



ΤΜΗΜΑ: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ: ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΘΕΜΑ: Προσδιορισμός υδραυλικών ιδιοτήτων δασικών εδαφών σύμφωνα με το Πρωτόκολλο ISO 11274/1998.



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΒΑΜΒΑΚΟΥΛΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΑΡΓΥΡΟΚΑΣΤΡΙΤΗΣ,
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α

ΑΘΗΝΑ, 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ABSTRACT.....4

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....5

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Υγρασία του εδάφους και σημασία της για την ανάπτυξη του δάσους

Οικολογική σημασία της υγρασίας του εδάφους6

Συνθήκες υγρασίας στα δασικά εδάφη8

Σταθερές εδαφικής υγρασίας.....15

Σημασία του συντελεστή μάρανσης.....19

Διαθέσιμη υγρασία19

Κατάσταση υγρασίας στα δασικά εδάφη.....21

Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών της εδαφικής υγρασίας

Μέθοδος Haines27

Συσκευή Richards28

Τασίμετρα29

TDR - FDR.....30

Η χρήση αριθμητικών μοντέλων

Εξισώσεις βασισμένες στο μοντέλο του Mualem.....32

Συσχέτιση με το μοντέλο των Brooks and Corey.....34

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ο καθορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας βάσει του πρωτοκόλλου ISO 11274:199836

Περιγραφή συσκευής sand kaolin box39

Προετοιμασία δειγμάτων44

Διαδικασία45

Λήξη πειραματικών μετρήσεων –συντήρηση συσκευής.....46

Ταυτότητα δειγμάτων47

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αποτελέσματα.....48

Συμπεράσματα.....50

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας (X.K.Y).....55

Καμπύλες υδραυλικής αγωγιμότητας K(h).....64

Πίνακας επεξεργασίας δεδομένων.....73

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABSTRACT

The soil water retention curve (SWRC) is a physical characteristic that depends mainly on soil substance, the organic matter and bulk density. Especially in forest soils this characteristic shows great variety not only in the surface of a soil profile but also in the depth of it. Taking into account these parameters, is necessary the existence of a protocol that describes the best possible way to calculate the soil water retention curve, and in total the hydrological behavior of soil profile.

Futmon Protocol (ISO 11274/1998) suggests various methods for the calculation of soil water retention curve of undisturbed samples, of organic and mineral soils in laboratory. The suggested by the above methodology is used in order to determine the hydraulic characteristics of undisturbed soil samples that were taken from Greek forest soils.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ετερογένεια των δασικών εδαφών είναι πολύ πιο έντονη από αυτή των καλλιεργούμενων , διότι το επιφανειακό δασικό έδαφος δεν αναμιγνύεται και ομογενοποιείται από συχνή καλλιέργεια όπως το καλλιεργούμενο. Αντίθετα παρουσιάζει έντονη ετερογένεια και εκτεταμένη μικροτοπογραφία.

Η χαρακτηριστική ικανότητα της κατακράτησης του νερού από το έδαφος είναι μια φυσική εδαφική ιδιότητα , που εξαρτάται κυρίως από την εδαφική σύσταση , από το οργανικό υλικό και από την φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους . Γι αυτό σε επίπεδο πειραματικού τεμαχίου (plot) ποικίλει (ορίζοντες ή στρώματα του εδαφικού προφίλ). Αυτό προϋποθέτει διακριτοποιημένη δειγματοληψία σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια , ώστε να καθοριστεί η συνολική υδρολογική συμπεριφορά του εδαφικού προφίλ.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα προηγούμενα κρίνεται απαραίτητη η χρήση του Futhon Protocol για αδιατάρακτα δείγματα από οργανικά και ανόργανα εδάφη. Το οποίο περιγράφει τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας με την συνιστώμενη μέθοδο ISO 11274/1998 (Soil Water Retention Curve , SWRC) εργαστηριακά .Συγκεκριμένα αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση των υδραυλικών ιδιοτήτων των δασικών εδαφών με βάση αυτό το πρωτόκολλο με την χρήση της συσκευής sand/kaolin box για το πρώτο εύρος αρνητικών πιέσεων (0kPa – 50kPa) .

ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ
(Πηγή Νικ. Θ. Παπαμίχου βλ.Βιβλιογραφία)

1. Οικολογική σημασία της υγρασίας του εδάφους

Η υγρασία του εδάφους αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους και εμφανέστερους οικολογικούς παράγοντες για την ανάπτυξη της βλάστησης. Έχει διαπιστωθεί ότι οι σπόροι, ιδίως των μικρότερων φυτικών οργανισμών, μπορούν να παραμείνουν σε αδράνεια, όταν το έδαφος είναι ξηρό, για εκατοντάδες χρόνια, έως ότου μερικές σταγόνες νερού αρχίσουν τη διεργασία πολλαπλασιασμού των κυττάρων.

Η έλλειψη υγρασίας περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών περισσότερο από κάθε άλλον οικολογικό παράγοντα. Το νερό επηρεάζει όλες σχεδόν τις βιοχημικές αντιδράσεις του εδάφους, χρησιμεύει σαν μέσο διάλυσης και μεταφοράς θρεπτικών ουσιών και ικανοποιεί τις βασικότερες ανάγκες όλων των ζώντων οργανισμών. Τα φυτά έχουν ανάγκη νερού για την ικανοποίηση των φυσιολογικών τους αναγκών, όπως είναι οι λειτουργίες της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής. Με τη διαπνοή παρατηρείται μια συνεχής ροή σημαντικών ποσοτήτων νερού που προσροφάται από τις ρίζες, διέρχεται από το φυτό και εξέρχεται από τα φύλλα. Τα διάφορα δασοπονικά είδη χρειάζονται διαφορετική ποσότητα νερού για την παραγωγή οργανικής ουσίας. Η ποσότητα αυτή κυμαίνεται στα σπουδαιότερα δασοπονικά είδη από 170 kg μέχρι 500 kg για την παραγωγή 1 kg ξηρής οργανικής ουσίας. Η σχέση αυτή είναι γνωστή σαν «*συντελεστής διαπνοής*» και εξαρτάται από: α) *το είδος του φυτού*, β) *τις κλιματικές συνθήκες* και γ) *τις εδαφικές συνθήκες*.

Συνήθως είναι μικρότερο για τα σκιάφυτα δασοπονικά είδη (οξυά 170 kg, ψευδοτσούγκα 173 kg, ερυθρελάτη 231 kg, δασική πεύκη 300 kg και δρυ 344 kg). Ο συντελεστής διαπνοής είναι τόσο μεγαλύτερος, όσο το κλίμα είναι ξηρότερο και όσο το έδαφος φτωχότερο.

Εκτός από την απευθείας επίδραση του νερού στην ανάπτυξη των φυτών, η υγρασία του εδάφους επηρεάζει και πολλούς άλλους σημαντικούς οικολογικούς παράγοντες, καθώς και διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες, όπως:

- α) τη θερμοκρασία και τον αερισμό του εδάφους
- β) τη μικροβιολογική δραστηριότητα στο έδαφος
- γ) την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων
- δ) τη συγκέντρωση τοξικών ουσιών.

Επίσης, η υγρασία του εδάφους επηρεάζει τη δυσκολία καλλιέργειας και γενικά τη δυνατότητα χρήσης του.

Ακόμη και το πλουσιότερο έδαφος σε θρεπτικά στοιχεία δεν μπορεί να θρέψει τη δασική βλάστηση, αν δεν υπάρχει η ελάχιστη απαραίτητη υγρασία. Αντίθετα, ελάχιστα εδάφη είναι τόσο φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία, ώστε, όταν υπάρχει ικανοποιητική ποσότητα νερού, να μην είναι σε θέση να φέρουν δασική βλάστηση.

Η υγρασία του εδάφους είναι πιθανότατα ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Η μικρή αύξηση η οποία συχνά παρατηρείται στα αβαθή εδάφη, οφείλεται μάλλον στην περιορισμένη ποσότητα νερού που τα εδάφη αυτά μπορούν να κρατήσουν.

Συνήθως η ποιότητα ενός δασικού τύπου καλυτερεύει με την αύξηση της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας. Βέβαια, αυτό συμβαίνει μέχρι ένα όριο, γιατί η υπερβολική υγρασία δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες για την αύξηση των φυτών, επειδή περιορίζει τον αερισμό του εδάφους. Για τις ελληνικές όμως συνθήκες είναι δυνατό να υποστηριχτεί με βεβαιότητα ότι ο κυριότερος περιοριστικός παράγοντας αύξησης της δασικής βλάστησης είναι η έλλειψη διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας στο έδαφος. Ακόμη και για τις βορειότερες περιοχές, με ετήσιο ύψος βροχής πάνω από 1.400 mm, υπάρχει το καλοκαίρι μια περίοδος από 1 έως 2 μήνες κατά τη διάρκεια της οποίας η έλλειψη υγρασίας στο έδαφος περιορίζει την αύξηση της δασικής βλάστησης. Τόσο μεγάλη είναι η επίδραση του νερού στην αύξηση της δασικής βλάστησης, ώστε η ποιότητα ενός δασικού τύπου να εξαρτάται κυρίως από όλους εκείνους τους φυσιογραφικούς παράγοντες και τις ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν την κατάσταση υγρασίας του εδάφους. Γι' αυτό και οι παράγοντες αυτοί χρησιμοποιούνται περισσότερο στην ταξινόμηση δασικού τύπου (Carmean 1975, Coile 1952).

Η υγρασία του εδάφους επηρεάζει την ευαισθησία και αντοχή των δένδρων στις προσβολές από έντομα και ασθένειες. Η εκτεταμένη ξήρανση δένδρων ελάτης όλων των ηλικιών που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο 1988-1989 στην Κεντρική και Νότια κυρίως Ελλάδα αποδίδεται στη μεγά-

λη ξηρασία των ετών 1987 και 1988. Πολλά είδη, ιδίως πεύκων, παρουσιάζουν αύξηση των υδατανθράκων, όταν υποφέρουν από ξηρασία κι αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη προσβολή από κάμπια ή άλλα έντομα. Τυχόν δε ζημιές που υφίσταται η βλάστηση πολύ δυσκολότερα αναπληρώνονται κάτω από συνθήκες ξηρασίας.

2. Συνθήκες υγρασίας στα δασικά εδάφη

Όσον αφορά τις συνθήκες υγρασίας, τα δασικά εδάφη μπορούν γενικά να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- 1) *Εδάφη των υψηλότερων θέσεων*, στα οποία το ριζικό σύστημα των φυτών δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη υπόγειου νερού.
- 2) *Εδάφη των χαμηλών θέσεων*, στα οποία το ριζικό σύστημα των φυτών επηρεάζεται άμεσα από το υπόγειο νερό.

Η αναγνώριση των δύο παραπάνω κατηγοριών εδάφους έχει θεμελιώδη σημασία για την ανάπτυξη της δασικής βλάστησης.

α. Εδάφη που επηρεάζονται από υπόγειο νερό

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι πολύ σπάνια συναντάμε στα ορεινά δασικά εδάφη της Ελλάδας περιπτώσεις σχηματισμού υπόγειου νερού σε βάθος που να επηρεάζει την αύξηση των φυτών. Τέτοιες περιπτώσεις συναντάμε τακτικότερα στις πεδινές περιοχές, όπου καλλιεργείται η λεύκη. Η ύπαρξη υπόγειου νερού σε βάθος προσιτό στις ρίζες των δέντρων (2,5 έως 3,5 περίπου μέτρα) συνήθως ευνοεί σημαντικά την αύξηση. Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται για μεγάλη περίοδο του έτους σε μικρό βάθος, τότε είναι δυνατό να περιορίζεται η αύξηση και το ριζικό σύστημα των δέντρων γίνεται επιπόλαιο με κίνδυνο να ξεριζωθεί από τους ανέμους. Στις περιπτώσεις αυτές μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε οξυγόνο. Υπόγειο νερό που κινείται κατά κανόνα είναι πλούσιο σε οξυγόνο. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν το νερό είναι στάσιμο.

Συχνά παρατηρούνται στις ορεινές κοιλάδες και στις πλαγιές εδάφη που εφοδιάζονται υπόγεια με νερό το οποίο προέρχεται από τις υψηλότερες θέσεις. Αυτοί οι τόποι είναι σχεδόν πάντοτε οι καλύτεροι για δασική παραγωγή, γιατί δέχονται νερό καλά οξυγονωμένο και πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά.

β. Εδάφη που δεν επηρεάζονται από υπόγειο νερό

Στην περίπτωση αυτή τα εδάφη εμπλουτίζονται με νερό από τα υδατι-

κά κατακρημνίσματα, την επιφανειακή και υπόγεια απορροή και τη συμπύκνωση των υδρατμών. Το νερό που δέχεται το έδαφος δε χρησιμοποιείται όλο από τα φυτά. Ένα μέρος χάνεται από τη ζώνη ανάπτυξης των ριζών με την εξάτμιση και ένα άλλο μέρος με τη διήθηση σε βαθύτερα στρώματα. Η απώλεια αυτή του νερού εξαρτάται κυρίως από το βάθος και την προσροφητική ικανότητα του εδάφους. Η προσροφητική ικανότητα του εδάφους εξαρτάται από το πορώδες και ειδικότερα από το μέγεθος και τον τρόπο με τον οποίο οι πόροι συνδέονται μεταξύ τους. Όλα δε αυτά εξαρτώνται από:

- α) τη μηχανική σύσταση και την περιεκτικότητα του εδάφους σε λίθους και χαλίκια,*
- β) τη δομή,*
- γ) την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία,*
- δ) τη φύση των ορυκτών και των οργανικών κολλοειδών του εδάφους*
- ε) το είδος των προσροφημένων κατιόντων ($Na > K > Mg > Ca$)*

Εδάφη πλούσια σε χουμικά οξέα και χουμίνες συγκρατούν περισσότερο νερό γιατί τα χουμικά συστατικά συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού, αλλά και επειδή ευνοούν σημαντικά το σχηματισμό καλής δομής. Επίσης εδάφη με μεγάλη αναλογία αργίλου, εκτατής δομής (ομάδα μοντμο-ριλλονίτη) προσροφούν περισσότερο νερό.

Οι δυνάμεις συνοχής, συνάφειας και επιφανειακής τάσης που ασκούνται από τα συστατικά του εδάφους καθορίζουν τη σχετική ευκολία με την οποία συγκρατείται και κινείται το νερό μέσα στο έδαφος. Ανάλογα με τη δύναμη συγκράτησης του νερού από το έδαφος ή ανάλογα με την ευκολία απόσπασής του από το έδαφος, διακρίνονται τρεις χαρακτηριστικές κατηγορίες εδαφικού νερού:

α) Το νερό που κινείται διαμέσου των μεγάλων πόρων (μη τριχοειδείς) διαμέτρου $> 0,06$ mm με την επίδραση των δυνάμεων της βαρύτητας.

β) Το νερό που συγκρατείται από τους τριχοειδείς πόρους και πάνω στην επιφάνεια των κοκκίων του εδάφους.

γ) Το νερό που συγκρατείται ισχυρά από δυνάμεις συνάφειας και συνοχής. Είναι περίπου 10-15 στρώματα μορίων νερού στην επιφάνεια των κόκκων ή στους πόρους διαμέτρου $< 0,0002$ mm.

Η ενέργεια ή η δύναμη με την οποία το νερό συγκρατείται από τα κοκκία του εδάφους και στους πόρους μπορεί να μετρηθεί μέσω της πίε-

σης που απαιτείται για την απομάκρυνση του από το έδαφος.

Για το σκοπό αυτό κορεσμένα με υγρασία δείγματα εδάφους τοποθετούνται πάνω σε πορώδεις δίσκους ή σε διηθητικές μεμβράνες και υποβάλλονται σε ορισμένη αρνητική ή θετική (ανάλογα με την μέθοδο) πίεση.

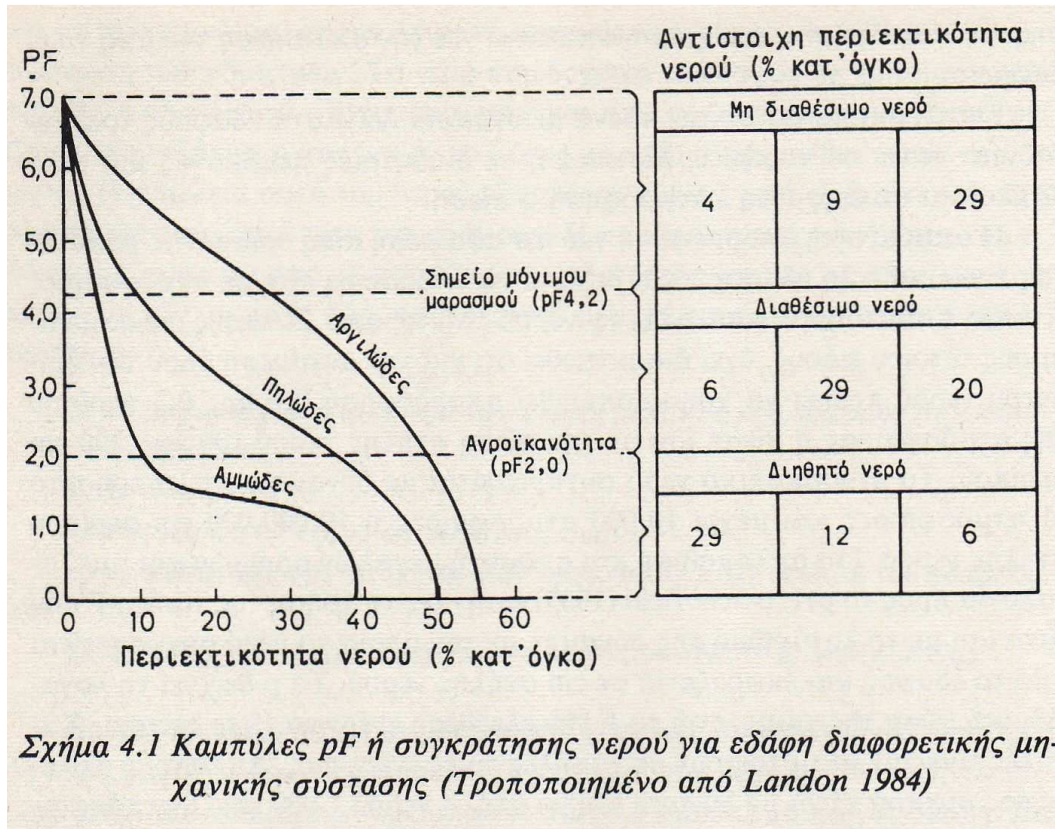
Η απαραίτητη πίεση για την αφαίρεση μιας ορισμένης ποσότητας νερού από το έδαφος είναι δυνατό να εκφραστεί είτε σε ατμόσφαιρες είτε σε αντίστοιχη πίεση στήλης νερού. Μετά από πολλούς πειραματισμούς τέτοιου είδους, έχει διαπιστωθεί ότι για την αφαίρεση όλου του νερού των μεγάλων πόρων πρέπει να χρησιμοποιηθεί πίεση 0,1 έως 0,3 περίπου της ατμόσφαιρας ή ίση με την πίεση στήλης νερού 100 έως 300cm περίπου. Για απλοποίηση και αποφυγή μεγάλων αριθμών και κατ' αναλογία προς το pH, ο Schofield (1935) εισήγαγε τη χρήση της τιμής pF που είναι ίση με το λογάριθμο της πίεσης με την οποία το νερό συγκρατείται από το έδαφος και εκφράζεται σε cm στήλης νερού. Το p δείχνει τη λογαριθμική φύση της τιμής, ενώ το F την ελεύθερη ενέργεια (free energy). Χαμηλές τιμές pF αντιστοιχούν σε χαμηλές τιμές ενέργειας. Αν το νερό στο έδαφος συγκρατείται με πίεση ίση με στήλη νερού 1.000 cm (1 ατμόσφαιρα), η τιμή pF θα είναι 3,0. Η τάση των 10.000.000 cm στήλης νερού ή pF 7,0 αντιστοιχεί περίπου στη μεγαλύτερη θεωρητικά πίεση με την οποία τα κοκκία του εδάφους μπορούν να συγκρατήσουν νερό. Το δυναμικό της ελεύθερης στάθμης του υπόγειου νερού είναι μηδέν (pF 0,0). Ένα ιλυοπηλώδες και ένα αμμώδες έδαφος, με περιεκτικότητα σε υγρασία 15%, συνήθως έχουν τιμές pF 3,4 και pF 1,5 αντίστοιχα.

Οι καμπύλες pF ή οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας που δείχνουν τη σχέση μεταξύ των τιμών pF και της υγρασίας που περιέχουν διάφορα εδάφη (Σχ. 4.1) είναι πολύ χρήσιμες για την κατανόηση και εκτίμηση των συνθηκών υγρασίας του εδάφους.

Το νερό των μεγάλων πόρων

Το νερό αυτό καταλαμβάνει τους μεγαλύτερους πόρους (μη τριχοειδείς) συνήθως διαμέτρου $>0,06\text{mm}$. Το νερό αυτό διηθείται εύκολα με την επίδραση της βαρύτητας και σ' αυτό οφείλεται περισσότερο η μετακίνηση των διαλυτών αλάτων και των κολλοειδών συστατικών από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Είναι η μορφή του εδαφικού νερού που συμβάλλει άμεσα στην κανονικότερη διαίτα των ρευμάτων.

Γενικά, θεωρείται ότι πολύ μικρό μέρος του νερού αυτού χρησιμοποιείται από τα φυτά, γιατί αυτό μετακινείται γρήγορα με την επίδραση



Σχήμα 4.1 Καμπύλες pF ή συγκράτησης νερού για εδάφη διαφορετικής μηχανικής σύστασης (Τροποποιημένο από Landon 1984)

της βαρύτητας και απομακρύνεται από τη ζώνη ανάπτυξης των ριζών προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η αντίληψη αυτή, ότι στο διαθέσιμο για τα φυτά νερό δεν περιλαμβάνεται το νερό των μεγάλων πόρων, είναι ίσως περισσότερο ακριβής για τα εδάφη που καλλιεργούνται γεωργικά και γενικά για τα επιπολαιόριζα φυτά, όχι όμως απόλυτα ακριβής για τα βαθύριζα δασικά δέντρα. Στα μέτρια και βαριά εδάφη στα οποία η ταχύτητα διήθησης του νερού μπορεί να είναι μικρότερη από 5 cm ανά ώρα, σημαντική ποσότητα αυτού του νερού χρησιμοποιείται από τα βαθύριζα δασοπονικά δέντρα, πριν αυτό διεισδύσει στα βαθύτερα στρώματα. Η ταχύτητα απομάκρυνσης του νερού των μεγάλων πόρων από τη ζώνη των ριζών προς τα κατώτερα στρώματα εξαρτάται κυρίως από:

- α) τη μηχανική σύσταση,
- β) τη δομή και
- γ) το μέγεθος, το σχήμα και τη σύνδεση των πόρων τον εδάφους.

Στα εδάφη με μέτρια μηχανική σύσταση και καλή δομή, το νερό των μεγάλων πόρων απομακρύνεται από τη ζώνη των ριζών μέσα σε 24 ώρες μετά από βροχή ή άρδευση. Σε λεπτόκοκκα όμως και με κακή δομή εδάφη απαιτείται πολύ μεγαλύτερο διάστημα για την απομάκρυνση αυτού του νερού.

Γενικά, θεωρείται ότι το νερό των μεγάλων πόρων συγκρατείται από το έδαφος με δυνάμεις μικρότερες από τις αντίστοιχες στην τιμή pF 2,5 ή του 1/3 της ατμόσφαιρας. Για τα αμμώδη εδάφη η τιμή αυτή είναι μικρότερη (0,1 ατμόσφαιρας ή pF 2,0).

Το νερό των τριχοειδών πόρων

Μετά την απομάκρυνση του νερού των μεγάλων πόρων, η υγρασία που περιέχεται στο έδαφος συγκρατείται γύρω από τους κόκκους με μορφή λεπτών στρώσεων, όπως επίσης και μέσα στους τριχοειδείς πόρους. Το νερό αυτό συγκρατείται κυρίως με δυνάμεις συνάφειας (δυνάμεις έλξης μεταξύ μορίων εδάφους και νερού) και συνοχής (δυνάμεις έλξης μεταξύ μορίων νερού). Το νερό αυτό ονομάζεται νερό των τριχοειδών πόρων και η ποσότητα του εξαρτάται κυρίως από τον όγκο των τριχοειδών πόρων, που, ως γνωστόν, εξαρτώνται από: α) τη μηχανική σύσταση, β) τη δομή και γ) την περιεκτικότητα τον εδάφους σε οργανική ουσία.

Αργιλώδη, με καλή δομή εδάφη, συγκρατούν περισσότερο νερό των τριχοειδών πόρων από τα αμμώδη ή συμπιεσμένα με κακή δομή εδάφη. Μεγάλη επίσης ικανότητα συγκράτησης τέτοιου είδους νερού έχουν τα πλούσια σε οργανική ουσία εδάφη. Η οργανική ουσία λόγω της πορώδους φύσης της συγκρατεί, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση της, 3 μέχρι 7 φορές περισσότερο νερό απ' ό,τι είναι το βάρος της (Lutz και Chandler 1946, Remezov και Pogrebnyak 1968).

Το τριχοειδές νερό κινείται με την επίδραση του τριχοειδούς δυναμικού από μια περιοχή με μικρότερο δυναμικό σε μια άλλη με μεγαλύτερο δυναμικό ή, πρακτικότερα, από ένα υγρότερο μέρος προς ένα ξηρότερο μέρος του εδάφους.

Η ταχύτητα και η απόσταση της τριχοειδούς κίνησης εξαρτάται από:

α) τη διαφορά υγρασίας (διαφορά δυναμικού)

β) την υφή και τη δομή του εδάφους και

γ) από τις συνθήκες εξάτμισης στην επιφάνεια του εδάφους (προκειμένου για την ανοδική κίνηση).

Μεγάλη εξάτμιση στην επιφάνεια του εδάφους τείνει να διατηρήσει υψηλές διαφορές δυναμικού, με αποτέλεσμα την ένταση της ανοδικής κίνησης του νερού. Σαν μέσο όρο θα μπορούσαμε να παραδεχτούμε την τριχοειδή ανύψωση του νερού από την υπόγεια στάθμη στα 30 cm περίπου στα χοντρόκοκκα αμμώδη εδάφη, στα 60 cm στα λεπτά αμμώδη εδάφη και 90 cm στα αργιλοπηλώδη εδάφη.

Γενικά, η κίνηση του νερού μέσω των τριχοειδών πόρων από υγρό έδαφος σε ξηρό είναι σχετικά βραδεία. Για το λόγο αυτό η κίνηση αυτή του νερού έχει πε-

ριορισμένη σημασία στην αύξηση των φυτών. Είναι σήμερα παραδεκτό ότι τα φυτά, για να χρησιμοποιήσουν την υγρασία ενός τμήματος του εδάφους, πρέπει κυρίως να αναπτύξουν ρίζες μέσα σ' αυτό.

Η ταχύτητα της κίνησης του νερού μέσα από τους τριχοειδούς πόρους του έδαφος ελαττώνεται γρήγορα με την ελάττωση του νερού σ' αυτό, ιδίως στα αμμώδη εδάφη. Η μεταφορά νερού σε έδαφος με τάση 0,2 ατμόσφ. είναι 10.000 μεγαλύτερη από την περίπτωση που η τάση του νερού, στο ίδιο έδαφος, θα είναι 10 ατμόσφ. (Brady 1974). Σε μεγάλες τάσεις, το νερό στα αμμώδη εδάφη συγκρατείται μόνο στα σημεία επαφής των κόκκων και δεν υπάρχουν συνεχή στρώματα νερού που να διευκολύνουν τη μεταφορά του νερού. Στα ξηρά εδάφη η κίνηση του νερού παρατηρείται κυρίως με τη μορφή υδρατμών. Διαφορές θερμοκρασίας, οι οποίες πάντοτε σχεδόν υπάρχουν, μεταξύ των επιφανειακών και των κατώτερων στρωμάτων του εδάφους, προκαλούν ανοδικές μετακινήσεις υδρατμών το χειμώνα και καθοδικές το καλοκαίρι. Στα δασικά όμως εδάφη οι μετακινήσεις αυτές των υδρατμών είναι περιορισμένες και πολύ μικρές, για να επηρεάσουν αισθητά την αύξηση των δέντρων.

Τόσο η ανοδική, όσο και η καθοδική τριχοειδής κίνηση του νερού, είναι δυνατό να διακοπεί από ένα χαλικώδες ή αμμώδες στρώμα. Αυτό οφείλεται στη διαφορά των επιφανειακών τάσεων με τις οποίες το νερό συγκρατείται στα δύο αυτά στρώματα, με συνέπεια τη διακοπή του τριχοειδούς δυναμικού. Σε περιπτώσεις απουσίας ριζών, μπορεί να συγκεντρωθεί νερό πάνω από ένα χοντρόκοκκο ορίζοντα και μάλιστα σε ποσότητα ικανή να περιορίσει τον αερισμό και την οξείδωση, ώστε να σχηματιστεί ένα είδος «gley» ορίζοντος. Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου ένας χοντρόκοκκος ορίζοντας διακόπτει τελείως την ανοδική τριχοειδή κίνηση του νερού. Την περίπτωση αυτή τη συναντάμε συχνά στις αλλουβιακές αποθέσεις. Στις αποθέσεις αυτές, πριν από αναδασώσεις, θα πρέπει να εξετάζονται ιδιαίτερα το πάχος και η θέση τους στην εδαφοτομή οριζόντων που έχουν χοντρόκοκκο υλικό.

