διαχωριστικών επιφανειών υγρού-στερεού και υγρού-αερίου που ανάπτυσσονται στο έδαφος και της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού νερού, το εδαφικό νερό βρίσκεται κάτω από μια υποπίεση (αρνητική πίεση) ή τάση ή με άλλα λόγια το νερό μυζάται κάτω από το έδαφος. Έτσι αντί να ανάφεται περιφραστικά όλες οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού από το έδαφος είναι προτιμότερο να μιλάμε για αρνητική πίεση (negative pressure) ή τάση (tension) ή μύζηση (suction) του εδαφικού νερού.

Η μύζηση εκφράζει τη δύναμη συγκράτησης του εδαφικού νερού από το έδαφος ανά μονάδα επιφανείας του εδάφους ή τη δύναμη ανά μονάδα επιφανείας που πρέπει να εφαρμοστεί στο εδαφικό νερό για να απομακρυνθεί από το έδαφος. Η μύζηση του εδαφικού νερού ονομάζεται συνήθως ολική μύζηση επειδή από τελεί το άθροισμα δυο διαφορετικών παραγόντων. Ο πρώτος οφείλεται στη στερεά φάση του εδάφους (matric suction) ενώ ο δεύτερος οφείλεται στην οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος (osmotic suction). Αφού η μύζηση του εδαφικού νερού είναι στην πραγματικότητα αρνητική πίεση, έχει πάντα τιμές μικρότερες από την ατμοσφαιρική πίεση. Κατά συνθήκη όμως λαμβάνεται να έχει θετική τιμή, με εξαίρεση τη περίπτωση του κορεσμένου εδάφους όπου είναι ίση με μηδέν.

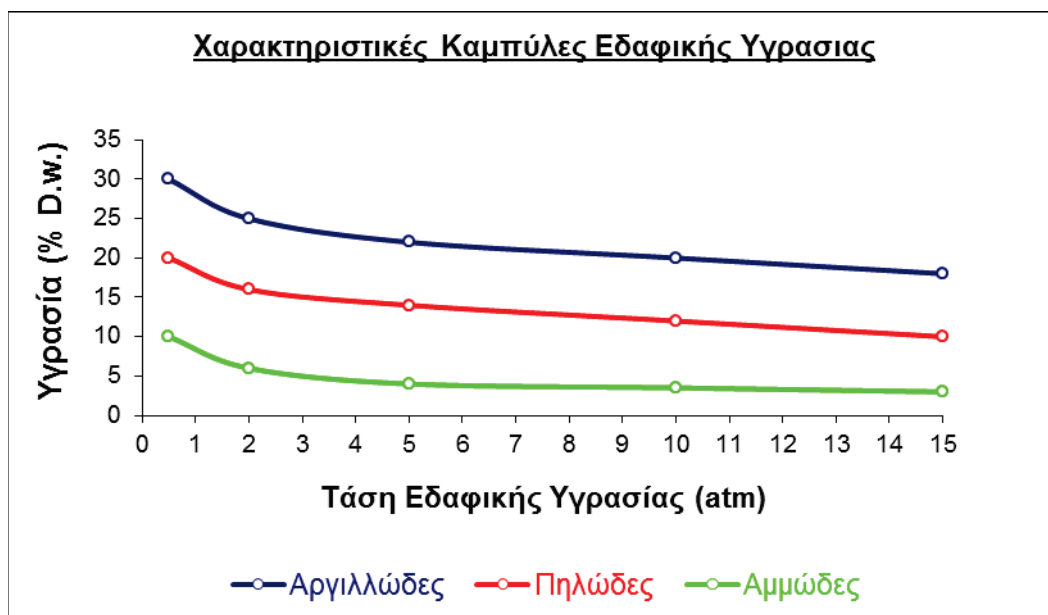
Ο εδαφικός παράγοντας που επηρεάζει από κάθε άλλο τις δυνάμεις με τις οποίες το εδαφικό νερό συγκρατείται από το έδαφος είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους. Η μηχανική σύσταση επηρεάζει κατά κύριο λόγο το πορώδες, τη κατανομή μεγέθους, το σχήμα και τη γεωμετρία των πόρων και την τιμή της ειδικής επιφανείας των στερεών τεμαχιδίων του εδάφους, που με τη σειρά τους καθορίζουν την ένταση των δυνάμεων συγκράτησης του νερού στο έδαφος. Η διαφορετική μηχανική σύσταση σημαίνει διαφορετική δύναμη συγκράτησης του εδαφικού νερού στην στερεή φάση του εδάφους, δηλαδή διαφορετική μύζηση που είναι ο καθοριστικός παράγοντας εφοδιασμού των φυτών με νερό. Ας θεωρηθεί ως παράδειγμα η ακραία περίπτωση ενός αμμώδους και ενός αργιλώδους εδάφους που έχουν και οι δύο υγρασία ίση με $0,15 \text{ cm}^3 (\text{H}_2\text{O})/\text{cm}^3$ (εδάφους).

Ενώ το αμμώδες έδαφος θα είναι σε θέση να εφοδιάσει τα φυτά με νερό, δεν θα συμβεί το ίδιο με το αργιλώδες έδαφος επειδή οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού από το έδαφος είναι πολύ μεγάλες και τα φυτά δεν μπορούν να τις υπερνικήσουν και να προσλάβουν το νερό για τη θρέψη τους.

3.6 Η χαρακτηριστική καμπύλη εδαφικής υγρασίας

Για ένα συγκεκριμένο έδαφος, η μύζηση του εδαφικού νερού μεταβάλλεται με την εδαφική υγρασία, σε κάθε τιμή της εδαφικής υγρασίας αντιστοιχεί και μια τιμή μύζησης. Αν τέτοια ζευγάρια τομών μύζησης-υγρασίας, τοποθετηθούν σ'ένα σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων δίνουν μι ομαλή και συνεχή καμπύλη. Μια τέτοια καμπύλη ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης εδαφικής υγρασίας (soil water retention characteristic curve) που επιτρέπει τη μελέτη της σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στην μύζηση και στην ποσότητα του εδαφικού νερού σε όλο το εύρος της εδαφικής υγρασίας.

Στο σχήμα 3. 4 δίνονται κάποιες χαρακτηριστικές καμπύλες τριών βασικών τύπων εδάφους.

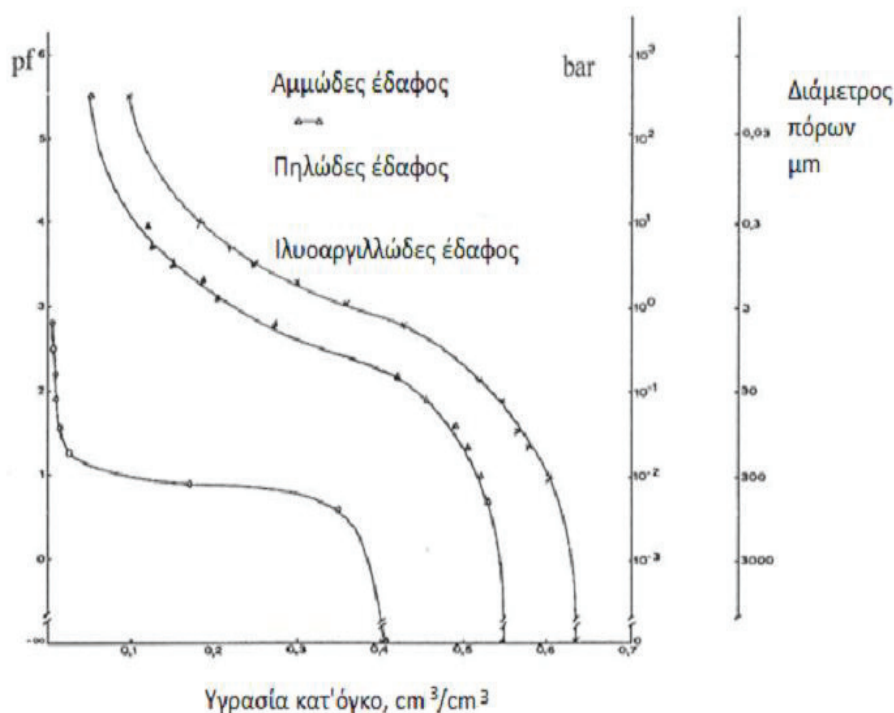


Σχήμα 3. 4: Χαρακτηριστικές καμπύλες εδαφικής υγρασίας σε τρεις τύπους εδαφών.

Ο Schofield (1935) εισήγαγε μια καινούρια μορφή έκφρασης της μύζησης του εδαφικού νερού, το p_f . Σαν p_f ορίζεται ο δεκαδικός λογάριθμος της μύζησης του εδαφικού νερού όταν αυτή εκφράζεται σε εκατοστόμετρα στήλης νερού.

$$P_f = \log s_m \quad (3. 3)$$

Έτσι αν η μύζηση του εδαφικού νερού σε ένα έδαφος είναι 1,2bar ή $1,2 \times 10^3$ cm H₂O αντιστοιχεί σε τιμή $p_f=3,079$. Στο σχήμα 3. 5 δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες συγκράτησης του νερού τριών δειγμάτων. Το πρώτο δείγμα είναι καθαρή άμμος με διάμετρο τεμαχιδίων που κυμαίνεται από 0,5 έως 2 mm. Τα άλλα δυο είναι εδαφικά



Σχήμα 3. 5: Χαρακτηριστικές καμπύλες συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας σε τρία εδαφικά δείγματα.

Η παραπάνω διατύπωση μπορεί πολύ εύκολα να εξηγηθεί από τους παράγοντες που καθορίζουν την ένταση των δυνάμεων συγκράτησης του νερού στο έδαφος, που καθορίζουν δηλαδή την τιμή της μύζησης του εδαφικού νερού. Σε ένα βαθύ για παράδειγμα έδαφος, λόγω του μικρού μεγέθους των τεμαχιδίων, η ειδική επιφάνεια των εδαφικών τεμαχιδίων έχει πολύ μεγάλη τιμή και γι'αυτό το λόγο οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού που οφείλονται στην ύπαρξη της διαχωριστικής επιφάνειας υγρού-στερεού θα έχουν υψηλή τιμή. Από την άλλη μεριά, ενώ ένα βαρύ έδαφος έχει μεγαλύτερο ολικό πορώδες από ένα ελαφρύ έδαφος, οι επιμέρους πόροι του είναι πολύ μικρότερων διαστάσεων από ότι οι πόροι σ' ένα ελαφρύ έδαφος και επομένως οι διαχωριστικές επιφάνειες υγρού-αερίου (μηνίσκοι) που σχηματίζονται έχουν μεγαλύτερη καμπυλότητα αλλά και το εδαφικό του διάλυμα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων. Κατά συνέπεια, το νερό που συγκρατείται με τη μορφή εφυδατώματος των προσροφημένων κατιόντων ή λόγω μεγαλύτερης οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος είναι περισσότερο σ' ένα βαρύ έδαφος από ότι σ' ένα ελαφρότερης μηχανικής σύστασης.

Το ότι η χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού είναι ομαλή επιβεβαιώνει η άποψη που αναφέρθηκε. Οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού στο έδαφος έχουν συνεχή δράση και εφαρμογή και δεν αρχίζουν ή σταματούν να εμφανίζονται σε κάποια συγκεκριμένη περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

Η χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού χρησιμοποιείται πολλές φορές και προκειμένου για εδάφη που δεν εμφανίζουν καθόλου ή εμφανίζουν σε πολύ μικρό βαθμό το φαινόμενο της διόγκωσης-συρρίκνωσης, για τη μελέτη της κατανομής της ενεργού ακτίνας των πόρων του εδάφους.

Σαν ενεργός ακτίνα (effective radius) ενός εδαφικού πόρου ορίζεται η ακτίνα ενός υποθετικού πόρου που έχει κυλινδρικό σχήμα και στον οποίο το εδαφικό νερό συγκρατείται με την ίδια μύζηση με την οποία συγκρατείται το νερό και στον υπόψη εδαφικό πόρο.

Η ανύψωση του νερού σε ένα τριχοειδή σωλήνα, κατασκευασμένο από υλικό που διαβρέχεται από το νερό, δίνεται από την εξίσωση (3. 4) στην οποία έχει αντικατασταθεί η τριχοειδής ανύψωση του νερού με την μύζηση.

$$S_m = \frac{2\gamma}{\gamma_w * g * r} \quad (3. 4)$$

Όπου S_m = μύζηση

Γ = επιφανειακή τάση

γ_w = πυκνότητα

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

r = ενεργός ακτίνα των πόρων

Επειδή η επιφανειακή τάση και η πυκνότητα του νερού έχουν σταθερή τιμή για συγκεκριμένη θερμοκρασία και επειδή η επιτάχυνση της βαρύτητας έχει σταθερή τιμή για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, η μύζηση εξαρτάται μόνο από την ακτίνα των πόρων. Αν στην παρακάτω εξίσωση αντικατασταθούν αυτές οι σταθερές τιμές (για 20°C $\gamma = 72,75$ dyne/cm και $\gamma_w = 0,998$ gr/cm³) καθώς και ($g = 9,81$ erg/gr/cm) η εξίσωση γίνεται:

$$S_m = \frac{0,149}{r} \quad (3. 5)$$

3.7 Υστέρηση της εδαφικής υγρασίας

Η σχέση μεταξύ της μύζησης και της εδαφικής υγρασίας δεν είναι μοναδική και αμετάβλητη γιατί εξαρτάται από την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Στη περίπτωση κορεσμένου εδάφους που έχει υποβληθεί σε προοδευτική αφαίρεση (εκρόφηση) του νερού, ακολουθεί η αντίθετη διαδικασία, δηλαδή ξηρό έδαφος υποβληθεί σε προοδευτική διύγρυνση (προσρόφηση), τότε το αποτέλεσμα θα είναι διαφορετικό. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια μια διαφορετική χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού. Το φαινόμενο της μη ταύτισης των δυο χαρακτηριστικών καμπυλών του ίδιου εδάφους, που οφείλεται στην διαφορετική διαδικασία που ακολούθησε για την κατασκευή τους, ονομάζεται υστέρηση της εδαφικής υγρασίας (hysteresis of soil water).

3. 8 Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας

Επειδή η περιεκτικότητα της μάζας του εδάφους σε νερό διαφέρει στα διάφορα σημεία του εδάφους, θα πρέπει για να έχουν σχέση τα αποτελέσματα με την πραγματικότητα, η μέτρηση της υγρασίας να γίνεται σε πολλά και αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Η εδαφική τάση μετριέται είτε άμεσα (σταθμική μέθοδος) ή υπολογίζεται από τη μεταξύ αυτής και μιας άλλης ιδιότητας του εδάφους, όπως στις μεθόδους της ηλεκτρικής αντίστασης, μέθοδος νετρονίων και απόσβεσης ακτίνων γ.

1. Σταθμική μέθοδος: είναι η κλασική μέθοδος της υγρασίας ανά μονάδα βάρους ξηρού εδάφους. Βασίζεται στη λήψη εδαφικών δειγμάτων και στον προσδιορισμό της υγρής και ξηρής μάζας. Η υγρή μάζα προσδιορίζεται ζυγίζοντας κάθε εδαφικό δείγμα όπως αυτό βρίσκεται και τη στιγμή της δειγματοληψίας ενώ η ξηρή μάζα βρίσκεται με ζύγιση αφού προηγουμένα το δείγμα ξηραθεί σε 105°C για 24 έως 48 ώρες αναλόγως με την υγρασιακή κατάσταση του δείγματος.

Η εδαφική υγρασία κατά βάρος βρίσκεται από τη σχέση:

$$m = \frac{m_w - m_d}{m_d} * 100 \quad (3. 6)$$

όπου m = εδαφική υγρασία κατά μάζα (% D. w.)

m_w = υγρή μάζα (gr)

m_d = ξηρή μάζα (gr)

Πολλές φορές είναι απαραίτητο η εδαφική υγρασία να εκφράζεται αν μονάδα όγκου. Ο υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας κατ'όγκο, απαιτεί τη γνώση της εδαφικής υγρασίας κατά βάρος και της φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους. Δίνεται από τη σχέση:

$$\Theta = m \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \quad (3. 7)$$

Όπου Θ = εδαφική υγρασία κατ'όγκο ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ εδάφους)

m = εδαφική υγρασία κατά βάρος (% D. w.)

γ_w = πυκνότητα του νερού (gr/cm^3)

γ_d = φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους (gr/cm^3)

Η εδαφική υγρασία κατ'όγκο, μπορεί να θεωρηθεί σαν το ισοδύναμο ύψος νερού στη μονάδα βάθους του εδάφους και είναι το ύψος που θα καταλάμβανε η ίδια ποσότητα νερού αν βρίσκονταν σε μια οριζόντια και αδιαπέραστη επιφάνεια.

Η έκφραση της εδαφικής υγρασίας κατ' όγκο πλεονεκτεί, από φυσικής άποψης, σε σύγκριση με τη κατά βάρος εδαφική υγρασία επειδή λαμβάνεται υπ' όψη τις μεταβολές της φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους που συμβαίνουν όταν μεταβάλλεται η υγρασία.

