

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΑΛΕΞΙΑΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΓΑΛΗΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΤΕΡ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΗΣ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΟΙΤΕΣ ΤΩΝ
ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ
ΛΕΚΑΝΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων καθηγητής:
**ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. Γεωγραφική θέση λεκάνης Μυγδονίας.....	3
1.2. Διήθηση.....	4
1.2.1. Γενικά στοιχεία	4
1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των εδαφών.....	8
1.2.3. Ποσοτική εκτίμηση της διήθησης.....	12
1.2.4. Επίδραση των χρήσεων γης στην διήθηση	12
1.2.5. Υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους και ταχύτητα διήθησης	14
1.2.6. Διήθηση και επιφανειακή απορροή	16
1.2.7. Μεθοδολογία Πεδίου (Υπαίθριες μετρήσεις)	18
1.2.8. Μεθοδολογία Επεξεργασίας (προσεγγιστικές εξισώσεις)	19
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	22
2.1. Σημεία δοκιμών πεδίου	22
2.2. Περιγραφή οργάνου	23
2.3. Περιγραφή μεθόδου	24
2.4. Μετρήσεις πεδίου	26
2.5. Επεξεργασία των δεδομένων	26
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
3.1. Λίμνη Βόλβη.....	28
3.1.1. Ρέμα Απολλωνίας	28
3.1.2. Ρέμα Μελισσουργού	31
3.1.3. Ρέμα Βαμβακιάς.....	34
3.2. Λίμνη Κορώνεια	35
3.2.1. Ρέμα Κολχικού	35
3.2.2. Ρέμα Γερακαρούς.....	38
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	43
6. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	45

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γεωγραφική θέση λεκάνης Μυγδονίας

Στην κεντρική Μακεδονία, ΒΑ της πόλης της Θεσσαλονίκης, εκτείνεται η υδρολογική λεκάνη της Μυγδονίας, που κατέχει μια επιμήκη ζώνη μεταξύ του Γαλλικού ποταμού και του Στρυμονικού κόλπου (Σχήμα 1.1). Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί ένα εκτεταμένο και επίμηκες βύθισμα, που διαχωρίζει την χερσόνησο της Χαλκιδικής από τον κεντρικό κορμό της Μακεδονίας και αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου βυθίσματος, του Προμυγδονιακού, το οποίο περιλαμβάνει, επίσης και τις γειτονικές λεκάνες του Ζαγκλιβερίου και της Μαραθούσας.

Η Μυγδονία λεκάνη συγκροτείται από δύο τμήματα ένα ανατολικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη της Βόλβης και ένα δυτικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη του Λαγκαδά. Το όριο μεταξύ των δύο αυτών υπολεκανών δεν είναι σαφές και ορίζεται από τον άξονα Στίβου – Σχολαρίου, με ένα σύστημα ραχών, λόφων και αναβαθμίδων, διαμέσου των οποίων διέρχεται ο ποταμός Δερβένι, στην κεντρική περιοχή της Μυγδονίας. Εντός των υπολεκανών βρίσκονται οι λίμνες Λαγκαδά (ή Κορώνεια ή Αγίου Βασιλείου) και Βόλβης αντίστοιχα, οι οποίες αποτελούν υπολειμματικές μορφές της μεγάλης πλειστοκαινικής Μυγδονίας λίμνης (βάθους 110 m) και ανήκουν στους ελληνικούς υγροβιότοπους, που προστατεύονται από τη διεθνή συνθήκη RAMSAR.

Η υπολεκάνη του Λαγκαδά, εκτεινόμενη μεταξύ του ορεινού όγκου της Καμήλας και των ραχών Στίβου-Σχολαρίου, αποτελεί το δυτικό τμήμα της λεκάνης Μυγδονίας, έχει σχήμα περίπου τραπεζίου, του οποίου η μεγάλη βάση έχει μήκος 38 km (Μελισσοχώρι-Στίβος), η μικρή βάση έχει μήκος 26 km (Άσσηρος-Προφήτης), και το μέσο ύψος του είναι γύρω στα 12 km (Άγιος Βασίλειος-Ανάληψη).



Σχήμα 1.1. Λεκάνη Μυγδονίας (Πηγή: http://hiropoiito.blogspot.gr/2011/02/blog-post_9352.html)

1.2. Διήθηση

1.2.1. Γενικά στοιχεία

Ως διήθηση (Infiltration) ορίζεται η διαδικασία με την οποία το νερό εισέρχεται στο έδαφος δια της επιφάνειας του (Hillel, 1980, από Rajeh Alhassoun ,2009). Αρχικά το νερό διεισδύει στο έδαφος και στη συνέχεια διηθείται στα βαθύτερα στρώματα, αναπληρώνοντας έτσι τη φυσική υγρασία που δημιουργείται ή προστίθεται στους υδροφόρους ορίζοντες (Μωυσιάδης, 2009).

Κατά τη διάρκεια της διήθησης το νερό που εισέρχεται στο έδαφος διεισδύει, όπως αναφέρθηκε και σε κατώτερες ζώνες. Σύμφωνα με τους Bodman και Coleman (1943) το προφίλ του εδαφικού νερού διαιρείται σε τέσσερις ζώνες:

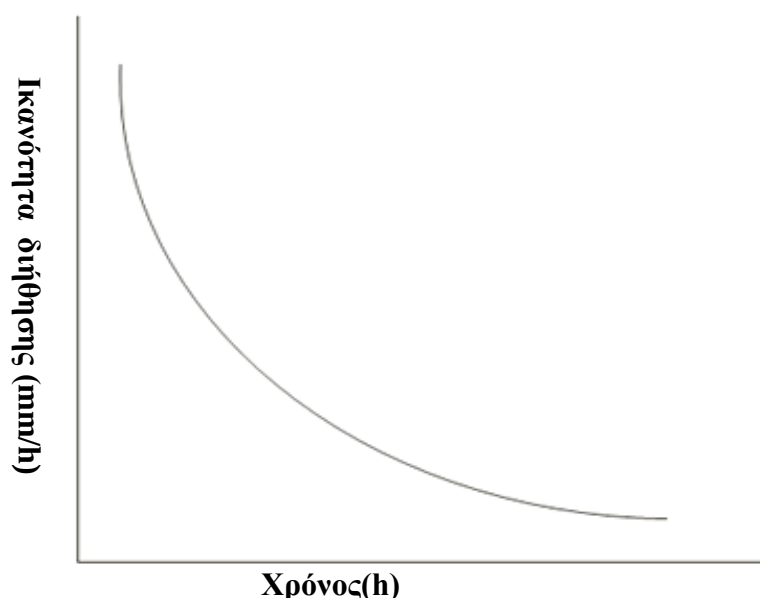
- Η κορεσμένη ζώνη από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθος 1.5 cm
- Η μεταβατική ζώνη, στην οποία μειώνεται απότομα η εδαφική υγρασία και βρίσκεται ανάμεσα στο κάτω όριο της κορεσμένης ζώνης μέχρι τη ζώνη μεταφοράς
- Η ζώνη μεταφοράς, που χαρακτηρίζεται από σταθερό ποσοστό υγρασίας και επιμηκώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της διήθησης.

- Η ζώνη ύγρανσης που διατηρεί σταθερό σχήμα σε όλη τη διάρκεια της διήθησης και εκτείνεται κάτω από τη ζώνη μεταφοράς έως το υγρό μέτωπο ή μέτωπο προσπέλασης που είναι το ορατό όριο της διείσδυσης του νερού στο έδαφος.

Ως ικανότητα διήθησης (Infiltration capacity) χαρακτηρίζεται το μέγιστο ποσοστό νερού που μπορεί να εισχωρήσει στο έδαφος κάτω από ένα δεδομένο σύνολο συνθηκών σε σταθερή κατάσταση

(Πηγή: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/text.htm).

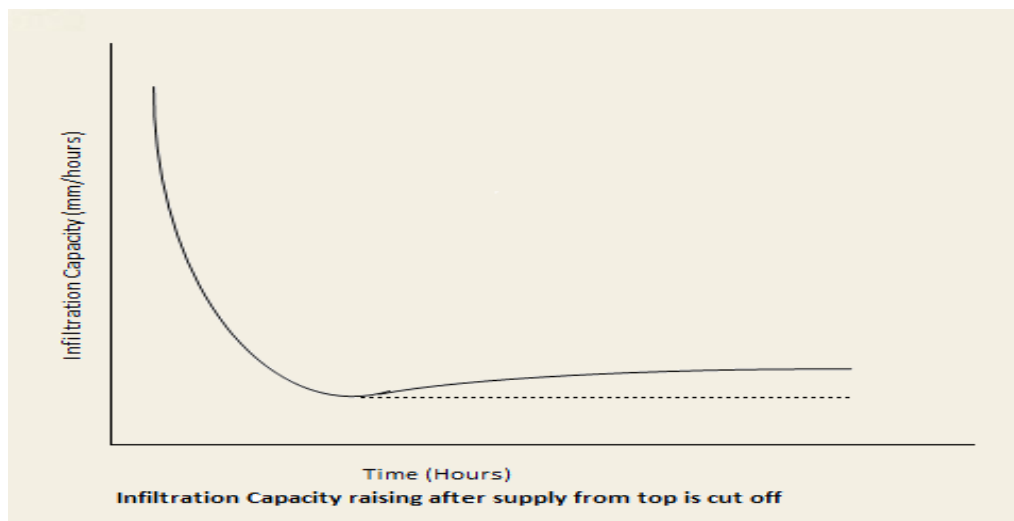
Ως ρυθμός διήθησης (Infiltration rate) ορίζεται η ταχύτητα με την οποία το νερό διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και εισέρχεται στο εσωτερικό του. Επηρεάζεται από τη δύναμη της βαρύτητας και από την τριχοειδή δράση, ειδικά στα αρχικά στάδια της διήθησης και υπολογίζεται σε ίντσες ή χιλιοστά νερού που διεισδύουν στο έδαφος σε χρονικό διάστημα μιας ώρας (in/h ή mm/h) (Rajeh Alhassoun ,2009). Η ταχύτητα με την οποία το νερό διηθείται στο έδαφος (δηλαδή η διηθητικότητα του f) ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η ελάττωση με το χρόνο οφείλεται στη προοδευτική μείωση της υδραυλικής κλίσης στην επιφάνεια του εδάφους και σε άλλους παράγοντες, όπως η στεγανοποίηση και η δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια. Αν αυτό συνεχιστεί για μεγάλη χρονική περίοδο η διηθητικότητα φτάνει μια τιμή f_c , την οποία και διατηρεί (Παπαζαφειρίου, 1999) .



Σχήμα 1.2.: Μεταβολή της διηθητικότητας σε σχέση με το χρόνο (Πηγή: civil-online2010.blogspot.com)

Η ταχύτητα διήθησης αμέσως μετά την εφαρμογή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους τείνει να είναι υψηλή (αρχική διηθητικότητα), όταν το έδαφος είναι τελείως στεγνό και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά, καθώς το έδαφος γίνεται κορεσμένο, μέχρι να σταθεροποιηθεί σε μια τιμή που είναι και η τελική ταχύτητα διήθησης f_c (τελική ή βασική διηθητικότητα). Η τιμή της γενικά σε οποιοδήποτε στάδιο του φαινομένου λέγεται στιγμιαία διηθητικότητα. Συνεπώς αρχική και τελική διηθητικότητα αποτελούν το άνω και κάτω όριο της στιγμιαίας διηθητικότητας (Παπαζαφειρίου, 1999).

Όταν μετά από κάποια χρονική στιγμή σταματάει η τροφοδοσία του εδάφους με νερό, τότε η ταχύτητα διήθησης αυξάνεται (Σχήμα 1.3) .



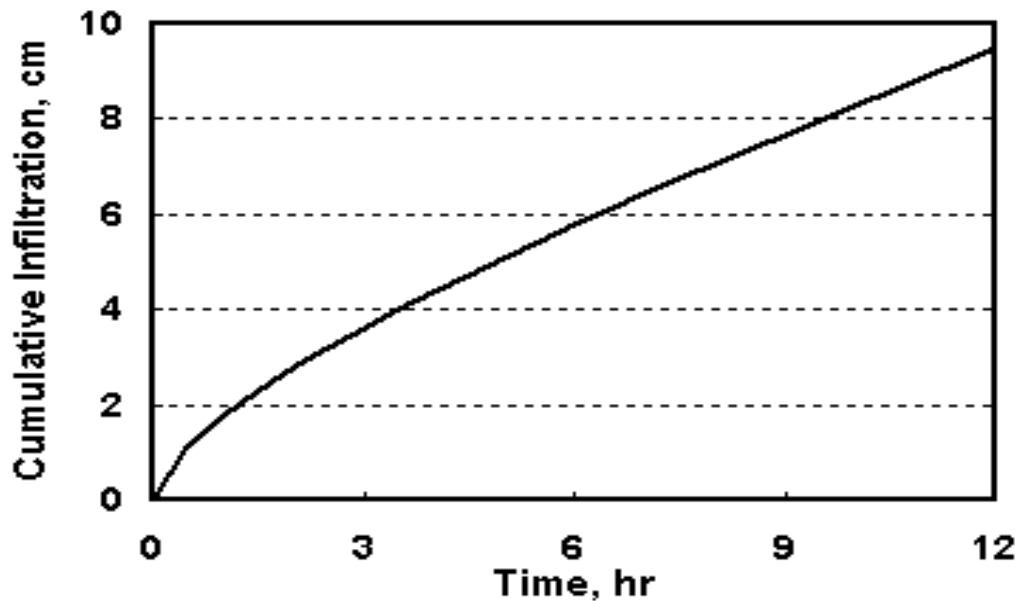
Σχήμα 1.3. Η ικανότητα διήθησης αυξάνεται όταν σταματάει η τροφοδοσία του εδάφους με νερό (Πηγή: civil-online2010.blogspot.com)

Σύμφωνα με τον Nikolov, 1983 η ταχύτητα διήθησης μπορεί να ταξινομηθεί σε διάφορους τύπους σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Ταξινόμηση της ταχύτητας διήθησης (Nikolov, 1983 , από Galawezh B. Bapeer et al., 2010)

Ταχύτητα διήθησης	Τύπος
>160 mm/hour	Ταχεία (R)
60 – 160 mm/hour	Μέτρια – Ταχεία (M– R)
20 – 60 mm/hour	Μέτρια (M)
5 – 20 mm/hour	Αργή – Μέτρια (S– M)
1.2 – 5 mm/hour	Αργή (S)
<1.2	Πολύ αργή

Η αθροιστική διήθητικότητα (cumulative infiltration) ορίζεται ως η συνολική ποσότητα του νερού που διηθείται ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου με μια φθίνουσα κλίση (Παπαζαφειρίου, 1999) (Σχήμα 1.4) .



