



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**Πειραματική διερεύνηση χαρακτηριστικών καμπύλων υγρασίας με
τη μέθοδο της τράπεζας πίεσης
Περίπτωση εδαφών περιοχής Πύργου Ηλείας**



ΙΩΑΝΝΑ ΑΛΕΒΙΖΟΥ

Επιβλέπων: Νικόλαος Μαλάμος, Αναπλ. Καθηγητής

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στα Εργαστήρια του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Αναπλ. 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. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη τους, τις συμφοιτήτριες και συμφοιτητές μου, που με την συμπαράστασή τους μου έδιναν δύναμη να συνεχίσω. Ταυτόχρονα θα ήθελα να ευχαριστήσω το άλλο πρόσωπο που με βοήθησε στο πείραμα να γίνει πράξη και συμφοιτήτρια μου Πελάγια Θεριανού για την υποστήριξη και βοήθεια της στο κοινό μας πείραμα.

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: «Πειραματική διερεύνηση Χαρακτηριστικών Καμπύλων Υγρασίας με τη μέθοδο της τράπεζας πίεσης - Περίπτωση εδαφών περιοχής Πύργου Ηλείας».

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 μέσα στο εργαστήριο, που ξεπεράστηκαν όμως με σωστή συνεργασία καθώς δόθηκαν έγκαιρες και έγκυρες λύσεις. Έτσι εκτελέστηκαν, καταγράφηκαν και σας παρουσιάζεται αυτή η εργασία.

ΑΛΕΒΙΖΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	9
2.1	Υφή του εδάφους	9
2.1.1	Ιδιότητες της άμμου	11
2.1.2	Ιδιότητες της ιλύος	11
2.1.3	Ιδιότητες της αργίλου	11
2.2	Δομή του εδάφους	12
2.2.1	Παράγοντες που επηρεάζουν την δομή του εδάφους	13
2.3	Ειδικά βάρη εδάφους	13
2.3.1	Πραγματικό ειδικό βάρος.....	13
2.3.2	Φαινόμενο ειδικό βάρος.....	13
2.4	Πορώδες του εδάφους	14
3	ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	15
3.1	Γενικά.....	15
3.2	Ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας	15
3.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την εδαφική υγρασία.....	16
3.4	Παράμετροι εδαφικής υγρασίας.....	17
3.5	Οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού.....	21
3.6	Η χαρακτηριστική καμπύλη εδαφικής υγρασίας	24
3.7	Υστέρηση της εδαφικής υγρασίας.....	27
3.8	Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας	27
3.9	Η ανακατανομή της εδαφικής υγρασίας.....	28
3.10	Σχέση νερού – φυτού.....	29
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	32
4.1	Εργαστηριακές μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας.....	32
4.1.1	Η μέθοδος Haines.....	32
4.1.2	Η μέθοδος στήλης σε ισορροπία με σταθερή στάθμη	33
4.1.3	Η μέθοδος στήλης με διάφραγμα πίεσης.....	34
4.1.4	Μέθοδος σχετικής υγρασίας.....	35
4.1.5	Μέθοδος του σημείου πήξης του ύδατος του εδάφους	35

4.1.6	Μέθοδος πιεστικού δίσκου – Συσκευή Richards	35
4.2	Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας στον αγρό	35
4.2.1	Τασίμετρα	35
4.2.2	Πορώδη σώματα	36
4.2.3	Μέθοδος νετρονίων	36
5	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ PRESSURE MEMBRANE APPARATUS ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ EIKELKAMP	37
5.1	Συσκευή Pressure membrane apparatus	37
5.2	Συναρμολόγηση της συσκευής	40
5.3	Δειγματοληψία	42
5.4	Προετοιμασία δειγμάτων	42
5.5	Πειραματική διαδικασία	45
5.5.1	Προετοιμασία της συσκευής για χρήση	45
5.5.2	Κορεσμός δειγμάτων	47
5.5.3	Άσκηση πίεσης στα δείγματα	47
5.5.4	Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας	49
5.5.5	Μεθοδολογία προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας	51
5.5.6	Μηχανική ανάλυση δειγμάτων	52
6	ΠΙΝΑΚΕΣ – ΚΑΜΠΥΛΕΣ	54
6.1	Δείγμα Παλάτας - Μετρήσεις	54
6.1.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h	54
6.1.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h	56
6.1.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h	58
6.1.4	Συγκεντρωτικό διάγραμμα - Παλάτας	60
6.2	Έδαφος Τραγανό-Μετρήσεις	61
6.2.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h	61
6.2.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h	63
6.2.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h	65
6.2.4	Συγκεντρωτικό διάγραμμα- Τραγανό	67
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68
8	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	69
8.1	Πίεση 0.5 bar	69
8.1.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h	69
8.1.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h	70
8.1.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h	70
8.2	Πίεση 1 bar	71
8.2.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h	71

8.2.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h.....	71
8.2.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h.....	72
8.3	Πίεση 2 bar.....	73
8.3.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h.....	73
8.3.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h.....	73
8.3.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h.....	74
8.4	Πίεση 5 bar.....	75
8.4.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h.....	75
8.4.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h.....	75
8.4.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h.....	76
8.5	Πίεση 10 bar.....	77
8.5.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h.....	77
8.5.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h.....	77
8.5.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h.....	78
8.6	Πίεση 15 bar.....	79
8.6.1	Διάρκεια πίεσης: 24 h.....	79
8.6.2	Διάρκεια πίεσης: 48 h.....	79
8.6.3	Διάρκεια πίεσης: 72 h.....	81
Παραπομπές		82
Βιβλιογραφία		83

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι ο πειραματικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας σε διαταραγμένα δείγματα εδαφών του Πανεπιστημίου με χρήση της τράπεζας πίεσης του εργαστηρίου και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα $\theta(H)$.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ του τμήματος Γεωπονίας.

Τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν κατευθείαν στο πείραμα μας χωρίς κάποια επεξεργασία και τοποθετήθηκαν στη τράπεζα πίεσης με την μορφή μιας πάστας η οποία περιείχε μόνο απιονισμένο νερό. Έτσι δημιουργήσαμε την πάστα κορεσμού την οποία τοποθετήσαμε μέσα σε ειδικούς δακτυλίους.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη συσκευή και ασκήθηκε πίεση από 0.5 έως 15 bar. Οι ενδεικτικές πιέσεις που ασκήθηκαν ήταν 0.5 bar, 1 bar, 2 bar, 5 bar, 10 bar 15 bar.

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 αναπτύσσεται 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.

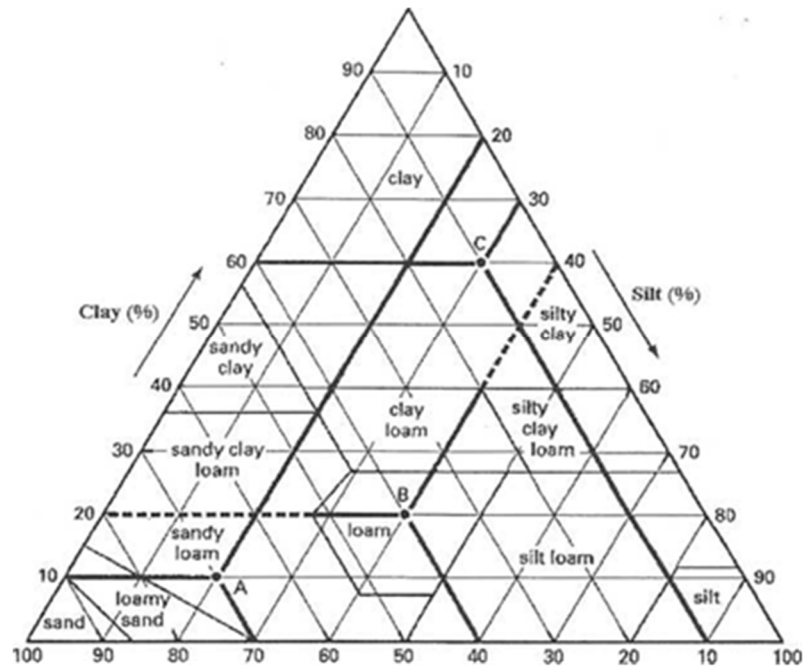
2.1 Υφή του εδάφους

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

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

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
ΐλύς	0,05-0,002
Άργιλος	< 0,002

Τα εδάφη έχουν καταταχθεί 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:

Πίνακας 2. 2: Τύποι εδαφών.

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

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

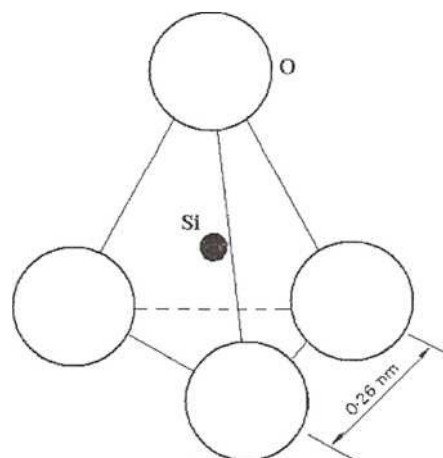
Τα χονδρότερα τεμάχια της ιλύος έχουν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με την άμμο. Ενώ τα λεπτότερα τεμάχια της ιλύος έχουν εκτεθειμένη επιφάνεια ανά μονάδα βάρους και εμφανίζει κάποια δραστηριότητα στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Η ιλύς συγκρατεί περισσότερο νερό.

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+} .



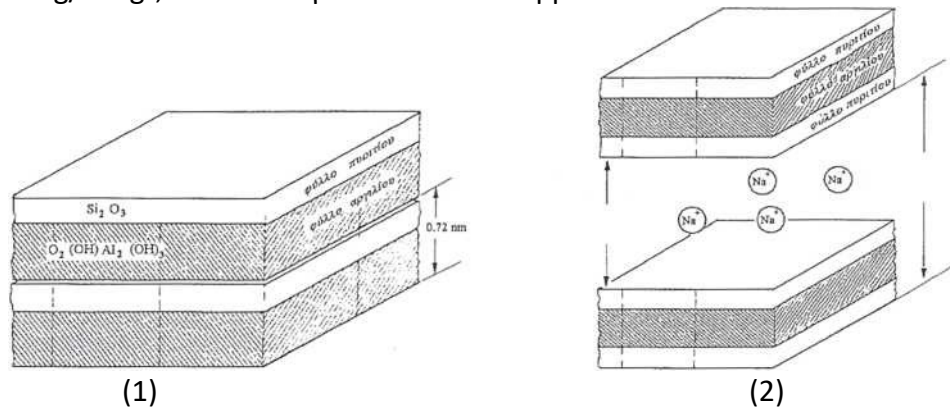
Σχήμα 2. 2: Τετράεδρο με τέσσερα ανιόντα οξυγόνου που περιβάλλουν ένα κατιόν Si^{4+}

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 έναλλάκτική 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 έναλλακτική 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 αποθήκευση του νερού. Η δομή του εδάφους μπορεί να είναι ομοιόμορφη ή να διαφέρει από ορίζοντα σε ορίζοντα.

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 αναμειγνύεται 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 πόσοστό του δείγματος σε ίλυ και άργιλο.

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

Όπου Β. Σ. = ο βαθμός συσσωματώσεως σε %

A = συσσωματώματα με διάμετρο μεγαλύτερη των 0,05 mm

B = συνολικό πόσοστό του δείγματος σε ίλυ 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 συγκολλήσεως 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/cm^3 και για ελαφριά 1,2 – 1,8 gr/cm^3 (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 αδιατάραχτα δείγματα εδάφους και δακτυλίδια γνωστού όγκου.
- 3) Με χρήση ακτίνων γ.

2.4 Πορώδες του εδάφους

Το πορώδες του εδάφους ορίζεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό του όγκου του, το οποίο στην φυσική κατάσταση καταλαμβάνεται 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 απορροφώνται 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 μεταφορά 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 μεσοκυττάριους χώρους επιτυγχάνεται η ψύξη και επομένως η διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας για τις διεργασίες του μεταβολισμού.

Η μεταφορά 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 κατ'ανάγκη 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.

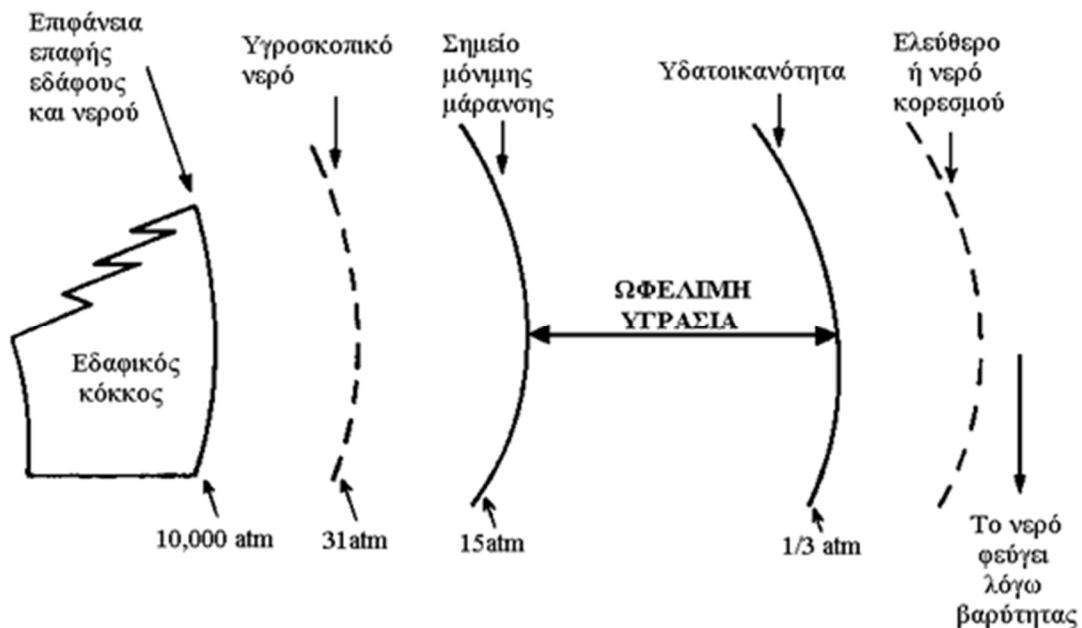
3.2 Ταξινόμηση της εδαφικής υγρασίας

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 κατατάσσει 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 στραγγίσεως απομακρύνεται 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 έλξεως 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 Παράγοντες που επηρεάζουν την εδαφική υγρασία

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 καταλαμβάνονται 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.

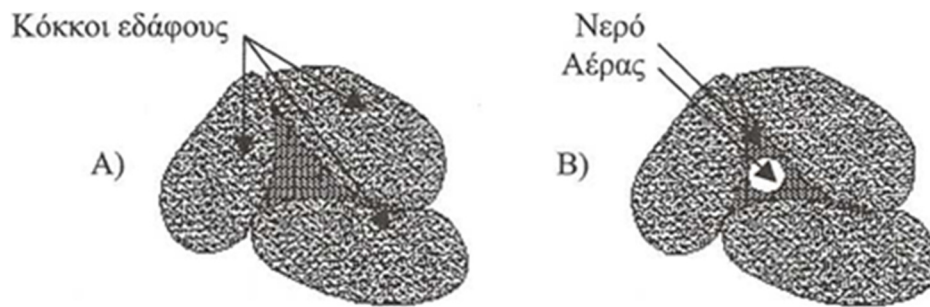
Διήθηση (infiltration) καλείται η ταχύτητα με την οποία το νερό μπορεί να κινηθεί μέσω της μάζας του εδάφους. Άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει την τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι η τοπογραφία στην επιφάνεια του εδάφους. Τα καλλιεργούμενα φυτά δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια, αλλά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

3.4 Παράμετροι εδαφικής υγρασίας

Η εδαφική υγρασία, μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν, όταν το εδαφικό δείγμα ξηραθεί 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 αναγνωρισθεί 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 απομακρυνθεί (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 απομακρυνθεί 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 αναφέρεται 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:

$$q = k \left(\frac{ds_m}{dz} + 1 \right) \quad (3.1)$$

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 οριζοντα 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 οριζοντα 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 ποσού και το είδος του, των ενυπαρχόντων κολλοειδών συστατικών και του ποσού και το είδος των προσφερόμενων 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 ανακατανομή 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 χαρακτηριστικό σημείο εδαφικής υγρασίας ονομάζεται σημείο μόνιμης μάρανσης (permanent wilting point). 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 αναγκών 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 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 απομακρύνεται μικρό μόνο ποσοστό 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 σημείο 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 = πόσοστό μόνιμης μάρανσης (% D. w.)

Η μεταβολή 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.