2. Άλλοι μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας:

- Μέθοδοι που βασίζονται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους.
- Χημικές μέθοδοι (chemical methods).
- Μέθοδος νετρονίων (methods neutron).
- Μέθοδος απόσβεσης ακτινών γ (γ – attenuation).
- Ζυγός υγρασίας (scale water).

3. 9 Η ανακατανομή της εδαφικής υγρασίας

Όταν η παροχή νερού, με βροχή ή άρδευση, στην επιφάνεια του εδάφους σταματήσει, σταματάει φυσικά και η διήθηση του νερού δια μέσου της μάζας του εδάφους. Η κίνηση όμως του νερού μέσα στη μάζα του εδάφους δεν σταματά αλλά συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα προς τα κάτω καθώς το εδαφικό νερό ανακατανέμεται κατά μήκος της εδαφικής κατανομής.

Το επιφανειακό εδαφικό στρώμα που είναι κορεσμένο με νερό κατά τη διάρκεια της διήθησης, δεν συγκρατεί πια όλη την υγρασία καθώς ένα μέρος του νερού απομακρύνεται υπό την επίδραση της κλίσης δυναμικού του νερού που υπάρχει ανάμεσα σ' αυτό και στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Αν η εδαφική κατανομή είναι αρχικά κορεσμένη σε όλο το βάθος της ή η υπεδάφεια στάθμη του νερού βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια τότε η κίνηση του νερού, μετά το σταμάτημα της διήθησης, ονομάζεται εσωτερική στράγγιση (internal drainage). Όταν δεν υπάρχει καθόλου υπεδάφεια στάθμη ή βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή όταν ένα μόνο ένα λεπτό στρώμα του επιφανειακού εδάφους είναι κορεσμένο, η κίνηση του νερού ονομάζεται ανακατανομή (redistribution) του εδαφικού νερού. Αποτέλεσμα της ανακατανομής του εδαφικού νερού είναι η αύξηση της υγρασίας σε διαδοχικά βαθύτερα στρώματα και η αντίστοιχη μείωση της υγρασίας του αρχικά κορεσμένου εδαφικού στρώματος.

Η σπουδαιότητα της ανακατανομής του εδαφικού νερού κατά μήκους της εδαφικής κατατομής είναι πολύ σημαντική καθώς αυτή προσδιορίζει το ποσό του νερού που θα συγκρατηθεί, σε διάφορα χρονικά διαστήματα, σε διάφορα βάθη, επηρεάζοντας κατ' αυτό τον τρόπο την ποσότητα του νερού που μπορεί να παραληφθεί σε κάθε περίπτωση από τα φυτά.

3. 10 Σχέση νερού – φυτού

Το νερό κατ' αρχήν από τελεί στοιχείο της δομής των φυτών και αντιπροσωπεύει σε ποσοστό που κυμαίνεται από 60% μέχρι 95% του βάρους τους. Το 96% με 99,5% της ξηράς ουσίας του φυτού αποτελείται από CO_2 και H_2O .

Τα φυτά με την διαπνοή τους από βάλλουν το 99,8% του προσλαμβανόμενου νερού από τις ρίζες και μόνο το 0,2% χρησιμοποιούν για τη δημιουργία των ιστών. Το νερό

είναι το μέσο δια του οποίου διαλύονται τα ανόργανα συστατικά του εδάφους και μεταφέρονται από τις ρίζες στα φύλλα για τη περαιτέρω διεργασία της θρέψης των φυτών.

Η πρόσληψη του νερού γίνεται από τα ριζικά τριχίδια του φυτού. Η δύναμη (τάση) με την οποία προσλαμβάνεται το εδαφικό νερό από τα ριζικά τριχίδια μιας καλλιέργειας φαίνεται στο πίνακα 3. 6.

Είδος φυτού	Ατμόσφαιρες
Χειμερινά σιτηρά	25,5 - 34,5
Θερινά σιτηρά	23,5 - 32,0
Βρίζα	29,5 - 34,5
Βρώμη	17,7 - 23,4
Αραβόσιτος	25,5 - 29,5
Μπιζέλια	21,5 - 29,5
Μηδική	27,0
Ζαχαρότευτλα	14,0
Τριφύλλι	11,0

Πίνακας 3. 6: Η τάση με την οποία προσλαμβάνεται το εδαφικό νερό από τα ριζικά τριχίδια σε κάθε καλλιέργεια.

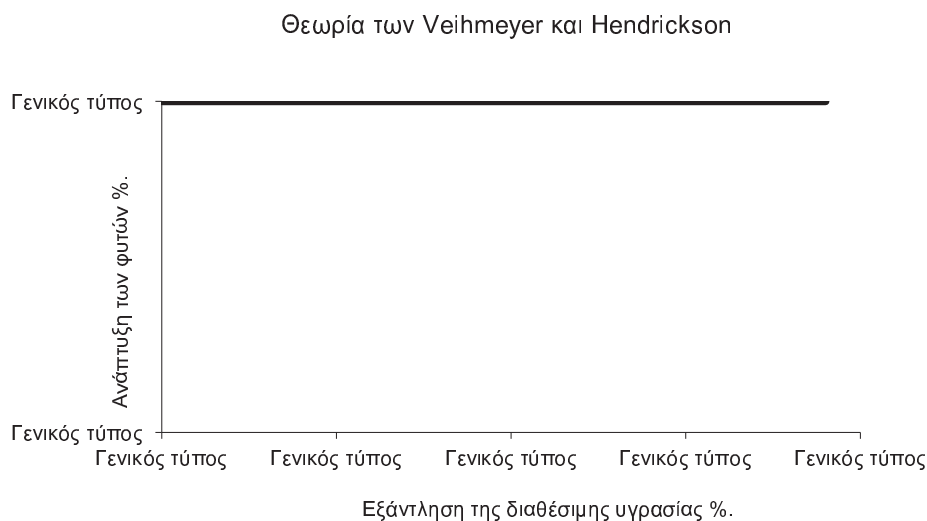
Για τον υπολογισμό του διαθέσιμου νερού ενός εδάφους προς όφελος της καλλιέργειας είναι απαραίτητη η γνώση του βάθους της εδαφικής ζώνης, που εφοδιάζει κυρίως τα φυτά με νερό. Η κύρια μάζα του ριζικού συστήματος των φυτών αναπτύσσεται κυρίως στις ανώτερες προς την επιφάνεια του εδάφους εδαφικές στρώσεις. Τιμές βάθους ενεργού ριζοστρώματος για διάφορες καλλιέργειες σε cm φαίνονται στο πίνακα 3. 7.

Αγκινάρες	30-50	Καρότα	40-60	Πεππονοειδή	50-70
Αγγούρια	30-50	Κρεμμύδια	20-40	Ζαχαρότευτλα	50-70
Άμπελος	60-80	Λάχανα	30-50	Σιτηρά	30-50
Αραβόσιτος	40-60	Λειμώνες	40-50	Σόγια	30-50
Αραχίδα	30-50	Λινάρι	30-50	Σόργο	40-60
Σπαράγγι	50-70	Μαρούλια	20-30	Σπανάκι	20-30
Βαμβάκι	60-80	Μηδική	60-80	Τομάτα	30-50
Πατάτες	40-60	Μπιζέλια	40-60	Φασόλια	30-50
Καπνός	50-70	Οπωροφόρα	50-70	Φράουλα	20-30

Πίνακας 3. 7: Τιμές βάθους ενεργού ριζοστρώματος για διάφορες καλλιέργειες σε cm.

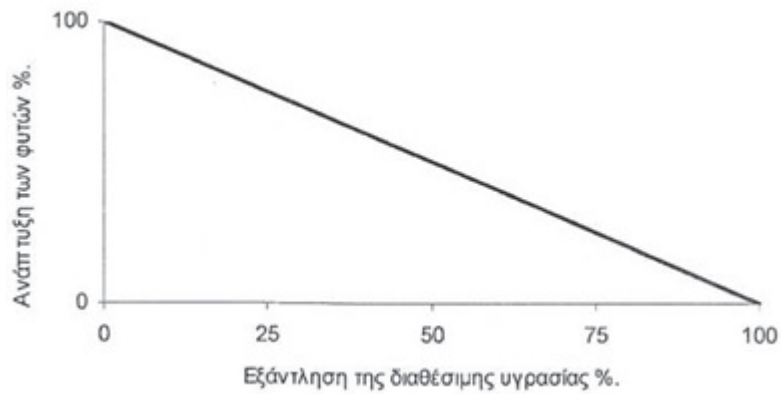
Η έλλειψη του νερού στο έδαφος αλλά και η περίσσεια αυτού έχει δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη και από δόση των φυτών. Εκείνο που απασχολεί τους επιστήμονες στις αρδεύσεις είναι μέχρι πιο σημείο η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Κατά τη θεωρία των Veihmeyer και Hendrickson τα φυτά παίρνουν το απαιτούμενο νερό με ευχέρεια σε όλη τη ζώνη μεταξύ υδατοϊκανότητας και σημείου μόνιμης μάρανσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3. 8.



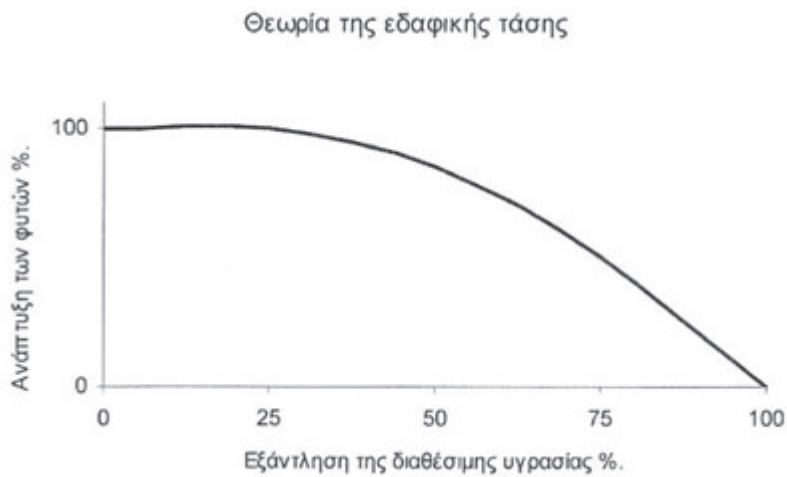
Σχήμα 3. 6: Θεωρία των Veihmeyer και Hendrickson.

Κατά τη θεωρία των Richards και Wandleich η ανάπτυξη των φυτών μειώνεται προοδευτικά και παύει τελείως όταν φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3. 9.



Σχήμα 3. 7: Θεωρία των Richards και Wandleich

Κατά τη θεωρία της εδαφικής τάσης η ανάπτυξη των φυτών είναι συνάρτηση της τάσης της εδαφικής υγρασίας όπως φαίνεται στο σχήμα 3. 10.



Σχήμα 3. 8: Θεωρία της εδαφικής τάσης.

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας μπορεί να γίνει είτε στο εργαστήριο, είτε στον αγρό.

4.1 Εργαστηριακές μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας.

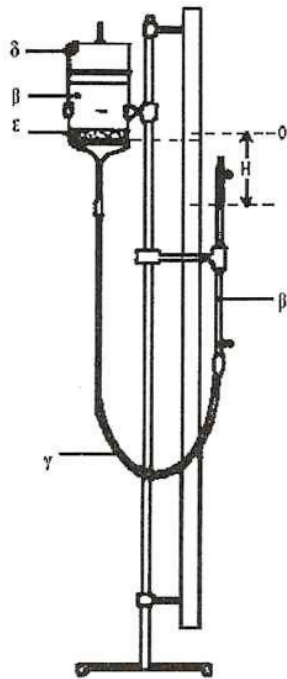
4.1.1 Η μέθοδος Haines

Η μέθοδος Haines χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1930. Αποτελείται από ένα χωνί Bucher που έχει στο κάτω μέρος του ένα πορώδες διάφραγμα, είναι συνδεδεμένο με ένα λαστιχένιο σωλήνα και καταλήγει σε μια προχοΐδα. Το σύστημα αυτό πληρώνεται με εξαερισμένο αποσταγμένο νερό. Το δείγμα του εδάφους μπορεί να είναι διαταραγμένο ή αδιατάραχτο και τοποθετείται πάνω στο διάφραγμα και η αύξηση ή η μείωση της εφαρμοζόμενης πίεσης προκαλεί την απομάκρυνση ή απορρόφηση νερού από το έδαφος. Η ισορροπία μεταξύ της συγκρατούμενης εδαφικής υγρασίας και της αρνητικής πίεσης που εφαρμόστηκε διαπιστώνεται από την σταθερότητα του μηνίσκου στην προχοΐδα. Το μέγεθος της αρνητικής πίεσης που μπορεί να εφαρμοστεί στο διάφραγμα, εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων που θεωρητικά το σύστημα μπορεί να επιτρέψει την εφαρμογή της αρνητικής πίεσης μέχρι μιας ατμόσφαιρας. Στην πράξη περιορίζεται σε αρνητικές πιέσεις από μηδέν έως 0,85 atm. Χρησιμοποιείται για θετικές και για αρνητικές πιέσεις και όταν αναφερόμαστε σε αρνητικές πιέσεις είναι η πίεση μικρότερη από 1 atm.

Η πίεση του νερού στο διάφραγμα δίνεται από την σχέση:

$$P = g \rho h$$

Όπου P = πίεση σε Nt
 g = επιτάχυνση της βαρύτητας m/sec^2
 h = ύψος (φορτίου πίεσης) σε m
 ρ = πυκνότητα υγρού σε kg/m^3

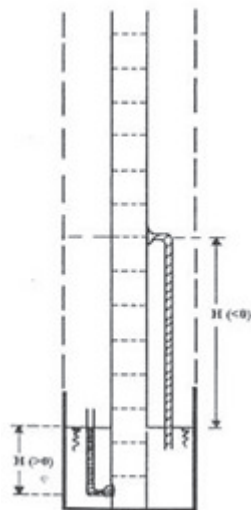


- α. Χωνί Buchner
- β. Προχίδια
- γ. Λαστιχένιος σωλήνας
- δ. Πώμα για μείωση απωλειών λόγω εξάτμισης
- ε. Δείγμα εδάφους

Σχήμα 4. 1: Συσκευή Haines

4.1.2 Η μέθοδος στήλης σε ισορροπία με σταθερή στάθμη

Αν μια κορεσμένη πορώδες στήλη από στραγγιστεί ενώ το κάτω άκρο της είναι βυθισμένο σε σταθερή μάζα ύδατος. Τότε μέσα στην κατάσταση ισορροπίας διαμορφώνεται μέσα σε μια στήλη μια κατανομή υγρασίας. Κατάσταση ισορροπίας είναι η μη ροή ύδατος κατά μήκος της στήλης τόσο προς την ελεύθερη στάθμη του ύδατος, όσο και προς την πάνω επιφάνεια της. Για απόφυγή ή τουλάχιστον μείωση της ροής προς το πάνω άκρο της στήλης η πάνω επιφάνεια καλύπτεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται η επικοινωνία της με τον ατμοσφαιρικό αέρα.



Σχήμα 4. 2: Σχηματική παράσταση στήλης με μικρά τασίμετρα

4.1.3 Η μέθοδος στήλης με διάφραγμα πίεσης

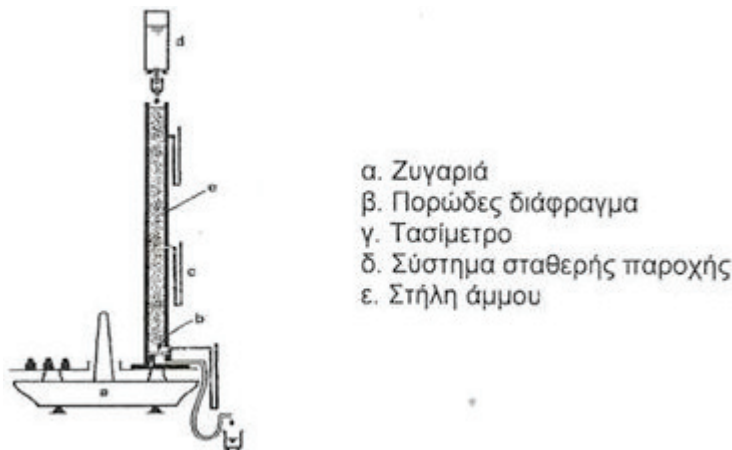
Όταν σε μια στήλη πορώδους υλικού που βρίσκεται κάτω από σταθερή ροή (αυτό εξασφαλίζεται με την διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας ροής νερού στο πάνω άκρο της) και από στραγγίζεται με σταθερή στάθμη νερού που βρίσκεται στο κάτω άκρο της, έτσι σχηματίζεται μια ζώνη που τόσο η περιεκτικότητα της σε νερό όσο και η τιμή του φορτίου πίεσης H είναι σταθερές. Η υδραυλική αγωγιμότητα δίνεται από τη σχέση:

$$q = K$$

q = η σταθερή ποσότητα ροής νερού που διατηρείται στο πάνω άκρο της στήλης.

