

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

‘Οικολογική ποιότητα και διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής’

ΤΜΗΜΑΤΩΝ

ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ και ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΕΛΕΚΗ ΑΝΤΩΝΙΑ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**«Συνθήκες κατείσδυσης και υπόγειας ροής στις χαλαρές αποθέσεις των
κοιτών των υδατορευμάτων της Μυγδονίας λεκάνης»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013**

ARISTOTELE UNIVERSITY OF THESSALONIKI

INTERDISCIPLINARY

POSTGRADUATE MASTER PROGRAM

‘Ecological water quality and management at a river basin level’

**BY THE SCHOOLS OF
BIOLOGY, GEOLOGY and CIVIL ENGINEERING**

**PELEKI ANTONIA
Bsc in GEOLOGY**

**«Infiltration and groundwater flow conditions in loose sediments of deposited
beds of Mygdonia basin streams »**

**MASTER DISSERTATION THESIS
THESSALONIKI 2013**

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

1. **Βουβαλίδης Κωνσταντίνος**, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.,
Επιβλέπων
2. **Βουδούρης Κωνσταντίνος**, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.,
Μέλος
3. **Βαφειάδης Μαργαρίτης**, Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.,
Μέλος

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο "Οικολογική ποιότητα και διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής" του τμήματος Βιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο για την πραγμάτωση αυτής της εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας κ. Βουβαλίδη Κωνσταντίνο για την εμπιστοσύνη του στην ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Η προτροπή του, η επιστημονική καθοδήγηση του και κυρίως η ηθική συμπαράσταση με βοήθησαν ώστε να εργαστώ πιο ουσιαστικά. Οι συμβουλές του τόσο σε προσωπικό, όσο και σε επιστημονικό επίπεδο ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος για την προθυμία του να παρευρίσκεται στις υπαίθριες μετρήσεις. Οι εύστοχες παρατηρήσεις του και η ιδιαίτερη εμπειρία του ήταν καθοδηγητικός παράγοντας για την σωστότερη επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο και τον Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Θεσσαλονίκης κ. Βαφειάδη Μάριο για την πρόθυμη συμμετοχή τους σε αυτήν.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να πω ένα ακόμα ευχαριστώ στον κ. Βουδούρη για τις συμβουλές του και για την άμεση εξυπηρέτηση του όποτε τον χρειάστηκα. Μέσω αυτού ήρθα σε επαφή με τον κ. Γεωργίου Πανταζή, Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωπονίας. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την κατατοπιστικότητα βοήθεια του, την φιλική αντιμετώπιση και την ιδιαίτερη προσοχή που έδειξε προς το πρόσωπο μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φοιτητές του τμήματος Γεωλογίας Αλεξιάδη Γιώργο και Γαληνό Αλέξανδρο για την σημαντικότερη συμβολή και βοήθεια τους για την ολοκλήρωση των μετρήσεων στην ύπαιθρο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Κωνσταντίνο και Φανή και τον αδερφό μου Δημήτρη, για την έμπρακτη και ουσιαστική στήριξη τους σε όλα τα χρόνια της

φοιτητικής μου πορείας και ιδιαίτερα αυτόν τον τελευταίο χρόνο που ήταν αρκετά δύσκολος για εμένα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου Γιώργο για όλη την υπομονή και αντοχή που έδειξε, την ηθική συμπαράσταση και βαθύτατη κατανόηση του. Χωρίς την βοήθειά του τίποτα δεν θα αντιμετωπιζόταν με την ίδια λογική, σύνεση και αισιοδοξία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διήθηση είναι διαδικασία της εισχώρησης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους που προέρχεται από βροχόπτωση ή άρδευση. Η κίνηση του νερού κατά τη διεργασία της διήθησης πραγματοποιείται κάτω από την επίδραση των δυνάμεων της βαρύτητας και της τριχοειδούς έλξης. Εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του νερού για διήθηση και από τις ιδιότητες του εδάφους ως προς τη δυνατότητα κίνησης του νερού. Η διήθηση είναι σημαντική υδρολογική συνιστώσα αφού επηρεάζει την επιφανειακή απορροή, την εξατμισοδιαπνοή, την επαναφόρτιση των υδροφορέων και τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών στο έδαφος.

Η ταχύτητα διήθησης είναι μεταβλητή στο χώρο και στο χρόνο και εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την κατάσταση του επιφανειακού εδαφικού καλύμματος την παρουσία ή όχι βλάστησης, την περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε υγρασία και από άλλους παράγοντες. Αρχικά η ταχύτητα διήθησης είναι μεγάλη, αλλά ελαττώνεται με τη πάροδο του χρόνου μέχρι κάποιο όριο που από εκεί και πέρα παραμένει σταθερή. Η ταχύτητα διήθησης στην αρχή του φαινομένου λέγεται αρχική διηθητικότητα και η σταθερή τιμή που παίρνει με την πάροδο του χρόνου λέγεται τελική διηθητικότητα και ισούται με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα των εδαφών (K_s). Η ταχύτητα σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του φαινομένου λέγεται στιγμιαία διηθητικότητα. Η ποσότητα νερού που διηθείται στο έδαφος από την αρχή του φαινομένου μέχρι κάποιο χρόνο ονομάζεται αθροιστική διήθηση. Από τις τιμές αυτές σε συνάρτηση με το χρόνο προκύπτουν οι καμπύλες στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας.

Η μέτρηση της κατακόρυφης διηθητικότητας γίνεται με κατάλληλες συσκευές που ονομάζονται διηθητόμετρα. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε το διηθητόμετρο διπλού κυλίνδρου. Το διηθητόμετρο διπλού δακτυλίου αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλινδρικούς δακτυλίου, διαφορετικής διαμέτρου, οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος. Το σύστημα τροφοδοτείται με νερό προσπαθώντας να διατηρηθεί σταθερή η στάθμη στους κυλινδρικούς δακτυλίου. 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. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τον εσωτερικό δακτύλιο σε mm/h ή cm/h.

Η διηθητικότητα μπορεί να εκφραστεί με κάποιες εμπειρικές σχέσεις που κατά κανόνα είναι εκθετικής μορφής. Η πιο επιτυχημένη από αυτές τις σχέσεις δόθηκε από τον Kostiakov και είναι και αυτή που εφαρμόστηκε στην παρούσα διπλωματική.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις κοίτες των υδατορευμάτων των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης της Μυγδονίας λεκάνης με σκοπό την εύρεση της διηθητικότητας των ιζηματογενών αποθέσεων των ρεμάτων και την ικανότητα τους να τροφοδοτούν τους υπόγειους υδροφορείς και κατ' επέκταση και τις λίμνες.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεραίνεται ότι επικρατούν μεγάλες ταχύτητες διήθησης, συνεπώς και τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας. Είναι επομένως γνωστή η ταχύτητα με την οποία το διηθούμενο νερό τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Λέξεις κλειδιά: διήθηση, διηθητικότητα, στιγμιαία διηθητικότητα, αθροιστική διηθητικότητα, τελική διηθητικότητα, κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, διηθητόμετρο διπλού κυλίνδρου, εξίσωση Kostiakov

ABSTRACT

Infiltration is the process of penetration of water into the deeper layers of soil from rainfall or irrigation. The movement of water during the infiltration process is carried out under the influence of gravitational forces and the capillary attraction. Depends on the availability of water for infiltration and soil properties. Infiltration is important hydrological component that affects the surface runoff, evapotranspiration, recharge of aquifers and transport of solutes in soil.

The infiltration rate is variable in space and time and depends on the physical properties of the soil, the state of the surface soil cover, the presence or not of vegetation, the content of surface soil moisture and other factors. Initially the infiltration rate is great, but decreases over time until a constant value. The infiltration rate at the start of the phenomenon called initial infiltrability and the constant value that takes the time said final infiltrability and equals the saturated hydraulic conductivity of soils (K_s).

The speed at anytime during the phenomenon called instantaneous infiltrability. The total amount of water penetrates the soil during the time called cumulative infiltrability. From these values resulting the instantaneous and cumulative infiltration curves.

The measurement of the vertical infiltration is done with infiltrometers. In this thesis the double ring infiltrometer had been used. The double ring infiltrometer consists of two concentric cylindrical rings, of different diameters, which are placed in the ground. The system is supplied with water trying to maintain a constant level in the rings. The purpose of the outer ring is to promote dimensional, vertical flow under the inner ring and act as a barrier to prevent lateral proliferation. The measurements taken from the inner ring is usually in mm / h or cm/h.

This infiltrability can be expressed with some empirical relationships which are typically exponential. The most successful of these relationships has been given by Kostiakov and is also applied in this thesis.

Measurements were performed on beds of the streams of Mygdonian basin in order to find the infiltration of sedimentary deposits of streams and their ability to feed the aquifers and by extension lakes.

From the measurement results it is concluded that high infiltration rates obtain in the region, hence values of saturated hydraulic conductivity. It is therefore known the speed by which the infiltrated water feeds the underground aquifer.

Keywords: infiltration, infiltrability, instantaneous infiltrability, cumulative infiltrability, final infiltrability, saturated hydraulic conductivity, double ring infiltrometer, equation of Kostiakov

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Υδρολογικός κύκλος του νερού	12
1.2 Διήθηση –Γενικά στοιχεία.....	16
1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των εδαφών	21
1.4 Ποσοτική εκτίμηση της διήθησης.....	27
1.5 Υπαίθριες μετρήσεις.....	27
1.6 Προσεγγιστικές εξισώσεις	31
1.7 Επίδραση των χρήσεων γης στην διήθηση.....	33
1.8 Υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους και ταχύτητα διήθησης	35
1.9 Διήθηση και επιφανειακή απορροή.....	38
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	40
2.1 Γενικά στοιχεία.....	40
2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία	41
2.3 Γεωλογικά στοιχεία	45
2.3.1 Προνεογενές υπόβαθρο	45
2.3.2 Προμυγδονιακό και Μυγδονιακό σύστημα	50
2.4 Γεωτεκτονικά στοιχεία.....	52
2.5 Κλιματολογικά στοιχεία.....	53
2.6 Θερμομεταλλικές πηγές.....	54
2.7 Οικολογική σημασία του υγροτόπου.....	55
2.8 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες.....	57
2.8.1 Γεωργία.....	57
2.8.2 Κτηνοτροφία.....	58
2.8.3 Βιομηχανία-Βιοτεχνία.....	59
2.8.4 Οικιστικές δραστηριότητες.....	59
2.8.5 Λοιπές δραστηριότητες	60
2.9 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επηρεάζουν την ταχύτητα διήθησης	61
2.10 Σημεία δοκιμών πεδίου	62
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	64
3.1 Περιγραφή οργάνου	64
3.2 Περιγραφή μεθόδου.....	66
3.3 Μετρήσεις πεδίου	69
3.4 Επεξεργασία των δεδομένων.....	70
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	71
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	85

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
<i>Ελληνική Βιβλιογραφία.....</i>	<i>91</i>
<i>Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....</i>	<i>92</i>
<i>Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....</i>	<i>93</i>

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδρολογικός κύκλος του νερού

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο της ζωής και η ύπαρξή του σχετίζεται άμεσα με την επιβίωση και την ανάπτυξη των οργανισμών, του ανθρώπου και των κοινωνιών. Η κίνηση της υδάτινης μάζας είναι μια αέναη και γρήγορη διεργασία και περιλαμβάνει ένα πλήθος διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Η κίνηση αυτή καλείται Υδρολογικός Κύκλος Νερού. Μέσα σε αυτόν τον κύκλο, το νερό συναντάται σε όλες τις μορφές του όπως υγρή, αέρια (υδρατμοί), στερεή (χιόνι, χαλάζι). Κινητήρια ενέργεια όλης αυτής της διαδικασίας είναι ο ήλιος (Βουδούρης, 2009).

Το μετεωρικό νερό που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσω των κατακρημνισμάτων, εισέρχεται στο υδρογραφικό δίκτυο και καταλήγει μέσω των ποταμών στις λίμνες και στους ωκεανούς. Ένα μέρος του κατεισδύει στο έδαφος ενώ ένα μεγάλο τμήμα εξατμίζεται από την επιφάνεια των υδάτινων σωμάτων (ποταμοί, λίμνες, θάλασσα) καθώς επίσης και διαμέσου της διαπνοής των φυτών και επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα για να ακολουθήσει ξανά την ίδια διαδικασία. (Παυλίδης, 2007). Τέλος, το επιφανειακό νερό που κατεισδύει στα ανώτερα στρώματα του φλοιού και αποτελεί το υπόγειο νερό, επιστρέφει στην επιφάνεια σχετικά γρήγορα, από πηγές και την άντληση από τα διάφορα τεχνητά έργα όπως οι γεωτρήσεις τα πηγάδια και άλλα υδρομαστευτικά έργα.

Το σύνολο αυτό των διεργασιών της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη, είναι δυνατό να εκφραστεί ποσοτικά με την παρακάτω σχέση:

$$P = I + R + E$$

όπου:

P= τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

I= η κατείσδυση (infiltration)

R= η επιφανειακή απορροή (runoff)

E= η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evaporation)

Η εξίσωση αυτή αποτελεί την εξίσωση του προσεγγιστικού υδρολογικού ισοζυγίου και είναι χαρακτηριστική για κάθε περιοχή και προσδιορίζει την υδατική της οικονομία. Οι παράγοντες της εξίσωσης, ονομάζονται και φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου και μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού βροχής (mm), σε όγκο νερού (m^3) καθώς και σε ποσοστιαία συμμετοχή (%) ως προς τα κατακρημνίσματα (Σούλιος, 1986,1996). Αναλυτικότερα οι φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου είναι οι εξής:

Κατακρημνίσματα (Ρ) είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φθάνει στην επιφάνεια της γης με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χαλάζι, χιόνι, δροσιά κτλ). Μέσα στα κατακρημνίσματα υπερέχει συντριπτικά η βροχή, με ποσοστά 80% (Σούλιος,1986,1996).

Εξάτμιση είναι η διαδικασία μεταφοράς, με τη μορφή υδρατμών, του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα με σύγχρονη κατανάλωση ηλιακής ενέργειας, απαραίτητης για την αλλαγή της φάσης του νερού από υγρή σε αέρια. Με τον όρο διαπνοή εννοούνται οι διαδικασίες εκείνες με τις οποίες το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση διαμέσου του σώματος των φυτών.

Η **εξατμισοδιαπνοή** αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού, που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με συνδυασμό της δράσης της εξάτμισης και της διαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: θερμοκρασία εδάφους-αέρα, υγρασία εδάφους-αέρα, ταχύτητα ανέμου, βαρομετρική πίεση, ηλιακή ακτινοβολία, είδος χλωρίδας, πορώδες, κ.λ.π. Η εξατμισοδιαπνοή στις περιοχές με έντονη φυτοκάλυψη καθώς και η εξάτμιση από τις ελεύθερες επιφάνειες νερού, είναι ακόμα από τις λιγότερο κατανοητές συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου και η εκτίμηση τους παραμένει δύσκολη (Τσακίρης, 1995). Υπάρχουν πολλοί εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της πραγματικής ή δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Turc, Coutagne, Thornthwaite κ.ά).

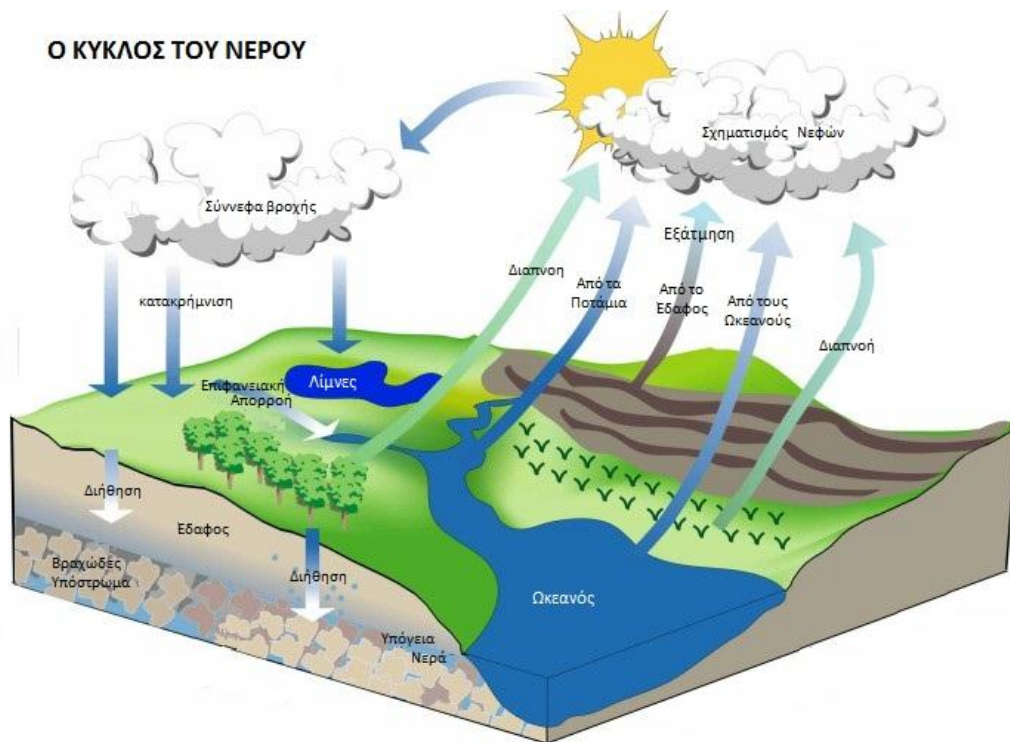
Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (ΕΔ) είναι η οριακή τιμή την οποία θα μπορούσε να φτάσει η εξατμισοδιαπνοή, αν η προσφορά νερού κάλυπτε συνεχώς την απώλεια από εξάτμιση και διαπνοή σε όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους (Σούλιος, 1986,1996). Στην πραγματικότητα, αποτελεί έναν κλιματικό δείκτη, εκφράζει θερμοκρασιακές συνθήκες και δείχνει το όριο που θα μπορούσε να φτάσει η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, σε συνθήκες τεχνητής προσφοράς νερού.

Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ΕΠ) είναι αυτή που λαμβάνει χώρα κάτω από τις υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες και τις συνθήκες προσφοράς νερού. Αποτελεί το

πραγματικό μέγεθος της εξατμισοδιαπνοής και ενδιαφέρει στη μελέτη του υδρολογικού ισοζυγίου. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε πολλές ημίξερές περιοχές της Ελλάδας ανέρχεται σε 70-85% του ετήσιου ύψους βροχής, ενώ στις ορεινές περιοχές κυμαίνεται μεταξύ 35-55% (Βουδούρης, 2009). Υπολογίζεται, επίσης, ότι το 1/3 του νερού της ξηράς διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της διαπνοής των φυτών (Παυλίδης, 2007).

Κατείσδυση (I) είναι το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και προστίθεται στους υπόγειους υδροφορείς, μετέχοντας στις κινήσεις του υπόγειου νερού (Σούλιος, 1986,1996). Αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για την υδροοικονομία μιας περιοχής, γιατί συμβάλλει στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων (Βουδούρης, 2009). Μέτρο της κατείσδυσης αποτελεί ο συντελεστής κατείσδυσης (**Iσ**) που εκφράζει το ποσοστό του μετεωρικού νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση. Οι τιμές του συντελεστή κατείσδυσης κυμαίνονται από 3% (φλύσχης, φυλλίτες, σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, ηφαιστειακά πετρώματα) έως 60% (ανθρακικά πετρώματα).

Επιφανειακή απορροή (R) ονομάζεται το τμήμα εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις φτάσει στην επιφάνεια της γης, ρέει επιφανειακά και εισέρχεται στο υδρογραφικό δίκτυο, από το οποίο απάγεται, οδηγούμενο τελικά στη λίμνη ή τη θάλασσα στην οποία εκχύνεται. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί η ολική απορροή (Q), που περιλαμβάνει τόσο την επιφανειακή (R) όσο και την υπόγεια (IR) απορροή και είναι το άθροισμα τους. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι: κλιματικοί (ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία αέρα, άνεμοι, εξάτμιση), γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής, υδρογραφική πυκνότητα), λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων, περατότητα), καθώς και το είδος της φυτοκάλυψης.



Εικόνα 1 : Ο κύκλος του νερού (Πηγή: plemenosem.wikispaces.com)

Picture 1 : The hydrological cycle of water (Source: plemenosem.wikispaces.com)

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ένταση και η συχνότητα του κύκλου εξαρτώνται από το κλίμα και τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Ο χρόνος πραγματοποίησης του κύκλου δεν είναι σταθερός, στη διάρκεια π.χ. μιας παρατεταμένης ξηρασίας ο κύκλος φαίνεται ότι έχει διακοπεί. Ο κύκλος μπορεί να συντομευνεί όταν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα πέφτουν απευθείας στη θάλασσα /λίμνες, οπότε δεν υπάρχει επιφανειακή απορροή. Η μελέτη του υδρολογικού κύκλου γίνεται στη λεκάνη απορροής ενός ποταμού ή υδρολογική λεκάνη. Η λεκάνη απορροής καθορίζεται από τον υδροκρίτη και είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων και ποταμοχειμάρρων και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.