Σχήμα 1.4. Αθροιστική διηθητικότητα (Πηγή: www.nzdl.org)

1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των εδαφών

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τον ρυθμό και την ικανότητα διήθησης του νερού στο έδαφος. Οι κυριότεροι είναι οι εξής:

- Η υφή (texture): Η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο προσδιορίζει τον τύπο της υφής του. Έτσι σαν υφή του εδάφους ορίζεται η ποσοστιαία αναλογία των διαφόρου μεγέθους ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος. Τα εδάφη διακρίνονται σε αμμώδη ή ελαφρά, σε πηλώδη ή μέσα και σε αργιλώδη ή συνεκτικά. Ο τύπος του εδάφους μπορεί να ελέγχει τη διηθητικότητα των εδαφών. Για παράδειγμα ένα αμμώδες έδαφος έχει υπό φυσιολογικές συνθήκες μεγαλύτερες τιμές διηθητικότητας σε σχέση με ένα αργιλώδες επιφανειακό έδαφος (USDA, 1998)
- Η δομή του εδάφους (structure): Εδάφη που έχουν σταθερή και ισχυρή δομή παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά διήθησης σε σχέση με εδάφη με αδύναμη και φυλλώδη δομή. Εδάφη με μικρότερο μέγεθος δομής (μικρότεροι πόροι) χαρακτηρίζονται από υψηλότερα ποσοστά διήθησης σε σχέση με αυτά που έχουν μεγαλύτερο μέγεθος δομής (USDA, 1998).
- Μορφολογική κλίση: Εδάφη με μικρές μορφολογικές κλίσεις ευνοούν την κατείσδυση, ενώ εδάφη με μεγάλες κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή (Τσακίρης, 1995, από Τσιούνια, 2012).

- Στεγανοποίηση της επιφανειακής στρώσης του εδάφους: Η διαδικασία της στεγανοποίησης και της δημιουργίας επιφανειακής κρούστας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του επιφανειακού εδάφους, τη δύναμη πρόσπτωσης των σταγόνων του νερού στην επιφάνεια, τη συγκέντρωση και το είδος των στερεών του αρδευτικού νερού και από άλλους παράγοντες που δυσχεραίνουν την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι υδραυλικές ιδιότητες της επιφανειακής στρώσης μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Γενικότερα η στεγανοποίηση ενός γυμνού εδάφους είναι γρήγορη και μεταβάλει άμεσα τη διηθητικότητα. Αν η επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται από πυκνή βλάστηση ή από προστατευτικές στρώσεις φυτικών υπολειμμάτων η μεταβολή της διηθητικότητας περιορίζεται. (Παπαζαφειρίου, 1999).
- Πυκνότητα εδάφους: Μια συμπαγής ζώνη ή ένα αδιαπέρατο στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους περιορίζει την είσοδο του νερού και τείνει να οδηγήσει σε επιφανειακή απορροή (USDA, 1998).
- Περιεκτικότητα σε νερό (Water content): Η ποσότητα του νερού που περιέχεται στο έδαφος επηρεάζει το ποσοστό διήθησης του νερού. Το ποσοστό διήθησης είναι γενικά υψηλότερο όταν το έδαφος είναι αρχικά στεγνό (ακόρεστο) ενώ αντίθετα μειώνεται με την προοδευτική ύγρανση του εδάφους (όσο αυτό γίνεται πιο υγρό-κορεσμένο). Είναι γεγονός πως οι πόροι και οι ρωγμές σε ένα ξηρό έδαφος σταδιακά γεμίζουν και πληρούνται από το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, καθώς το έδαφος γίνεται όλο και πιο υγρό. Μόλις οι πόροι και οι ρωγμές καταστούν υγροί η διήθηση επιβραδύνεται στη τιμή της διαπερατότητας του πιο περιοριστικού στη διήθηση εδαφικού ορίζοντα (USDA, 1998).
- Παγωμένη εδαφική επιφάνεια (Frozen surface): Ένα παγωμένο έδαφος επιβραδύνει σημαντικά ή αποτρέπει τελείως την είσοδο του νερού στα κατώτερα στρώματα (USDA, 1998).
- Οργανικό υλικό (Organic matter): Η ύπαρξη φυτικού υλικού ζωντανού ή νεκρού στην επιφάνεια του εδάφους παίζει έναν ιδιαίτερο ρόλο στην ικανότητα διήθησης του νερού μέσα στο εδαφικό προφίλ. Το οργανικό υλικό που καλύπτει την επιφάνεια του εδάφους προστατεύει από τη διάσπαση και τον κατακερματισμό τα τεμαχίδια του εδάφους, από τις δυνάμεις της βροχής, αποτρέποντας αρχικά το φράξιμο των πόρων και επιτρέπει τη διήθηση του νερού. Γενικά η οργανική ουσία είναι περισσότερο πορώδης σε σχέση με τα τεμαχίδια του εδάφους και έτσι μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερες ποσότητες νερού (USDA, 1998).

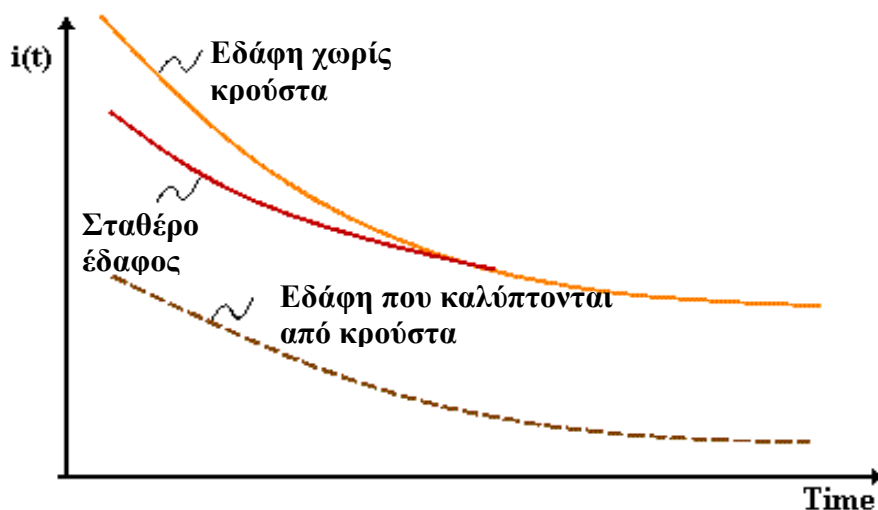
- Το πορώδες (Porosity): Συνεχείς και συνδεδεμένοι στην επιφάνεια του εδάφους πόροι βοηθούν στην ανεμπόδιστη κατακόρυφη κίνηση του νερού στο έδαφος, σε αντίθεση με ασυνεχείς πόρους οι οποίοι επιβραδύνουν τη ροή του νερού λόγω εγκλωβισμού των φουσκαλών του αέρα (USDA, 1998).
- Η ένταση και η διάρκεια της βροχόπτωσης: Μια ραγδαία βροχόπτωση ευνοεί την επιφανειακή απορροή, ενώ μια βροχόπτωση μεγάλης διάρκειας και μικρής έντασης ευνοεί την κατείσδυση και είναι ιδανική για τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα (Τσακίρης, 1995, από Τσιούνια, 2012).
- Βλάστηση (Vegetation): Η βλάστηση αυξάνει την ικανότητα διήθησης του νερού, κάνοντας το έδαφος πιο πορώδες εξαιτίας της κίνησης των ριζών (USDA, 1998). Ακόμα επιβραδύνει την επιφανειακή απορροή, ανακόπτει την ταχύτητα πτώσης του νερού, εμποδίζει την απόπλυση του εδάφους και την φραγή των πόρων με λεπτόκοκκα υλικά.
- Ανθρωπογενείς επεμβάσεις: Αυξάνοντας την επιφανειακή απορροή ελλατώνουν τη διήθηση του νερού που θα γινόταν αν δεν υπήρχαν οι τεχνητές κατασκευές..
- Χρήσεις γης (Land-use): Έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση, τη μετακίνηση της βλάστησης, την αλλαγή της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους και άρα αλλάζουν την ικανότητα διείσδυσης.

Πίνακας 1.2. Γενικές κατηγορίες εδαφών και αντίστοιχοι τύποι υφής (Παπαζαφειρίου, 1999)

Κατηγορία	Αντίστοιχοι τύποι υφής
Αμμώδες ή ελαφρό	Άμμος, πηλώδης άμμος
Πηλώδες ή μέσο	Αμμώδης πηλός, πηλός, Ιλαιοπηλώδες, Ιλύς, Αργιλώδης πηλός, Αμμοαργιλώδης πηλός, Ιλαιοαργιλώδης πηλός
Αργιλώδες ή βαρύ ή συνεκτικό	Αμμοαργιλώδες, Ιλαιοαργιλώδες, Άργιλος

Πίνακας 1.3. Ποσοστά διείσδυσης για διαφορετικούς τύπους εδαφών (Shukla and Lal, 2006, από Alhassoun, 2009)

Τύπος εδάφους	Σταθερό ποσοστό διείσδυσης (mm/h)
Άμμος	>30
Αμμώδης Πηλός	20-30
Πηλός	10-20
Αργιλώδης Πηλός	5-10
Άργιλος	1-5



Σχήμα 1.5. Εδάφη που δεν καλύπτονται από κρούστα έχουν υψηλότερη διηθητικότητα από εδάφη που καλύπτονται από κρούστα (Πηγή: echo2.epfl.ch)

Συμπερασματικά, η διεργασία της διήθησης του νερού στο έδαφος που προέρχεται είτε από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είτε από άρδευση έχει άμεση σχέση με την κίνηση του νερού από το ένα σημείο στο άλλο, με τέτοιο τρόπο ώστε ο ρυθμός διήθησης να εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, αλλά και από την επάρκεια του νερού για διήθηση. Ο ρυθμός διήθησης μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά και εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, το ύψος βροχής, την ένταση και την διάρκεια της , το επιφανειακό κάλυμμα του εδάφους και ιδιαίτερα την ύπαρξη ή

μη χλωρίδας, τη θερμοκρασία του αέρα και του εδάφους, παραγόντων οι οποίοι εκτιμούνται ιδιαίτερα δύσκολα, το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό (την υγρασία του εδάφους) κατά την έναρξη της βροχόπτωσης.

1.2.3. Ποσοτική εκτίμηση της διήθησης

Είναι γεγονός πως τα τελευταία χρόνια έχουν πλέον κατανοηθεί και διευκρινιστεί οι μηχανισμοί της διήθησης και είναι ιδιαίτερα σημαντική η πρόοδος σχετικά με την κατάρτιση μαθηματικών μοντέλων. Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες της ποσοτικής εκτίμησης της διήθησης δεν προσφέρουν τον επιθυμητό συνδυασμό ακρίβειας και ευκολίας εφαρμογής και ακόμα έχουν να αντιμετωπίσουν προβλήματα ισχυρής ανισοτροπίας και ανομοιογένειας των εδαφών. Οι μεθοδολογίες αυτές είναι οι εξής (Μουσιάδης, 2009):

- Υπαίθριες μετρήσεις με διηθητόμετρα, συσκευές οι οποίες δίνουν μόνο σημειακές στο χώρο και στο χρόνο τιμές της διήθησης και δεν αντιστοιχούν στις φυσικές τιμές της διήθησης.
- Έμμεσες συνολικές εκτιμήσεις από το υδατικό ισοζύγιο των υπόγειων υδροφορέων, οι οποίες εφαρμόζονται όταν μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι μεταβολές όγκου, οι απολήψεις και οι διαφυγές των υπόγειων υδροφορέων, συνεπώς πολύ σπάνια.
- Ημιεμπειρικές αναλυτικές σχέσεις αρκετά εύχρηστες, αλλά με παραμέτρους που δύσκολα προσδιορίζονται.
- Πληρέστερες θεωρητικές προσεγγίσεις, οι οποίες είναι μεν δύσχρηστες, αλλά επιδέχονται απλοποιήσεις, οι οποίες όμως προσκρούουν πάνω σε περιπτώσεις ισχυρής ανισοτροπίας και ανομοιογένειας των εδαφών.

1.2.4. Επίδραση των χρήσεων γης στην διήθηση

Είναι γεγονός ο, τι οι αλλαγές στις χρήσεις γης έχουν οδηγήσει σε τροποποιήσεις στην υδρολογία των λεκανών απορροής. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται στην αστικοποίηση των περιοχών, στην αποψίλωση των δασών, στην εντατική καλλιέργεια και στην υπερβόσκηση, δημιουργώντας εδάφη με αδιαπέρατες επιφάνειες, οδηγώντας στη μείωση της ικανότητας διήθησης του εδάφους και, κατά συνέπεια, στην αύξηση του ποσού της επιφανειακής απορροής (Okello et al., 2007, Abu-Hashim, 2011).