Στην συσκευή αυτή το πορώδες υλικό στο κάτω άκρο της στήλης βρίσκεται σε επαφή με πορώδες διάφραγμα στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν αρνητικές πιέσεις. Έτσι είναι δυνατόν να εφαρμοστεί φορτίο πίεσης H , που επικρατεί στο πάνω άκρο της στήλης, με αποτέλεσμα ολόκληρη η στήλη από στραγγισμένη σε κατάσταση ομοιομορφίας δηλαδή να έχει την αυτή περιεκτικότητα σε νερό κάτω από το ίδιο φορτίο.

Η στήλη τοποθετείται σε ζυγό και έτσι η περιεκτικότητα σε νερό της στήλης στην κατάσταση ομοιομορφίας μπορεί να προσδιοριστεί ενώ το φορτίο H προσδιορίζεται με τασίμετρα τοποθετημένα κατά μήκος της στήλης. Η μεταβολή της ποσότητας q επιτρέπει την λήψη διαφόρων καταστάσεων ομοιομορφίας που η καθεμία τους χαρακτηρίζεται από διάφορο θ , H και K . Έτσι προσδιορίζεται τόσο η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας όσο και η σχέση μεταξύ περιεκτικότητας σε νερό και της υδραυλικής αγωγιμότητας K .



Σχήμα 4. 3: Σχηματική παράσταση στήλης με διάφραγμα πίεσης

4.1.4 Μέθοδος σχετικής υγρασίας

Το δείγμα του εδάφους τοποθετείται σε ένα αεροστεγές δοχείο που περιέχει ένα διάλυμα συνήθως θειικού οξέως, χλωριούχου νατρίου που διατηρεί το χώρο στην επιθυμητή υγρασία. Αφήνεται το δείγμα μέσα ώστε να έρθει σε κατάσταση ισορροπίας. Μετά το δείγμα ζυγίζεται, ξηραίνεται και επανάζυγίζεται. Έτσι προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό και της σχετικής υγρασίας. Η στήλη τοποθετείται σε ένα ζυγό όπου έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα σε νερό της στήλης σε κατάσταση ομοιομορφίας. Κατά μήκος της στήλης υπάρχουν τα τασίμετρα όπου προσδιορίζουν το φορτίο Η.

4.1.5 Μέθοδος του σημείου πήξης του ύδατος του εδάφους

Σε δείγματα εδάφους τοποθετούνται σωλήνες ζέσης, προστίθενται διάφορες ποσότητες ύδατος και αφήνονται μέχρι να επανέλθει ομοιόμορφα η κατανομή υγρασίας. Μετά οι σωλήνες τοποθετούνται σε ψυκτικό μείγμα ενώ σε κάθε σωλήνα βυθίζεται στη μάζα του έδαφος το θερμόμετρο Beckman.

Με την έναρξη της πήξης παρατηρείται άνοδος της θερμοκρασίας. Η τελική θερμοκρασία που παρατηρείται δίνει το σημείο πήξης. Η διαφορά μεταξύ της αρχικής θερμοκρασίας από την τελική θερμοκρασία βρίσκεται η ποσότητα νερού που μετράμε σε πάγο την πήξη.

4.1.6 Μέθοδος πιεστικού δίσκου – Συσκευή Richards

Με την συσκευή Richards μπορούμε να κατασκευάσουμε καμπύλες εδαφικής υγρασίας με αποτέλεσμα που παίρνουμε από την άσκηση πίεσης σε διαταραγμένα είτε αδιατάραχτα δείγματα.

4.1.6.1 Με διαταραγμένα δείγματα

Τα διαταραγμένα δείγματα εδάφους, λήφθηκαν από το έδαφος με ένα απλό δειγματολήπτη διαταραγμένων δειγμάτων. Η κατασκευή του εδαφολήπτη αυτού είναι διαφορετική από τον ειδικό εδαφολήπτη αδιατάραχτων, όμως η βασική ιδέα είναι ίδια. Η διαφορά υφίσταται στο κατασκευαστικό μέρος.

4.1.6.2 Με αδιατάραχτα δείγματα

Για την κατασκευή χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας με την συσκευή Richards με αδιατάραχτα δείγματα, ασχολήθηκα στο εργαστήριο Αρδεύσεων του τμήματος, όπου η μέθοδος, η διαδικασία και τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.

4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας στον αγρό

Από τις μεθόδους και τα όργανά προσδιορισμού εδαφικής υγρασίας που υπάρχουν θα αναπτυχθούν παρακάτω εκείνες που η χρησιμότητα τους από δείχθηκε από την μακρόχρονη εφαρμογή τους.

4.2.1 Τασίμετρα

Αποτελείται από ένα κύπελλο κατασκευασμένο από πορώδες κεραμικό υλικό, από ένα μανόμετρο και ένα διαφανή σωλήνα. Όλο αυτό το σύστημα πληρώνεται με απιονισμένο νερό και καταβάλλεται προσπάθεια απομάκρυνσης φυσαλίδων αέρα και στην συνέχεια ανοίγουμε οπή στο έδαφος και το τοποθετούμε. Για την κανονική λειτουργία του οργάνου πρέπει να έχουμε καλή επαφή μεταξύ της επιφάνειας του πορώδες δοχείου και του εδάφους που περιβάλλει το όργανο.

Το τασίμετρο μετράει την μύζηση της εδαφικής υγρασίας και ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό σε διάφορες τιμές μύζησης επιτρέπει τον καθορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους. Τα όρια πιέσεων που χρησιμοποιούνται στα τασίμετρα είναι από μηδέν έως μία ατμόσφαιρα.

4.2.2. Πορώδη σώματα

Αν ένα πορώδες σώμα, που απορροφά το νερό, τοποθετηθεί μέσα στη μάζα του εδάφους τείνει να προσλάβει ή να αποδώσει νερό μέχρις ότου η υγρασία του να έλθει σε ισορροπία με την εδαφική υγρασία. Στην κατάσταση αυτή του σώματος είναι ίση με την πίεση της εδαφικής υγρασίας.

Τα πορώδη σώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι από διάφορα υλικά όπως ύφασμα νάιλον, υαλοβάμβακα και γύψο. Οι συνηθέστεροι είναι η χρήση γύψινων σωμάτων.

4.2.3 Μέθοδος νετρονίων

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην μείωση της ταχύτητας των νετρονίων που προκαλείται από τις συγκρούσεις τους με πυρήνες υδρογόνου που αφθονούν στο έδαφος. Η συσκευή περιλαμβάνει πηγή νετρονίων που αποτελείται από μείγμα Πολωνίου-Βηρυλλίου ή Ραδίου-Βηρυλλίου ή Αμερικίου-Βηρυλλίου.

Οι πυρήνες του Βηρυλλίου από συντίθεται από το βομβαρδισμό με τα τεμαχίδια της ραδιενεργούς ουσίας και ένα ηλεκτρόνιο ελευθερώνεται από κάθε πυρήνα Βηρυλλίου.

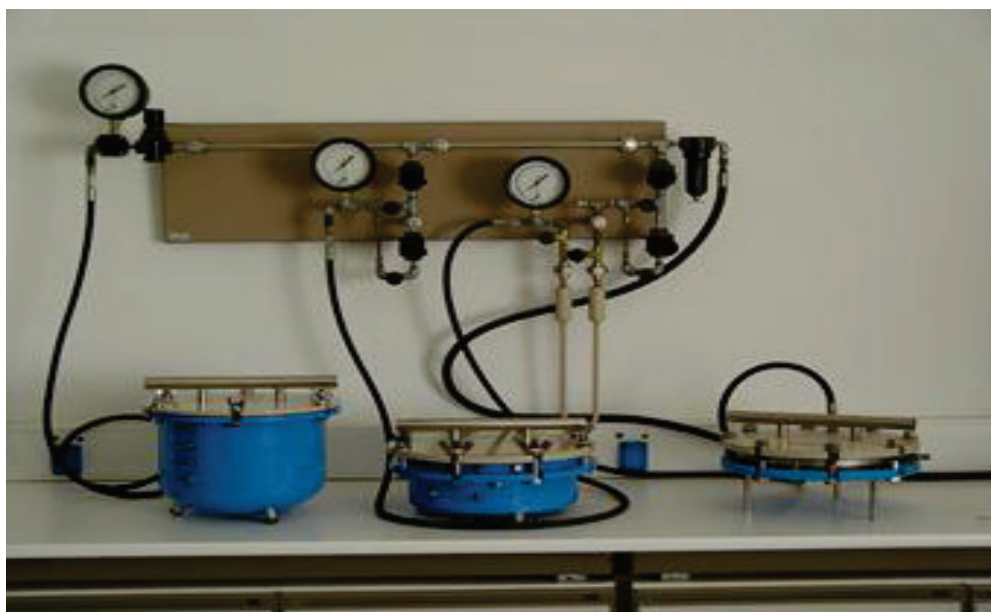
Η συσκευή συνοδεύεται από καμπύλη συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των παλμών και περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό κατά όγκο. Η συσκευή θα πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα με συσκευή.

Η χρησιμοποίηση της συσκευής των νετρονίων σε συνδυασμό με τα τασίμετρα επιτρέπει τον καθορισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας και από τελεί ένα αποτελεσματικό μέσο για παρακολούθηση των καταστάσεων ισορροπίας και της κίνησης του εδαφικού νερού.

5 ΚΑΤ'ΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ RICHARDS

5. 1. Συσκευή Richards

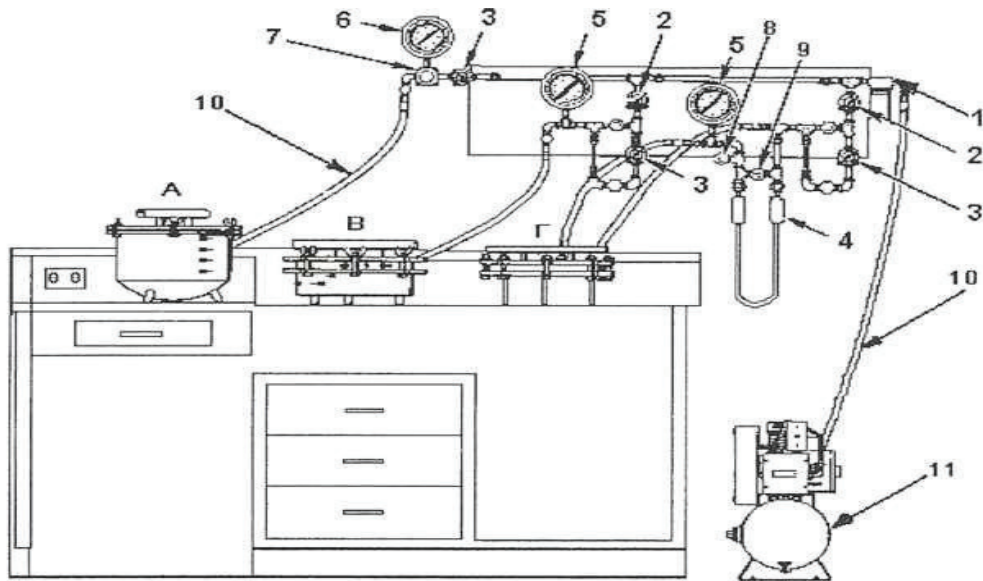
Πρώτος ο Richards ανέπτυξε τα αρχικά σχέδια για την συσκευή πιεστικού δίσκου. Υπάρχουν συσκευές που χρησιμοποιούν ως πορώδες μέσο, είτε μια πορώδες πλάκα είτε μια μεμβράνη οξικού άλατος κυτταρίνης. Ο πεπιεσμένος αέρας παρέχεται μέσω των ρυθμιστών και των μετρητών αεροσυμπιεστή.



Εικόνα 5. 1: Συσκευές Richards του εργαστηρίου Αρδεύσεων

Οι περισσότερες συσκευές Richards μπορούν να δεχτούν αδιατάρακτα δείγματα εδάφους. Ο χρόνος ισορρόπησης στα κύτταρα πίεσης εξαρτάται από το ύψος του εδαφολογικού δείγματος, δείγματα εδάφους ύψους παραπάνω από 5cm είναι ανεπιθύμητα. Για πίεση έως 1500 kPa (15atm), ένα ύψος δειγμάτων 1cm είναι κατάλληλο. Επειδή το νερό στα δείγματα που εξισορροπούνται κρατιέται στους μικρούς πόρους, είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθούν διαταραγμένα δείγματα, υπό τον όρο ότι το χώμα δεν συμπιέζεται.

Με την ανάπτυξη της πορώδους κεραμικής πλάκας πίεσεως έχουν διατεθεί για να καλύψουν μια σειρά πιέσεων κάτω από 1500 kPa και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για κατασκευή χαρακτηριστικών καμπύλων εδαφικής υγρασίας. Στις συσκευές τοποθετούνται εδαφικά δείγματα μέσα σε ελαστικά δακτυλίδια, τα οποία είναι σε επαφή με τη πορώδες πλάκα αφού σφραγιστεί η συσκευή εφαρμόζεται η επιθυμητή πίεση. Ισορροπία στα δείγματα έχει επιτευχθεί όταν παύει η εκροή του νερού. Τα δείγματα μπορούν έπειτα να βγουν από τη συσκευή και μετριέται η περιεκτικότητά τους σε υγρασία.



Σχήμα 5. 1: Συσκευές Richards του εργαστηρίου Αρδεύσεων.

A. Συσσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 3 bar

B. Συσσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 15 bar

Γ. Συσσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 20 bar

1. Φίλτρο αέρα 2. Ρυθμιστής πίεσης (2) 3. Ρυθμιστής πίεσης (3) 4. Ρυθμιστής υδραργύρου 5. Μανόμετρο (0-20bar) 6. Μανόμετρο (0-5bar) 7. Ρυθμιστής Πίεσης (1) 8. Βαλβίδα εξαερώσεως 9. Στραγγαλιστική βαλβίδα 10. Σωλήνας σύνδεσης 11. Αεροσυμπιεστής

Η μέθοδος είναι αρκετά ακριβείς με συντελεστή σφάλματος έως δυο τοις εκατό. Η έμφραξη των πορωδών πλακών από τα εδαφικά μόρια μπορεί να εμφανιστεί μετά από την επαναλαμβανόμενη χρήση τους. Επιπλέον, ο Chanal και ο Yong ανακάλυψαν ότι λόγω των αεροφυσαλίδων που παγιδεύονται στους γεμάτους με νερό πόρους, οι τιμές της χαρακτηριστικής καμπύλης εδαφικής υγρασίας που λαμβάνονται με τις συσκευές πιεστικών δίσκων στις υψηλές πιέσεις, είναι υψηλότερες από αυτές που πάρθηκαν από τη μέθοδο Haines.

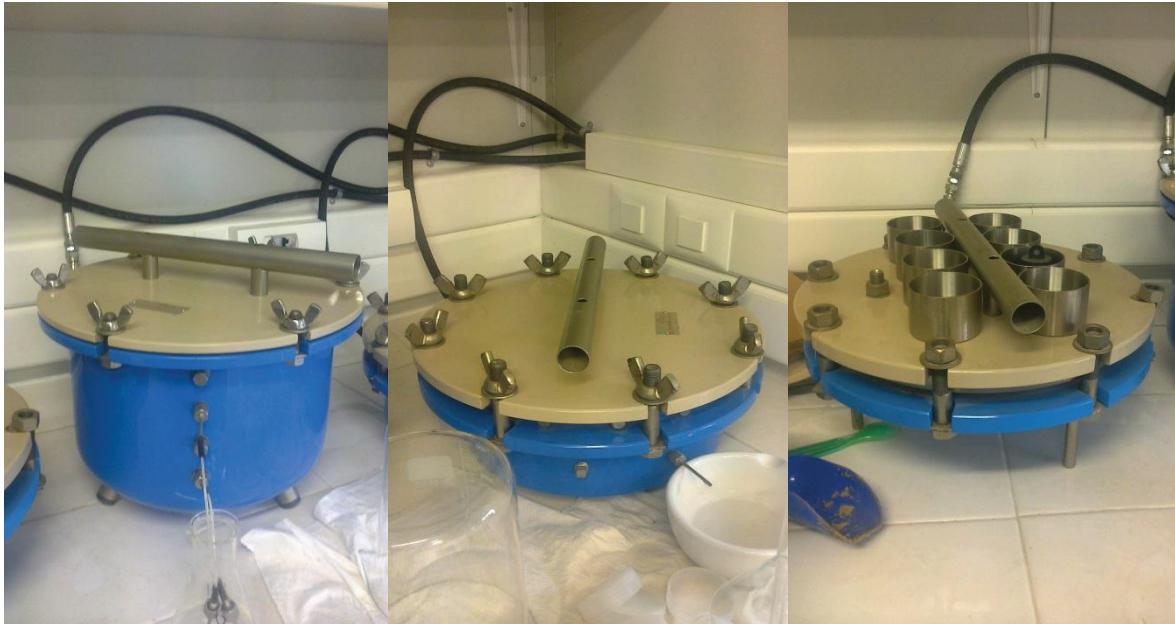
Γενικά μια συσκευή Richards αποτελείται από τον χώρο που τοποθετούνται κεραμικές πλάκες με τα δείγματα του εδάφους που προορίζονται για την μέτρηση εδαφικής υγρασίας, από το καπάκι της συσκευής που φέρει περιμετρικές εγκοπές και από τους κοχλίες σύνδεσης της συσκευής που τοποθετούνται στις εγκοπές και από τους κοχλίες σύνδεσης της συσκευής που τοποθετούνται στις εγκοπές. Μεταξύ της συσκευής και του καλύμματος, τοποθετείται ένας δακτύλιος από ελαστικό υλικό (O-ring) το οποίο στεγανοποιεί την συσκευή έτσι ώστε να μην υπάρχουν διαρροές κατά την εφαρμογή πίεσης στην συσκευή. Στο εσωτερικό της συσκευής υπάρχουν περιμετρικές προεξοχές ρυθμιζόμενου ύψους όπου στηρίζονται οι κεραμικές πλάκες. Μια συσκευή μπορεί να δεχθεί από μια έως και τέσσερις κεραμικές πλάκες για ταυτόχρονη μέτρηση υγρασίας των εδαφικών δειγμάτων.