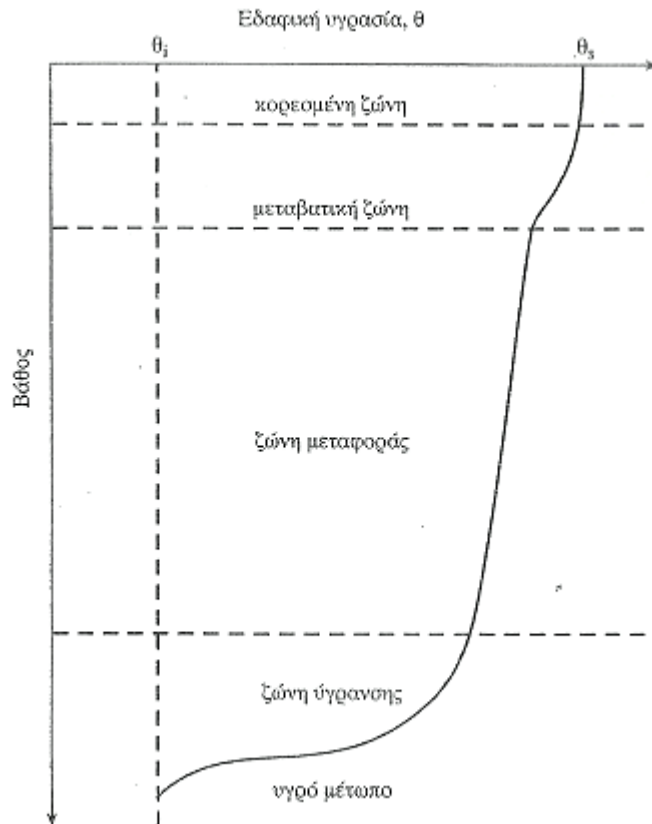
1.2 Διήθηση –Γενικά στοιχεία

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 τον Σούλιο (1986) κατείσδυση θεωρείται η διείσδυση από την επιφάνεια του εδάφους μέσα στο έδαφος και το υπέδαφος νερού με αποκλειστικά άμεση μετεωρική προέλευση. Της κίνησης αυτής κύρια (αν όχι αποκλειστική συνιστώσα) είναι η κατακόρυφη. Η κίνηση αυτή γίνεται σε μη κορεσμένο μέσο. Συνδέεται με τον κύκλο του νερού και είναι μια φάση του, ενώ διήθηση ορίζεται ως η κίνηση του υπόγειου νερού με όποια διεύθυνση επιβάλλουν οι υδραυλικές συνθήκες (σχεδόν κατακόρυφη), που δεν έχει άμεση μετεωρική προέλευση και που δεν προέρχεται κατευθείαν από τα κατακρημνίσματα P. Άρα είναι η κίνηση αυτή καθ' εαυτή του υπόγειου νερού, που γίνεται σε κορεσμένο μέσο.

Κατά τη διάρκεια της διήθησης το νερό που εισέρχεται στο έδαφος διεισδύει, όπως αναφέρθηκε και σε βαθύτερες ζώνες. Σύμφωνα με τους Bodman και Coleman (1943) το προφίλ του εδαφικού νερού διαιρείται σε τέσσερις ζώνες (Εικόνα 2) (Παπαζαφειρίου, 1999):

- **Η κορεσμένη ζώνη** που εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι ≤ 1.5 cm
- **Η μεταβατική ζώνη**, κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι η απότομη μείωση της εδαφικής υγρασίας και εκτείνεται από το κάτω όριο της κορεσμένης ζώνης μέχρι τη ζώνη μεταφοράς
- **Η ζώνη μεταφοράς** , με ένα σταθερό ποσοστό υγρασίας, η οποία συνεχώς επιμηκύνεται κατά τη διάρκεια της διήθησης.
- **Η ζώνη ύγρυνσης** που βρίσκεται κάτω από τη ζώνη μεταφοράς, η οποία διατηρεί ένα σχεδόν σταθερό σχήμα κατά τη διάρκεια της διήθησης και καταλήγει στο **υγρό μέτωπο ή μέτωπο προσπέλασης** που είναι το ορατό όριο της διείσδυσης του νερού στο έδαφος.



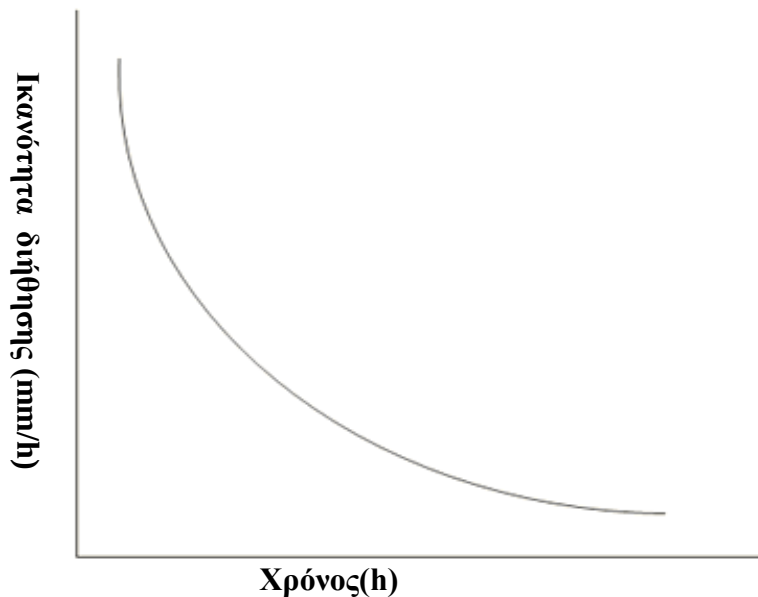
Εικόνα 2 : Κατανομή της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ κατά την διάρκεια της διήθησης (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)

Picture 2: Moisture distribution in the soil profile during infiltration (Source: Papazafiriou, 1999)

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) χαρακτηρίζεται η ταχύτητα με την οποία το νερό διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και εισέρχεται στο εσωτερικό του (Rajeh Alhassoun, 2009). Επηρεάζεται από την τριχοειδή δράση, ειδικά στα αρχικά στάδια της διήθησης και από τη δύναμη της βαρύτητας. 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 (Παπαζαφειρίου, 1999) (Εικόνα 3). Η ελάττωση της διηθητικότητας 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 (Παπαζαφειρίου, 1999). Όταν αυτό συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα η διηθητικότητα φτάνει μια τιμή f_c , την οποία και διατηρεί (Παπαζαφειρίου, 1999).

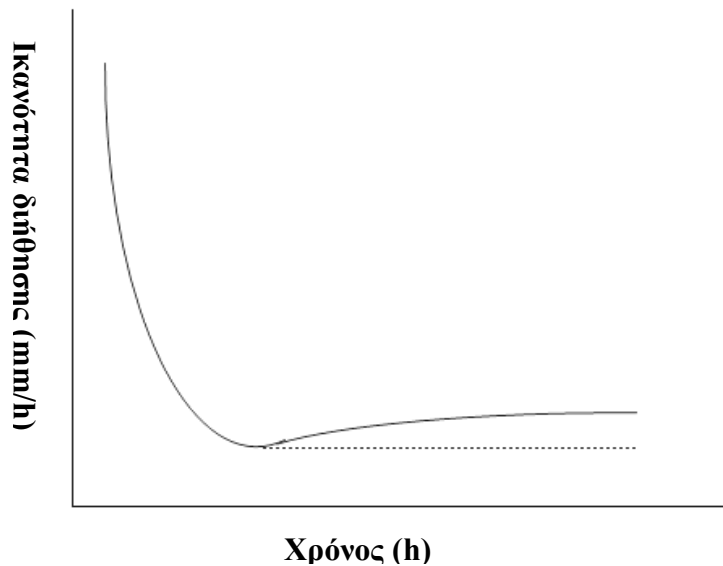


Εικόνα 3 :Μεταβολή της διηθητικότητας σε σχέση με το χρόνο (Πηγή: *civil-online2010.blogspot.com*)

Picture 3: Variation of infiltration in relation to time (Source:*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 (Εικόνα 4) .



Εικόνα 4 : Η ικανότητα διήθησης αυξάνεται όταν σταματάει η τροφοδοσία του εδάφους με νερό (Πηγή: civil-online2010.blogspot.com)

Picture 4 : The infiltration capacity raising after supply from top is cut off (Source: civil-online2010.blogspot.com)

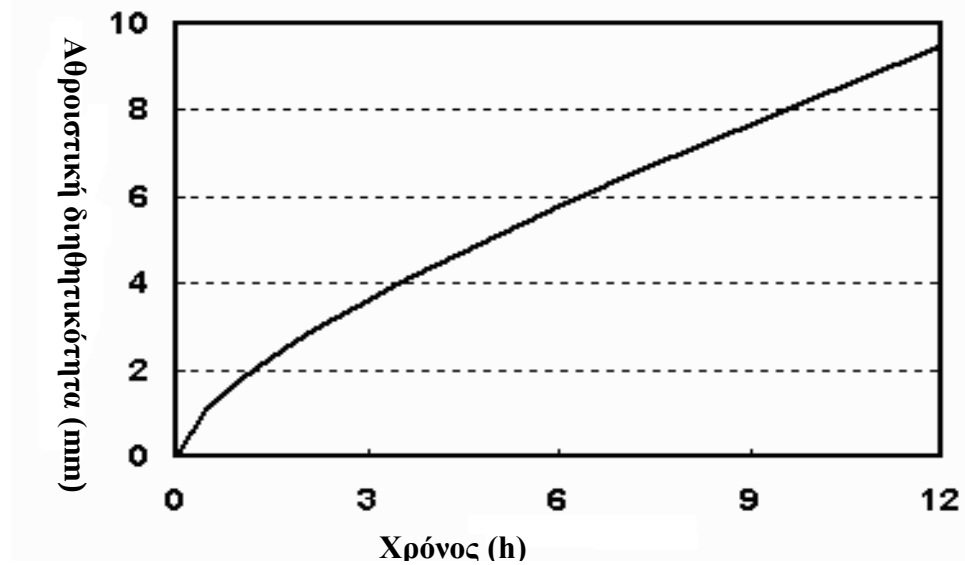
Σύμφωνα με τον Nikolov, 1983 η ταχύτητα διήθησης μπορεί να ταξινομηθεί σε διάφορους τύπους σύμφωνα με τον Πίνακα 1 .

Πίνακας 1: Ταξινόμηση της ταχύτητας διήθησης (Πηγή: Nikolov, 1983 , από Galawezh B. Bapeer et al., 2010)

Table 1: Classification of infiltration capacity (Source: Nikolov, 1983, from 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 στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου t (Παπαζαφειρίου, 1999) (Εικόνα 5) .



Εικόνα 5 : Αθροιστική διήθητικότητα (Πηγή: soilphysics.okstate.edu)

Picture 5 : Cumulative infiltration (Source: soilphysics.okstate.edu)

1.3 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 (USDA, 1951) (Πίνακας 2) (Παπαζαφειρίου, 1999). 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) (Πίνακας 3), (Εικόνες 6 και 7)
- **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) (Εικόνα 8).

- **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) (Εικόνα 9) .
- **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:** Περιορίζουν την διήθηση του νερού που θα εμφανιζόταν αν δεν υπήρχαν τεχνητές κατασκευές ,αυξάνοντας την επιφανειακή απορροή.
- **Χρήσεις γης (Land-use):** Οι χρήσεις γης αλλάζουν την ικανότητα διείσδυσης με τη συμπίεση, τη μετακίνηση της βλάστησης, την αλλαγή της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους κ. α

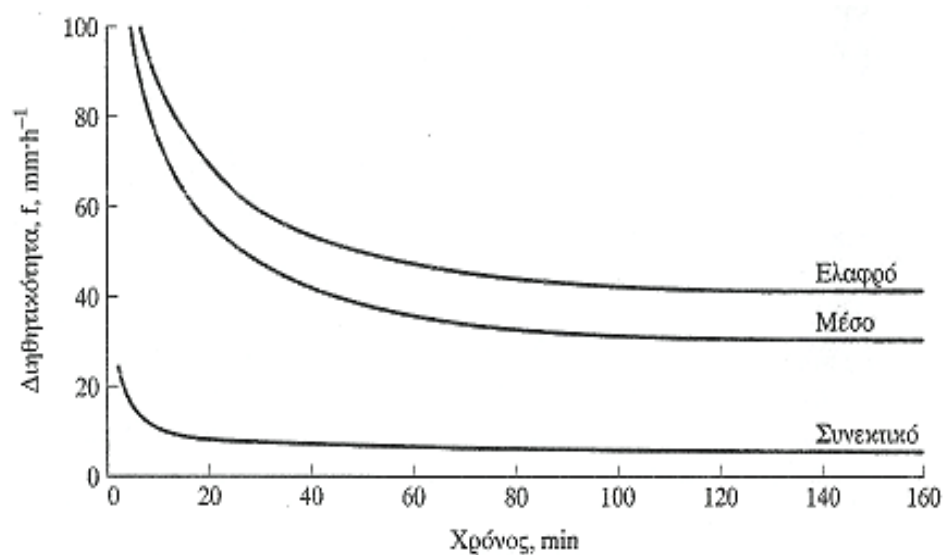
Πίνακας 2: Γενικές κατηγορίες εδαφών και αντίστοιχοι τύποι υφής (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)
Table 2: General categories of soils and corresponding soil texture types (Source: Papazafiriou, 1999)

Κατηγορία	Αντίστοιχοι τύποι υφής
Αμμώδες ή ελαφρό	Άμμος, πηλώδης άμμος
Πηλώδες ή μέσο	Αμμώδης πηλός, πηλός, Ιλυοπηλώδες, Ιλύς, Αργιλώδης πηλός, Αμμοαργιλώδης πηλός, Ιλυοαργιλώδης πηλός
Αργιλώδες ή βαρύ ή συνεκτικό	Αμμοαργιλώδες, Ιλυοαργιλώδες, Άργιλος

Πίνακας 3 : Ποσοστά διείσδυσης για διαφορετικούς τύπους εδαφών (Πηγή: Shukla and Lal, 2006, από Alhassoun, 2009)

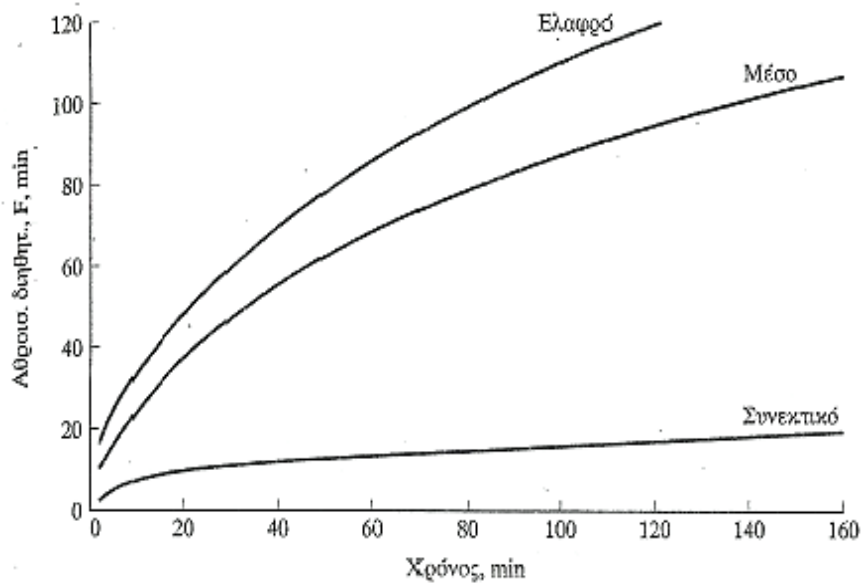
Table 3: Infiltration rates for different soil types (Source: Shukla and Lal, 2006, from Alhassoun, 2009)

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



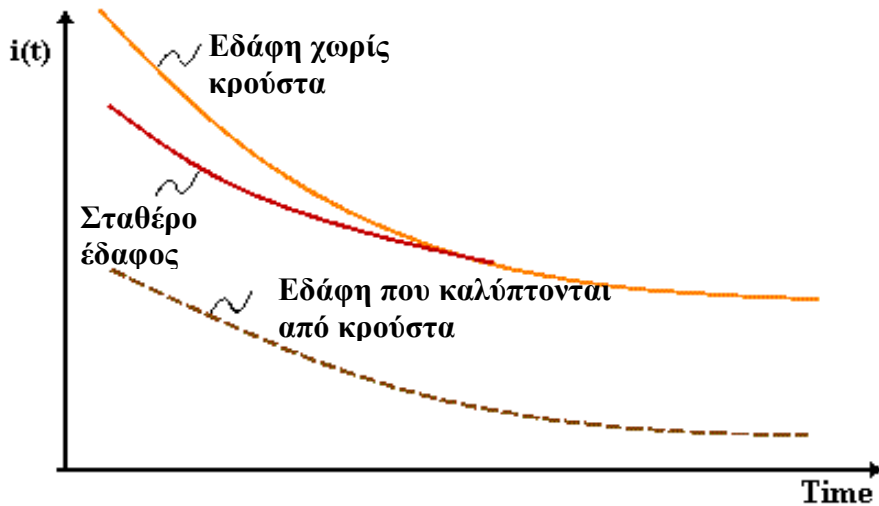
Εικόνα 6 : Μεταβολή της διηθητικότητας με το χρόνο για τρεις διαφορετικούς τύπους εδαφών (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)

Picture 6 : Change of infiltration with time for three different soil types (Source: Papazafiriou, 1999)



Εικόνα 7 : Μεταβολή της αθροιστικής διηθητικότητας με το χρόνο για τρεις διαφορετικούς τύπους εδαφών (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)

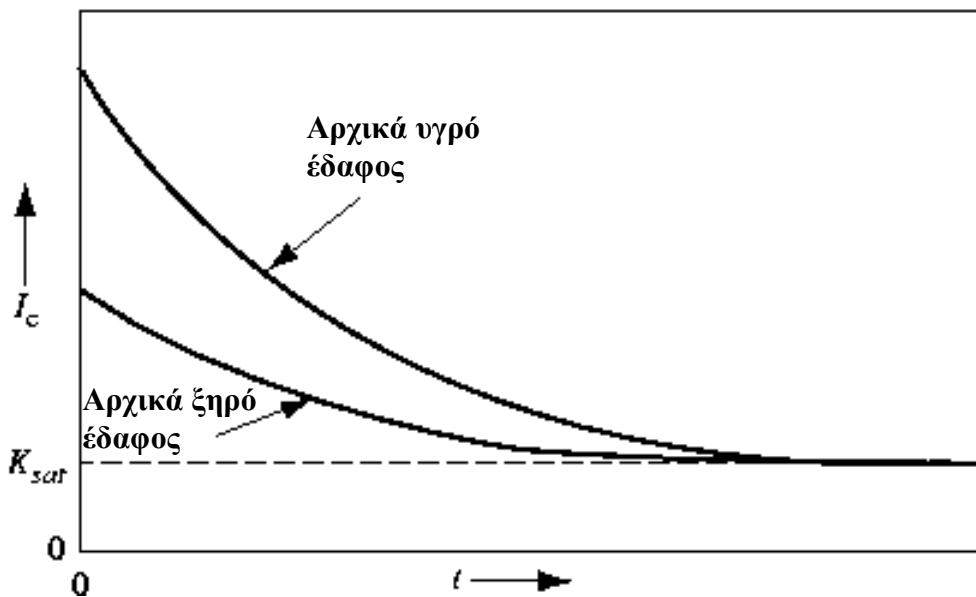
Picture 7 : Change of cumulative infiltration with time for three different types of soil (Source: Papazafiriou, 1999)



Εικόνα 8 : Εδάφη που δεν καλύπτονται από κρούστα έχουν υψηλότερη διηθητικότητα από εδάφη που καλύπτονται από κρούστα

(Πηγή: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm)

Picture 8: Soils not covered by crust have higher infiltration of those that covered by crust (Source: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm)



Εικόνα 9 : Ρυθμός διήθησης ενός κορεσμένου και ενός ακόρεστου εδάφους (Πηγή: www.interpore.org)

Picture 9: Infiltration rate of a saturated and an unsaturated soil (Source: www.interpore.org)

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 χρονικά και χωρικά και εξαρτάται από το ύψος βροχής, την ένταση και την διάρκεια της, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, το επιφανειακό κάλυμμα του εδάφους και ιδιαίτερα την ύπαρξη ή μη χλωρίδας, το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό (την υγρασία του εδάφους) κατά την έναρξη της βροχόπτωσης, τη θερμοκρασία του αέρα και του εδάφους, παραγόντων οι οποίοι εκτιμούνται ιδιαίτερα δύσκολα.

1.4 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 (Μωυσιάδης, 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.

1.5 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 (Εικόνα 10). 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).