Αναφέρεται πως μεγαλύτερα ποσοστά διήθησης παρουσιάζουν οι δασικές εκτάσεις και ακολουθούν οι βοσκότοποι, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τα απογυμνωμένα εδάφη και τέλος οι οικιστικές περιοχές, οι οποίες έχουν τα μικρότερα ποσοστά, σε αντίθεση με την επιφανειακή απορροή όπου εκεί μεγαλύτερα ποσοστά απορροής παρουσιάζουν οι οικιστικές περιοχές και ακολουθούν τα απογυμνωμένα εδάφη, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, οι βοσκότοποι και τέλος οι δασικές εκτάσεις. Συμπεραίνεται λοιπόν πως τα ποσοστά διήθησης και επιφανειακής απορροής στους διάφορους τύπους χρήσεων γης είναι αντίθετα (Πηγή: omp.gso.uri.edu/ompweb/doe/.../act10.pdf).

Οι δασικές εκτάσεις έχουν υψηλότερη ικανότητα διήθησης, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ύλη, που όπως αναφέρθηκε αποτρέπει το φράξιμο των πόρων και επιτρέπει τη διήθηση του νερού, αλλά και της βελτιωμένης δομής του εδάφους, καθώς και ενός υψηλού ποσοστού μακροπόρων που παράγονται από τη δραστηριότητα των ριζών. Επιπλέον η παρουσία αποσυντεθειμένων ριζών οδηγούν σε υψηλά ποσοστά διείσδυσης (Mann & Tolbert, 2000, από Abu-Hashim, 2011). Η μεγάλη ανάπτυξη των ριζών σε βαθύτερα σημεία του εδάφους παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα με αποτελέσματα περισσότερες διόδους για τη διείσδυση του νερού. Οι Heermann και Duke (1983) ανέφεραν ότι η παρουσία των στρωμάτων απορριμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους του δάσους επιβραδύνει την επιφανειακή απορροή και παρέχει περισσότερο χρόνο για το νερό να διεισδύσει στο έδαφος (Abu-Hashim, 2011).

Τα λιβάδια-βοσκότοποι έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διήθησης από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Ernest and Tollner 2002, and Al-Hassoun 2009, από Abu-Hashim, 2011). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην υψηλότερη συμπίεση του εδάφους που εμφανίζεται στα καλλιεργήσιμα εδάφη, λόγω υψηλής πίεσης που προκαλούν τα αγροτικά μηχανήματα, οδηγώντας σε μειωμένα ποσοστά διήθησης. Επίσης οι εκτάσεις λιβαδιών παρέχουν μια μόνιμη κάλυψη του εδάφους η οποία μπορεί να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις των βροχοπτώσεων στην επιφάνεια του εδάφους και ως εκ τούτου μειώνει την υποβάθμιση της συνολικής σταθερότητας και το ποσοστό επιφανειακής απορροής, δίνοντας περισσότερο χρόνο στη διείσδυση (Laurance, 2007, Schuler, 2006, Armbruster et al., 2004, Bronstert, 2004, από Abu-Hashim, 2011). Επίσης παράγεται μια μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας των φυτών στο έδαφος, οδηγώντας σε μια μεγαλύτερη επιφανειακή συσσώρευση της οργανικής

ύλης, η οποία με τη σειρά της συμβάλλει σε βελτιωμένα ποσοστά διείσδυσης (Wienhold και Tanaka, 2000, από Abu-Hashim, 2011) .

Η αλλαγή χρήσης γης από φυσική ή ημιφυσική βλάστηση σε εκτάσεις συνεχούς καλλιέργειας και βόσκησης έχει έντονη επίδραση στην πυκνότητα του εδάφους , στην αποθηκευτική ικανότητα, στη διήθηση και μεταφορά του νερού και στην απορροή (Cameron et al., 1981, Tollner et al., 1990 & Broersma et al., 1995, από Abu-Hashim, 2011).

Όσον αφορά την αστικοποίηση, οι χρήσεις γης αλλάζουν, δημιουργώντας εδάφη με αδιαπέρατες επιφάνειες οδηγώντας σε μείωση της ικανότητας διήθησης του εδάφους και κατά συνέπεια, αύξηση του ποσού της απορροής. εξαιτίας της μείωσης της κατείσδυσης από την κάλυψη του εδάφους με άσφαλτο, τσιμέντο κ. λ. π (Abu-Hashim, 2011).

1.2.5. Υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους και ταχύτητα διήθησης

Η υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα εκφράζει την ευκολία με την οποία κινείται το νερό και εξαρτάται, τόσο από τις ιδιότητες του μέσου, όσο και από τις ιδιότητες του νερού (Βουδούρης, 2009). Ορίζεται από το νόμο του Darcy, ο οποίος για μονοδιάστατη κατακόρυφη ροή, μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$U = -K \, dh/dl$$

Όπου U η ταχύτητα Darcy και dh/dl η υδραυλική κλίση i (hydraulic gradient) που ορίζεται ως τη μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ανά μονάδα μήκους κατά τη διεύθυνση της υπόγειας ροής και K η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία έχει διαστάσεις ταχύτητας (LT^{-1}) (Βουδούρης, 2009).

Ένα μέσο έχει υδραυλική αγωγιμότητα ίση με τη μονάδα, όταν μεταβιβάζει στη μονάδα του χρόνου κάθετα στη διεύθυνση της υπόγειας ροής, τη μονάδα του όγκου νερού από μοναδιαία διατομή με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους. Το κινηματικό ιξώδες σχετίζεται με την εσωτερική τριβή, την αντίσταση δηλαδή του υγρού στη ροή.

Ανάλογα με την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως :

- Πολύ υδροπερατοί όταν $k \geq 10^{-1} \text{ m/s}$
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} < k < 10^{-1} \text{ m/s}$

- Λίγο υδροπερατοί όταν $10^{-9} < k < 10^{-6}$ m/s
- Πρακτικά στεγανοί όταν $k \leq 10^{-9}$ m/s

Όταν το υδραυλικό φορτίο μετράται σε κορεσμένο έδαφος, η υδραυλική αγωγιμότητα παραμένει σταθερή σε σχέση με το ύψος πίεσης. Στην περίπτωση αυτή αποκαλείται υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμένου εδάφους K_{sat} (saturated hydraulic conductivity) (Παπαζαφειρίου 1999, από Παρασκευάς X., 2010) και καθορίζεται κυρίως από τη γεωμετρία και την κατανομή των πόρων. Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (K_s) ισούται με την τελική διηθητικότητα (f_c) (Παπαζαφειρίου, 1999) και είναι διαφορετική για τους διάφορους τύπους εδαφών (Πίνακας 1.4.).

Πίνακας 1.4. Αντιπροσωπευτικές τιμές της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας για διάφορους τύπους εδαφών (Clapp and Hornberger, 1978) (Πηγή: www.scialert.net)

Soil texture	K_{sat} (m year ⁻¹)
Sand	5.55×10^3
Loamy sand	4.93×10^3
Sandy loam	1.09×10^3
Silty loam	2.27×10^2
Loam	2.19×10^2
Sandy clay loam	1.99×10^2
Silty clay loam	5.36×10^1
Clay loam	7.73×10^1
Sandy clay	6.84×10^1
Silty clay	3.21×10^1
Clay	4.05×10^1

Από την άλλη μεριά σε ακόρεστο έδαφος, δηλαδή όπου το περιεχόμενο νερό μεταβάλλεται ως προς το χρόνο και τη θέση, η υδραυλική αγωγιμότητα είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του εδάφους αλλά και της περιεχόμενης υγρασίας και λέγεται ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα (unsaturated hydraulic conductivity) (Παπαζαφειρίου 1999, από Παρασκευάς X., 2010) .Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, ως μέτρο κίνησης του νερού σε ακόρεστο μέσο, είναι μικρότερη από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας σε κορεσμένο μέσο. Με βάση την περιεκτικότητα του νερού, η υδραυλική αγωγιμότητα ενός ακόρεστου μέσου (K_{unsat}) σε σχέση με την κορεσμένη τιμή (K_s) δίνεται από τη σχέση:

$$K_{unsat} = K_s [(S_s - S_o) / (1 - S_o)]^3$$

Όπου S_s ο βαθμός κορεσμού και S_o ο υπολειμματικός κορεσμός που αντιπροσωπεύει το νερό των πόρων που δεν κινείται και δεσμεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις (Καλλέργης κ. α, 2004, από Βουδούρη, 2009).

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από επιτόπου πειραματικές μετρήσεις, από την κοκκομετρία με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων, από δοκιμαστικές αντλήσεις, με εργαστηριακές μεθόδους και με ιχνηθετήσεις (Βουδούρης, 2009).

1.2.6. Διήθηση και επιφανειακή απορροή

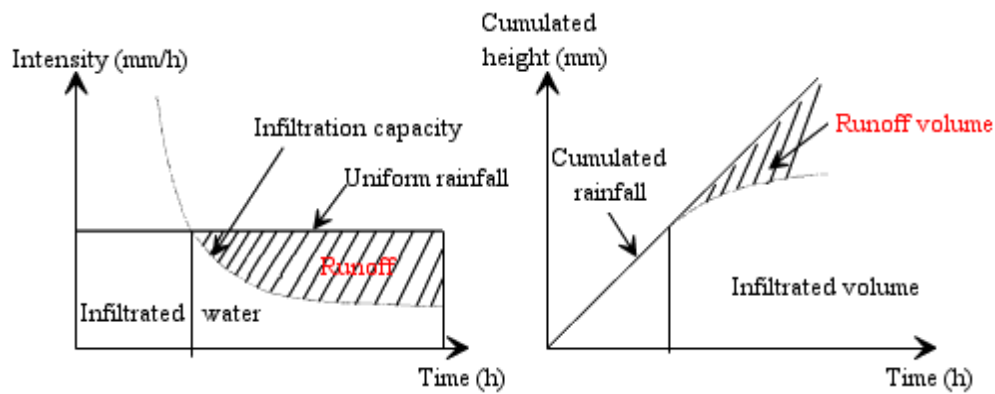
Η επιφανειακή απορροή είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν η ένταση της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη της μέγιστης ικανότητας του εδάφους να απορροφάει το νερό. Αυτή η ικανότητα όπως αναφέρθηκε είναι η διηθητική ικανότητα του εδάφους και μειώνεται με το χρόνο μέχρι να φτάσει μια σταθερή τιμή, η οποία είναι ισοδύναμη με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Διαφορετικά η διαδικασία της απορροής μπορεί να αναπτυχθεί σε δύο φάσεις:

- Όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη της διήθησης ($R < i$)

Κατά την έναρξη της βροχόπτωσης, η ικανότητα διήθησης είναι πιο μεγάλη από την ένταση της βροχής με αποτέλεσμα το νερό να διηθείται ολοκληρωτικά στο έδαφος ώσπου να επιτευχθεί ο κορεσμός του εδάφους. Ο χρόνος βύθισης (submersion time t_s) μπορεί να οριστεί ως η διάρκεια μεταξύ της έναρξης της βροχόπτωσης και της στιγμής όπου το έδαφος επιτυγχάνει τον κορεσμό. Ο χρόνος βύθισης είναι μεταβλητός και εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης και την αρχική υγρασία του εδάφους.

- Όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη της διήθησης ($R > i$)

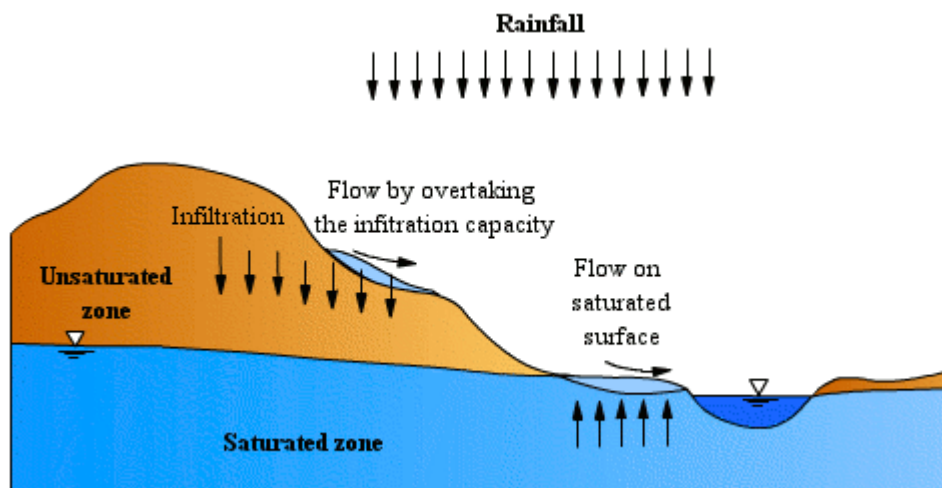
Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε επιφανειακή απορροή διότι η ένταση της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη της μέγιστης διηθητικής ικανότητας του εδάφους. Όταν η απορροή είναι μεγαλύτερη της ικανότητας διήθησης του εδάφους, τότε το νερό ρέει σε άλλη περιοχή της λεκάνης απορροής που έχει μεγαλύτερη ικανότητα διήθησης. Με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, η προκύπτουσα διαδικασία απορροής δίνει απάντηση στις υδρολογικές λεκάνες ημι-ξηρών κλιμάτων και επίσης σε καταστάσεις έντονης βροχόπτωσης (Σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6. Ρυθμός διήθησης και αθροιστική διήθηση για μια σταθερή βροχόπτωση και ερμηνεία του χρόνου βύθισης [Musy, 2001]

(Πηγή: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/main.htm)