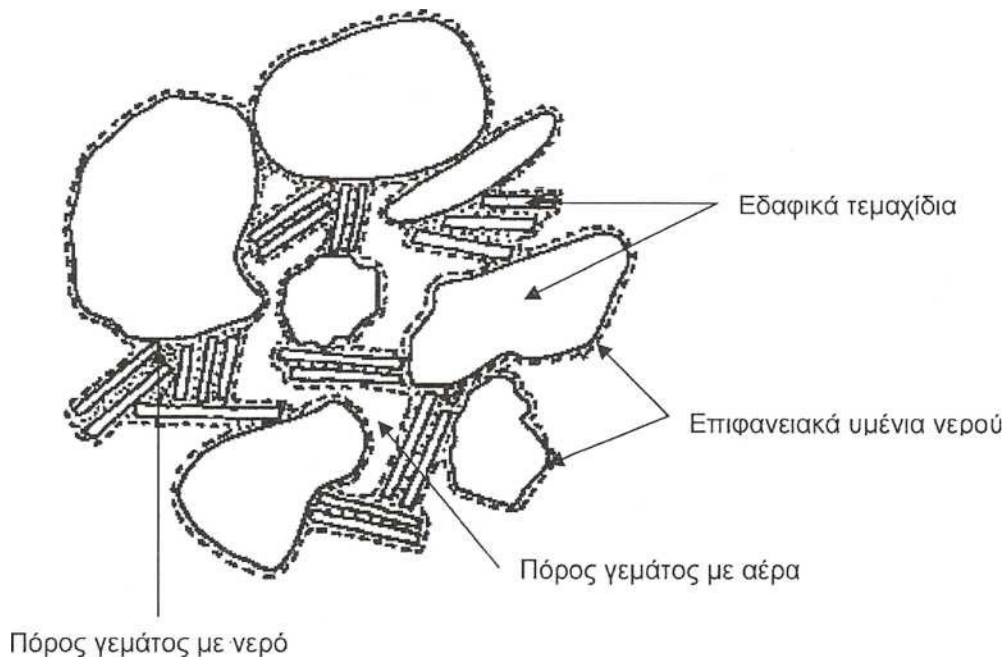
Πίνακας 3. 1: Διακυμάνσεις διαφόρων μεγεθών σε διάφορους τύπους εδάφους.

Μηχανική σύσταση	Τελική ταχύτητα διηθήσεως cm/hr	Πορώδες % n	Σημείο		Διαθέσιμη υγρασία % D. w.
			Υδατοϊκανότητα % D. w.	μάρανσης % D. w.	
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)
Αργ/πηλώδες	0,8 (0,25-1,5)	49 (47-51)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)
Ιλοσηλώδες	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)

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 ωσμωτική πίεση. Η ωσμωτική 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 ωσμωτικής πίεσης.
- 4) Έλξη μεταξύ αρνητικά φορτισμένης επιφάνειας και δίπολων μορίων νερού.
- 5) Έλξη που οφείλεται σε δυνάμεις London-van der Waals που αναπτύσσονται 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 αναπτύσσονται στο έδαφος και της ωσμωτικής 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 επιφάνειας του εδάφους ή τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας 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 επιφάνειας 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

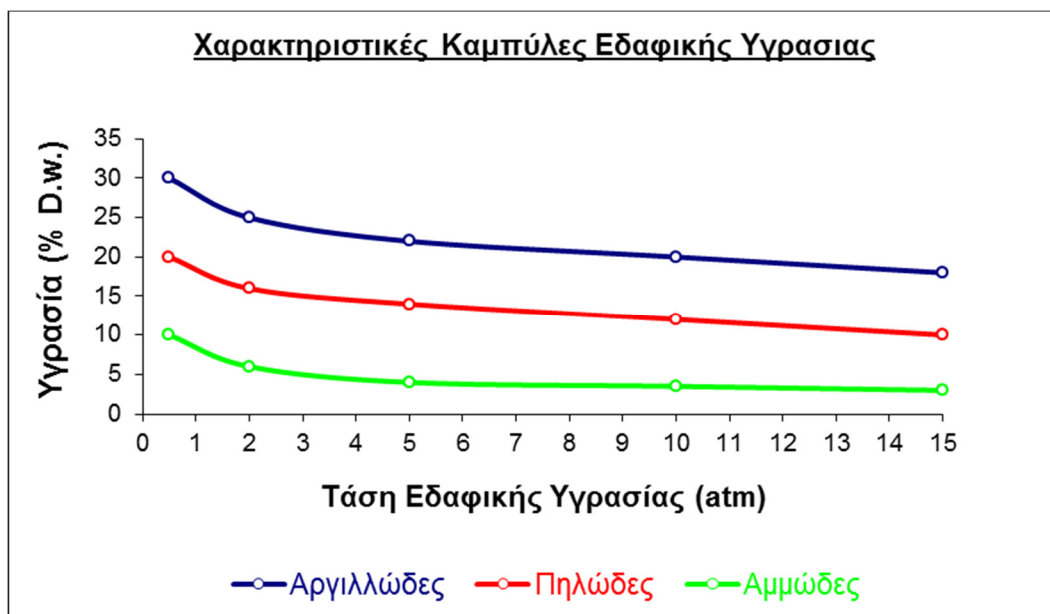
φυτών με νερό. Ας θεωρηθεί ως παράδειγμα η ακραία περίπτωση ενός αμμώδους και ενός αργιλώδους εδάφους που έχουν και οι δύο υγρασία ίση με $0,15 \text{ cm}^3 (\text{H}_2\text{O})/\text{cm}^3$ (εδάφους).

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.

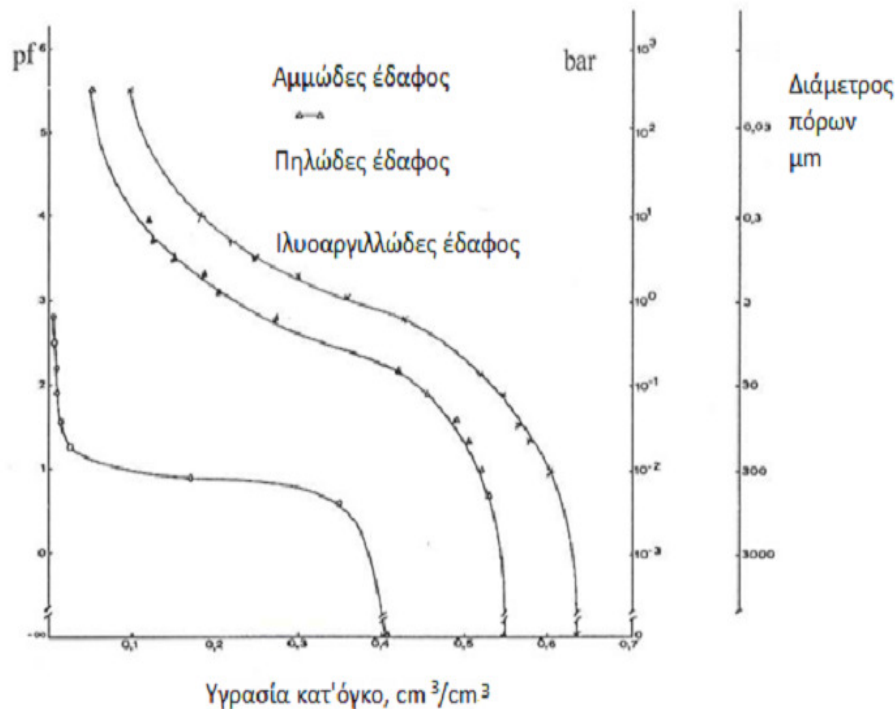


Σχήμα 3. 4: Χαρακτηριστικές καμπύλες εδαφικής υγρασίας σε τρεις τύπους εδαφών.

Ο Schofield (1935) εισήγαγε μια καινούρια μορφή έκφρασης της μύζησης του εδαφικού νερού, το pf . Σαν pf 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 1.2 bar ή $1.2 \times 10^3 \text{ cm H}_2\text{O}$ 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.



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 για 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 ωσμωτικής 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.

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

Όπου S_m = μύζηση

σ = επιφανειακή τάση

ρ_w = πυκνότητα νερού

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 $\sigma = 72,75$ dyne/cm και $\rho_w = 0,998$ 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 (στράγγιση) του νερού, ακολουθεί η αντίθετη διαδικασία, δηλαδή ξηρό έδαφος υποβληθεί σε προοδευτική ύγρανση, 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 προηγουμένως το δείγμα ξηρανθεί σε 105°C για 24 έως 48 ώρες αναλόγως με την υγρασιακή κατάσταση και τον τύπο υφής του δείγματος.

Η εδαφική υγρασία κατά βάρος βρίσκεται από τη σχέση:

$$\Theta_m = \frac{m_w - m_d}{m_d} * 100 \quad (3.6)$$

όπου Θ_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:

$$\theta_v = \theta_m \frac{\rho_b}{\rho_w} \quad (3.7)$$

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

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

ρ_w = πυκνότητα του νερού (gr/cm^3)

ρ_b = 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 μήκος της εδαφικής κατανομής 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 CO₂ και H₂O.

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. 2.

Πίνακας 3. 2: Η τάση με την οποία προσλαμβάνεται το εδαφικό νερό από τα ριζικά τριχίδια σε κάθε καλλιέργεια.

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

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. 3.

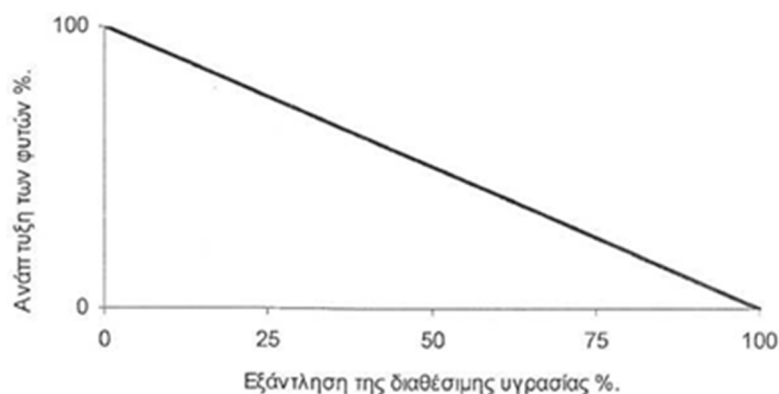
Πίνακας 3.3: Τιμές βάθους ενεργού ριζοστρώματος για διάφορες καλλιέργειες σε cm.

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

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.

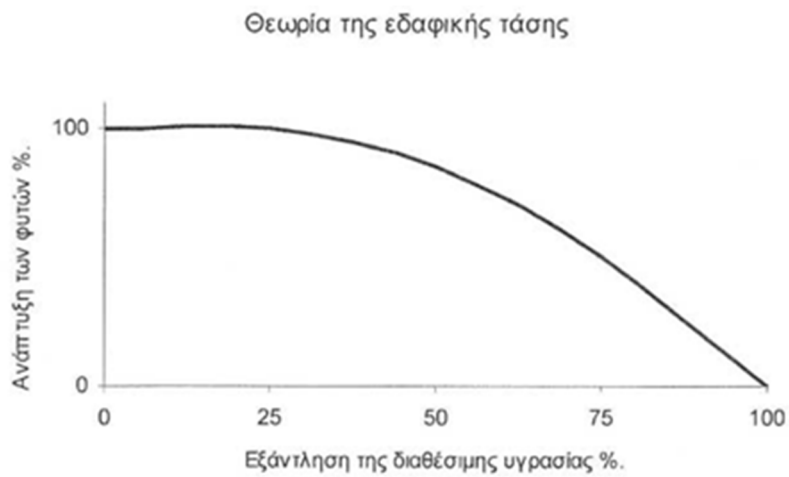
Κατά τη θεωρία των Veihmeyer και Hendrickson τα φυτά παίρνουν το απαιτούμενο νερό με ευχέρεια σε όλη τη ζώνη μεταξύ υδατοϊκανότητας και σημείου μόνιμης μάρανσης.

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 3.6.



Σχήμα 3. 6: 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. 7.



Σχήμα 3. 7: 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.

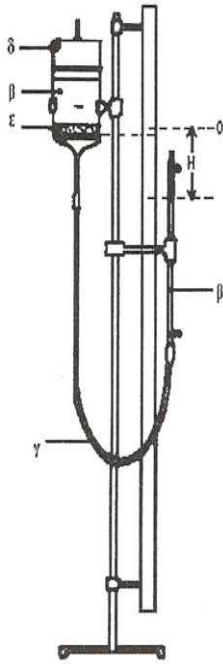
4.1.1 Η μέθοδος Haines

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:

$$P = g \rho h \quad (4.1)$$

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



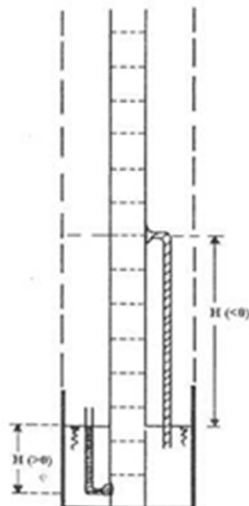
- α. Χωνί Buchner
- β. Προχοίδα
- γ. Λαστιένιος σωλήνας
- δ. Πώμα για μείωση απωλειών λόγω εξάτμισης
- ε. Δείγμα εδάφους



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.

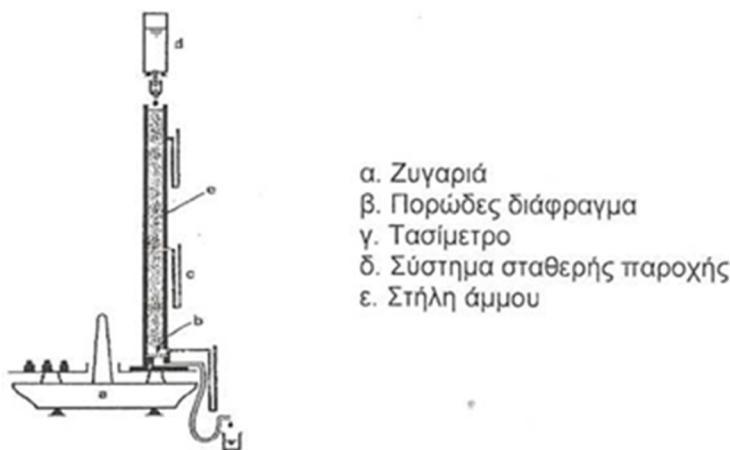
Η υδραυλική αγωγιμότητα δίνεται από τη σχέση:

$$q = K \quad (4.2)$$

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 πίεσης 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 διάφορα 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 πίεσης H .

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 εδάφους 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.

4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας στον αγρό

Από τις μεθόδους και τα όργανα προσδιορισμού εδαφικής υγρασίας που υπάρχουν θα αναπτυχθούν παρακάτω εκείνες που η χρησιμότητά 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 πορώδους 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 Αμερικού-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 καμπύλων 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 PRESSURE MEMBRANE APPARATUS ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ EIJKELKAMP

5.1 Συσκευή Pressure membrane apparatus

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα είναι η συσκευή τράπεζας πίεσης Pressure Membrane Apparatus του οίκου Eijkelkamp του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των τιμών pF μεταξύ 2.7 ως και 4.2, δηλαδή 0.5 bar ως 15.8 bar.

Εικόνα 5.1: Συσκευή Pressure membrane apparatus του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.



Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λαμβάνονται με αυτό το όργανο είναι σημεία στις καμπύλες στράγγισης των σχετικών δειγμάτων και αφορά την άσκηση πίεσης για την απομάκρυνση του νερού από τα δείγματα.

Οι ασκούμενες πιέσεις είναι χαρακτηριστικές για κάθε επίπεδο περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας. Η καμπύλη διαβροχής, από την άλλη πλευρά, προσδιορίζεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό, των δειγμάτων. Αυτή η καμπύλη δεν είναι ίδια με την καμπύλη

στράγγισης, επειδή η περιεκτικότητα σε νερό δεν ανταποκρίνεται στιγμιαία στις μεταβολές πίεσης λόγω του φαινομένου της υστέρησης (Hysteresis). Οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας μπορούν να σχεδιαστούν με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λαμβάνονται με αυτό το όργανο.

Για τον προσδιορισμό των καμπυλών pF χρησιμοποιούνται συνήθως μη διαταραγμένα δείγματα εδάφους, λόγω της σημαντικής επιρροής της κατανομής μεγέθους των πόρων και δομής του εδάφους στην συγκράτηση του εδαφικού νερού. Ωστόσο, για δείγματα μικρού ύψους, στην περιοχή pF 3.0 – 4.2 (ισοδύναμη με πιέσεις 1.0 - 15.5 bar) το νερό του εδάφους συγκρατείται κυρίως σε πολύ μικρούς πόρους, επομένως η συγκράτηση του νερού στο έδαφος επηρεάζεται κυρίως από την υφή του εδάφους. Άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαταραγμένα δείγματα εδάφους στην συγκεκριμένη συσκευή με χρήση των δακτυλίων ύψους 1 cm.

Η βάση της συσκευής φέρει ακροφύσιο εκροής υγρού. Κατά την εφαρμογή πίεσης στην συσκευή που γίνεται από ειδική είσοδο, το νερό 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 σε δοχείο.

Τα δείγματα κορεσμένου εδάφους τοποθετούνται σε ειδική ημιπερατή μεμβράνη σελοφάν με μικροσκοπικούς πόρους. Αυτή η μεμβράνη επιτρέπει τη διέλευση του νερού από το δείγμα, αλλά διατηρεί την πίεση του αέρα που εφαρμόζεται στην άνω επιφάνεια της μεμβράνης.