Το μεγαλύτερο μέρος του νερού που συγκρατείται στους τριχοειδής πόρους είναι διαθέσιμο για τα φυτά και αυτό κυρίως αντιπροσωπεύει την υγρασία που αποθηκεύεται στο έδαφος και την οποία χρησιμοποιούν τα φυτά μεταξύ των περιόδων της βροχής ή των αρδεύσεων.

Το νερό αυτό δε συμβάλλει άμεσα στη διαίτα των ρευμάτων. Μικρό σχετικά μέρος από το νερό αυτό συγκρατείται από το έδαφος με δυνάμεις που υπερβαίνουν την απορροφητική ικανότητα των ριζών. Δυνάμεις με τις οποίες συγκρατείται στο έδαφος αντιστοιχούν μεταξύ 1/3 ατμόσφ. και 31 ατμόσφ. ή μεταξύ του pF 2,5 και pF 4,5. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που το νερό συγκρατείται στα δασικά ε-

δάφη με δυνάμεις 0,1 ατμόσφ. ή pF 2,0

Το πολύ ισχυρά συγκρατούμενο νερό

Το ξηρό έδαφος έχει την ιδιότητα να απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα, μέχρι να αποκατασταθεί μια ισορροπία μεταξύ υγρασίας εδάφους και ατμόσφαιρας. Τα μόρια αυτά του νερού συγκρατούνται στην επιφάνεια των κόκκων του εδάφους με μορφή πολύ λεπτού στρώματος, καθώς και στους πολύ μικρούς πόρους του εδάφους (διαμέτρου < 0,0002mm). Το νερό αυτό έχει ονομαστεί από πολλούς *υγροσκοπικό νερό* και ορίζεται στη φυσική του εδάφους με μάλλον αυθαίρετο τρόπο, σαν *το ποσό του νερού που συγκρατείται ισχυρά από έδαφος ξηραμένο στο φούρνο, όταν αυτό βρεθεί σε ισορροπία με ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 99% και θερμοκρασίας 30° C*. Το ποσοστό, όπως ορίστηκε, ονομάζεται και *συντελεστής υγροσκοπικότητας* και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει το ανώτερο μέρος του υγροσκοπικού νερού που συγκρατείται με δυνάμεις 31 ατμόσφ. ή pF 4,5.

Ο συντελεστής υγροσκοπικότητας, όπως ορίστηκε παραπάνω, έχει αμφισβητηθεί από πάρα πολλούς εδαφολόγους, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι ο συντελεστής αυτός δεν είναι πάντα σταθερός για το ίδιο έδαφος και ούτε αντιπροσωπεύει την ποσότητα υγρασίας που αντιστοιχεί στις 31 ατμόσφ.

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, το υγροσκοπικό νερό συγκρατείται από το έδαφος με δυνάμεις μεγαλύτερες από 31 ατμόσφ. (pF 4,5) και μέχρι 10.000 ατμόσφ. (pF 7,0), δηλαδή με δυνάμεις πολύ μεγαλύτερες από την απορροφητική δύναμη του ριζικού συστήματος των φυτών.

Το υγροσκοπικό νερό κινείται στο έδαφος με μορφή υδρατμών. Η κίνηση αυτή γίνεται λόγω της διαφοράς πίεσης των υδρατμών. Οι διαφορές πίεσης των υδρατμών οφείλονται σε διαφορές υγρασίας, αλλά κυρίως σε διαφορές θερμοκρασίας. Η ποσότητα του νερού που κινείται με μορφή υδρατμών είναι πολύ μικρή και πρακτικά δεν έχει σημασία για την αύξηση των φυτών.

Επειδή το υγροσκοπικό νερό συγκρατείται κυρίως από τις δυνάμεις συνάφειας και συνοχής στην επιφάνεια των κόκκων του εδάφους, αυτό εξαρτάται άμεσα από την ειδική επιφάνεια του. Κατά συνέπεια, το υγροσκοπικό νερό αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας των κολλοειδών του εδάφους. Σε λεπτά αργιλώδη εδάφη φτάνει και μέχρι 20%, ενώ σε αμμώδη εδάφη είναι λιγότερο από 1%. Έχει επίσης αποδειχτεί ότι η ποσότητα του υγροσκοπικού νερού που είναι δυνατό να συγκρατήσει ένα έδαφος εξαρτάται, εκτός από την ποσότητα, και από το είδος και τη φύση των κολλοειδών του εδάφους, καθώς και το είδος των κατιόντων που είναι προσροφημένα σ' αυτό (Baver 1956). Μετά απ' αυτά, αμφισβητείται η δυνατότητα χρησιμοποίησης του υγροσκοπικού νερού για τον προσδιορισμό

της ειδικής επιφάνειας, καθώς και της ποσότητας του κολλοειδούς μέρους του εδάφους. Ο πίνακας 4.1 δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων τρόπων που εκφράζουν την υγρασία του εδάφους.

3. Σταθερές εδαφικής υγρασίας

Η απορροφητική ικανότητα του εδάφους είναι υπεύθυνη για δύο αντίθετες λειτουργίες οι οποίες καθορίζουν την περιεκτικότητα της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας. Η απορρόφηση του νερού από το έδαφος περιορίζει την απώλεια του λόγω της διήθησης και εξασφαλίζει τον εφοδιασμό των φυτών με την απαραίτητη υγρασία κατά την περίοδο μεταξύ των βροχών ή των αρδεύσεων. Η ίδια όμως απορροφητική ικανότητα των εδαφών στερεί από τα φυτά ένα μέρος του νερού (το υγροσκοπικό και ένα μέρος του νερού των τριχοειδών πόρων), συγκρατώντας το με δυνάμεις μεγαλύτερες από την απορροφητική ικανότητα των ριζών. Ο υπολογισμός της ωφέλιμης και επιβλαβούς επίδρασης της απορροφητικής ικανότητας των εδαφών, σε σχέση με την κατάσταση υγρασίας τους, γίνεται συχνά με αναλυτικούς προσδιορισμούς των σταθερών *εδαφικής υγρασίας*.

Από τις σταθερές της εδαφικής υγρασίας έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο:

- α) η *αγροϊκανότητα ή υδατοϊκανότητα (field capacity)*
- β) η *ισοδύναμη υγρασία (moisture equivalent)*
- γ) το *σημείο μόνιμης μάρανσης (wilting point) ή συντελεστής μόνιμης μάρανσης*
- δ) η *διαθέσιμη υγρασία (available water)*.

Οι όροι αυτοί είναι μάλλον αυθαίρετοι και έχουν επινοηθεί για πρακτικούς σκοπούς και την χρήση τους στα διάφορα υπολογιστικά μοντέλα. Εξαρτώνται δε συχνά από τις συνθήκες μέτρησης και όχι από τη φυσική κατάσταση του εδάφους.

α. Αγροϊκανότητα ή υδατοϊκανότητα

Είναι η ποσότητα του νερού που συγκρατεί το έδαφος μετά την απομάκρυνση του νερού των μεγάλων πόρων και την παύση της καθοδικής κίνησης του νερού και εκφράζεται με ποσοστό επί τοις εκατό σε σχέση με το βάρος του εδάφους όταν είναι ξηρό.

Αυτό συνήθως συμβαίνει 2-3 μέρες μετά τον κορεσμό του εδάφους από βροχή ή άρδευση. Στην πραγματικότητα ο απαιτούμενος χρόνος για να φτάσει το έδαφος στην κατάσταση της αγροϊκανότητας μετά από κορεσμό είναι 1 έως 5 μέρες ή και περισσότερο, ανάλογα με τη μηχανική σύ-

Πίνακας 4.1. Σχέσεις μεταξύ των διαφόρων τρόπων έκφρασης του εδαφικού νερού

Όψη εδάφους	Τύπος εδαφικού ύδατος	PF	Τάση υγρασίας ισοδύναμη με		Διαστάσεις πόρων	Σχετική εργασία εδάφους	Υδατικές σταθερές εδάφους
			cm H ₂ O	ατμόσφαιρ.			
Ξηρό	Υγροσκοπικό νερό που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά	7,0	10.000.000	10.000	Διαστάσεις κολλοειδούς αργίλου	10	
		6,5					
		6,0	1.000.000	1.000			
		5,5					
		5,0	100.000	100			
Υγρό	Νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά	4,5	31.600	31	Διαστάσεις χοντρού αργίλου	96	Σημείο μαρασμού (15 ατμ. %)
		4,2	15.496	15			
		4,0	10.000	10			
		3,5					
		3,0	1.000	1			
Κάθυγρο	Διηθητό νερό που μπορεί να απομακρυνθεί με την αποστράγγιση	2,7	500	0,5	Διαστάσεις ιλύος	99	Ισοδύναμη υγρασία 1/3 ατμ. % Αγροϊκανότητα
		2,5	341	0,33			
		2,0	100	0,1			
		1,5					
		1,0	10	0,01			
	0,5			0,2	Διαστάσεις χοντλής άμμου		
	0	1	0,001	2,0	Μέγιστη ικανότητα συγκράτησης		

στάση και τη δομή του εδάφους. Πρακτικά η αγροϊκανότητα είναι ίση με το νερό που συγκρατείται στους τριχοειδείς πόρους.

Κατά μέσο όρο, αμμώδη εδάφη συγκρατούν 12% υγρασία, πηλώδη εδάφη με μέτρια μηχανική σύσταση 24% και λεπτά αργιλώδη εδάφη 36% στο σημείο της αγροϊκανότητας. Εκτός από τη *μηχανική σύσταση*, η *δομή*, το *μέγεθος των πόρων* και η *οργανική ουσία*, επηρεάζουν επίσης την αγροϊκανότητα του εδάφους. Η επίδραση της οργανικής ουσίας είναι περισσότερο εμφανής στα αμμώδη εδάφη, ενώ στα αργιλώδη επηρεάζεται περισσότερο από τη δομή.

Η αγροϊκανότητα δεν είναι εύκολο να μετρηθεί κάτω από φυσικές συνθήκες. Η προσπάθεια εκτίμησης της με την ισοδύναμη υγρασία ή με το ποσό του νερού το οποίο συγκρατείται με αρνητική πίεση 1/10 έως 1/3 ατμόσφ. που γίνεται σε κοσκινισμένα δείγματα εδάφους στο εργαστήριο, είναι απλώς μια προσέγγιση, ίσως η καλύτερη, για τα γεωργικά εδάφη με μέση μηχανική σύσταση. Το νερό στην κατάσταση της αγροϊκανότητας συγκρατείται με αρνητική πίεση που αντιστοιχεί σε τιμή pF 2,0 έως 2,5.

β. Ισοδύναμο υγρασίας

Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε, κατά τους Lutz και Chandler (1946), πρώτα από τους Briggs και McLayne (1907) και, μετά από σειρά τροποποιήσεων και συμπληρώσεων από άλλους ερευνητές. Σήμερα, γίνεται δεκτός σαν η *ποσότητα του νερού, που παραμένει σε δείγμα εδάφους πάχους 1cm το οποίο προηγουμένως έχει κορεστεί με νερό και στη συνέχεια έχει υποστεί φυγοκέντρωση για 30 λεπτά με επιτάχυνση 100πλάσια της βαρύτητας και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό σε σχέση με το βάρος του εδάφους όταν είναι ξηρό.*

Η ισοδύναμη υγρασία, την οποία μετράμε σε κοσκινισμένο έδαφος ($2 < \text{mm}$), υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές ότι συμφωνεί με την αγροϊκανότητα των εδαφών. Αυτό φαίνεται ότι ισχύει περισσότερο για τα μέσης μηχανικής σύστασης εδάφη. Στα αργιλώδη εδάφη η ισοδύναμη υγρασία είναι ελαφρά μεγαλύτερη από την αγροϊκανότητα, ενώ στα αμμώδη εδάφη είναι αρκετά μικρότερη από την αγροϊκανότητα. Πολύ μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ της ισοδύναμης υγρασίας και της αγροϊκανότητας, σε φυσικές συνθήκες, φαίνεται ότι υπάρχουν στα δασικά παρά στα γεωργικά εδάφη. Ο Duncan (1939) υποστηρίζει ότι η ισοδύναμη υγρασία των εδαφών στη φυσική τους κατάσταση, είναι μικρότερη από την αντίστοιχη την οποία μετράμε σε κοσκινισμένα δείγματα εδάφους.

Η τιμή του pF στο σημείο της ισοδύναμης υγρασίας είναι περίπου 2,0 έως 2,5 για πάρα πολλά είδη εδαφών. Η κάπως σταθερή αυτή ενεργειακή σχέση και η ευκολία προσδιορισμού της ισοδύναμης υγρασίας συνέβαλαν

στη μεγάλη χρήση της για το χαρακτηρισμό της υδατικής κατάστασης των εδαφών. Επειδή όμως ο προσδιορισμός αυτός γίνεται σε διαταραγμένα δείγματα εδάφους, πιθανότατα δεν μπορεί να συμπίπτει με την αγροϊκανότητα των δασικών εδαφών κάτω από φυσικές συνθήκες.

γ. Σημείο μόνιμης μάρανσης ή συντελεστής μάρανσης

Είναι η ποσότητα του νερού που έχει το έδαφος τη στιγμή που τα φυτά μαραίνονται μόνιμα, δηλαδή δεν λαμβάνουν πια, αν τοποθετηθούν σε κορεσμένη από υδρατμούς ατμόσφαιρα και η οποία εκφράζεται επί τοις εκατό σε σχέση με το βάρος του εδάφους, όταν είναι ξηρό. Στην περίπτωση αυτή όλο το νερό του εδάφους που μπορεί ν' απορροφηθεί από τα φυτά έχει εξαντληθεί.

Η υγρασία που παραμένει στο έδαφος στο σημείο μόνιμης μάρανσης αποτελείται από το ισχυρά συγκρατούμενο νερό και από μέρος του νερού των τριχοειδών πόρων. Κατά συνέπεια, η ποσότητα του εδαφικού νερού στο σημείο της μόνιμης μάρανσης αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε άργιλο και οργανική ουσία. Κατά μέσο όρο, η περιεκτικότητα σε νερό των αμμωδών, πηλωδών και αργιλωδών εδαφών στο σημείο μάρανσης είναι 3%, 8% και 20% αντίστοιχα. Η οργανική ουσία αυξάνει σημαντικά το συντελεστή μάρανσης των εδαφών. Τιμές του συντελεστή μάρανσης μεγαλύτερες από 80% έχουν αναφερθεί για καθαρή οργανική ουσία (Wilde 1958).

Ο προσδιορισμός του συντελεστή μαρασμού είναι αρκετά πολύπλοκος κάτω από φυσικές συνθήκες. Γι' αυτό συνήθως υπολογίζεται με μετρήσεις στο εργαστήριο. Η μέτρηση γίνεται με την χρήση της , καλλιέργειας φυτών ηλιάν θου (*Helianthus annuus*) σε κλειστά δοχεία. Όταν τα φυτά φτάσουν σε ύψος περίπου 20 cm αφήνονται να μαραθούν μόνιμα και τότε προσδιορίζεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Αυτή εκφράζεται επί τοις εκατό σε σχέση με το βάρος του εδάφους, όταν είναι ξηρό, και μας δίνει το συντελεστή μάρανσης για το έδαφος που δοκιμάζουμε.

Επειδή η παραπάνω μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή μάρανσης χρειάζεται μεγάλο χρόνο, συνήθως σαν ποσότητα υγρασίας στο σημείο μόνιμης μάρανσης, θεωρούμε το νερό που συγκρατεί το έδαφος, όταν σε κορεσμένα με νερό δείγματα του ασκηθεί πίεση 15 ατμόσφ. (pF 4,2). Η ποσότητα αυτή είναι γνωστή και σαν ποσοστό 15 ατμόσφ. και φαίνεται να συμφωνεί αρκετά καλά με το συντελεστή μάρανσης στα μέσης μηχανικής σύστασης εδάφη. Η τιμή του ποσοστού 15 ατμόσφ. είναι κάπως μεγαλύτερη από το συντελεστή μάρανσης στα αργιλώδη εδάφη, ενώ το αντίθετο παρατηρείται στα αμμώδη εδάφη.

Για μεγαλύτερη ευκολία, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να προσδιορίσουν το συντελεστή μάρανσης έμμεσα. Από τους Lutz και Chandler (1946) αναφέρεται ότι οι Briggs και Shantz για τον προσδιορισμό του συντελεστή πρότειναν τη διαίρεση της ισοδύναμης υγρασίας με το συντελεστή 1,84. Πολλοί ερευνητές βρήκαν ότι ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 1,6 μέχρι 5,6 (Dunkan 1939). Επομένως, η χρήση τέτοιων συντελεστών φαίνεται ότι ισχύει μόνο για εδάφη στα οποία προσδιορίστηκαν οι συντελεστές αυτοί.

Ασφαλώς, ο συντελεστής μάρανσης του εδάφους δεν είναι ο ίδιος για όλα τα είδη φυτών. Αποδείχτηκε όμως ότι οι διαφορές αυτές δεν είναι πολύ σημαντικές, τουλάχιστον για τα περισσότερα από τα συνηθισμένα είδη φυτών. Οι Veihmayer και Hendrickson, όπως αναφέρεται από τους

Lutz και Chandler (1946), βρήκαν το συντελεστή μάρανσης εξαιρετικά σταθερό για διαφορετικά είδη φυτών που αναπτύσσονται στο ίδιο έδαφος. Ακόμη, οι ίδιοι παρατήρησαν ότι οι κλιματικές συνθήκες δεν επηρεάζουν αισθητά την τιμή του συντελεστή μάρανσης.

Σημασία του συντελεστή μάρανσης

Ο συντελεστής μάρανσης έχει πολύ μεγάλη σημασία από την άποψη της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας. Ένα αργιλώδες έδαφος με ποσοστό υγρασίας 18% είναι δυνατό να είναι φυσιολογικά ξηρό, γιατί ο συντελεστής μαρasmus του εδάφους αυτού είναι 19%. Αντίθετα, ένα αμμώδες έδαφος με περιεκτικότητα υγρασίας μόνο 4% μπορεί να είναι φυσιολογικά υγρό, γιατί ο συντελεστής μάρανσης του εδάφους αυτού είναι 2%.

Ο συντελεστής μάρανσης δεν είναι ίδιος για όλα τα εδάφη, αλλά διαφέρει, ανάλογα με το είδος του εδάφους, του φυτού και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Υψηλές θερμοκρασίες με ισχυρούς ξηρούς ανέμους μπορεί να ξεραίνουν ορισμένα φυτά, ακόμη και όταν η τάση της υγρασίας στο έδαφος είναι κάτω από 4 ατμόσφαιρες.

Οι Furr και Reeve (1945) διαπίστωσαν ότι τα φυτά εξακολουθούν ν' απορροφούν υγρασία από το έδαφος ακόμα κι όταν αυτό έχει φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Γι' αυτό θεωρούν ότι είναι πιο λογικό να παραδεχτούμε ένα εύρος υγρασίας μέσα στο οποίο τα φυτά μαραίνονται μόνιμα και όχι ένα σημείο.

δ. Διαθέσιμη υγρασία

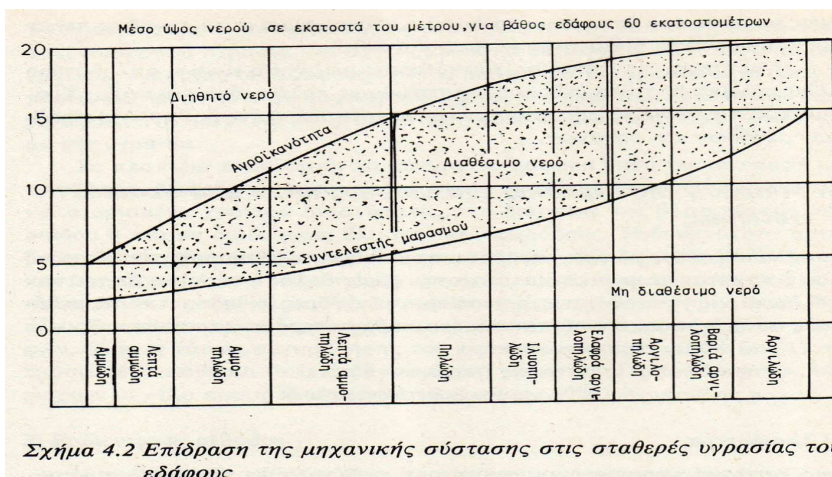
Είναι η ποσότητα του νερού που συγκρατείται μεταξύ της αγωγιμότητας ($1/3$ ή $1/10$ ατμόσφ.) και του συντελεστή μάρανσης (15 ατμόσφ.) η οποία υπολογίζεται με την αφαίρεση του συντελεστή μάρανσης από την αγωγιμότητα και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό σε σχέση με το βάρος του εδάφους, όταν είναι ξηρό. Εκφράζει κατά ένα τρόπο την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει υγρασία σε διαθέσιμη για τα φυτά μορφή. Είναι επόμενο η χαρακτηριστική αυτή ιδιότητα των εδαφών να έχει ιδιαίτερη οικολογική σημασία, και ιδίως για τα κλίματα που χαρακτηρίζονται από παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, όπως το κλίμα της Ελλάδας. Μεγάλες τιμές διαθέσιμης υγρασίας εξασφαλίζουν πολύ καλές συνθήκες εφοδιασμού των φυτών με υγρασία και κατά συνέπεια επηρεάζουν την καλή ανάπτυξή τους.

Η διαθέσιμη υγρασία εξαρτάται από όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν την αγραοικανότητα και το συντελεστή μάρανσης. Μεγάλες τιμές διαθέσιμης υγρασίας εμφανίζουν τα εδάφη που έχουν μεγάλη τιμή αγραοικανότητας και μικρό συντελεστή μάρανσης. Όλες αυτές οι σταθερές εξαρτώνται από: α) τη μηχανική σύσταση του εδάφους, β) τη δομή του εδάφους, γ) το πορώδες και την κατανομή του μεγέθους των πόρων και δ) την ποσότητα και το είδος της οργανικής ουσίας.

Γενικά, η αγραοικανότητα και ο συντελεστής μάρανσης μεταβάλλονται ανάλογα, δηλαδή όταν αυξάνεται η αγραοικανότητα αυξάνεται και ο συντελεστής μάρανσης. Ο ρυθμός όμως αυτός της αύξησης δεν είναι πάντοτε ο ίδιος, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η διαθέσιμη υγρασία στα διάφορα είδη εδαφών. Τα αμμώδη εδάφη έχουν μικρό συντελεστή μάρανσης, αλλά και η αγραοικανότητα τους είναι πάντοτε περιορισμένη. Τα πολύ βαριά αργιλώδη εδάφη έχουν μεγάλη βέβαια αγραοικανότητα, αλλά έχουν και πολύ μεγάλο συντελεστή μάρανσης, με αποτέλεσμα η καθαρά διαθέσιμη για τα φυτά υγρασία να είναι σχετικά μικρότερη από την αντίστοιχη των λιγότερο αργιλωδών εδαφών. Το σχήμα 4.2 δείχνει με γενικό τρόπο την επίδραση της μηχανικής σύστασης στις σχέσεις της υγρασίας στα διάφορα είδη εδαφών. Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι το διαθέσιμο νερό σε πολλά εδάφη έχει στενή σχέση με την περιεκτικότητα σε ιλύ και λεπτή άμμο.

Η επίδραση της οργανικής ουσίας στη διαθέσιμη υγρασία είναι γενικά ευνοϊκή, αλλά δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η οργανική ουσία αυξάνει πολύ και το συντελεστή μάρανσης. Η οργανική ουσία αυξάνει πολύ τη διαθέσιμη υγρασία στα αμμώδη εδάφη και σχετικά λιγότερο στα μέτρια και αργιλώδη εδάφη, όπου η επίδραση της οργανικής

ουσίας συνίσταται περισσότερο στη βελτίωση της δομής του εδάφους. Εδαφικά χαρακτηριστικά-περισσότερο συσχετιζόμενα με μικρή διαθέσιμη υγρασία είναι το μικρό βάθος, η αμμώδης μηχανική σύσταση, η μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και η μεγάλη περιεκτικότητα σε λίθους και χαλίκια.



Κατάσταση υγρασίας στα δασικά εδάφη

Οι μεταβολές της υγρασίας που παρατηρούνται στα δασικά εδάφη εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι: *οι κλιματολογικές συνθήκες, οι εδαφικές ιδιότητες, η βλάστηση και οι τοπογραφικές συνθήκες* του τόπου. Από το νερό που εισέρχεται στο έδαφος, ένα μέρος χάνεται λόγω διήθησης σε βαθύτερα στρώματα, και το υπόλοιπο καταναλώνεται με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους ή με τη διαπνοή από τη βλάστηση. Στη χώρα μας, λόγω των μικρών βροχοπτώσεων και του σχετικά θερμού κλίματος κυρίως στην ανατολική Ελλάδα, μικρές σχετικά ποσότητες νερού διεισδύουν στα βαθύτερα στρώματα. Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από το έδαφος αυξάνεται τόσο, όσο περισσότερο αργιλώδες γίνεται το έδαφος, όσο πιο υγρό είναι και όσο η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται. Επίσης, την εξάτμιση επηρεάζουν η ταχύτητα του ανέμου και η σχετική υγρασία του αέρα. Το δάσος ελαττώνει την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του εδάφους και αυξάνει τη σχετική υγρασία του αέρα, με άμεσο αποτέλεσμα το σοβαρό περιορισμό του εξατμιζόμενου νερού από την επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, συγκρατεί σημαντικές ποσότητες νερού από τις βροχές και τις εμποδίζει να φτάσουν στο έδαφος. Μια γενική μορφή των μεταβολών της υγρασίας κατά τη διάρκεια του έτους σ' ένα βαθύ δασικό έδαφος και κάτω από τις μέσες κλιματικές συνθήκες της χώρας μας έχει ως εξής: Κατά τη διάρκεια του χειμώνα και μέχρι τα μέσα περίπου της άνοιξης, οι βροχές και τα χιόνια συμβάλλουν στην αποθήκευση νερού μέχρι τα βαθύτερα στρώματα. Από τα μέσα της άνοιξης και μέχρι τα μέσα του φθινοπώρου παρατηρείται μια συνεχής κατανάλωση και αφαίρεση νερού από το έδαφος λόγω της εξάτμισης και της διαπνοής. Ορισμένα στρώματα του εδάφους είναι δυνατό να χάσουν τόσο νερό, ώστε να φτάσουν μέχρι το σημείο της μόνιμης μάρανσης. Κατά τη διάρκεια αυτή τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους αναπληρώνουν μέρος από το νερό που έχασαν με τις βροχές της περιόδου αυτής. Κάτω από μεσογειακές συνθήκες κλίματος, ο Gindel (1973) μετά από εκτεταμένες μετρήσεις διαπίστωσε ότι κατά τη θερμή, ξηρή περίοδο η υγρασία του εδάφους ήταν 3-30% μεγαλύτερη σε δάσος Χαλεπιού Πεύκης ή αείφυλλων πλατύφυλλων, σε σύγκριση με παρακείμενες εκτάσεις που καλύπτονταν με ποώδη βλάστηση και γράσταις. Στη χώρα μας πάντοτε αντιμετωπίζουμε έλλειψη υγρασίας του εδάφους. Αυτό οφείλεται κατ' αρχήν στο μεσογειακό τύπο κλίματος, που χαρακτηρίζεται από μεγάλης διάρκειας ξηρή και θερμή περίοδο, η οποία μάλιστα συμπίπτει με τη βλαστητική περίοδο, δηλαδή την περίοδο κατά την οποία τα φυτά χρειάζονται περισσότερη υγρασία. Άλλο χαρακτηριστικό του μεσογειακού κλίματος είναι οι μεγάλες ετήσιες αυξομειώσεις από τις μέσες συνθήκες του κλίματος.

Η ελάχιστη και η μέγιστη ετήσια βροχόπτωση που έχει σημειωθεί στην περιοχή Αθηνών ήταν 116 mm (1898) και 847 mm (1883) αντίστοιχα, ενώ η μέση είναι 400 mm (Μαριολόπουλος και Καραπιπέρης 1955).

Η εμφάνιση δύο ή περισσότερων συνεχών ξηρών ετών είναι πολύ πιθανή (Aschmann 1973). Πολύ λιγότερες βροχές από το μέσο ετήσιο ύψος βροχών κατά τα έτη 1976 και 1977 προξένησαν ολοσχερή θανάτωση δενδρυλλίων *Pinus nigra*, *P. maritima*, *P. radiata* 3-8 ετών και σε ποσοστό 30-90% στην περιοχή Πολυγύρου (Παπαμίχος και Αλιφραγκής 1980).

Μια δεύτερη αιτία έλλειψης επαρκούς εδαφικής υγρασίας για τις νεαρές φυτείες είναι το μικρό γενικό βάθος των διαθέσιμων για τις αναδασώσεις εδαφών. Το επαρκές βάθος είναι απαραίτητο για την αποθήκευση της υγρασίας που φτάνει στο έδαφος κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης και η οποία είναι απόλυτα απαραίτητη για την ικανοποίηση των αναγκών των δέντρων κατά τη θερινή περίοδο. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί εδώ ότι πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει το βάθος του εδάφους κάτω από τα 20 cm, το επιφανειακό στρώμα των 20 cm του εδάφους πολύ εύκολα χάνει την υγρασία λόγω της εξάτμισης και της χρησιμοποίησης του από την παρεδαφιαία βλάστηση.

Το ελάχιστο απαραίτητο βάθος εδάφους για την κανονική αύξηση της δασικής βλάστησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι: α) το κλίμα, β) το είδος του εδάφους, γ) το μητρικό πέτρωμα, δ) το δασοπονικό είδος και ε) οι φυσιογραφικές συνθήκες.