Η επιφανειακή απορροή σε κορεσμένες επιφάνειες δημιουργείται όταν αυτή υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης του εδάφους να συγκρατεί νερό και την ικανότητα να μεταδίδει πλευρικά τη ροή του ύδατος (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Διαδικασία ροής που παράγεται όταν αυτή υπερβαίνει την ικανότητα διείσδυσης του εδάφους να συγκρατεί το νερό και όταν αυτή πραγματοποιείται σε κορεσμένες επιφάνειες [Musy, 2001]

(Πηγή : echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/main.htm)

1.2.7. Μεθοδολογία Πεδίου (Υπαίθριες μετρήσεις)

Η μέτρηση της διηθητικότητας στην ύπαιθρο γίνεται με συσκευές που γενικά αποκαλούνται διηθητόμετρα. Οι τύποι των διηθητόμετρων που χρησιμοποιούνται είναι πολλοί ανάλογα με την μέθοδο άρδευσης που θα εφαρμοστεί:

- Διηθητόμετρα κυλίνδρου-δακτυλίου (Ring Infiltrometers): Η πιο απλή και ευρύτατα χρησιμοποιούμενη συσκευή μέτρησης της κατακόρυφης διηθητικότητας είναι το κυλινδρικό διηθητόμετρο. Ένας κυλινδρικός μεταλλικός δίσκος τοποθετείται με το κάτω οξύ άκρο του λίγα εκατοστά μέσα στο έδαφος και γεμίζει με νερό. Η διηθητικότητα του εδάφους μετράται είτε σημειώνοντας την πτώση στάθμης του νερού σε συνάρτηση με το χρόνο, είτε μετρώντας το νερό που διοχετεύεται στο όργανο από ένα ογκομετρικό δοχείο για να διατηρείται η στάθμη του νερού σταθερή στο εσωτερικό των κυλίνδρων (Παπαζαφειρίου, 1999). Οι μετρήσεις καταγράφονται μέχρι ο ρυθμός διήθησης να φθάσει μια σταθερή τιμή (Bouwer, 1986). Για την αποφυγή πλευρικών απωλειών χρησιμοποιείται και ένας δεύτερος δακτύλιος εξωτερικά του πρώτου. Ωστόσο με τη μέθοδο αυτή το νερό (μέσα στους κυλίνδρους) λιμνάζει στην επιφάνεια του εδάφους και ένα μεγάλο μέρος αυτού μπορεί να διεισδύσει μέσα από τις ρωγμές και κατά συνέπεια να οδηγήσει σε πολύ μεγάλες τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας, οι οποίες δεν είναι αντιπροσωπευτικές και οδηγούν σε αυξημένα ποσοστά διήθησης, μεγαλύτερα από τις φυσικές συνθήκες διήθησης (Lukens, 1981, από Hydrology book, 1996) . Κατά τον Bouwer (1963) αν οι στάθμες του νερού στον εσωτερικό και στον εξωτερικό κύλινδρο είναι διαφορετικές, μπορεί να γίνουν σφάλματα κατά τη μέτρηση της διηθητικότητας (Παπαζαφειρίου, 1999).

1.2.8. Μεθοδολογία Επεξεργασίας (προσεγγιστικές εξισώσεις)

Για την ποσοτική εκτίμηση της διηθητικότητας του εδάφους έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες κατά καιρούς και έχουν προκύψει σχέσεις που υπολογίζουν τη στιγμιαία και αθροιστική διηθητικότητα σε συνάρτηση με το χρόνο και κάποιων άλλων εδαφικών παραμέτρων. Ίσως η πιο απλή από τις σχέσεις αυτές είναι αυτή που διατυπώθηκε από τον Kostiaikov (1932) και έχει τη μορφή (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$F = a t^b$$

Όπου F είναι η αθροιστική διηθητικότητα που εκφράζεται συνήθως σε mm, t είναι ο χρόνος από την αρχή της διήθησης εκφρασμένος σε min και a, b σταθερές ($a > 0$ και $0 < b < 1$) που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Αν $a = 0$ η διηθητικότητα μηδενίζεται, ενώ αν $b = 0$, τότε $F = a$ σταθερό και αν $b \geq 1$ το f αυξάνεται με το χρόνο. Από την παραγωγή της ανωτέρω σχέσης προκύπτει η στιγμιαία διηθητικότητα του εδάφους, η οποία εκφράζεται σε mm/h (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = a b t^{b-1}$$

Μια αδυναμία της μεθόδου είναι ότι η στιγμιαία διηθητικότητα τείνει ασυμπτωματικά στο μηδέν για μεγάλους χρόνους, αντί να οδεύει προς τη σταθερή τιμή της τελικής διηθητικότητας f_c .

Ο Horton (1939, 1940) παρουσίασε μια εξίσωση με τρεις παραμέτρους της μορφής (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-\beta t}$$

Όπου f_c είναι η τελική διηθητικότητα, f_0 η αρχική διηθητικότητα και β μια εδαφική παράμετρος που σχετίζεται με το ρυθμό μείωσης της ταχύτητας διήθησης του νερού. Οι f_0 και β εξαρτώνται από την αρχική υγρασία του εδάφους και από τον ρυθμό εφαρμογής του νερού στο έδαφος. Σε ομογενή εδάφη η f_c θα είναι κατά τι μικρότερη από την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) (Παπαμιχαήλ, 2001):

Ο Philip (1975) πρότεινε μια σχέση η οποία προέκυψε από τη θεωρητική διερεύνηση του φαινομένου της διήθησης (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + C$$

Όπου S είναι μια παράμετρος που ο ίδιος ονόμασε "προσροφητικότητα" και C μια παράμετρος ο Youngs (1968) θεώρησε ότι είναι ίσο με $K_s/3$, κάτι που σημαίνει ότι για μεγάλα χρονικά διαστήματα δεν είναι φυσικώς συνεπής.

Οι Holton et al.(1967) παρουσίασαν μια σχέση της μορφής (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = a (S_t - F)^n + f_c$$

Όπου F είναι η αθροιστική διηθητικότητα, S_t είναι το "αποθηκευτικό δυναμικό" του εδάφους πάνω από μια στρώση ανάσχεσης που λέγεται και "επίπεδο ελέγχου" και a, n είναι σταθερές που εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους, την κατάσταση της επιφάνειας του και το είδος και την κατάσταση που βρίσκεται η καλλιέργεια. Σημαντική δυσκολία είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου ελέγχου με βάση το οποίο θα προσδιοριστεί το S_t (Παπαμιχαήλ, 2001).

Οι Green και Ampt (1911) παρουσίασαν πιθανόν την πρώτη σχέση που διατυπώθηκε ποτέ για την προσέγγιση της διηθητικότητας. Η εξίσωση αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι κατά τη διήθηση, η ροή του νερού στο έδαφος είναι συμπαγής και διαμορφώνει ένα υγρό μέτωπο που διαχωρίζει τη ζώνη του εδάφους που υγράνθηκε πλήρως (ζώνη μεταφοράς) από τη ζώνη στην οποία δεν διηθήθηκε καθόλου νερό. Η εξίσωση αυτή των Green και Ampt έχει τη μορφή (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = K_s (H_o + S_f + Z_f)$$

Όπου K_s είναι η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης μεταφοράς, H_o είναι το ύψος πίεσης στην επιφάνεια του εδάφους, S_f είναι το ύψος πίεσης στο υγρό μέτωπο, Z_f είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της επιφάνειας και του υγρού μετώπου. Αν $H_o \approx 0$ και η αθροιστική διηθητικότητα εκφράζεται από τη σχέση: $F = (\theta_o - \theta_i) Z_f = M_d Z_f$, όπου θ_o και θ_i η τελική και η αρχική υγρασία κατ' όγκον αντίστοιχα, η σχέση γράφεται (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = K_s + K_s S_f M_d / F$$

Ένα από τα πλεονεκτήματα της εξίσωσης είναι ότι οι παράμετροι της έχουν φυσική σημασία, αν και ο προσδιορισμός του S_f παρουσιάζει δυσκολίες. Αγνοείται όμως η κίνηση του αέρα στο έδαφος, κάτι που μπορεί να προκαλέσει σημαντικά σφάλματα. Για το σκοπό αυτό οι Morel-Seytoux και Kanji (1974) τροποποίησαν την παραπάνω σχέση εισάγοντας το διορθωτικό παράγοντα β , που ορίζεται σε συνάρτηση με το έδαφος και τις ιδιότητες του ρευστού (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = 1/\beta (K_s + (K_s M_d H_c)/ F)$$

Όπου H_c είναι η κλίση του δυναμικού πίεσης στη ζώνη μεταφοράς.

Τέλος, η USDA Soil Conservation Service (1969, 1974, 1979) εισήγαγε μια παραλλαγή της σχέσης του Kostiaikov (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$f = at^b + c$$

Όπου a, b, c σταθερές, η σταθερά c θεωρείται ίση με 7mm. Αν γίνει παραγωγή της παραπάνω σχέσης με το χρόνο δίνεται η στιγμιαία διηθητικότητα: $f = a b t^{b-1}$ που είναι της ίδιας μορφής με αυτήν του Kostiakov. Όμως οι σταθερές a, b δεν έχουν καμία σχέση με τις αντίστοιχες του Kostiakov. Η F εκφράζεται σε mm, ο χρόνος σε min και η f σε mm/min. Αν γίνει αντικατάσταση της f με την f_c και ο χρόνος t με t_c (ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσουμε στην τελική διηθητικότητα f_c), τότε η f_c εκφρασμένη σε mm/h δίνεται από τη σχέση (Παπαμιχαήλ, 2001):

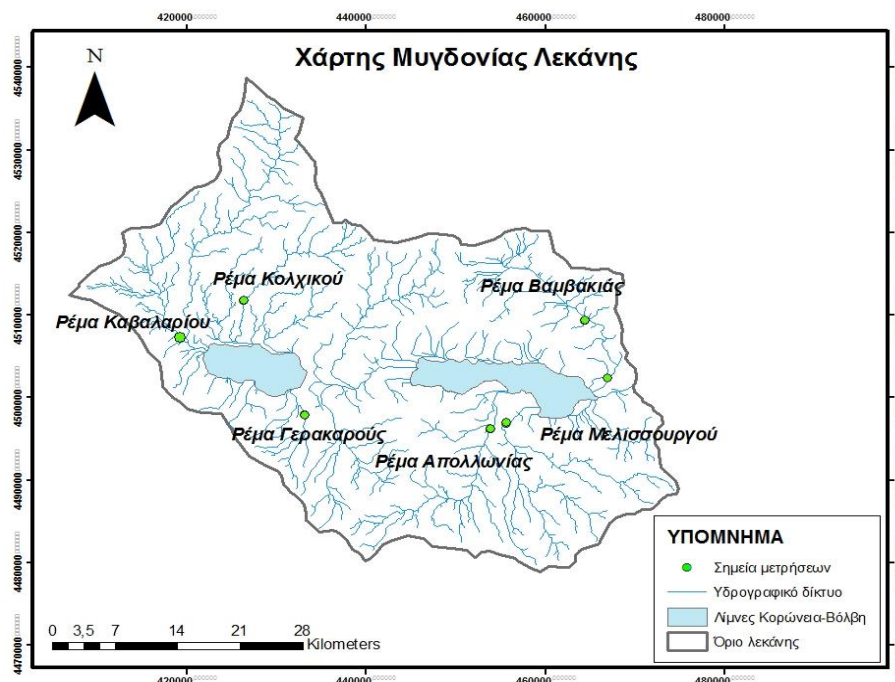
$$f_c = 60 a b t_c^{b-1}$$

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Σημεία δοκιμών πεδίου

Σε κοίτες των υδατορεμάτων των λιμνών της Κορώνειας και της Βόλβης έγιναν οι μετρήσεις πεδίου. Συγκεκριμένα στα ρέματα Κολχικού, Γερακαρούς και Καβαλαρίου στην λίμνη Κορώνεια και στα ρέματα Απολλωνίας, Μελισσουργού και Βαμβακιάς στη λίμνη Βόλβη. Ωστόσο δεν ήταν δυνατή η λήψη αποτελεσμάτων από όλα τα ρέματα λόγω των φυσικών εμποδίων που συναντήθηκαν. Στο ρέμα Καβαλαρίου και στο ρέμα της Βαμβακιάς ήταν αδύνατη η τοποθέτηση του οργάνου λόγω της πυκνής βλάστησης και των κροκαλών αντίστοιχα που υπήρχαν στις περιοχές. Και αυτό γιατί το έδαφος στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί το διηθητόμετρο διπλού κυλίνδρου πρέπει να είναι καθαρό, χωρίς φυσικά εμπόδια. Άρα οι μετρήσεις έγιναν μόνο στα υπόλοιπα τέσσερα ρέματα των λιμνών.

Από τα δεδομένα των μετρήσεων βρέθηκε η ταχύτητα διήθησης των ιζηματογενών αποθέσεων στις κοίτες των ρεμάτων και κατ' επέκταση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας τους (K_s). Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, όπως αναφέρθηκε, είναι ένας δείκτης κίνησης του νερού και μέσω αυτής μπορεί να εκτιμηθεί η ικανότητα των ρεμάτων να τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφορέα καθώς και να παροχετεύουν το μεταφερόμενο νερό στις λίμνες.