Το κυρίως σώμα της συσκευής σφραγίζεται αεροστεγώς με την πλάκα της βάσης, περιστρέφοντας τη λαβή της βίδας (Σχήμα 5.2). Εφαρμόζεται πίεση στο όργανο χρησιμοποιώντας τον αεροσυμπιεστή. Οι ελκτικές δυνάμεις που ασκούν τα σωματίδια του εδάφους στο εδαφικό νερό δεν υπερβαίνουν τη δύναμη της ασκούμενης πίεσης και επομένως το νερό απομακρύνεται μέσω της ημιπερατής μεμβράνης.

Όταν απομακρυνθεί τόση ποσότητα νερού ώστε να επιτευχθεί ισορροπία, δηλαδή δεν παρατηρείται έξοδος επιπλέον ποσότητας νερού, τα δείγματα αφαιρούνται, ζυγίζονται και αφού ξηραθούν σε φούρνο με θερμοκρασία 105°C για 24 ώρες ζυγίζονται ξανά για να προσδιοριστεί η κατά βάρος εδαφική υγρασία.



Εικόνα 5.2 Συσκευή Pressure Membrane Apparatus με αριθμημένα εξαρτήματα

1. Τράπεζα πίεσης
2. Αεροσυμπιεστής
3. Φίλτρο αέρα
4. Σωλήνας υψηλής πίεσης
5. Έξοδος – Μαστός σωλήνα υψηλής πίεσης
6. Ρυθμιστής πίεσης/βαλβίδα μείωσης
7. Μανόμετρο
8. Έξοδος – Μαστός μανομέτρου
9. Σωλήνας εκροής
10. Σωλήνας αποστράγγισης
11. Βανάκι
12. Λαβή
13. Βίδα
14. Μανόμετρο
15. Σώμα οργάνου

5.2 Συναρμολόγηση της συσκευής

Η συσκευή τράπεζας πίεσης που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1, συναρμολογήθηκε και προετοιμάστηκε για χρήση, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

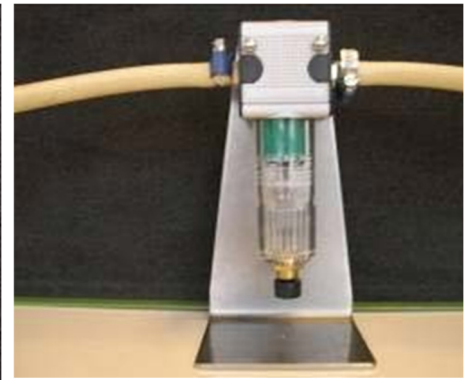
1. Η συσκευή βιδώθηκε σε ένα σταθερό τραπέζι, χρησιμοποιώντας τα 4 μπουλόνια που παρέχονται με τη συσκευή. (Εικ. 5.3)
2. Τοποθετήθηκε το φίλτρο αέρα όσο το δυνατόν πιο κοντά στη συσκευή.
3. Συνδέθηκε ο αεροσυμπιεστής με το φίλτρο αέρα, και τοποθετήθηκε ο σωλήνας υψηλής πίεσης στο ρυθμιστή πίεσης του συμπιεστή (Εικ. 5.4). Το άλλο άκρο του σωλήνα στερεώθηκε με παρόμοιο τρόπο με το στόμιο στο φίλτρο αέρα.
4. Χρησιμοποιώντας έναν άλλο σωλήνα υψηλής πίεσης συνδέθηκε το φίλτρο αέρα στην εισαγωγή της συσκευής (Εικ. 5.5).
5. Με έναν τρίτο σωλήνα υψηλής πίεσης συνδέθηκε η πάνω πλάκα της συσκευής στο μανόμετρο.
6. Τοποθετήθηκε ο πλαστικός σωλήνας στράγγισης στο κάτω μέρος της πλάκας βάσης.



Εικόνα 5.3 Ασφάλιση με μπουλόνια



Εικόνα 5.4 Συνδεσμολογία σωλήνα αέρα υψηλής πίεσης



Εικόνα 5.5 Φίλτρο αέρα

Το νερό απομακρύνεται από την πλάκα πίεσης μέσω της τρύπας στο κέντρο της. Αυτή η τρύπα καλύπτεται με μια μικρή στρογγυλή πλάκα, με μια εγκάρσια τομή στην κάτω πλευρά (Εικ. 5.6). Το νερό που ρέει μέσα από την τρύπα θα απομακρυνθεί μέσω του σωλήνα σε κάποιο δοχείο (Εικ. 5.7).

Επίσης, μπορεί να συνδεθεί και δεύτερη συσκευή μέσω της βάνας (11).



Εικόνα 5.6 Πλάκα σταυροειδούς σχήματος



Εικόνα 5.7 Πίσω πλευρά της πλάκας βάσης



Εικόνα. 5.8 Έτοιμο για χρήση

5.3 Δειγματοληψία

Για τις ανάγκες του πειράματος έγινε η λήψη δύο δειγμάτων εδάφους στην ευρύτερη περιοχή του Πύργου Ηλείας. Το πρώτο δείγμα εδάφους λήφθηκε από την περιοχή Παλάτας και το δεύτερο από την περιοχή Τραγανό. Τα δείγματα ονομάστηκαν Παλάτας (Π) και Τραγανό (Τ).



Εικόνα 5.9 Οι τοποθεσίες των περιοχών δειγματοληψίας, Παλάτας και Τραγανό αντίστοιχα.

5.4 Προετοιμασία δειγμάτων

Αφού λήφθηκαν τα δείγματα από τον αγρό πραγματοποιήθηκαν οι διαδικασίες της αεροξήρανσης, κονιορτοποίησης με γουδί και κοσκίνισματος με το κόσκινο των 2 mm.

Αρχικά αφαιρέθηκαν τα δείγματα από τις πλαστικές συσκευασίες όπου ήταν αποθηκευμένα και τοποθετήθηκαν σε κατάλληλους περιέκτες για αεροξήρανση. Στην συνέχεια, για να επιταχυνθεί η διαδικασία ξήρανσης τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο ξήρανσης στους 33 °C, μέχρι να απομακρυνθεί η περίσσεια νερού.

Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, τα δείγματα αναμειγνύονταν και θρυμματίστηκαν τα μεγάλα συσσωματώματα εδάφους προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη ξήρανση του δείγματος.



Εικόνα 5. 10 Τα αρχικά δοχεία που αφέθηκαν τα δείγματα για αεροξήρανση.



Εικόνα 5.11 Αεροξήρανση εδάφους



Εικόνα 5.12 Εισαγωγή των δειγμάτων στο φούρνο ξήρασης στους 33 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 5.13: Κονιορτοποίηση των δειγμάτων.

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

Μετά την κονιορτοποίηση, το κάθε δείγμα περάστηκε από κόσκινο με διάμετρο οπής 2 mm. Μετά τον διαχωρισμό του εδάφους με μέγεθος κόκκων έως και 2 mm, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικές σακούλες. Η κάθε σακούλα είχε πάνω της το όνομα του κάθε δείγματος.

5.5 Πειραματική διαδικασία

5.5.1 Προετοιμασία της συσκευής για χρήση

Η προετοιμασία της συσκευής για την πραγματοποίηση του πειράματος περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Κόπηκαν δύο κομμάτια από το ειδικό νάιλον ύφασμα, αρκετά μεγάλο ώστε να καλύψει το δακτύλιο (O-ring) στο περίβλημα. Εάν πλυθεί μετά τη χρήση, το ύφασμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (Εικ. 5.14). Το ύφασμα φίλτρου πρέπει να παραμένει εντός του δακτυλίου.
2. Κόπηκαν δύο κομμάτια φύλλου πλαστικής μεμβράνης (σελοφάν) 2 ως 3 cm μεγαλύτερο από την πλάκα βάσης. Αυτή η μεμβράνη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά μετά από κάθε χρήση.
3. Έγινε κορεσμός του σελοφάν με απιονισμένο νερό για διάστημα από 1 έως 3 ώρες και κορεσμός των δύο κομματιών υφάσματος (Εικ. 5.15).
4. Στη συνέχεια καθαρίστηκε η πλάκα βάσης με αλκοόλη (50%) (ειδικά όπου ο δακτύλιος στεγανοποίησης θα έρθει σε επαφή με την πλάκα βάσης) για να διασφαλιστεί η αεροστεγής σφράγιση (Εικ. 5.16).
5. Έπειτα τοποθετήθηκαν τα υφάσματα (το ένα πάνω στο άλλο) στη πλάκα της βάσης.
6. Πιέστηκαν τα δύο υφάσματα και τα δύο φύλλα σελοφάν μαζί ώστε να αφαιρεθεί ο αέρας (Εικ. 5.17 και 5.18). Διαφορετικά μπορεί να λάβουμε λανθασμένες μετρήσεις.
7. Στην Εικόνα 5.19 παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας.

Η ανωτέρω διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε φορά που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε νέα δείγματα στη συσκευή.



Εικόνα 5.14 Υπολογίζουμε το μέγεθος της πλάκας



Εικόνα 5.15 Διαβρέχουμε τις μεμβράνες και τα υφάσματα



Εικόνα 5.16 Καθαρίζουμε την πλάκα βάσης με αλκοόλη



Εικόνα 5.17 Τα 2 φύλλα υφάσματος τοποθετούνται και αφαιρούνται οι φυσαλίδες αέρα.



Εικόνα 5.18 Τα 2 φύλλα σελοφάν τοποθετούνται πάνω στην πλάκα και αφαιρούνται οι φυσαλίδες αέρα.



Εικόνα 5.19 Τελικό αποτέλεσμα

5.5.2 Κορεσμός δειγμάτων

Για τις ανάγκες του πειράματος δημιουργήθηκε πάστα κορεσμού για κάθε δείγμα που είχε συλλεγεί. Η σύσταση της κάθε πάστας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1 Η σύσταση για τις πάστες κορεσμού

	ΤΡΑΓΑΝΟ (ΤΡ)	ΠΑΛΑΤΑΣ (Π)
ΧΩΜΑ	80 gr	80gr
ΝΕΡΟ	22 ml	25 ml



Εικόνα 5. 20 Κορεσμένο έδαφος

5.5.3 Άσκηση πίεσης στα δείγματα

Αφού έγινε η σωστή προετοιμασία της συσκευής και ο επαρκής έλεγχος όλων των υλικών, ήρθε η ώρα να ξεκινήσει το πείραμα. Αφού γίνει μια απλή δοκιμή της συσκευής σε μια στις 10 bar, τότε ξεκινάει η κανονική χρήση του μηχανήματος.

Χρησιμοποιώντας το ρυθμιστή πίεσης του αεροσυμπιεστή ρυθμίζουμε την πίεση που επιθυμούμε να έχουμε στο μανόμετρο που είναι συνδεδεμένο με την άνω πλάκα της

συσκευής. Πάντα ο ρυθμιστής πίεσης του αεροσυμπιεστή πρέπει να είναι πάνω από την απαιτούμενη πίεσή που επιθυμούμε στο άνω μανόμετρο.

Οι πιέσεις που θα εφαρμόζονταν στο πείραμα ήταν: 0.5 bar, 1 bar, 2, bar, 5 bar, 10 bar και 15 bar. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές πίεσης στον ρυθμιστή του αεροσυμπιεστή ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές πιέσεις.

Πίνακας 5.2 Οι πιέσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πείραμα και οι αντίστοιχες τιμές του ρυθμιστή του αεροσυμπιεστή

Μανόμετρο	Ρυθμιστής Πίεσης
0.5 bar	1 bar
1 bar	5 bar
2 bar	5 bar
5 bar	12 bar
10 bar	15 bar
15 bar	20 bar

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τα παρακάτω βήματα:

1. Έγινε κατάλληλη σήμανση των δακτυλίων συγκράτησης του εδάφους. Στο δικό μας πείραμα η σήμανση ήταν ανάλογα την προέλευση του εδάφους οπότε τα δύο δείγματα ονομάστηκαν ως εξής: Παλάτας με Π, ΤΕΙ με Τ και Τραγανό με ΤΡ.
2. Για κάθε δείγμα έγιναν τρεις επαναλήψεις, οπότε πραγματοποιήθηκε κατάλληλη αρίθμηση των δακτυλίων της συσκευής και αντιστοιχήθηκαν οι δακτύλιοι με τα εδαφικά δείγματα.
3. Κάθε πίεση εφαρμόστηκε για τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Το πρώτο ήταν 24 ώρες, το δεύτερο ήταν 48 ώρες και το τρίτο ήταν για 72 ώρες.
4. Έγινε τοποθέτηση της πάστας κορεσμού στους δακτυλίους χρησιμοποιώντας ένα κουτάλι (Εικ. 5.21).
5. Αφού ξεκίνησε η πειραματική διαδικασία, σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, η εφαρμοζόμενη πίεση ελεγχόταν για το αν χρειαζόταν επαναρύθμιση μία ή δύο φορές την ημέρα.



Εικόνα 5.21 Δείγματα εδάφους

Αφού ασκήθηκε η επιθυμητή πίεση μέσα στην συσκευή, η διαφορά πίεσης που δημιουργήθηκε ανάμεσα στη συσκευή και στο περιβάλλον, είχε σαν αποτέλεσμα την αφαίρεση της αντίστοιχης ποσότητας νερού από τα δείγματα και την απομάκρυνσή του από την πλάκα μέσω του σωλήνα αποστράγγισης.

Μετά τη πάροδο του καθορισμένου κάθε φορά χρόνου, άνοιξε ο χειρομοχλός εισαγωγής του αέρα και μηδενίσθηκε η πίεση στο εσωτερικό της συσκευής. Το ποσοστό της υγρασίας που παρέμεινε στα δείγματα, ήταν αντιπροσωπευτικό της πίεσης που ασκήθηκε κάθε φορά.

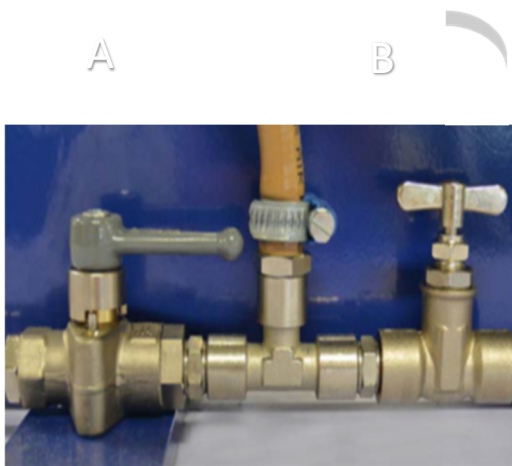
5.5.4 Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας

Μετά τη λήξη της διαδικασίας άσκησης πίεσης, τα δείγματα τοποθετούνται σε χάρτινους περιέκτες με κατάλληλη σήμανση. Οι δακτύλιοι αφαιρέθηκαν τέτοιο τρόπο χωρίς να υπάρξει απώλεια ποσότητας δείγματος.

Τα δείγματα ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας, καταγράφηκε η μάζα τους και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φούρνο ξήρανσης στους 105 °C για 24 ώρες για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

Μετά το πέρας των 24 ωρών, τα δείγματα αφαιρέθηκαν από το φούρνο ξήρανσης και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με gel πυριτίου για περίπου 10 λεπτά μέχρι να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό γίνεται ώστε να μην επηρεαστεί τα δείγματα από την υγρασία του δωματίου. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν και καταγράφηκε το ξηρό βάρος τους.

Η ανωτέρω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλες τις διαφορετικές πιέσεις, δηλαδή 0.5 bar, 1 bar, 2, bar, 5 bar, 10 bar και 15 bar, και αφού είχε ολοκληρωθεί ο απαιτούμενος χρόνος για κάθε μια πίεση μέσα στην συσκευή που ήταν 24 ώρες, 48 ώρες και 72 ώρες.