Πολύ γενικά, και με μεγάλη επιφύλαξη, θα μπορούσαμε να δεχτούμε σαν ελάχιστο βάθος εδάφους για ικανοποιητική αύξηση της δενδρώδους βλάστησης τα 60-80 cm στις νότιες και ξηρότερες περιοχές και 30-40 cm στις βόρειες και περισσότερο υγρές περιοχές της χώρας.

Οι βασικότεροι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται με προσοχή και να συνεκτιμούνται, κατά το δυνατό με ακρίβεια, πριν από κάθε αναδάσωση, προκειμένου να εκτιμήσουμε τις υδατικές συνθήκες του τόπου και την δυνατότητα εγκατάστασης και αύξησης των δασικών φυτειών είναι:

- α) το ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων και η ετήσια διακύμανση τους,
- β) το ύψος βροχής κατά την αυξητική περίοδο Μαΐου - Σεπτεμβρίου και η ετήσια διακύμανση του,
- γ) η μηχανική σύσταση, η δομή, η περιεκτικότητα σε λίθους και η οργανική ουσία του εδάφους, τα οποία συνήθως καθορίζουν το τριχοειδές πορώδες και κατά συνέπεια τη διαθέσιμη υγρασία την οποία το έδαφος μπορεί να συγκρατήσει,
- δ) το βάθος εδάφους και η κατάσταση του μητρικού υλικού ή πετρώματος,

- ε) η ύπαρξη στρωμάτων με διαφορετική μηχανική σύσταση και το βάθος στο οποίο παρατηρούνται αυτά,
- στ) η τοπογραφία της περιοχής, ράχη ή κοιλάδα, κυρτή η κοίλη πλαγιά, νότια ή βόρεια έκθεση, ισχυρή ή ήπια κλίση.

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το ετήσιο ύψος βροχής, και κυρίως το ύψος βροχής του 5μήνου Μαΐου - Σεπτεμβρίου, είναι σχετικά μικρό, απαραίτητη προϋπόθεση δημιουργίας δάσους είναι το ικανοποιητικό βάθος εδάφους και η μεγάλη διαθέσιμη υγρασία. Εδάφη με μεγάλη διαθέσιμη υγρασία είναι κατά κανόνα:

- α) τα μέσης μηχανικής σύστασης (πηλώδη, ιλυοπηλώδη, ελαφρά αργιλοπηλώδη) και γενικά εδάφη πλούσια σε πολύ λεπτή άμμο και ιλύ,
- β) αυτά που έχουν καλή και ισχυρή δομή,
- γ) αυτά που περιέχουν ικανοποιητική ποσότητα οργανικής ουσίας,
- δ) αυτά που δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες λίθων και χαλικιών.

Τόσο το βάθος του εδάφους, όσο και η δυνατότητα συγκράτησης μεγάλης ποσότητας διαθέσιμης υγρασίας, είναι απαραίτητα για την αποθήκευση όσο το δυνατό μεγαλύτερης ποσότητας νερού το οποίο τα φυτά θα χρησιμοποιήσουν κατά τη μακρά ξηροθερμική περίοδο. Η ξηροθερμική αυτή περίοδος είναι πράγματι μεγάλη σε πολλές περιοχές της χώρας μας, που χαρακτηρίζονται από το θερμομεσογειακό τύπο κλίματος με 100 έως 125 βιολογικά ξηρές ημέρες ή ακόμη και από έντονο θερμομεσογειακό κλίμα με 125-150 βιολογικά ξηρές ημέρες(ξηροθερμικός δείκτης).

Στις περιπτώσεις όπου οι βιολογικά ξηρές ημέρες ξεπερνούν τις 150, τότε, ανεξάρτητα από το βάθος του εδάφους ή τη μεγάλη υδατοϊκανότητά του, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε στις αναδασώσεις δασοπονικά είδη που να αντέχουν στην ξηρασία, όπως είναι η πεύκη, και ιδιαίτερα η χαλέπιος και η τραχεία, η κυπάρισσος και η χνοώδης δρυς.

Πάντοτε θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η ξηρασία είναι ιδιαίτερα αισθητή και επικίνδυνη στα αβαθή και αμμοχαλικώδη εδάφη, που έχουν μικρή δυνατότητα συγκράτησης διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας και αποθήκευσης νερού.

Στις ξηρές περιοχές, συχνά παρατηρείται καλύτερη επιτυχία των αναδασώσεων στα αμμώδη εδάφη παρά στα αργιλώδη. Στα τελευταία, το νερό των περιορισμένων βροχοπτώσεων συγκρατείται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, από τα οποία ευκολότερα εξατμίζεται ή διαπνέεται από την πλουσιότερη ποώδη βλάστηση.

Τα σπουδαιότερα γνωστά μέτρα για την αντιμετώπιση των δυσμενών υδατικών συνθηκών, όταν επιχειρείται αναδάσωση σε ξηρές περιοχές, είναι:

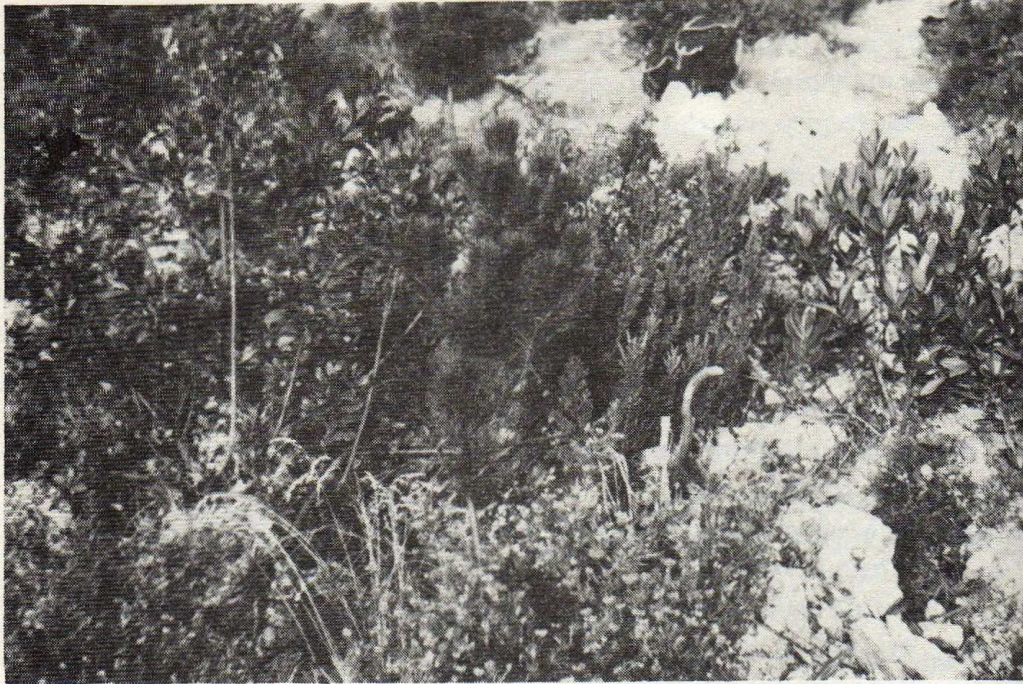
- α) εκλογή κατάλληλου δασοπονικού είδους ανθεκτικού στην ξηρασία,
- β) πλήρης κατεργασία του εδάφους πριν από τη φύτευση,
- γ) αν πρόκειται για αμμώδη εδάφη, πολύ ευεργετική είναι η χρησιμοποίηση, σε κάθε λάκκο, ενός στρώματος τύρφης πάχους 10 cm περίπου που τοποθετείται σε βάθος 30-50 cm. Η τύρφη αυξάνει σημαντικά την αγροϊκανότητα και το διαθέσιμο νερό,
- δ) χρησιμοποίηση καλού φυτευτικού υλικού και επιμελημένων μεθόδων αναδάσωσης,
- ε) καλλιέργεια του εδάφους κατά τα πρώτα μετά τη φύτευση χρόνια ή απομάκρυνση της συναγωνιστικής βλάστησης,
- στ) κατασκευή βαθμίδων ή αυλακώσεων κατά τις χωροσταθμικές καμπύλες σε επικλινή εδάφη, για να συγκρατείται το νερό των βροχοπτώσεων,
- ζ) άρδευση το καλοκαίρι, η οποία κυρίως δικαιολογείται σε περιορισμένης κλίμακας αναδάσώσεις που προορίζονται μάλλον για αισθητικούς σκοπούς.

Παντού, αλλά ιδιαίτερα στην περιοχή των αιψύλλων πλατύφυλλων, ο σπουδαιότερος ίσως παράγοντας για την επιτυχία της εγκατάστασης των δασικών φυτειών, καθώς και της πρώτης αύξησης των δενδρυλλίων, είναι η συναγωνιστική φυσική βλάστηση. Η βλάστηση αυτή είναι καλά προσαρμοσμένη στο περιβάλλον, αυξάνει πολύ ταχύτερα από τα δενδρύλλια που φυτεύτηκαν και με το πλούσιο, βαθύ και ισχυρό ριζικό σύστημα συναγωνίζεται πολύ έντονα τα δασικά δενδρύλλια (Παπαμίχος, Αλιφραγκής 1980) (Φωτ. 4. 1A και 4.1B). Η ανάπτυξη εκτεταμένου ριζικού συστήματος από τη θαμνώδη μεσογειακή βλάστηση είναι ένα σπουδαίο μέσο προσαρμογής της βλάστησης αυτής για την αντιμετώπιση της μακράς ξηρής καλοκαιρινής περιόδου. Η βλάστηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιεί νερό από μεγαλύτερο όγκο εδάφους και βαθύτερα στρώματα.

Κατά τον Kozłowski (1968) τα φυτάρια των δασικών δέντρων αναπτύσσουν πλούσιο ριζικό σύστημα, όταν η υγρασία του εδάφους διατηρείται κοντά στα επίπεδα της αγροϊκανότητας, ενώ αντίθετα το ριζικό σύστημα είναι πολύ φτωχό, όταν το έδαφος συχνά ξεραίνεται μέχρι το σημείο μαρασμού πριν ποτιστεί.

Οι μεγαλύτερες απαιτήσεις των δασοσυστάδων σε νερό παρατηρούνται στην περίοδο της μέγιστης αύξησης τους, η οποία συνήθως συμπίπτει με την ηλικία των κορμιδίων και λεπτών κορμών. Πολύ συχνά στην ηλικία αυτή παρατηρείται σοβαρή έλλειψη νερού σε πυκνές συστάδες, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της αύξησης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η αραίωση είναι ίσως το μοναδικό μέσο που διαθέτει ο δασοκόμος για τη βελτίωση των συνθηκών αύξησης της συστάδας. Με την αραίωση φτάνει

αφ' ενός μεν περισσότερη βροχή στο έδαφος και αφ' ετέρου, λόγω απομάκρυνσης ορισμένων δέντρων, παραμένει περισσότερη διαθέσιμη υγρασία στο έδαφος για τα δέντρα που τελικά θα παραμείνουν. Κατά τον Dunms (1973) έντονη αραίωση συστάδας *Pinus contoria* είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί κατά 110 mm περίπου το χρόνο το διαθέσιμο για τα δέντρα νερό.



Φωτ. 4.1 Α. Έντονος συναγωνισμός δενδρυλλίων *Pinus radiata* από αυτοφυή βλάστηση (περιοχή Χαλκιδικής)



Φωτ. 4.1 Β. Επικίνδυνος συναγωνισμός δενδρυλλίων *Pinus maritima* από αυτοφυή βλάστηση

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Συνοπτικά να αναφέρουμε ότι υπάρχουν μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας στο εργαστήριο και στον αγρό. Στο εργαστήριο την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας την προσδιορίζουμε με μια από τις παρακάτω μεθόδους η με συνδυασμό αυτών .

1. Μέθοδος Haines
2. Μέθοδος στήλης σε ισορροπία με σταθερή στάθμη ελεύθερου ύδατος .
3. Μέθοδος στήλης με διάφραγμα πίεσης .
4. Συσκευή Richards
5. Μέθοδος της σχετικής υγρασίας .
6. Μέθοδος του σημείου πήξης του ύδατος του εδάφους .

Αντίστοιχα οι μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδαφικής υγρασίας στον αγρό συνίσταται σε συνδυασμό μεθόδων μέτρησης θ και H .

Για μέτρηση του H .

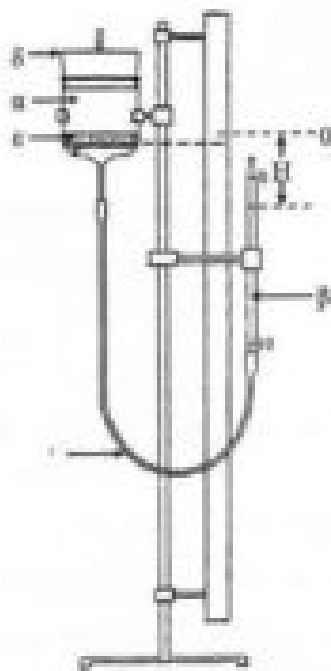
1. Τασίμετρα
2. Πορώδη σώματα

Για μέτρηση του θ

3. Μέθοδος νετρονίων
4. Μέθοδος της ηλεκτρικής αντιστάσεως (πορώδη πλακίδια Βουγιούκου)
5. TDR
6. FDR

Μέθοδος Haines

Πρόκειται περί απλούστατης συσκευής που αποτελείται από χωνί Buchner (με πορώδες διάφραγμα) που είναι συνδεδεμένο με προχοίδα δια μέσου λαστιχένιου σωλήνα . Το σύστημα πληρώνεται με εξαιρετισμένο και αποσταγμένο νερό. Το δείγμα εδάφους (διαταραγμένο η αδιατάρακτο) τοποθετείται πάνω στο διάφραγμα και η αύξηση η μείωση της εφαρμοζόμενης πίεσης προκαλεί την απομάκρυνση η απορρόφηση νερού από το έδαφος. Στην πράξη η χρησιμότητα του περιορίζεται σε αρνητικές πιέσεις μικρότερες από 600-700 cm .

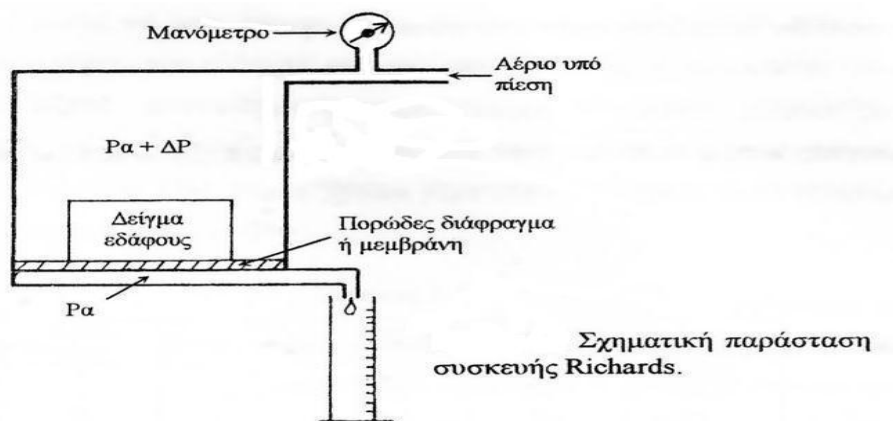


Συσκευή Haines

- α: χονί Bochner
- β: προχοϊδα
- γ: λασπερήνιος σωλήνας
- δ: υγρό για περιορισμό εξάτμισης
- ε: δείγμα εδάφους

Συσκευή Richards

Η συσκευή Richards διαφέρει από τη συσκευή Haines ως προς το ότι η πίεση στο χώρο που περιέχει το δείγμα εδάφους διατηρείται μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική και το νερό που αποστραγγίζεται από το δείγμα διασχίζει το πορώδες διάφραγμα και εξέρχεται από την συσκευή ελεύθερο στην ατμόσφαιρα υπό ατμοσφαιρική πίεση .



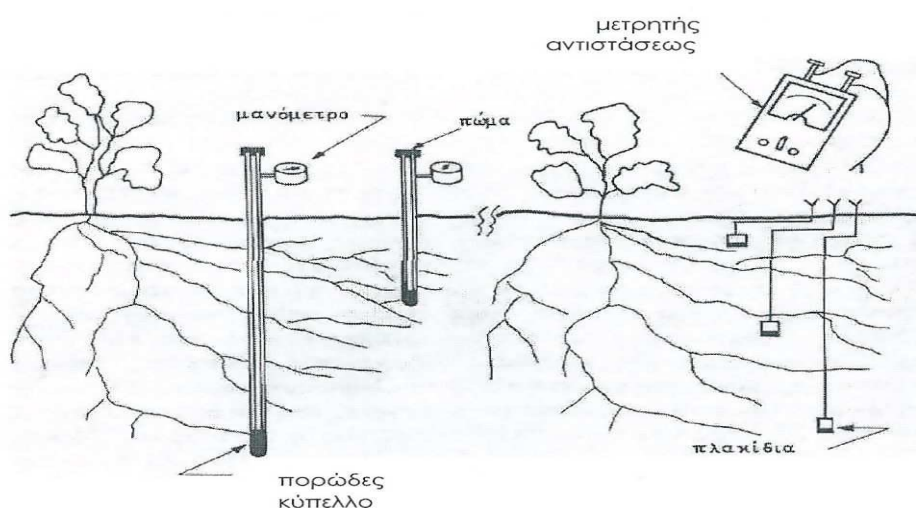
Μέθοδοι προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας στον αγρό

Τασίμετρα

Το τασίμετρο αποτελείται από ένα πορώδες δοχείο κυλινδρικού σχήματος κατασκευασμένο από πορώδες κεραμικό υλικό . Το δοχείο αυτό προσαρμόζεται στο κάτω άκρο ενός λεπτού σωλήνα , που συνήθως είναι πλαστικός και διαφανής , δια μέσου του οποίου συνδέεται με μανόμετρο . Πριν από την τοποθέτηση του στο έδαφος το σύστημα πληρώνεται με εξαερισμένο και, συνήθως αποσταγμένο νερό και καταβάλλεται προσπάθεια απομάκρυνσης των φυσαλίδων αέρα . Για την τοποθέτηση του στο έδαφος απαιτείτο το άνοιγμα οπής με εδαφοτρύπανο μέχρι του επιθυμητού βάθους τοποθέτησης. Οι ενδείξεις τους είναι ικανοποιητικές για πιέσεις μικρότερες των 0,8 Bar (ή 85 kPa) γιατί , από εκεί και πέρα στο όργανο μπαίνει αέρας και αλλοιώνει τις ενδείξεις.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ

Η συσκευή αποτελείται από ένα γύψινο πλακίδιο , δυο ανοξείδωτα ηλεκτρόδια από χάλυβα και από μετρητή ηλεκτρικής αντιστάσεως . Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στο γεγονός ότι το γύψινο πλακίδιο βρίσκεται με ικανοποιητική προσέγγιση , στην ίδια αρνητική πίεση με το έδαφος που το περιβάλλει. Όσο πιο υγρό είναι το πλακίδιο τόσο μικρότερη είναι η ηλεκτρική αντίσταση που παρουσιάζει. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η υγρασία του εδάφους μειώνεται , οπότε η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται.



Διάταξη τενσιομέτρων και πλακιδίων ηλεκτρικής αντιστάσεως για τον προσδιορισμό της τάσεως της εδαφικής υγρασίας.

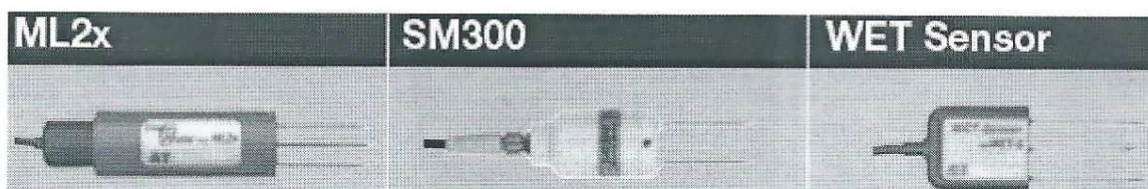
TDR -FDR

Τα περισσότερα από αυτά τα όργανα λειτουργούν με την αποστολή ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος από έναν καθετήρα (probe) που θάβεται στο χώμα. Όταν το σήμα αντανακλάται πίσω στην συνέχεια ανιχνεύεται και αναλύεται. Ο χρόνος που χρειάζεται για τη διαδρομή του σήματος (TDR) ή η μεταβολή της συχνότητας του ανακλώμενου κύματος (FDR) ποικίλλει με τις εδαφολογικές διηλεκτρικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζονται κυρίως από την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους που περιβάλλει τους καθετήρες ελέγχου (Torp,2003: Blonquist, 2005).



Δίπλα αισθητήρας και όργανο για τον προσδιορισμό της κατατομής της περιεκτικότητας σε νερό με την τεχνολογία FDR (Delta-T Device: Profile probe (PR1)).

Κάτω διάφορα είδη αισθητήρων, της εταιρίας Delta – T, που χρησιμοποιούνται για τη σημειακή μέτρηση της περιεκτικότητας σε νερό.



Η ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η χρήση των μαθηματικών μοντέλων για εξομοίωση της ροής των υγρών και την μεταφορά μάζας στην ακόρεστη ζώνη είναι προσφιλές αντικείμενο από τους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια . Η έρευνα έχει να επιδείξει πολλές προσπάθειες για την ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων (Reeves and Duguid 1975 ; Segol,1976; Vauclin et al.,1979).

Δυστυχώς τα μοντέλα δεν συμφωνούν πάντα με τα πειραματικά δεδομένα . Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών που αφορούν τις παραμέτρους των κύριων εξισώσεων μεταφοράς . Ωστόσο αξιόπιστες εκτιμήσεις της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας είναι δύσκολες να έχουμε, εν μέρει εξαιτίας της μεγάλης παραλλακτικότητας που παρουσιάζει η παράμετρος στον αγρό και επειδή για να μετρηθεί είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και πολυδάπανη . Για αυτούς τους λόγους αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν μοντέλα για υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας της ακόρεστης ζώνης χρησιμοποιώντας την πιο εύκολα υπολογιζόμενη χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας . Πολύ δημοφιλή ανάμεσα σε αυτά τα μοντέλα είναι η μέθοδος των Millington και Quirk 1961 διάφορες μορφές της οποίας έχουν εφαρμοστεί με κάποια επιτυχία σε αριθμό εργασιών (Jackson et al 1965 Jackson 1972 ; Green and Corey , 1971 ; Bruce ,1972). Δυστυχώς αυτή η μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι παράγει πινακοποιημένα αποτελέσματα τα οποία είναι δύσκολα για εφαρμογή σε ανομοιογενή εδάφη και για πολυστρωματικά μη κορεσμένης ροής μοντέλα.

Ο Mualem (1976a) κατέληξε σε ένα νέο μοντέλο πρόβλεψης της υδραυλικής αγωγιμότητας από την χρήση της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας και από την υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό k_s . Η μέθοδος του Mualem οδηγεί σε μια εύκολη φόρμουλα υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας σε μη κορεσμένα εδάφη από την οποία μπορεί κάποιος να καταλήξει σε αναλυτικές εκφράσεις αυτής με την προϋπόθεση ότι διαθέτει αντιπροσωπευτικές εκφράσεις της χαρακτηριστικής καμπύλης του συγκεκριμένου εδάφους. Στόχος είναι η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας να είναι συνεχείς και η υδραυλική κλίση επίσης να είναι συνεχείς .

Τα μοντέλα αυτού του είδους γενικά περιέχουν τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές η οποίες υπολογίζονται με πρόγραμμα το οποίο προσαρμόζει την προτεινόμενη χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας σε πειραματικά δεδομένα .

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜUALEM

Η ακόλουθη εξίσωση προήλθε από τον Mualem (1976a) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας (K_r) με την προϋπόθεση ότι γνωρίζουμε την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας .

$$K_r = \theta^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\int_0^\theta \frac{1}{h(x)} dx}{\int_0^1 \frac{1}{h(x)} dx} \right]^2 \quad (1)$$

Όπου το h είναι το φορτίο πίεσης , το οποίο δίνεται εδώ σαν συνάρτηση του ανεξάρτητου περιεχόμενου υγρασίας :

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

Σε αυτήν την εξίσωση το s και r αναφέρονται στις υγρασίες κορεσμού και στην ελάχιστη υγρασία (θ) αντίστοιχα . Για να επιλυθεί η εξίσωση (1) χρειάζεται μια συνάρτηση της εδαφικής υγρασίας με το φορτίο πίεσης . Μια τέτοιου είδους συνάρτηση που έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη είναι

$$\Theta = \left[\frac{1}{1 + (ah)^n} \right]^m \quad (3)$$

Όπου a, n, m είναι προς το παρόν μη υπολογισμένοι παράμετροι. Δεχόμαστε ότι το φορτίο πίεσης στην εξίσωση (3) ότι είναι θετικό. Η εξίσωση (3) με $m=1$ έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές έρευνες για να περιγράψει την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας (Ahuja and Swartzendruber , 1972: Endelman et al ., 1974: Haverkamp et al ., 1977). Να σημειωθεί η μορφή της καμπύλης είναι σιγμοειδής και η κλίση ($d\theta/dh$) γίνεται μηδέν όταν η υγρασία θ πλησιάζει είτε την τιμή κορεσμού είτε την ελάχιστη τιμή .

Απλές μορφές της $K_r(\theta)$ μπορούν να προκύψουν αν εφαρμοστούν συγκεκριμένοι περιορισμοί στις παραμέτρους m και n στην εξίσωση .

$$K_r(\Theta) = \Theta^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (m=1-1/n), (0 < m < 1) \quad (4)$$

Η σχετική υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να εκφρασθεί συναρτήσει του φορτίου πίεσης βάζοντας την εξίσωση (3) στην εξίσωση (4) και έχουμε

$$K_r(h) = \frac{K_s \{ 1 - (ah)^{n-1} [1 + (ah)^n]^{-m} \}^2}{[1 + (ah)^n]^{\frac{m}{2}}} \quad (m=1-1/n) \quad (5)$$

Από την υδραυλική αγωγιμότητα και την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας κάποιος μπορεί να υπολογίσει την διαχυτικότητα του νερού από την εξίσωση

$$D(\Theta) = \frac{(1-m)K_s}{am(\Theta_s - \Theta_r)} \Theta^{\frac{1}{2} - \frac{1}{m}} \left[\left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^{-m} + \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m - 2 \right] \quad (6)$$

Όπου $K_s (=K/Kr)$ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό. Οι υδραυλικές ιδιότητες που υπολογίστηκαν προηγουμένως υπολογίστηκαν με την προϋπόθεση ότι το $m=1-1/n$. Ωστόσο κάποιος μπορεί να καταλήξει και σε άλλες εκφράσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας εάν για παράδειγμα πάρουμε ως παραδοχή ότι $m=1$.

Το περιεχόμενο υγρασίας σαν συνάρτηση του φορτίου πίεσεως δίνεται από τις εξισώσεις (2) και (3) άρα έχουμε

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (ah)^n]^m} \quad (7)$$

όπου όπως και πριν το φορτίο πίεσης h είναι θετικό και για το μοντέλο του Mualem

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (8)$$

Η εξίσωση (7) περιέχει τέσσερις ανεξάρτητες παραμέτρους (θ_r, θ_s, a και n) οι οποίες πρέπει να υπολογισθούν από τα πειραματικά δεδομένα για την εδαφική υγρασία. Από αυτά τα τέσσερα δεδομένα η υγρασία κορεσμού (θ_s) είναι εύκολα υπολογιζόμενη πειραματικά.

Επίσης το ελάχιστο ποσό της εδαφικής υγρασίας (θ_r) μπορεί να προσδιορισθεί πειραματικά για παράδειγμα υπολογίζοντας την εδαφική υγρασία σε πολύ ξηρό έδαφος. Δυστυχώς μετρήσεις της θ_r δεν γίνονται σε επίπεδο ρουτίνας που σημαίνει ότι πρέπει να υπολογιστεί στατιστικώς με επέκταση της είδη πειραματικώς προσδιορισμένης χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας σε μεγαλύτερα φορτία πίεσεως.

Λέγοντας ελάχιστη ποσότητα εδαφικής υγρασίας εννοούμε την εδαφική υγρασία όπου η υδραυλική κλίση ($d\theta/dh$) γίνεται περίπου ίση με το μηδέν εκτός από την περιοχή κοντά στην υγρασία κορεσμού (θ_s) όπου η κλίση γίνεται πάλι περίπου ίση με το μηδέν. Από πρακτική άποψη είναι αρκετό να θεωρηθεί το θ_r σαν την εδαφική υγρασία σε μεγάλο φορτίο πίεσης για παράδειγμα το σημείο μόνιμης μάρανσης ($h=-15000$ cm).

Αλλά να σημειωθεί ότι ακόμα και σε αυτές τις πιέσεις περαιτέρω μείωση του φορτίου πίεσεως (h) είναι πιθανό να οδηγήσουν και σε άλλη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Όμως αυτές οι παραπάνω μειώσεις στην εδαφική υγρασία είναι αμελητέα για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα του αγρού.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ BROOKS AND COREY

Οι Brooks and Corey (1964, 1966) κατέληξαν ύστερα από επεξεργασία μεγάλου αριθμού πειραματικών μετρήσεων ότι η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας θα μπορούσε να περιγραφεί καλά με την εξής γενική εξίσωση

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-\lambda} \quad \text{για } |h| \geq |h_b| \quad \text{και } S_e = 1 \quad \text{για } 0 \leq |h| < |h_b| \quad (9)$$

$$K(h) = K_s \left(\frac{h_b}{h} \right)^{2 + 2.5 \lambda} \quad \text{για } |h| \geq |h_b| \quad (10)$$

$$K(h) = K_s \quad \text{για } 0 \leq |h| < |h_b|$$

όπου το h_b είναι η πίεση όπου αρχίζει να μπαίνει ο αέρας και λ συντελεστής κατανομής πόρων .