Η βάση της συσκευής φέρει ακροφύσια εκροής υγρού (τόσα στον αριθμό όσες και οι πλάκες που μπορεί να δεχθεί κάθε συσκευή). Εσωτερικά το ακροφύσιο συνδέεται με την βαλβίδα της κεραμικής πλάκας και εξωτερικά είναι ελεύθερο στην ατμόσφαιρα. Κατά την εφαρμογή πίεσης στην συσκευή που γίνεται από ειδική είσοδο, η υγρασία των δειγμάτων εδάφους συσσωρεύεται στην πλάκα και ακολουθεί την πορεία προς την βαλβίδα, έπειτα στο ακροφύσιο που είναι συνδεδεμένο και τελικά η εξαγωγή της υγρασίας σε μορφή νερού.

(1)

(2)

(3)



Εικόνα 5. 2: (1)Συσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 3 bar.

(2)Συσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 15 bar.

(3)Συσκευή μέτρησης εδαφικής υγρασίας με πεδίο έως 20 bar.

Στο εργαστήριο Αρδεύσεων του τμήματος μας υπάρχουν τρεις συσκευές μέτρησης εδαφικής υγρασίας Richards. Στην πρώτη το πεδίο μέτρησης της είναι 0-3 bar πίεση. Στην δεύτερη μπορούν να ασκηθούν πιέσεις έως και 15 bar. Στη τρίτη το πεδίο εφαρμογής πίεσης είναι από 0-20 bar και επιπλέον μπορεί να μετρήσει διαφορική πίεση με τη βοήθεια υδραυλικού σωλήνα.

5. 2. Δειγματοληψία

Πριν την δειγματοληψία για την χρήση του εδάφους στο εργαστήριο, προηγήθηκε δειγματοληψία για την ανάλυση του. Έτσι ώστε να γνωρίζουμε τις ιδιότητες του. Η αντιπροσωπευτικότητα του σωστού δείγματος εξασφαλίστηκε με τη λήψη επί μέρους δειγμάτων από τον αγρό που πρέπει να έχουν το ίδιο βάρος ,να προέρχονται από το ίδιο βάθος και ο αγρός να είναι ομοιόμορφος. Για τα σημεία της δειγματοληψίας ισχύει ο γενικός κανόνας της ομοιογένειας και της αντιπροσωπευτικότητας.

Γενικά κατά την δειγματοληψία πρέπει:

1. Να αποφευχθεί η δειγματοληψία κοντά σε δρόμους, στάβλους, σε αυλάκια ή από τοποθεσίες που παρουσιάζουν διάβρωση.
2. Τα δείγματα πρέπει να παρθούν από αγρούς ή τμήματα αγρών που είναι ομοιογενή.
3. Όταν ένας αγρός παρουσιάσει ανομοιομορφία πρέπει να χωρισθεί σε τμήματα ομοιογενή, τα οποία θα δειγματίζονται ξεχωριστά.
4. Σε όλες τις περιπτώσεις η δειγματοληψία θα πρέπει να μην γίνεται μετά από κάποια ασβέστωση ή προσθήκη οργανικών ουσιών ή μετά από λίπανση.
5. Κατά τη δειγματοληψία το έδαφος πρέπει να βρίσκεται στο ρώγο του, δηλαδή να τρίβεται εύκολα ώστε τα επί μέρους δείγματα να μπορούν να ανακατευθούν με σχετική ευκολία.
6. Σε καμία περίπτωση να μην γίνεται ανάμειξη δειγμάτων που προήλθαν από διαφορετικά εδάφη.

5. 2. 1 Τρόπος δειγματοληψίας εδάφους για τη μηχανική ανάλυση του

Στον πειραματικό αγρό του Τμήματος που έγινε η λήψη των δειγμάτων εδάφους, επιλέχθηκαν τρία σημεία με απόσταση μεταξύ τους 3-4 μέτρα. Από κάθε σημείο λήφθηκε - με τη βοήθεια απλού δειγματολήπτη- έδαφος από δύο διαφορετικά βάθη στα 30 cm και 60 cm. Επέλεξα λοιπόν για το βάθος των 30cm να ενώσω τα δείγματα και από τα τρία σημεία και για το βάθος των 60cm να ενώσω τα δείγματα από το σημείο 1 και 3. Τέλος για το σημείο 2 επέλεξα να γίνει ανάλυση ξεχωριστά -εφόσον συμβουλευτήκα τον εισηγητή- και αυτό γιατί παρατηρώντας το έδαφος μακροσκοπικά έμοιαζε ανόμοιο αυτό το σημείο στο βάθος των 60cm. Έτσι δημιουργήθηκαν ουσιαστικά τρία διαφορετικά δείγματα. Το συνολικό βάρος των δειγμάτων που χρειάζεται για την μηχανική ανάλυση είναι στα 2kg.

5. 3 Εισαγωγή στο Τρόπο Μηχανικής Ανάλυσης του Εδάφους

Η μηχανική ανάλυση του εδάφους από τελεί τον προσδιορισμό της κατανομής του μεγέθους των επιμέρους εδαφικών τεμαχιδίων σε ένα εδαφικό δείγμα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανικής ανάλυσης είναι η καταστροφή ή διασπορά των εδαφικών συσσωματωμάτων με χημικό ή μηχανικό τρόπο ή με τη χρήση υπερήχων και ο διαχωρισμός των διαφόρων εδαφικών τεμαχιδίων σύμφωνα με το μέγεθος τους με κοσκίνισμα ή καθίζηση.

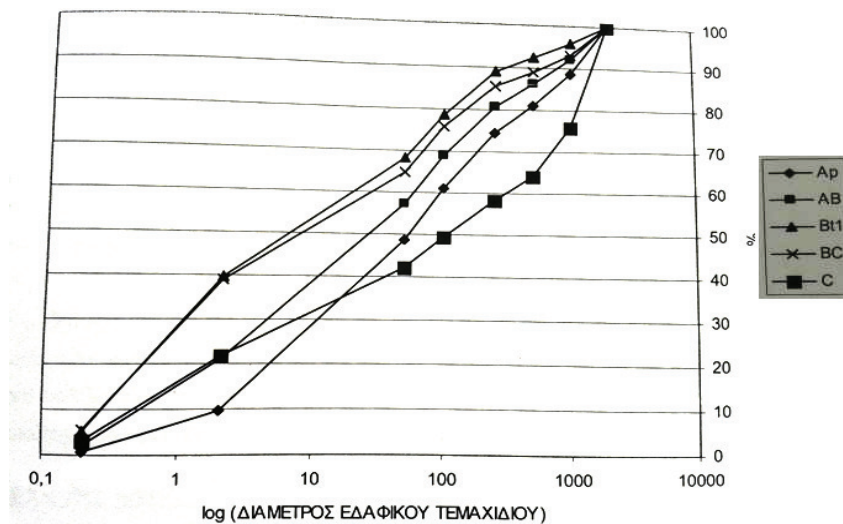
Τα εδαφικά τεμαχίδια καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα διαφόρων μεγεθών τα οποία ποικίλουν από πέτρες ή χαλίκια (μέγεθος μεγαλύτερο από 0,25m) μέχρι τη λεπτή άργιλο (< 1μm).

Διάφορα συστήματα ταξινόμησης του μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να καθοριστούν τα ακριβή όρια ή το εύρος του μεγέθους των διαφόρων εδαφικών τεμαχιδίων. Γενικά, τα εδαφικά τεμαχίδια τα οποία είναι μικρότερα από τα 2000μm (2mm) διαιρούνται σε τρεις κύριες μεγάλες κατηγορίες: άμμος (sand), ιλύς (silt) και άργιλος (clay). Κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες μπορεί να διαιρεθεί σε μικρότερες ομάδες.

Στην εικόνα 5. 3 φαίνονται τα όρια ταξινόμησης των διαφόρων εδαφικών τεμαχιδίων σύμφωνα με τα κυριότερα ταξινομικά συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν από φορείς όπως

U. S. Department of Agriculture (USDA), Canadian Soil Survey Committee (CSSC), International Soil Science Society (ISSS) και American Society for Testing and Materials (ASTM). Το σύστημα που χρησιμοποιείται σήμερα για τους σκοπούς της εδαφολογικής έρευνας και το οποίο έχει υιοθετηθεί και από την Αμερικανική Εδαφολογική Εταιρεία είναι εκείνο που προτάθηκε από το USDA [π. χ άμμος (<2000-50 μm), ιλύς (<50-2 μm) και άργιλος (< 2 μm)]. Σε κάθε περίπτωση πάντως θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μηχανικής ανάλυσης είναι αναγκαίο να αναφέρεται ποιο ταξινομικό σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί για την κατανομή των διαφόρων μεγεθών των εδαφικών τεμαχιδίων.

Τα δεδομένα της μηχανικής ανάλυσης μπορούν να παρουσιαστούν και να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, με πιο κοινό να είναι η καμπύλη κατανομής του μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων. Ένα παράδειγμα του τύπου αυτού της καμπύλης φαίνεται στην εικόνα 5. 3. Οι καμπύλες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για σπουδές στη γένεση εδαφών και τη γεωμορφολογία.



Εικόνα 5. 3: Αθροιστική κατανομή εδαφικών τεμαχιδίων εδαφοτομής.

Η μηχανική ανάλυση στην εδαφολογία χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιολόγηση της υφής του εδάφους (soil texture). Τα εδάφη σπάνια από τελούνται εξολοκλήρου από ενός μεγέθους εδαφικά τεμαχίδια. Η υφή του εδάφους βασίζεται σε διάφορους συνδυασμούς της άμμου της ιλύος και της αργίλου και οι οποίοι από τελούν την κατανομή των εδαφικών τεμαχιδίων ενός εδαφικού δείγματος και την κατάταξη τους σε κλάσεις μηχανικής σύστασης.

Η γνώση της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών είναι σημαντική για τη μελέτη της γένεσης, της μορφολογίας και της ταξινόμησης των εδαφών, το σχεδιασμό χρήσης γης, τη στράγγιση, τον έλεγχο της διάβρωσης κλπ.

Κατά τη μέθοδο αυτή, το εδαφικό δείγμα, γνωστού ξηρού βάρους, διασπείρεται σε στήλη νερού και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επειδή τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν πιο γρήγορα από τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (Νόμος Stroke's) επιλέγονται οι χρόνοι μετρήσεως της πυκνότητας έτσι ώστε να έχουν καθιζάνει η άμμος και κατόπιν η ιλύς (η άργιλος παραμένει σε αιώρηση). Κατόπιν υπολογίζεται η εκατοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα πυκνόμετρο (υγρόμετρο Βουγιούκου) για τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος εδάφους-ύδατος. Η πυκνότητα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων εδαφικών στερεών συστατικών στο βάθος μέτρησης. Η ταχύτητα καθιζήσεως των εδαφικών υλικών και συνεπώς ο χρόνος μετρήσεως καθορίζεται από την εξίσωση του Stroke's:

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

όπου:

v = η ταχύτητα πτώσεως των εδαφικών υλικών (cm/sec)

d_1 = η πυκνότητα των εδαφικών υλικών (2.65 gr/cm³)

d_2 = η πυκνότητα του υγρού (0.998 gr/cm³)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (980 cm/sec²)

r = η ακτίνα των εδαφικών τεμαχιδίων (cm)

n = το απόλυτο ιξώδες του υγρού (poises) (1poise=gr. cm⁻¹.sec⁻¹)

Η μέθοδος του υδρομέτρου εφαρμόζεται σε εδαφικά υλικά που έχουν ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη από 0.2 mm και μεγαλύτερη από 0.0002 mm. Εδαφικοί κόκκοι μεγαλύτεροι από 0.2 mm καθιζάνουν με μεγάλη ανατάραξη του αιωρήματος. Εδαφικοί κόκκοι μικρότεροι από 0.0002 mm δεν μετριοούνται λόγω της κινήσεως του Brown.

5.3.1 Εκτέλεση διαδικασίας

Αφού πάρθηκαν τα δείγματα από τον αγρό για να γίνει η μελέτη, ακολουθήθηκε ξήρανση, κονιορτοποίηση και ο διαχωρισμός από χονδροειδείς σβόλους.

Αφαιρέθηκαν τα δείγματα από τις πλαστικές συσκευασίες όπου ήταν αποθηκευμένα και τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά δοχεία. Καταγράφηκε σε καρτελάκι το ακριβές σημείο του χωραφιού από όπου προήλθε το κάθε δείγμα και τοποθετήθηκε στο αντίστοιχο δοχείο.

Τα δείγματα 3 στον αριθμό, τοποθετήθηκαν στο πυριαντήριο στους 33 βαθμούς Κελσίου. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ανακατεύθηκαν και θρυμματίστηκαν από τυχόν σβόλους εδάφους προκειμένου να επιτευχθεί ξήρανση σε όλη τη μάζα του δείγματος.



Εικόνα 5. 4:Εισαγωγή των δειγμάτων στο πυριαντήριο στους 33 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 5. 5: Κονιορτοποίηση των δειγμάτων.

Μετά την ξήρανση έγινε εξαγωγή των δειγμάτων από το πυριαντήριο, τοποθετήθηκαν ένα-ένα σε πορσελάνινο γουδί του εργαστηρίου και κονιορτοποιήθηκαν.



Εικόνα 5. 6: Αρίθμηση δειγμάτων.

Μετά την κονιορτοποίηση, το κάθε δείγμα περάστηκε από κόσκινο με διάμετρο οπής 2mm. Μετά τον διαχωρισμό του εδάφους με μέγεθος κόκκων έως και 2 mm, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά δοχεία.

Οι συσκευές και τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη μηχανική ανάλυση του εδάφους είναι τα εξής:

1. Πυκνόμετρο Βουγιούκου 0-50 gr/lit
2. Ηλεκτρικός αναμείκτης μηχανικής αναλύσεως
3. Κύλινδρος καθιζήσεως Βουγιούκου
4. Πλαστικά πώματα κυλίνδρων καθιζήσεως Βουγιούκου
5. Θερμόμετρο
6. Σειρά κόσκινων μηχανικής ανάλυσης διαμέτρων 1mm, 0. 5mm, 0. 25mm, 0. 1mm και 0. 05 mm.

Η ανάλυση έγινε στο εργαστήριο Εδαφολογίας και Αρδεύσεων του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας σύμφωνα με την εξής διαδικασία:

1). Ζύγισα 50 gr αεροξηραμένου δείγματος και το τοποθέτησα σε πλαστική φιάλη με πώμα των 250ml. Πραγματοποιήθηκε η προσθήκη 100ml διαλύματος Calgon (aka. Sodium hexametaphosphate). Μετέφερα το εδαφικό δείγμα στο ποτήρι του ηλεκτρικού ανάμεικτη, γέμισα το ποτήρι μέχρι 5 cm από την κορυφή με απιονισμένο νερό και 50 ml διαλύματος διασποράς και έγινε ανάδευση με τον αναμείκτη για 5 λεπτά.



Εικόνα 5. 7: Δημιουργία διαλύματος.

2) Μετά την ανάδευση, με τη βοήθεια υδροβολέα (squeeze bottle), μετέφερα το αιώρημα σε κύλινδρο Βουγιούκου ή ογκομετρικό κύλινδρο 1000ml.

3). Πρόσθεσα νερό όγκου μέχρι 1000ml.

4). Γέμισα έναν άλλο κύλινδρο Βουγιούκου με απιονισμένο νερό και 100ml διαλύματος διασποράς και έλεγξα το υδρόμετρο. Αφαίρεσα την ένδειξη αυτή από την ένδειξη του υγρομέτρου με το εδαφικό δείγμα.

5). Με ένα πλαστικό πώμα στον κύλινδρο ή τη βοήθεια της παλάμης του χεριού, ανάμειξα το περιεχόμενο 1 λεπτό. Κατόπιν τοποθέτησα ταχέως τον κύλινδρο σε σταθερό μέρος και σημείωσα αμέσως το χρόνο.



Εικόνα 5. 8: Ηλεκτρικός αναμείκτης μηχανικής αναλύσεως.



Εικόνα 5. 9: Προσθήκη νερού όγκου 1000ml.

6). Τοποθέτησα το υδρόμετρο μέσα στο αιώρημα και μέτρησα την ένδειξη σε 40 δευτερόλεπτα μετά την ανάμειξη. Αυτή η ένδειξη δίνει τους εδαφικούς κόκκους μέχρι 0.05mm που είναι σε αιώρηση, η άμμος έχει καθιζάνει.



Εικόνα 5. 10: Πυκνόμετρο Βουγιούκου 0-50 gr/lt.