Σχήμα 2.1. Σημεία δοκιμών πεδίου στα ρέματα της Μυγδονίας λεκάνης (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη 2013, Πελέκη Αντωνία)

2.2. Περιγραφή οργάνου

Το διηθητόμετρο διπλού δακτυλίου είναι μια καλά αναγνωρισμένη και τεκμηριωμένη τεχνική για την άμεση μέτρηση των ρυθμών διείσδυσης εδάφους (Bouwer 1986, ASTM 2003). Αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλινδρικούς χαλύβδινους δακτυλίους, οι οποίοι τοποθετούνται στο έδαφος. Οι κυλινδρικοί δακτύλιοι έχουν ύψος 25 cm και διαφέρουν ως προς τη διάμετρό τους. Συνήθως στον εξοπλισμό του οργάνου υπάρχουν τρία ζεύγη διπλών δακτυλίων τα οποία τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία του εδάφους με σκοπό την ταχύτερη λήψη των αποτελεσμάτων σε αυτή τη χρονοβόρα διαδικασία των μετρήσεων. Οι διάμετροι των εσωτερικών δακτυλίων είναι 28 cm, 30 cm και 32 cm και των εξωτερικών 53 cm, 55 cm και 57 cm αντίστοιχα. Ο εξοπλισμός του οργάνου αποτελείται ακόμα από ένα βοηθητικό επίπεδο και ένα πλαστικό σφυρί, που διευκολύνουν την τοποθέτηση των κυλίνδρων στο έδαφος. Τέλος χρησιμοποιούνται χρονόμετρο, χάρακας, νάιλον (τοποθέτηση στον εσωτερικό κύλινδρο, για μεγαλύτερη ακρίβεια του χρονικού διαστήματος της έναρξης των μετρήσεων) και φύλλα για την καταγραφή των δεδομένων, καθώς και νερό για την τροφοδοσία του συστήματος (ASTM 2003) (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2. Το διηθητόμετρο διπλού δακτυλίου (Πηγή: www.waqtechprojects.com)

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του διηθητόμετρου διπλού δακτυλίου είναι:

- Φθηνός εξοπλισμός οργάνου
- Κατάλληλο για μετρήσεις της κάθετης υδραυλικής αγωγιμότητας
- Η ροή του νερού από τον εσωτερικό δακτύλιο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μονοδιάστατη κατακόρυφη κίνηση
(Πηγή: [pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Presentations/Water permeability & infiltration measurements-def.pdf](http://pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Presentations/Water%20permeability%20&%20infiltration%20measurements-def.pdf))
- Είναι κατάλληλο για σχεδόν οποιοδήποτε τύπο εδάφους.
- Το υλικό ανοξείδωτου χάλυβα από τον οποίο είναι κατασκευασμένοι οι κύλινδροι διαρκεί για πάντα
- Τα τρία ζεύγη δακτυλίων έχουν ως αποτέλεσμα τη λήψη αντιπροσωπευτικότερου αποτελέσματος

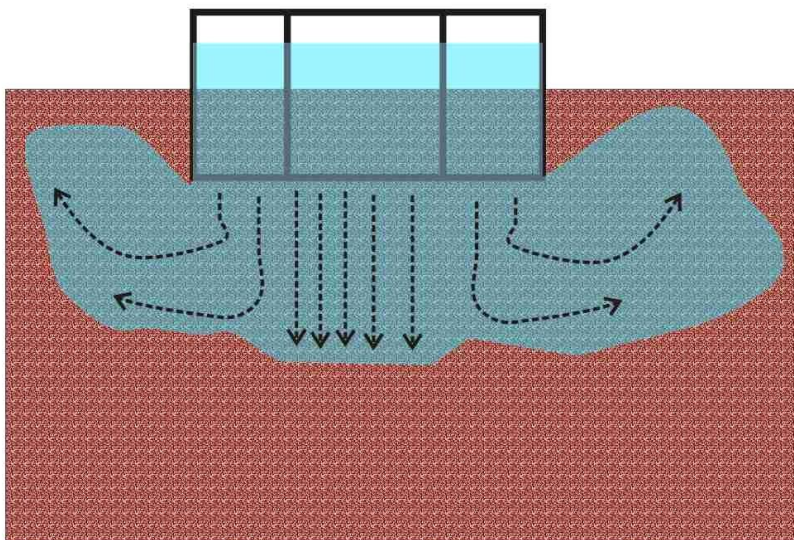
Όσον αφορά τα μειονεκτήματα του :

- Δεν είναι κατάλληλο για εδάφη με χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα ($<10^{-7}$ cm/s)
- Οι μετρήσεις διαρκούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για εδάφη με αγωγιμότητα από 10^{-7} έως 10^{-6} cm/s

- Δεν είναι κατάλληλο για σκληρά, πετρώδη εδάφη και εδάφη με απότομες κλίσεις.
- Το περιεχόμενο νερό χρειάζεται να προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία και την εξάτμιση σε μετρήσεις που διαρκούν πολλές ώρες.
- Η βλάστηση και τυχόν φυσικά εμπόδια, όπως κλαδιά ή φύλλα επηρεάζουν τις μετρήσεις.

2.3. Περιγραφή μεθόδου

Αρχικά πρέπει να βρεθεί ένα κατάλληλο σημείο για την τοποθέτηση του οργάνου από το οποίο αφαιρούνται φυσικά εμπόδια όπως κλαδιά και πέτρες (χωρίς να διαταραχθεί η επιφάνεια του εδάφους), για τη σωστή λειτουργία του διηθήμετρου. Έπειτα χρησιμοποιούνται το βοηθητικό επίπεδο και το πλαστικό σφυρί για τη τοποθέτηση των κυλινδρικών δαχτυλίων σε βάθος 10-15cm μέσα στο έδαφος από την μεριά του κάτω άκρου που είναι πιο οξύλικτο. Αφού τοποθετηθούν αφαιρείται το βοηθητικό επίπεδο τοποθετείται νάιλον στον εσωτερικό κύλινδρο και το σύστημα τροφοδοτείται με νερό προσπαθώντας να διατηρηθεί σταθερή η στάθμη του νερού στους κυλινδρικούς δακτυλίους σε ένα ύψος 5-10 cm . Ένα υψηλότερο επίπεδο νερού στον εξωτερικό δακτύλιο θα οδηγούσε σε μειωμένα ποσοστά διήθησης στον εσωτερικό δακτύλιο. Ο σκοπός του εξωτερικού δακτυλίου είναι να προωθήσει μονοδιάστατη, κατακόρυφη ροή κάτω από το εσωτερικό δακτύλιο και να λειτουργεί σαν εμπόδιο με σκοπό την αποφυγή πλευρικών διαδόσεων (ASTM 2003) (Σχήμα 2.3)



Σχήμα 2.3. Η μονοδιάστατη, κατακόρυφη ροή κάτω από το εσωτερικό δακτύλιο (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη 2013, Πελέκη Αντωνία)

Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τον εσωτερικό δακτύλιο συνήθως σε χρονικά διαστήματα δεκαπέντε λεπτών την πρώτη ώρα της δοκιμής, τριάντα λεπτών την δεύτερη ώρα και ανά μια ώρα για τις επόμενες τουλάχιστον πέντε με έξι ώρες, όπου είναι απαραίτητο να διαρκέσει η τροφοδοσία των δακτυλίων με νερό έως ότου η ικανότητα διήθησης του εδάφους φθάσει μια σταθερή τιμή, όπου το έδαφος δεν μπορεί να απορροφήσει άλλη ποσότητα νερού και επέρχεται κορεσμός (ASTM 2003). Είναι πιθανόν η δοκιμή να διαρκέσει πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τα χρονικά διαστήματα των μετρήσεων να προσαρμοστούν διαφορετικά, ανάλογα πάντα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε δοκιμής.

Οι αργές μετρήσεις επηρεάζονται σημαντικά από αλλαγές στη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία ειδικά όταν οι δοκιμές διαρκούν παραπάνω από μερικές ώρες. Επομένως για να αποφευχθεί η εξάτμιση του νερού από το όργανο είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου καλύμματος που θα μπορεί να τοποθετηθεί πάνω στους δακτυλίους, κατά τη διάρκεια της διήθησης και να αφαιρείται κατά την τροφοδοσία του συστήματος, ωστόσο να επιτρέπει στον αέρα να εισέρχεται στο εσωτερικό του οργάνου (ASTM 2003).

2.4. Μετρήσεις πεδίου

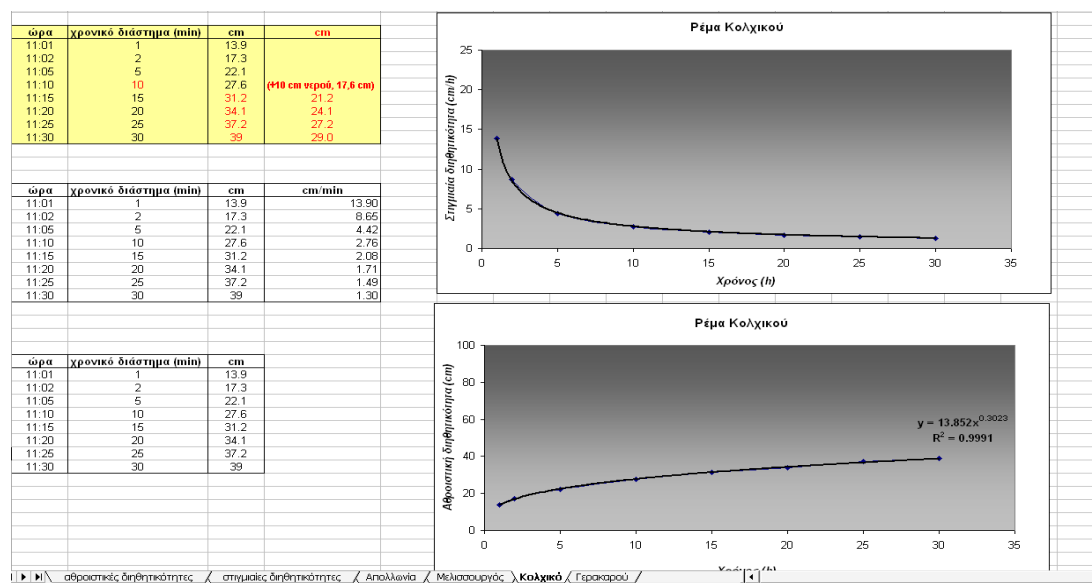
Οι μετρήσεις της διηθητικότητας πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2013. Όπως αναφέρθηκε οι τιμές λαμβάνονταν από τον εσωτερικό δακτύλιο σε χρονικά διαστήματα (1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 λεπτών) με τη βοήθεια χάρακα που βρισκόταν τοποθετημένος στον εσωτερικό κύλινδρο και ενός χρονομέτρου για τη τήρηση του ακριβούς χρόνου. Αρχικά πριν γεμίσουν με νερό οι κύλινδροι τοποθετήθηκε ένα νάιλον, όπως αναφέρθηκε, στον εσωτερικό δακτύλιο με σκοπό την συγκράτηση του νερού ώστε να μη χαθούν οι πρώτες τιμές. Κατόπιν το νάιλον αφαιρέθηκε και ξεκίνησε η καταγραφή της πτώσης στάθμης .



Εικόνα 2.1. Διαδικασία εισαγωγής νερού με τη βοήθεια νάιλον και καταγραφή της πτώσης στάθμης με χάρακα.

2.5. Επεξεργασία των δεδομένων

Τα δεδομένα των μετρήσεων του πεδίου καταγράφηκαν στο excel του προγράμματος των office και προέκυψαν οι καμπύλες διηθητικότητας (Σχήμα 2.4). Στη συνέχεια με τη χρήση της εξίσωσης του Kostiakov προέκυψαν οι τιμές της στιγμιαίας (cm/h) και της αθροιστικής διηθητικότητας (cm), καθώς και η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (Ks) για κάθε ρέμα της περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης.



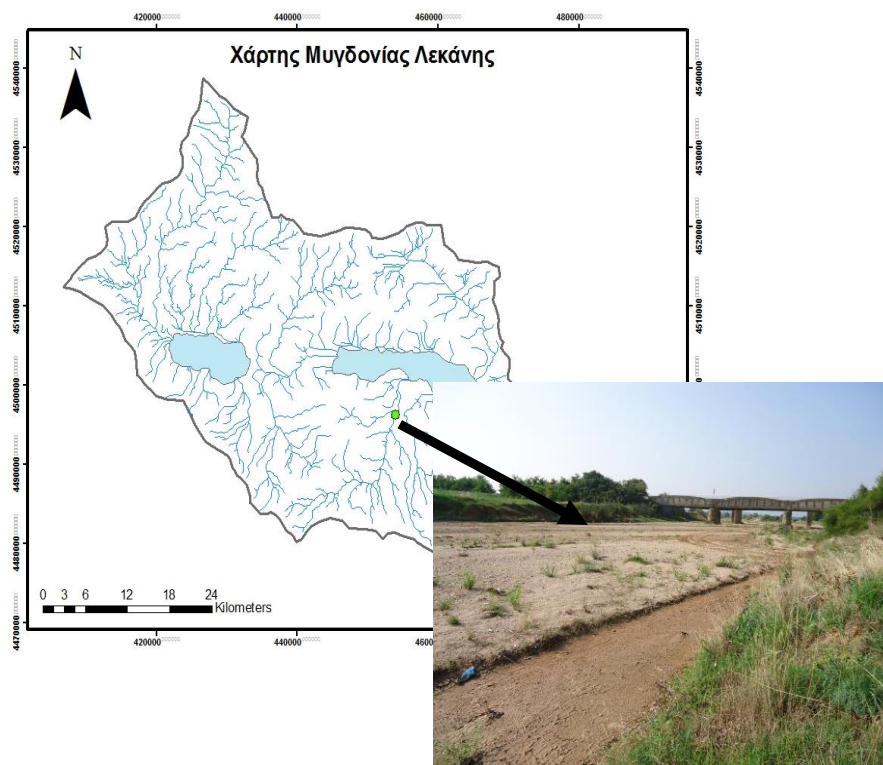
Σχήμα 2.4. Καταγραφή δεδομένων στο excel και δημιουργία των καμπυλών διηθητικότητας

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τις υπαίθριες μετρήσεις της διηθητικότητας στα ρέματα των λιμνών της Κορώνειας και της Βόλβης προέκυψαν οι καμπύλες της στιγμιαίας και της αθροιστικής διηθητικότητας, καθώς και η τελική ταχύτητα διήθησης του κάθε ρέματος, η οποία ισοδυναμεί με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα :

3.1. Λίμνη Βόλβη

3.1.1. Ρέμα Απολλωνίας



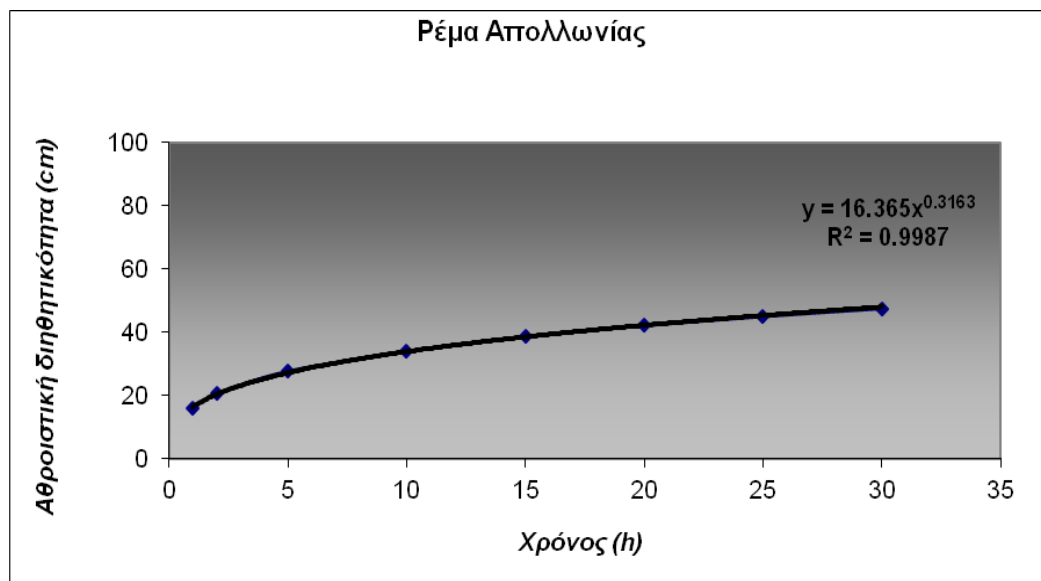
Σχήμα 3.1. Σημείο ρέματος Απολλωνίας στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία.

Πίνακας 3.1. Δεδομένα των μετρήσεων διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας στο πεδίο

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
9:01	1	16.0	(+15 cm νερού, 19 cm)
9:02	2	20.6	
9:05	5	27.9	
9:10	10	34.0	
9:15	15	38.7	
9:20	20	42.1	
9:25	25	45.0	
9:30	30	47.5	

Πίνακας 3.2. Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας

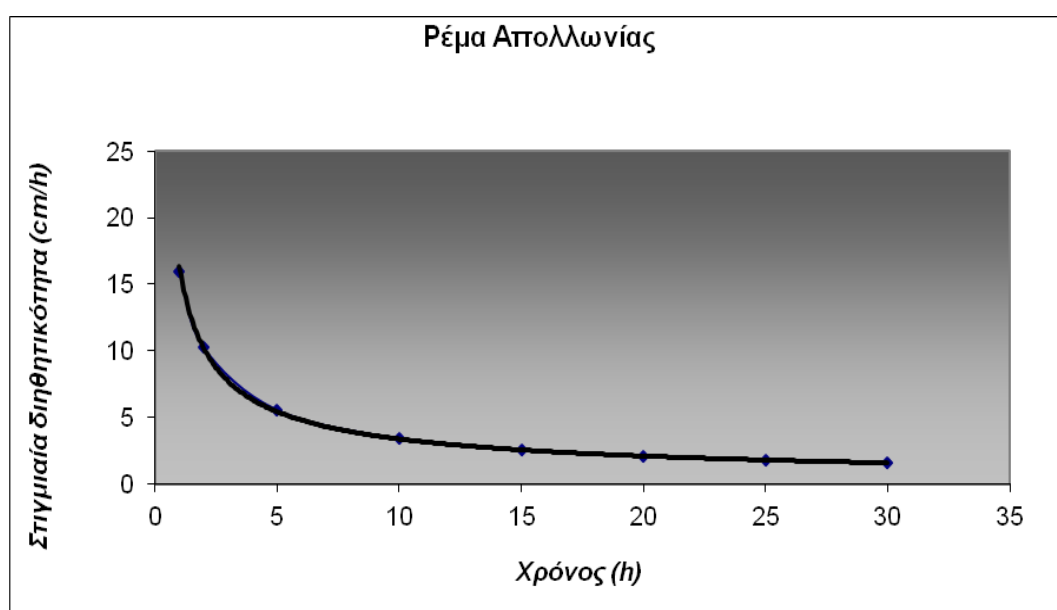
ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)
9:01	1	16.0
9:02	2	20.6
9:05	5	27.9
9:10	10	34.0
9:15	15	38.7
9:20	20	42.1
9:25	25	45.0
9:30	30	47.5



Σχήμα 3.2. Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα της Απολλωνίας

Πίνακας 3.3. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμιαία διηθητικότητα (cm/min)
9:01	1	16.0	16.00
9:02	2	20.6	10.30
9:05	5	27.9	5.58
9:10	10	34.0	3.40
9:15	15	38.7	2.58
9:20	20	42.1	2.11
9:25	25	45.0	1.80
9:30	30	47.5	1.58



Σχήμα 3.3. Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα της Απολλωνίας

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiaikov προκύπτει ότι για το ρέμα της Απολλωνίας (Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., 2007):

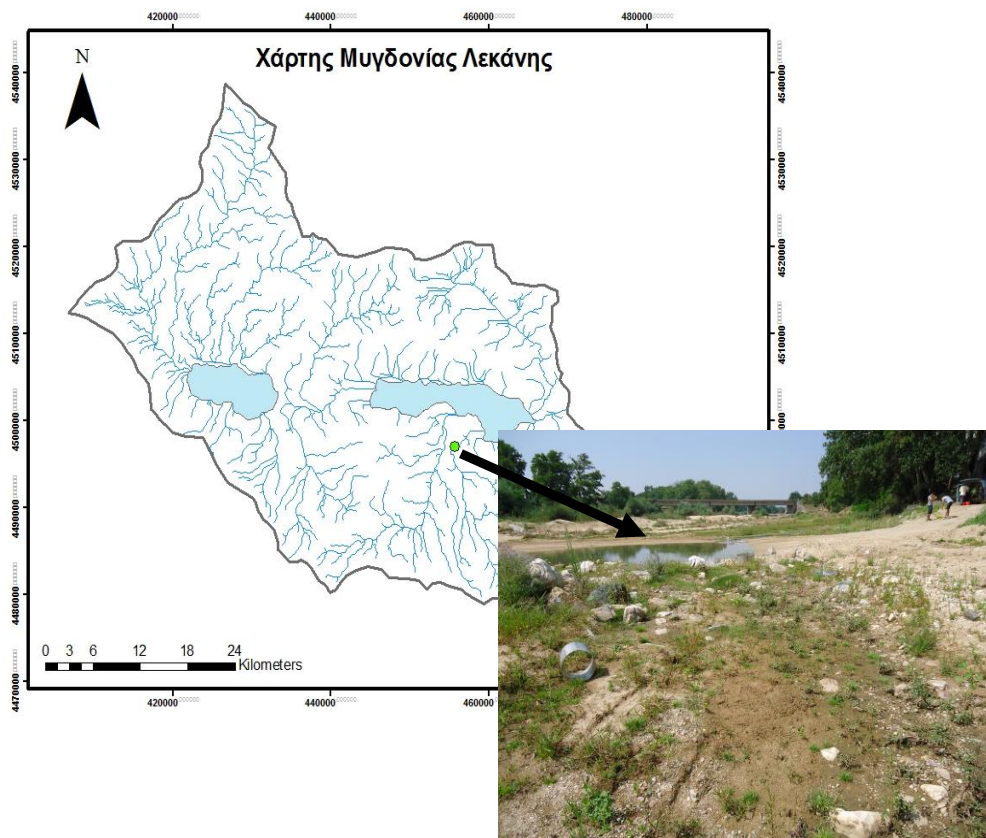
Αθροιστική διηθητικότητα: $y = a t^b$, άρα $y = 16,365 t^{0,3163}$ cm ($a = 16,365$, $b = 0,3163$)

Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

Στιγμιαία διηθητικότητα : $i = a b t^{b-1}$, άρα $i = 5,18 t^{-0,6837}$ cm/min ή
 $i = 310,8 t^{-0,6837}$ cm/h

Για $t=30\text{min}$ ισχύει ότι : $i_{\text{τελ}}=30,4$ cm/h

3.1.2. Ρέμα Μελισσουργού



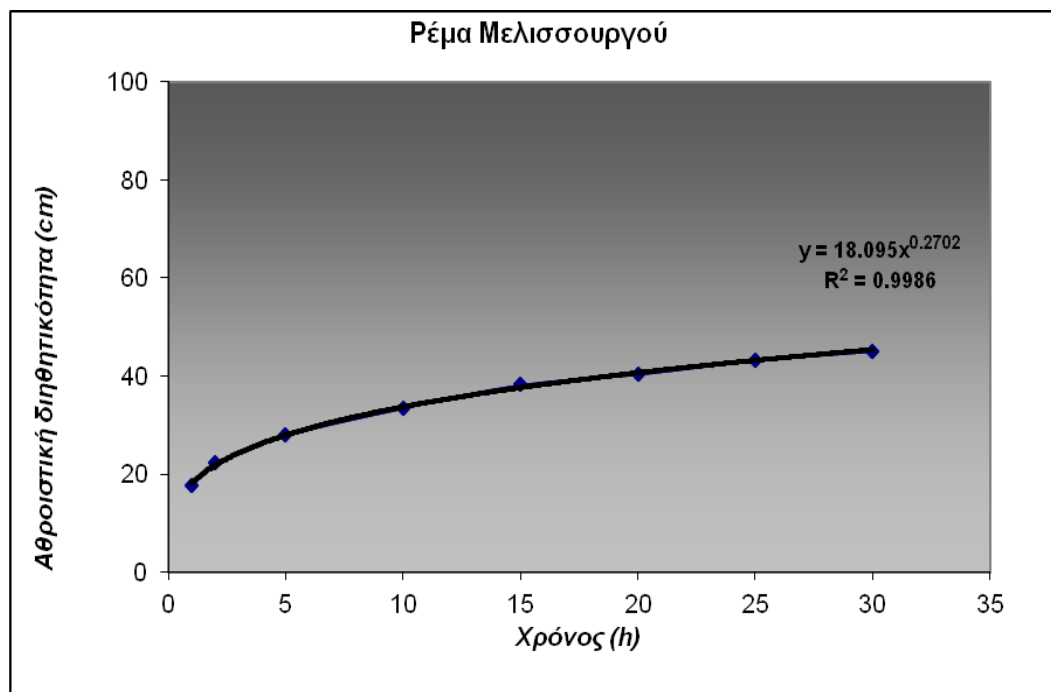
Σχήμα 3.4. Σημείο ρέματος Μελισσουργού στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία

Πίνακας 3.4. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Μελισσουργού στο πεδίο

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
10:01	1	17.8	(+10 cm νερού, 23,5)
10:02	2	22.3	
10:05	5	27.9	
10:10	10	33.5	
10:15	15	38.2	
10:20	20	40.4	
10:25	25	43.2	
10:30	30	45.1	

Πίνακας 3.5. Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Μελισσουργού

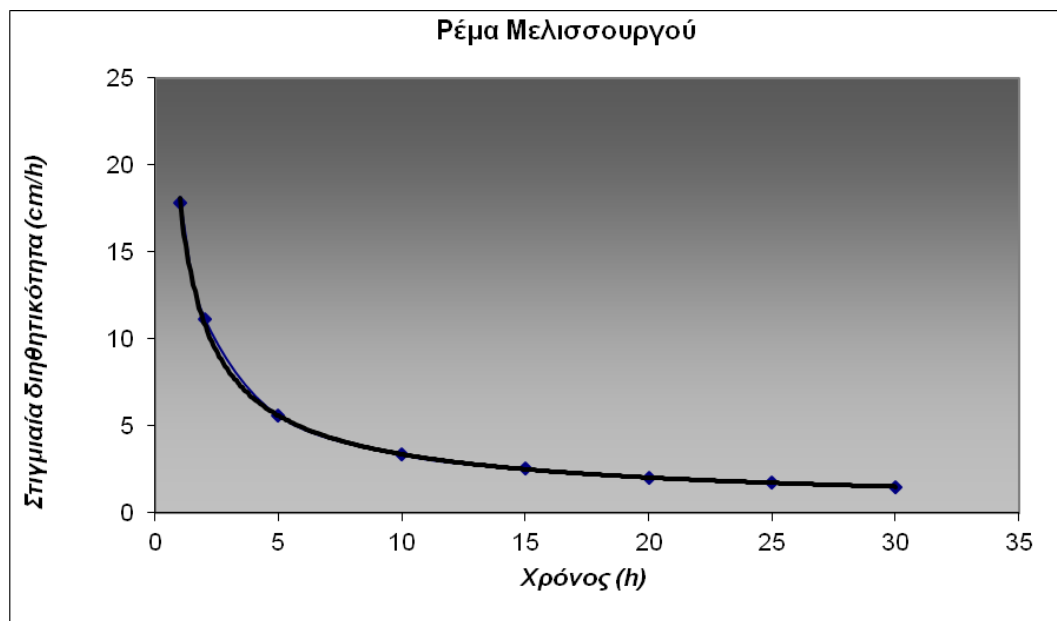
ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)
10:01	1	17.8
10:02	2	22.3
10:05	5	27.9
10:10	10	33.5
10:15	15	38.2
10:20	20	40.4
10:25	25	43.2
10:30	30	45.1