Προδιαγραφές του FUTMON PROTOCOL (υπολογισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας , μέθοδος αναφοράς ISO11274 , για ανόργανα και οργανικά αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα). Η διαδικασία που περιγράφεται από κάτω ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη.

1, Τοποθεσία μέτρησης και δειγματοληψίας .

Θέσεις δειγματοληψίας των εδαφικών προφίλ εντός του plot

1. Σε κάθε plot εξετάζονται 3 εδαφικά προφίλ ξεχωριστά.
2. Το κάθε εδαφικό προφίλ είναι αντιπροσωπευτικό των εδαφικών συνθηκών εντός του plot.
3. Τα εδαφικά προφίλ είναι τουλάχιστον κάποια μέτρα μακριά το ένα από το άλλο.
4. Τα προφίλ πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν κοντά στους αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας.
5. Να καταγράφονται οι ακριβείς συντεταγμένες της τοποθεσίας του κάθε εδαφικού προφίλ.

2, Δειγματοληψία εντός του εδαφικού προφίλ.

Τουλάχιστον ένα αδιατάρακτο δείγμα πρέπει να λαμβάνεται σε κάθε μια κλάση βάθους 0-20,20-40 και 40-80 cm , προτιμάται στο ίδιο βάθος με τις μετρήσεις του αισθητήρα για την εδαφική υγρασία (βάθος των TDR αισθητήρων). Η ακριβής θέση λήψης του δείγματος αναφέρεται μαζί με τις υπόλοιπες πληροφορίες του δείγματος .

Όταν το οργανικό δασικό στρώμα είναι μεγάλο πρέπει να γίνει ξεχωριστή δειγματοληψία στην οργανική στρώση. Οπότε σε κάθε plot έχουμε τουλάχιστον 9 αδιατάρακτα δείγματα στο σύνολο αν η δασική στρώση είναι κάτω από 5 cm πάχος και 12 αδιατάρακτα δείγματα αν η δασική στρώση είναι πάνω από 5 cm πάχος.

3, Κύλινδροι δειγματοληψίας

Αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα σε μεταλλικούς κυλίνδρους με όγκο από 100 έως 400 cm³ . Προτεινόμενες διαστάσεις (ύψος x διάμετρος σε mm) των κυλίνδρων για δασικά εδάφη είναι 50x53, 40x76 και 50x100. Το κάτω μέρος του κυλίνδρου πρέπει να έχει κοφτερή απόληξη και πλαστικά καπάκια που εφαρμόζουν πλήρως να συνοδεύουν τον κύλινδρο.

4, Υλικά για την δειγματοληψία

- 1, σιδερένιοι κύλινδροι με καπάκια
- 2, φτυάρι η σπάτουλα για να βγαίνει ο κύλινδρος πιο εύκολα
3. σφυρί απορρόφησης κραδασμών
4. σπάτουλα η μαχαίρι για αφαίρεση το πλεονάζοντος δείγματος
5. ανεξίτηλος μαρκαδόρος για εγγραφή των στοιχείων του δείγματος
6. πλαστικές σακούλες για τοποθέτηση των δειγμάτων

5, Συλλογή δειγμάτων

Αδιατάρακτα δείγματα πρέπει να συλλέγονται κατά την υγρή περίοδο όταν το έδαφος βρίσκεται στην αγροικανότητα όσον αφορά την διαθεσιμότητα του σε νερό .Δεν πρέπει να γίνεται δειγματοληψία όταν έχει παγετό.

1. ένα αδιατάρακτο δείγμα για κάθε στρώση περισσότερα από ένα δείγμα για πετρώδη εδάφη .
2. ο κύλινδρος τοποθετείται κάθετα με τις αιχμηρές οπές προς τα κάτω.
3. βγάζουμε τον κύλινδρο προσεκτικά με μία σπάτουλα και κόβουμε με ένα μαχαίρι το προεξέχον χώμα από τις δυο μεριές και τοποθετούμε τα πλαστικά καπάκια .
4. καταγράφουμε την ημερομηνία της δειγματοληψίας τα στοιχεία του plot την ακριβή θέση της δειγματοληψίας το βάθος εδάφους από όπου πάρθηκε το δείγμα .
5. τοποθετούμε τα δείγματα σε πλαστικές σακούλες .

Ο ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ISO 11274:1998

Η μέθοδος Α του πρωτοκόλλου συστήνεται για πιέσεις (0,-1,-5,-10 και -33 kPa)

ΥΛΙΚΑ

1. κουτί εφαρμογής της πίεσης (το οποίο είναι στεγανό , με τρύπα εξόδου στην βάση του και καλά εφαρμοζόμενο καπάκι).
2. στραγγιστικό σύστημα για το κουτί το οποίο καθιστά δυνατή την εφαρμογή συγκεκριμένων τιμών πίεσης .
3. υλικά τα οποία θα λειτουργήσουν ως φίλτρα και είναι εξευγενισμένη άμμος και καολινίτης (τα οποία είναι ομογενή ελεύθερα από αλάτια και οργανική ύλη) τα υλικά πρέπει να ακολουθούν τις προδιαγραφές του ISO 11274.
4. φούρνος που να διατηρεί θερμοκρασία 105 ± 2 °C.
5. ισοροπία (ακρίβεια 0,1% των μετρήσεων).

Για τον καθορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας του εδάφους για όλες τις μεθόδους χρησιμοποιούμε α) sandbox, β) sand kaolin box, γ) πορώδεις πλάκες .

Το παρακάτω σχεδιάγραμμα περιγράφει για όλες τις ασκούμενες αρνητικές πιέσεις τις προτεινόμενες από το πρωτόκολλο συσκευές.

matric potential ψ		recommended instrument
pf	kPa	
0	0	sand box
1	-1	sand box
1,7	-5	sand box
2	-10	sand box
2,5	-33	sand kaolin box
3	-100	sand kaolin box
3,4	-250	ceramic plates
4,2	-1500	ceramic plates
7	-10000000	oven

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Συσκευή SANDKAOLINBOX



Φώτο 5 Γενική άποψη της συσκευής 2

Αυτή η συσκευή (Φώτο 5) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή ενός εύρους μυζήσεων στα εδαφικά δείγματα από 0 έως 500 cm H₂O.

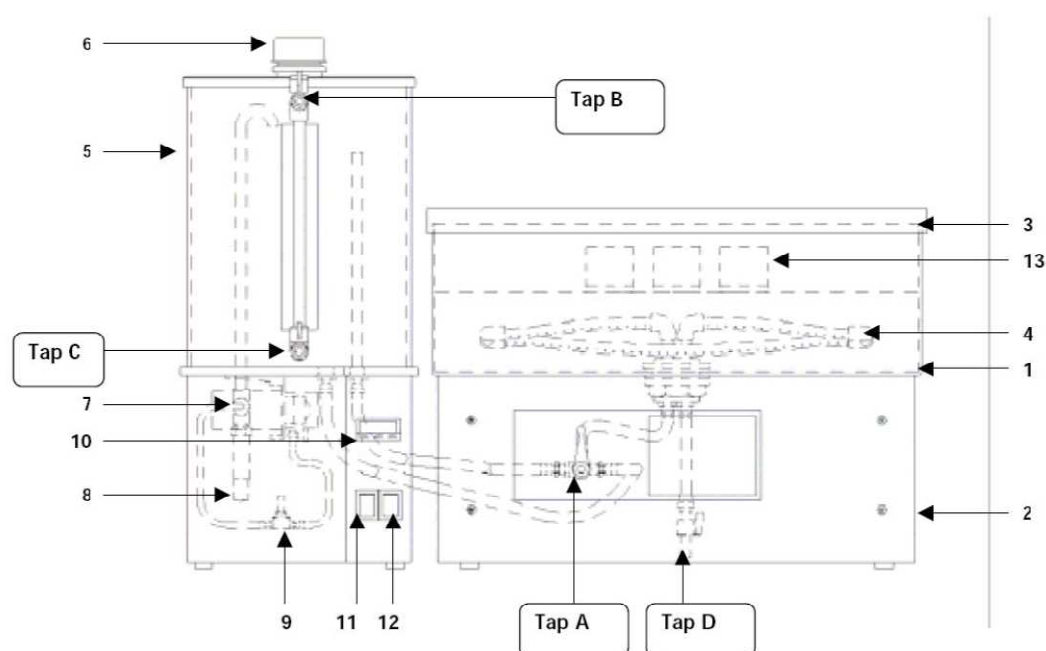
Στην εν λόγω συσκευή τα εξεταζόμενα εδαφικά δείγματα εδράζονται σε στρωματοποιημένο συνθετικό έδαφος δύο στρώσεων: 1. κάτω κορεσμένο στρώμα συνθετικής άμμου (πάχους 8 cm, ομοιόμορφης διαμέτρου 73 μm) 2. πάνω στρώμα καολινίτη (πάχους 1,5 cm). Η στρώση της συνθετικής άμμου καλύπτει και εδώ διάτρητο σωλήνα αποστράγγισης από PVC.



Διάτρητος σωλήνας αποστράγγισης

Η συσκευή φαίνεται στο Σχήμα 8. (Βλ. και τεύχος Οδηγιών Χρήσης/Operating Instructions, Eijkelkamp, 2005).

Το στρωματοποιημένο συνθετικό έδαφος των δύο στρώσεων που προαναφέρθηκαν, καλύπτεται και εδώ από υφασμάτινο φίλτρο. Η άριστη επαφή του με το στρώμα του καολινίτη καθίσταται απαραίτητη πριν από την αρχική χρήση της συσκευής. Σημειωτέον ακόμη ότι πάνω από το υφασμάτινο φίλτρο έχει δημιουργηθεί στρώμα νερού ύψους 1 cm. Αρχικά τα δείγματα εδάφους σε ειδικούς μεταλλικούς δακτυλίους (εσωτερική διάμετρος 5 cm και ύψος 5 cm), τοποθετούνται πάνω στο υφασμάτινο φίλτρο προκειμένου να κορεστούν και στη συνέχεια να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Σε αυτή τη συσκευή για την επιβολή των μυζήσεων στα εδαφικά δείγματα, υπάρχει μία ηλεκτρική αντλία.



Σχήμα 8 Γενική διάταξη της συσκευής

1. Κιβώτιο	2. Στήριγμα Κιβωτίου	3. Καπάκι
4. Σωλήνας αποστράγγισης	5. Δοχείο κενού αέρα	6. Καπάκι δοχείου κενού αέρα
7. Αντλία	8. Αισθητήρας Πίεσης	9. Ρυθμιστική βαλβίδα

10. Οθόνη 13.Εδαφικά δείγματα	11. Διακόπτης λειτουργίας συσκευής	12. Διακόπτης αντλίας
----------------------------------	------------------------------------	-----------------------

Λεπτομέρειες προετοιμασίας συσκευής

Αρχικά τοποθετείται η συσκευή πάνω στον εργαστηριακό πάγκο, με τη βάνα Α στραμμένη σε ορατή κατεύθυνση. Στη συνέχεια, το δοχείο κενού αέρα που περιλαμβάνει την αντλία, εδράζεται εξ αριστερών του κιβώτιου και η αντλία τροφοδοτείται από πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που δίνει τάση 220-230 Volts. Δίνεται προσοχή προκειμένου όλες οι βάνες της συσκευής (A, B, C, D) να είναι αρχικά κλειστές. Πριν συναρμολογηθεί η συσκευή, ο σωλήνας αποστράγγισης μέσα στο κιβώτιο πρέπει να καλυφθεί με υφασμάτινο φίλτρο. Για την εφαρμογή του υφάσματος στο σωλήνα γίνονται τα εξής: Αρχικά κόβεται ένα τμήμα υφάσματος μήκους 3,5 μέτρων από το χορηγούμενο ρολό. Στη συνέχεια κόβεται η μια πλευρά του παραπάνω υφάσματος ώστε να δημιουργηθεί ενιαίο κομμάτι πλάτους 12 cm. Για να περιτυλιχθεί ο σωλήνας κόβεται ένα τμήμα μήκους 10 cm σε κάθε άκρη του ρολού ώστε να σχηματιστούν δύο σύνδεσμοι. Διαποτίζεται το υφασμάτινο φίλτρο σε νερό απαλλαγμένο από άλατα (απιονισμένο). Δένεται το υφασμάτινο φίλτρο στο ένα άκρο του σωλήνα αποστράγγισης που εισέρχεται στο εσωτερικό του κιβωτίου της συσκευής. Τυλίγεται το υφασμάτινο φίλτρο γύρω από τον σωλήνα αποστράγγισης ώστε κάθε διαδοχικό τύλιγμα να καλύπτει τα 2/3 περίπου του πλάτους του προηγούμενου. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο σωλήνας θα καλυφθεί σε όλο του το μήκος από 3 στρώσεις υφασμάτινου φίλτρου (Φώτο 6).



Φώτο 6 Κάλυψη του διάτρητου σωλήνα αποστράγγισης με υφασμάτινο φίλτρο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

1. Γεμίζω την αντλία (Vacuum Vessel) με εξαερισμένο με βρασμό νερό.
2. Ανοίγω την βάνα A (Tap A) στην παροχή (supply)μέχρι το νερό να σκεπάσει τον σωλήνα στράγγισης (drainage pipe).
3. Συνεχίζω να γεμίζω την αντλία (Vacuum Vessel) .
4. Όταν σκεπαστεί όλος ο στραγγιστικός σωλήνας (Drainage pipe) γυρνάω την βάνα A (tap A) στην θέση κλεισίματος (closed) .
Αφού έχω ελέγξει το σωληνάκι επικοινωνίας για να μην υπάρχουν φυσαλίδες .
5. Γεμίζω το κουτί (box) μέχρι τη μέση με εξαερισμένο νερό . Δεν ξεχνάω να ανανεώνω την αντλία (Vacuum Vessel) με εξαερισμένο νερό ώστε πάντα η στάθμη στην αντλία (Vacuum Vessel) να είναι υψηλότερη από αυτή στο κουτί (box).
6. Ανοίγω την βάνα D (tap D) ώστε να τρέξει λίγο νερό από το κουτί (box) και να φύγουν και οι τελευταίες φυσαλίδες.
7. Έχω όλες τις βάνες (tap A,B,C,D) κλειστές και κλείνω την αντλία (Vacuum Vessel) σφιχτά .
8. Γυρνάω σε θέση λειτουργίας (Power on) . Αναβοσβήνει το κόκκινο φωτάκι και έτσι καταλαβαίνω ότι είναι σε λειτουργία και βρίσκομαι στο μενού 1(Menu 1).



Φώτο Διακόπτες λειτουργίας της συσκευής

9. Πατάω το κουμπί περιήγησης (Scroll key) δυο φορές συνεχώς μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη AL τότε ρυθμίζω την παράμετρο σε -100 hPa πατώντας ανάλογα το πάνω η το κάτω κουμπί (Down η το Up key).
10. Όταν το ρυθμίσω ξαναπατάω 2 φορές το (Scroll key) ώστε να εμφανιστεί η ένδειξη (Proc) τότε και ανάβω την αντλία (Switch on the pump).
11. Η πίεση στην αντλία (Vacuum Vessel) αρχίζει να πέφτει μέχρι να φτάσει τα - 100 hPa όπου και ελάχιστο νερό περνάει από το (box) στο (Vacuum Vessel) με σκοπό να μην υπάρχει κάποια φυσαλίδα .
12. κλείνω την αντλία (turn the pump off)
13. (Power off)
14. Φτιάχνουμε την άμμο : προσθέτω σε κουβά σιγά -σιγά την άμμο μαζί με απιονισμένο και ανακατεύω καλά.
15. Ξεκινάω και προσθέτω την κορεσμένη άμμο στο κουτί (box) . Τοποθετώ σιγά –σιγά ώστε να πέφτει χωρίς να εγκλωβίζει αέρα , να δημιουργεί σβώλους και να διαλύεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια.
16. Προσπαθώ η άμμος να καλύψει όλο τον στραγγιστικό σωλήνα . Σταματάω να προσθέτω άμμο όταν το ύψος επιφάνεια άμμου – κορυφή (box) να είναι 8cm.
17. Ανοίγω την (tap D) για να φύγει η περίσσεια νερού
18. Θέλω η στάθμη του νερού να είναι 0,5 cm πάνω από την άμμο.
19. Ισοπεδώνω την άμμο καλά ώστε να είναι ομοιόμορφη χωρίς ανωμαλίες στην επιφάνεια της.
20. Αφήνω τη στρώση άμμου να ηρεμήσει για μία ώρα .
21. Στη συνέχεια φτιάχνω το μίγμα για την στρώση καολινίτη .
22. Στρώνω τον καολινίτη πάνω από την στρώση άμμου με ελάχιστο ύψος 1,5 cm.
23. Αφήνω τον καολινίτη να ηρεμίσει για όλο το βράδυ.
24. Ελέγχω για τυχόν ρωγμές η πιθανές φυσαλίδες . Στρώνω όσο μπορώ τον καολινίτη.
25. Ξεκινάω τη λειτουργία της αντλίας (Power on) .Αφού έχω κλειστές όλες τις βάννες (tap) .
26. Αναβοσβήνει κόκκινο φωτάκι και πατάω 2 φορές το (scroll key) μέχρις ότου εμφανιστεί το (AL) όπου και αλλάζω από -100 hPa σε -500 hPa .
27. Ανοίγω την αντλία (turn on the pump).
28. Μόλις φτάσει η πίεση στα -500 γυρνάω την βάννα (tap A) στην παροχή (Discharge) όπου και ξεκινάει η επικοινωνία . μεταξύ της αντλίας (Vacuum Vessel) και στο κουτί (box) .

29. Αφήνω την διαδικασία αυτή να γίνεται για δύο ώρες και ελέγχω το νερό πάνω από τον καολινίτη να παραμένει σταθερό στο 1 cm . Αν χρειαστεί προσθέτω βρασμένο απιονισμένο νερό ήρεμα στην επιφάνεια του καολινίτη .
30. Όταν η στάθμη στην αντλία (Vacuum Vessel) φτάσει στο μέγιστο (max) τότε γυρνάω την βάννα (tap A) στο (closed) , κλείνω την αντλία , ανοίγω την βάννα B (tap B) για να φύγει η πίεση και μετά ανοίγω την βάννα C (tap C) για να βγάλω την περίσσεια νερού . Αφαιρώ τόσο νερό ώστε η στάθμη να φτάσει στα 4 cm κάτω απτή κορυφή του κουτιού (box).
31. Ξανακλείνω την (tap B) και ξαναβάζω μπρος την αντλία και όταν φτάσει πάλι στα -500 hPa γυρνάω την (tap A) στην παροχή (Discharge).
32. Κάνω μερικές φορές (flush) δηλαδή κλείνω την (tap A) για μερικά λεπτά και ξαναγυρνάω στο (Discharge) με σκοπό να παρατηρώ τα σωληνάκια να μην έχουν κάποια φυσαλίδα .
33. Αφού έχω διαπιστώσει ότι όσο το δυνατόν δεν υπάρχει καμία φυσαλίδα κλείνω την αντλία και την (tap A). Σταματάω αφού το νερό είναι στο 1 cm πάνω από τον καολινίτη.
34. Κόβω ένα κομμάτι από το ύφασμα κατάλληλο για τη συσκευή σε διαστάσεις ίδιες με τις διαστάσεις του (box).
35. Τοποθετώ το ύφασμα στην επιφάνεια του καολινίτη και πιέζω ώστε να φύγουν οι φυσαλίδες αέρα ανάμεσα στη στρώση καολινίτη και υφάσματος.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

1. Κόβω το ύφασμα σε τετράγωνα κομμάτια με σκοπό την κάλυψη του κάτω μέρους των δειγμάτων.
2. Ζυγίζω τα δείγματα όπως είναι με τα καπάκια .
3. Ανοίγω τα δείγματα και τα λειαίνω και από τις δύο πλευρές για καλή επαφή . Αν υπάρχει κενό στην κάτω πλευρά αφαιρώ λίγο χώμα από πάνω και το προσθέτω από κάτω .
4. Βάζω τα πανάκια και τοποθετώ στο (box).

Κορεσμός εντός της συσκευής

Βάζουμε στα δείγματα στο κάτω μέρος το ειδικό πανάκι ώστε να περνάει το νερό αλλά να μην έχουμε απώλειες εδάφους, το σταθεροποιούμε με το δαχτυλίδι συγκράτησης (ο ring) στο κάτω μέρος του δείγματος. Τοποθετούμε τα δείγματα μέσα στην συσκευή επάνω από το στρώμα του καολινίτη.

Προσθέτουμε εξαερισμένο νερό στην συσκευή μέχρι ένα εκατοστό περίπου χαμηλότερα από το άνω χείλος του σιδερένιου κυλίνδρου του δείγματος και το αφήνουμε μέχρι να κορεστούν τα δείγματα.

MENU 2

1. Πατάμε το (Scroll key) μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη (OFFS) την οποία και ρυθμίζουμε στο -14 hPa ώστε να ισορροπήσει.
2. Ξαναπατάω το (Scroll key) μέχρι να πάμε στο (Filt) όπου και πατάω το (up key) και το (Down key) ταυτόχρονα μέχρι να σβήσει το κίτρινο φωτάκι του (Menu 2) και να έχω επανέλθει στο (Menu 1) όπου τώρα θα πρέπει να γράφει 0 (για την ένδειξη Proc).
3. Τότε είμαι έτοιμος να ρυθμίσω την πρώτη πίεση.
4. Πατάω το (Scroll key) μέχρι να φτάσω στην ένδειξη (AL) την οποία βάζω στο -10 από το -500 που ήταν πριν ξανάπαω στο (Proc).
5. Αφού έχω κλείσει όλες τις βάννες ανοίγω την αντλία μέχρι η πίεση μου να φτάσει την ρυθμιζόμενη -10 hPa (Pump on).
6. Όταν φτάσει γυρνάω την (tap A) από την θέση (Close) στην θέση (Discharge) και τότε αρχίζει η διαδικασία.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διαδικασία μετρήσεων είναι σταδιακή και ξεκινάει με την εφαρμογή της χαμηλότερης αρνητικής πίεσης και σταδιακά αυξάνεται μέχρι το μέγιστο βήμα πίεσης όπου επιτυγχάνεται η ισορροπία στο σύστημα (εμφάνιση φυσαλίδων αέρα στους σωλήνες). Οι μετρήσεις των βαρών σε κάθε βήμα γίνονται μέχρι να διαφέρει 0,001 ή μια μέτρηση από την προηγούμενη της. Τα βήματα πίεσης που εφαρμόστηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη στα δασικά εδάφη είναι στις εξής πιέσεις σε cm ύψους νερού 0 (κορεσμού), 10, 50, 100, 150, 200, 250, 330 cm (με την συσκευή sand kaolin sandbox) και εκτός από αυτές τις μετρήσεις έγιναν και υπολογισμοί και σε πιέσεις 1000, 2500, 15000 cm νερού.

ΛΗΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Με την λήξη των πειραματικών μετρήσεων τα δείγματα ζυγίζονται και μεταφέρονται στον φούρνο για 24 ώρες στους 105 °C . Μετά τον φούρνο ζυγίζονται τα δείγματα οι σιδερένιοι κύλινδροι τα πανάκια και τα (O-ring).

ΛΗΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

1. Αφαιρούμε το πανί από την συσκευή
2. Κατεβάζουμε την στάθμη του νερού από την αντλία στην θέση (close) η (tap A) – άνοιγμα της (tap B) πρώτα για εκτόνωση της πίεσης εντός του δοχείου της αντλίας και έπειτα άνοιγμα της (tap C) για αφαίρεση του νερού και πτώση της στάθμης του νερού .
3. Κλείσιμο στις (tap B, C) και λειτουργούμε την γεννήτρια στην τελευταία πίεση λειτουργίας .
4. Κλείσιμο της αντλίας πρόσθεση 2 liter απιονισμένου και βρασμένου νερού στο κουτί με τον καολινίτη και ισοπέδωση της επιφάνειας του καολινίτη και γυρνώντας την βάνα από την θέση (closed) στην θέση (supply) .
5. Διατηρείται πάντα στάθμη νερού μέσα στο κουτί.
6. Πρέπει πριν την επαναλειτουργία της συσκευής πρέπει να εφαρμοστεί μια πίεση χωρίς δείγματα μέσα στο (sand kaolin box).

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

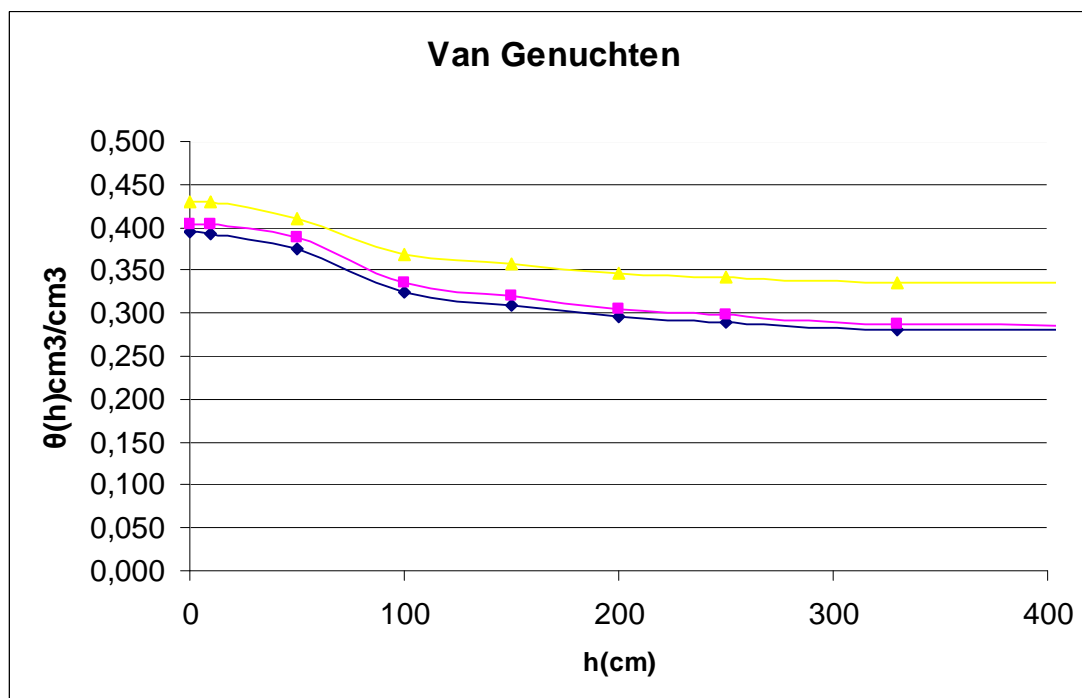
Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι 27 στον αριθμό και παραλήφθηκαν από το ινστιτούτο δασικών ερευνών . Τα δείγματα που παραλήφθηκαν ήταν αδιατάρακτα σε σιδερένιους κυλίνδρους διαμέτρου 5cm και ύψος 5cm με πλαστικά καπάκια .

αριθμός δείγματος	δάσος	έδαφος	βάθος
1 έως 3	δρυς	loam	0-20cm
4 έως 6	δρυς	loam	20-40cm
7 έως 9	δρυς	loam	40-80cm
10 έως 12	οξιά	silt loam	0-20cm
13 έως 15	οξιά	silt loam	20-40cm
16 έως 18	οξιά	silt loam	40-80cm
19 έως 21	ελάτη	clay loam	0-20cm
22 έως 24	ελάτη	clay loam	20-40cm
25 έως 27	ελάτη	clay loam	40-80cm

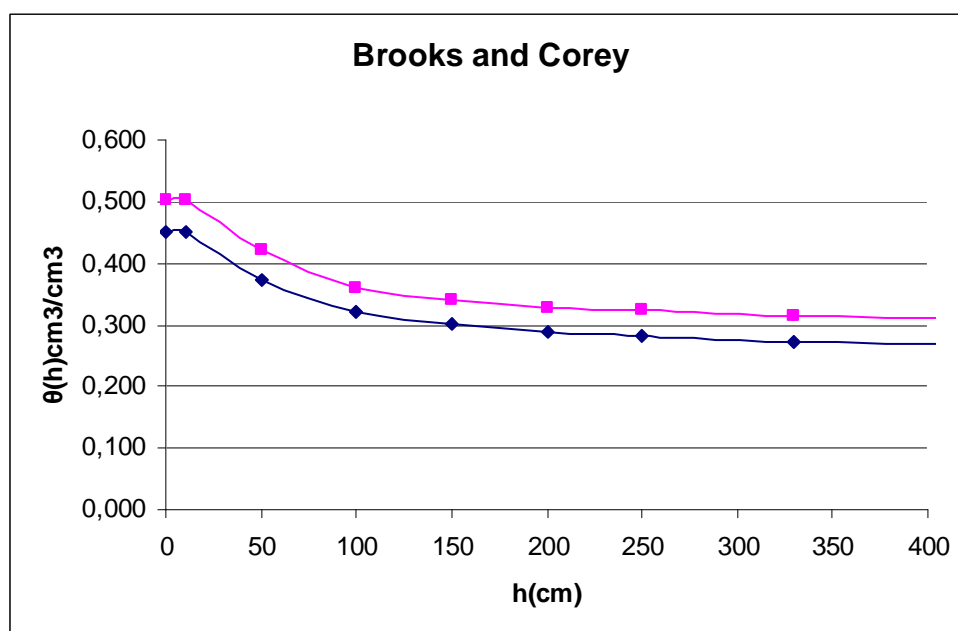
Να σημειωθεί ότι και στα 27 δείγματα υπολογίστηκαν ταυτόχρονα οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας στο sand kaolin box και αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα της ότι μπορούν να μετρηθούν πολλά δείγματα στην ίδια συσκευή . Επίσης είναι ένα μηχάνημα που λειτουργεί μόνο με μόνιμη υποβοήθηση του ηλεκτρικού ρεύματος δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη εγκατάσταση πιεστικού ή ακτινοβολίας καθώς την πίεση την ασκεί μια αντλία που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα . Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της συσκευής είναι ότι είναι πολύ δύσκολο έως απίθανο να εφαρμοστεί η μέγιστη αρνητική πίεση τα - 500cm ύψους νερού λόγω έλλειψης της υδραυλικής συνέχειας (ύπαρξη φυσαλίδων αέρα στο σύστημα) . Επίσης η διατήρηση της πίεσης σε κάθε βήμα είναι δύσκολο να διατηρηθεί ακριβώς η ίδια γιατί συνήθως για κάποιο χρονικό διάστημα είναι λίγο παραπάνω απο την πίεση του βήματος (ο ρυθμιστής πίεσης της αντλίας ρυθμίζει την πίεση ώστε να μην κατέβει κάτω από το επιθυμητό όριο).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχεδιαγράμματα 1 και 2 όπου απεικονίζουν τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας κατά Van Genuchten και Brooks and Corey.