- **Διηθητόμετρα καταιονισμού (Sprinkler Infiltrometer):** Χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση συστημάτων άρδευσης με καταιονισμό. Ένας απλός και εύχρηστος τύπος επινοήθηκε από τους Tovey και Pair (1966). Σε αυτόν χρησιμοποιείται ένας καταιονιστήρας περιστροφικού τύπου με κυλινδρική ασπίδα, με τον οποίο εφαρμόζεται νερό σε έναν κυκλικό τομέα του εδάφους (Εικόνα 11) (Παπαζαφειρίου, 1999). Τρεις σειρές βροχομέτρων, σε αποστάσεις 0.75 m μεταξύ τους από το κέντρο προς την περιφέρεια, χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του νερού που καταιονίζεται στις θέσεις όπου τοποθετούνται. Ο καταιονιστήρας λειτουργεί για κάποιο συγκεκριμένο χρόνο (μιας ώρας). Γίνεται εφαρμογή συγκεκριμένης παροχής καταιονιστήρα και γίνονται παρατηρήσεις σε κάθε σειρά βροχομέτρων για να διαπιστωθεί η ένταση καταίονισης στις θέσεις των βροχομέτρων. Συγκεκριμένα αν είναι μεγάλη (λίμνασμα νερού στην επιφάνεια του εδάφους), μικρή ή ίση με την διηθητική ικανότητα του εδάφους. Πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι οι μετρήσεις της διηθητικής

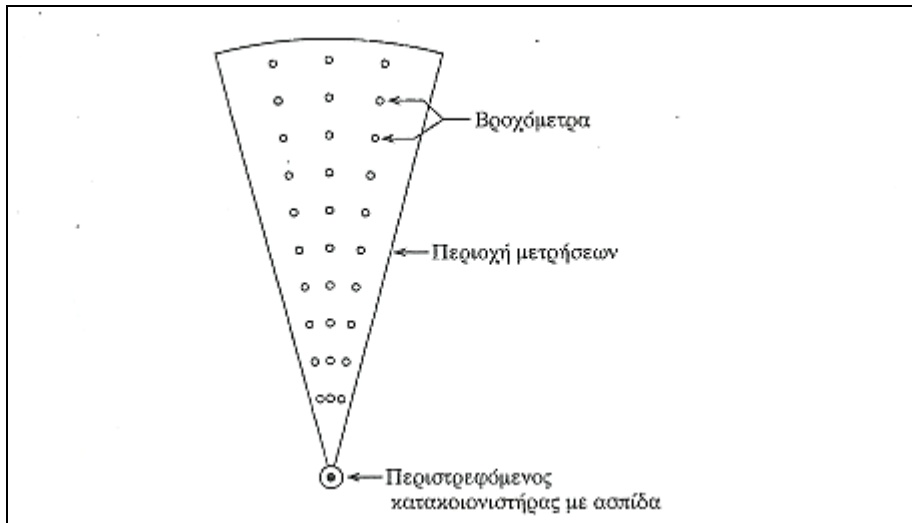
ικανότητας του εδάφους γίνονται κάτω από συνθήκες παρόμοιες με αυτές που επικρατούν σε μια κανονική άρδευση (Παπαζαφειρίου, 1999).

- **Διηθητόμετρα δίσκου (Mini disk Infiltrometers):** Τα διηθητόμετρα τάσης ή δίσκου σχεδιάζονται για μετρήσεις της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας των εδαφών και της διηθητικότητας τους (Εικόνα 12). Ο πάνω και ο κάτω θάλαμος του οργάνου γεμίζουν με νερό. Ο πάνω θάλαμος (ή θάλαμος φυσαλίδων) ελέγχει την απορρόφηση. Ο κάτω θάλαμος περιέχει μια ποσότητα νερού που διεισδύει μέσα στο χώμα με ένα ρυθμό που καθορίζεται από την απορρόφηση. Ο κάτω θάλαμος είναι βαθμολογημένος σαν ένας ογκομετρικός κύλινδρος (mL). Το κάτω μέρος του διηθητόμετρου έχει ένα πορώδες ατσάλινο δίσκο που δεν επιτρέπει τη διαφυγή νερού στον αέρα. Η μικρή διάμετρος του δίσκου επιτρέπει μετρήσεις σε σχετικά επίπεδες εδαφικές επιφάνειες (Mini disk Infiltrometer, User's Manual, Version 9, Decagon Devices 2007-2011)



Εικόνα 10 : Διηθητόμετρα κυλίνδρου-δακτυλίου (Πηγή: [www.usyd.edu.au/agric/web04/Single ring final/htm, pkd.eijkelpkamp.com](http://www.usyd.edu.au/agric/web04/Single%20ring%20final/htm,pkd.eijkelpkamp.com))

Picture 10 : Ring Infiltrometers (Source: [www.usyd.edu.au/agric/web04/Single ring final/htm , pkd.eijkelpkamp.com](http://www.usyd.edu.au/agric/web04/Single%20ring%20final/htm,pkd.eijkelpkamp.com))



Εικόνα 11: Δηθητόμετρο καταιονισμού (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)
Picture 11 : Sprinkler Infiltrometer (Source: Papazafiriou, 1999)



Εικόνα 12 : Δηθητόμετρο δίσκου (Πηγή: www.envco.co.nz)
Picture 12: Mini disk Infiltrometer (Source: www.envco.co.nz)

1.6 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 **Kostiakov** (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):

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

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 Kostiakov (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):

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

1.7 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, Schüller, 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 ασφαλτο, τσιμέντο κ. λ. π (Abu-Hashim, 2011).

1.8 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:

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

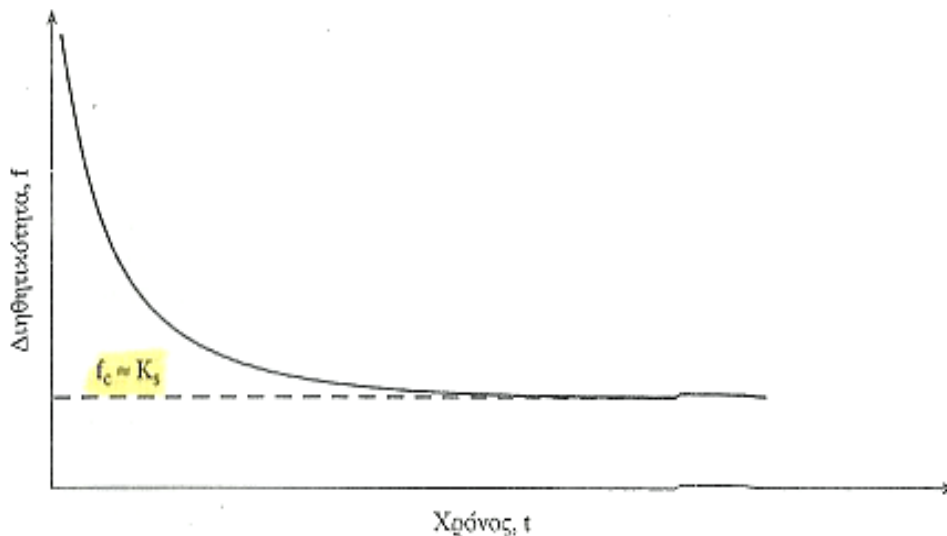
Όπου U η ταχύτητα Darcy και dh/dl η υδραυλική κλίση i (hydraulic gradient) που ορίζεται ως τη μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ανά μονάδα μήκους κατά τη διεύθυνση της υπόγειας ροής και K η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία έχει διαστάσεις ταχύτητας (LT^{-1}) (Βουδούρης, 2009).

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 $k \geq 10^{-1}$ m/s
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} < k < 10^{-1}$ 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 Χ., 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) (Εικόνα 13) και είναι διαφορετική για τους διάφορους τύπους εδαφών (Πίνακας 4).



Εικόνα 13: Η τελική διηθητικότητα ισούται με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999)

Picture 13: The final infiltration is equal to the saturated ydraulic conductivity (Source: Papazafiriou, 1999)

Πίνακας 4: Αντιπροσωπευτικές τιμές της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας για διάφορους τύπους εδαφών (Clapp and Hornberger, 1978) (Πηγή: www.scialert.net)

Table 4: Representative values of saturated hydraulic conductivity of different soil textures (Clapp and Hornberger, 1978) (Source: 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 (Kunsat) σε σχέση με την κορεσμένη τιμή (Ks) 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).

1.9 Διήθηση και επιφανειακή απορροή

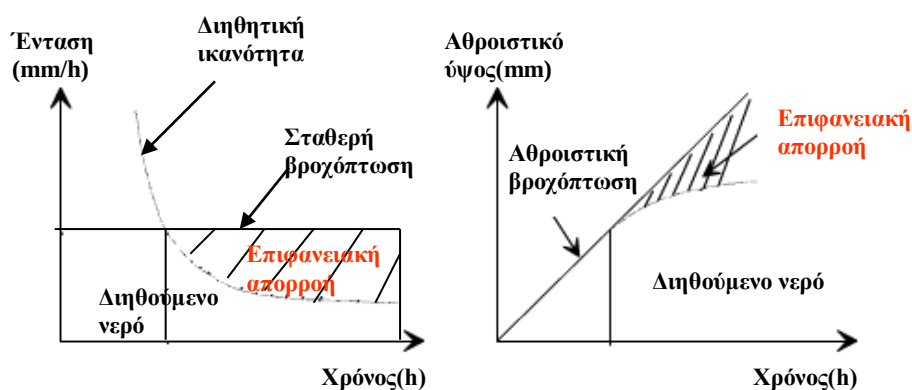
Η επιφανειακή απορροή είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται όταν η ένταση της βροχόπτωσης υπερβαίνει τη μέγιστη ικανότητα του εδάφους να απορροφάει το νερό. Αυτή η ικανότητα όπως αναφέρθηκε είναι η διηθητική ικανότητα του εδάφους και μειώνεται με το χρόνο μέχρι να φτάσει μια σταθερή τιμή, η οποία είναι ισοδύναμη με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Διαφορετικά η διαδικασία της απορροής μπορεί να αναπτυχθεί σε δύο φάσεις (Πηγή: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_5/main.htm) :

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

Αρχικά κατά την έναρξη της βροχόπτωσης, η ικανότητα διήθησης είναι μεγαλύτερη της έντασης της βροχόπτωσης και το νερό διηθείται ολοκληρωτικά στο έδαφος έως ότου 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 (Εικόνα 13).

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

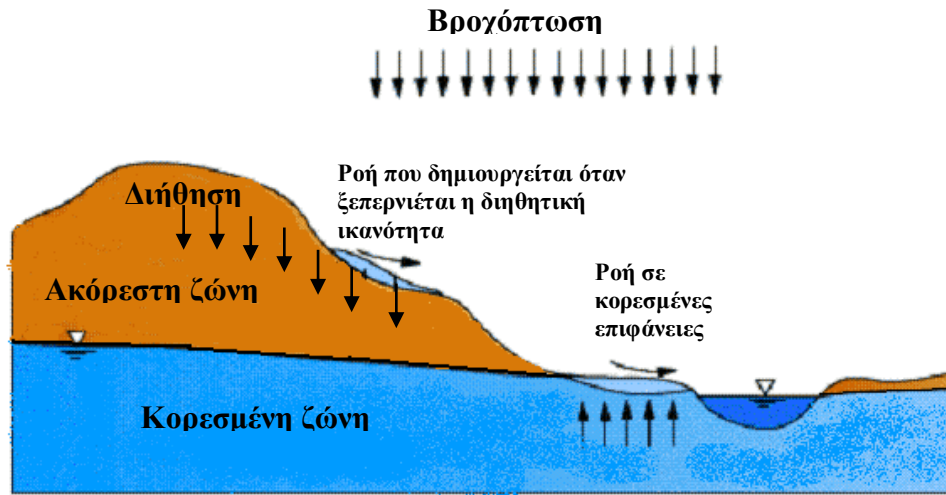
Όταν η ένταση της βροχόπτωσης υπερβαίνει τη μέγιστη διηθητική ικανότητα του εδάφους, τότε εμφανίζεται η επιφανειακή απορροή. Σε περιπτώσεις όπου η απορροή υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης του εδάφους, τότε το νερό ρέει σε μια άλλη περιοχή της λεκάνης απορροής με μεγαλύτερη ικανότητα διήθησης (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Ρυθμός διήθησης και αθροιστική διήθηση για μια σταθερή βροχόπτωση και ερμηνεία του χρόνου βύθισης [Musy, 2001] (Πηγή: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm)

Picture 13: Infiltration rate and cumulate infiltration for a uniform rain and submersion time definition [Musy, 2001] (Source: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/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 (Εικόνα 14)



Εικόνα 14: 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_6/main.htm)

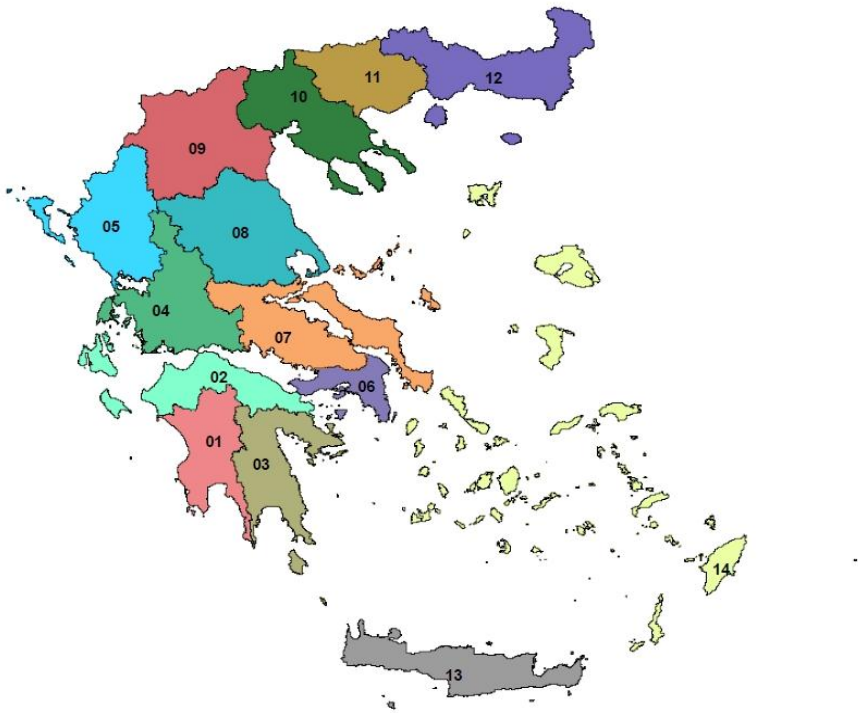
Picture 14: Flow process generated through exceeding the infiltration capacity and through flows on saturated surfaces [Musy, 2001]

(Source: echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm)

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Γενικά στοιχεία

Η λεκάνη της Μυγδονίας βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία, στο 10^ο Υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (όπως αυτά έχουν οριστεί από το νόμο 1739/87) (Εικόνα 15). Η ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης καταλαμβάνει σχεδόν όλη την επαρχία του Λαγκαδά, τμήμα της βόρειας πλευράς της επαρχίας της Αρναίας και επαρχίας Χαλκιδικής του νομού Χαλκιδικής και τμήμα της επαρχίας της Βορειοανατολικής Θεσσαλονίκης.

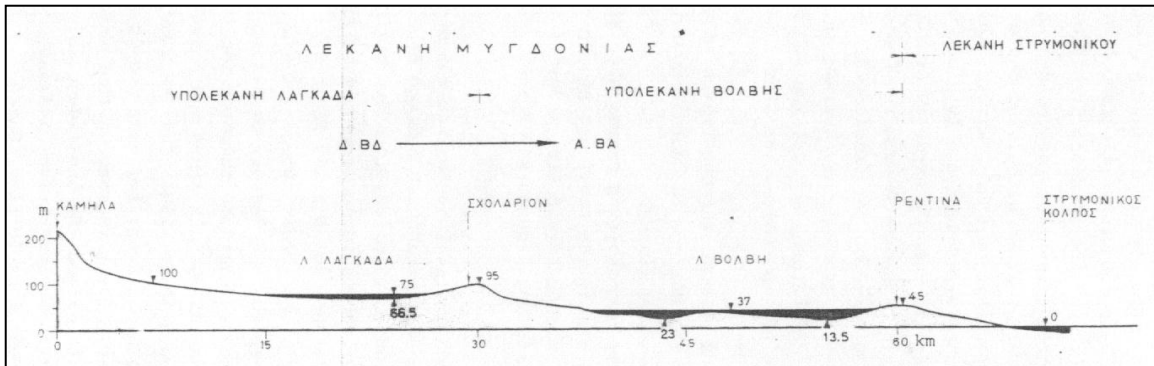


Εικόνα 15: Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: *wfd.opengov.gr*)
Picture 15: The water districts of Greece (Source: *wfd.opengov.gr*)

Καταλαμβάνει μια έκταση περίπου 2.026 km² και βρίσκεται σε απόσταση 10-12 περίπου km βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης (Μπάλλας, 2007). Από βορρά και νότο περιβάλλεται από βουνά μέσου υψομέτρου 600 με 1200 m και κατέχει μια επιμήκη ζώνη μεταξύ Γαλλικού ποταμού και Στρυμονικού κόλπου (Ψιλοβίκος, 1977).

2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί ένα εκτεταμένο επίμηκες τεκτονικό βύθισμα, το οποίο διαχωρίζει τη Χαλκιδική από τον κεντρικό κορμό της Μακεδονίας. Είναι τμήμα ενός ευρύτερου βυθίσματος, του Προμυγδονιακού και εκτείνεται σε διεύθυνση Α-Δ μεταξύ της Καμής και Ρεντίνας (Εικόνα 16). Στη σημερινή μορφή της η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελείται από δύο τμήματα, το ανατολικό που συνιστά την υπολεκάνη της λίμνης Βόλβης και το δυτικό που συνιστά την υπολεκάνη της λίμνης Βόλβης και το δυτικό που συνιστά την υπολεκάνη της λίμνης Κορώνειας (Ψιλοβίκος, 1977). Το όριο μεταξύ των δύο υπολεκανών δεν είναι σαφές και διαχωρίζεται από τον άξονα Στίβου-Σχολαρίου, μέσω ενός συστήματος ράχων, λοφίσκων και αναβαθμίδων, διαμέσου των οποίων διέρχεται ο ποταμός Δερβένι (Ψιλοβίκος, 1977).



Εικόνα 16: Μορφολογική τομή κατά μήκος του μεγάλου άξονα της λεκάνης της Μυγδονίας από το όρος Καμήλα μέχρι το Στρυμονικό Κόλπο (Πηγή: Ψιλοβίκος 1977).

Picture 16: Morphological profile along the long axis of Mygdonia basin from the mount Kamila until Strymonic Golf (Source: Psilovikos, 1977)

Η λεκάνη της Μυγδονίας περιλαμβάνει τις γειτονικές λεκάνες Ζαγκλιβερίου, Μαραθούσης και Βρωμολιμνών (Μανάκου, 2007). Η βόρεια πλευρά της λεκάνης ορίζεται από τα όρη της Βόλβης και τις κορυφές του Βερτίσκου, ενώ η νότια καθορίζεται με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά από το όρος Χορτιάτη (1201 m), τις χαμηλότερες κορυφές του Χολομώντα (1165m) και του Στρατονικίου (918m) . Στα ανατολικά όρια η λεκάνη της Μυγδονίας ορίζεται από τους ορεινούς όγκους της Υψηλής Ράχης (341 m) και του Σουγλιανουδίου (746 m), που παρεμβάλλονται μεταξύ Κερδυλλίων και Στρατονικίου και επικοινωνεί μέσω των στενών της Ρεντίνας με το Στρυμονικό Κόλπο. Η δυτική πλευρά δεν είναι σαφώς ορισμένη, καθώς αποτελείται από

μια σειρά από χαμηλούς λόφους και κοιλάματα, με εξαίρεση τον ορεινό όγκο της Καμήλας (Ντεβέ Κοράν, 569 m) (Ψιλοβίκος, 1977) (Εικόνα 17). Εντός της λεκάνης, σε χαμηλότερα υψομετρικά τμήματα βρίσκονται οι λίμνες του Λαγκαδά (Κορώνεια ή Αγίου Βασιλείου) και της Βόλβης, οι οποίες απέχουν 10 και 35 km από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης αντιστοίχως (Ν.Ε.Θ.,2004, από Μπάλλα, 2007). Οι λίμνες αυτές αποτελούν υπολειμματικές μορφές της μεγάλης πλειστοκαινικής λίμνης Μυγδονίας (Ψιλοβίκος, 1977).