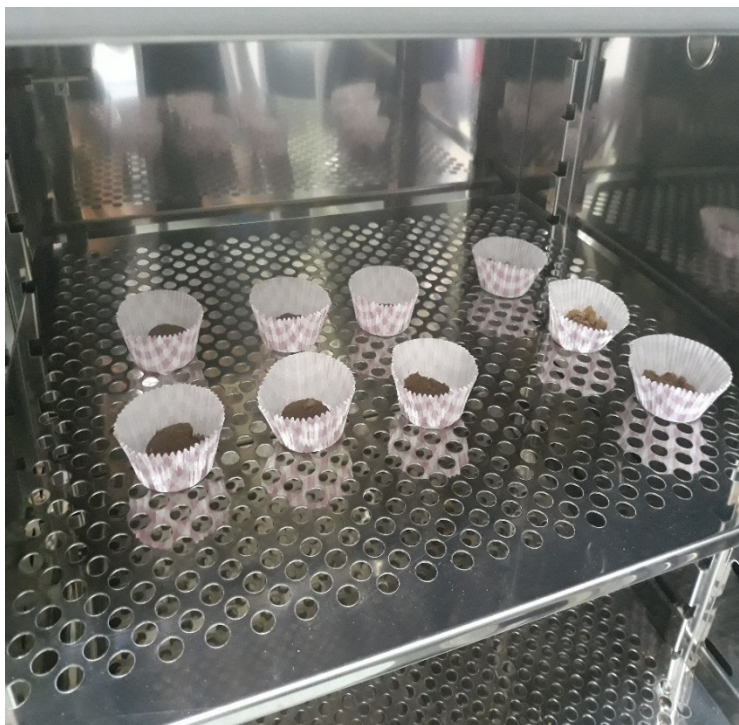
Εικόνα 5.22 Βαλβίδα A κλειστή και η βαλβίδα B ανοίγει αργά



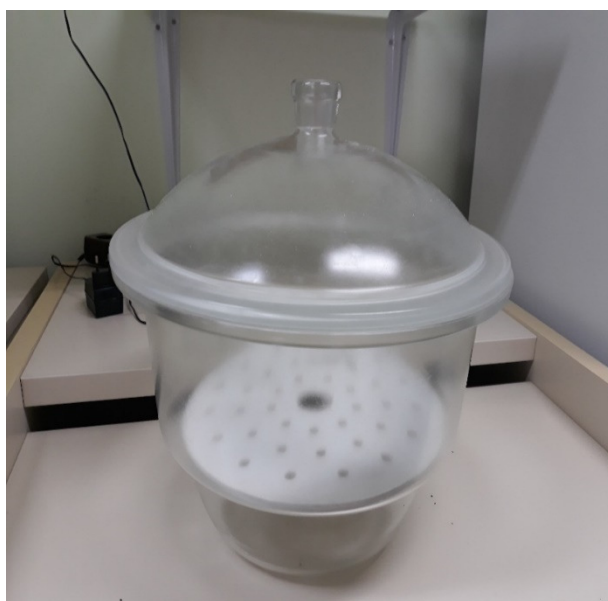
Εικόνα 5.23 Τα δείγματα αμέσως μετά την εξαγωγή τους από την συσκευή



Εικόνα 5.24 Πλάκα χωρίς το περίβλημα με τα δείγματα



Εικόνα 5.25: Τοποθέτηση δειγμάτων στο φούρνο ξήρανσης στους 105°C.



Εικόνα 5.26 Ξηραντήρας πριν και μετά την τοποθέτηση των δειγμάτων.



Εικόνα 5. 27: Ζύγιση χάρτινου σκεύους μαζί με το δείγμα μετά την εξαγωγή του από το πυραντήριο.

5.5.5 Μεθοδολογία προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας

Λαμβάνουμε ένα δείγμα εδάφους, από το οποίο **αν αφαιρέσουμε το βάρος του περιέκτη**, έχει:

- 1) **Βάρος πριν τη ξήρανση**, $W_w = \dots\dots\dots$ gr
- 2) **Βάρος μετά τη ξήρανση για 24 ώρες στους 105 °C**, $W_d = \dots\dots\dots$ gr

Τότε η **κατά βάρος εδαφική υγρασία (%)** είναι:

$$\theta_m = \frac{W_w - W_d}{W_d} = \frac{\dots\dots\dots gr}{\dots\dots\dots gr} = \dots\dots\dots \text{ ή } \dots\dots\dots (\%)$$

Αν το δείγμα εδάφους είναι αδιατάρακτο και γνωστού όγκου τότε υπολογίζεται η **φαινόμενη πυκνότητα εδάφους (gr/cm³)**:

$$\rho_b = \frac{W_d}{V} = \frac{\dots\dots\dots gr}{\dots\dots\dots cm^3} = \dots\dots\dots gr/cm^3$$

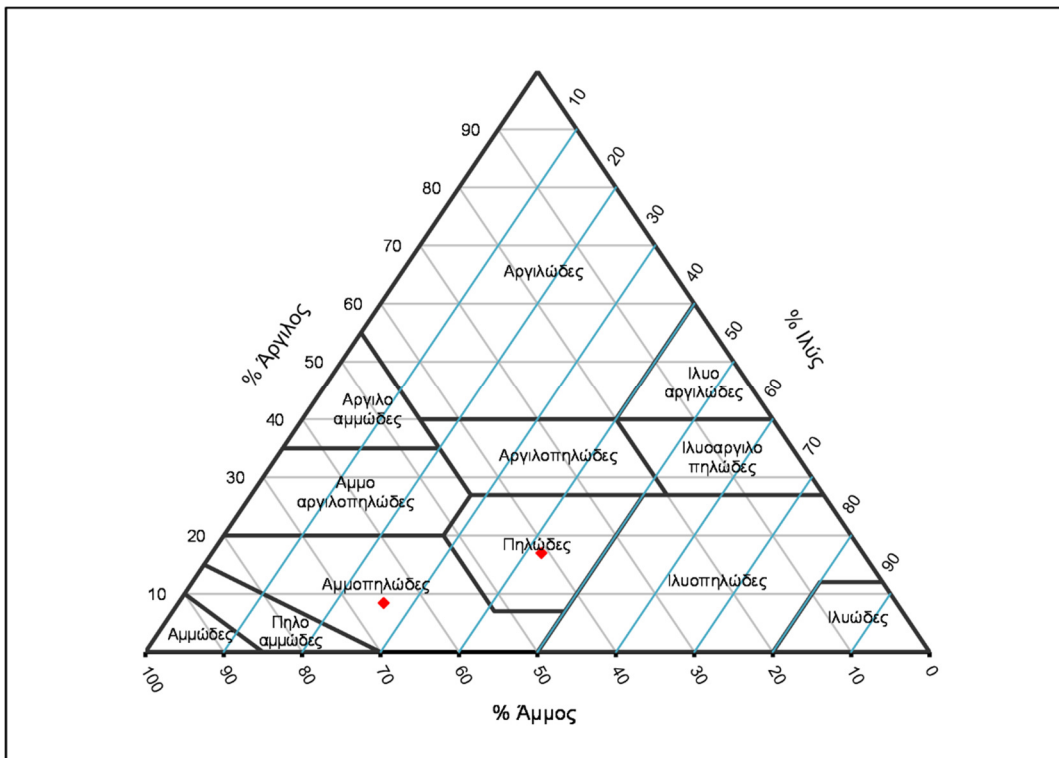
και στη συνέχεια η **κατ' όγκο εδαφική υγρασία (%)** αν η πυκνότητα του νερού ληφθεί ίση με $\rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3$:

$$\theta_v = \frac{\rho_b}{\rho_w} \times \theta_m = \frac{\dots\dots\dots \text{gr/cm}^3}{1 \text{ gr/cm}^3} \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ ή } \dots\dots\dots (\%)$$

5.5.6 Μηχανική ανάλυση δειγμάτων

Η μηχανική ανάλυση του εδάφους αποτελεί 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.

Η μηχανική ανάλυση 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.



Εικόνα 5.28 : Διάγραμμα κατάταξης των δύο δειγμάτων με βάση την κοκκομετρική σύσταση. Το δείγμα Τραγανό ανήκει στην κλάση Αμμοπηλώδες (Sandy Loam) και το δείγμα Παλάτας ανήκει στην κλάση Πηλώδες (Loam)

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.

Με χρήση της μεθόδου του υδρομέτρου, το δείγμα από τη θέση Τραγανό κατατάχθηκε στην κατηγορία Αμμοπηλώδες (Sandy Loam) ενώ το δείγμα από τη θέση Παλάτας κατατάχθηκε στην κατηγορία Πηλώδες (Loam).

Τα αμμοπηλώδη εδάφη κυριαρχούνται από τεμαχίδια άμμου, αλλά περιέχουν αρκετή άργιλο και ιλύ για να παρέχουν δομή και γονιμότητα. Όταν τα αμμοπηλώδη εδάφη συμπιέζονται, διατηρούν το σχήμα τους αλλά διασπώνται εύκολα. Έχουν επίσης υψηλή συγκέντρωση άμμου και για αυτό το λόγο η αίσθηση είναι παρόμοια με το αμμώδες έδαφος. Τα τεμαχίδια τους είναι τα μεγαλύτερα από όλους τους τύπους τεμαχιδίων του εδάφους, που κυμαίνονται από 0.05 - 0.10 mm ως και 1 - 2 mm. Το αμμώδες έδαφος στραγγίζει πολύ γρήγορα.

Το πηλώδες έδαφος είναι έδαφος που αποτελείται από τεμαχίδια άμμου, ιλύος και αργίλου με αναλογία περίπου 40% άμμος, 40% ιλύς και 20% άργιλος. Στο άνω άκρο του μεγέθους των σωματιδίων βρίσκεται η άμμος, η οποία έχει χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού αλλά παρέχει καλό αερισμό για τις ρίζες των φυτών. Τα τεμαχίδια της αργίλου είναι μικρά και συστέλλονται εύκολα, κλείνοντας τα κενά μεταξύ των σωματιδίων, έτσι ώστε το νερό και ο αέρας να μην μπορούν να διεισδύσουν εύκολα. Τα τεμαχίδια της ιλύος είναι μεσαίου μεγέθους σε σύγκριση με την άμμο και την άργιλο και έχουν κοινές ιδιότητες με καθένα από αυτά. Το πηλώδες έδαφος είναι σχετικά εύκολο να επεξεργαστεί ανεξάρτητα από το επίπεδο υγρασίας του.

6 ΠΙΝΑΚΕΣ – ΚΑΜΠΥΛΕΣ

6.1 Δείγμα Παλάτας - Μετρήσεις

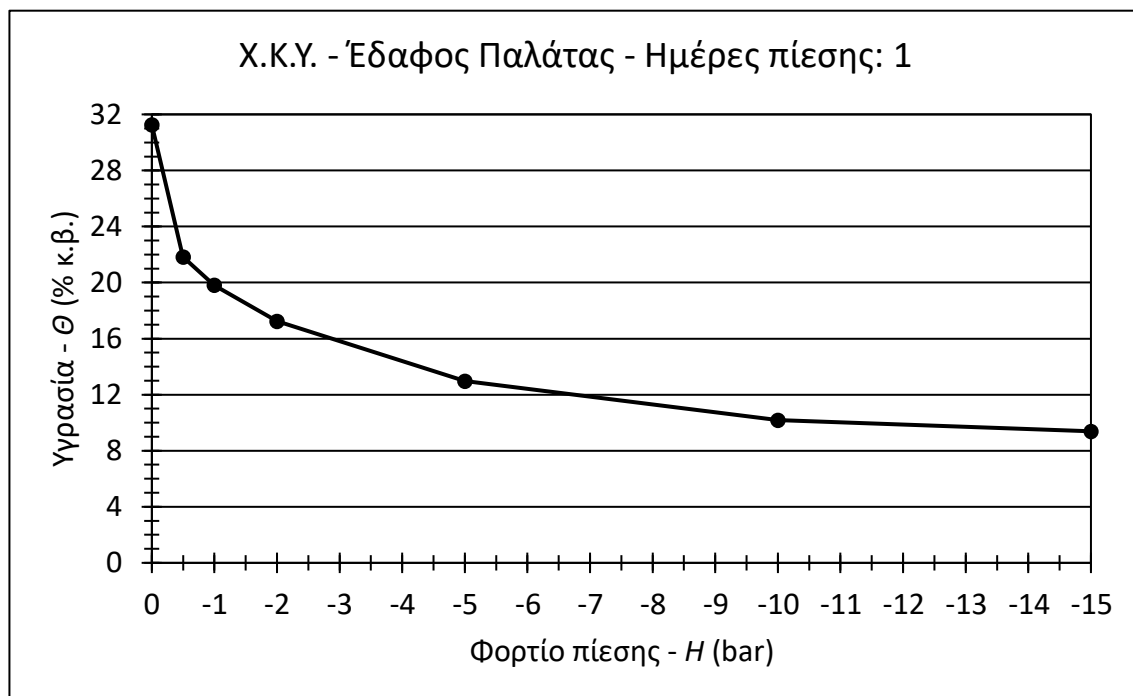
6.1.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h

Πίνακας 6. 1: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	19.71	16.25	19.38	15.92	21.73
0.5	0.33	19.90	16.37	19.57	16.04	22.01
0.5	0.33	20.38	16.80	20.05	16.47	21.74
1	0.33	18.65	15.62	18.32	15.29	19.82
1	0.33	20.58	17.24	20.25	16.91	19.75
1	0.33	20.64	17.28	20.31	16.95	19.82
2	0.33	19.80	16.95	19.47	16.62	17.15
2	0.33	19.49	16.65	19.16	16.32	17.40
2	0.33	19.48	16.68	19.15	16.35	17.13
5	0.33	20.99	18.62	20.66	18.29	12.96
5	0.33	20.14	17.85	19.81	17.52	13.07
5	0.33	20.44	18.15	20.11	17.82	12.85
10	0.33	21.42	19.48	21.09	19.15	10.13
10	0.33	20.58	18.73	20.25	18.40	10.05
10	0.33	19.97	18.13	19.64	17.80	10.34
15	0.33	18.97	17.38	18.64	17.05	9.33
15	0.33	19.79	18.09	19.46	17.76	9.57
15	0.33	19.43	17.82	19.10	17.49	9.21

Πίνακας 6. 2: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	31.25
-0.5	21.83
-1	19.80
-2	17.23
-5	12.96
-10	10.17
-15	9.37



Σχήμα 6. 1: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Παλάτας μετά από μία ημέρα πίεσης

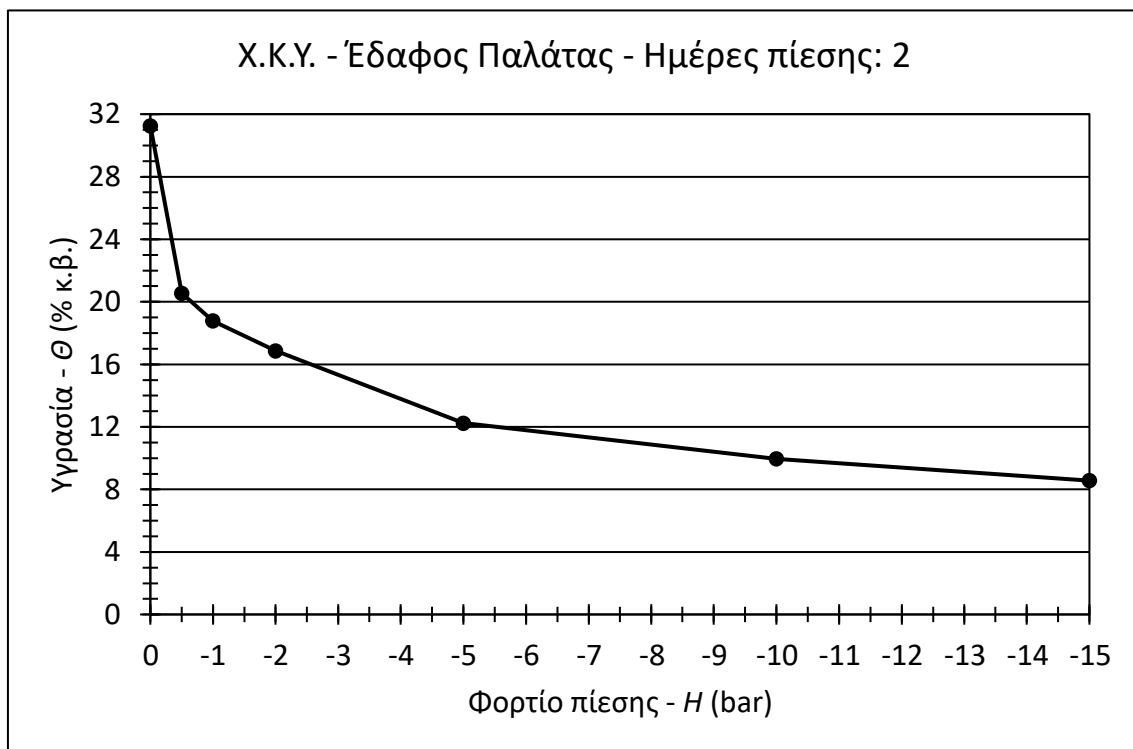
6.1.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h

Πίνακας 6. 3: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	20.76	17.30	20.43	16.97	20.39
0.5	0.33	22.28	18.53	21.95	18.20	20.60
0.5	0.33	20.15	16.76	19.82	16.43	20.63
1	0.33	20.02	16.89	19.69	16.56	18.90
1	0.33	19.80	16.73	19.47	16.40	18.72
1	0.33	19.89	16.81	19.56	16.48	18.69
2	0.33	19.99	17.16	19.66	16.83	16.82
2	0.33	18.60	15.97	18.27	15.64	16.82
2	0.33	20.75	17.79	20.42	17.46	16.95
5	0.33	20.66	18.43	20.33	18.10	12.32
5	0.33	18.93	16.92	18.60	16.59	12.12
5	0.33	20.29	18.11	19.96	17.78	12.26
10	0.33	20.17	18.36	19.84	18.03	10.04
10	0.33	20.05	18.28	19.72	17.95	9.86
10	0.33	20.11	18.32	19.78	17.99	9.95
15	0.33	20.35	18.78	20.02	18.45	8.51
15	0.33	19.34	17.84	19.01	17.51	8.57
15	0.33	19.66	18.13	19.33	17.80	8.60

Πίνακας 6. 4: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	31.25
-0.5	20.54
-1	18.77
-2	16.86
-5	12.23
-10	9.95
-15	8.56



Σχήμα 6. 2: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Παλάτας μετά από δύο ημέρες πίεσης