Σχήμα 3.5. Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα του Μελισσουργού

Πίνακας 3.6. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Μελισσουργού

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμαία διηθητικότητα (cm/min)
10:01	1	17.8	17.80
10:02	2	22.3	11.15
10:05	5	27.9	5.58
10:10	10	33.5	3.35
10:15	15	38.2	2.55
10:20	20	40.4	2.02
10:25	25	43.2	1.73
10:30	30	45.1	1.50



Σχήμα 3.6. Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα του Μελισσουργού

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiacon προκύπτει ότι για το ρέμα του Μελισσουργού (Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., 2007):

Αθροιστική διηθητικότητα: $y = a t^b$, άρα $y = 18,095 t^{0,27}$ cm ($a = 18,095$, $b = 0,27$)

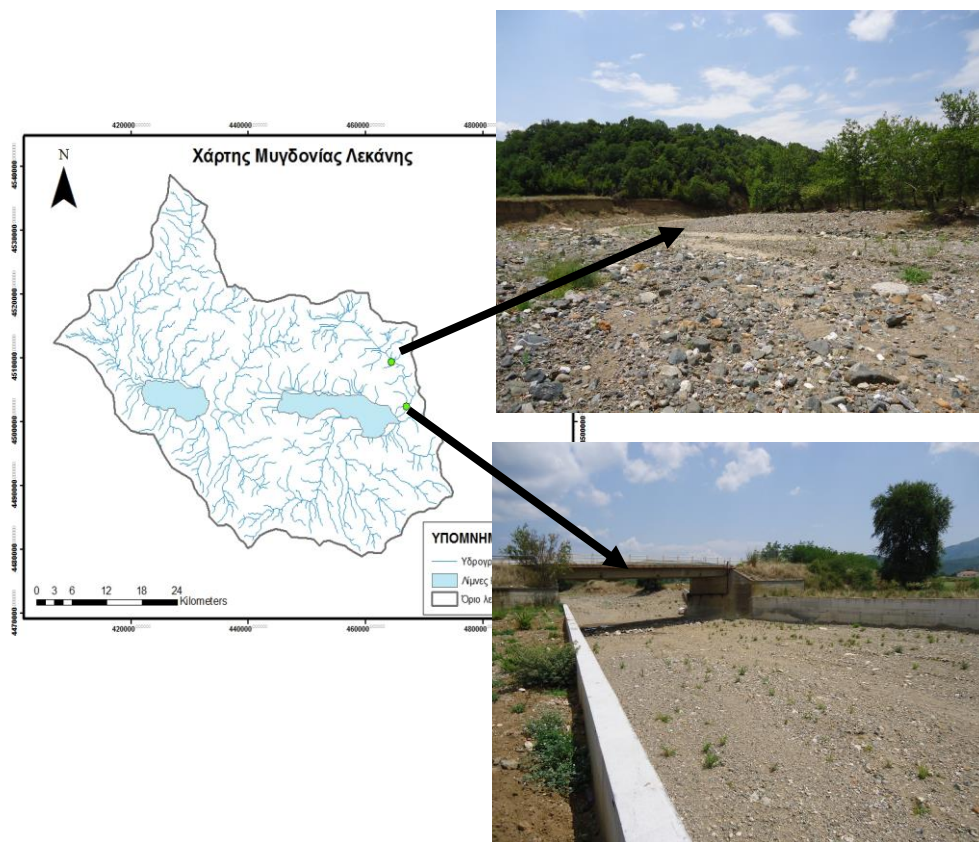
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

Στιγμιαία διηθητικότητα : $i = a b t^{b-1}$, άρα $i = 4,9 t^{-0,73}$ cm/min ή

$$i = 294 t^{-0,7271} \text{ cm/h}$$

Για $t=30$ min ισχύει ότι : $i_{τελ}=24,5$ cm/h

3.1.3. Ρέμα Βαμβακιάς

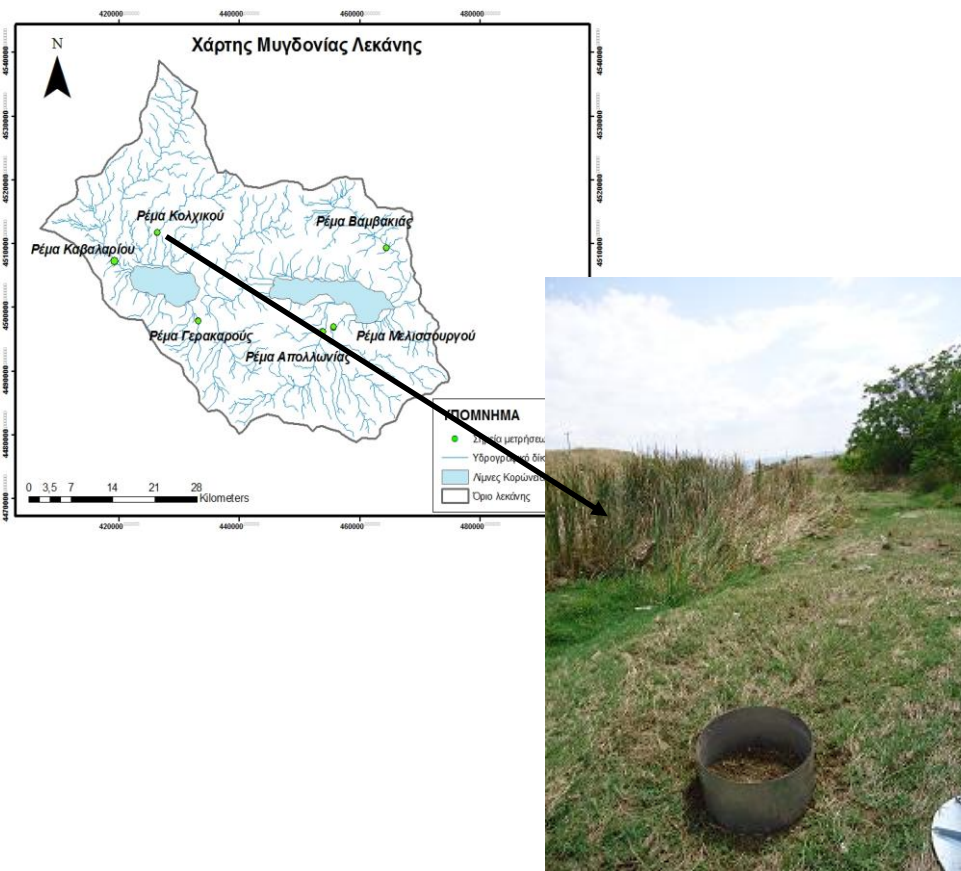


Σχήμα 3.7. Σημεία ρέματος Βαμβακιάς στο χάρτη και αντίστοιχες φωτογραφίες

Στο ρέμα της Βαμβακιάς δεν έγιναν μετρήσεις εξαιτίας των κροκαλών που υπήρχαν και εμπόδιζαν την τοποθέτηση του οργάνου.

3.2. Λίμνη Κορώνεια

3.2.1. Ρέμα Κολχικού



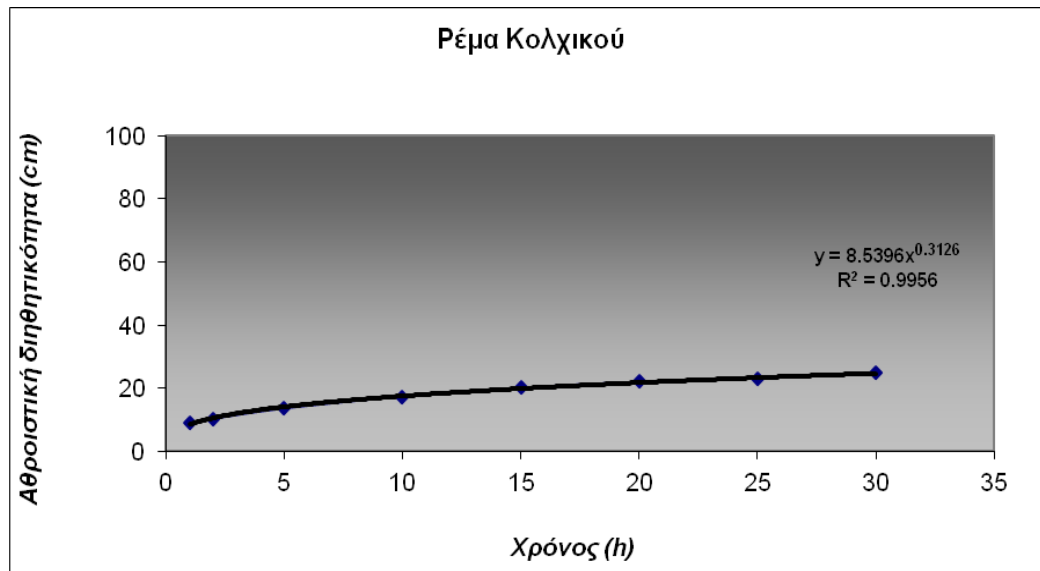
Σχήμα 3.8. Σημείο ρέματος Κολχικού στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία

Πίνακας 3.7. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού στο πεδίο

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
11:01	1	8.9	(+10 cm νερού, 7,4 cm)
11:02	2	10.3	
11:05	5	13.6	
11:10	10	17.4	
11:15	15	20.2	
11:20	20	22.1	
11:25	25	23.2	12.1
11:30	30	25	13.2
			15.0

Πίνακας 3.8. Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού

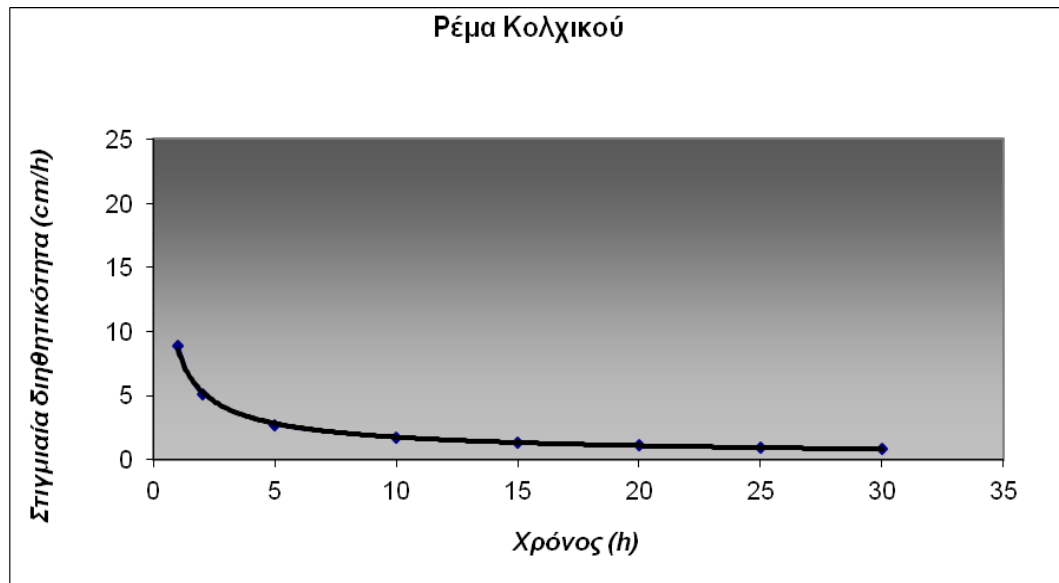
ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)
11:01	1	8.9
11:02	2	10.3
11:05	5	13.6
11:10	10	17.4
11:15	15	20.2
11:20	20	22.1
11:25	25	23.2
11:30	30	25



Σχήμα 3.9. Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα Κολχικού

Πίνακας 3.9. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμιαία διηθητικότητα (cm/min)
11:01	1	8.9	8.90
11:02	2	10.3	5.15
11:05	5	13.6	2.72
11:10	10	17.4	1.74
11:15	15	20.2	1.35
11:20	20	22.1	1.11
11:25	25	23.2	0.93
11:30	30	25	0.83



Σχήμα 3.10. Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα του Κολχικού

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiaikov προκύπτει ότι για το ρέμα του Κολχικού (Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., 2007):

Αθροιστική διηθητικότητα: $y = a t^b$, άρα $y = 8,5396 t^{0,3126} \text{ cm}$ ($a = 8,5396$, $b = 0,3126$)

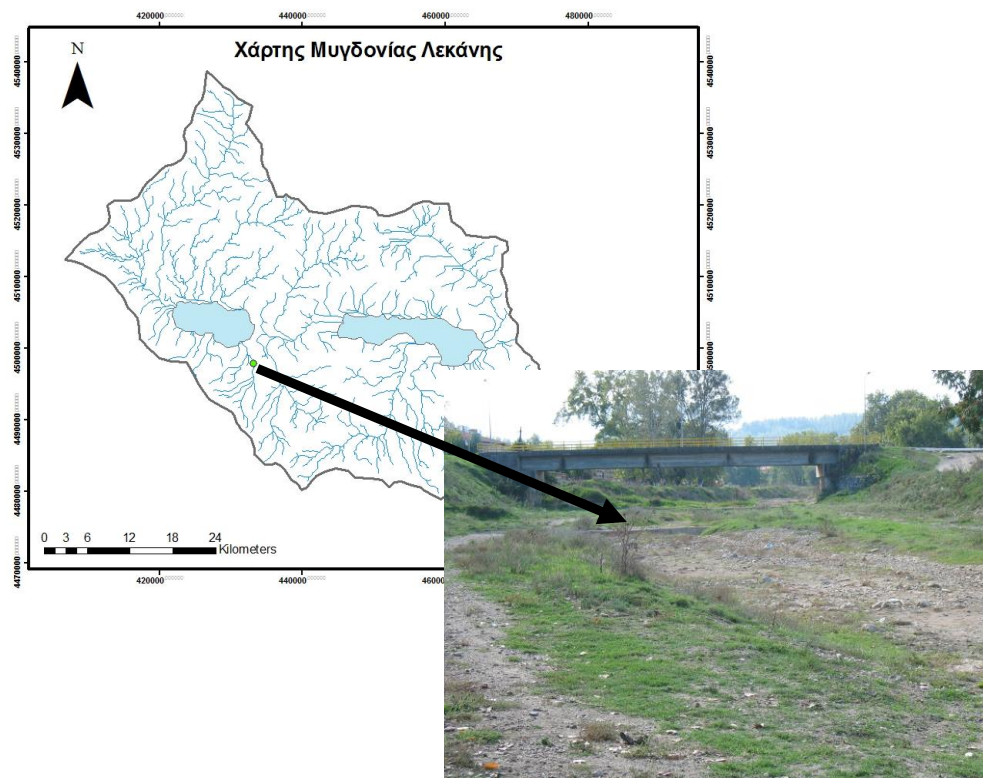
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