Εικόνα 17: Χάρτης ευρύτερης περιοχής στην οποία ανήκει η λεκάνη της Μυγδονίας, με τα αντίστοιχα όρη που την περιβάλλουν (Πηγή: Ψιλοβίκος, 1977)

Picture 17: Map of the wider region of Mygdonia basin with mountains that surround the basin (Source:Psilovikos, 1977)

Η υπολεκάνη της Βόλβης, έχει επίμηκες σχήμα, βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης και καταλαμβάνει μια έκταση από την περιοχή της κοιλάδας της Ρεντίνας μέχρι τον άξονα Στίβου-Σχολαρίου. Η λίμνη Βόλβη έχει επιφάνεια 68,62 km² (Βαφειάδης, 1988, από Ζαμπούρ, 2010) και βρίσκεται σε υψόμετρο 37 m. Το μέσο μήκος των μεν μεγαλύτερων πλευρών της, διευθύνσεως Α-Δ, είναι 19,5 km και των μικρότερων, διευθύνσεως Β-Ν είναι 3,4 km. Το μέσο βάθος της είναι 13,5 m και μέγιστο 23,5 m (Παυλίδης et al.,1984, από Ζαμπούρ, 2010). Το πεδινό της τμήμα έκτασης 130 km² (Βαφειάδης, 1988, από Ζαμπούρ, 2010) διαιρείται σε τρία μέρη: της Ν.Απολλωνίας,

του Σχολαρίου, Ν. Μαδύτου-Μοδίου-Ρεντίνας (Τραγανός, 1982, από Ζαμπούρ, 2010). Είναι λίμνη θερμού μονομικτικού τύπου και χαρακτηρίζεται ως εύτροφη με βάση τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού, τα θρεπτικά συστατικά και τη χλωροφύλλη (Μουστάκα, 1988, από Ζαμπούρ, 2010). Η λίμνη τροφοδοτείται από χειμάρρους, αλλά και από θερμομεταλλικές πηγές (Κοκκινάκης et al., από Ζαμπούρ, 2010) ενώ μοναδική εκροή της λίμνης προς το Στρυμονικό κόλπο αποτελεί ο Ρήχιος ποταμός που περνάει μέσα από τα στενά της Ρεντίνας. Οι κυριότεροι χείμαρροι που καταλήγουν στη λίμνη Βόλβη είναι οι εξής (Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ 2004, από Ζαμπούρ, 2010):

- Ποταμιάς (Δαφνούντας)
- Βαμβακιάς (ή Κρύας Βρύσης)
- Λαγκαδικίων (Πλατανόρεμα)
- Μεγάλο Ρέμα (Παζαρούδα ή Μελισσουργού)
- Μικρό Ρέμα (Χολομώντα ή Απολλωνιάς)
- Κερασιάς
- Δερβενίου
- Ρήχιος

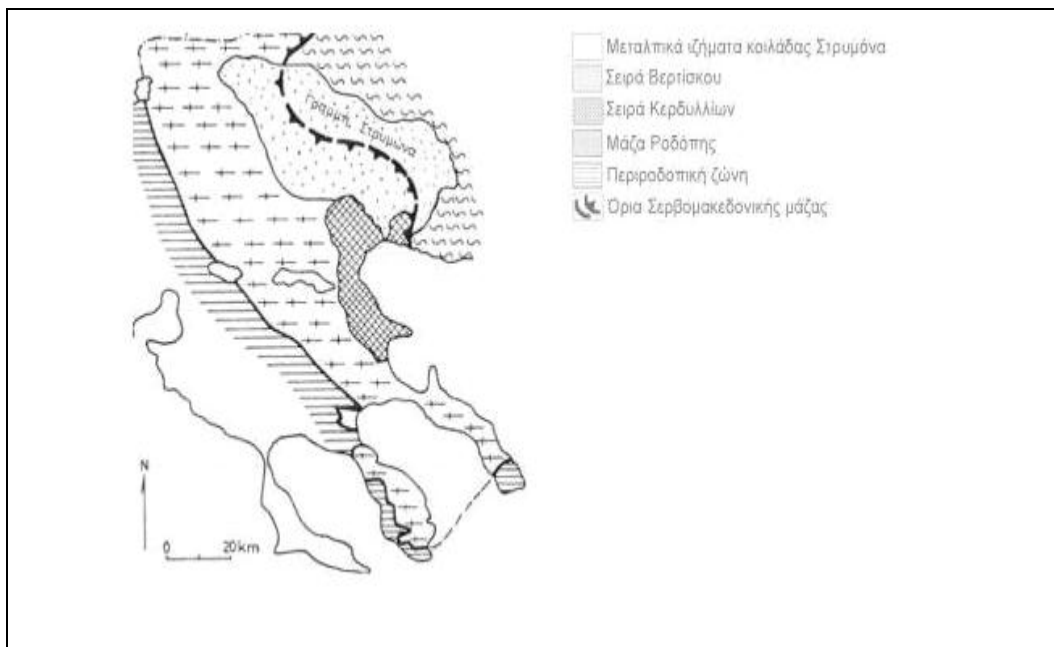
Η υπολεκάνη της Κορώνειας, σχήματος τραπεζίου, αποτελεί το δυτικό τμήμα της λεκάνης της Μυγδονίας, η οποία εκτείνεται μεταξύ του όρους Καμήλα και του άξονα Στίβου – Σχολαρίου. Η λίμνη Κορώνεια έχει έκταση 46,2 km² για μέση στάθμη 75 μέτρων, κατέχει το ανατολικό τμήμα της υπολεκάνης, ενώ στα δυτικά εκτείνεται η πεδιάδα και η πόλη του Λαγκαδά (Ψιλοβίκος, 1977). Αν και η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται ψηλότερα από τη Βόλβη κατά 38m και σε απόσταση 11 km από αυτήν δεν είχε φυσική ροή προς αυτήν (Μπάλλας, 2007). Η επικοινωνία των δύο λιμνών επιτεύχθηκε με τη διάνοιξη τεχνητής τάφρου (Υ.Ε.Β.-Υπ.Γεωργίας, από Μπάλλα, 2007), βάθους 1 μέτρου και πλάτους 8 μέτρων για την αποστράγγιση των νερών της λίμνης (όταν η στάθμη ξεπερνάει τα 75 μέτρα) και την αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων. Τα τελευταία χρόνια λόγω πτώσης στάθμης στην Κορώνεια, η ροή στην τάφρο είναι μηδενική, επομένως δεν γίνεται υπερχειλίση. Τα επιφανειακά νερά της λεκάνης στραγγίζουν σε χειμάρρους οι οποίοι εκβάλλουν στις λίμνες (Μπάλλας, 2007). Οι κυριότεροι χείμαρροι που καταλήγουν στην Κορώνεια είναι οι εξής (Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ 2004):

- Χείμαρρος Ευαγγελισμού
- Χείμαρρος Ανάληψης
- Ρέματα πεδινής περιοχής Δρακοντίου-Ανάληψης
- Ρέματα πεδινής περιοχής Ανάληψης - Ευαγγελισμού
- Χείμαρρος Λάκκου Αμπελιών
- Χείμαρρος Κολχικού
- Ρέματα πεδινής περιοχής Χρυσανγής – Λουτρών
- Χείμαρρος Μουριές-Βαραδάς
- Χείμαρρος Χρυσανγής
- Χείμαρρος Μπογδάνα
- Ρέματα πεδινής περιοχής Ηρακλείου-Περιβολακίου-Καβαλαρίου
- Ρέματα Μελισσοχωρίου-Λητής- Δρυμού
- Χείμαρρος Ασσήρου
- Ρέματα Αγίου Βασιλείου
- Ρέματα νότιας πεδινής περιοχής Κορώνειας
- Χείμαρρος Λάκκου Ληστών
- Χείμαρρος Γερακαρούς –Βασιλουδίου
- Ρέματα ανατολικής πεδινής περιοχής Κορώνειας
- Ρέματα Λαγυνών –Υδραυλικού

2.3 Γεωλογικά στοιχεία

2.3.1 Προνεογενές υπόβαθρο

Το προνεογενές υπόβαθρο της περιοχής ανήκει γεωτεκτονικά στη Σεβρομακεδονική μάζα με εξαίρεση το δυτικό τμήμα, όπου και ανήκει η υπολεκάνη της Κορώνειας, το οποίο αποτελεί το όριο Σεβρομακεδονικής και της ζώνης Αξιού (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Τεκτονικό σκαρίφημα Σεβρομακεδονικής μάζας (Πηγή: Μουντράκης, 1985)

Picture 18: Tectonic sketch of Serbomacedonian mass (Source:Mountrakis, 1985)

Οι σχηματισμοί αυτοί είναι γνευσιακά πετρώματα, εντός των οποίων απαντώνται ορίζοντες μαρμάρων, αμφιβολίτες, πετρώματα φυλλιτικής σειράς, ασβεστόλιθοι και χαλαζίτες περιορισμένης σημασίας, έως και γρανίτες (Ψιλοβίκος, 1977). Η πετρολογική σύσταση των σχηματισμών που αναφέρθηκαν έχει ως εξής:

2.3.1.1 Γενευσιακά πετρώματα

Οι σχηματισμοί των γενευσίων διακρίνονται προς τα ανατολικά στην κατώτερη ενότητα των Κερδυλλίων ενώ προς τα δυτικά στην ανώτερη ενότητα του Βερτίσκου (Ψιλοβίκος, 1977). Οι γενεύσιοι της σειράς των Κερδυλλίων είναι κυρίως βιοτιτικοί γενεύσιοι, χαλαζιοδιοριτικής σύστασης με γρανοβλαστικό ιστό και εξαπλώνονται εκατέρωθεν της κοιλάδας της Ρεντίνας με διεύθυνση B-N. Αυτοί οι γενεύσιοι προήλθαν από μεταμόρφωση παλαιότερων ιζημάτων ασβεσταλκαλικής σύστασης και θεωρούνται παραγενεύσιοι (Δημητριάδης, 1974 από Ψιλοβίκο, 1977). Στη βορειοανατολική πλευρά της λεκάνης παρατηρείται εμφάνιση κεροστιλβικών γενευσίων που εναλλάσσονται τόσο με βιοτιτικούς γενεύσιους όσο και με αμφιβολίτες. Οι κεροστιλβικοί γενεύσιοι θεωρούνται ως μεταβατική μορφή προς τους αμφιβολίτες (Ψιλοβίκος, 1977). Οι γενεύσιοι της σειράς του Βερτίσκου είναι διμαρμαρυγικοί, βιοτιτικοί και μοσχοβιτικοί, με σαφή προσανατολισμό των φυλλόμορφων συστατικών και εμφανή σχιστότητα. Η ορυκτολογική σύστασή τους δεν είναι σταθερή σε όλη τη σειρά, αλλά κατά θέσεις παρατηρείται κυριαρχία ορισμένων ορυκτών, όπως του χαλαζία και του μοσχοβίτη στη βόρεια πλευρά της λεκάνης (Ψιλοβίκος, 1977). Στις περιοχές των χωριών Νέα Μάδυτος, Στίβος και Παλιά Χρυσαιγή παρουσιάζονται μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι. Στη βόρεια πλευρά της Μυγδονίας λεκάνης οι γενεύσιοι εξαπλώνονται από την Άσσηρο μέχρι τη Μεγάλη Βόλβη περίπου, ενώ στη νότια πλευρά κατέχουν τις περιοχές που βρίσκονται νότια από τη γραμμή που ορίζουν τα χωριά Λαγκαδίκια-Στίβος και Κοκκαλού-Μόδιο, στην κεντρική και ανατολική περιοχή της λεκάνης. Τα γενευσιακά πετρώματα διατέμνονται από πυκνό δίκτυο πηγματιτικών φλεβών σε όλη τους την έκταση. Η ηλικία των γενευσιακών πετρωμάτων θεωρείται Παλαιοζωική – Προκάμβρια (Osswald 1938, Kockel et al. 1971, Δημητριάδης 1974, από Ψιλοβίκο, 1977).

2.3.1.2 Μάρμαρα

Τα μάρμαρα απαντώνται με μορφή ταινιών ή οριζόντων, μέσα στα γνευσιακά πετρώματα της ανατολικής περιοχής της Μυγδονίας (Osswald 1938, Kockel et al. 1971, Δημητριάδης 1974, από Ψιλοβίκο, 1977). Στην περιοχή εκατέρωθεν της κοιλάδας της Ρεντίνας τα μάρμαρα έχουν διεύθυνση Β-Ν. Παρόμοιοι ορίζοντες μαρμάρων εντός των γνευσίων της σειράς του Βερτίσκου εμφανίζονται στην περιοχή νότια της γραμμής που ορίζεται από τα χωριά Κοκκαλού-Νέα Μάδυτος, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Επίσης, φαίνεται ότι αυτοί οι ορίζοντες συνεχίζονται και προς τα βόρεια, όπως αποδεικνύει η παρουσία τους στη βόρεια πλευρά της υπολεκάνης της Βόλβης (Ψιλοβίκος, 1977).

2.3.1.3 Αμφιβολίτες

Το σύστημα των αμφιβολιτών κατέχει τη βορειοανατολική πλευρά της λεκάνης της Μυγδονίας και εκτείνεται μεταξύ του χωριού Μικρή Βόλβη και της περιοχής Αγριελιά. Οι αμφιβολίτες της Βόλβης δεν παρουσιάζονται παντού με την ίδια ορυκτολογική σύσταση (Neubauer, 1957, από Ψιλοβίκο, 1977). Η κεροστίλβη αποτελεί το κυρίαρχο ορυκτό συστατικό, ενώ οι άστριοι και ο χαλαζίας συμμετέχουν με πολύ περιορισμένη αναλογία. Τα πλαγιόκλαστα καθίστανται άλλοτε όξινα και άλλοτε βασικά. Ενίοτε εμφανίζεται πυρόξενος κατά θέσεις (Ψιλοβίκος, 1977).

Η προέλευση των αμφιβολιτών αποδόθηκε στη μεταμόρφωση παλαιών πυριγενών βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων (διαβασών – γάβρων) της οφειολιθικής σειράς του Παλαιοζωικού (Osswald 1938, Neubauer 1957, Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977). Μεμονωμένες όμως εμφανίσεις αμφιβολιτών εντός των γνευσιακών πετρωμάτων της σειράς των Κερδυλλίων, στα ανατολικά, βρέθηκε ότι προήλθαν από μεταμόρφωση παλαιών ιζημάτων και θεωρούνται παρααμφιβολίτες (Δημητριάδης, 1974, από Ψιλοβίκο, 1977).

2.3.1.4 Φυλλιτική σειρά

Με τον όρο φυλλιτική σειρά εννοείται ένα ιδιαίτερο σύστημα πετρωμάτων φυλλιτικής σύστασης, που διαφέρει σαφώς από τους πετρολογικούς σχηματισμούς της Σερβομακεδονικής μάζας και κατέχει τη νοτιοδυτική πλευρά της λεκάνης της Μυγδονίας, από το χωριό Μελισσοχώρι μέχρι το χωριό Βασιλούδι με προέκταση προς τα νοτιοανατολικά (Osswald 1938, Mercier 1968, Monod 1965, Σαπουντζής 1969, Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977).

Η σειρά αυτή αποτελείται από μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως φυλλίτες σκοτεινόχρωμους, γραφιτικούς, μερικώς ψαμμιτικούς, εναλλασσόμενους με ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους και χαλαζίτες με παρενθέσεις μαρμάρων, σιπολινών και φακών ασβεστόλιθων (Ψιλοβίκος, 1977).

Εξαιτίας της θέσης και της σύστασης, η φυλλιτική σειρά θεωρήθηκε ως ιδιαίτερος σχηματισμός των ορίων της Σερβομακεδονικής μάζας προς τη ζώνη του Αξιού και χαρακτηρίστηκε ως φλύσχης του Μελισσοχωρίου-Χολωμόντα από τον Mercier (1968) ή ως σειρά της Σβούλας από τους Kockel et al. (1971) (Ψιλοβίκος, 1977). Η κατά πλάτος έκταση αυτής της σειράς, στην περιοχή της λεκάνης της Μυγδονίας, περιορίζεται στη βόρεια πλευρά του όρους Χορτιάτη. Η γενική διεύθυνση των πετρωμάτων είναι ΒΔ-ΝΑ και η διεύθυνση κλίσης τους προς ΒΑ. Η ηλικία των φυλλιτικών σχηματισμών θεωρείται ως Μεσοζωική (Osswald 1938, Mercier, 1968, Σαπουντζής 1969, Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977).

2.3.1.5 Ασβεστόλιθοι Καμήλας (Ντεβέ Κοράν)

Πρόκειται για συμπαγείς ασβεστόλιθους, στρωματοποιημένους, με εναλλαγές μαρμάρων και δολομιτικών ασβεστόλιθων (Osswald 1938, Mercier 1966, Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977). Από μικροπαλαιοντολογικά στοιχεία προκύπτει ότι οι ασβεστολιθικοί αυτοί σχηματισμοί είναι Μέσο-Άνω Τριαδικοί.

Το σύστημα των ασβεστόλιθων υπέρκειται των σχηματισμών μιας ηφαιστειο-ιζηματογενούς σειράς (Mercier 1968, Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977), η οποία υπέρκειται των γενεσίων της σειράς του Βερτίσκου. Ο απότομα υψούμενος ορεινός όγκος της Καμήλας, του οποίου την κεντρική κατά άξονα ζώνη κατέχουν οι

ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, αποτελεί το μοναδικό ορεινό όγκο της δυτικής πλευράς της λεκάνης της Μυγδονίας.

2.3.1.6 Χαλαζίτες

Οι χαλαζίτες και τα κροκαλοπαγή που τους συνοδεύουν κατέχουν, στη βόρεια πλευρά της υπολεκάνης του Λαγκαδά, ορισμένους μικρού εύρους ορίζοντες εντός της γενεσιακής σειράς του Βερτίσκου (Kockel et al. 1971, από Ψιλοβίκο, 1977). Η γενική διεύθυνση των οριζόντων αυτών είναι ΒΔ-ΝΑ. Ιδιαίτερης σημασίας χαλαζιτικοί σχηματισμοί βρίσκονται μεταξύ των χωριών Ευαγγελισμός και Δρακόντιο, βόρεια της λίμνης Λαγκαδά.

2.3.1.7 Γρανίτες

Οι γρανίτες απαντώνται εντός της γενεσιακής σειράς του Βερτίσκου με μορφή γρανιτικών διεισδύσεων, στην περιοχή εκατέρωθεν του δυτικού τμήματος της λίμνης Βόλβης. Οι γρανίτες αυτοί είναι κατά τον Osswald (1938) τυπικοί γρανίτες και γενεσιακοί γρανίτες, αντίστοιχοι των Ηώκαινικών γρανιτών τύπου Συμβόλου, ενώ κατά τους Kockel et al. (1971) είναι μοσχοβιτικοί, βιοτιτικοί, λευκοκρατικοί, μερικώς πηγματιτικοί, αντίστοιχοι των Μεσοζωικών γρανιτών τύπου Αρναίας (Ψιλοβίκος, 1977). Σε ορισμένες περιοχές οι γρανίτες έχουν γενεσιακή εμφάνιση. Οι γρανίτες αυτοί εξαπλώνονται με μορφή ζώνης από την Αρναία μέχρι το Σοχό, στην κεντρική περιοχή της Μυγδονίας, διακοπτόμενοι στη λεκάνη της Μαραθούσας και Μυγδονίας, εξαιτίας επικάλυψης από νεότερης ηλικίας ιζηματογενούς σχηματισμούς (Ψιλοβίκος, 1977).

2.3.2 Προμυγδονιακό και Μυγδονιακό σύστημα

Ασύμφωνα πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της λεκάνης τοποθετήθηκαν Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί με χερσαία κυρίως προέλευση, οι οποίοι μπορούν να διαιρεθούν σε δύο συστήματα, το Προμυγδονιακό, ηλικίας Μειοκαίνου-Κάτω Πλειστοκαίνου και το υπερκείμενο Μυγδονιακό, ηλικίας Μέσου Πλειστοκαίνου-Ολοκαίνου (Μανάκου, 2007). Το Προμυγδονιακό σύστημα αποτελείται με σειρά διαδοχής από κάτω προς τα πάνω από(Μανάκου, 2007):

- Ένα στρώμα αποσάθρωσης του αλπικού μεταμορφωμένου υποβάθρου (γνεύσιος-μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος) εντός του οποίου υπάρχουν ασβεστίτικα συγκρίματα κατά θέσεις
- Κροκαλοπαγή (μαρμαρυγιακού σχιστολίθου, γνευσίου και αμφιβολιτών)
- Ψαμμίτες
- Αργιλοψαμμιτικά ιζήματα με εναλλαγές αργίλου, άμμου και ιλύος
- Ερυθροστρώματα

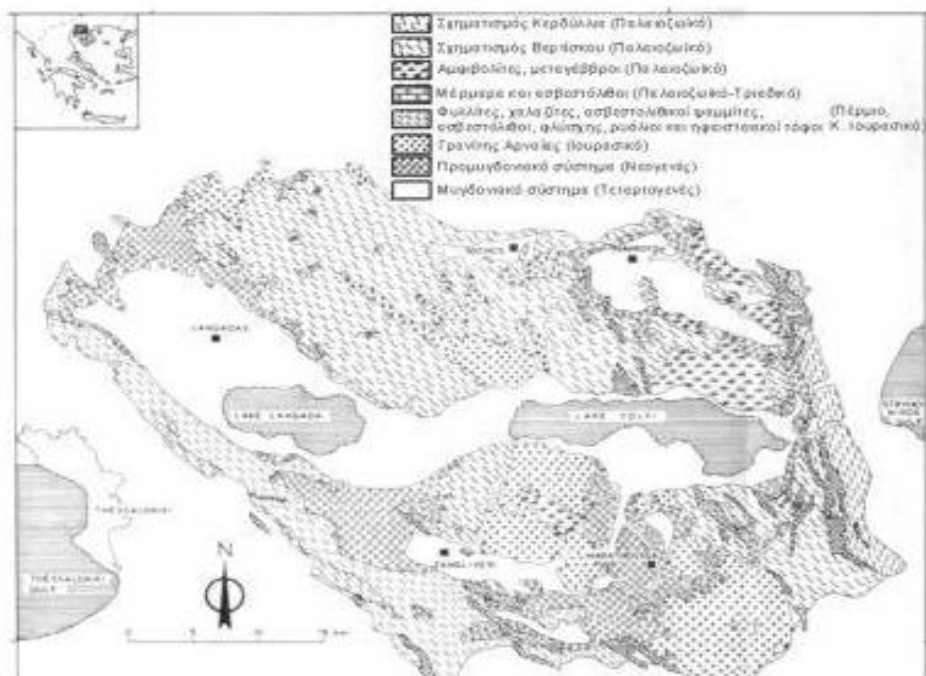
Το Μυγδονιακό σύστημα διακρίνεται σε ανώτερες και κατώτερες αποθέσεις. Τα κατώτερα τμήματα αποτελούνται από(Μανάκου, 2007):

- Κροκάλες γνευσίου, μαρμαρυγιακού σχιστολίθου και φυλλίτη
- Άμμους
- Αργιλικά υλικά
- Στρώμα λεπτόκοκκης άμμου

Ενώ στο ανώτερο τμήμα συνίσταται από :

- Αργιλικά υλικά
- Εναλλαγές αργίλου και άμμου
- Κροκάλες και άμμους
- Χημικά ιζήματα (Τραβερτίνες)

Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτουν μεγάλο μέρος της σημερινής λεκάνης της Μυγδονίας με πάχος που πολλές φορές ξεπερνάει τα 100m (Ψιλοβίκος, 1977, από Μανάκου, 2007) (Εικόνες 19, 20)



Εικόνα 19: Χάρτης Μυγδονίας λεκάνης με την ανάπτυξη των κύριων λιθολογικών ενοτήτων που τη συνιστούν (Πηγή: Sotiriadis et al., απο Μανάκου, 2007)

Picture 19: Map of Mygdonia basin with the main lithological units which constitute (Source: Sotiriadis et al., from Manakou, 2007)

Περίοδος	Εποχή	Σύστημα	Σημειώσεις	Βάθος (m)	Λιθολογία	Γεωλογική περιγραφή	Απολιθώματα
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	Ολόκαινο	Μυγδονιακό		100	Τραβερτίνες Κροκαλοπαγείς Άμμος Λεπτά στρώματα άμμου, ιλύος		Sus scrofa Bos taurus Capra hircus
				200	Εναλλαγείς αργίλου, ιλύος, άμμου Βάρβες Λεπτά στρώματα άμμου, ιλύος Άμμος Κροκαλοπαγείς		Equus sp. Bos sp. Unio sp. Cardium edule Spondylus gaederopus Donax verustrus
ΝΕΟΓΕΝΕΣ	Πλίστιο	Προμυγδονιακό	Ευφροσινώματα	300	Διαστειρωμένη στρώση χοντροκόκκινων και λεπτόκοκκινων κλαστικών ιζημάτων, κόκκινου - καφέ χρώματος, χερσαίας προέλευσης		Equus stenonis Dicerorhinus effusus Canis etruscus Croizetoceros ramosus Eucladoceros senecensis
			Ιλλοσιμμούχα ιζήματα	400	Ρυθμίτες αποτελούμενοι από 3 στρώματα: ιλλοσιμμούχα, λεπτή στρώση αμμώδους ιλύος και άμμου/κροκαλοπαγούς. Λιμνάια - ποτάμια ιζήματα ελαστικοί κρηνοί - καφέ χρώματος		Dicerorhinus orientalis
			Σχιστόλιθος	500	Διαστειρωμένη στρώση χοντροκόκκινων - λεπτόκοκκινων άμμου, καφέ - μαύρου χρώματος. Λεπτοί φακοί αργίλου με pillow lava.		
			Κροκαλοπαγείς		Φερτά υλικά ποταμών: κροκάλες και άμμοι. Μανδύας αποσάθρωσης με ασβεστίτη συγκρίματα. Γεωλογικό υπόβαθρο (γνεύσιος, μαρμαρυγικός σχιστόλιθος, αμφιβολίτες, γρανίτες, φυλλίτες, κ.ά.)		