Σχεδιάγραμμα 1 μέσος όρος δειγμάτων clay loam δείγματα 23-27 (κίτρινη γραμμή) , μέσος όρος δειγμάτων silt loam 10-18 (κόκκινη γραμμή), μέσος όρος δειγμάτων loam δείγματα 1,3,5,6,8,9 (μπλε γραμμή).



Σχεδιάγραμμα 2 μέσος όρος δειγμάτων clay loam δείγματα 19-22 (κόκκινη γραμμή), μέσος όρος δειγμάτων loam δείγματα 2,4,7.

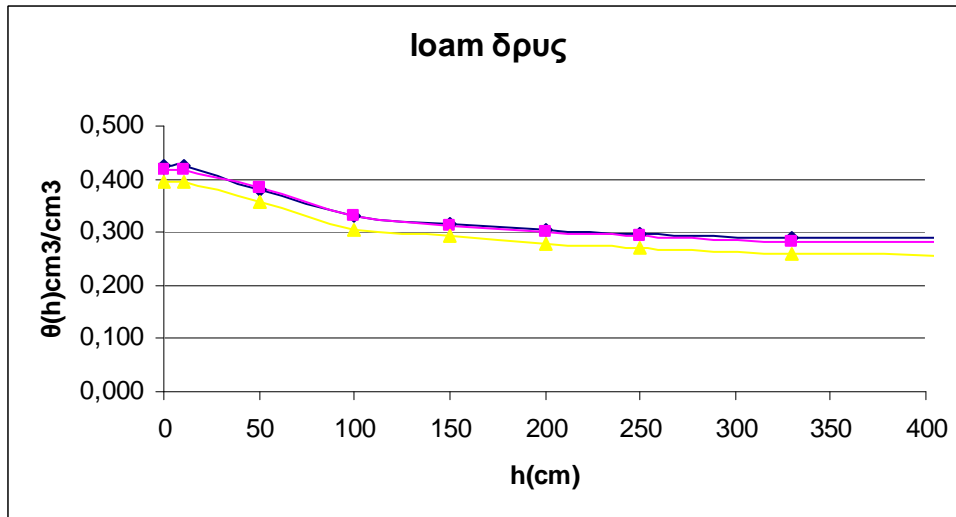
Όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 1 η χαρακτηριστική καμπύλη των clay loam δειγμάτων (κίτρινη γραμμή) ξεχωρίζει γιατί τα αργιλώδη εδάφη έχουν αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού σε αντίθεση με τα silt loam και τα loam (κόκκινη και μπλε γραμμή), που είναι πηλώδη εδάφη και βρίσκονται πιο κοντά οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τους.

Στο σχεδιάγραμμα 2 ισχύει το ίδιο και για τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας που περιγράφηκαν με την μέθοδο των Brooks and Corey. Τα clay loam διαφέρουν πάλι από τα loam εξαιτίας της αυξημένης ικανότητας συγκράτησης νερού που έχουν τα αργιλώδη εδάφη σε σχέση με τα πηλώδη.

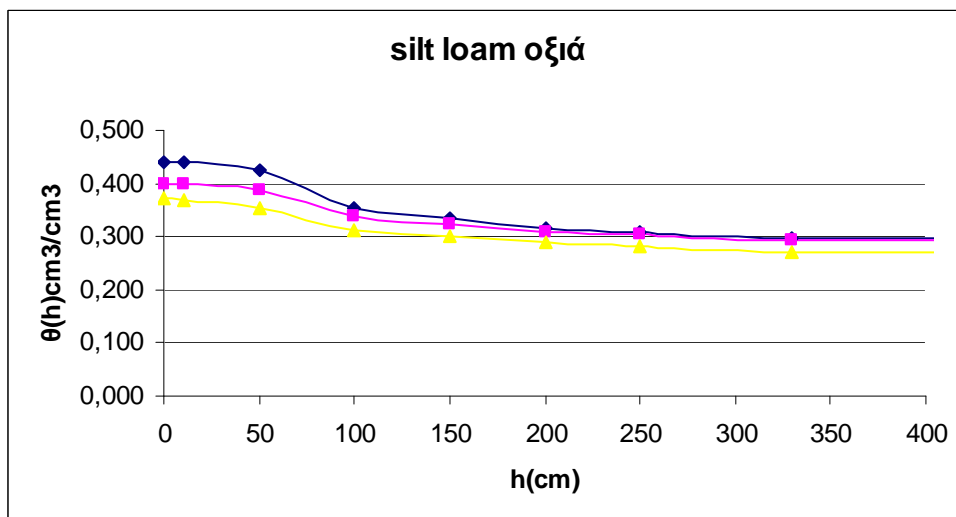
Η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας ενός εδάφους έχει τις περισσότερες φορές σιγμοειδή μορφή και αυτό οφείλεται στην συμπεριφορά του πορώδους του εδάφους. Στην αρχή σε μικρά βήματα πίεσης απομακρύνεται από το έδαφος νερό που αντιστοιχεί στην μεταβολή του σχήματος των μηνίσκων που είναι πολύ μικρή ποσότητα. Σε επόμενα βήματα πίεσης ισχύει ότι οι πόροι με τις μεγαλύτερες στενώσεις αδειάζουν πρώτοι σε μικρές τιμές αρνητικής πίεσης, για να ακολουθηθούν από άλλους με μικρότερες στενώσεις που μπορούν να διατηρήσουν μηνίσκους με μικρές σχετικά ακτίνες καμπυλότητας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

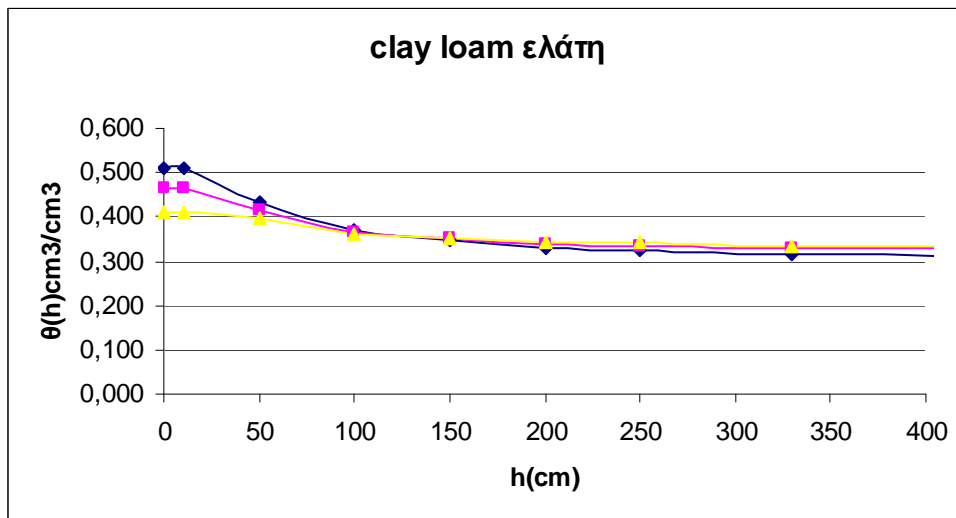
Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχεδιαγράμματα όπου απεικονίζουν τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας κατά είδος εδάφους και κατά είδος δάσους. Επίσης παρουσιάζονται σχεδιαγράμματα της υδραυλικής αγωγιμότητας .



Σχεδιάγραμμα 3 μέσος όρος δειγμάτων 1-3 (μπλε γραμμή) βάθος 0-20cm, δείγματα 4-6 (κόκκινη γραμμή) από βάθος 20-40 cm και δείγματα 7-9 (κίτρινη γραμμή) από βάθος 40-80cm.



Σχεδιάγραμμα 4 μέσος όρος δειγμάτων 10-12 (μπλε γραμμή) βάθος 0-20cm, δείγματα 13-15 (κόκκινη γραμμή) από βάθος 20-40 cm και δείγματα 16-18 (κίτρινη γραμμή) από βάθος 40-80cm.



Σχεδιάγραμμα 5 μέσος όρος δειγμάτων 19-21 (μπλε γραμμή) βάθος 0-20cm, δείγματα 22-24 (κόκκινη γραμμή) από βάθος 20-40 cm και δείγματα 25-27 (κίτρινη γραμμή) από βάθος 40-80cm.

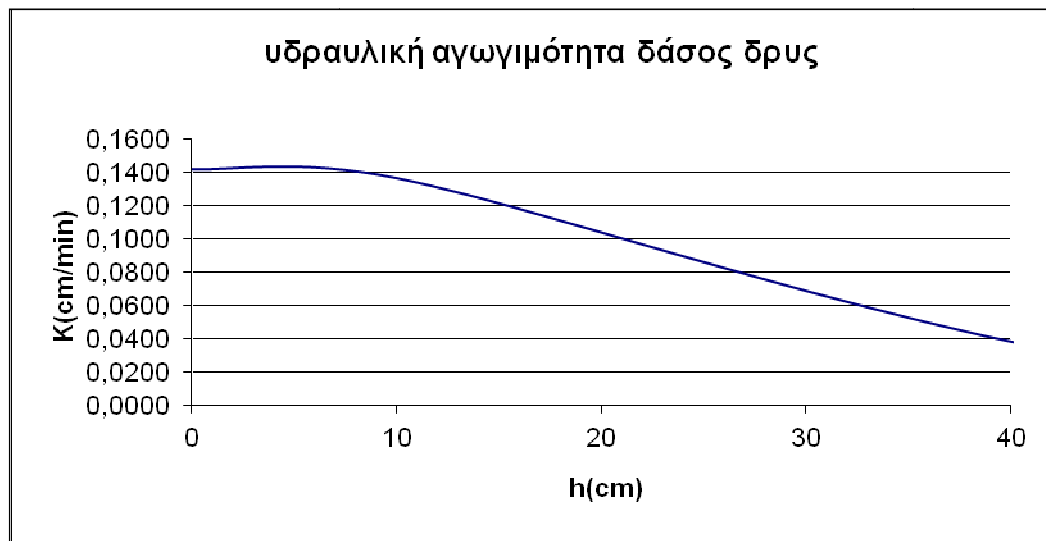
Από τα σχεδιαγράμματα 3,4,5 παρατηρούμε ότι και για τα τρία είδη εδαφών loam, silt loam, clay loam συνεπώς και τα τρία είδη δασών, οι κατώτερες στρώσεις εδάφους εμφανίζουν μικρότερη ικανότητα συγκράτησης του νερού από τις ανώτερες αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ύπαρξης οργανικής ουσίας στις ανώτερες στρώσεις.

Από τα σχεδιαγράμματα και τους πίνακες του παραρτήματος συμπεραίνουμε επίσης ότι το δάσος δρυς ξεκινάει με εδαφική υγρασία θ 0,412 cm³/cm³ και φτάνει σε πίεση -330 cm σε εδαφική υγρασία 0,277 cm³/cm³ δηλαδή έχασε 0,135 cm³/cm³ από την υγρασία του.

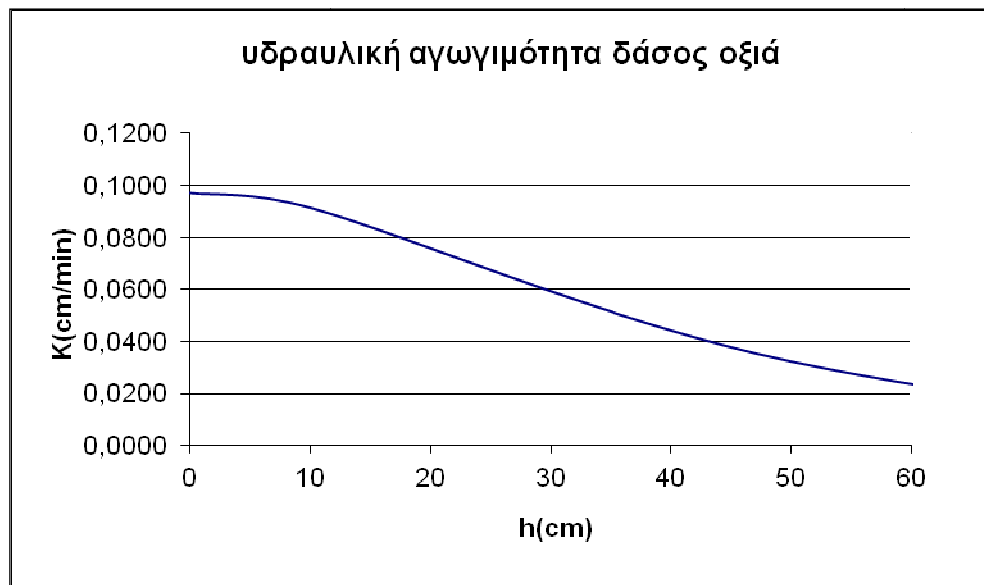
Αντίστοιχα συμπεραίνουμε για το δάσος οξιάς ότι ξεκινάει με εδαφική υγρασία θ 0,403 cm³/cm³ και φτάνει σε πίεση -330 cm σε εδαφική υγρασία 0,287 cm³/cm³ δηλαδή έχασε 0,116 cm³/cm³ από την υγρασία του.

Τέλος συμπεραίνουμε για το δάσος ελάτης ότι ξεκινάει με εδαφική υγρασία θ 0,462 cm³/cm³ και φτάνει σε πίεση -330 cm σε εδαφική υγρασία 0,327 cm³/cm³ δηλαδή έχασε 0,136 cm³/cm³ από την υγρασία του.

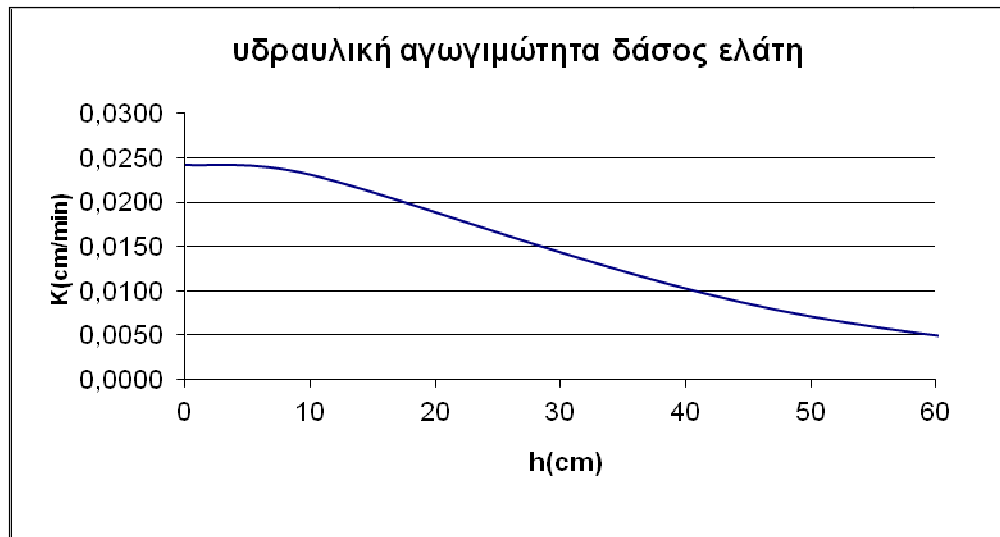
Για την υδραυλική αγωγιμότητα έχουμε :



Σχεδιάγραμμα 6 δείγματα 1- 9.



Σχεδιάγραμμα 7 δείγματα 10-18 .



Σχεδιάγραμμα 8 δείγματα 19-27.

Όσον αφορά τις προβλέψεις της υδραυλικής αγωγιμότητας παρατηρούμε στο σχεδιάγραμμα 6 για το δάσος δρυς ότι ξεκινάει από υδραυλική αγωγιμότητα 0,1422 cm/min. Για το δάσος οξιάς στο σχεδ. 7 η υδραυλική αγωγιμότητα ξεκινάει από 0,097 cm/min. Τέλος για το δάσος ελάτης στο σχεδ. 8 η υδραυλική αγωγιμότητα ξεκινάει από 0,0242 cm/min.

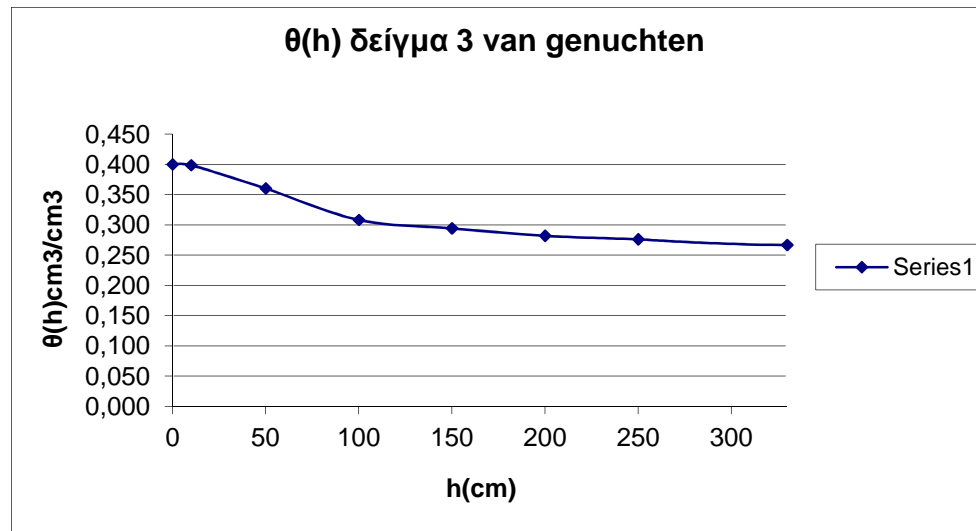
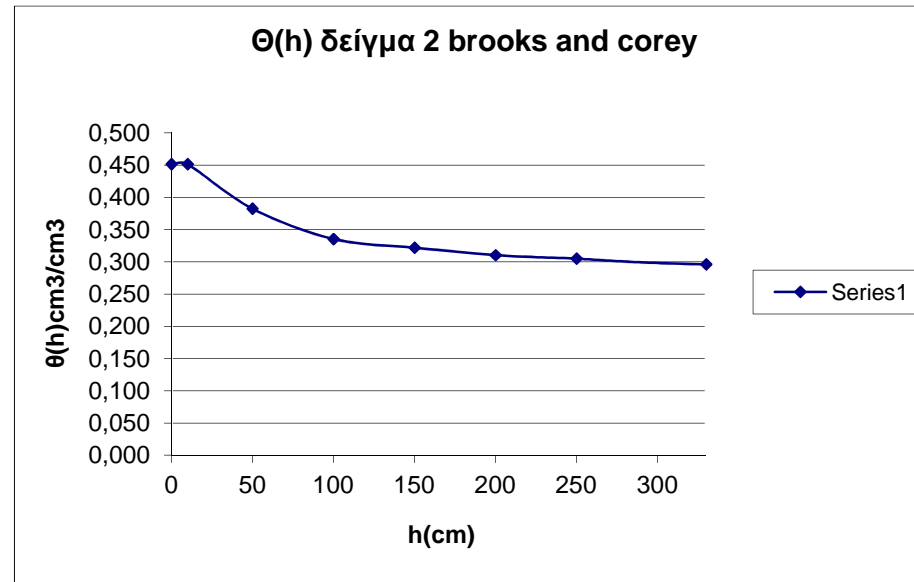
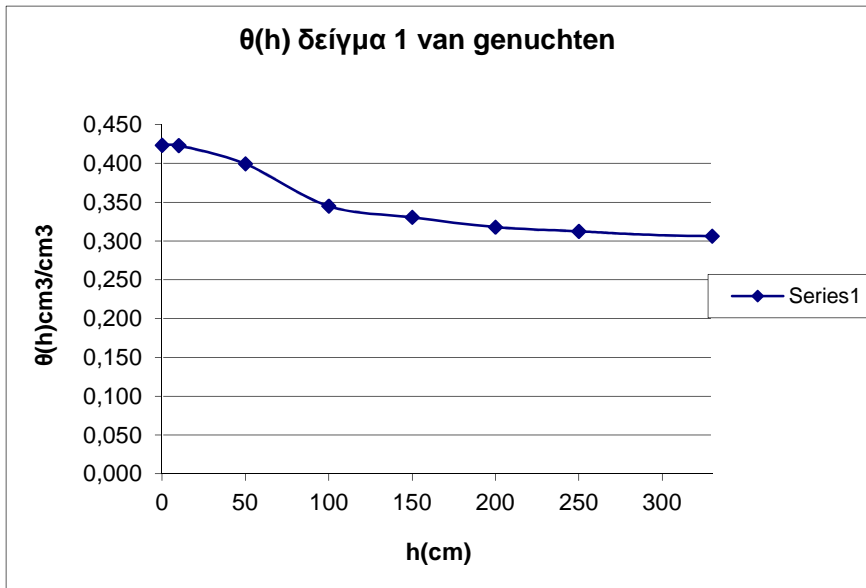
Τα μετρημένα ks είναι :

αρ.δείγμ.	1	2	3	7	9	10	11
ks (cm/min)	0,098	0,682	0,217	0,178	0,031	0,019	0,400

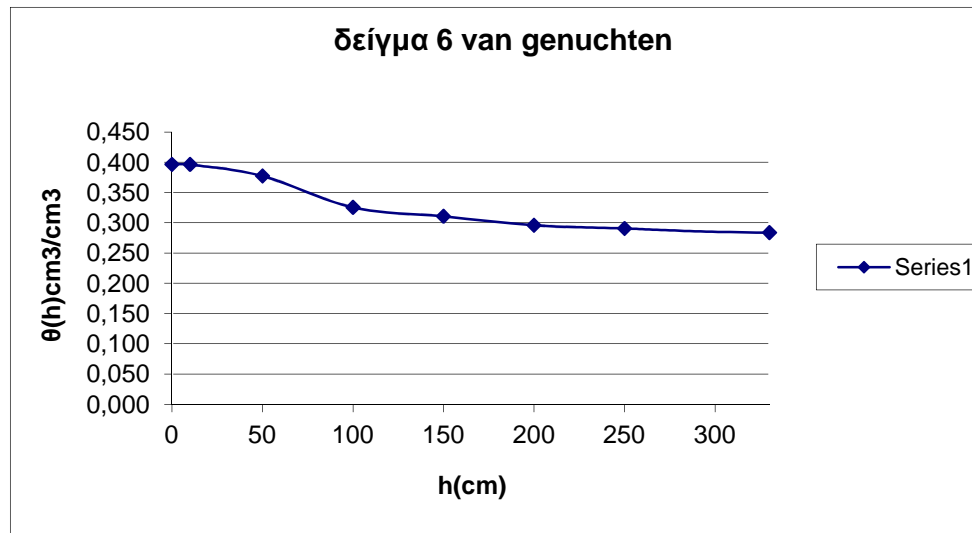
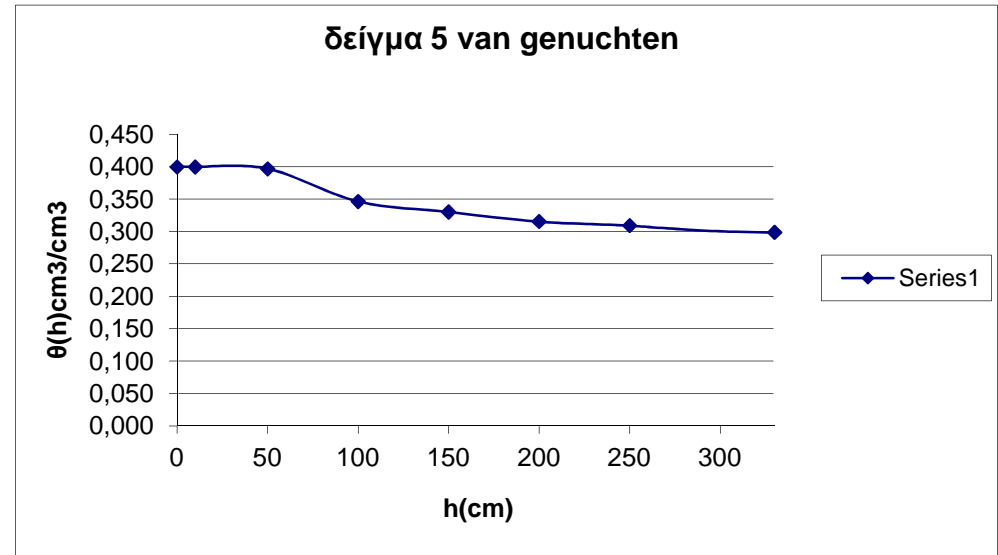
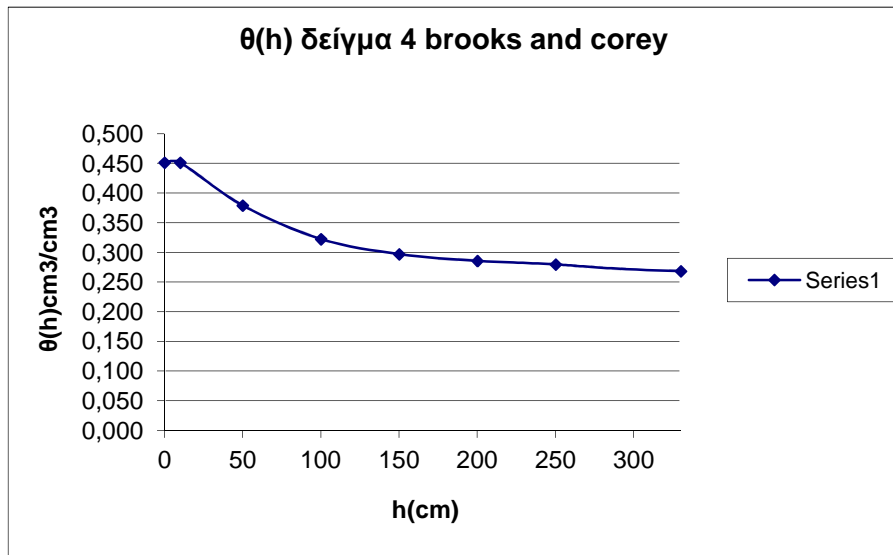
αρ.δείγμ.	12	13	16	17	18	24	27
ks (cm/min)	0,079	0,035	0,296	0,019	0,01	0,136	0,054

Ακολουθεί το παράρτημα με τα σχεδιαγράμματα και τους πίνακες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

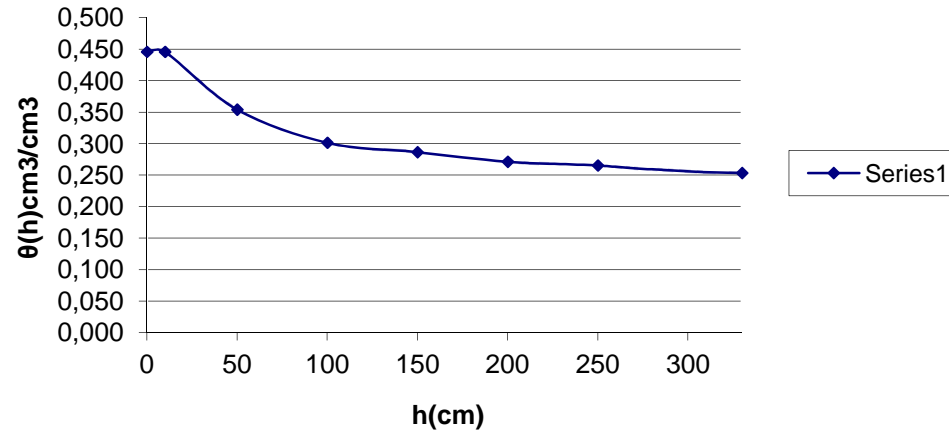


Δείγματα 1-3 από δάσος δρυς , κλάση βάθους 0-20 cm , είδος εδάφους Loam .