Στιγμιαία διηθητικότητα: $i = a b t^{b-1}$, άρα $i = 2,67 t^{-0,6874} \text{ cm/min}$ ή

$$i = 250 t^{-0,6874} \text{ cm/h}$$

Για $t=30\text{min}$ ισχύει ότι : $i_{\text{τελ}}=15,4 \text{ cm/h}$

3.2.2. Ρέμα Γερακαρούς



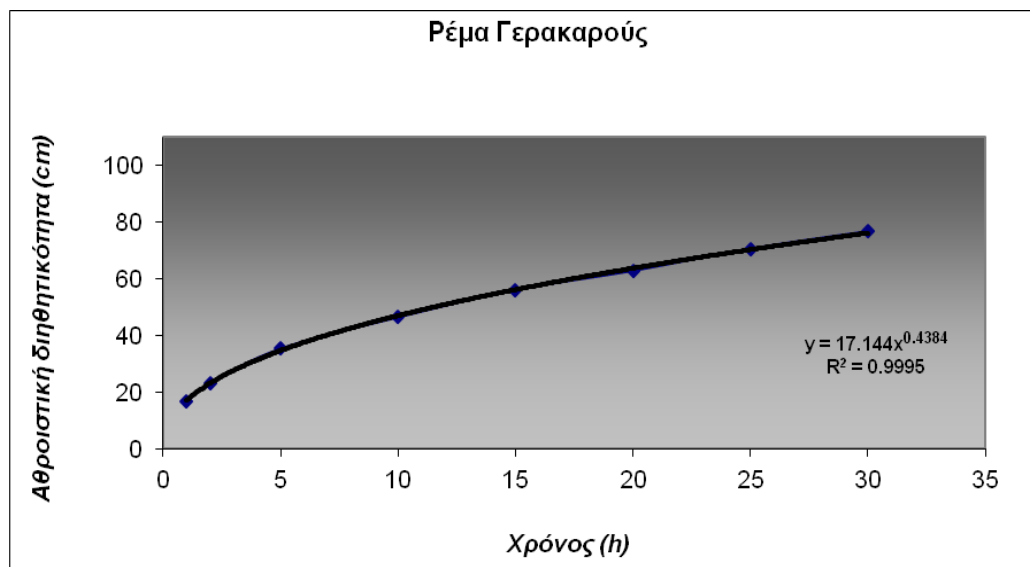
Σχήμα 3.11. Σημείο ρέματος Γερακαρούς στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία

Πίνακας 3.10. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος της Γερακαρούς στο πεδίο

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
12:01	1	17	
12:02	2	23.3	
12:05	5	35.5	(+20 cm νερού, 15,5 cm)
12:10	10	46.5	
12:15	15	56.1	(+20 cm νερού, 36,1 cm)
12:20	20	62.8	
12:25	25	70.6	
12:30	30	76.7	

Πίνακας 3.11. Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος της Γερακαρούς

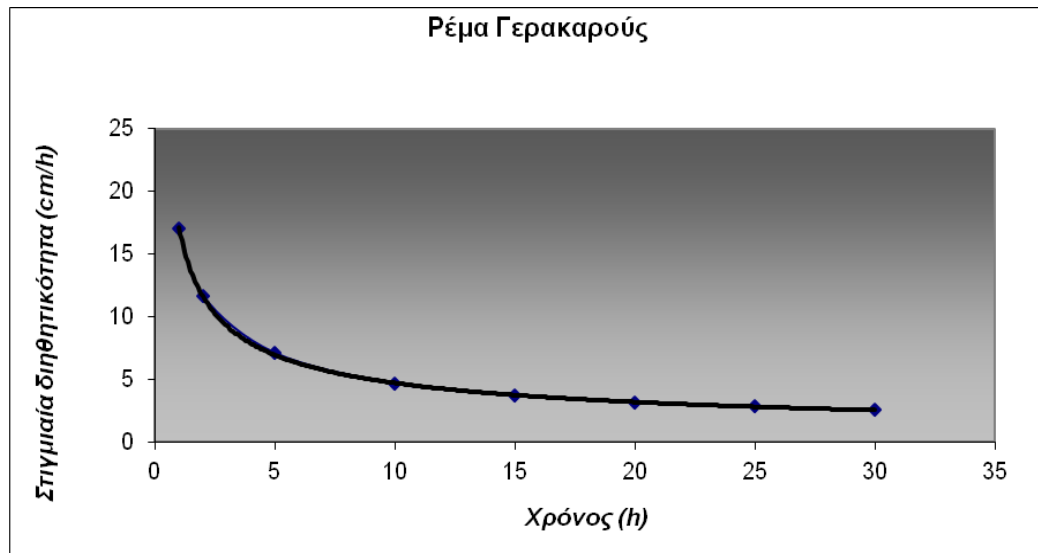
ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)
12:01	1	17
12:02	2	23.3
12:05	5	35.5
12:10	10	46.5
12:15	15	56.1
12:20	20	62.8
12:25	25	70.6
12:30	30	76.7



Σχήμα 3.12. Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα της Γερακαρούς

Πίνακας 3.12. Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμαία διηθητικότητα (cm/min)
12:01	1	17	17.00
12:02	2	23.3	11.65
12:05	5	35.5	7.10
12:10	10	46.5	4.65
12:15	15	56.1	3.74
12:20	20	62.8	3.14
12:25	25	70.6	2.82
12:30	30	76.7	2.56



Σχήμα 3.13. Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα της Γερακαρούς

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiakov προκύπτει ότι για το ρέμα της Γερακαρούς (Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., 2007):

Αθροιστική διηθητικότητα: $y = a t^b$, άρα $y = 17,144 t^{0,4384}$ cm ($a = 17,144$, $b = 0,4384$)

Από την οποία με παραγώγιση προκύπτει:

Στιγμιαία διηθητικότητα : $i = a b t^{b-1}$, άρα $i = 7,5 t^{-0,5616}$ cm/min ή
 $i = 450 t^{-0,5616}$ cm/h

Για $t=30\text{min}$ ισχύει ότι : $i_{\text{τελ}}=66$ cm/h

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ικανότητα κατείδυσης των ιζηματογενών αποθέσεων στις κοίτες των κυριότερων ρεμάτων, μετρήθηκε στο πεδίο με infiltrometer διπλού δακτυλίου (Double ring infiltrometer), ώστε αφενός να εκτιμηθεί η ικανότητα των ρεμάτων να παροχετεύουν στις λίμνες το μεταφερόμενο νερό και αφετέρου να παρασχεθούν στοιχεία στην ομάδα των υδρογεωλόγων για τη σύνδεση επιφανειακών – υπόγειων νερών.

Από τις μετρήσεις φαίνεται ότι οι τιμές των ταχυτήτων διήθησης στις κοίτες των υδατορευμάτων της Μυγδονίας λεκάνης ήταν πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές της βιβλιογραφίας. Αυτό οφείλεται στο ότι οι βιβλιογραφικές τιμές αναφέρονται σε τιμές εδαφών, ενώ οι τιμές της παρούσας εργασίας αναφέρονται σε υλικά των κοιτών των χειμάρρων.

Η υψηλότερη ταχύτητα διήθησης ήταν αυτή του ρέματος της Γερακαρούς (66 cm/h) και ακολουθούσε το ρέμα της Απολλωνίας (30,4 cm/h), το ρέμα του Μελισσουργού (24,5 cm/h) και τέλος το ρέμα του Κολχικού (15,4 cm/h).

Σύμφωνα με την ταξινόμηση που πρότεινε ο Nikolov (1983) οι ταχύτητες διήθησης για τα ρέματα Απολλωνίας, Μελισσουργού και Γερακαρούς χαρακτηρίζονται ως ταχείες (R), ενώ του Κολχικού χαρακτηρίζεται ως μέτρια-ταχεία (M-R).

Τα ρέματα Απολλωνίας και Μελισσουργού, που εκβάλλουν στο Ν τμήμα της λίμνης Βόλβης είχαν σχετικά παρόμοιες τιμές ταχύτητας διήθησης, εφόσον βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους και τα υλικά στις κοίτες τους, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, αποτελούνταν από το ίδιο υλικό, χονδρόκοκκες έως μεσόκοκκες άμμοι.

Η μικρότερη ταχύτητα διήθησης στο ρέμα του Κολχικού οφείλεται στο ότι η μέτρηση της διηθητικής ικανότητας του ρέματος πραγματοποιήθηκε σε τμήμα της κοίτης που είχε μικρή κλίση και το υλικό ήταν ιλυούχες άμμοι. Το τμήμα όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στο ρέμα του Κολχικού βρισκόταν αρκετά μακριά από τη λίμνη.

Όσον αφορά το ρέμα της Γερακαρούς, η αρκετά μεγαλύτερη ταχύτητα διήθησης, σε σχέση με τα υπόλοιπα ρέματα, είναι πολύ πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη εγκάρσιων τεχνητών αναβαθμών στην κοίτη του ρέματος, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη μείωση της κλίσης της κοίτης, τη μείωση της ταχύτητας νερού, τη συγκράτηση χονδρόκοκκης άμμου και συνεπώς την αύξηση της κατείδυσης. Η διαδικασία αυτή είναι θετικό στοιχείο για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου

ορίζοντα με νερό καθώς ενισχύεται η κατακόρυφη κατείσδυση (κατακόρυφη κίνηση), λειτουργεί όμως αρνητικά για την τροφοδοσία της λίμνης Κορώνειας γιατί με αυτό τον τρόπο μειώνεται η επιφανειακή απορροή και περιορίζεται η ποσότητα του νερού που κινείται προς τη λίμνη.

Για τη δημιουργία επιφανειακής απορροής, με σκοπό την τροφοδοσία των λιμνών, είναι απαραίτητη η ύπαρξη βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης, έτσι ώστε οι παροχές να είναι μεγάλες ώστε να ξεπερνούν τη μέγιστη διηθητική ικανότητα των ιζημάτων της κοίτης. Αντίθετα ασθενείς βροχοπτώσεις δίνουν μικρές παροχές που κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υδροφόρους ορίζοντες ενώ δεν κατορθώνουν να δώσουν επιφανειακή απορροή.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASTM.2003. D3385-03 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. Annual Book of ASTM Standards 04.08. Amer. Soc. Testing Materials, West Conshohocken, PA.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. Pages 825-843 in: Methods of Soil Analysis. A. Klute, ed. ASA Monograph 9. ASA. Madison, WI.
- Galawezh B. Bapeer, Ali M. Surdasy and Kareem M. Hassan., (2010). Infiltration rates of soils in some locations within erbil plain, Kurdistan Region, North Iraq, Iraqi Bulletin of Geology and Mining Vol.6, No.2, 2010 p 127-137
- Hydrology Book, Manuals and reports on engineering, Practice No 28, American Society of Civil Engineers (ASCE), 1996.
- Mini disk Infiltrometer, User's Manual, Version 9, Decagon Devices 2007-2011.
- Mohamed Said Desoky Abu-Hashim., (2011). Impact of land-use and land management on the water infiltration capacity of soils on a catchment scale, JKI eds.
- Rajeh Alhassoun., (2009). Studies on factors affecting the infiltration capacity of agricultural soils, Online-Ressource.
- USDA, (1998). The United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Βουδούρης Κ., (2009). Υδρογεωλογία περιβάλλοντος, υπόγεια νερά και περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Μουσιάδης Κ., (2009). Η επίδραση του βαθμού αραιώσεων σε οικολογικές παραμέτρους του κύκλου του νερού σε συστάδα πλατύφυλλου δρυός (*Quercus Frainetto ten.*) στο Χολομώντα Χαλκιδικής, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού περιβάλλοντος.
- Παπαζαφειρίου Ζ., (1999) Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ Δ., (2001). Τεχνική Υδρογεωλογία επιφανειακών νερών, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαχούλη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., (2007) Βασικές αρχές και πρακτική των αρδεύσεων, Διδακτικές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας.
- Παρασκευάς Χ., (2010). Πειραματική και θεωρητική μελέτη της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους με χρήση λυσίμετρων, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας.
- Τσακίρης Γ., (1995). Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα .
- Τσιούνα Α., (2012). Εκτίμηση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του ποταμού Αποσελέμη (Ν.Κρήτη), Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

http://hiropoiito.blogspot.gr/2011/02/blog-post_9352.html

<http://croptechology.unl.edu/pages/informationmodule.php?>

<http://civil-online2010.blogspot.com>

<http://www.nzdl.org>

<http://echo2.epfl.ch>

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/does/.../act10.pdf>

<http://www.scialert.net>

http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/main.htm

http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/main.htm

<http://www.wagtechprojects.com/products/Double-Ring-Infiltrometer.html>

http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/text.htm

6. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Εικόνα 6.1 Το διηθητόμετρο διπλού δακτυλίου



Εικόνα 6.2 Διαδικασία αρχικής πλήρωσης του διηθητόμετρου με νερό