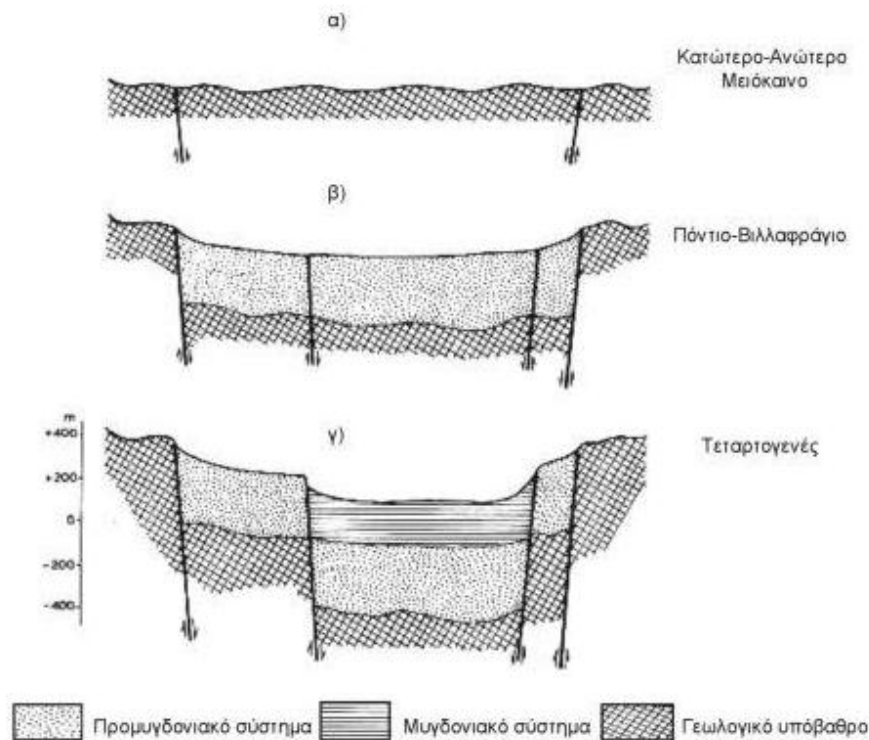
Εικόνα 20: Στρωματογραφική διάρθρωση της Μυγδονίας λεκάνης (Πηγή: Sotiriadis et al., 1983, από Μανάκου, 2007)

Picture 20: Stromatographic structure of Mygdonia basin (Source: Sotiriadis et al., 1983, from Manakou, 2007)

2.4 Γεωτεκτονικά στοιχεία

Στην Πρόμυγδονιακή λεκάνη έλαβαν χώρα δύο τεκτονικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο οι εφελκυστικές τάσεις του Μέσου-Κατώτερου Μειοκαίνου δημιούργησαν ρηξιγενείς ζώνες ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, στη Σεβρομακεδονική μάζα με αποτέλεσμα την καταβύθιση της εντός των ρηγμάτων της περιοχής (Εικόνα 21α) (Μανάκου, 2007). Πάνω στο κρυσταλλικό αυτό υπόβαθρο, άρχισε η ιζηματογένεση της Προμυγδονιακής ακολουθίας ιζημάτων. Η δράση ρηξιγενών ζωνών μεταξύ Πόντιου-Άνω Βιλλαφράγκιου δημιούργησαν την Προμυγδονιακή λεκάνη (Εικόνα 21β) (Μανάκου, 2007). Η δράση μικρότερων ρηγμάτων οδήγησε στη συνεχόμενη καταβύθιση της περιοχής και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της Μυγδονίας λεκάνης. Η συγκέντρωση των υδάτων στην περιοχή, που δεν έβρισκαν διέξοδο προς τη λεκάνη του Στρυμόνα, οδήγησε στην δημιουργία της ομώνυμης λίμνης. Στο δεύτερο στάδιο που έλαβε χώρα κατά το Τεταρτογενές υπήρξε καταβύθιση της λεκάνης της Μυγδονίας και παράλληλα πλήρωση της με τη Μυγδονιακή ακολουθία ιζημάτων (Εικόνα 21γ) (Μανάκου, 2007). Ακολούθησε ταπείνωση της στάθμης της λίμνης, εξαιτίας της διοχέτευσης ενός μέρους των υδάτων της στη λεκάνη του Στρυμόνα και ο διαχωρισμός της σε δύο μικρότερες λεκάνες, του Λαγκαδά και της Βόλβης (Μανάκου, 2007).

Ο διαχωρισμός προήλθε από ένα έξαρμα ράχων και αναβαθμίδων μεταξύ Στίβου-Σχολαρίου και οφείλεται στην έντονη μεταφορά και απόθεση κλαστικών υλικών μέσω χειμάρρων και ρευμάτων στο κεντρικό τμήμα της λίμνης (Ψιλοβίκος 1977, Sotiriadis et al. 1983, από Μανάκου 2007). Ακολούθησε έντονη διάβρωση στην περιοχή με αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους του εξάρματος κάτι που οδήγησε στην αποκατάσταση της επικοινωνίας των δύο υπολεκανών Λαγκαδά και Βόλβης (Ψιλοβίκος, 1977, από Μανάκου, 2007). Η στάθμη των δύο λιμνών μειώθηκε αισθητά, φθάνοντας τα σημερινά περίπου επίπεδα.



Εικόνα 21: Σχεδιάγραμμα με τα κύρια τεκτονικά στάδια εξέλιξης της Προμυγδονιακής Λεκάνης (Πηγή: Sotiriadis et al., απο Μανάκου, 2007)

Picture 21: Sketch of the main tectonic stages of of Promygdonian basin (Source: Sotiriadis et al., from Manakou, 2007)

2.5 Κλιματολογικά στοιχεία

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές το κλίμα της περιοχής υπάγεται στον τύπο Csa, κατά Korpen (Μπάλλας, 2007, Ζαμπούρ, 2010, Χαραλάμπους, 2010). Χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος είναι το μεσόθερμο κλίμα, (μεταβατικό μεταξύ μεσογειακού και ηπειρωτικού τύπου) με ξηρή περίοδο τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ σε ανώτερα υψόμετρα επικρατούν εντονότερες κλιματικές καταστάσεις. Στα ημιορεινά και ορεινά τμήματα της λεκάνης το κλίμα είναι δριμύτερο, ανταποκρινόμενο στα χαρακτηριστικά του ηπειρωτικού κλίματος. Οι μέσες θερμοκρασίες που επικρατούν είναι περίπου 15°C (Μπάλλας, 2007, Ζαμπούρ, 2010). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι λίμνες Κορώνεια και Βόλβη είναι ρυθμιστικοί παράγοντες του κλίματος της περιοχής, αφού οι υδάτινοι όγκοι

αποτελούν «αποθήκες» θερμότητας, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία (Μυλόπουλος & Τολίκας, 2002, από Χαραλάμπους, 2010).

Οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή είναι κυρίως βόρειοι – βορειοανατολικοί - βορειοδυτικοί. Χαρακτηριστικότερος από τους ανέμους είναι ο Βαρδάρης, ο οποίος πνέει από βόρεια διεύθυνση κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού και επιδρά άμεσα στην υπολεκάνη της Κορώνειας. Ο άνεμος του Χορτιάτη πνέει από τα ανατολικά της λεκάνης και επιδρά κυρίως στην παραλίμνια ζώνη και στο νότιο τμήμα της λεκάνης. Ο Ρουπελιώτης, άνεμος βορειοανατολικής διεύθυνσης, φθάνει εξασθενημένος στη λίμνη Βόλβη. Παρατηρούνται επίσης, κατά τη θερινή κυρίως περίοδο, άνεμοι νότιας διευθύνσεως προερχόμενοι από τη θαλάσσια περιοχή του Στρυμονικού κόλπου (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1984, από Μπάλλα, 2007).

2.6 Θερμομεταλλικές πηγές

Στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης υπάρχουν δύο σημαντικές εμφανίσεις θερμομεταλλικών πηγών, μία στην υπολεκάνη της Κορώνειας και σε απόσταση 2 km νοτιοδυτικά της πόλης του Λαγκαδά και μία δεύτερη στη νοτιοδυτική πλευρά της υπολεκάνης της Βόλβης στις ακτές της λίμνης. Μια μικρότερη εμφάνιση θερμής πηγής παρατηρείται επίσης σε απόσταση 2 km ανατολικά της θερμής πηγής της Βόλβης στις ακτές της λίμνης.

Η θερμομεταλλική πηγή του Λαγκαδά από χημικής απόψεως χαρακτηρίζεται ως αλκαλική πηγή, δισανθρακική ασβεστούχα (Μαραβελάκης, 1936, Χαριτάντης, 1947, Περτεσης, 1955, Βορεάδης, 1957, από Ψιλοβίκο, 1977). Από άποψη θερμοκρασίας υπάγεται στις εύθερες με τιμές από 33,8°C έως 41°C (Μαραβελάκης, 1936, Χαριτάντης, 1947, Περτεσης, 1955, Αναγνωστίδης, 1961, από Ψιλοβίκο, 1977).

Η θερμομεταλλική πηγή της Βόλβης (Λουτρά Νέας Απολλωνίας) από άποψη θερμοκρασίας υπάγεται στις εύθερες με τιμές από 36°C έως 50,4°C (Μαραβελάκης, 1936, Χαριτάντης, 1947, Περτεσης, 1955, Αναγνωστίδης, 1961, από Ψιλοβίκο, 1977). Από χημικής απόψεως χαρακτηρίζονται ως αλκαλικές με χαρακτηριστική την παρουσία

του θείου (S) το οποίο προέρχεται από θειϊκά άλατα και οργανικές ουσίες. Επίσης είναι ιδιαίτερος έντονη η χαρακτηριστική οσμή του H_2S , αλλά και το φαιοκίτρινο χρώμα των υδάτων.

Οι θερμομεταλλικές πηγές του Λαγκαδά και της Βόλβης βρίσκονται πάνω σε ρήγματα και μεταπτώσεις της τεκτονικής λεκάνης της Μυγδονίας. Το υπόγειο νερό θερμαίνεται λόγω της γηγενούς θερμότητας και ανέρχεται στην επιφάνεια μέσω των ρηγμάτων, εμπλουτισμένο με μεταλλικά ιόντα κατά την πορεία του διαμέσου των ιζημάτων της λεκάνης. Η θερμοκρασία των υδάτων αυτών μειώνεται κατά την άνοδο του προς την επιφάνεια, ιδιαίτερα κατά τους βροχερούς μήνες (Ψιλοβίκος, 1977) .

Κατά το παρελθόν έδρασαν σε όλη την έκταση της Μυγδονίας λεκάνης, ιδιαίτερα στην υπολεκάνη της Βόλβης, με αποτέλεσμα την απόθεση χημικών ιζημάτων (τραβερτινικού τύπου), τα οποία καλύπτουν υπό μορφή στρώματος τις πρόσφατες αποθέσεις της λεκάνης, κάτι που αποδεικνύει ότι είναι νεότερα σε ηλικία. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι εξακολουθούν ακόμη να κατέχουν μεγάλη έκταση της υπολεκάνης της Βόλβης, παρά την επιφανειακή τους κατανομή και την μικρή αντοχή σε παράγοντες απογύμνωσης (Ψιλοβίκος, 1977). Η δράση τους τοποθετείται στο Ανώτερο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Sotiriadis et al., 1972 , από Ψιλοβίκο, 1977).

2.7 Οικολογική σημασία του υγροτόπου

Το υγροτοπικό σύστημα των λιμνών Κορώνειας- Βόλβης- Ρήχιου ποταμού αποτελεί ένα ευαίσθητο οικοσύστημα ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας, ως προς το ρόλο που κατέχει για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και της βιοποικιλότητας (Μπάλλας, 2007).

Η περιοχή των λιμνών χαρακτηρίζεται από πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Η πανίδα περιλαμβάνει υγροτοπική βλάστηση, παρυδάτια δενδρώδη βλάστηση, καλαμώνες, θαμνώνες και υγρολίβαδα. Συνολικά έχουν καταγραφεί 336 είδη φυτών (13 από αυτά θεωρούνται εξαιρετικά σπάνια). Στην περιοχή υπάρχουν δύο αξιόλογα δάση: το δάσος της Ρεντίνας και το δάσος της Απολλωνίας δίπλα στη λίμνη Βόλβη. Στην πανίδα της περιοχής συγκαταλέγονται 19 είδη αμφιβίων και ερπετών, 24 είδη ψαριών, 34 είδη θηλαστικών και περισσότερα από 200 είδη πουλιών. Λόγω της οικολογικής της

σημασίας η περιοχή προστατεύεται από μια σειρά διεθνών συνθηκών και ρυθμιστικών πράξεων που προσδιορίζουν το καθεστώς ανάπτυξης και διαχείρισης της περιοχής, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι:

- "Υγρότοπος διεθνούς σημασίας" (Σύμβαση Ramsar 1971)
- "Ειδικά Προστατευόμενη Περιοχή" (SPA, Οδηγία 79/409 ΕΕ) GR1220009-Λίμνες Βόλβη, Λαγκαδά, Στενά Ρεντίνας)
- "Ειδικά Προστατευόμενη Μεσογειακή Περιοχή" (Σύμβαση Βαρκελώνης)
- "Περιοχές Κοινοτικού Ενδιαφέροντος" (Δίκτυο NATURA 2000, Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. ΚΥΑ 33318/3028/1998, ΦΕΚ 1289 Β) GR1220001-Λίμνες Κορώνεια, Βόλβη και GR1220003-Στενά Ρεντίνας
- "Διατήρηση της Ευρωπαϊκής Άγριας Ζωής και των Φυσικών Βιοτόπων" (Σύμβαση Βέρνης 1983)
- "Διατήρηση Μεταναστευτικών Ειδών Άγριων Ζώων" (Σύμβαση Βόννης)
- "Χαρακτηρισμός των λιμναίων, χερσαίων και υδάτινων περιοχών του υδροτοπικού συστήματος των λιμνών Βόλβης-Κορώνειας και Μακεδονικών Τεμπών ως εθνικό Πάρκο Υγροτόπων των λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών" ΚΥΑ 6919/2004 (ΦΕΚ 248Δ/2004)
- Διατηρητέα μνημεία της φύσης (ο αιωνόβιος Πλάτανος στο "Βήμα του Αγίου Παύλου" κοντά στο χωριό Απολλωνία και δύο υπεραιωνόβιοι Πλάτανοι στο χωριό Σχολάρι μεταξύ των δύο λιμνών). (Πηγή:1η έκθεση αξιολόγησης-εφαρμογής των όρων προστασίας του Εθνικού Πάρκου λιμνών Βόλβης - Κορώνειας, 2006)

Παρ' όλη την ιδιαίτερη σημασία του το υδροτοπικό σύμπλεγμα των λιμνών Κορώνειας - Βόλβης - Ρήχιου ποταμού υποβαθμίζεται συνεχώς εξαιτίας των ανθρωπογενών πιέσεων που υφίσταται η περιοχή και παρουσιάζει φθίνουσα πορεία, όσον αφορά την ποσότητα, αλλά και την ποιότητα των υδατικών αποθεμάτων (Μπάλλας, 2007). Τα τελευταία χρόνια η κατάσταση επιδεινώνεται συνεχώς, κυρίως στη λίμνη Κορώνεια, όπου τα προβλήματα της ποιότητας του νερού και της πτώσης στάθμης συνεχώς οξύνονται. Η κατάσταση στη Βόλβη είναι ηπιότερη, παρόλα αυτά πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης, ώστε να μην ακολουθήσει και η Βόλβη την ανάλογη πορεία (Μπάλλας, 2007).

Η μη ορθολογική άσκηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη λεκάνη απορροής οδήγησε σταδιακά στη μεγάλη υποβάθμιση των υδροτοπικών λειτουργιών. Η υποβάθμιση αυτή, εκφράστηκε με τη σημαντική πτώση της στάθμης της επιφάνειας του νερού, την απώλεια ενδιαιτημάτων και ιχθυοπληθυσμών, τις υπερτροφικές συνθήκες, και με αντίστοιχες επιπτώσεις στις αξίες που απορρέουν για τον άνθρωπο από τις υδροτοπικές λειτουργίες (αρδευτική, μείωση βιοποικιλότητας, αλιευτική, κ.ά.) (Μπάκα, 2011). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, σε συνδυασμό με τις μειωμένες βροχοπτώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αρνητικού υδρολογικού ισοζυγίου και την περιορισμένη τροφοδοσία του υδροτόπου με νερό (Μπάκα, 2011). Υπεύθυνοι για την κατάσταση αυτή είναι οι τομείς της γεωργίας, της βιομηχανίας, η κτηνοτροφία (εντατική και μεταποιητική), αλλά και οι αστικές χρήσεις γης, οι οποίοι ασκώντας ένα πλήθος δραστηριοτήτων λειτουργούν πιεστικά για το περιβάλλον, διαταράσσοντας το υδατικό ισοζύγιο .

2.8 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες

2.8.1 Γεωργία

Οι περιοχές γύρω από τις λίμνες παρουσιάζουν έντονο γεωργικό χαρακτήρα, λόγω της γονιμότητας των εδαφών τους που αποτελούν τον πυθμένα της άλλοτε λίμνης Μυγδονίας. Το ήπιο κλίμα που δημιουργείται από τη ύπαρξη των δύο λιμνών, το εύφορο έδαφος, αλλά και η δυνατότητα για άρδευση των εκτάσεων αυτών έχουν συμβάλλει στην έντονη ανάπτυξη της γεωργίας (Μπάλλας, 2007). Τα καλλιεργούμενα εδάφη τροφοδοτούνται με ποσότητες νερού πολύ μεγαλύτερες από αυτές που πραγματικά απαιτούνται με αποτέλεσμα σημαντικές απώλειες νερού τόσο από την εξάτμιση, όσο από την απορροή και τη βαθιά διήθηση (Λιπώνης & Ζάβαλης, 2004 , από Μπάλλα, 2007). Για τις αρδευτικές αυτές ανάγκες της περιοχής έχουν κατασκευαστεί περίπου 2000 αβαθείς γεωτρήσεις (20-40 μέτρα) και πάνω από 500 υδρογεωτρήσεις (80-300 μέτρα) που αντλούν από τους αβαθείς και βαθείς υδροφορείς. Σε πολλές περιπτώσεις έχει

παρατηρηθεί άντληση νερού απευθείας από τη λίμνη. Συνεπώς μπορεί να ειπωθεί πως η γεωργία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό για την ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των νερών κυρίως της λίμνης Κορώνειας . Η μείωση του όγκου του νερού, καθώς και οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων και θρεπτικών αλάτων (αμμώνιο, νιτρώδη, νιτρικά, ορθοφωσφορικά) στο νερό από τα φυτοφάρμακα και τα λιπάσματα, έχουν την ευθύνη για την αλλοίωση του περιβάλλοντος και της ιχθυοπανίδας, με συνέπεια τον θάνατο, αλλά και την εξαφάνιση πολλών ειδών, αλλά και των καταναλωτών τους, την ορνιθοπανίδα. Επίσης η πτώση της στάθμης του νερού λόγω των εξαντλητικών αντλήσεων, αλλά και οι προσχώσεις των χειμάρρων οδήγησαν στην αποκάλυψη επιφανειών του πυθμένα της λίμνης. Ως αποτέλεσμα ήταν να χαθεί η οικολογική αξία των εκτάσεων, να αποξηρανθούν και να καταπατηθούν από καλλιεργητές και να μετατραπούν (οι περισσότερες παράνομα) σε χωράφια. Η αλλαγή χρήσης γης οδήγησε στην οριστική απώλεια των βιοτόπων για σημαντικά είδη ορνιθοπανίδας/ιχθυοπανίδας (Αναθεωρημένο Σχέδιο Αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ., 2004).