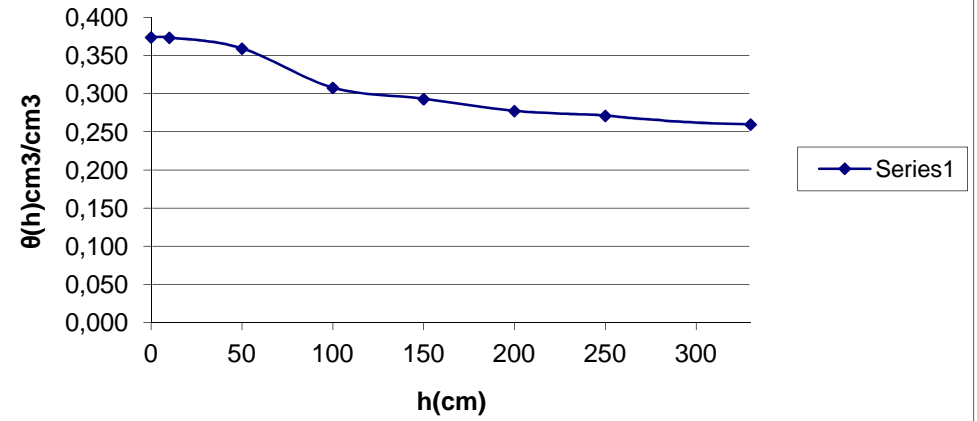


Δείγματα 4-6 από δάσος δρυς , κλάση βάθους 20-40 cm , είδος εδάφους Loam.

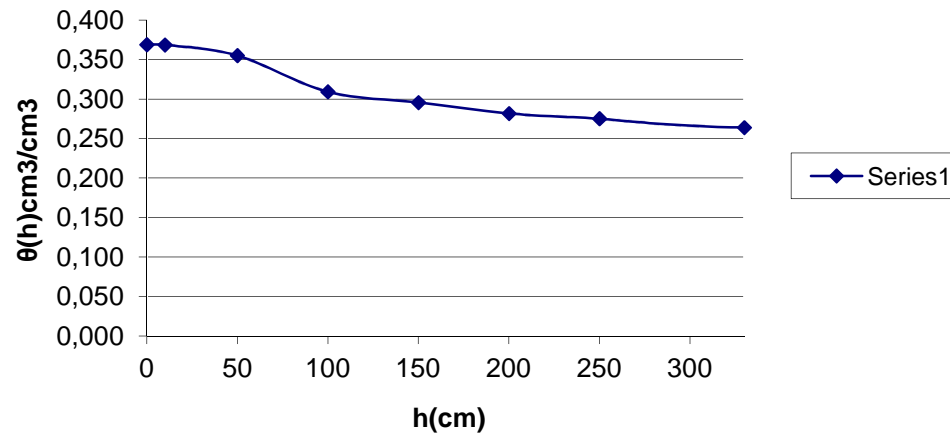
δείγμα 7 brooks and corey



δείγμα 8 van genuchten

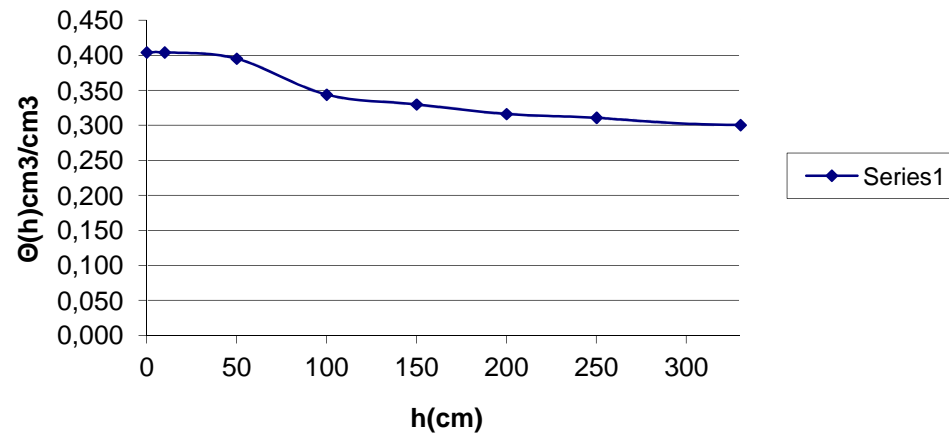


δείγμα 9 van genuchten

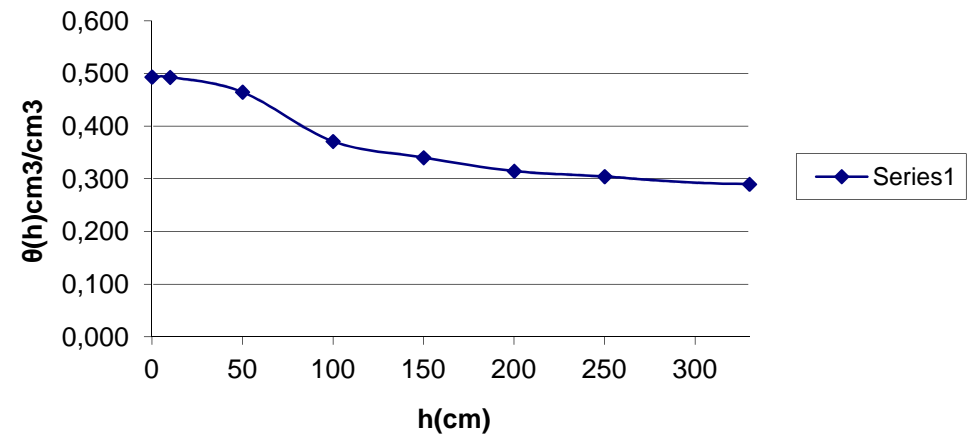


Δείγματα 7-9 από δάσος δρυς , κλάση βάθους 40-80 cm , είδος εδάφους Loam.

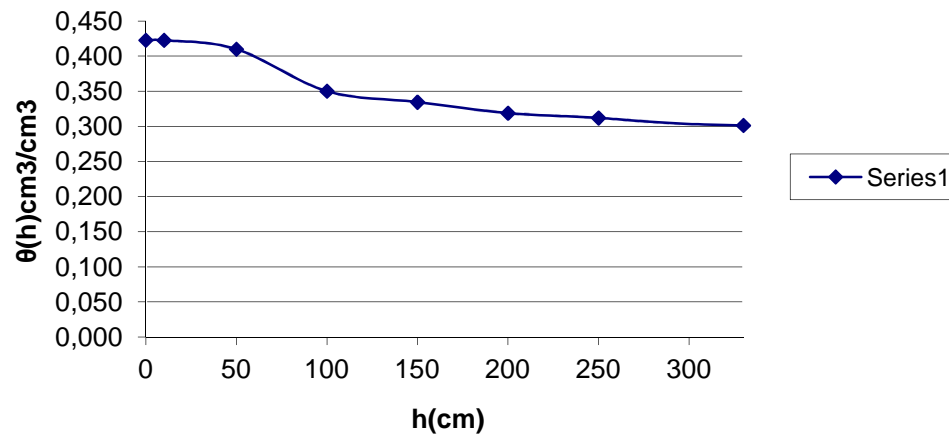
δείγμα 10 van genuchten



δείγμα 11 van genuchten

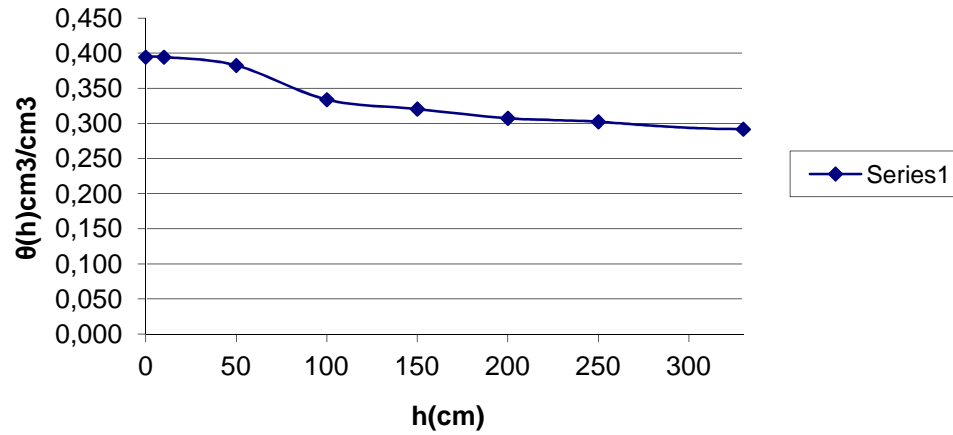


δείγμα 12 van genuchten

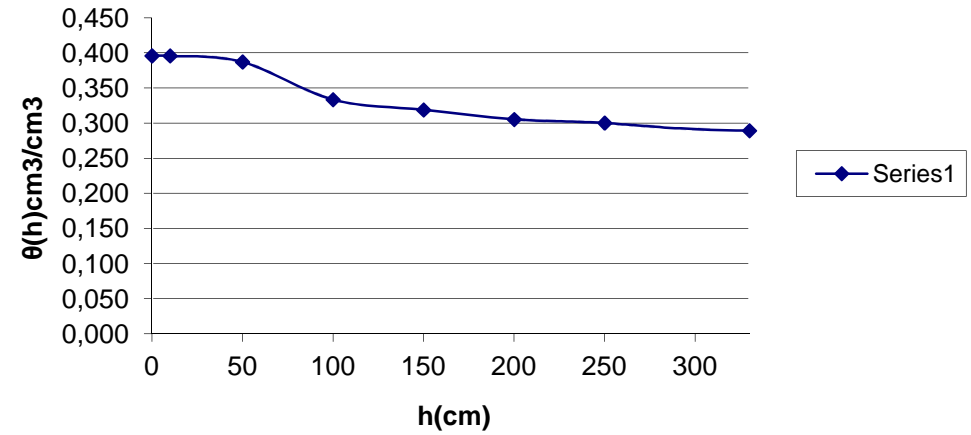


Δείγματα 10-12 από δάσος οξιάς , κλάση βάθους 0-20 cm , είδος εδάφους Silt Loam.

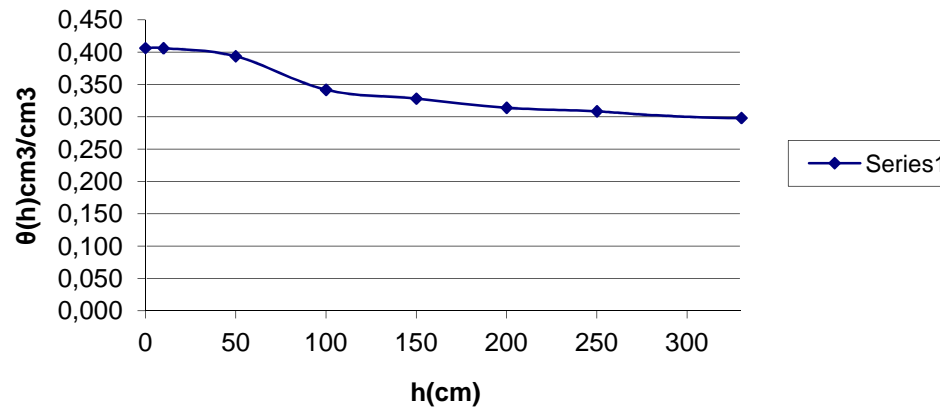
Δείγμα 13 van genuchten



Δείγμα 14 van genuchten

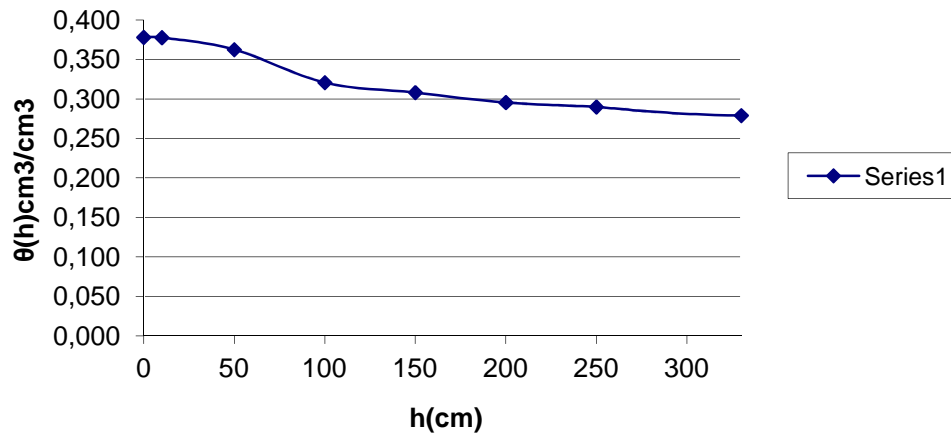


Δείγμα 15 van genuchten

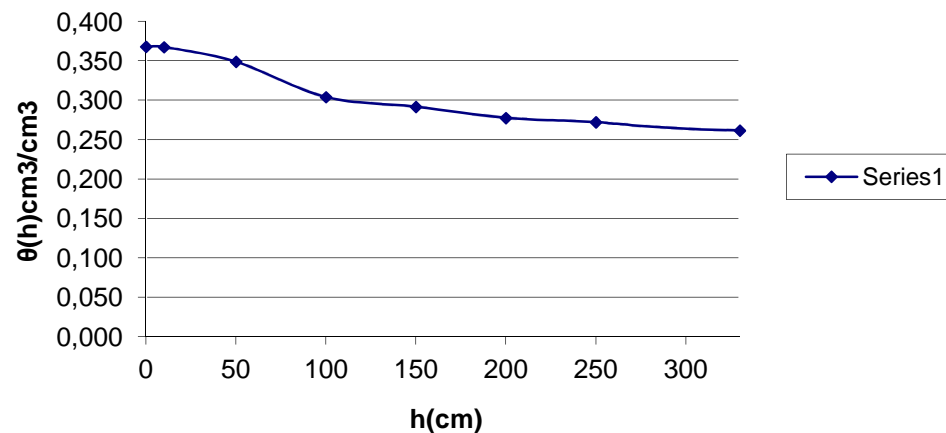


Δείγματα 13-15 από δάσος οξιάς , κλάση βάθους 20-40 cm , είδος εδάφους Silt Loam.

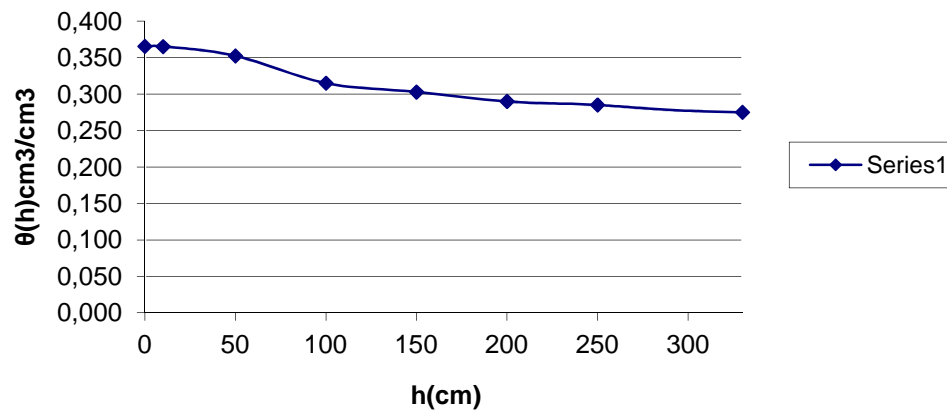
Δείγμα 16 van genuchten



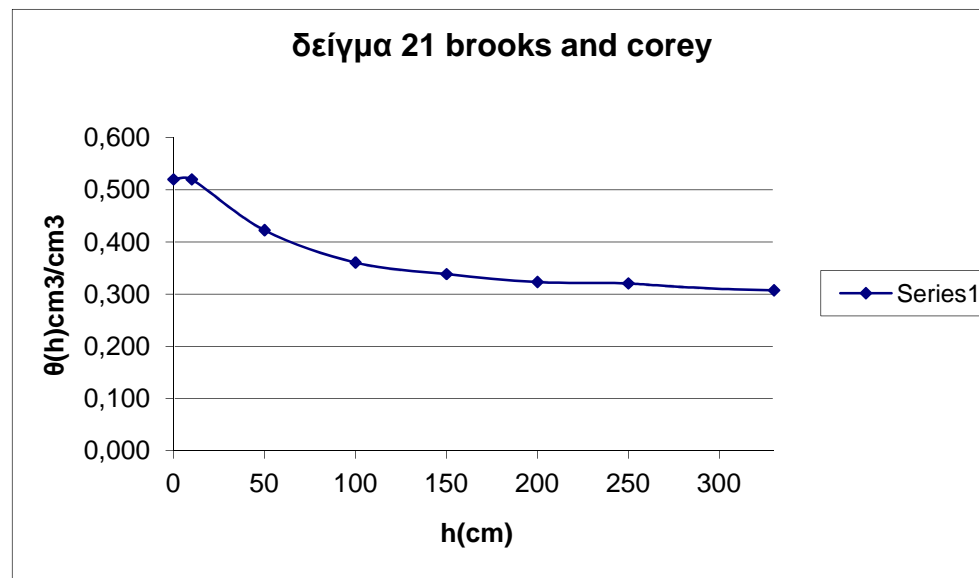
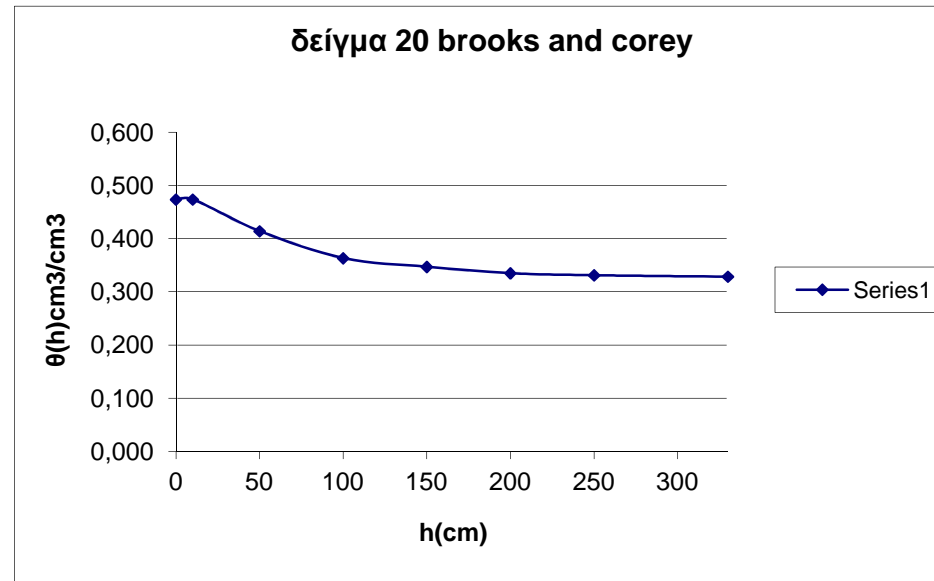
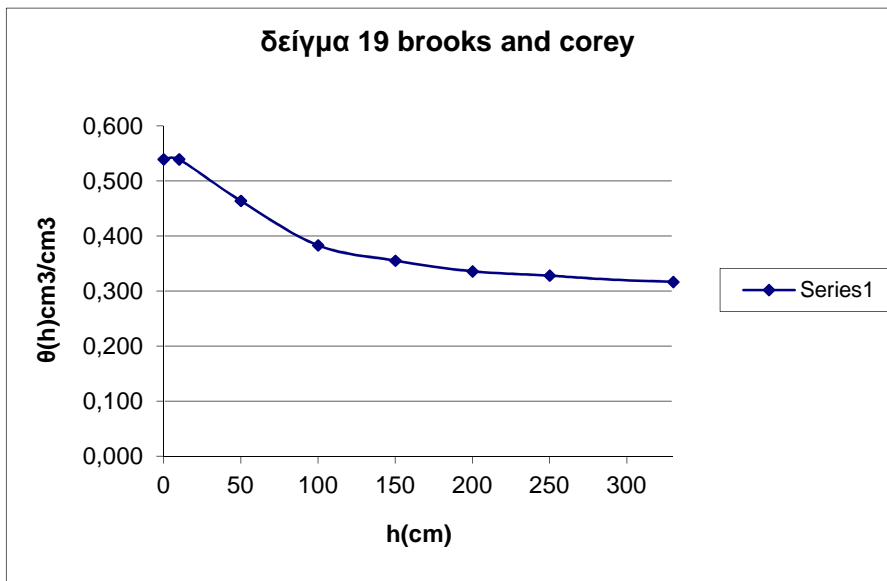
Δείγμα 17 van genuchten



Δείγμα 18 van genuchten

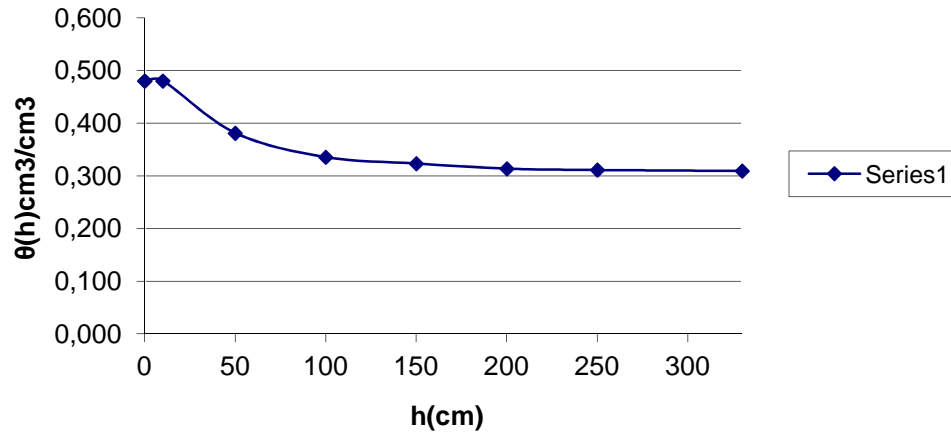


Δείγματα 16-18 από δάσος οξιάς , κλάση βάθους 40-80 cm , είδος εδάφους Silt Loam.

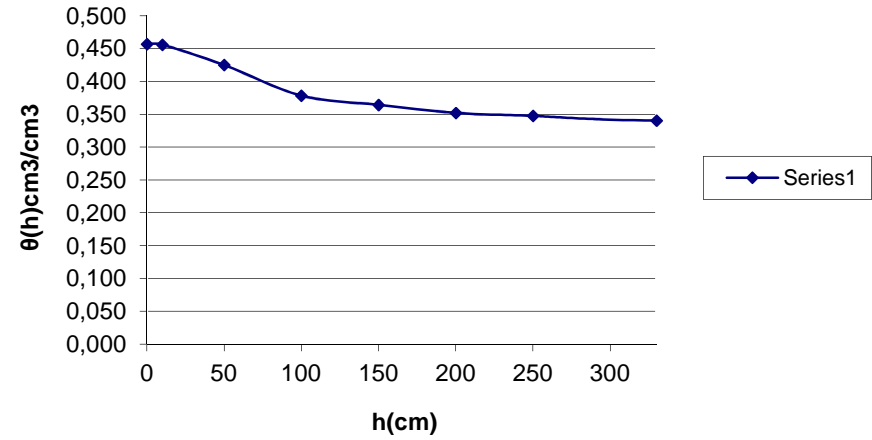


Δείγματα 19-21 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 0-20 cm , είδος εδάφους Clay Loam.

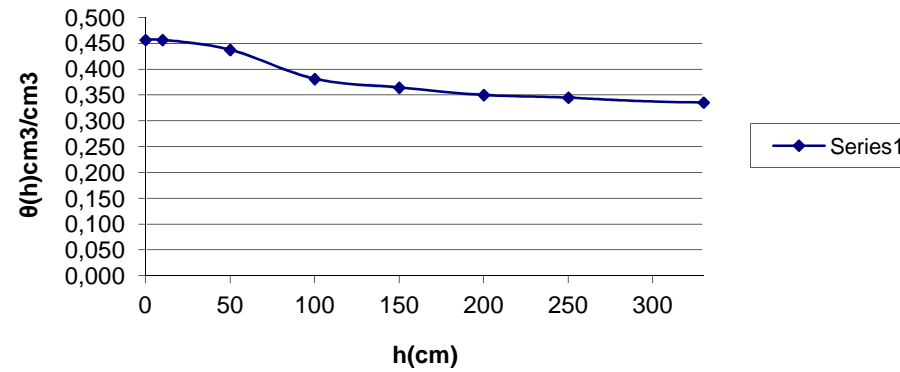
δείγμα 22 brooks and corey



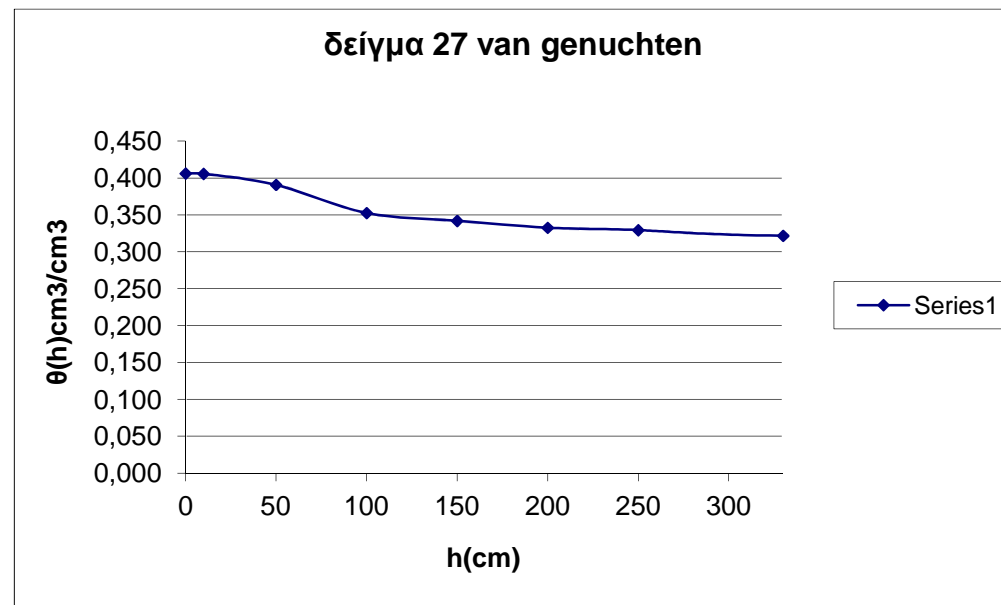
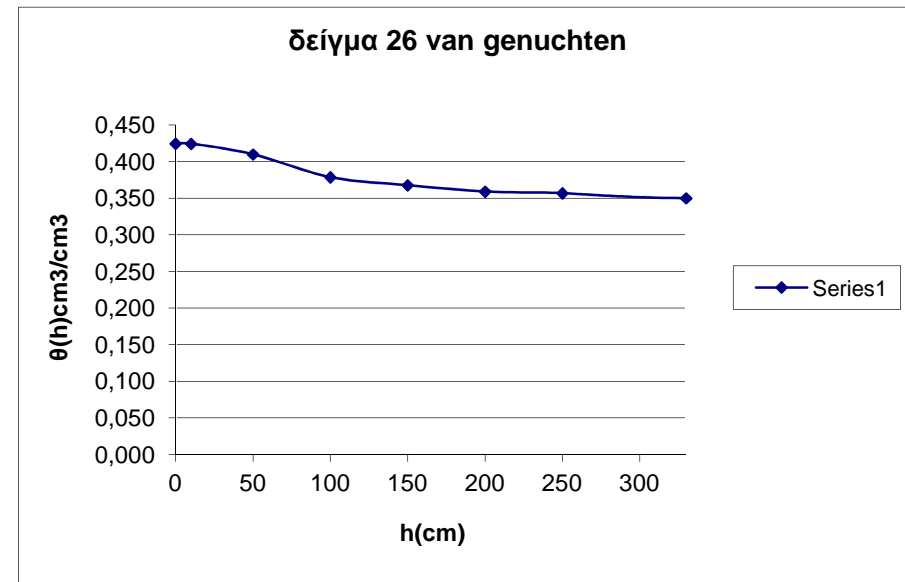
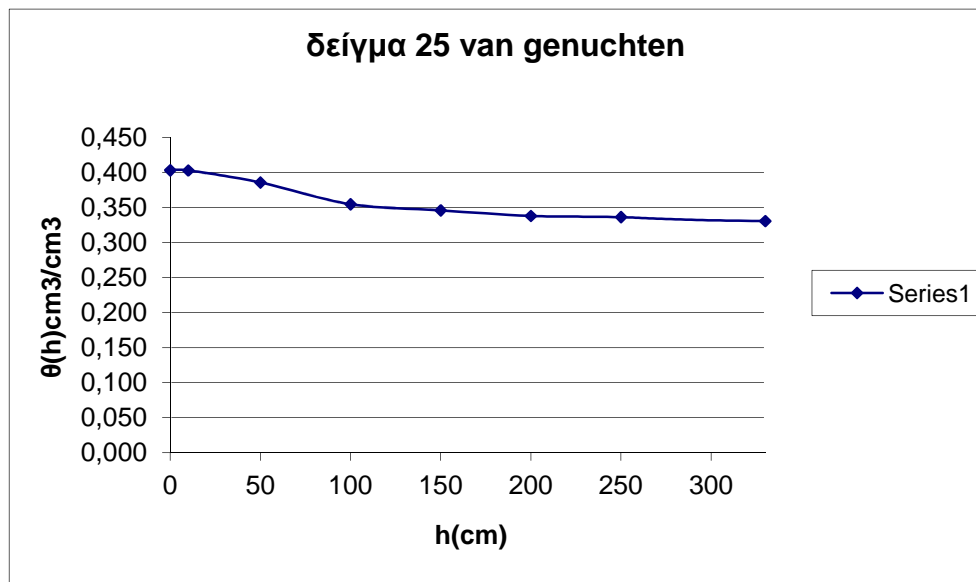
δείγμα 23 van genuchten