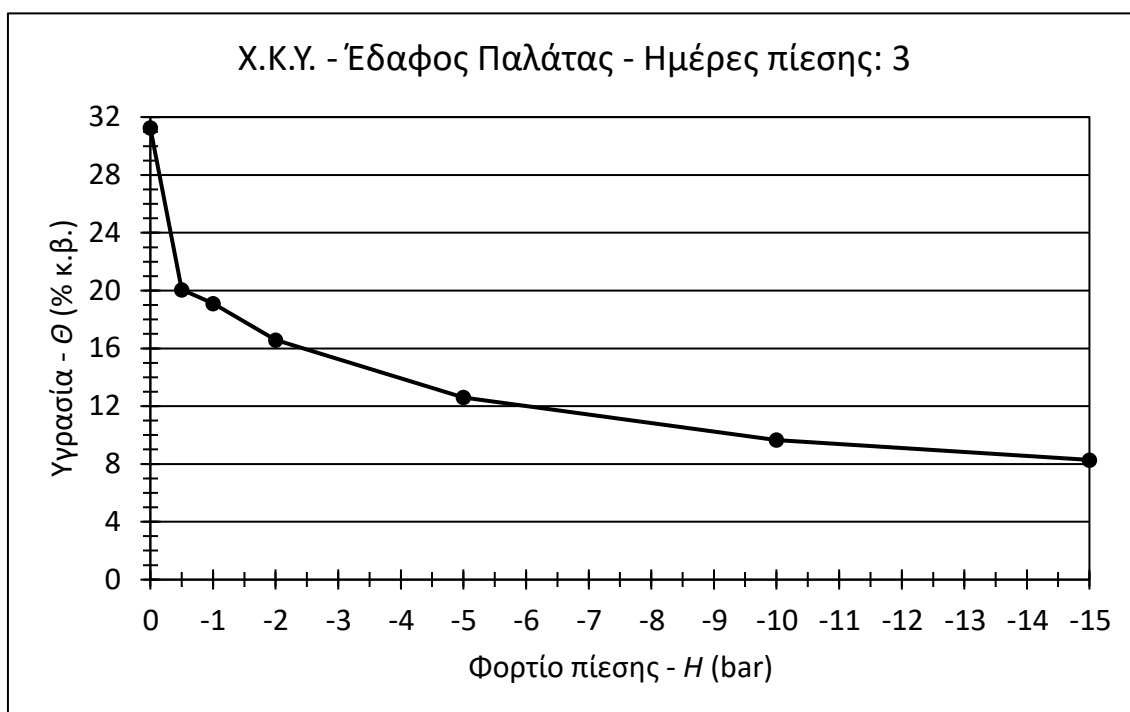
6.1.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h

Πίνακας 6. 5: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	19.48	16.29	19.15	15.96	19.99
0.5	0.33	19.45	16.24	19.12	15.91	20.18
0.5	0.33	19.01	15.90	18.68	15.57	19.97
1	0.33	19.28	16.24	18.95	15.91	19.11
1	0.33	22.52	18.97	22.19	18.64	19.05
1	0.33	20.87	17.57	20.54	17.24	19.14
2	0.33	20.14	17.33	19.81	17.00	16.53
2	0.33	18.62	16.02	18.29	15.69	16.57
2	0.33	19.27	16.57	18.94	16.24	16.63
5	0.33	20.30	18.06	19.97	17.73	12.63
5	0.33	20.71	18.43	20.38	18.10	12.60
5	0.33	20.61	18.35	20.28	18.02	12.54
10	0.33	19.73	18.02	19.40	17.69	9.67
10	0.33	20.89	19.08	20.56	18.75	9.65
10	0.33	20.26	18.51	19.93	18.18	9.63
15	0.33	20.90	19.33	20.57	19.00	8.26
15	0.33	18.84	17.42	18.51	17.09	8.31
15	0.33	20.09	18.59	19.76	18.26	8.21

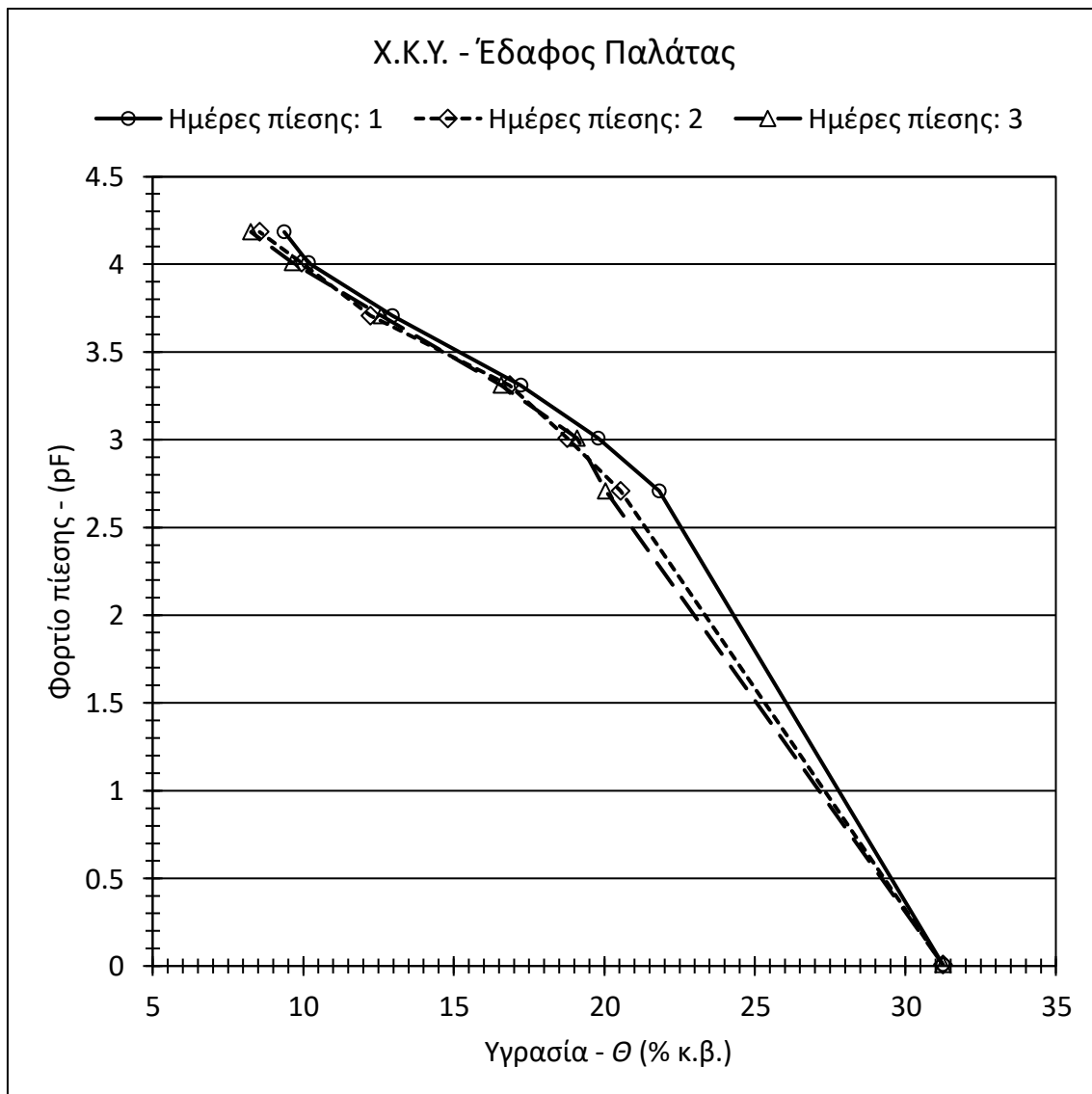
Πίνακας 6. 6: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Παλάτας

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	31.25
-0.5	20.05
-1	19.10
-2	16.58
-5	12.59
-10	9.65
-15	8.26



Σχήμα 6. 3: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Παλάτας μετά από τρεις ημέρες πίεσης

6.1.4 Συγκεντρωτικό διάγραμμα - Παλάτας



Σχήμα 6. 4: Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Παλάτας

6.2 Έδαφος Τραγανό-Μετρήσεις

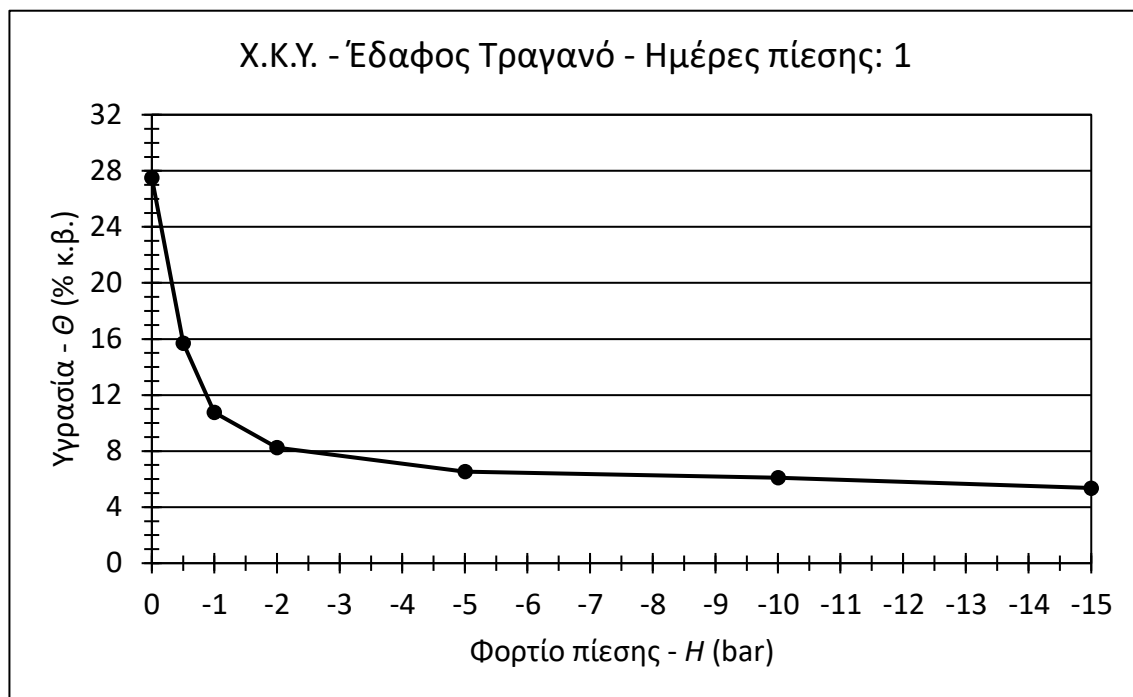
6.2.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h

Πίνακας 6. 7: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Τραγανό

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	18.80	16.39	18.47	16.06	15.01
0.5	0.33	20.28	17.50	19.95	17.17	16.19
0.5	0.33	19.79	17.12	19.46	16.79	15.90
1	0.33	18.80	17.09	18.47	16.76	10.20
1	0.33	21.48	19.30	21.15	18.97	11.49
1	0.33	21.45	19.43	21.12	19.10	10.58
2	0.33	17.95	16.59	17.62	16.26	8.36
2	0.33	21.12	19.54	20.79	19.21	8.22
2	0.33	18.00	16.67	17.67	16.34	8.14
5	0.33	19.98	18.78	19.65	18.45	6.50
5	0.33	18.67	17.54	18.34	17.21	6.57
5	0.33	19.62	18.44	19.29	18.11	6.52
10	0.33	17.93	16.94	17.60	16.61	5.96
10	0.33	19.01	17.89	18.68	17.56	6.38
10	0.33	19.97	18.87	19.64	18.54	5.93
15	0.33	19.99	18.99	19.66	18.66	5.36
15	0.33	19.27	18.29	18.94	17.96	5.46
15	0.33	18.41	17.51	18.08	17.18	5.24

Πίνακας 6. 8: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Τραγανό

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	27.50
-0.5	15.70
-1	10.76
-2	8.24
-5	6.53
-10	6.09
-15	5.35



Σχήμα 6. 5: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Τραγανό μετά από μία ημέρα πίεσης

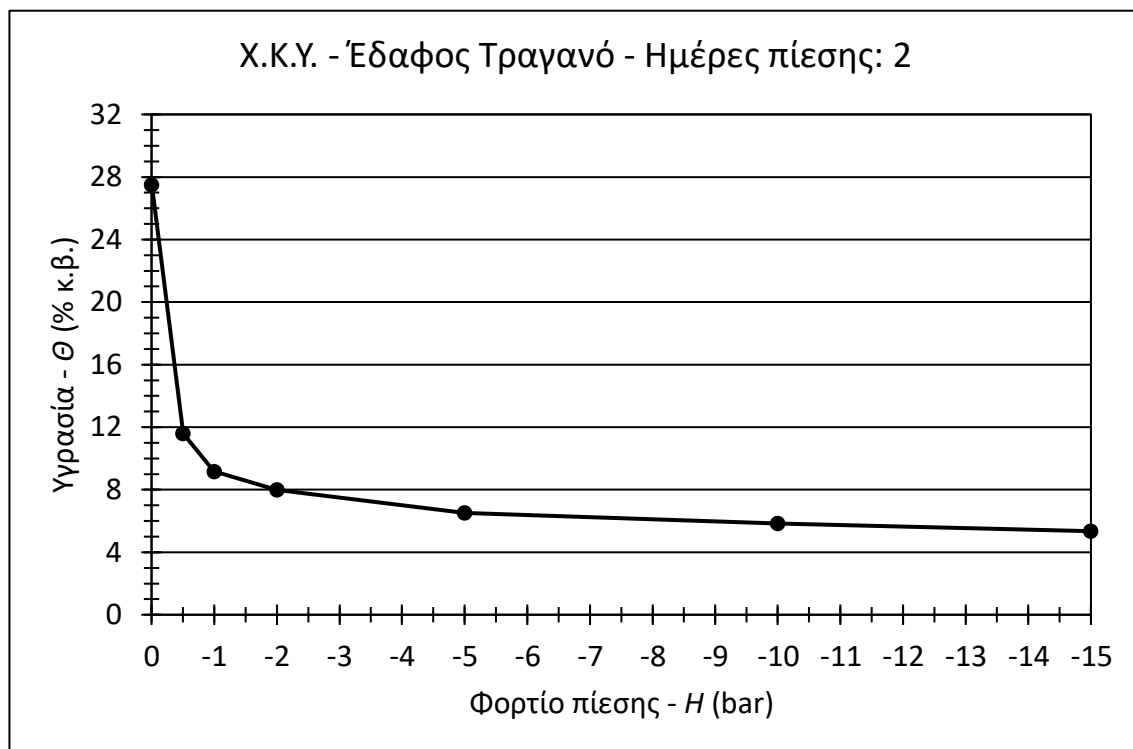
6.2.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h

Πίνακας 6. 9: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Τραγανό

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	20.73	18.60	20.40	18.27	11.66
0.5	0.33	19.62	17.59	19.29	17.26	11.76
0.5	0.33	19.25	17.32	18.92	16.99	11.36
1	0.33	20.47	18.77	20.14	18.44	9.22
1	0.33	17.80	16.34	17.47	16.01	9.12
1	0.33	17.39	15.96	17.06	15.63	9.15
2	0.33	22.28	20.65	21.95	20.32	8.02
2	0.33	20.12	18.66	19.79	18.33	7.97
2	0.33	23.26	21.57	22.93	21.24	7.96
5	0.33	20.80	19.53	20.47	19.20	6.61
5	0.33	19.50	18.35	19.17	18.02	6.38
5	0.33	21.22	19.94	20.89	19.61	6.53
10	0.33	19.09	18.05	18.76	17.72	5.87
10	0.33	20.22	19.12	19.89	18.79	5.85
10	0.33	19.51	18.46	19.18	18.13	5.79
15	0.33	20.00	18.99	19.67	18.66	5.41
15	0.33	21.62	20.54	21.29	20.21	5.34
15	0.33	21.68	20.61	21.35	20.28	5.28

Πίνακας 6. 10: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Τραγανό

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	27.50
-0.5	11.59
-1	9.16
-2	7.98
-5	6.51
-10	5.84
-15	5.34



Σχήμα 6. 6: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Τραγανό μετά από δύο ημέρες πίεσης