2.8.2 Κτηνοτροφία

Μερίδιο ευθύνης έχει και η κτηνοτροφία γιατί και αυτή με τη σειρά της αυξάνει τα θρεπτικά άλατα και την αμμωνία στα νερά και σε συνδυασμό με τη μειωμένη αφομοιωτική ικανότητα ρύπων έχει ως συνέπεια τον ευτροφισμό της λίμνης. Οι κτηνοτροφικές μονάδες στο σύνολο τους δεν πληρούν τις προϋποθέσεις υγιεινής και δεν έχουν άδεια λειτουργίας. Βιολογικός καθαρισμός δεν υπάρχει και όταν υπάρχει υπολειτουργεί με δυσμενείς και πάλι συνέπειες για τα νερά. Έτσι η διάθεση των αποβλήτων γίνεται είτε σε απορροφητικούς βόθρους είτε σε χείμαρρους και ρέματα με τελική κατάληξη τη λίμνη , είτε έμμεσα μέσω υπόγειων υδροφόρων είτε άμεσα μέσω επιφανειακών νερών. Η υπερβόσκηση οδηγεί στην υποβάθμιση της βλάστησης και των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους με αποτέλεσμα την αύξηση των διαβρωτικών φαινομένων και του ρυθμού πρόσχωσης των λιμνών. Ακόμα επηρεάζει αρνητικά τη γεωμορφολογία των όχθων και τα ενδιαίτηματα άγριας πανίδας. Επιπλέον αυξάνει τη

μεταφορά στερεών υλικών και θρεπτικών στοιχείων, ενώ υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού (Αναθεωρημένο Σχέδιο Αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ., 2004).

2.8.3 Βιομηχανία-Βιοτεχνία

Οι βιομηχανικές-βιοτεχνικές μονάδες που δρούσαν στη γύρω περιοχή διέθεταν τα υγρά απόβλητά τους ανεπεξέργαστα είτε απευθείας στη λίμνη είτε έμμεσα μέσω χειμάρρων. Συνέπεια ήταν προφανώς η ρύπανση αλλά και η πτώση στάθμης των νερών, η βιομηχανία θεωρείται η δεύτερη δραστηριότητα μετά τη γεωργία σε κατανάλωση νερού. Δυστυχώς στην περιοχή δεν τηρήθηκαν οι νομοθετικές διατάξεις για τον τρόπο λειτουργίας και εγκατάστασης τέτοιων μονάδων και δεν ασκήθηκε ο απαραίτητος έλεγχος σε αυτές που είχαν θορυβήσει την κοινή γνώμη. Η ρύπανση που προκλήθηκε ήταν οργανικής μορφής (DO, φορτία BOD και COD, αιωρούμενα σωματίδια, τοξικές ουσίες (χρώματα, βαρέα μέταλλα) (Αναθεωρημένο Σχέδιο Αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ., 2004).

2.8.4 Οικιστικές δραστηριότητες

Μεγάλη επιβάρυνση ασκείται και από τα **αστικά λύματα** τα οποία καταλήγουν ανεπεξέργαστα στις λίμνες και δημιουργούν φαινόμενα ευτροφισμού, καθώς τη φορτίζουν με οργανικής μορφής ρύπανση.

Η ρίψη **στερεών αστικών αποβλήτων** εκτός του προβλήματος της ρύπανσης (περιβαλλοντική/αισθητική) που δημιουργεί στις κοίτες των χειμάρρων, έχει δυσμενείς επιδράσεις και για τον βιότοπο της περιοχής, καθώς στις κοίτες ενδημούν πολλά είδη .

Το **αποχετευτικό σύστημα** της περιοχής συνίσταται από απορροφητικούς βόθρους, γεγονός που καθιστά δυνατή την εισροή βοθρολυμάτων στους υπόγειους υδροφορείς με τελική κατάληξη και πάλι τις λίμνες (χωρίς να είναι εξακριβωμένο) (Αναθεωρημένο Σχέδιο Αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ., 2004).

2.8.5 Λοιπές δραστηριότητες

Οι ανεξέλεγκτες **αμμοληψίες** που πραγματοποιούνται στην περιοχή έχουν ως αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της κοίτης των χειμάρρων, την αλλοίωση των χαρακτηριστικών των βιοτόπων και κατά συνέπεια την καταστροφή της παρόχθιας βλάστησης και τη δημιουργία εμποδίων στις μετακινήσεις ειδών ιχθυοπανίδας. Επίσης το **εξοντωτικό κυνήγι** και η **υπεραλίευση**, η οποία ασκήθηκε ανεξέλεγκτα ιδιαίτερα για ορισμένα εμπορικά είδη και η αλλαγή στην παραγωγική διαδικασία αλίευσης αποτελούν σημαντική απειλή για την ιχθυοπανίδα και την ορνιθοπανίδα.

Οι **λανθασμένοι δασοκομικοί χειρισμοί**, όπως οι αποψιλωτικές υλοτομίες, οδηγούν σε εντατικούς ρυθμούς διάβρωσης και την αύξηση της πρόσχωσης των λιμνών. Έτσι επιδρούν έμμεσα με τρόπο αρνητικό στη βιοκοινότητα της περιοχής. Οι αναδασώσεις που γίνονται στη περιοχή με την εισαγωγή ξενικών ειδών δημιουργούν οικοσυστήματα ασταθή και αλλοιώνουν την φυσιογνωμία της περιοχής.

Οι **ναυταθλητικές δραστηριότητες** που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια κυρίως στη Βόλβη δημιουργούν προβλήματα στην ορνιθοπανίδα ειδικά στα είδη που φωλιάζουν στους καλαμιώνες.

Οχλούσες δραστηριότητες, όπως η ύπαρξη οδικού δικτύου κοντά στη λίμνη δημιουργεί ενοχλήσεις στον υγρότοπο και κυρίως στην ευαίσθητη ορνιθοπανίδα που φιλοξενείται στη περιοχή. Επίσης ενοχλήσεις προκαλούνται και από τον θόρυβο, τα φώτα, τη σκόνη, τα σκουπίδια, τα καυσαέρια, την εύκολη πρόσβαση, ιδιαίτερα την περίοδο ζευγαρώματος και ωοτοκίας, που είναι μια περίοδος μεγάλης ευαισθησίας (Αναθεωρημένο Σχέδιο Αποκατάστασης, Ν.Ε.Θ., 2004).

2.9 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επηρεάζουν την ταχύτητα διήθησης

Οι ανεξέλεγκτες αμμοληψίες που πραγματοποιούνται στην περιοχή των κοιτών των υδατορευμάτων μειώνουν σημαντικά την κλίση της κοίτης με αποτέλεσμα αύξηση τη κατείσδυσης και τη μείωση της επιφανειακής απορροής.

Η δημιουργία εγκάρσιων τεχνητών αναβαθμών, όπως στην περίπτωση του ρέματος της Γερακαρούς (Εικόνα 22) έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη δραματική μείωση των κλίσεων στην κοίτη, τη μείωση της ταχύτητας του νερού, τη συγκράτηση της χονδρόκοκκης άμμου και συνεπώς την επιτάχυνση της κατείσδυσης του νερού και τη μείωση της επιφανειακής απορροής.

Και στις δύο αυτές ανθρωπογενείς επεμβάσεις, αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα σημαντική για την τροφοδοσία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (κατακόρυφη κίνηση), αλλά όχι για τις λίμνες, εφόσον οι μικρότερες κλίσεις δεν βοηθούν στην ύπαρξη οριζόντιας κίνησης του νερού προς αυτές και συνεπώς επιφανειακής απορροής.

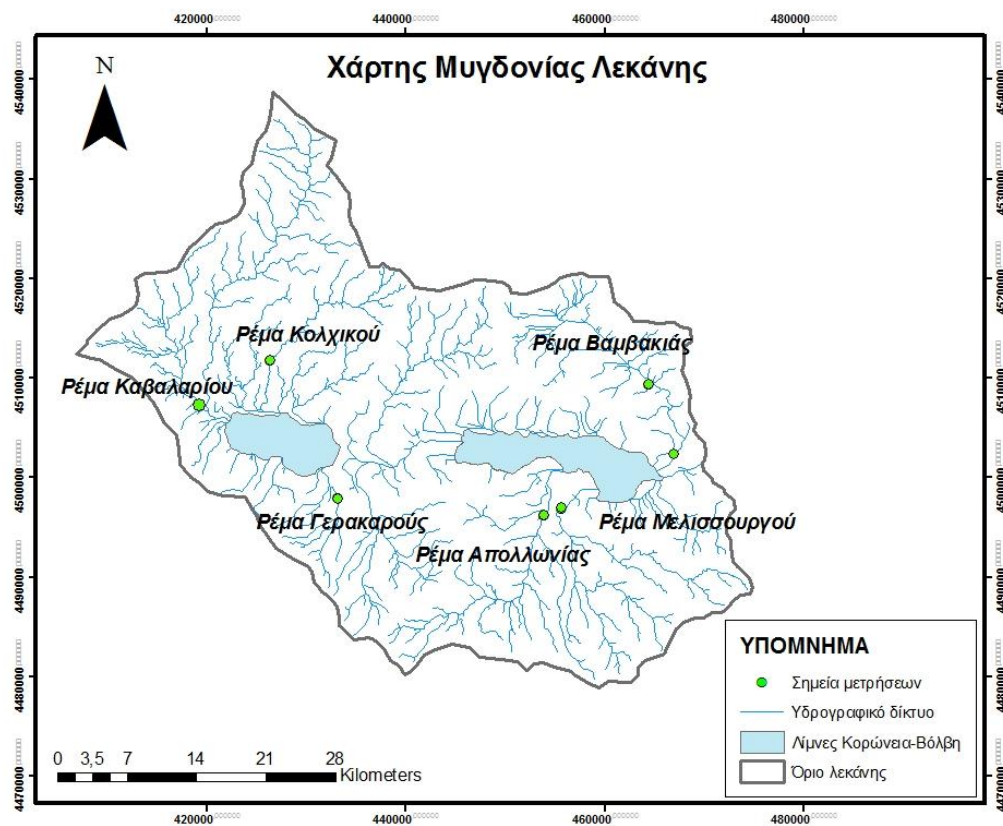


Εικόνα 22: Ύπαρξη τεχνητών αναβαθμών στο ρέμα της Γερακαρούς

Picture 22: Existence of terraces of Gerakarou stream

2.10 Σημεία δοκιμών πεδίου

Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν στις κοίτες των υδατορευμάτων των λιμνών της Κορώνειας και της Βόλβης. Επιλέχθηκαν αρχικά τρία ρέματα στην λίμνη Κορώνεια και τρία ρέματα στη Βόλβη. Συγκεκριμένα τα ρέματα Κολχικού, Γερακαρούς και Καβαλαρίου στην λίμνη Κορώνεια και τα ρέματα Απολλωνίας, Μελισσουργού και Βαμβακιάς της λίμνης Βόλβης (Εικόνα 23). Παρ' όλα αυτά δεν κατέστη δυνατή η λήψη αποτελεσμάτων από όλα τα ρέματα εξαιτίας των φυσικών εμποδίων που συναντήθηκαν. Στο ρέμα Καβαλαρίου και στο ρέμα της Βαμβακιάς ήταν αδύνατη η τοποθέτηση του οργάνου λόγω της πολύ πυκνής βλάστησης και των κροκαλών αντίστοιχα που υπήρχαν στις περιοχές. Όπως αναφέρθηκε το έδαφος στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί το διηθητόμετρο διπλού κυλίνδρου πρέπει να είναι καθαρό, χωρίς φυσικά εμπόδια. Επομένως οι μετρήσεις λήφθηκαν μόνο από τα υπόλοιπα τέσσερα ρέματα των λιμνών. Τα δεδομένα των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της ταχύτητας διήθησης των ιζηματογενών αποθέσεων στις κοίτες των υδατορευμάτων και κατ' επέκταση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας τους (K_s). Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, όπως αναφέρθηκε, είναι ένας δείκτης κίνησης του νερού στο έδαφος και μέσω αυτής μπορεί να εκτιμηθεί η ικανότητα των ρεμάτων να τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφόρο. Το αν φτάνει το νερό στη λίμνη είναι ένα άλλο σενάριο το οποίο δεν μελετήθηκε αριθμητικά στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, παρ' όλα αυτά γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση του θέματος στα παρακάτω κεφάλαια.



Εικόνα 23: Σημεία δοκιμών πεδίου στα ρέματα της Μυγδονίας λεκάνης
Picture 23 :Points of measurrments testing in the field

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 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 δακτυλίους, κατασκευασμένους από χάλυβα, οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος. Οι κυλινδρικοί δακτύλιοι έχουν διαφορετική διάμετρο και το ύψος τους είναι 25 cm. 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 περιλαμβάνει επίσης ένα βοηθητικό επίπεδο και ένα πλαστικό σφυρί, που είναι απαραίτητα για την τοποθέτηση των κυλίνδρων στο έδαφος, στο ίδιο πάντα βάθος. Ακόμα χρησιμοποιούνται χρονόμετρο, μετροταινίες και φύλλα για την καταγραφή των δεδομένων, καθώς και νερό για την τροφοδοσία του συστήματος (ASTM 2003) (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Το διηθητόμετρο διπλού δακτυλίου

(Πηγή: www.wagtechprojects.com/products/Double-Ring-Infiltrometer.html)

Picture 24: The double ring infiltrometer

(Source: www.wagtechprojects.com/products/Double-Ring-Infiltrometer.html)

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)

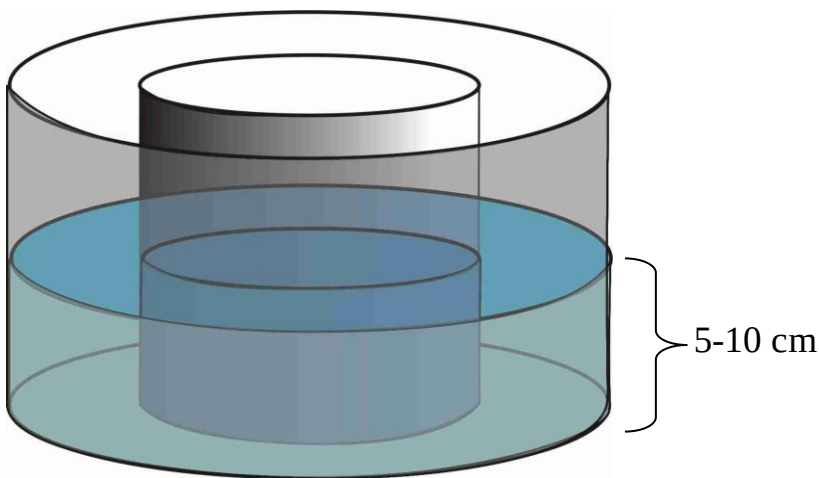
- Είναι κατάλληλο για σχεδόν οποιοδήποτε τύπο εδάφους.
- Το υλικό ανοξείδωτου χάλυβα από τον οποίο είναι κατασκευασμένοι οι κύλινδροι διαρκεί για πάντα
- Τα τρία ζεύγη δακτυλίων έχουν ως αποτέλεσμα τη λήψη αντιπροσωπευτικότερου αποτελέσματος (Πηγή: www.cv.nctu.edu.tw/~wwwadm/chinese/teacher/Ppt-pdf/AGTwk6HydraulicCon.pdf)

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 (Πηγή: pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Presentations/Water permeability & infiltration measurements-def.pdf)

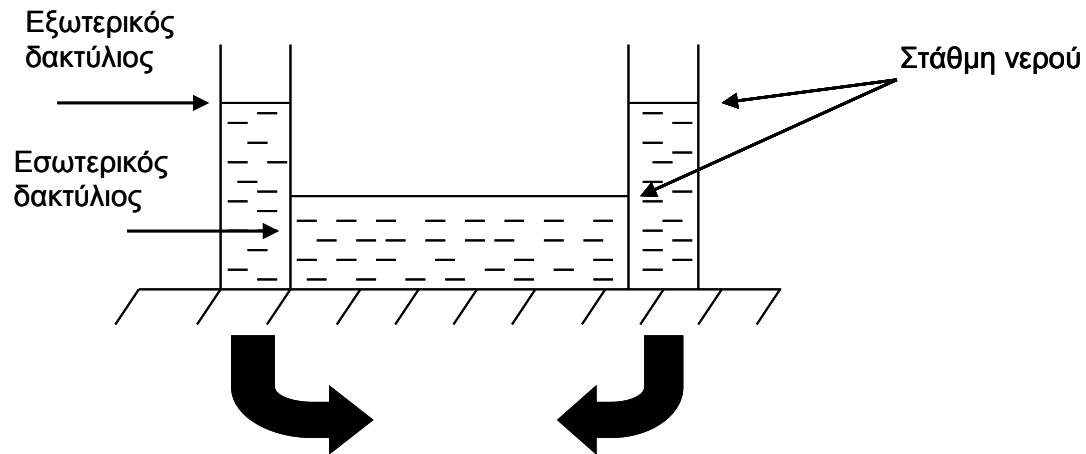
3.2 Περιγραφή μεθόδου

Για την καλή λειτουργία του διηθητόμετρου πρέπει αρχικά να βρεθεί ένα κατάλληλο σημείο για την τοποθέτηση του οργάνου και να αφαιρεθούν τυχόν φυσικά εμπόδια όπως πέτρες και κλαδιά, χωρίς να διαταραχθεί η επιφάνεια του εδάφους. Οι κυλινδρικοί δακτύλιοι τοποθετούνται από τη μεριά του κάτω άκρου, το οποίο είναι πιο οξύ σε ένα βάθος 10-15 cm μέσα στο έδαφος με τη βοήθεια του βοηθητικού επιπέδου και του πλαστικού σφυριού. Αφού τοποθετηθούν αφαιρείται το βοηθητικό επίπεδο και το σύστημα τροφοδοτείται με νερό προσπαθώντας να διατηρηθεί σταθερή η στάθμη του νερού στους κυλινδρικούς δακτυλίους σε ένα ύψος 5-10 cm (Εικόνα 25). Ένα υψηλότερο επίπεδο νερού στον εξωτερικό δακτύλιο θα οδηγούσε σε μειωμένα ποσοστά διήθησης στον εσωτερικό δακτύλιο (Εικόνα 26). 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) (Εικόνα 27) (Πηγή: www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/EN/m1-0904eringinfiltrrometer.pdf).



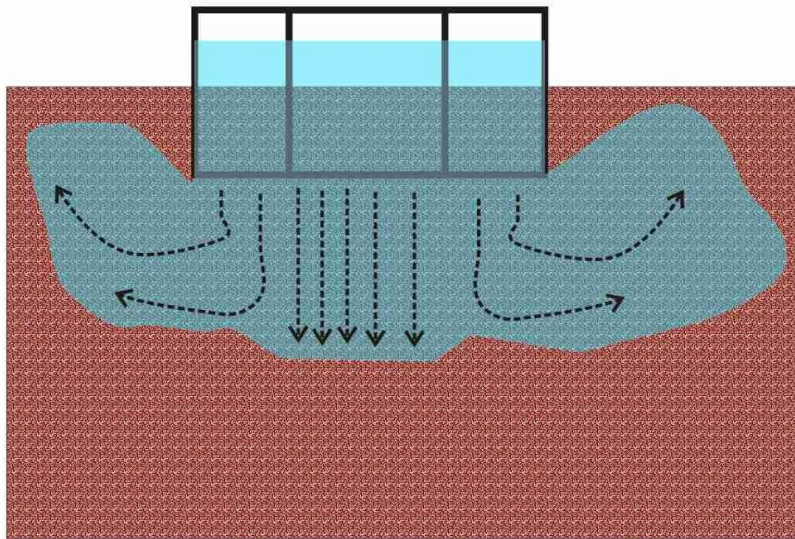
Εικόνα 25: Η στάθμη του νερού στους κυλινδρικούς δακτυλίους διατηρείται σε ένα ύψος 5-10 cm

Picture 25: The level of the water inside the rings should be maintained at a height of 5-10 cm



Εικόνα 26: Μείωση διείσδυσης που προκαλείται από τα διαφορετικά επίπεδα του νερού στον εσωτερικό και τον εξωτερικό δακτύλιο, τροποποιημένο
(Πηγή: www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/EN/m1-0904eringinfiltrrometer.pdf)

Picture 26: Decreasing infiltration caused by different water levels in the inner and the outer rings, modified (Source: www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/EN/m1-0904eringinfiltrrometer.pdf).



Εικόνα 27: Η μονοδιάστατη, κατακόρυφη ροή κάτω από το εσωτερικό δακτύλιο
Picture 27: The dimensional, vertical flow under the inner ring

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 κρατήσει 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 .

Η ηλιακή ακτινοβολία και οι αρκετά μεγάλες αλλαγές στη θερμοκρασία είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις αργές αυτές μετρήσεις, ειδικά για δοκιμές που κρατάνε περισσότερο 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).