7). Από μάκρυνα προσεκτικά το υδρόμετρο, ξέπλυνα καθαρά με απιονισμένο νερό. Μέτρησα τη θερμοκρασία του αιωρήματος και άφησα το αιώρημα σε ηρεμία. Μετά από δυο ώρες από την ανάμειξη, τοποθέτησα πάλι το υδρόμετρο μέσα στον κύλινδρο Βουγιούκου και μέτρησα την ένδειξη του υδρόμετρου και τη θερμοκρασία. Εδαφικοί κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.002mm (άμμος και ιλύς) έχουν καθιζάνει ενώ η άργιλος είναι σε αιώρηση.

8). Από μάκρυνα το μεγαλύτερο μέρος του υπερκείμενου αιωρήματος και μετέφερα το υπόλοιπο υλικό που έχει καθιζάνει σε κόσκινο μεγέθους 0.05mm.

9). Ξέπλυνα την άμμο με άφθονο νερό βρύσης, μετέφερα την άμμο σε δίσκο, ξήρανα στους 105 °C και ζύγισα σαν ολική άμμο. Εάν το κλάσμα της άμμου υπερβαίνει το 5% του ολικού εδαφικού δείγματος, περνάω τη ξηρή άμμο από μια σειρά κόσκινων μηχανικής ανάλυσης με διαστάσεις 1mm, 0.5mm, 0.1mm και 0.05mm. Ξηραίνω και ζυγίζω τα δείγματα της άμμου με ακρίβεια μέχρι 0.1gr. Ένας τρόπος είναι να ζυγιστούν τα κόσκινα πριν και μετά την προσθήκη της άμμου. Η ανακίνηση της άμμου με τα κόσκινα πρέπει να διαρκέσει 5 λεπτά ή μέχρι ολικού διαχωρισμού των κλασμάτων της άμμου.

5. 3. 2 Υπολογισμοί

Ιλύς και άργιλος (Silt + Clay) (0. 05 - 0. 000mm) (Ένδειξη στα 40 δευτερόλεπτα)

1). Υπολογισμός της διορθωμένης ένδειξης του υδρομέτρου στα 40 δευτερόλεπτα

A. Διόρθωση ένδειξης υδρομέτρου λόγω θερμοκρασίας

$$\Delta = (\text{Θερμοκρασία αιωρήματος} - 20 \text{ } ^\circ \text{C}) \times 0. 2$$

B. Διορθωμένη ένδειξη υδρομέτρου = πραγματική ένδειξη υδρομέτρου + Δ - ένδειξη υδρομέτρου χωρίς δείγμα.

2). Υπολογισμός ιλύος και αργίλου

A. Διαίρεση της διορθωμένης ένδειξης του υδρομέτρου με το βάρος του εδάφους ξηραθέντος στους 105 °C.

B. Πολλαπλασίασε το αποτέλεσμα 2 (α) με 100.

Silt + Clay %

Άμμος (Sand) (2. 00 – 0. 05mm)

1). Αφαίρεση της ποσότητας ιλύος και αργίλου (2 (α)) από το 100. Το αποτέλεσμα δίνει την ολική άμμο. Η τιμή αυτή θα πρέπει να προσεγγίζει την ολική άμμο που μετρήθηκε με τα κόσκινα.

2). Υπολογισμός των βαρών των διαφορετικών κλασμάτων της άμμου και ανάγωγή αυτών επί του ξηρού βάρους εδάφους.

Sand %

Άργιλος (clay) (0. 002 – 0. 000mm) (Ένδειξη στις 2 ώρες)

Ακολουθία του ίδιου υπολογισμού όπως για την ιλύ και άργιλο, αλλά αντικατάσταση της ένδειξης του υδρομέτρου και της θερμοκρασίας με τις τιμές που μετρήθηκαν στο τέλος των δυο ωρών.

Clay %

Ιλύς (Silt) (0. 05 – 0. 002mm)

Αφαίρεση της εκατοστιαίας ποσότητας αργίλου και άμμου από 100. Εάν οι υπολογισμοί έχουν γίνει σωστά, μια αντίστοιχη τιμή υπολογίζεται από την αφαίρεση της αργίλου από την άργιλο και ιλύ.

Silt %

Η οργανική ύλη δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, εκτός εάν το ξηρό βάρος έχει διορθωθεί για το ποσοστό της οργανικής ύλης.

5. 3. 3 Συστάσεις και προφυλάξεις

1.) Το έδαφος πρέπει να έχει αεροξηρανθεί ή να είναι υγρό. Έδαφος που έχει ξηρανθεί στον κλίβανο δεν διασπείρεται πάντοτε.

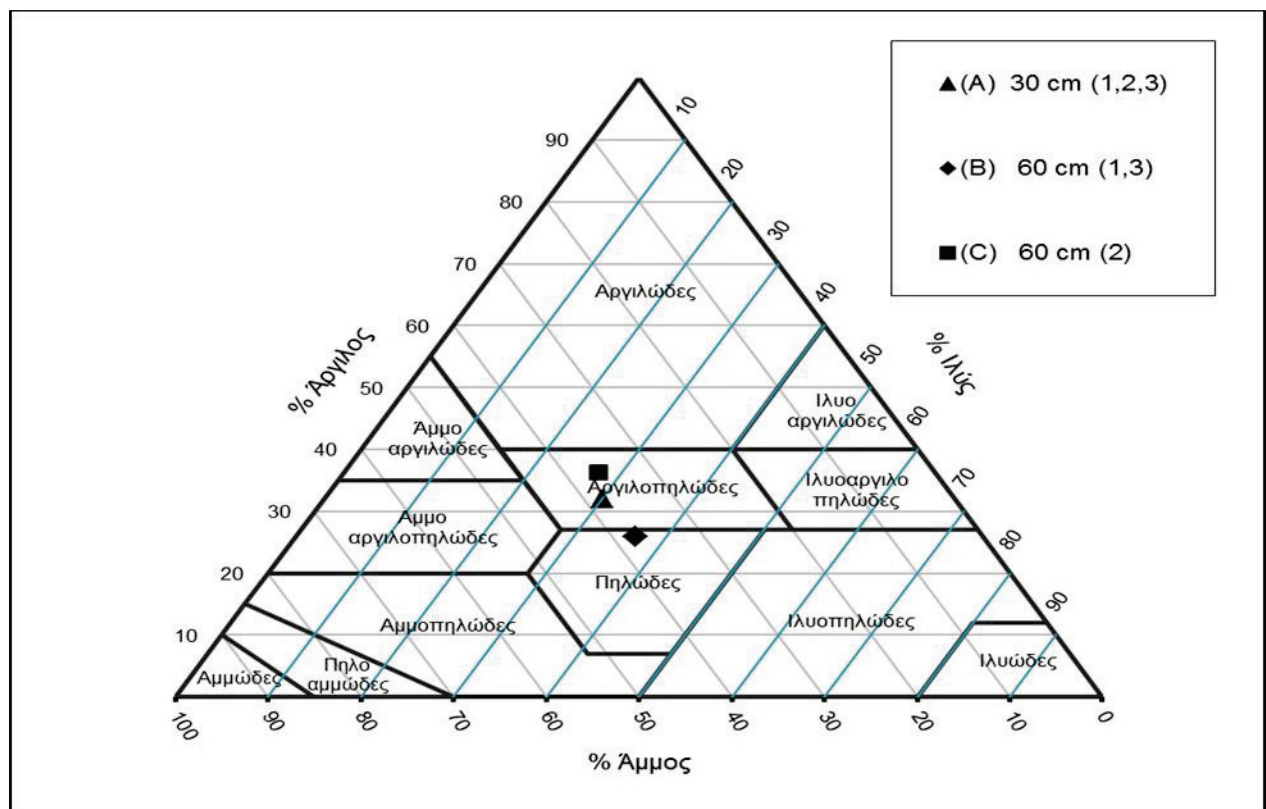
2.) Η άμμος φαίνεται ότι υφίσταται απόξεση όταν αναδεύεται περισσότερο από 5 λεπτά.

3.) Σε οργανικά εδάφη, peats και mucks η μέθοδος του υδρομέτρου δεν εφαρμόζεται.

- 4.) Από μάκρυνε το υδρόμετρο μετά από κάθε μέτρηση.
- 5.) Το υδρόμετρο πρέπει να είναι καθαρό πριν από κάθε μέτρηση.
- 6.) Εάν το αιώρημα είναι αφρώδες, πρόσθεσε μια σταγόνα αμυλικής αλκοόλης αμέσως μετά την ανάμειξη. Η μια πλευρά του τοιχώματος του κυλίνδρου πρέπει να είναι καθαρή ώστε να μπορεί να αναγνωστεί το υδρόμετρο.
- 7.) Η διόρθωση της θερμοκρασίας 0. 2 για κάθε βαθμό Κελσίου είναι προσεγγιστική. Ακραίες θερμοκρασίες 30° C ή 10° C θα πρέπει να αποφεύγονται. Είναι καλύτερα η μέτρηση του υδρομέτρου να γίνεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας (> 20° C).
- 8.) Προσοχή να μην ανακινηθεί η στήλη του αιωρήματος κατά την τοποθέτηση και απομάκρυνση του υδρομέτρου και θερμομέτρου.
- 9.) Είναι σημαντικό η έλικα του αναμείκτη να μην έχει υποστεί φθορά.

5. 3. 4 Παρουσίαση αποτελέσματος

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΜΜΟΣ (S %)	ΙΛΥΣ (Si %)	ΑΡΓΙΛΟΣ (C%)	ΚΛΑΣΗ (κατά USDA)
(A) 30cm (1,2,3)	38	30,08	31,92	Αργιλοπηλώδες
(B) 60cm (1,3)	37,4	36,64	25,96	Πηλώδες
(C) 60cm (2)	36,2	27,6	36,2	Αργιλοπηλώδες



Εικόνα 5. 11: Τρίγωνο κλάσεων κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους.

5. 4 Πειραματική διαδικασία

5. 4. 1 Δειγματοληψία αδιατάρακτων δειγμάτων

Στον αγρό που έγινε η λήψη των δειγμάτων εδάφους, επιλέχθηκαν τρία σημεία με απόσταση μεταξύ τους 3-4 μέτρα. Από κάθε σημείο πάρθηκε -με τη βοήθεια εδαφολήπτη κλειστού τύπου- έδαφος από δύο διαφορετικά βάθη στα 30 cm και 60 cm. Ο εδαφολήπτης χρησιμοποιείται συγκεκριμένα για συλλογή αδιατάρακτων δειγμάτων, διαδικασία που είναι υψίστης σημασίας στον πειραματικό προσδιορισμό που ακολουθεί. Έτσι προκύπτουν από τρία διαφορετικά σημεία στον αγρό, έξι συνολικά δείγματα, τρία σε βάθος 30cm και τρία σε βάθος 60cm.



Εικόνα 5. 12: Διαδικασία συλλογής δείγματος.

Ο τρόπος που απαιτείται στον χειρισμό του εδαφολήπτη παίζει σημαντικό ρόλο ,στο να μπορέσω να συλλέξω τα αδιατάρακτα δείγματα. Ο εδαφολήπτης πρέπει να έχει τοποθετηθεί κάθετα και να μην ασκείται πίεση στο έδαφος. Στη συνέχεια με το αντίβαρο και τη βοήθεια της βαρύτητας, προοδευτικά ο εδαφολήπτης εισχωρεί στο έδαφος. Με αυτή τη διαδικασία επιτυγχάνω τη συλλογή πραγματικά αδιατάρακτων δειγμάτων.



(A)

(B)

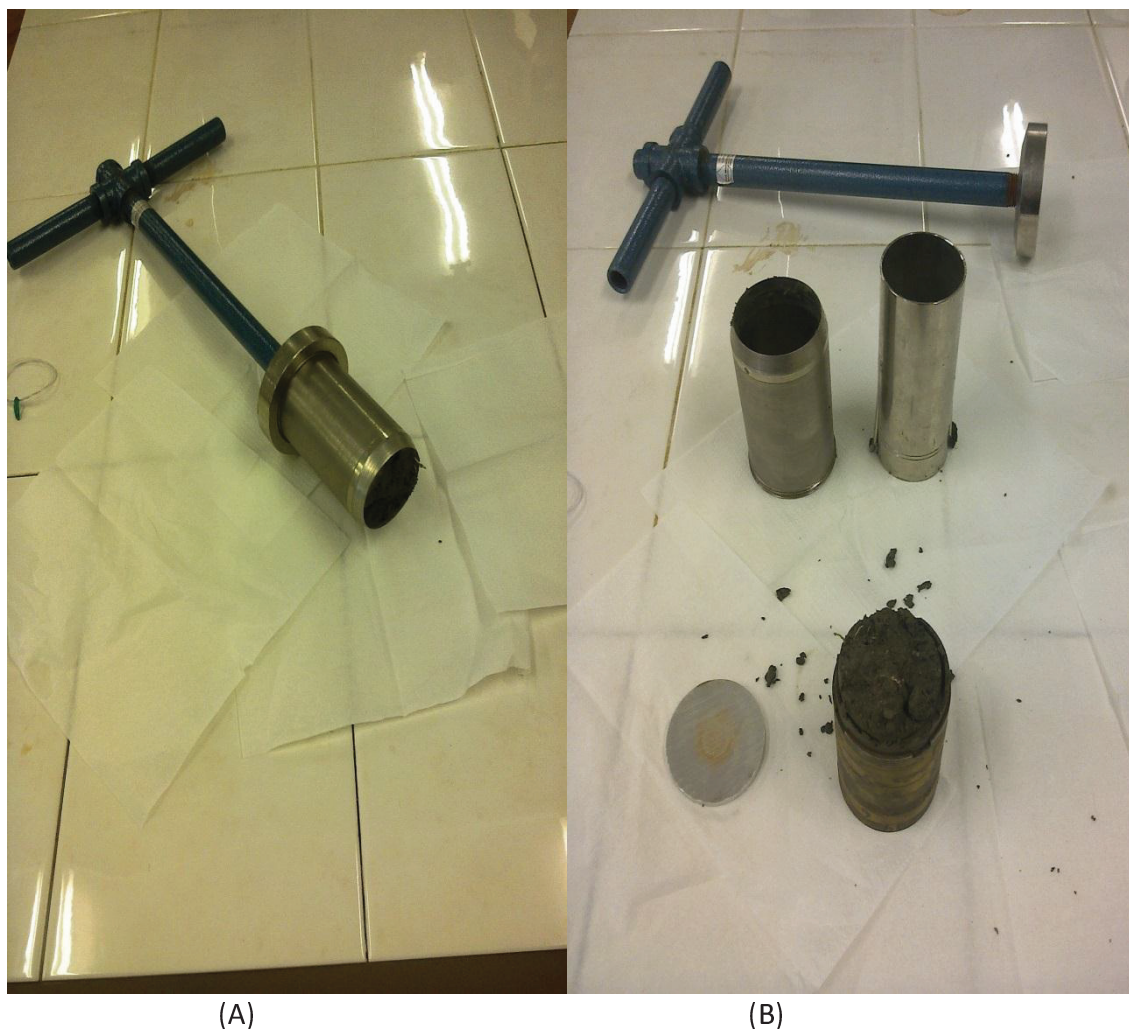
Εικόνα 5. 13: Ο εδαφολήπτης έχει εισχωρήσει στο έδαφος

Στην εικόνα (A) παρατηρούμε τον εδαφολήπτη τοποθετημένο σε βάθος 30cm.

Στην εικόνα (B) παρατηρούμε τον εδαφολήπτη τοποθετημένο σε βάθος 60cm.

Όταν εισχωρήσει στο έδαφος ο εδαφολήπτης, αυτό που από μένει είναι η εξαγωγή του από αυτό. Με απαλή δεξιόστροφη κίνηση ανεβάζω τον εδαφολήπτη ώστε να παραμείνει το δείγμα αδιατάρακτο.

Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει στο εργαστήριο εξαγωγή του δείγματος από τον εδαφολήπτη.