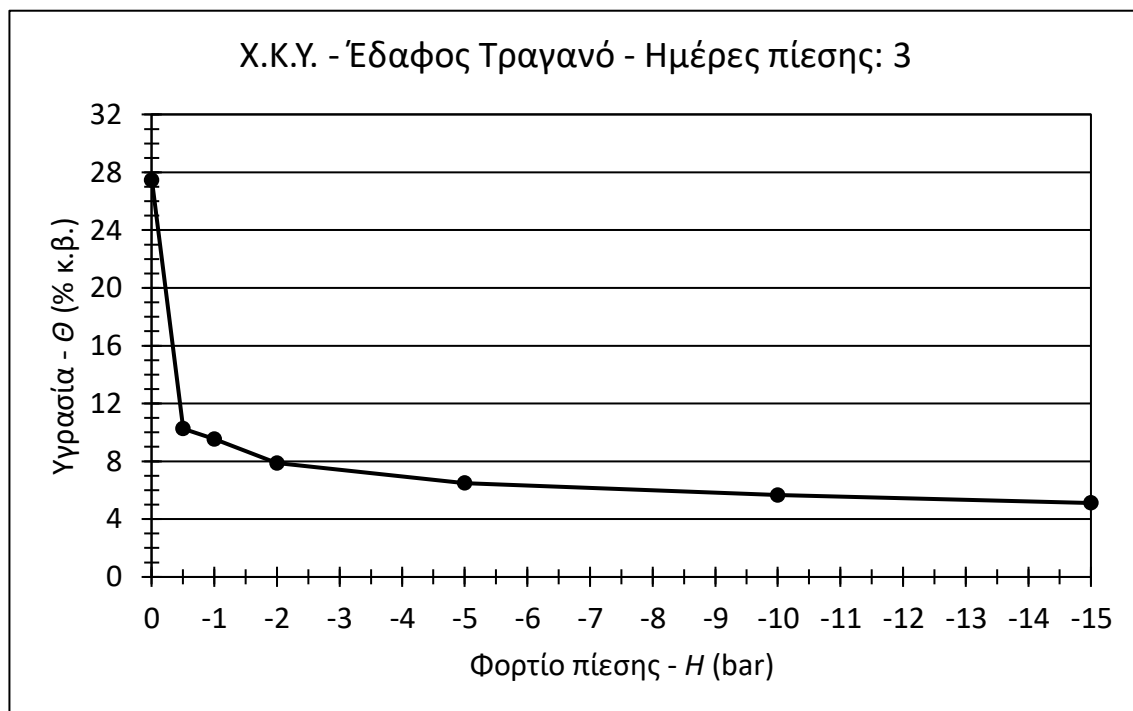
6.2.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h

Πίνακας 6. 11: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων για το δείγμα Τραγανό

Πίεση (bar)	Βάρος Σκεύους W_v (gr)	Βάρος υγρού δείγματος με το σκεύος W_{wv} (gr)	Βάρος ξηρού δείγματος με το σκεύος W_{dv} (gr)	Βάρος Υγρό W_w (gr)	Βάρος Ξηρό W_d (gr)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0.5	0.33	19.59	17.79	19.26	17.46	10.31
0.5	0.33	18.23	16.56	17.90	16.23	10.29
0.5	0.33	18.02	16.38	17.69	16.05	10.22
1	0.33	19.21	17.57	18.88	17.24	9.51
1	0.33	21.11	19.34	20.78	19.01	9.31
1	0.33	18.45	16.83	18.12	16.50	9.82
2	0.33	19.32	17.93	18.99	17.60	7.90
2	0.33	18.69	17.35	18.36	17.02	7.87
2	0.33	18.80	17.45	18.47	17.12	7.89
5	0.33	20.38	19.15	20.05	18.82	6.54
5	0.33	18.18	17.09	17.85	16.76	6.50
5	0.33	18.92	17.79	18.59	17.46	6.47
10	0.33	21.54	20.40	21.21	20.07	5.68
10	0.33	20.97	19.86	20.64	19.53	5.68
10	0.33	19.94	18.89	19.61	18.56	5.66
15	0.33	21.30	20.26	20.97	19.93	5.22
15	0.33	19.36	18.43	19.03	18.10	5.14
15	0.33	19.11	18.21	18.78	17.88	5.03

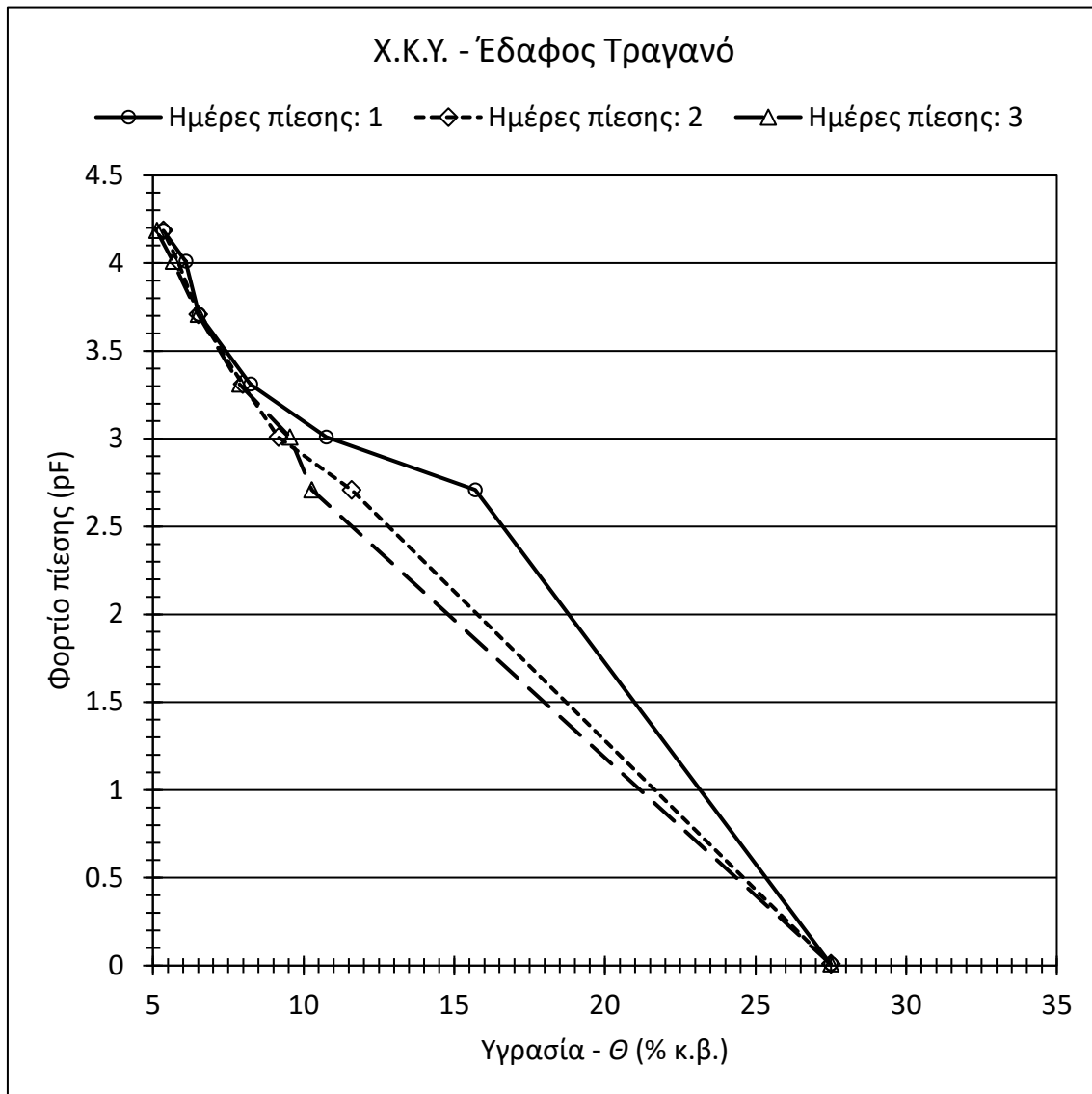
Πίνακας 6. 12: Επί τοις εκατό κατά βάρος υγρασία, για το δείγμα Τραγανό για τις ημέρες πίεσης 3

Πίεση (bar)	Υγρασία κατά βάρος Θ_m (%)
0	27.50
-0.5	10.27
-1	9.55
-2	7.89
-5	6.50
-10	5.67
-15	5.13



Σχήμα 6. 7: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Τραγανό μετά από τρεις ημέρες πίεσης

6.2.4 Συγκεντρωτικό διάγραμμα- Τραγανό



Σχήμα 6. 8: Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας κατά βάρος, για το δείγμα Τραγανό

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 στη θέση Παλάτα και στη θέση Τραγανό είχαν διαφορετική κοκκομετρική κλάση και αντίστοιχα διαφορετικές υδραυλικές ιδιότητες.

Στο δείγμα από την περιοχή Παλάτας (πηλώδες έδαφος), οι 48 και οι 72 ώρες πίεσης έδωσαν παρόμοιες καμπύλες, σε αντίθεση με αυτή των 24 ωρών πίεσης. Άρα για να γίνει η σωστή αποστράγγιση του, πρέπει το έδαφος να παραμείνει στη συσκευή για παραπάνω από 24 ώρες, ίσως και περισσότερο από 72 ώρες. Αυτό συμβαίνει καθώς το συγκεκριμένο έδαφος είναι βαρύτερο και έτσι το νερό συγκρατείται από το έδαφος με πιο ισχυρές δυνάμεις. Επίσης, το έδαφος παρουσίασε μια μικρή συστολή μέσα στους δακτυλίους σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

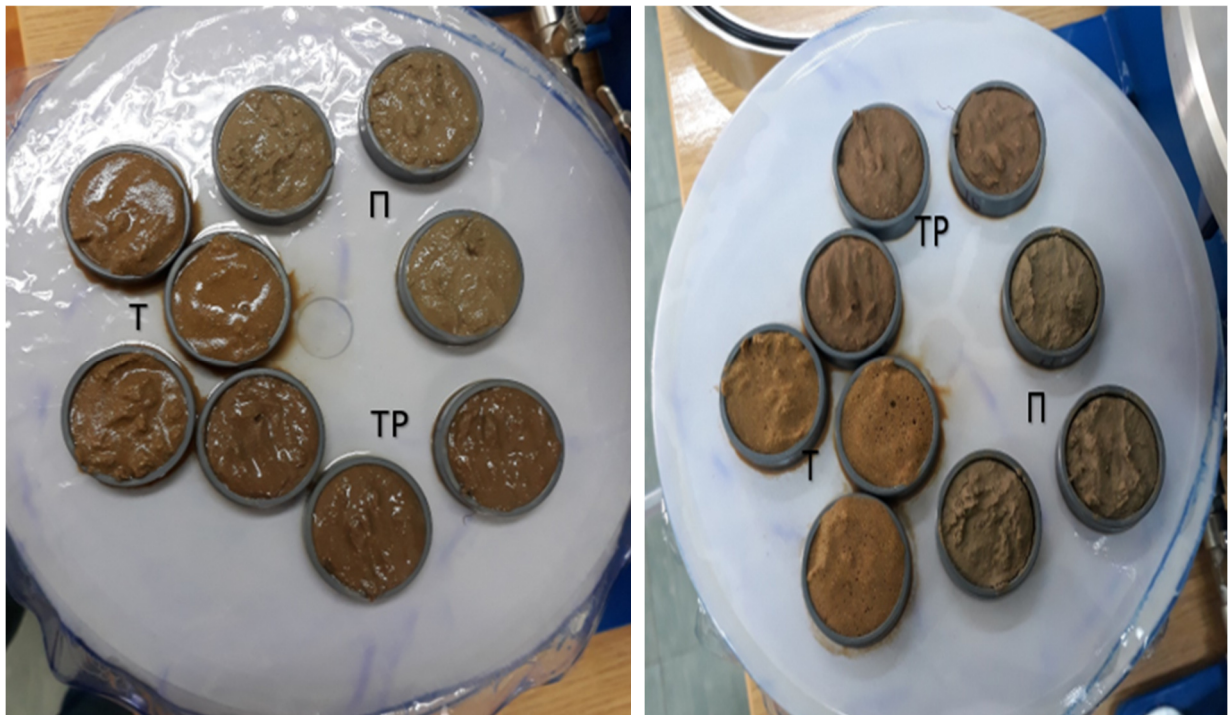
Στο αμμοπηλώδες έδαφος Τραγανό, η άσκηση πίεσης 0.5 bar για 72 ώρες είχε σαν αποτέλεσμα σημαντικά μικρότερη υγρασία του δείγματος, από την υγρασία που αντιστοιχούσε σε άσκηση ίδιας πίεσης για 24 ώρες ή για 48 ώρες. Παρόλη την γρήγορη αποστράγγιση του συγκεκριμένου εδάφους, χρειάστηκε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια εφαρμογής πίεσης για να απομακρυνθεί η υγρασία από το δείγμα. Άρα για να γίνει η σωστή αποστράγγιση του, πρέπει και αυτό το έδαφος να παραμείνει στη συσκευή για παραπάνω από 24 ώρες, ίσως και περισσότερο από 72 ώρες. Επίσης, το συγκεκριμένο έδαφος δεν παρουσίασε συστολή μέσα στους δακτυλίους σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

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

8 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

8.1 Πίεση 0.5 bar

8.1.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h

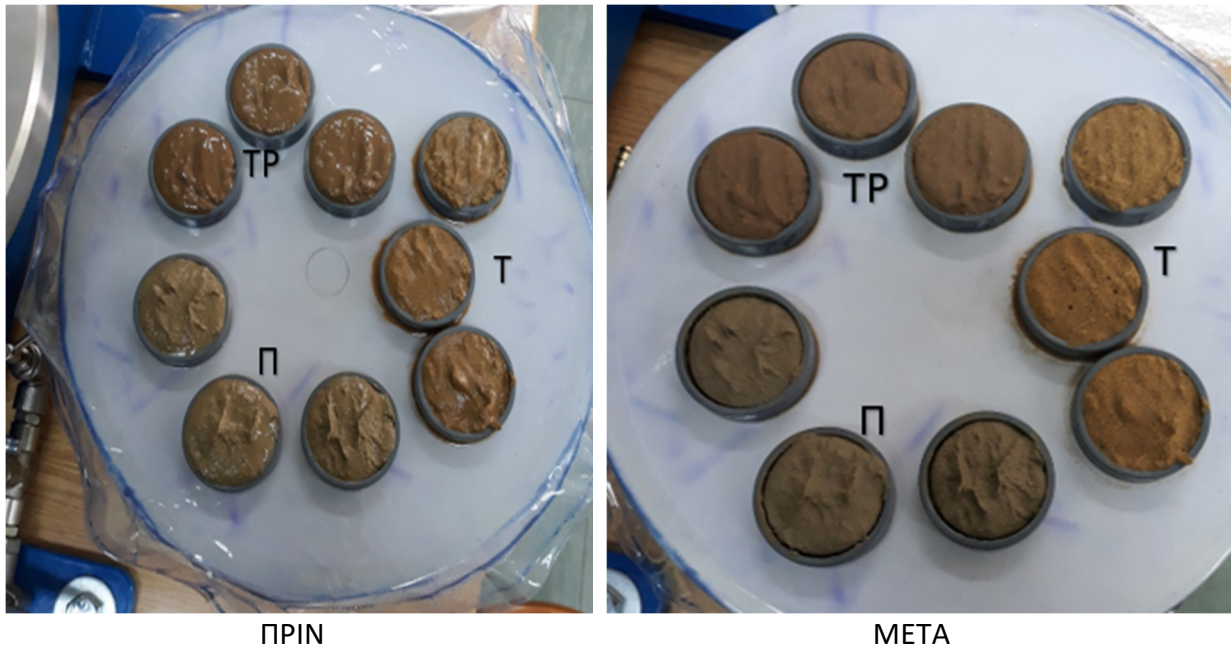


ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ

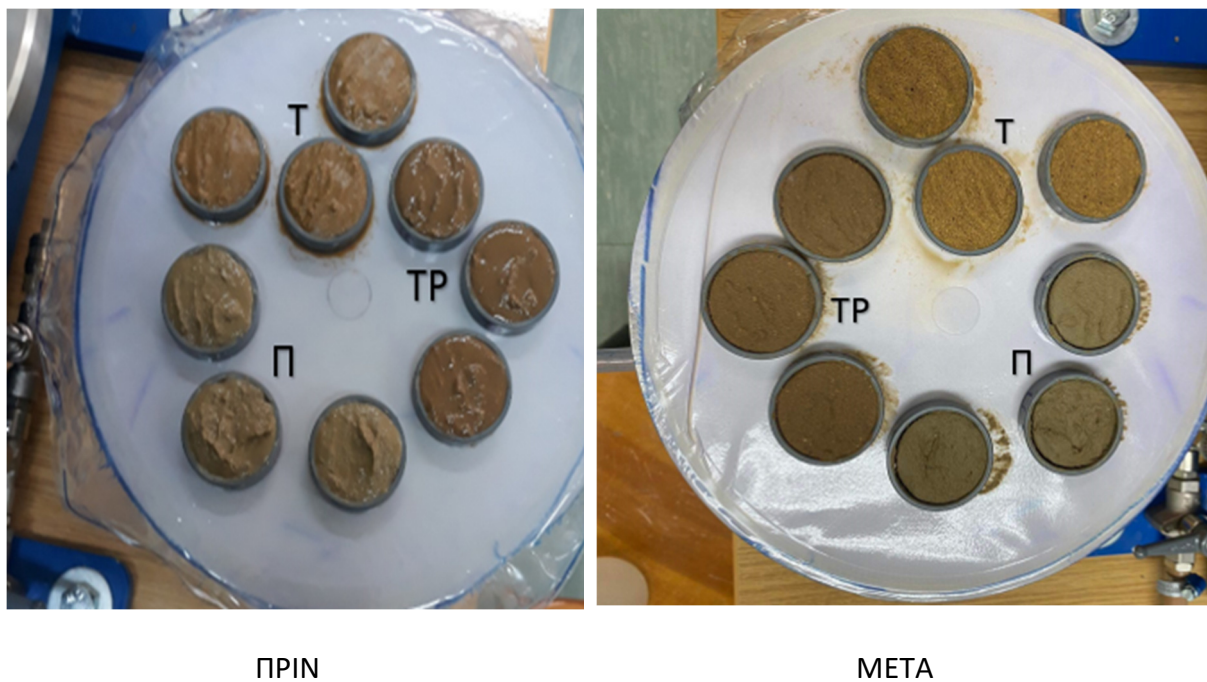
Εικόνα 8.1. Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων από την τράπεζα πίεσης.