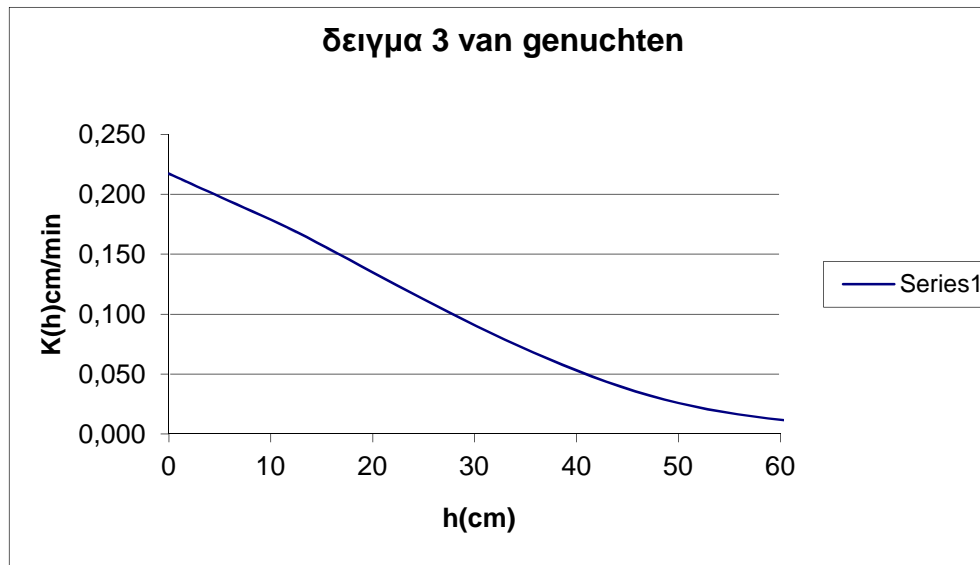
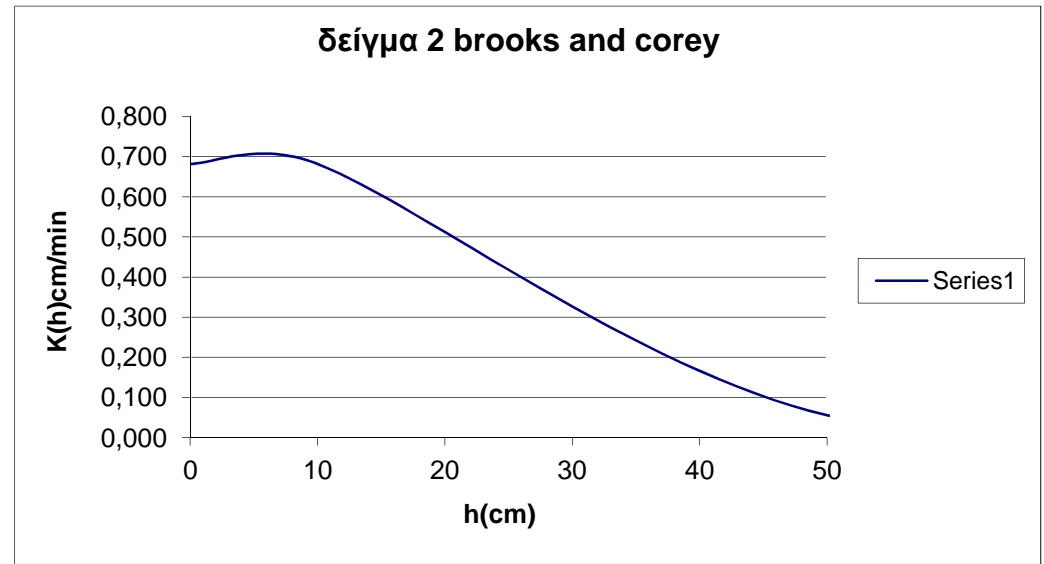
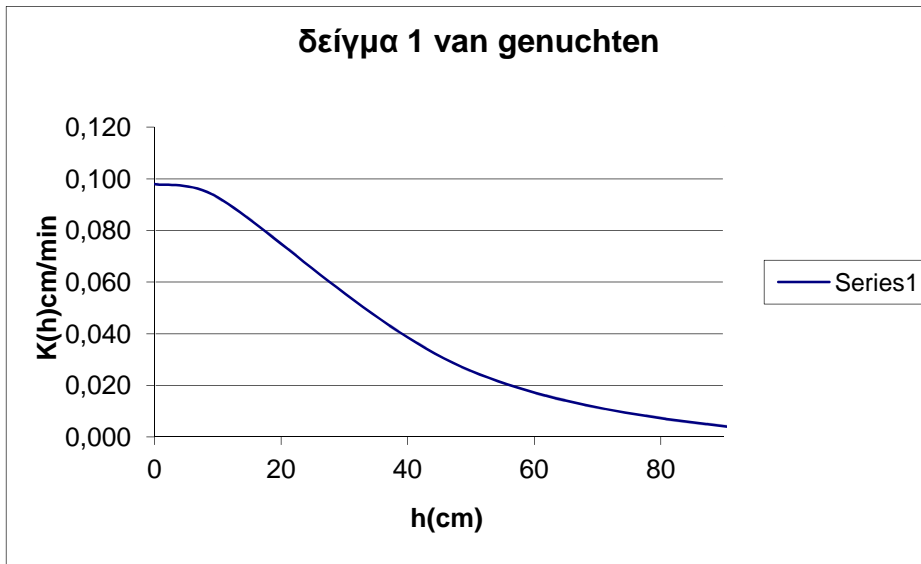
δείγμα 24 van genuchten



Δείγματα 22-24 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 20-40 cm , είδος εδάφους Clay Loam.

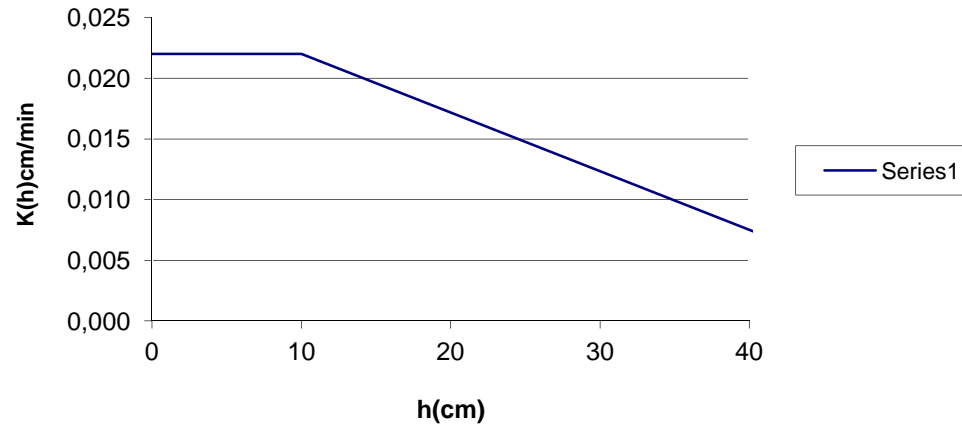


Δείγματα 25-27 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 40-80 cm , είδος εδάφους Clay Loam.

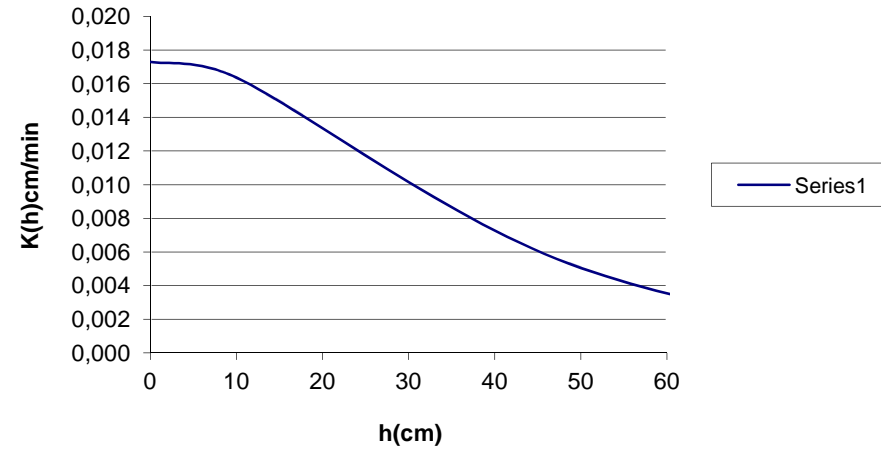


Δείγματα 1-3 από δάσος δρυς , κλάση βάθους 0-20 cm , είδος εδάφους Loam .

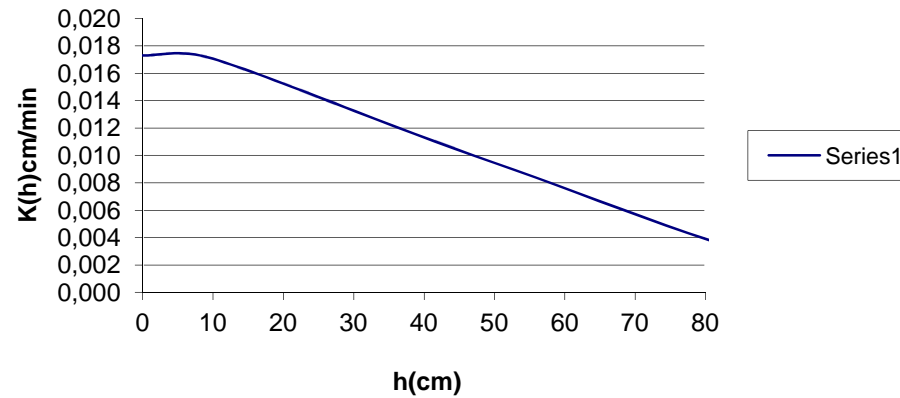
δείγμα 4 brooks and corey



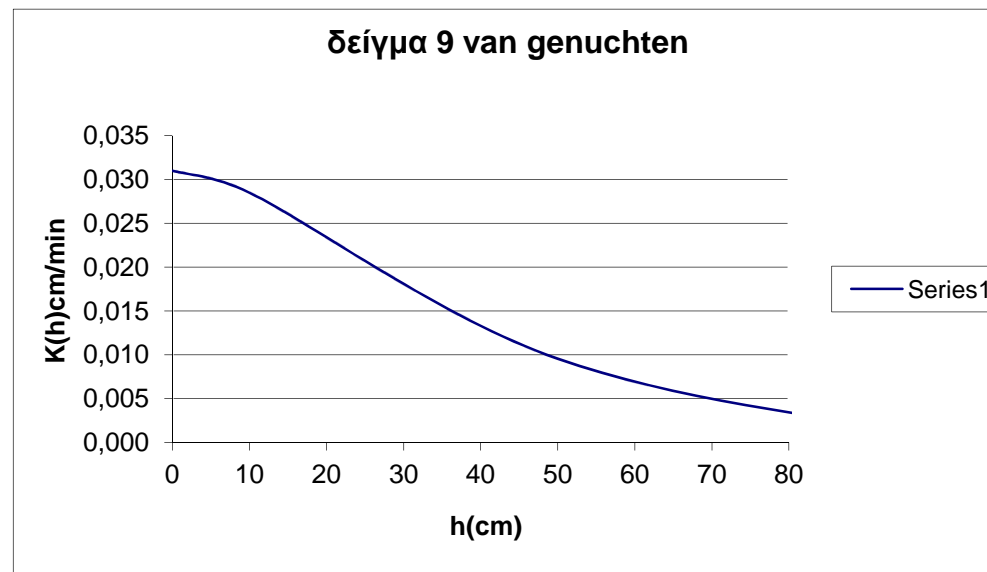
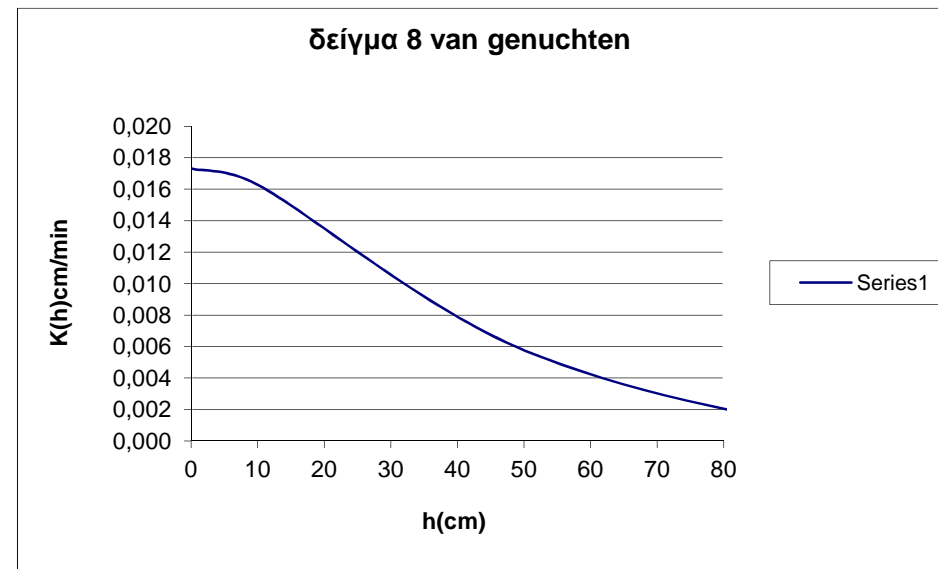
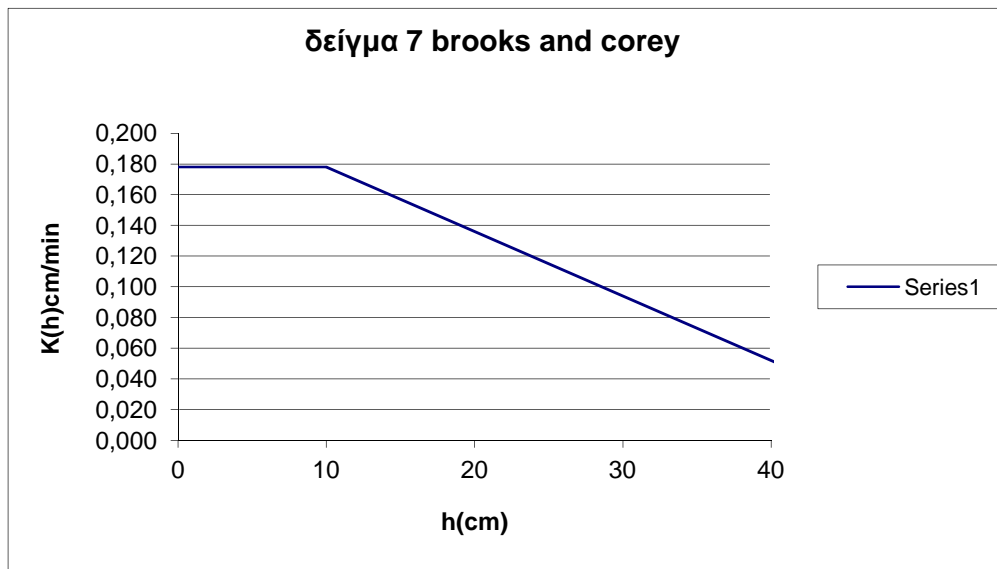
δείγμα 6 van genuchten



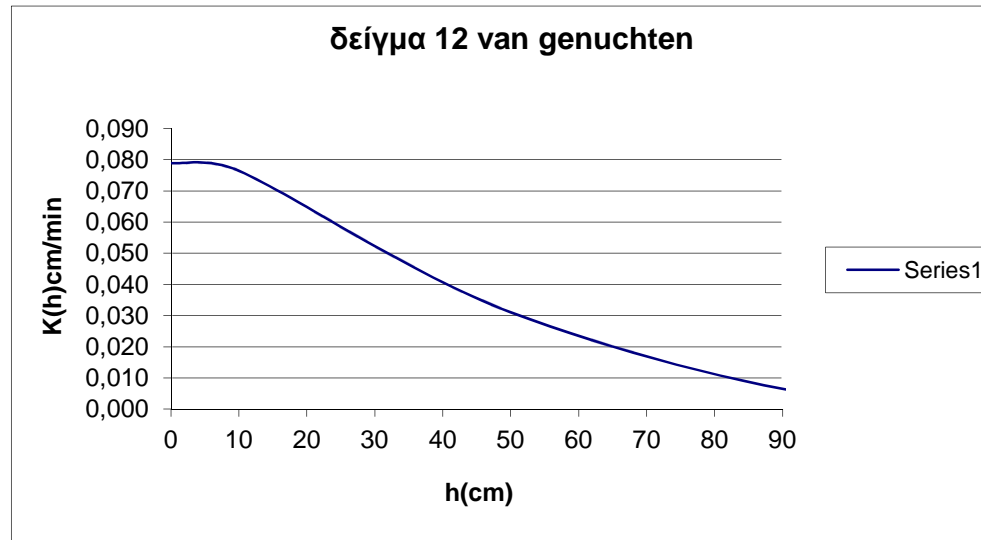
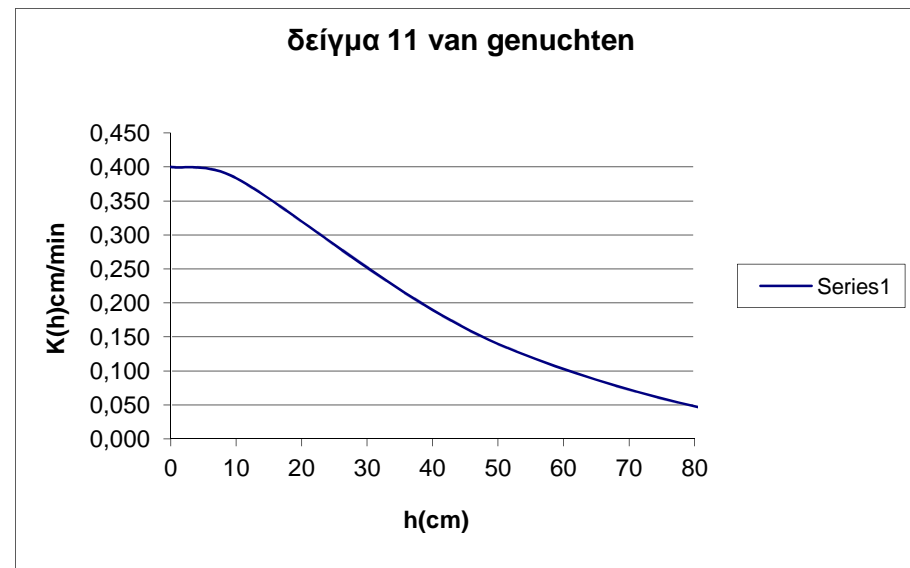
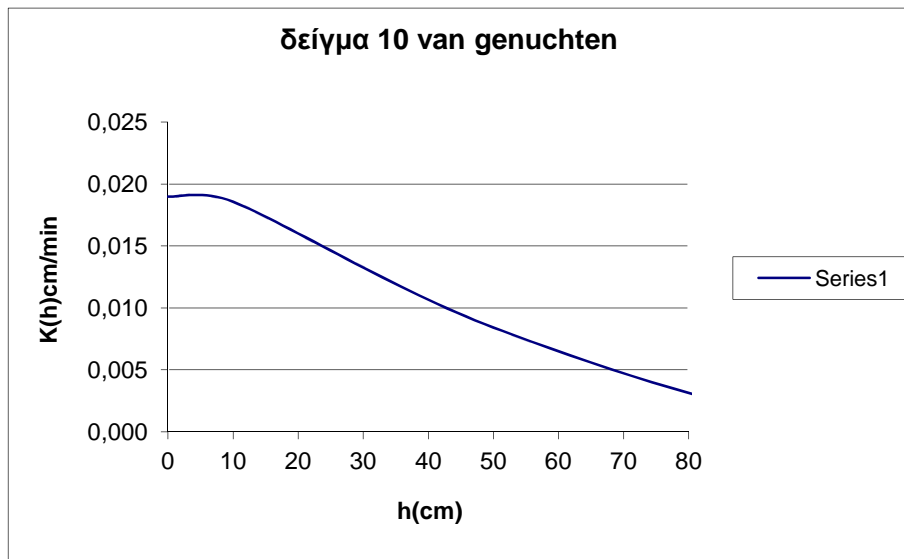
δείγμα 5 van genuchten



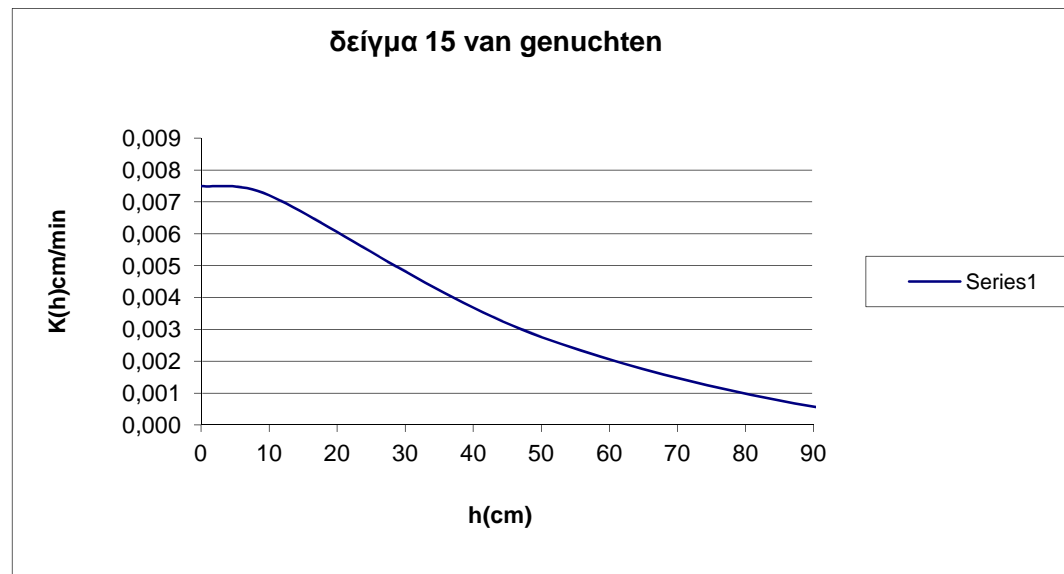
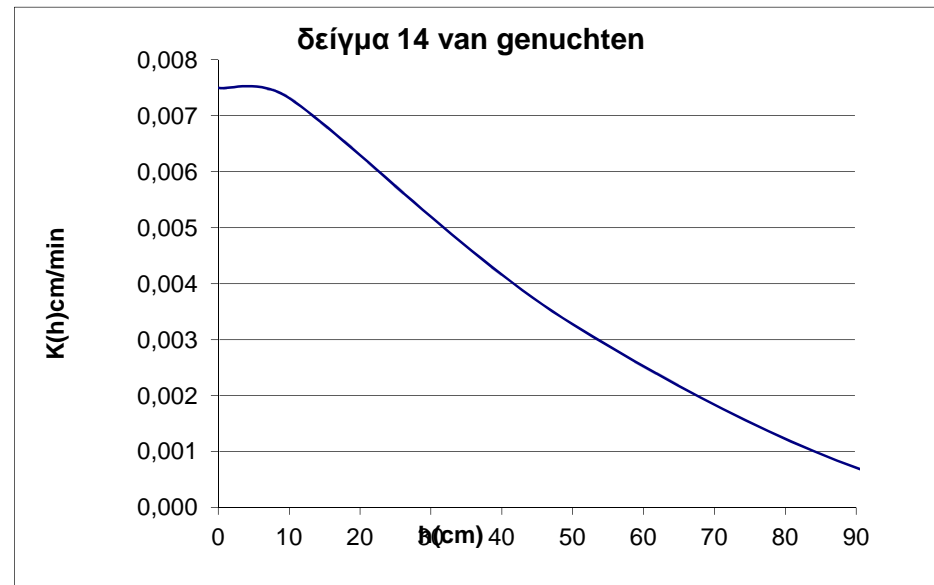
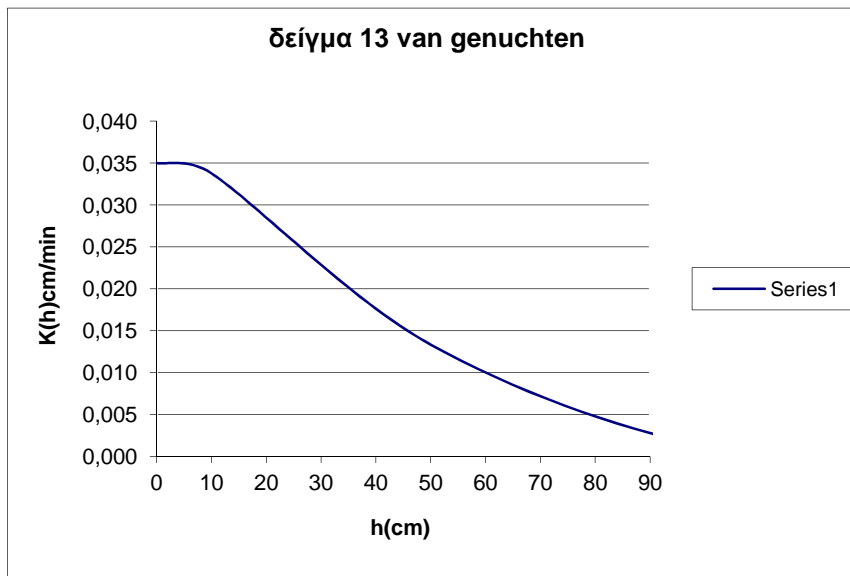
Δείγματα 4-6 από δάσος δρυς, κλάση βάθους 20-40 cm, είδος εδάφους Loam.



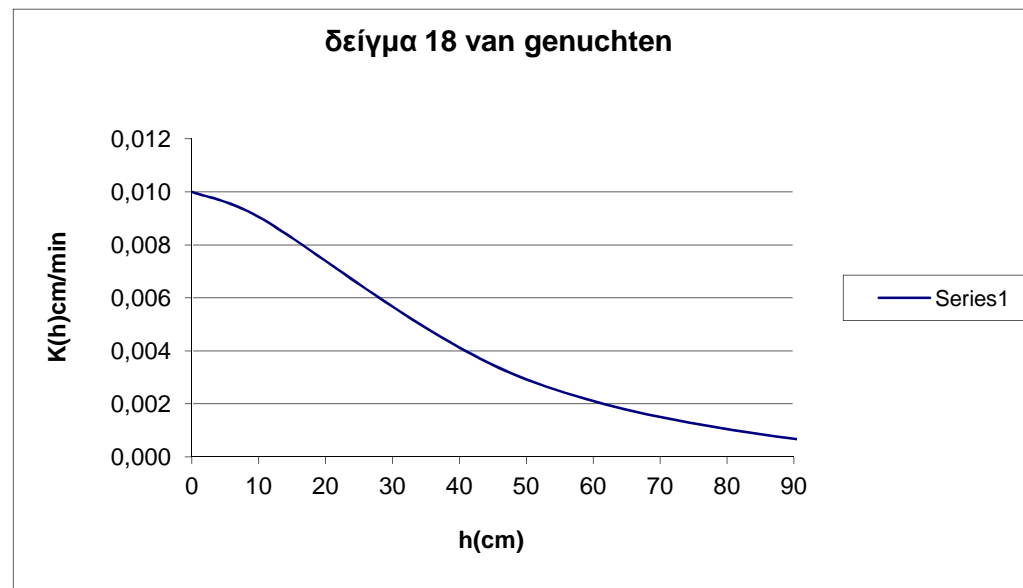
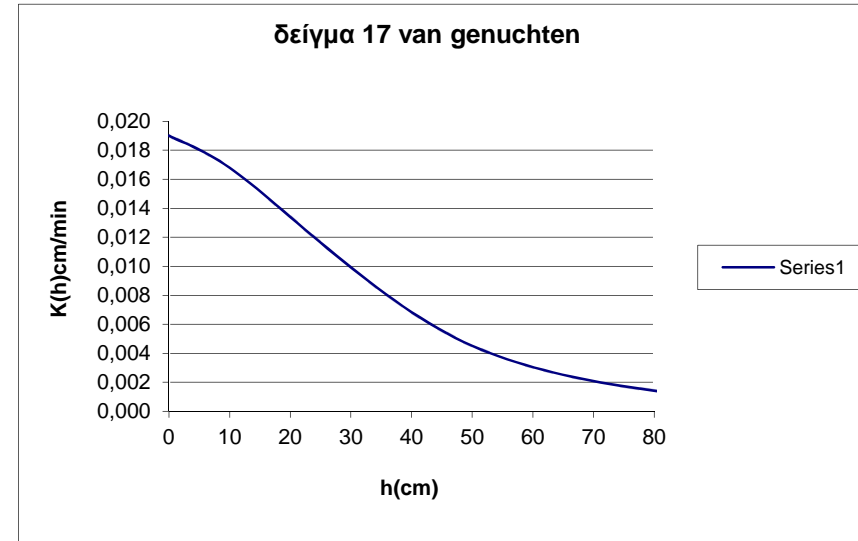
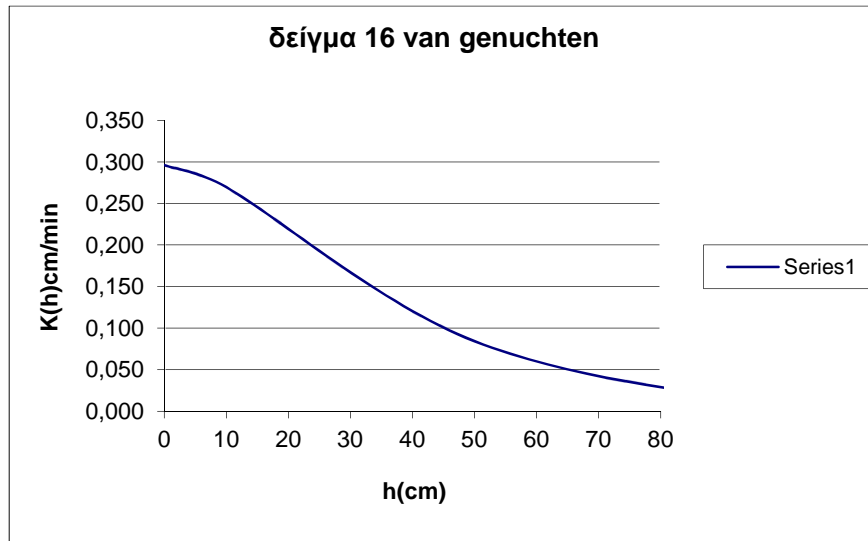
Δείγματα 7-9 από δάσος δρυς , κλάση βάθους 40-80 cm , είδος εδάφους Loam.