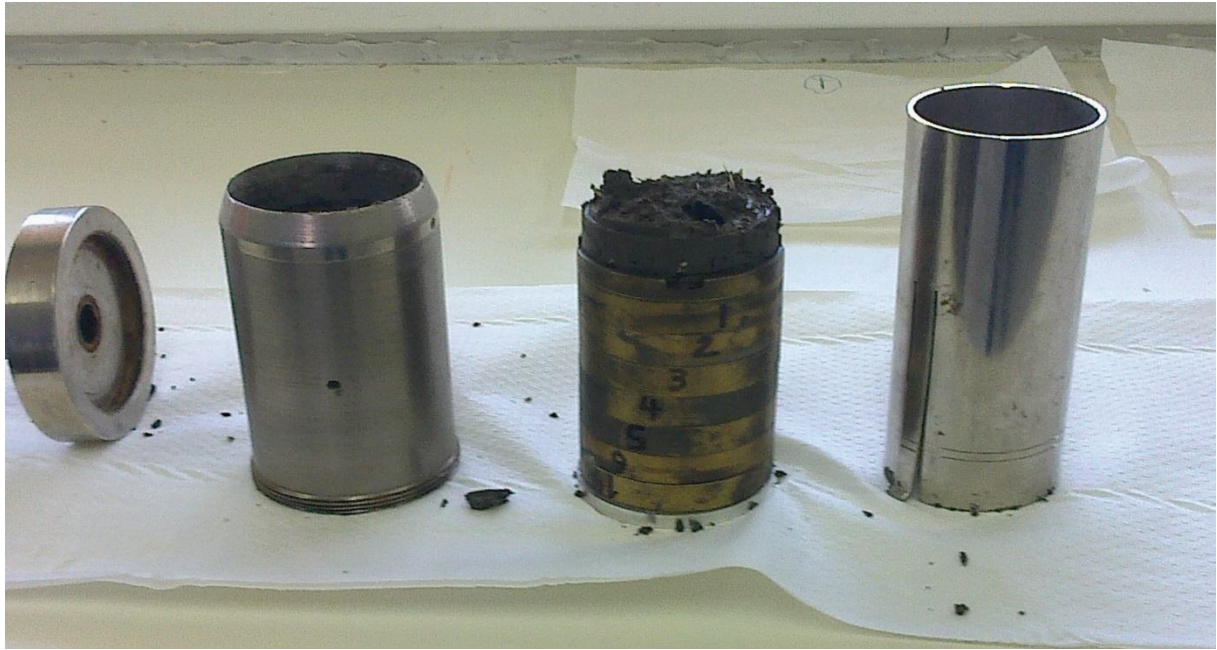


Εικόνα 5. 14: Δειγματολήπτης κλειστού τύπου.

Στην εικόνα (A) παρατηρούμε τον εδαφολήπτη κλειστού τύπου που περιέχει το δείγμα που συνέλεξα.

Στην εικόνα (B) παρατηρούμε τον εδαφολήπτη χωρίς το εξάρτημα της συλλογής.

Στη συνέχεια αυτό που ακολουθεί είναι η αφαίρεση του εξαρτήματος συλλογής -που ουσιαστικά κόβει το έδαφος- ώστε να μείνει το δείγμα μαζί με τους δακτυλίους και στη συνέχεια να κοπεί.



Εικόνα 5. 15: Παρατηρούμε από αριστερά το εξάρτημα κοπής του εδαφολήπτη, το δείγμα του εδάφους μαζί με τους δακτυλίους και τον εξωλκέα που χρειάζεται για να αφαιρέσουμε το έδαφος με τους δακτυλίους από το εξάρτημα κοπής.



Εικόνα 5. 16: Διαδικασία αφαίρεσης του εξαρτήματος κοπής.



(A)

(B)

Εικόνα 5. 17: Το δείγμα εδάφους πριν την κοπή με τους δακτυλίους.

Στην εικόνα (A) παρατηρούμε τους δακτυλίους με το δείγμα εδάφους. Στην εικόνα (B) παρατηρούμε μια ιδιοκατασκευή που χρειάστηκε για να γίνει η κοπή διαδοχικά από τον πάνω δακτύλιο προς τα κάτω.

Έτσι έγινε και ο διαχωρισμός του δείγματος σε έξι διαφορετικά κομμάτια που αντιστοιχούν σε έξι διαφορετικές πιέσεις που θα ασκηθούν σε κάθε δακτύλιο που περιέχει δείγμα.

Πρέπει ακόμα να σημειωθεί πως η διαδικασία κοπής των δακτυλίων που θα περιέχουν έδαφος μπορεί να από δειχθεί αρκετά χρονοβόρα, αφού στην προσπάθεια κοπής τους απαιτείται μεγάλη προσοχή ώστε τα δείγματα να παραμείνουν αδιατάρακτα.

Για την κοπή των δειγμάτων δοκιμάστηκαν αρκετά υλικά όπως κλωστή και πετονιά για ψάρεμα, εφόσον απαιτείται όσο το δυνατόν ένα λεπτό αλλά και ανθεκτικό υλικό που θα κόβει το έδαφος.

Η πιο ενδεδειγμένη λύση από δειχθηκε μια χορδή από μουσικό όργανο η οποία είναι αρκετά λεπτή αλλά ταυτόχρονα αρκετά ισχυρή ώστε να αντέξει σε δυνάμεις τάνυσης αλλά και αντίστασης του εδάφους κατά την κοπή.

Το επόμενο βήμα που ακολουθεί είναι η τοποθέτηση των δακτυλίων που περιέχουν έδαφος σε μεταλλικά σκεύη και η αρίθμηση τους.



Εικόνα 5. 18: Τα δείγματα τοποθετημένα σε μεταλλικά σκεύη.

5. 4. 2 Κορεσμός πλάκας

Οι κεραμικές πλάκες που χρησιμοποιήθηκαν στον πειραματικό προσδιορισμό είναι το μέσο πάνω στο οποίο έγινε ο κορεσμός των δειγμάτων. Οι πλάκες είναι κατασκευασμένες από πορώδες υλικό και στο κάτω μέρος τους είναι επενδυμένες με ένα ελαστικό περίβλημα. Οι πλάκες που χρησιμοποιήθηκαν αντέχουν μέγιστη πίεση 1bar, 3bar και 15bar. το βάρος της πλάκας κυμαίνεται από 850-900gr.

Η διαδικασία που ακολούθησε για τον κορεσμό της πλάκας είναι η παρακάτω:
Μέσα σε λεκάνη τοποθετήθηκαν οι πλάκες πάνω σε μεταλλική βάση. Πληρώθηκε η λεκάνη με νερό έως ότου η πλάκα βρέθηκε στη μέση του ύψους της συνολικής στάθμης του νερού. Η πλάκα έμεινε μέσα στη λεκάνη για 24 ώρες οπότε και επήλθε ο κορεσμός.



Εικόνα 5. 19: Κορεσμός πλάκας μέσα στη λεκάνη.

5. 4. 3 Κορεσμός δειγμάτων

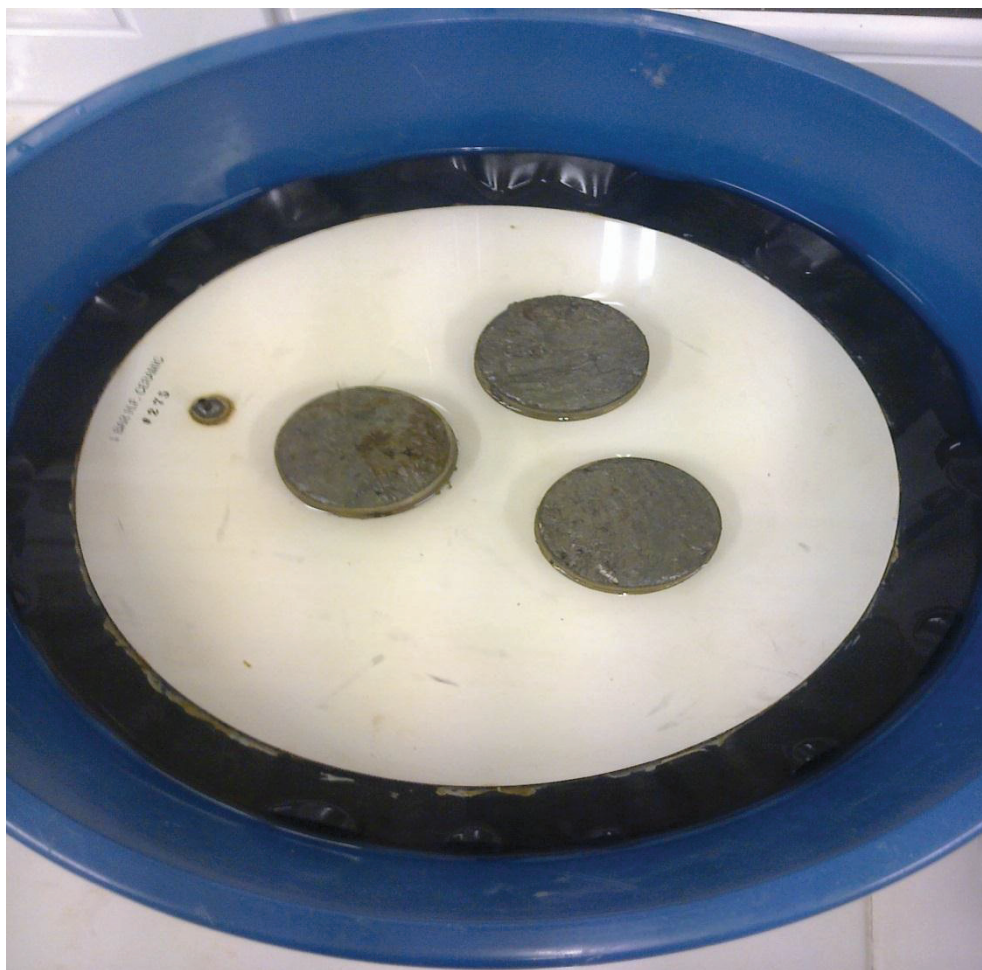
Μετά το κορεσμό της πλάκας, αφαιρέθηκε το νερό που βρίσκονταν πάνω από την πλάκα με τη βοήθεια ενός μικρού σιφωνίου. Η στάθμη του νερού έπρεπε να κατέλθει έως το ύψος της πλάκας, αφήνοντας μια λεπτή μεμβράνη νερού πάνω σε αυτή.

Πάνω στη πλάκα τοποθετήθηκαν τρεις δακτύλιοι που περιέχουν τα αδιατάρακτα εδάφη και αντιστοιχούν στα τρία διαφορετικά σημεία που έγινε η δειγματοληψία στον αγρό. Δηλαδή επί τοις ουσίας τοποθετήθηκε ένας δακτύλιος από κάθε σημείο που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη πίεση που θέλησα να ασκήσω μέσω της συσκευής. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις πιέσεις και στα δύο βάθη που έγινε δειγματοληψία.

Παρακάτω παρατηρούμε τον πίνακα με τις αντιστοιχίες δακτυλίων και πιέσεων με βάση τα bar:

Αριθμός δακτυλίου	Πίεση (bar)	Πίεση (bar to atm)	Πίεση (bar to cm)
1, 7, 13	0.33	0.33	336.4
2, 8, 14	0.6	0.59	611.7
3, 9, 15	1	0.99	1019.5
4, 10, 16	2	1.97	2039
5, 11, 17	4	3.94	4078
6, 12, 18	6	5.92	6117

Πίνακας 5. 1: Αντιστοιχία δακτυλίων και πιέσεων με βάση τα bar.



Εικόνα 5. 20: Κορεσμός δειγμάτων πάνω στην κεραμική πλάκα μέσα στη λεκάνη.

Αφού λοιπόν τοποθετήθηκαν τα δείγματα επάνω στην κεραμική πλάκα αφέθηκαν για 24 ώρες. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού ορίου το νερό ανέρχεται με βάση του τριχοειδούς φαινομένου και το έδαφος θεωρείται κορεσμένο. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα έγιναν τακτικοί έλεγχοι, για τη παρατήρηση της στάθμης του νερού μέσα στη λεκάνη. Σε

περίπτωση πτώσης της στάθμης αναπληρώνεται το νερό για τη σωστή διατήρηση της στάθμης.

Πρέπει ακόμα να επισημάνω πως απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά τη διαδικασία τοποθέτησης των δακτυλίων πάνω στην κεραμική πλάκα, αλλά και κατά την εξαγωγή της πλάκας από την λεκάνη λόγω κινδύνου απώλειας όγκου εδάφους κατά την μετακίνηση τους.

5. 4. 4 Τοποθέτηση της πλάκας στην συσκευή πιεστικού δίσκου

Μετά τον κορεσμό των δειγμάτων μέσα στη λεκάνη, ακολούθησε η τοποθέτηση της πλάκας στη συσκευή Richards. Αφαιρέθηκε όλο το νερό από την λεκάνη με ένα μικρό σιφώνιο. Η πλάκα πάρθηκε από τη βάση στήριξης με μεγάλη προσοχή και τοποθετήθηκε μέσα στη συσκευή πίεσης πάνω στα στηρίγματα της συσκευής. Μετά την τοποθέτηση της πλάκας συνδέθηκε το σημείο εκροής νερού της πλάκας με την υποδοχή του εσωτερικού σωλήνα απορροής νερού. Έπειτα σφραγίστηκε η συσκευή και σφίχτηκαν με τους κοχλίες σύσφιξης οι οποίοι κοχλιώθηκαν ανά δυο αντιδιαμετρικά.



(A)

(B)

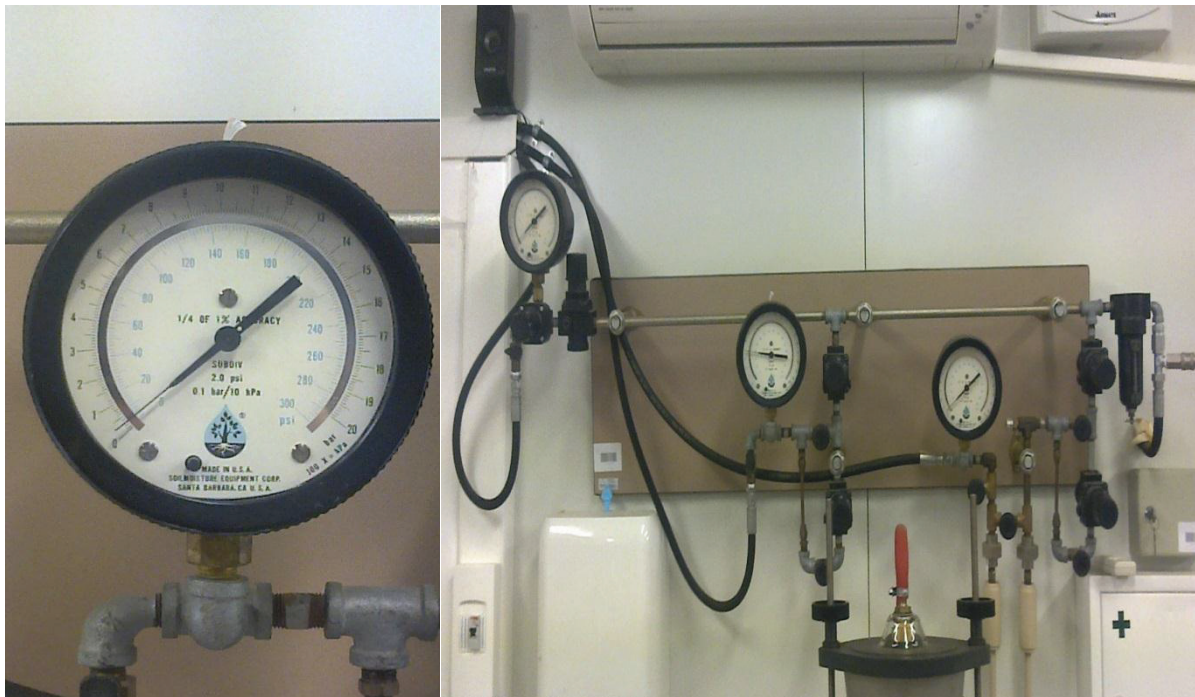
Εικόνα 5. 21: (A), (B) Τοποθέτηση της πλάκας στη συσκευή.

5. 4. 5 Άσκηση πίεσης στα δείγματα μέσω συσκευής

Η πίεση εφαρμόστηκε μετά την τοποθέτηση των δειγμάτων, μέσα στη συσκευή Richards. Ο αεροσυμπιεστής τέθηκε σε λειτουργία, ο οποίος διοχέτευσε τη συσκευή με πεπιεσμένο αέρα.

Για την εκμετάλλευση του αέρα, ανοίχθηκε ο χειρομοχλός εισαγωγής αέρος της συσκευής και προοδευτικά ανέβηκε μέχρι το επιθυμητό σημείο. Όταν έφτασε σε αυτό το σημείο σταμάτησε να ανεβαίνει η πίεση και ασφαλίστηκε ο χειρομοχλός. Οι πιέσεις που ασκήθηκαν στα δείγματα είναι 0.33, 0.6, 1, 2, 4 και 6 bar.

Με αυτόν τον τρόπο, ασκήθηκε η επιθυμητή πίεση μέσα στην συσκευή. Η διαφορική πίεση που δημιουργήθηκε ανάμεσα στη συσκευή και στο περιβάλλον, είχε σαν αποτέλεσμα την αφαίρεση της υγρασίας από τα δείγματα και την απομάκρυνση του νερού αυτού από την πλάκα μέσω του ακροφυσίου την απορροή του νερού. Ακολουθώντας την πορεία αυτή, το νερό εξήλθε από τη συσκευή.



(A)

(B)

Εικόνα 5. 22: Μανόμετρα συσκευής.

Τα δείγματα θα παραμείνουν στη συσκευή έως ότου επιτευχθεί υγρασιακή ισορροπία σε σχέση με την ασκούμενη πίεση. Αυτό διαπιστώθηκε όταν σταμάτησε η εκροή νερού από το εξωτερικό ακροφύσιο (περίπου 24 ώρες). Το ποσοστό της υγρασίας που παρέμεινε στα δείγματα, θα είναι αντιπροσωπευτικό της πίεσης που ασκήθηκε.

Όταν τα δείγματα ήρθαν σε ισορροπία, απασφαλίστηκε ο χειρομοχλός εισαγωγής του αέρα και μηδενίστηκε η πίεση που ασκήθηκε στο εσωτερικό της συσκευής. Η συσκευή από σφραγίστηκε και βγήκαν τα δείγματα από αυτές.