8.1.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h



Εικόνα 8.2 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης

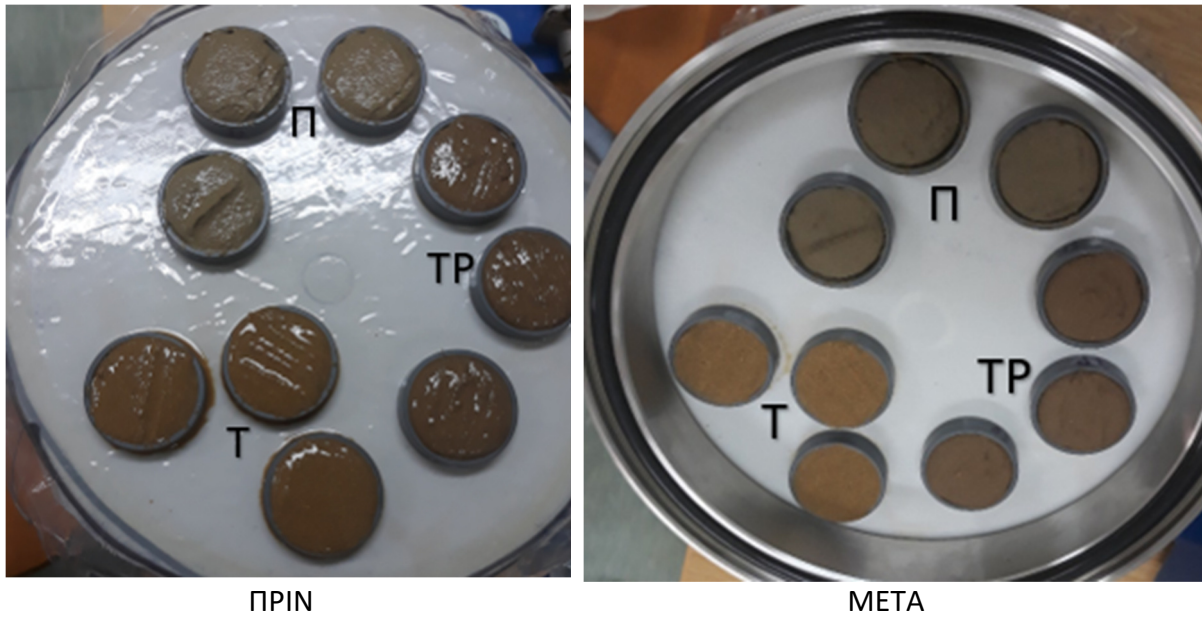
8.1.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.3. Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

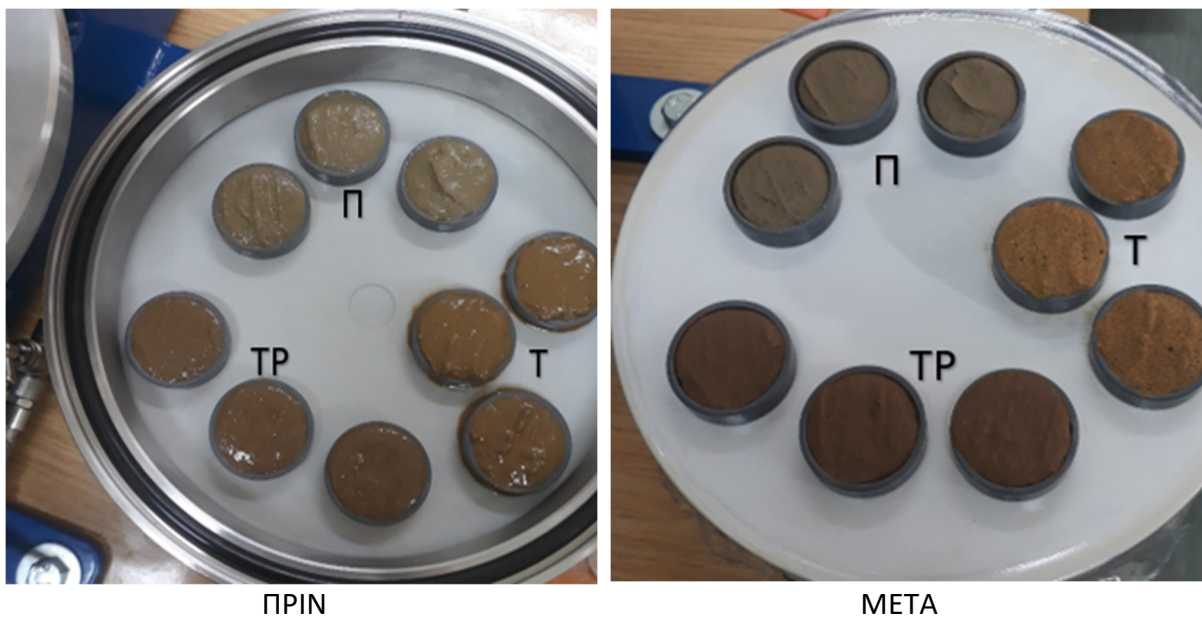
8.2 Πίεση 1 bar

8.2.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h



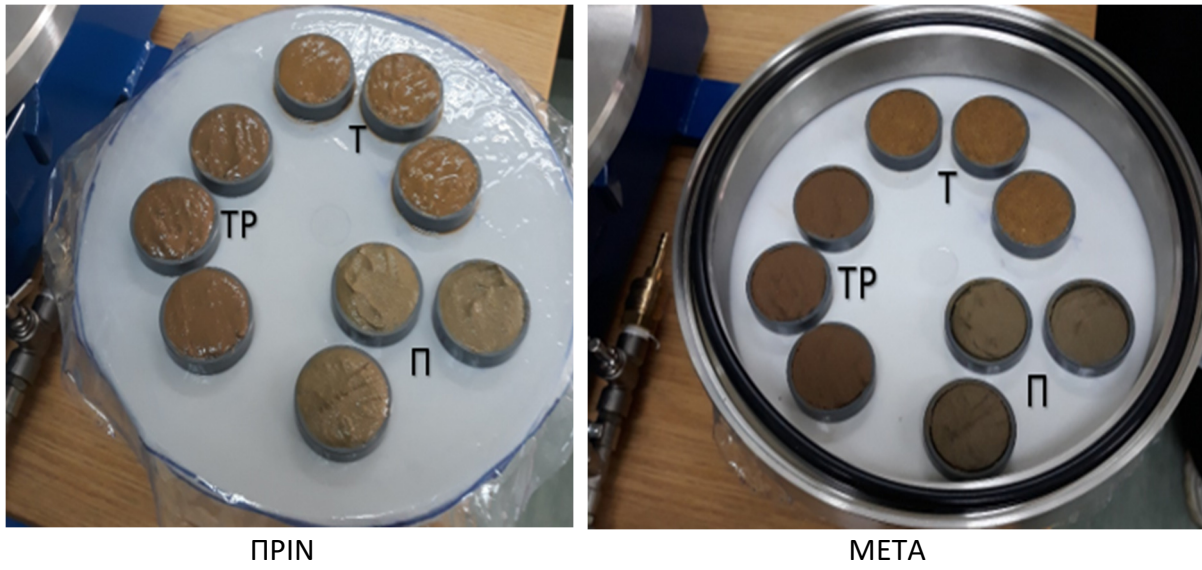
Εικόνα 8.4 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων από την τράπεζα πίεσης.

8.2.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h



Εικόνα 8.5 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

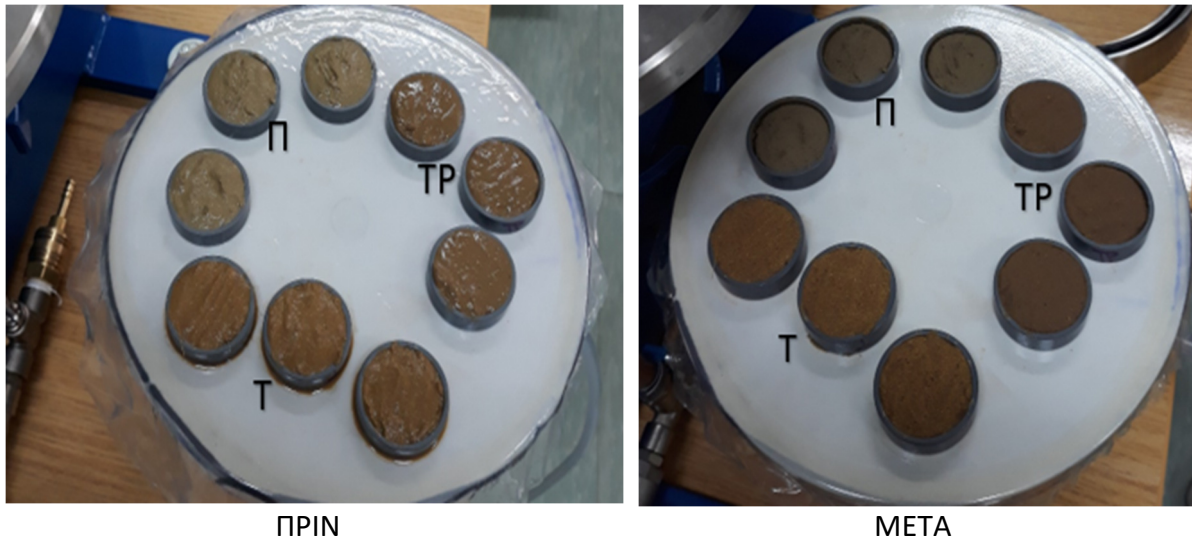
8.2.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.6 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

8.3 Πίεση 2 bar

8.3.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h



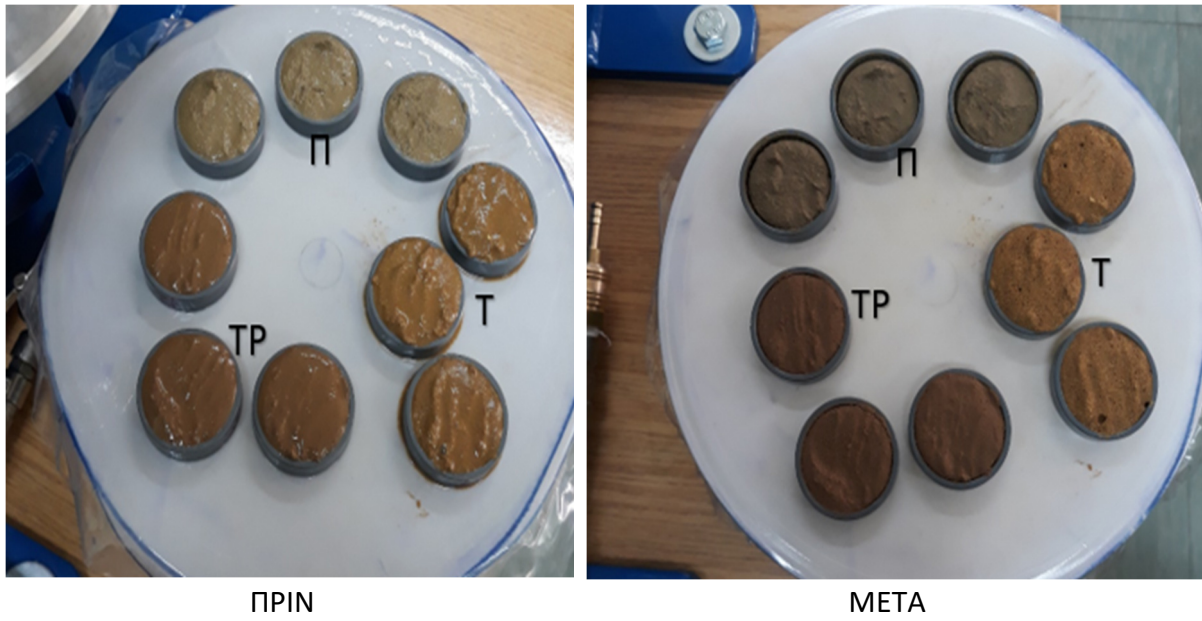
Εικόνα 8.7 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

8.3.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h



Εικόνα 8.8 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

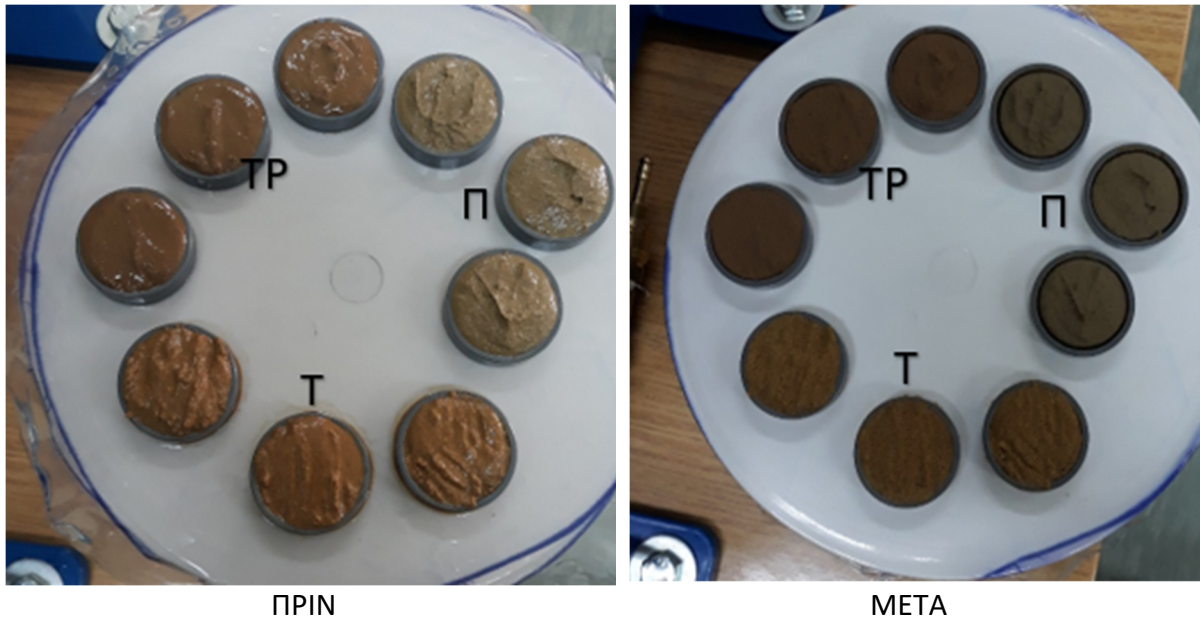
8.3.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.9 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

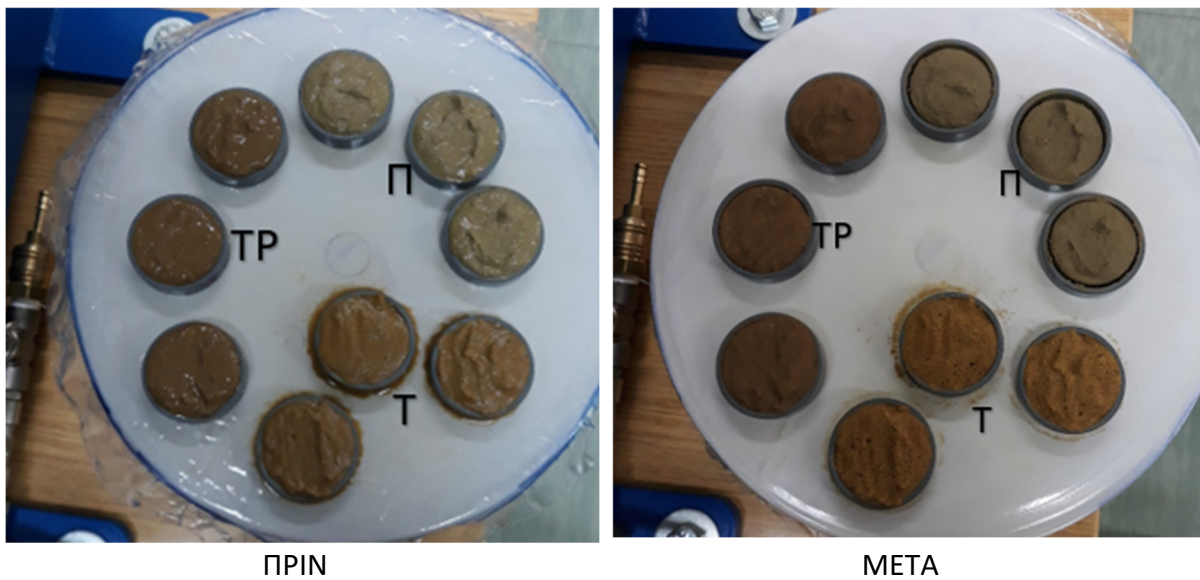
8.4 Πίεση 5 bar

8.4.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h



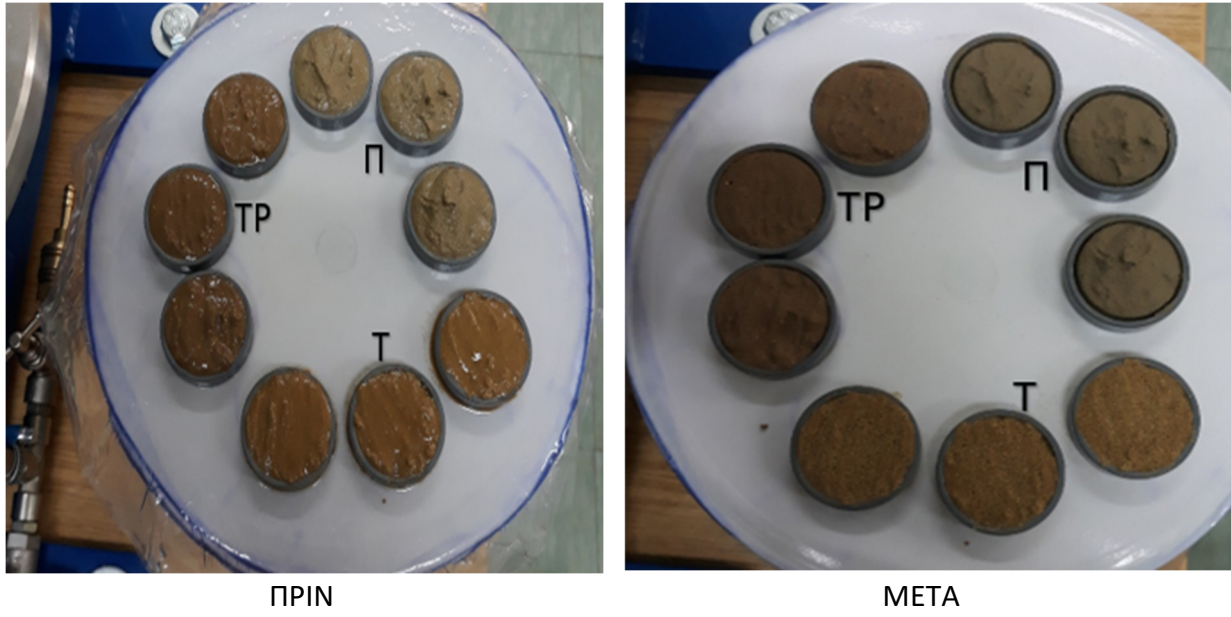
Εικόνα 8.10 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