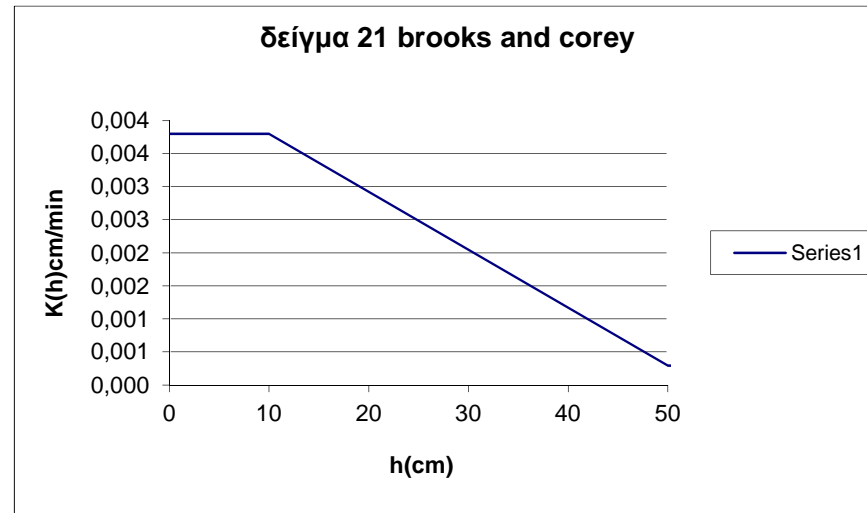
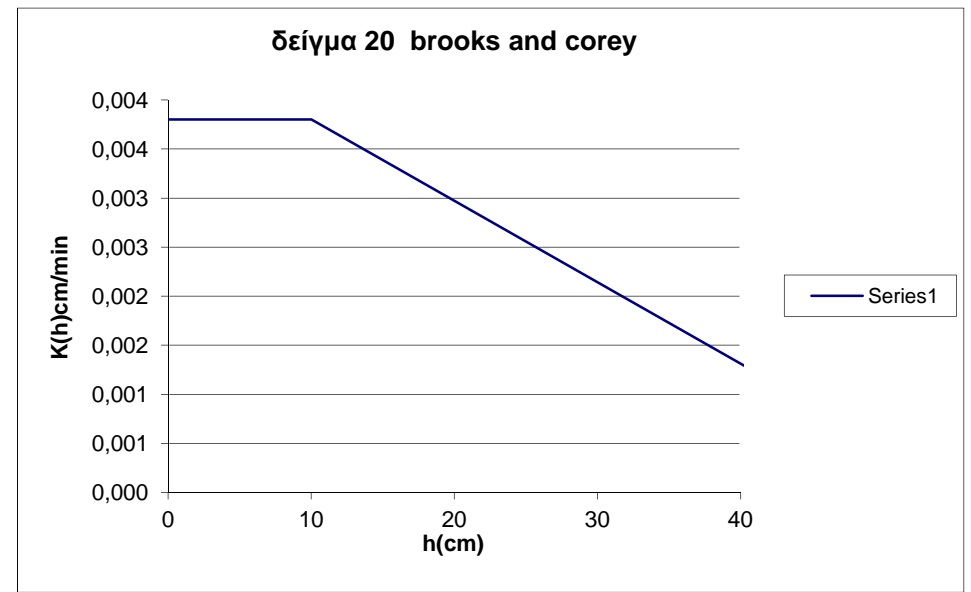
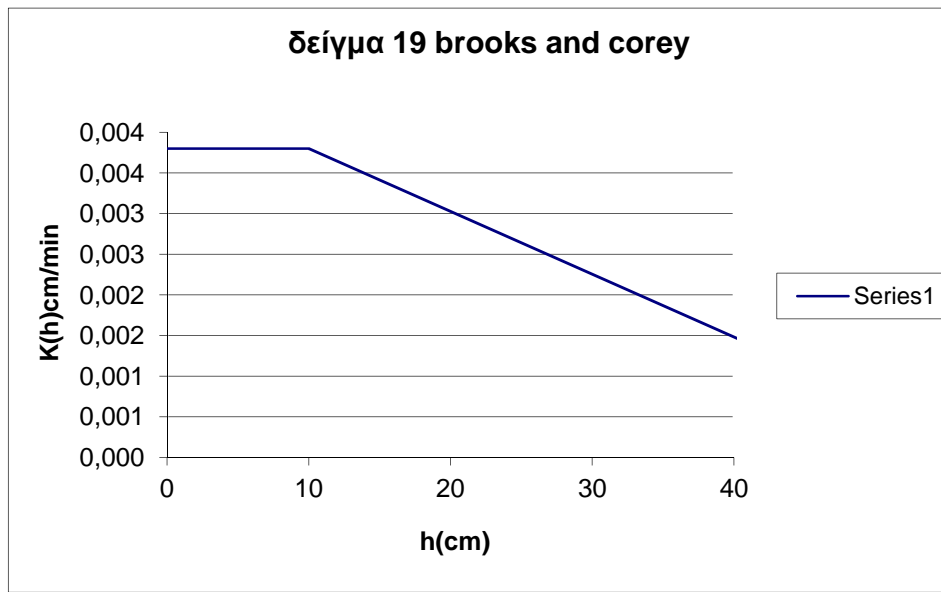
Δείγματα 10-12 από δάσος οξιάς , κλάση βάθους 0-20 cm , είδος εδάφους Silt Loam.



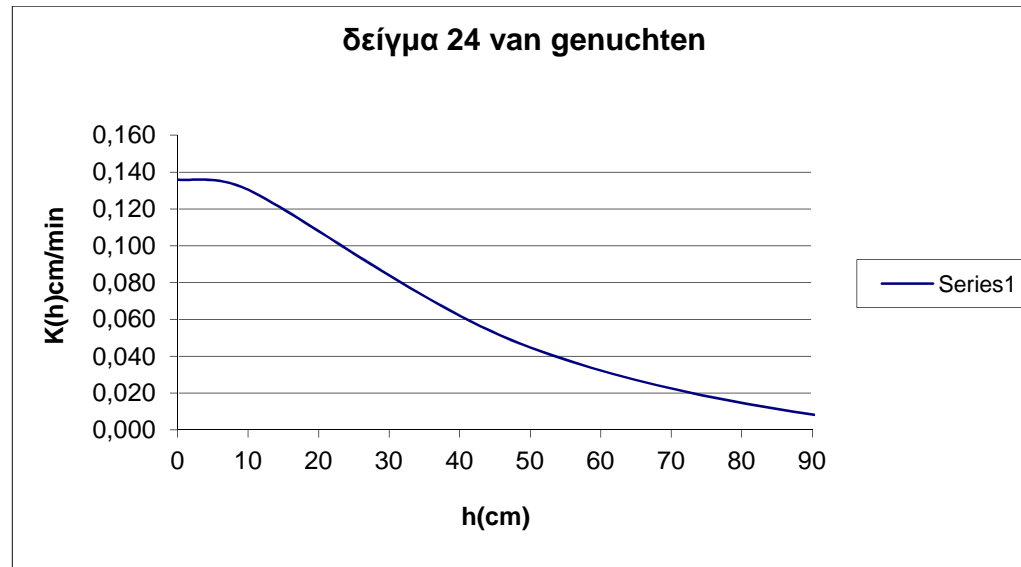
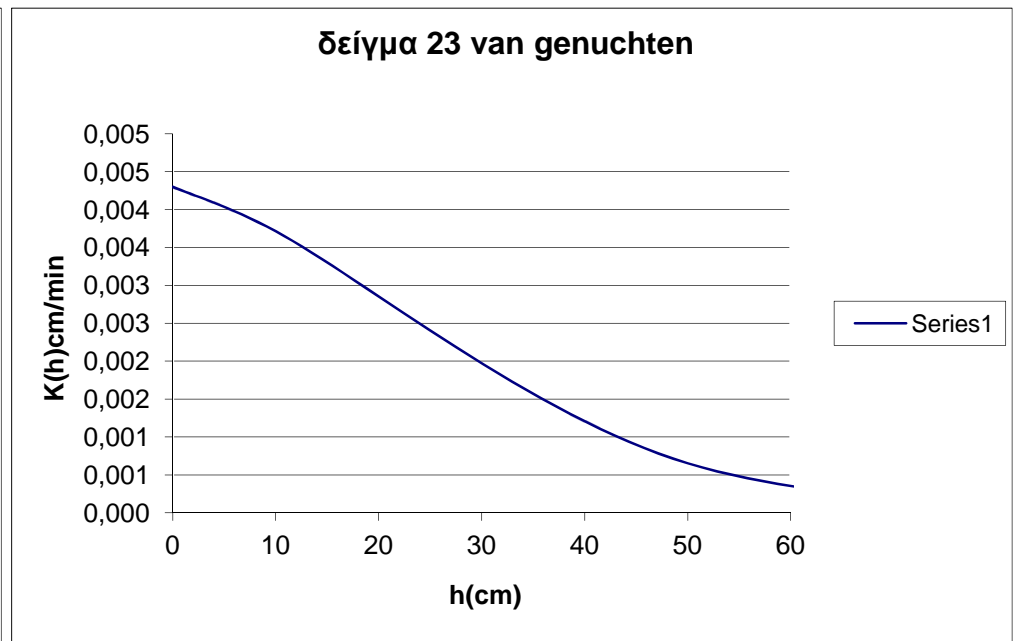
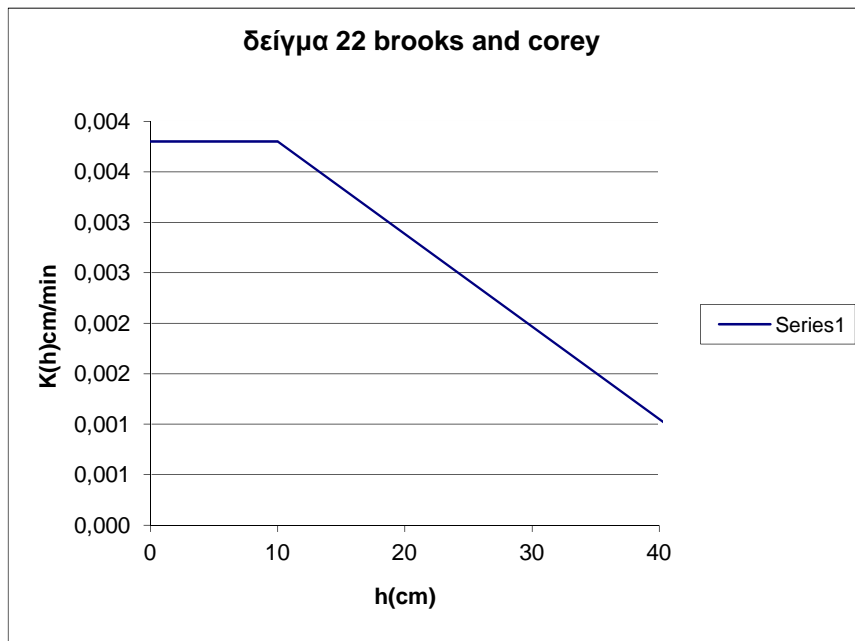
Δείγματα 13-15 από δάσος οξιάς , κλάση βάθους 20-40 cm , είδος εδάφους Silt Loam.



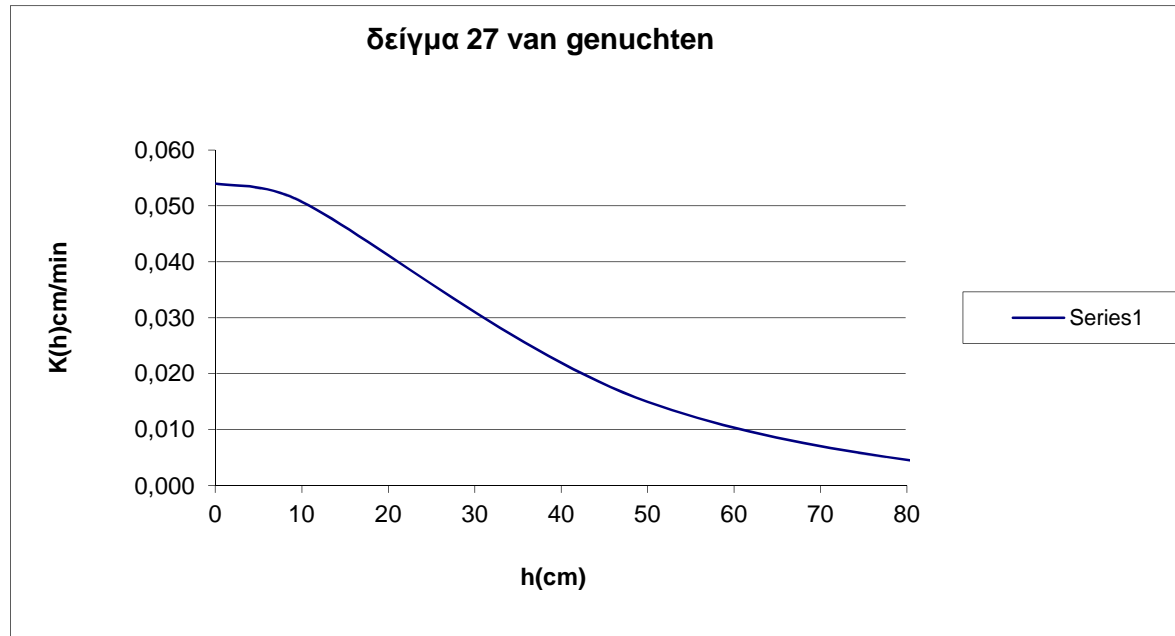
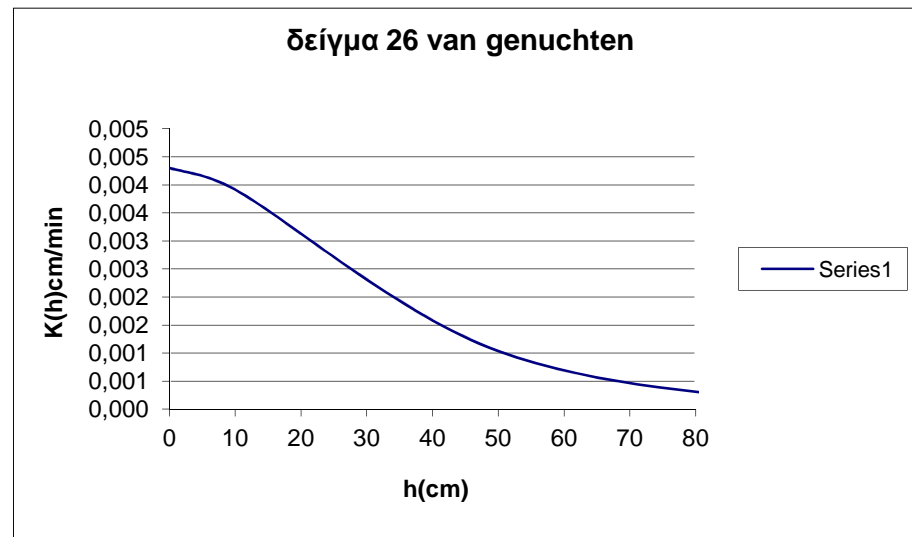
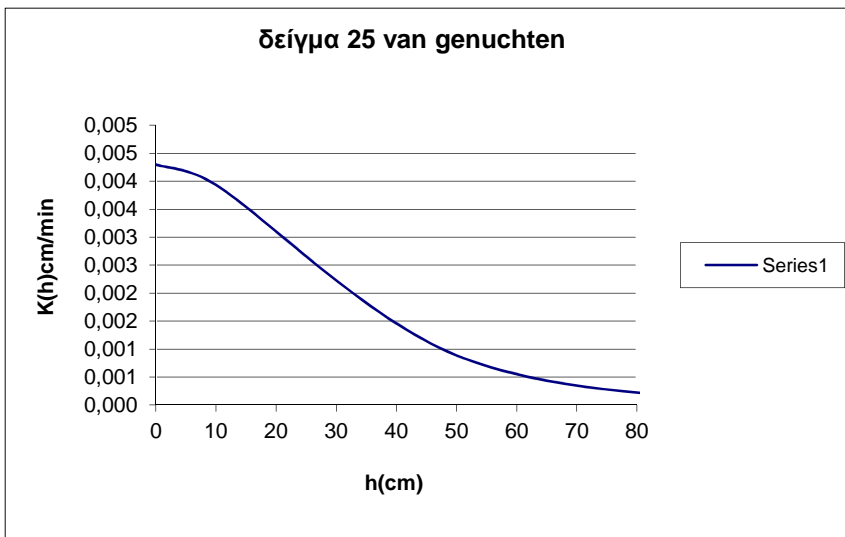
Δείγματα 16-18 από δάσος οξιάς, κλάση βάθους 40-80 cm, είδος εδάφους Silt Loam



Δείγματα 19-21 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 0-20 cm , είδος εδάφους Clay Loam.



Δείγματα 22-24 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 20-40 cm , είδος εδάφους Clay Loam.



Δείγματα 25-27 από δάσος ελάτης , κλάση εδάφους 40-80 cm , είδος εδάφους Clay Loam.

$\theta(h)$	loam	loam	loam	loam	loam	loam	loam	loam	loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	silt loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam	clay loam
$\pi\epsilon\sigma\epsilon\zeta(cm)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0,423	0,452	0,400	0,451	0,400	0,397	0,446	0,374	0,369	0,405	0,494	0,423	0,395	0,396	0,407	0,378	0,368	0,366	0,539	0,474	0,520	0,480	0,457	0,457	0,403	0,425	0,406
10	0,423	0,452	0,398	0,451	0,400	0,396	0,446	0,374	0,369	0,404	0,493	0,423	0,394	0,396	0,406	0,378	0,367	0,365	0,539	0,474	0,520	0,480	0,456	0,457	0,403	0,424	0,406
50	0,399	0,383	0,360	0,379	0,397	0,377	0,354	0,359	0,355	0,396	0,465	0,410	0,383	0,387	0,394	0,363	0,349	0,353	0,464	0,414	0,423	0,381	0,425	0,438	0,386	0,410	0,391
100	0,345	0,336	0,308	0,322	0,346	0,325	0,301	0,308	0,309	0,344	0,371	0,350	0,334	0,334	0,342	0,321	0,304	0,315	0,383	0,364	0,361	0,336	0,378	0,381	0,355	0,379	0,353
150	0,330	0,322	0,294	0,297	0,330	0,311	0,287	0,293	0,296	0,330	0,341	0,335	0,320	0,319	0,328	0,308	0,292	0,303	0,355	0,347	0,338	0,324	0,364	0,365	0,346	0,368	0,342
200	0,318	0,310	0,282	0,286	0,315	0,296	0,271	0,277	0,282	0,316	0,315	0,319	0,307	0,306	0,314	0,295	0,277	0,290	0,336	0,335	0,323	0,314	0,352	0,350	0,338	0,359	0,333
250	0,313	0,305	0,276	0,280	0,309	0,291	0,265	0,271	0,275	0,311	0,305	0,312	0,303	0,300	0,309	0,290	0,272	0,285	0,328	0,331	0,321	0,311	0,348	0,345	0,336	0,357	0,329
330	0,306	0,296	0,267	0,268	0,299	0,284	0,253	0,260	0,264	0,301	0,290	0,301	0,292	0,289	0,298	0,279	0,261	0,275	0,316	0,329	0,307	0,309	0,340	0,336	0,331	0,350	0,322
1000	0,304	0,281	0,261	0,248	0,299	0,280	0,232	0,255	0,258	0,301	0,284	0,300	0,291	0,289	0,297	0,273	0,254	0,268	0,291	0,316	0,289	0,301	0,335	0,334	0,329	0,347	0,320
2500	0,303	0,274	0,259	0,239	0,298	0,280	0,221	0,254	0,256	0,300	0,283	0,299	0,290	0,288	0,296	0,272	0,252	0,266	0,282	0,313	0,281	0,299	0,334	0,333	0,328	0,346	0,320
15000	0,303	0,268	0,259	0,232	0,298	0,280	0,211	0,253	0,256	0,300	0,283	0,299	0,290	0,288	0,296	0,271	0,251	0,266	0,275	0,311	0,276	0,298	0,333	0,333	0,328	0,346	0,319
$\rho\varphi$	1,435	1,244	1,505	1,031	1,626	1,422	1,366	1,580	1,618	1,485	1,193	1,388	1,589	1,516	1,523	1,611	1,589	1,658	0,904	1,194	0,935	1,105	1,272	1,301	1,343	1,435	1,446
$ks(cm/min)$	0,098	0,682	0,217	0,022	0,017	0,017	0,178	0,017	0,031	0,019	0,400	0,079	0,035	0,008	0,008	0,296	0,019	0,010	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,136	0,004	0,004	0,054
	vg	bc	vg	bc	vg	vg	bc	vg	vg	vg	vg	vg	vg	vg	vg	vg	vg	vg	bc	bc	bc	bc	vg	vg	vg	vg	vg
a	0,015	0,039	0,0183	0,035	0,011	0,014	0,046	0,013	0,013	0,012	0,013	0,013	0,013	0,012	0,013	0,013	0,014	0,013	0,031	0,032	0,038	0,040	0,017	0,014	0,016	0,015	0,014
n	2,930	0,6999	2,41	0,702	3,300	2,850	0,579	2,720	2,560	3,160	2,930	3	2,980	3,120	2,940	2,530	2,440	2,480	0,787	0,982	0,774	1	2,510	2,970	2,720	2,610	2,810
θ_r	0,303	0,2661	0,2585	0,229	0,298	0,280	0,205	0,253	0,256	0,300	0,283	0,299	0,290	0,288	0,296	0,271	0,251	0,266	0,273	0,311	0,274	0,298	0,333	0,333	0,328	0,346	0,319
r^2	0,997	0,9995	0,9975	1,000	0,988	0,996	0,999	0,993	0,992	0,990	0,996	0,991	0,992	0,990	0,992	0,994	0,993	0,994	1,000	0,999	0,999	1,000	0,997	0,995	0,998	0,997	0,995
m	0,659	-	0,585	-	0,697	0,649	-	0,632	0,609	0,684	0,659	0,669	0,664	0,679	0,660	0,605	0,590	0,597	-	-	-	-	0,602	0,663	0,632	0,617	0,644
Hb		25,641		28,571			21,645												32,787	31,447	26,110	24,752					
λ		0,697		0,704			0,573												0,791	0,982	0,778	1,115					

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1st FSCC Soil Physical Ring Test DRAFT 2009

Aschmann,H.1973. Distribution and Peculiarities of Mediterranean Ecosystems . In <Mediterranean Type Ecosystems, Origin and Structure> Ed.F. di Castri and H.a. Mooney. Springer -Verlag. New York -Berlin.

Baver,L.D., 1956 Soil Physics. 3rd Edit. John Wiley and Sons . Inc. New York .

Blonquist, J.M., Jones, S.B., Robinson, D.A., 2005. A time domain transmission sensor with TDR performance characteristics. J. hydrol. 314, 235-245.

Brady ,N.C.1974. The Nature and Properties of Soils. 8th ed. Macmillan ,Comp. Inc. New York.

Brooks R.M. and A.T. Corey, 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper 3, Colorado State Univ., Fort Collins.

Carmean W. H 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Advance Agron .27:209-69

Coile, T.S. 1952 . Soil and the growth of forest . Advance Agron.4329-98.

Duncan ,W.H. 1939. Wilting coefficient and wilting percentage of the three forest soils of the Duke Forest . Soil Sci.48;413-20.

Dunmas,W.G. 1973 . Tree growth and water use response to thinning in a 47 year old lodgepole pine stand .USDA Forest Serv. Res. Note , PNW-194 .Pacific Northwest Forest and Range Exp.Stn.Portland,Oregon.

Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2005. Operating Instructions Sanbox and Sand/Kaolin Box, The Netherlands.

Foth H.D. 1978 . Fundamentals of Soil Science ,6th edition, John Wiley and Sons . New York.

Furr ,J.R . and Reeve,J. O.1945 . The range of soil -moisture percentages through which plants undergo permanent wilting in some soils from semiarid irrigated areas J. Agr.Res. 71;149-70.

FUTMON PROTOCOL Determination of the soil water retention characteristic Version 1.2 (after FUTMON –D3 Soil moisture workshop, Freising 25-26 March 2009)

Gardner W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from a water table. Soil Science, 85(4): 228-232.

Gindel, I. 1973. A new ecophysiological approach to forest-water relationships in arid climates. Dr. W. Junk B.V., Publishers, The Hague, 1973.

Green and Corey 1971. Calculation of hydraulic conductivity a further evaluation of some predictive methods soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:3-8.

Haverkamp, R., M. Vauclin, J. Touma, Wierenga and Vauchaud. 1977. A comparison of numerical models for one dimensional infiltration. Soil Sci Soc Am 41:285-294.

Hillel, D., 1980. Fundamentals of soil physics. Acad. Press, New York.

ISO 11274:1998(E). Soil Quality – Determination of the water-retention characteristic – Laboratory methods. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 20 p. (available at www.iso.ch)

Jackson et al 1965. Comparison of measured and calculated hydraulic conductivities of unsaturated soils. Water Resources 1:375-380.

Kozlowski, T.T. 1968b. Ed. <Water Deficits and Plant Growth> Vol. 1, Academic Press, London-New York.

Landon, J.R. 1984. Booker Tropical Soil Manual Longman Inc. New York, pp.450.

Lutz,H.J., and Chandler, R.F.1946. Forest Soils . John Wiley and Sons Inc. New York .

Millington R.J and J.P.Quirk1961.Permeability of porous solids. Trans Faraday Soc.57;1200-1206.

Mualem Y.1976a. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Res. 12:513-522.

Murali,V.G.S.R. Krishna Murti , and A.K. Sinha.1979. Note on the three-parameter functions for soils water diffusivity-water content relationships. Aust.J. Soil. Res.17:361-366.

Philip J.R., 1969. Theory of infiltration. Adv. Hydrosc., No 5, Academic Press, New York, pp. 215-296.

Reeves, M., and J.O.Duguid.1975 . Water movement through saturated -undersaturated porous media; A finite element galerkin model ORNL 4927. Oak Ridge National Laboratory ,Oak Ridge ,Tenn

Remezov ,N.P., and Pogrebnyak , P.S. 1965 . Forest Soil Science . Translated from Russian , Israel Program for Scient. Translations,Jerusalem, 1969.

Richards L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics, No 1, pp. 318-333.

Schofield, R.K. 1935. The p F of the water in soil. Oxford England, 3;37-48.

Segol, G 1976 . A three dimensional galerkin finite element model for the analysis of contaminant transport in variably saturated porous media. Users guide . Dep. Of Earth Sciences , Univ. of Waterloo , Canada.

Topp,G,C.,2003 State of the art of measuring soil water content .Hydrol. Process.17,2993-2996 in Cardenas-Laihacar B. and Duces M.2010 Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions agricultural management 97 666-672

Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed –form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc Am. J .44:892-898.

Van Genuchten M.Th., F.J.Leij and S.R. Yates .The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils .U.S. Salinity Laboratory U.S. Department of agriculture Research Service Riverside, California .

Vauclin, M., R. Haverkamp, and G Vachaud .1979. Resolution numerique d une equation de diffusion non lineaire. Presses Universitaires de Grenoble, France.

Wilde , S.A. 1958 .Forest Soils ,their Properties and Relations to Silviculture, The Ronalt Press, Co., New York.

Yates, S. R., M. Th. van Genuchten, A. R. Warrick, and F. J. Leij. 1991. Analysis of predicted and estimated hydraulic conductivities using RETC. Soil Sci. Soc. Am J.

Αργυροκαστρίτης Ιωάννης Γ. Αθήνα 2005 . Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής εδάφους & αρδεύσεων .

Μαριολόπουλος ,Η. και Καραπιπέρης,Α ,1955. Αι βροχοπτώσεις εν Ελλάδι . Υπουργ. Συντονισμού, Αθήναι.

Παπαμίχος Ν.Θ., Αληφραγκής ,Δ.Α.1980 Ζημιές των αναδασώσεων Πολυγύρου Χαλκιδικής από την ξηρασία.Επιστ.Επετηρίδα Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής Παν/μιου Θεσσαλονίκης , αναμνηστικός τόμος ΚΓ(4)76-106, Θεσσαλονίκη.

Παπαμίχου Νικ. Θ. Δασικά εδάφη : σχηματισμός, ιδιότητες, συμπεριφορά

Πουλοβασίλης Α. Γεωργική Υδραυλική Αρδεύσεις Ι τεύχος Ι .

Πουλοβασίλης Α. Γεωργική Υδραυλική Αρδεύσεις Ι τεύχος ΙΙ .

Στεφανής Γεώργιος Ν. Αθήνα 2008 . Προσδιορισμός καμπυλών μύζησης – εδαφικής υγρασίας σε εργαστηριακές συσκευές Sandbox.

http://www.inbo.be/content/homepage_en.asp

<http://www.fri.gr/>