5. 4. 6 Εξαγωγή των δειγμάτων από τη συσκευή

Αφού επιτεύχθηκε υγρασιακή ισορροπία και σταμάτησε να εκρέει νερό από το ακροφύσιο τα δείγματα από χωρούν από τη συσκευή, τοποθετούνται σε αριθμημένα μεταλλικά σκεύη –αφού πρώτα είχαν ζυγιστεί και είχαν καταγραφεί οι μάζες τους- και ζυγίζονται μαζί με τα μεταλλικά σκεύη και καταγράφηκε η μάζα τους.

Η μάζα που βρέθηκε είναι η μάζα του εδαφικού δείγματος μαζί με την κάψα και την υγρασία που συγκρατήθηκε κατά την κατάσταση που ήλθε σε υγρασιακή ισορροπία με την αντίστοιχη ασκούμενη πίεση. Η μάζα αυτή μείον η μάζα της κάψας ονομάζεται υγρή μάζα (m_w).



Εικόνα 5. 23: Ζύγιση μεταλλικού σκεύους χωρίς το δείγμα.

Πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι οι δακτύλιοι έχουν ήδη ζυγιστεί και καταγραφεί η μάζα τους, όπως και οι διαστάσεις τους έχουν μετρηθεί με ψηφιακό παχύμετρο για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στη μέτρηση.

Ακόμα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μέσα στο εργαστήριο την στιγμή που τα δείγματα θα εξέλθουν από την συσκευή και αυτό γιατί το νερό αλλάζει πυκνότητα ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 5. 23: Μέτρηση διαστάσεων δακτυλίου με παχύμετρο.

5. 4. 7 Τοποθέτηση και εξαγωγή των δειγμάτων από το πυριαντήριο

Αφού ζυγίστηκαν τα δείγματα, τοποθετήθηκαν στο πυριαντήριο στους 105 °C για 24 ώρες περίπου. Στο διάστημα αυτό επιτυγχάνεται ξήρανση των δειγμάτων, δηλαδή αφαίρεση όλης της υγρασίας που περιείχαν πριν την τοποθέτησή τους στο πυριαντήριο.



Εικόνα 5. 24: Τοποθέτηση δειγμάτων στο πυριαντήριο στους 105°C.

Μετά το πέρας του διαστήματος αυτού, τα δείγματα βγάλθηκαν από το πυριαντήριο και ξανάζυγίσθηκαν μαζί με τα μεταλλικά σκεύη. Η μάζα που βρέθηκε μείον την μάζα του μεταλλικού σκεύους ονομάζεται ξηρή μάζα (M_d).



Εικόνα 5. 25: Ζύγιση μεταλλικού σκεύους μαζί με το δείγμα.

5. 4. 8 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε νερό (gr/gr ή cm^3/cm^3) χρειαζόμαστε τα παρακάτω δεδομένα:

1. Διαστάσεις δακτυλίου (διάμετρος και ύψος) που περιέχει το εδαφικό δείγμα (cm) για να υπολογίσουμε τον όγκο του (cm^3), V_r .
2. Βάρος δακτυλίου (gr) για να το αφαιρέσουμε από το συνολικό βάρος, M_r .
3. Βάρος δείγματος (μαζί με δακτύλιο) μετά την εξισορρόπηση της πίεσης μέσα στη συσκευή Richards (gr), M_w .
4. Βάρος δείγματος (μαζί με δακτύλιο) μετά την παραμονή στο πυριαντήριο για 24 ώρες στους 105°C (gr), M_d .
5. Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης της μέτρησης ($^\circ\text{C}$) για να υπολογίσουμε την πυκνότητα του νερού, ρ_w . (π. χ. στους 20°C ; έχουμε $\rho_w = 0.9982071$, πηγή: Lide, D. R. (Ed.) (1990). CRC Handbook of Chemistry and Physics (70th Edn.). Boca Raton (FL):CRC Press.)

Υγρασία κατά βάρος

Ο υπολογισμός της υγρασίας Θ κατά βάρος (gr/gr) επί τοις εκατό, γίνεται ως εξής:

$$\theta (gr/gr) = \frac{M_w - M_d}{M_d - M_r} \times 100$$

Υγρασία κατ' όγκο

Για να υπολογίσουμε την κατ' όγκο υγρασία βασιζόμαστε στην παρακάτω μεθοδολογία:

1. Ο όγκος του υγρού (νερό στην προκειμένη περίπτωση), V_l , υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$V_l = \frac{M_w - M_d}{\rho_w} \quad (1)$$

2. Έχοντας υπόψη ότι η κατ' όγκο εδαφική υγρασία είναι ο λόγος του όγκου του νερού στο έδαφος V_l προς το συνολικό όγκο του δείγματος, V_t , που ουσιαστικά είναι ο όγκος του δακτυλίου, δηλαδή:

$$\theta (cm^3/cm^3) = \frac{V_l}{V_t} \times 100 \quad (2)$$

3. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (2) το V_l με το ίσο του από την εξίσωση (1), παίρνουμε την τελική μορφή της εξίσωσης που μας δίνει την κατ' όγκο εδαφική υγρασία επί τοις εκατό:

$$\theta (cm^3/cm^3) = \frac{M_w - M_d}{V_t \times \rho_w} \times 100 \quad (3)$$

6 ΠΙΝΑΚΕΣ - ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Πίνακας 6. 1: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΙΕΣΗ											
	0. 33 bar		0. 6 bar		1 bar		2 bar		4 bar		6 bar	
	M. w.	M. d	M. w.	M. d	M. w.	M. d	M. w.	M. d	M. w.	M. d	M. w.	M. d
	gr		gr		gr		gr		gr		gr	
30-1	62.97	55.28	69.54	60.60	68.36	60.96	70.27	61.10	57.81	52.05	65.50	59.60
30-2	66.53	57.81	71.80	62.81	70.60	63.07	65.63	57.97	58.15	54.02	60.90	55.41
30-3	67.95	59.20	69.91	60.98	63.91	57.09	61.64	54.68	58.07	52.83	67.20	60.41
60-1	76.15	66.82	74.85	66.78	71.90	64.85	75.34	68.22	69.00	63.47	71.53	64.07
60-2	74.07	62.61	68.71	62.03	70.55	64.47	69.19	64.82	75.72	69.06	67.93	60.81
60-3	73.62	62.48	67.87	61.22	68.04	61.93	63.32	59.15	66.46	61.40	76.33	67.94

6. 1 Δειγματοληψία στα 30cm

Πίνακας 6. 1: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 1 στα 30 cm.

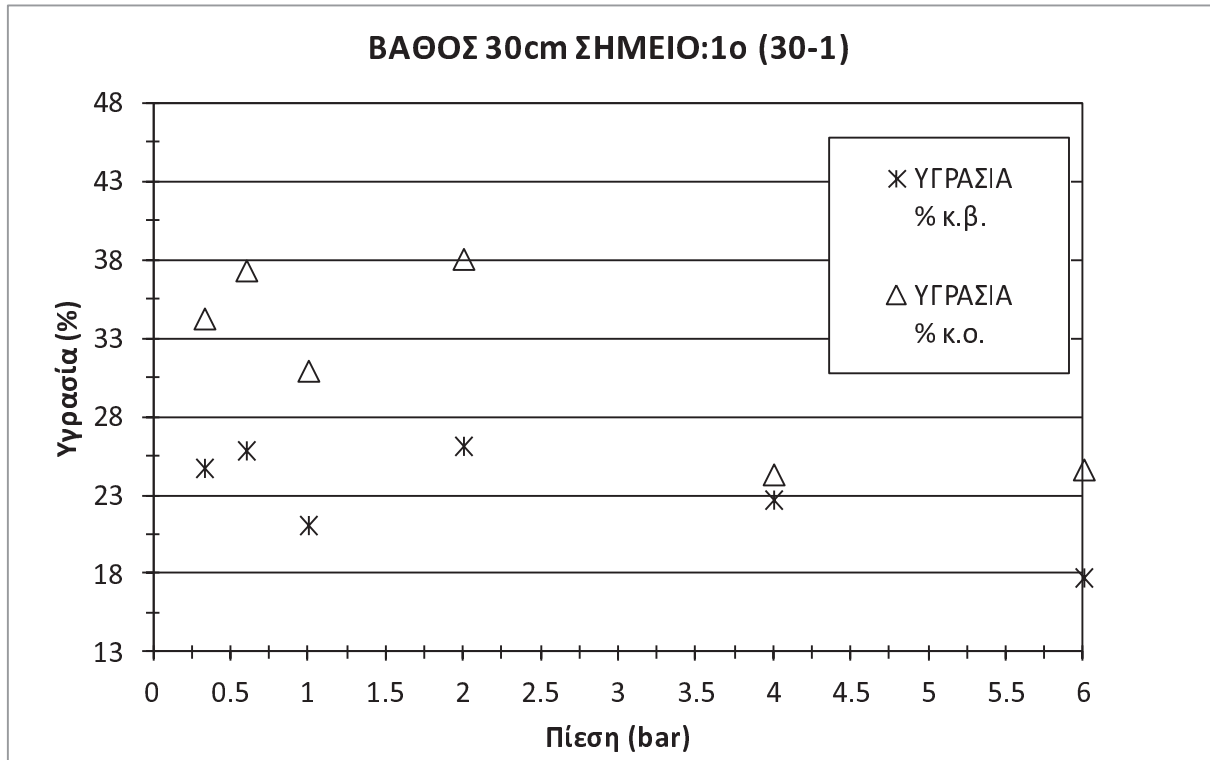
ΒΑΘΟΣ 30cm ΣΗΜΕΙΟ:1ο (30-1)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0. 33	0. 6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	24. 7	25. 8	21. 1	26. 1	22. 7	17. 7
	34. 3	37. 3	30. 9	38. 1	24. 3	24. 6

Πίνακας 6. 2: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 2 στα 30 cm.

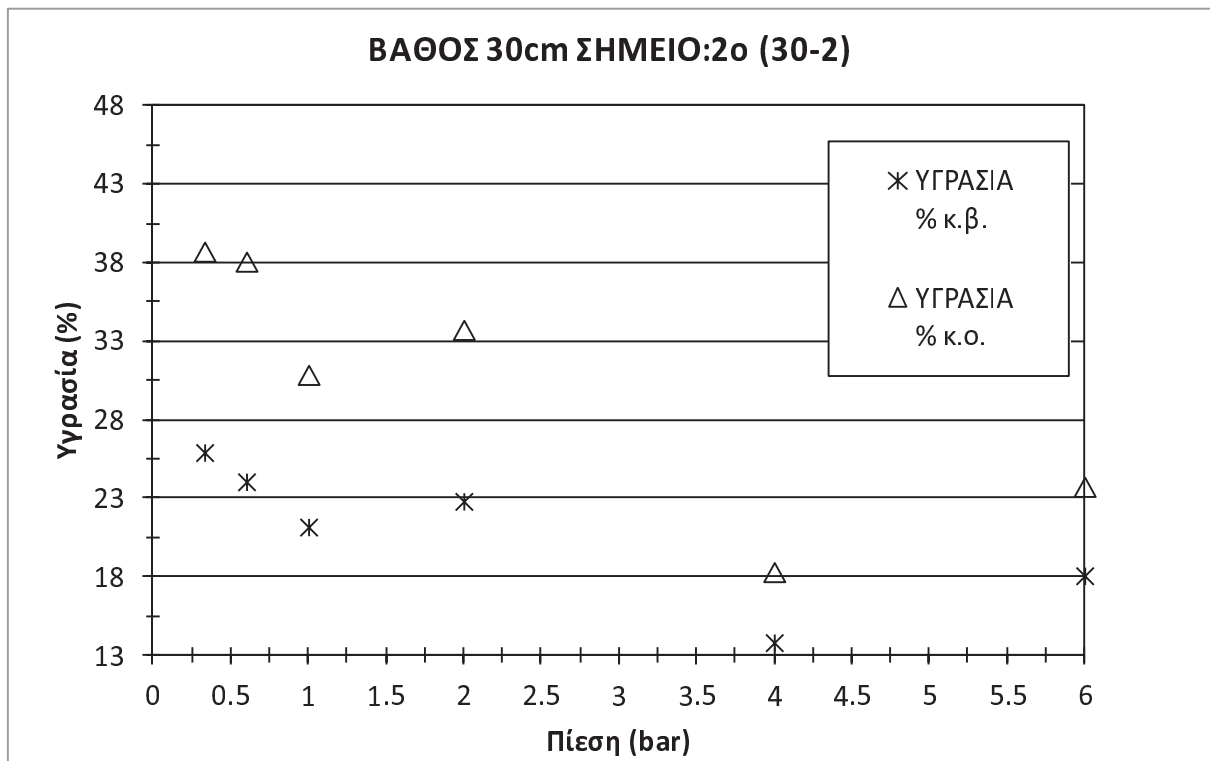
ΒΑΘΟΣ 30cm ΣΗΜΕΙΟ:2ο (30-2)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0. 33	0. 6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	26. 0	24. 1	21. 2	22. 9	13. 9	18. 1
	38. 8	38. 1	30. 9	33. 8	18. 4	23. 8

Πίνακας 6. 3: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 3 στα 30 cm.

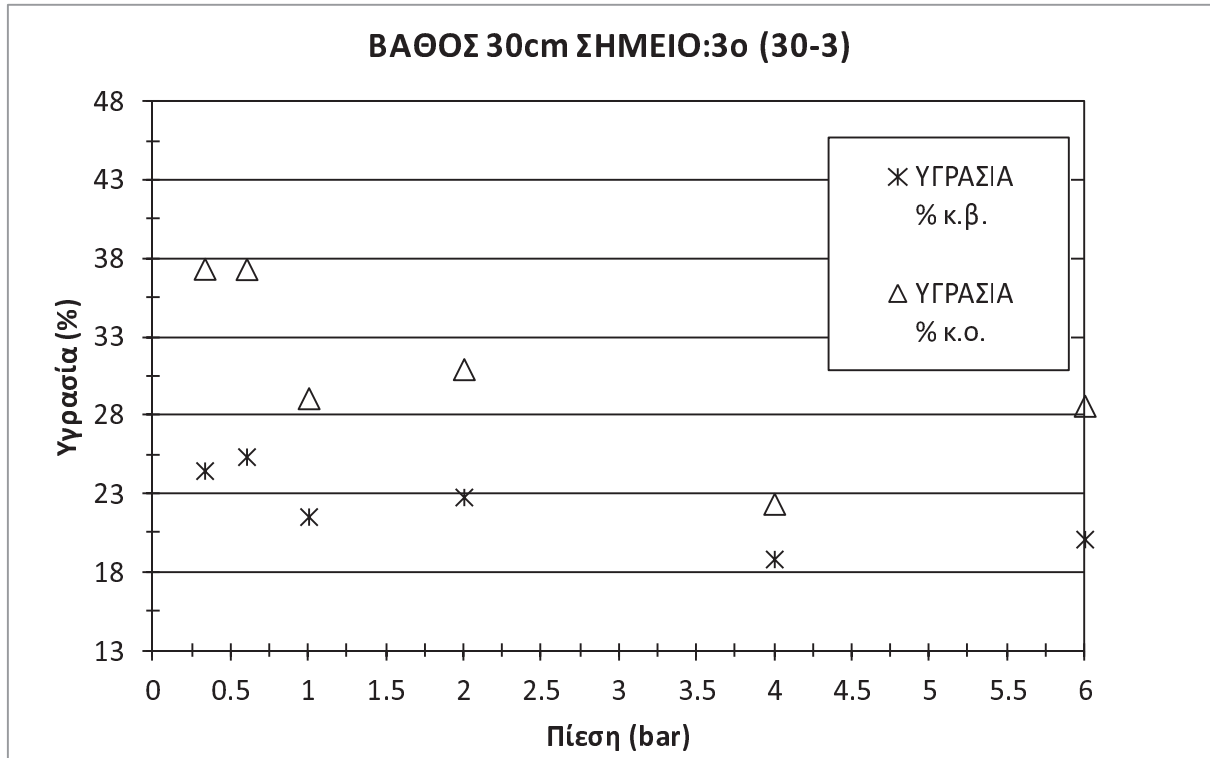
ΒΑΘΟΣ 30cm ΣΗΜΕΙΟ:3ο (30-3)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0. 33	0. 6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	24. 5	25. 4	21. 6	22. 8	18. 9	20. 1
	37. 4	37. 4	29. 1	31. 0	22. 4	28. 6



Σχήμα 6. 1: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 1 στα 30 cm.



Σχήμα 6. 2: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 2 στα 30 cm.



Σχήμα 6. 3: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 3 στα 30 cm.

6.2 Δειγματοληψία στα 60cm

Πίνακας 6. 4: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 1 στα 60 cm.