8.4.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h



Εικόνα 8.11 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

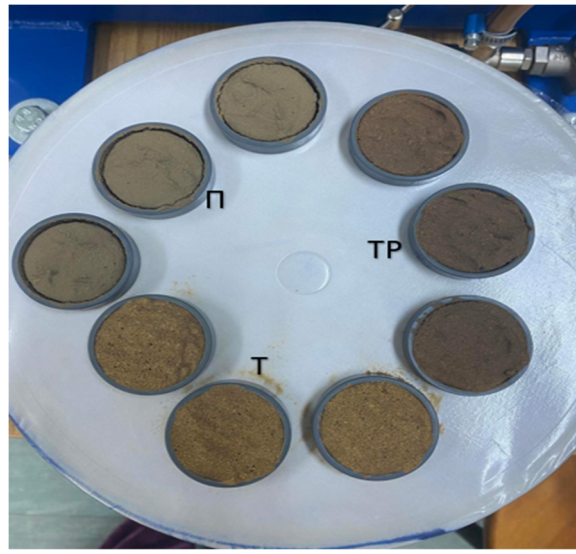
8.4.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.12 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

8.5 Πίεση 10 bar

8.5.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h

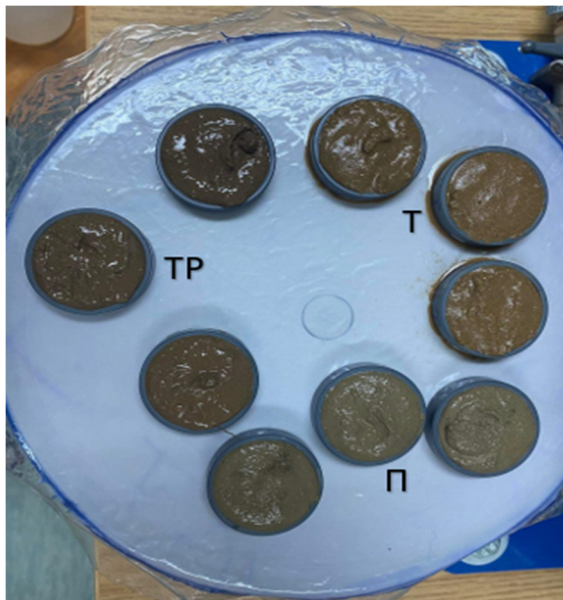


ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ

Εικόνα 8.13 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης

8.5.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h

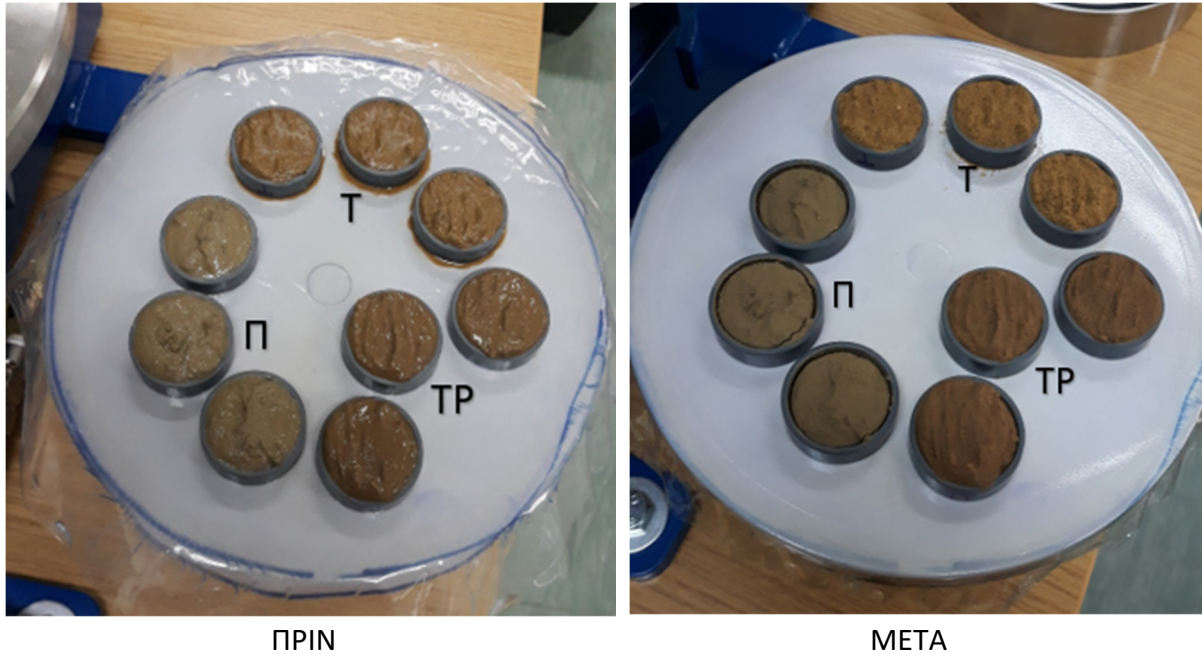


ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ

Εικόνα 8.14 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης

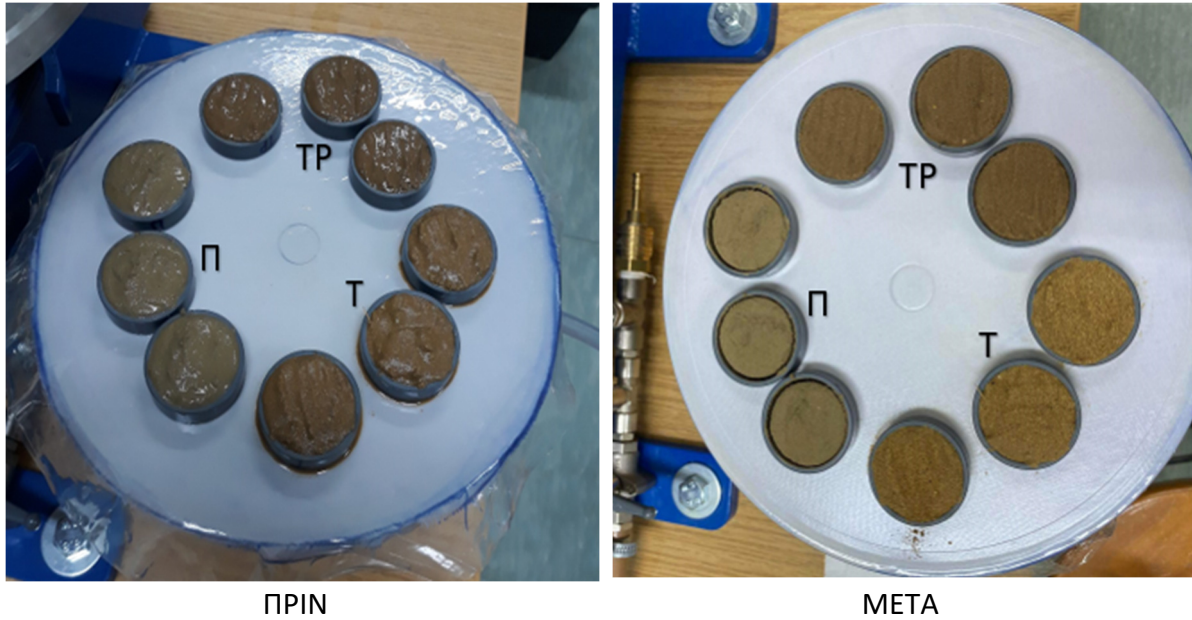
8.5.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.15 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

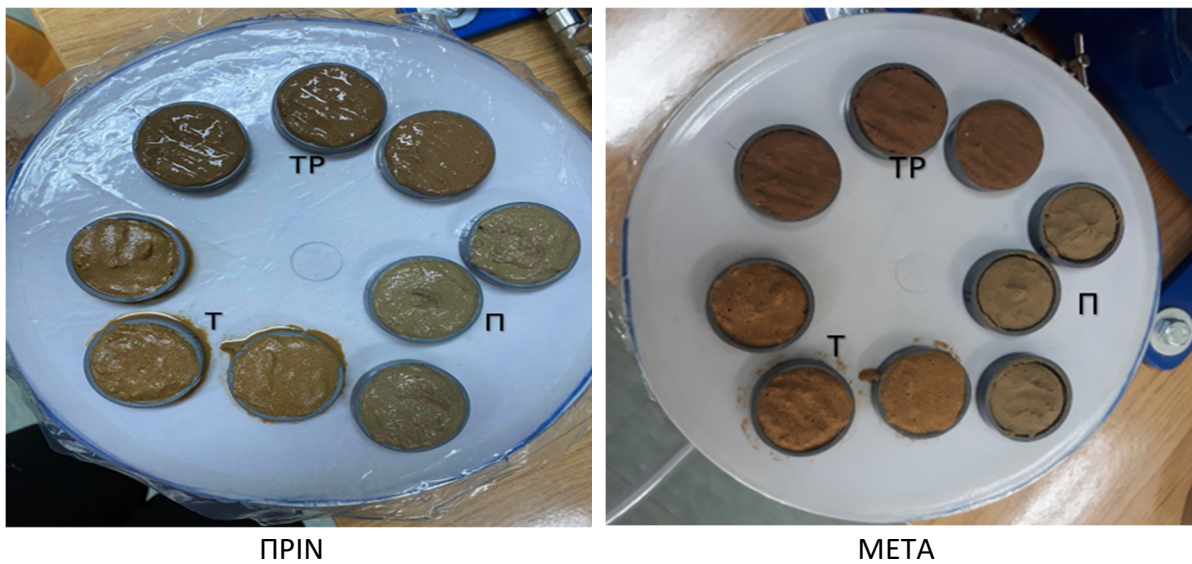
8.6 Πίεση 15 bar

8.6.1 Διάρκεια πίεσης: 24 h



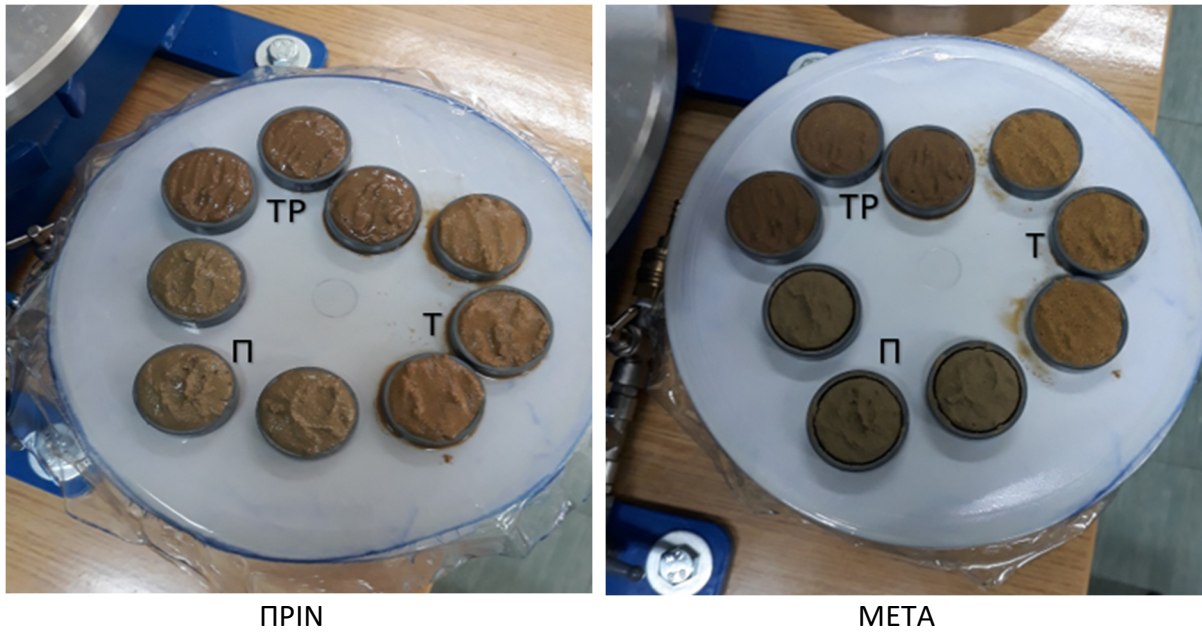
Εικόνα 8.16 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων από την τράπεζα πίεσης.

8.6.2 Διάρκεια πίεσης: 48 h



Εικόνα 8.17 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

8.6.3 Διάρκεια πίεσης: 72 h



Εικόνα 8.18 Η εισαγωγή και η εξαγωγή των δειγμάτων στη τράπεζα πίεσης.

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 blackwell Oxford)

Σχήμα 3. 1 (Εδαφολογία Τσιτσιάς Κ.)

Σχήμα 3. 2 (Εδαφοφυσική, Πανάγιωτόπουλος Κ. Π.)

Σχήμα 3. 3 (Γεωργική υδραυλική, Παπαζαφειρίου)

Σχήμα 3. 4 (Εδαφοφυσική , Πανάγιωτόπουλος Κ. Π.)

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.)

Πίνακας 2. 1 (Εδαφολογία, Πανάγιωτόπουλος Λ.)

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

Πίνακας 3. 3 (τιμές κατά Achtnich)

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. Particle Size Analysis, Lectures on Soil Lboratory, Agr. Univ. Of Athens , Anonymous (1991)

21. Lide, D. R. (Ed.) (1990). CRC Handbook of Chemistry and Physics (70th Edn.). Boca Raton (FL):CRC Press.)
22. BIDWELL O. W.; HOLE, F. D. Man as a factor of soil formation. Soil Science: January 1965 - Volume 99 - Issue 1 - ppg 65-72. (pdf:https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1965/01000/Man_As_A_Factor_of_Soil_Formation.11.asp)
23. OPERATING INSTRUCTIONS 08.03 PRESSURE MEMBRANE APPARATUS by Eijkelkamp Soil & Water Nijverheidsstraat 30, 6987 EM Giesbeek, the Netherlands
24. FAO, 2015. Soils are the Foundation of Vegetation, <http://www.fao.org/3/a-i4666e.pdf>
25. Encyclopedia of Insects (Second Edition) 2009, Pages 935-939 Chapter 238 - Soil Habitats
26. WATER RELATIONS AND IRRIGATION R. Dwain Horrocks, John F. Vallentine, in Harvested Forages, 1999
27. Stolte (ed.) Manual for soil physical measurements. Version 3. Technical Document 37. SC-DLO. 1997.
28. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution LA Richards - Soil Sci, 1941
29. Effect of soil water content at the time of application on herbicide content in soil solution extracted in a pressure membrane apparatus RJ Hance, SJ Embling - Weed Research, 1979 - Wiley Online Library
30. An investigation of the pressure-membrane method for measuring the suction properties of soil JD Coleman, AD Marsh - Journal of Soil Science, 1961 - Wiley Online Library
31. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots BD Meek, ER Rechel, LM Carter... - ... Science Society of ..., 1992
32. Spatial variation of soil nutrients on sandy-loam soil I Bogunovic, M Mesic, Z Zgorelec, A Jurisic... - Soil and tillage ..., 2014 – Elsevier