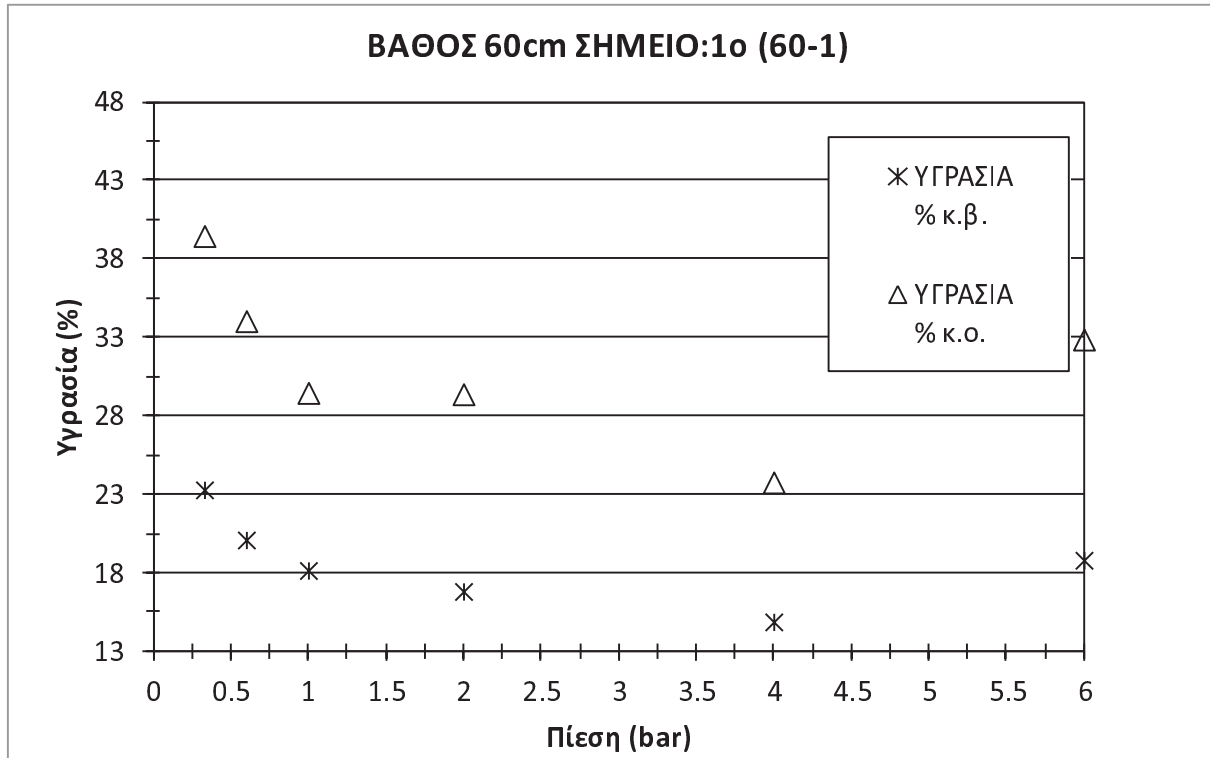
ΒΑΘΟΣ 60cm ΣΗΜΕΙΟ:1ο (60-1)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0.33	0.6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	23.3	20.1	18.2	16.8	14.9	18.8
	39.5	34.1	29.5	29.4	23.8	32.9

Πίνακας 6. 5: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 2 στα 60 cm.

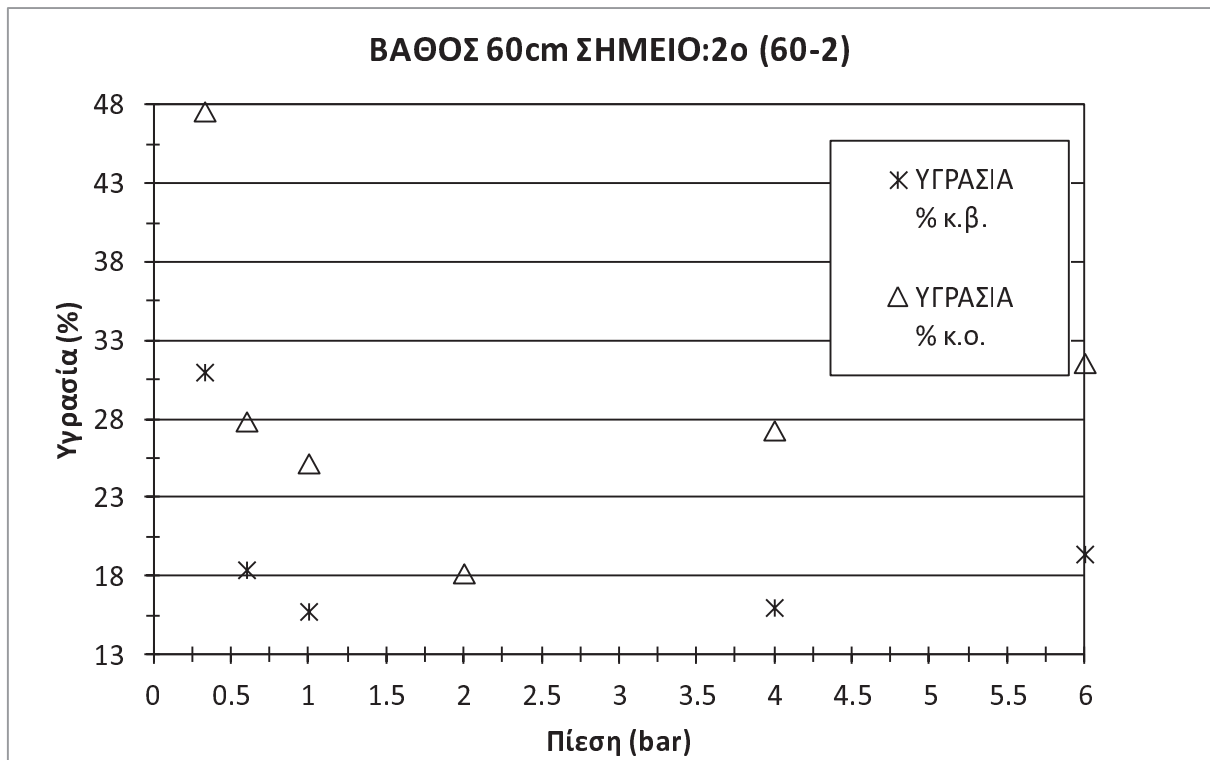
ΒΑΘΟΣ 60cm ΣΗΜΕΙΟ:2ο (60-2)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0.33	0.6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	31.0	18.5	15.8	11.4	16.1	19.5
	47.6	27.9	25.2	18.2	27.3	31.6

Πίνακας 6. 6: Επί τοις εκατό κατά βάρος και κατ' όγκο υγρασία, για το σημείο 3 στα 60 cm.

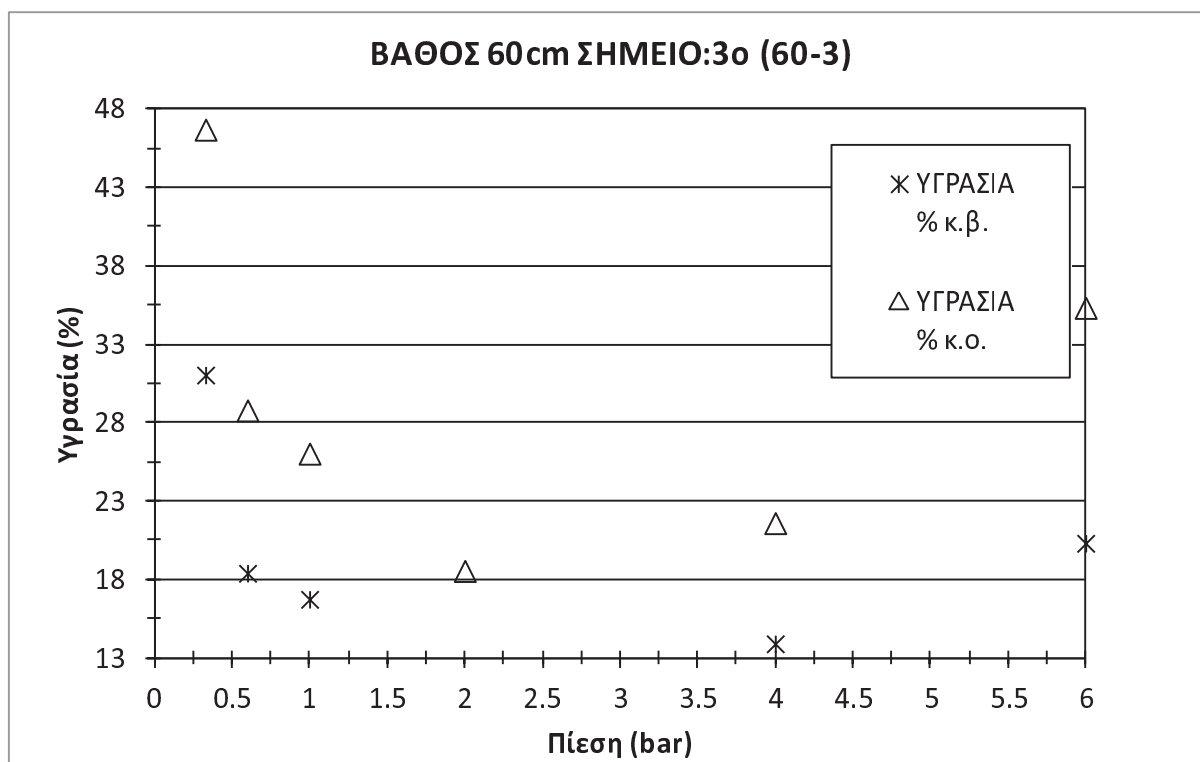
ΒΑΘΟΣ 60cm ΣΗΜΕΙΟ:3ο (60-3)						
ΠΙΕΣΗ (bar)	0.33	0.6	1	2	4	6
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑ % κ. β. % κ. ο.	31.1	18.4	16.8	11.9	13.9	20.3
	46.7	28.8	26.1	18.6	21.6	35.4



Σχήμα 6. 4: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 2 στα 60 cm.



Σχήμα 6. 5: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 2 στα 60 cm.



Σχήμα 6. 6: Τιμές υγρασίας (%), κατά βάρος και κατ' όγκο, για το σημείο 3 στα 60 cm.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των σημείων των χαρακτηριστικών καμπυλών, όπως αυτά παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα, δείχνουν ότι το έδαφος του πειραματικού αγρού του ΤΕΙ, στα τρία διαφορετικά σημεία που έγινε δειγματοληψία παρουσιάζει τυπικές τιμές υδατοϊκανότητας, με βάση την κατάταξή του ως προς την κοκκομετρική κλάση που ανήκει, δηλαδή αργιλοπηλώδες - πηλώδες (clay loam - loam).

Οι διαφορές που παρουσιάστηκαν τόσο μεταξύ των σημείων, όσο και κατά βάθος, αιτιολογούνται από το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός, βρίσκεται σε ανακτημένη περιοχή από τη θάλασσα (polder), πράγμα που επιβεβαιώθηκε και από την ύπαρξη κοχυλιών μέσα στα δείγματα που λήφθηκαν. Η διαδικασία κατασκευής του polder, είναι αυτή που ουσιαστικά προσδίδει στο συγκεκριμένο έδαφος τόσο μεγάλο εύρος στα υδραυλικά του χαρακτηριστικά, μιας και δεν υπήρξε φυσική διαδικασία εδαφογένεσης, αλλά ρίψη εδάφους με σκοπό την πλήρωση του κενού χώρου.

Σε κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συσκευής Richards μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να παραχθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας του συγκεκριμένου εδάφους, με χρήση μεθόδων παλινδρόμησης σε λογιστικά φύλλα ή χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξειδικευμένο λογισμικό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ			
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ	ΥΨΟΣ (cm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (cm)	ΟΓΚΟΣ (cm ³ /cm ³)
1	1.064	5.373	24.13
2	1.056	5.345	23.70
3	1.073	5.339	24.02
4	1.068	5.366	24.15
5	1.057	5.351	23.77
6	1.067	5.356	24.04
7	1.067	5.347	23.96
8	1.078	5.355	24.28
9	1.066	5.344	23.91
10	1.038	5.349	23.33
11	1.089	5.347	24.45
12	1.009	5.356	22.73
13	0.997	5.369	22.57
14	1.026	5.361	23.16
15	1.045	5.352	23.51
16	0.997	5.363	22.52
17	1.038	5.367	23.48
18	1.055	5.358	23.79

Παραπομπές

Σχήμα 2. 1 (Fourth Edition Soil an Introduction, Micheal J. Singer, Donald N. Munns)

Σχήμα 2. 2 (Εδαφολογία Πανάγιωτόπουλος Λ.)

Σχήμα 2. 3 (While R. E. Introduction to the principles practices of soil sunce blackewell Oxford)

Σχήμα 3. 1 (Εδαφολογία Τσιτσιάς Κ.)

Σχήμα 3. 3 (Εδαφοφυσική, Πανάγιωτόπουλος Κ. Π.)

Σχήμα 3. 4 (Γεωργική υδραυλική, Παπαζαφειρίου)

Σχήμα 3. 5 (Εδαφοφυσική , Πανάγιωτόπουλος Κ. Π.)

Σχήμα 4. 1 (Γεωργική υδραυλική, Αρδεύσεις Ι , Πουλοβασίλης Α.)

Σχήμα 4. 2 (Γεωργική υδραυλική, Αρδεύσεις Ι , Πουλοβασίλης Α.)

Σχήμα 4. 3 (Γεωργική υδραυλική, Αρδεύσεις Ι , Πουλοβασίλης Α.)

Σχήμα 5. 1 (Soilmoisture)

Πίνακας 2. 1 (Εδαφολογία, Πανάγιωτόπουλος Λ.)

Πίνακας 3. 1 (Γεωργική υδραυλική, Τσιμόπουλος Χ.)

Πίνακας 3. 3 (τιμές κατά Achtnich)

Μέθοδος Πιεστικού δίσκου με αδιατάραχτα δείγματα (Μπούμπουκα Α.)

Βιβλιογραφία

1.)Αρδεύσεις – Στραγγίσεις, Ζαρογιάννη Ι. ,Κεφ6 (σελ 132-134)
2.)Αρδεύσεις και συστήματα Γαιών, Χαλκιάς, (σελ 23-24)
3.)Άρδευση και Συστήματα Άρδευσης, Κωσταντινίδης,κεφ2 (σελ. 42-48)
4.)Αρχές και πρακτική των Αρδεύσεων, Παπαζαφειρίου Ζ. Π Κεφ7 (σελ. 106-115)
5.)Ασκήσεις φυσικής Εδάφους, Αργυροκαστρίτης Ι. Γ. , (Σημειώσεις εργαστηρίου)
6.)Γεωργική Υδραυλική – Αρδεύσεις Ι , Πουλοβασίλης Α. , (σελ 119-125) (1989)
7.)Γεωργική Υδραυλική Ι, Τσιμόπουλος Χ. Δ. , (σελ. 50-54)
8.)Γεωργική υδραυλική και Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Λιακόπουλος, κεφ. 3 (σελ. 32-49)
9.)Γεωργική υδραυλική, Παπαζαφειρίου Ζ. Π. κεφ13 (σελ. 22-25), κεφ12 (σελ. 18-19)
- 10.) Δειγματοληψία Εδάφους, Εδαφολογικό εργαστήριο ΕΑΣ\Μ-Ν, φυλλάδιο για τη διαδικασία δειγματοληψίας εδάφους)
11.)Εδαφολογία , Τσιτσιάς Κ. ,κεφ5 (σελ. 75-82) Αθήνα 1999
12.) Εδαφολογία , Πανάγιωτόπουλος Λ. , κεφ2 (σελ. 19-24) Μεσολόγγι 2002
13.) Εδαφοφυσική ,Πανάγιωτόπουλος Κ. Π. , κεφ3 (σελ. 50-199), Μεσολόγγι 1984
14.) Εφαρμοσμένη Γεωλογία , Αλεξόπουλος Α. , (1983)
15.) Μέθοδος πιεστικού δίσκου με αδιατάραχτα δείγματα (Μπούμπουκα Α.) , (Διατριβή)
16.) Υδρογεωλογία, Λέκκας Σ. , (σελ. 32-35)
17.) Φυσική και Χημική Ανάλυση του Εδάφους, Αλεξιάδη Κ. , (σελ,56-69) (1974)
18.) Fourth Edition Soil an Introduction, Micheal J. Singer, Donald N. Munns
19.) Soil Analysis Physical Methods, Keith A. Smith , Chris E. Mullins, (σελ. 128-132), (1991)
20.) Soilmoisture, Instructions for setup the cat. Manifold, (user manual)
21.) Soilmoisture, Operating instructions, (user manual)

22.) Soil-Water Interactions, Mechanisms and Application, Shingo Iwata, Toshiba Tabuchi, Benna P. Warkentin. (σελ. 39-44) , (1995)
23.) While R. E. Introduction to the principles practices of soil sunce blackewell Oxford
24.) Μεθοδολογία Μηχανικής ανάλυσης του εδάφους (Μέθοδος Υδρομέτρου), Εργαστήριο Εδαφολογίας και Αρδεύσεων, Μπαρούχας Π. (2011)
25.) Particle Size Analysis, Lectures on Soil Lboratory, Agr. Univ. Of Athens , Anonymous (1991)
26.) Methods of soil analysis, Part1. Physical and mineralogical properties, Agronomy 9,2nd edition , American Society of Agronomy, Inc. Madison
27.) Lide, D. R. (Ed.) (1990). CRC Handbook of Chemistry and Physics (70th Edn.). Boca Raton (FL):CRC Press.)
28.) Soilmoisture, 0200 Soil Core Sampler, (user manual)