3.3 Μετρήσεις πεδίου

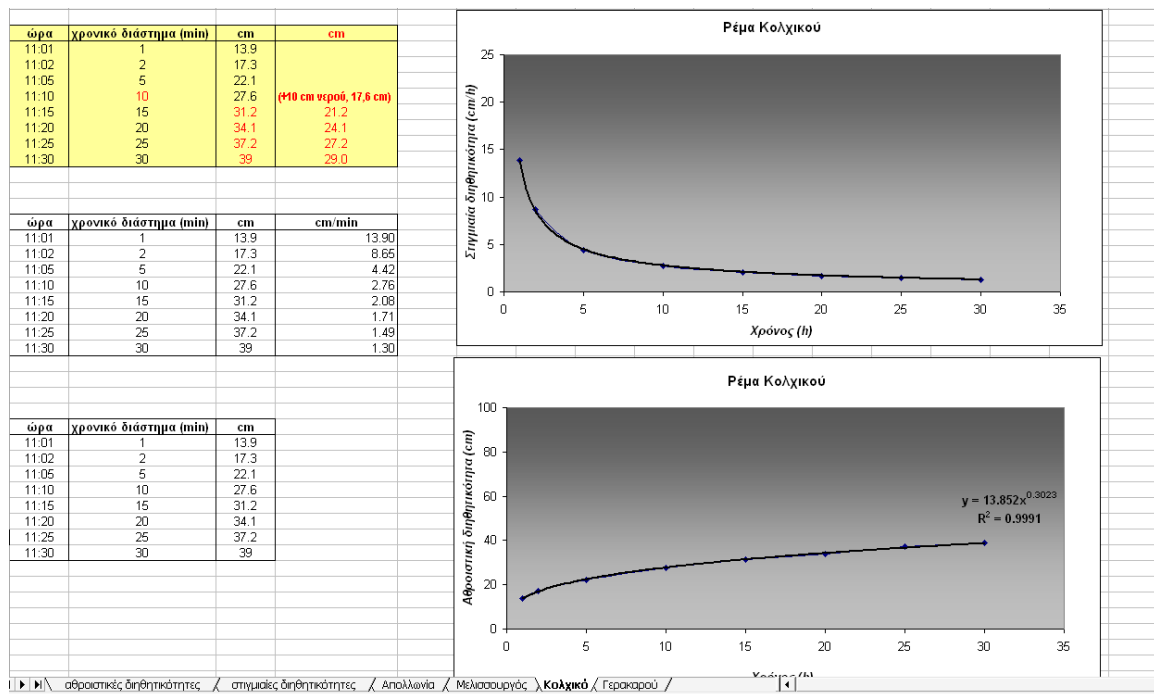
Οι μετρήσεις της διηθητικότητας πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2013. Όπως αναφέρθηκε οι τιμές λαμβάνονταν από τον εσωτερικό δακτύλιο σε χρονικά διαστήματα (1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 λεπτών) με τη βοήθεια μετροταινίας που βρισκόταν τοποθετημένη στον εσωτερικό κύλινδρο και ενός χρονομέτρου για τη τήρηση του ακριβούς χρόνου. Αρχικά πριν γεμίσουν με νερό οι κύλινδροι τοποθετήθηκε ένα νάιλον στον εσωτερικό δακτύλιο με σκοπό την συγκράτηση του νερού ώστε να μη χαθούν οι πρώτες τιμές. Κατόπιν το νάιλον αφαιρέθηκε και ξεκίνησε η καταγραφή των μετρήσεων (Εικόνα 28). Όπου ήταν απαραίτητο προστέθηκε για δεύτερη ή και για τρίτη φορά νερό στους κυλίνδρους, όταν αυτοί σχεδόν άδειαζαν, με σκοπό τη διατήρηση της στάθμης σε αυτούς έως τη στιγμή του κορεσμού των ιζημάτων στις κοίτες των υδατορευμάτων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν, στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, η προσθήκη νερού (στο λεπτό όπου πραγματοποιήθηκε) αναγράφεται με διαφορετικό χρώμα (κόκκινο) και σε διαφορετική στήλη για να είναι εμφανής και κατανοητή.



Εικόνα 28: Οι κύλινδροι γεμίζουν με νερό και αμέσως ξεκινάει η καταγραφή των μετρήσεων
Picture 28: The cylinders are filled with water and immediately starts the recording of the measurements

3.4 Επεξεργασία των δεδομένων

Τα δεδομένα των μετρήσεων του πεδίου καταγράφηκαν στο excel του προγράμματος των office και προέκυψαν οι καμπύλες διηθητικότητας (Εικόνα 29). 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.



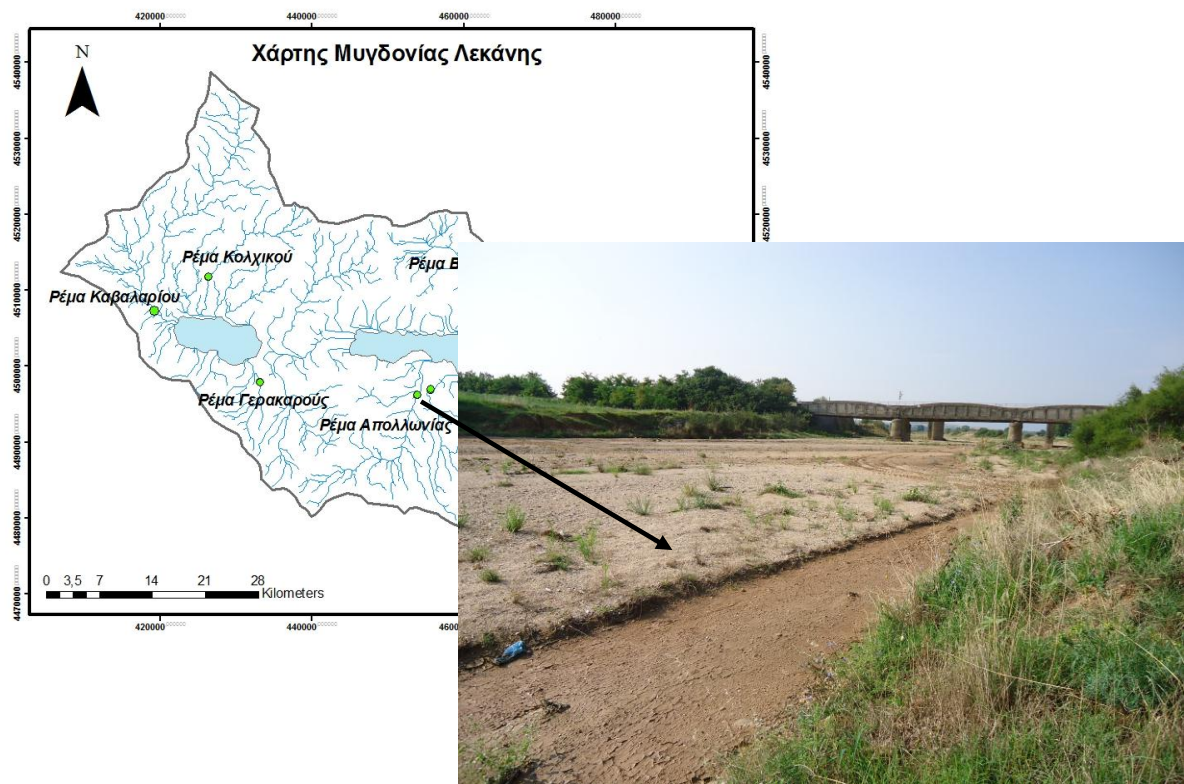
Εικόνα 29: Καταγραφή δεδομένων στο excel και δημιουργία των καμπυλών διηθητικότητας
Picture 29: Recording data in excel and create infiltration curves

4. 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 :

Λίμνη Βόλβη:

Ρέμα Απολλωνίας:



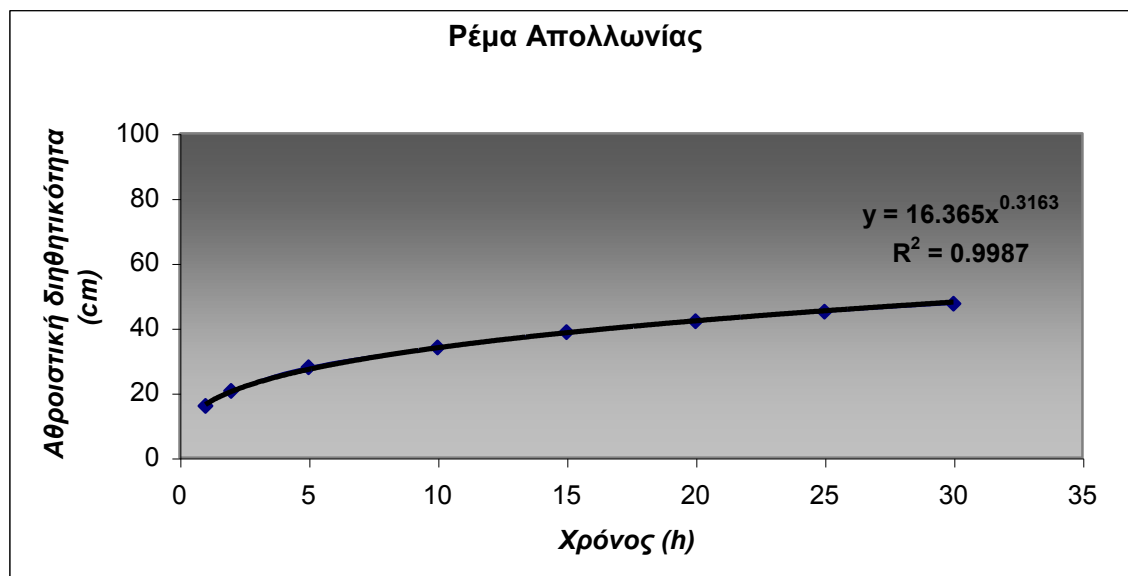
Εικόνα 30: Σημείο ρέματος Απολλωνίας στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία
Picture 30: Point of Apollonia stream at the map and the relevant photo

Πίνακας 5: Δεδομένα των μετρήσεων διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας στο πεδίο
Table 5: Data from measurements of infiltration of Apollonia stream at the field

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	32.5

Πίνακας 6: Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας
Table 6: Data from measurements of cumulative infiltration of Apollonia stream

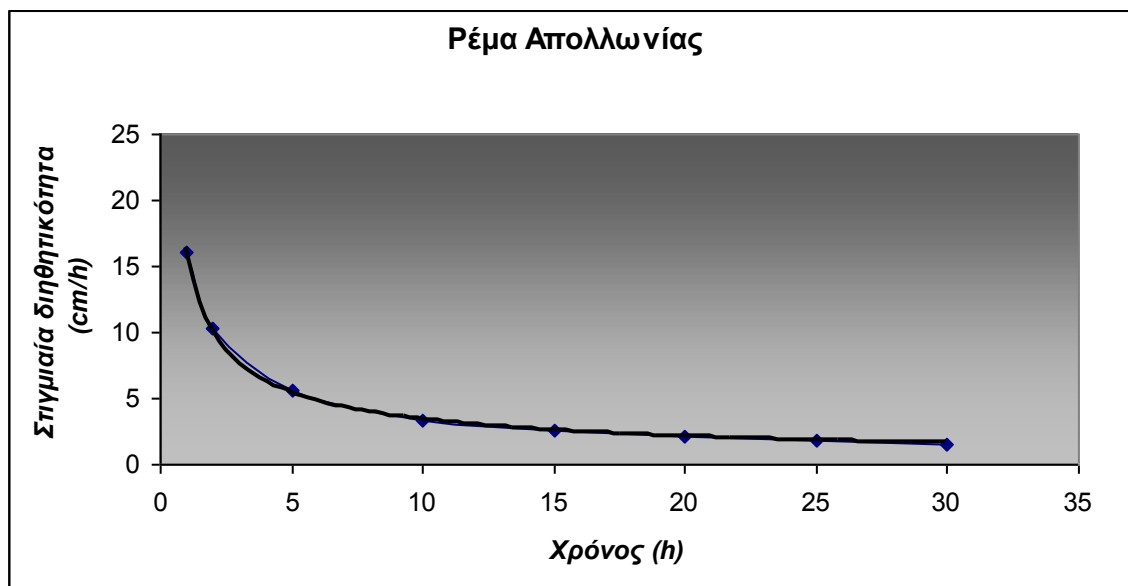
ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)
9:01	1	16.0
9:02	2	20.6
9:05	5	27.9
9:10	10	34.0
9:15	15	38.7
9:20	20	42.1
9:25	25	45.0
9:30	30	47.5



Εικόνα 31: Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα της Απολλωνίας
Picture 31: Cumulative infiltration curve of Apollonia stream

Πίνακας 7: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Απολλωνίας
Table 7: Data from measurements of infiltration of stream Apollonia stream

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



Εικόνα 32: Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα της Απολλωνίας
Picture 32: Infiltration curve of Apollonia stream

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiakov 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)

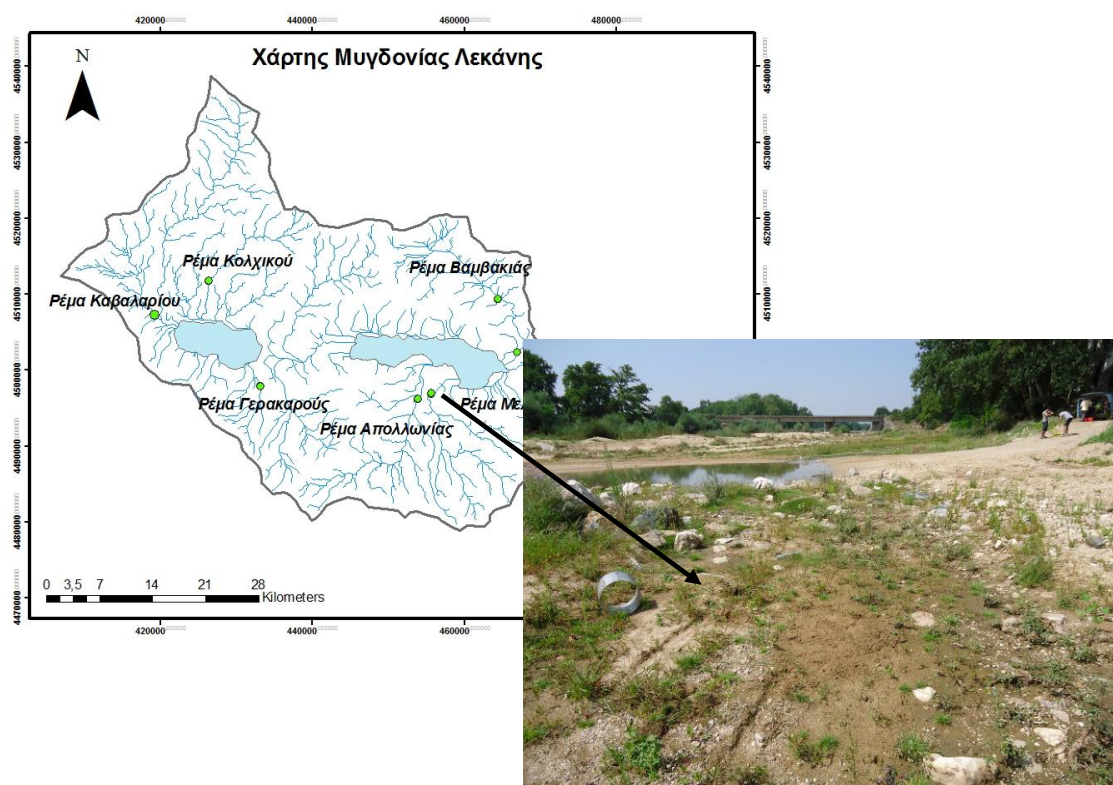
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

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

$$i = 310,8 t^{-0,6837} \text{ cm/h}$$

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

Ρέμα Μελισουργού:



Εικόνα 33: Σημείο ρέματος Μελισουργού στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία
Picture 33: Point of Melissourgou stream at the map and the relevant photo

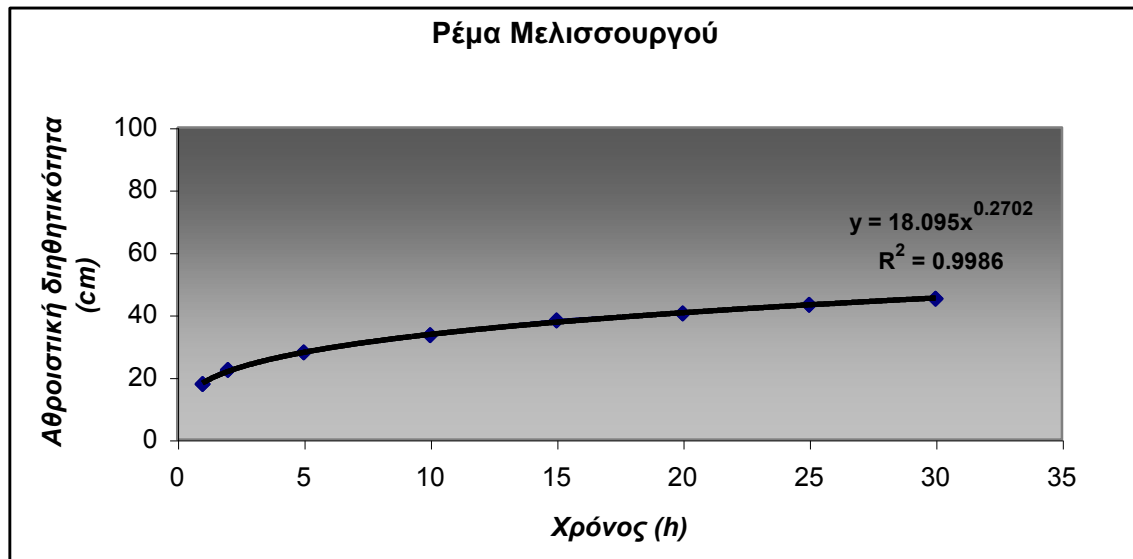
Πίνακας 8: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Μελισουργού στο πεδίο
Table 8: Data from measurements of infiltration of Melisourgou stream at the field

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
10:01	1	17.8	
10:02	2	22.3	
10:05	5	27.9	
10:10	10	33.5	(+10 cm νερού, 23,5)
10:15	15	38.2	28.2
10:20	20	40.4	30.4
10:25	25	43.2	33.2
10:30	30	45.1	35.1

Πίνακας 9: Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Μελισσουργού

Table 9: Data from measurements of cumulative infiltration of Melisourgos stream

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

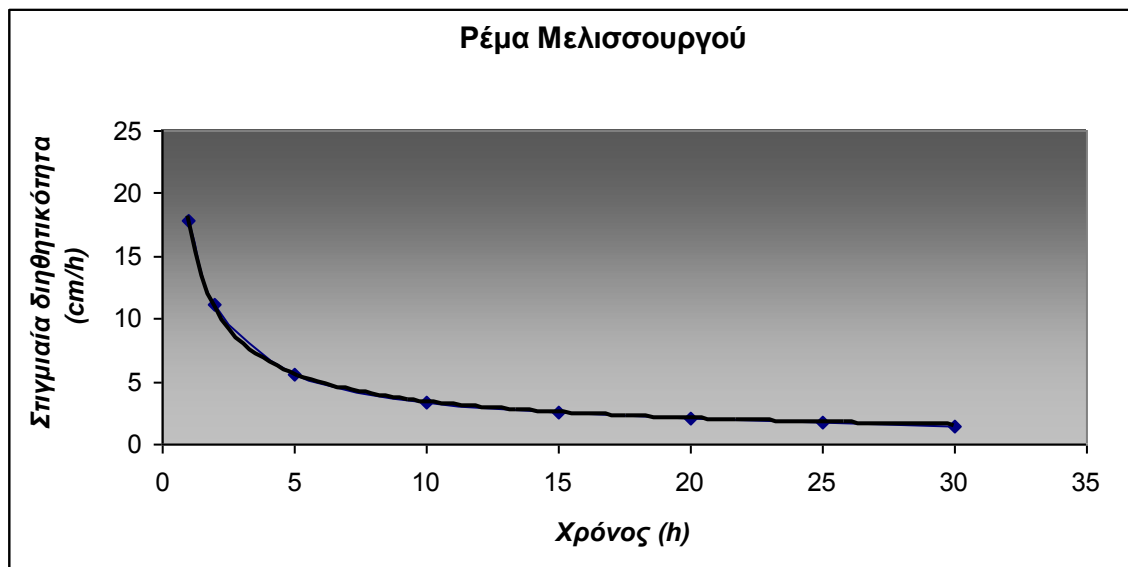


Εικόνα 34: Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα του Μελισσουργού

Picture 34: Cumulative infiltration curve of Melisourgos stream

Πίνακας 10: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Μελισουργού
Table 10: Data from measurements of infiltration of Melisourgos stream

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμιαία 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



Εικόνα 35: Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα του Μελισουργού
Picture 35: Infiltration curve of Melisourgos stream

Από τις καμπύλες και την εξίσωση του Kostiakov προκύπτει ότι για το ρέμα του Μελισουργού (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)

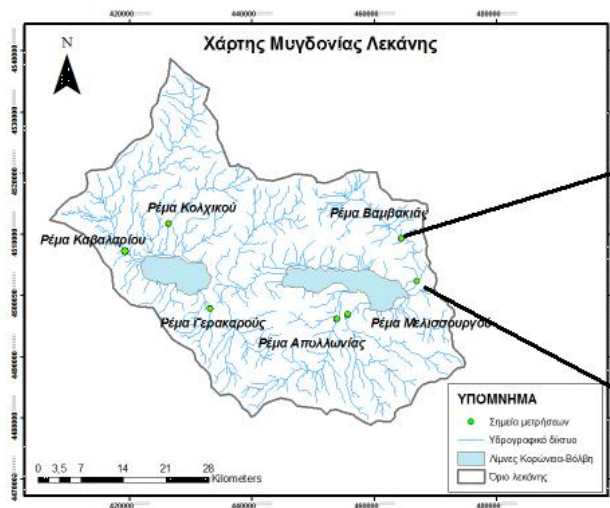
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

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 : $i_{τελ}=24,5 \text{ cm/h}=Ks$

Ρέμα Βαμβακιάς:

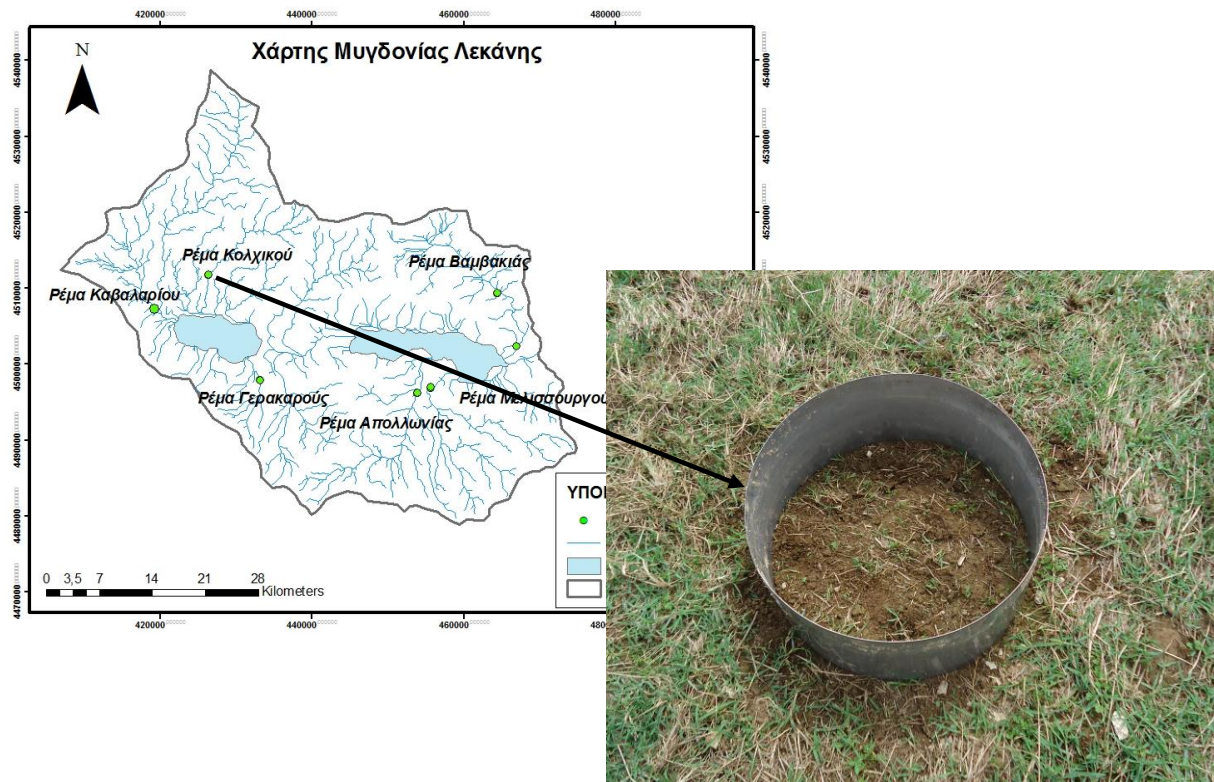


Εικόνα 36 : Σημεία ρέματος Βαμβακιάς στο χάρτη και αντίστοιχες φωτογραφίες
Picture 36: Points of Vamvakia stream at the map and the relevant photos

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

Λίμνη Κορώνεια:

Ρέμα Κολχικού :



Εικόνα 37: Σημείο ρέματος Κολχικού στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία

Picture 37: Point of Kolchiko stream at the map and the relevant photo

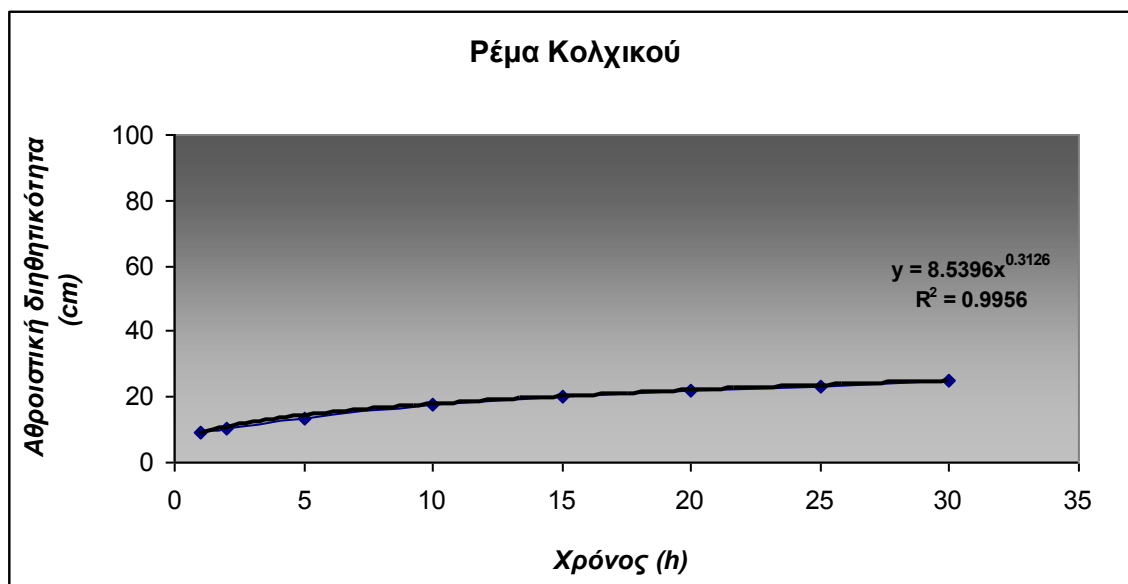
Πίνακας 11: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού στο πεδίο

Table 11: Data from measurements of infiltration of Kolchiko stream at the field

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Προσθήκη νερού (cm)
11:01	1	8.9	
11:02	2	10.3	
11:05	5	13.6	
11:10	10	17.4	(+10 cm νερού, 7,4 cm)
11:15	15	20.2	10.2
11:20	20	22.1	12.1
11:25	25	23.2	13.2
11:30	30	25	15.0

Πίνακας 12: Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού
Table 12: Data from measurements of cumulative infiltration of stream Kolxiko

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

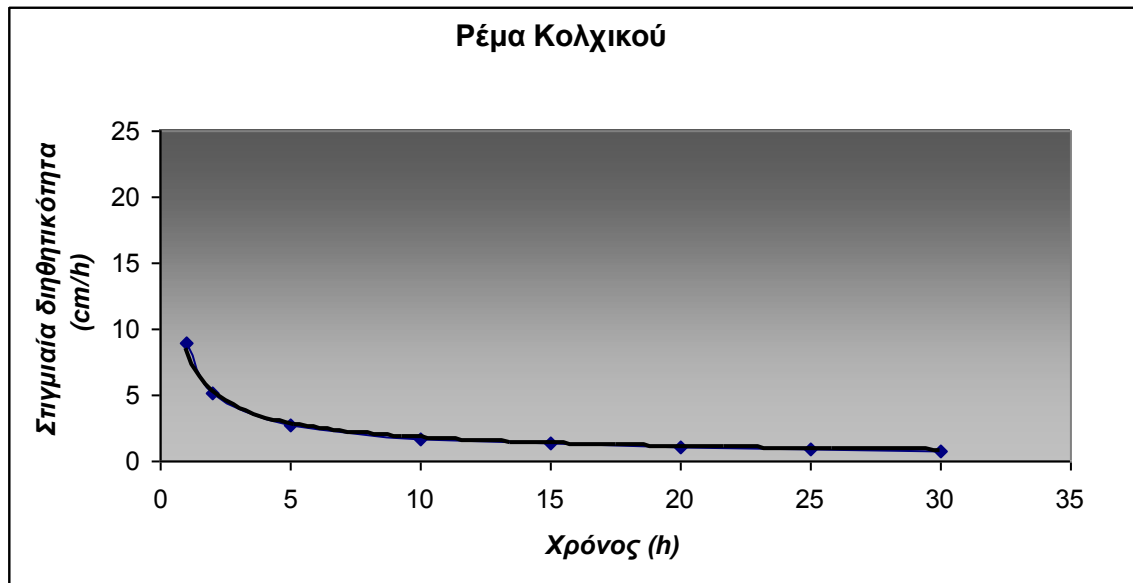


Εικόνα 38: Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα Κολχικού

Picture 38: Cumulative infiltration curve of Kolxiko stream

Πίνακας 13: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού
Table 13: Data from measurements of infiltration of Kolxiko stream

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



Εικόνα 39: Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα του Κολχικού
Picture 39: Infiltration curve of Kolxiko stream Kolxiko

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

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

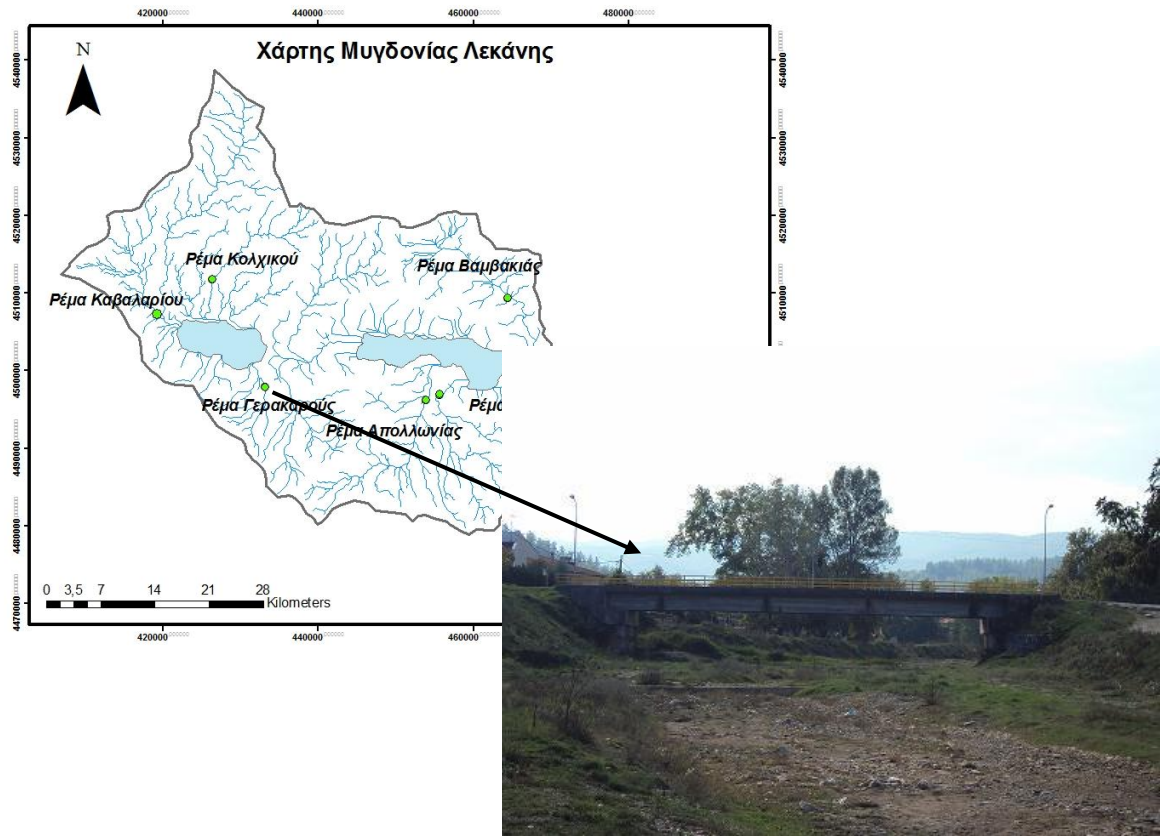
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

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 : $i_{τελ}=15,4 \text{ cm/h}=Ks$

Ρέμα Γερακαρούς:



Εικόνα 40: Σημείο ρέματος Γερακαρούς στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία
Picture 40: Point of Gerakarou stream at the map and the relevant photo

Πίνακας 14: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος της Γερακαρούς στο πεδίο

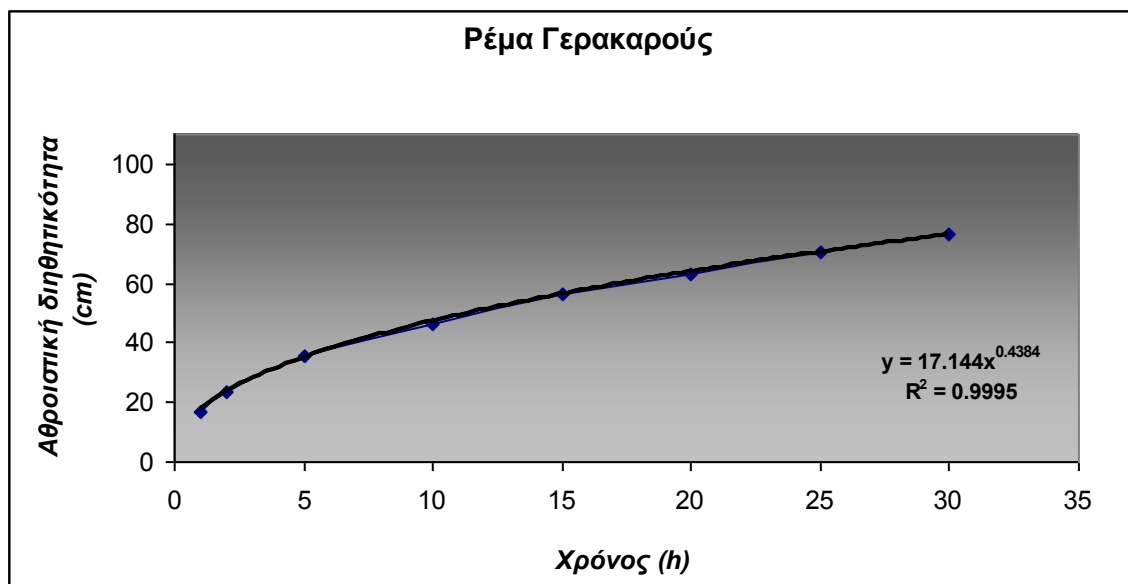
Table 14: Data from measurements of cumulative infiltration of Gerakarou stream at the field

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	26,5
12:15	15	56.1	(+20 cm νερού, 36,1 cm)
12:20	20	62.8	42,8
12:25	25	70.6	50,6
12:30	30	76.7	56,7

Πίνακας 15: Δεδομένα των μετρήσεων της αθροιστικής διηθητικότητας του ρέματος της Γερακαρούς

Table 15: Data from measurements of cumulative infiltration of Gerakarou stream

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

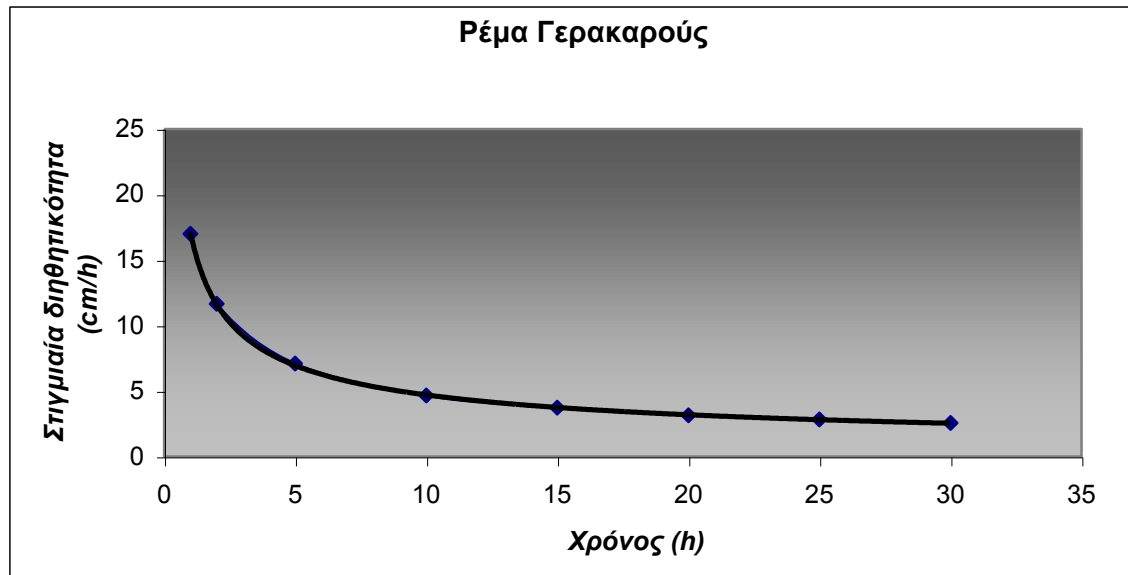


Εικόνα 41: Καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας στο ρέμα της Γερακαρούς

Picture 41: Cumulative infiltration curve of Gerakarou stream

Πίνακας 16: Δεδομένα των μετρήσεων της διηθητικότητας του ρέματος Κολχικού
Table 16: Data from measurements of infiltration of Kolxiko stream

ώρα	χρονικό διάστημα (min)	Αθροιστική διήθηση (cm)	Στιγμιαία 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



Εικόνα 42: Καμπύλη στιγμιαίας διηθητικότητας στο ρέμα της Γερακαρούς
Picture 42: Infiltration curve of Kolxiko Gerakarou stream

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 ($a = 17,144$, $b = 0,4384$)

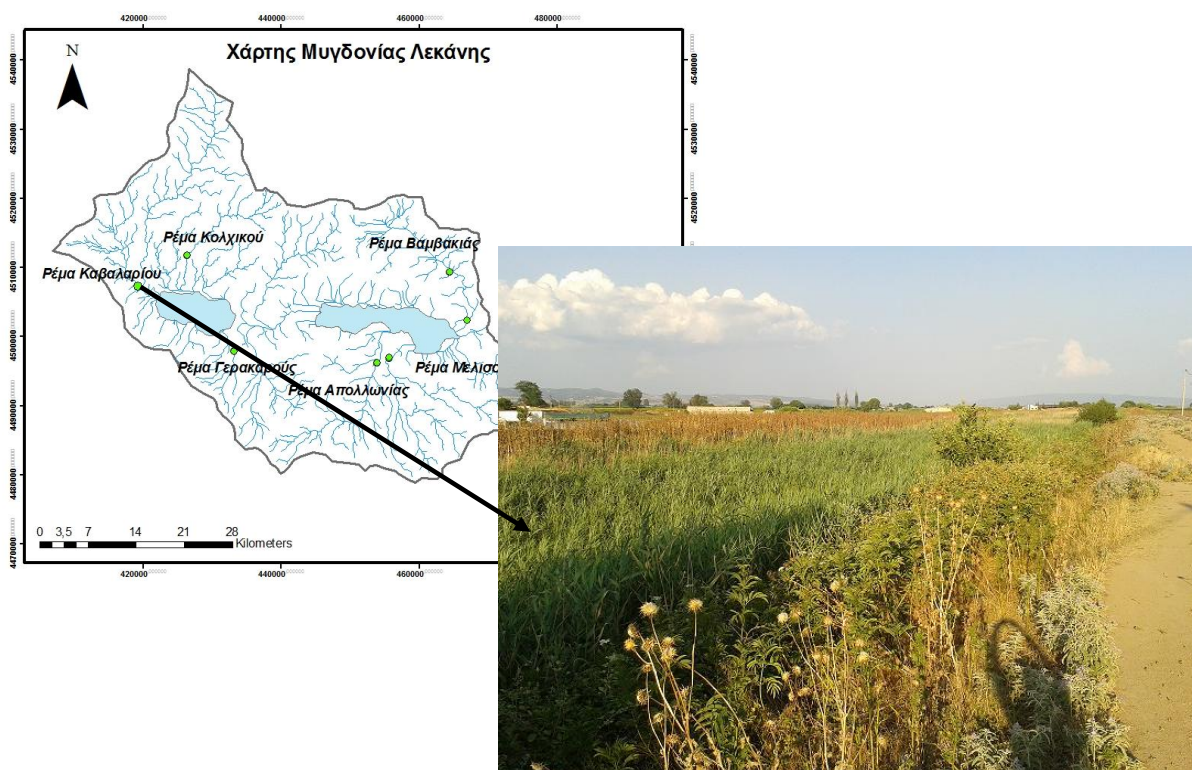
Από την οποία με παραγωγή προκύπτει:

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

$$i = 450 t^{-0,5616} \text{ cm/h}$$

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

Ρέμα Καβαλαρίου:



Εικόνα 43: Σημείο ρέματος Καβαλαρίου στο χάρτη και αντίστοιχη φωτογραφία
Picture 43: Point of Kavalari stream at the map and the relevant photo

Στο ρέμα του Καβαλαρίου δεν έγιναν μετρήσεις εξαιτίας της πολύ πυκνής βλάστησης που υπήρχε και εμπόδιζε την τοποθέτηση του οργάνου.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τις μετρήσεις της διηθητικότητας που πραγματοποιήθηκαν στις κοίτες των υδατορευμάτων των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης της Μυγδονίας λεκάνης, προσδιορίστηκε η ικανότητα κατείσδυσης των ιζηματογενών αποθέσεων των κοιτών. Η τελική ταχύτητα διήθησης (mm/h ή cm/h) των ρεμάτων, όπως αναφέρθηκε, ισούται με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (K_s), η οποία είναι ένα μέτρο κίνησης του νερού μέσα στο έδαφος. Γνωρίζοντας την ταχύτητα διήθησης του νερού (και την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα), γνωρίζουμε την ταχύτητα με την οποία το διηθούμενο νερό φθάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και πιθανόν να τροφοδοτεί και τις λίμνες.

Με τη χρήση του διηθητόμετρου διπλού κυλίνδρου στο πεδίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της διηθητικής ικανότητας των ρεμάτων και υπολογίστηκε η τελική ταχύτητα διήθησης (Kostiakov, 1932). Σύμφωνα με την ταξινόμηση που πρότεινε ο Nikolov (1983) οι ταχύτητες διήθησης για τα ρέματα Απολλωνίας, Μελισσουργού και Γερακαρού χαρακτηρίζονται ως ταχείες (R), ενώ του Κολχικού χαρακτηρίζεται ως μέτρια-ταχεία (M-R) (Πίνακας 17). Γενικότερα οι ταχύτητες διήθησης των ρεμάτων ήταν ιδιαίτερα υψηλές στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης, με υψηλότερη αυτή του ρέματος της Γερακαρούς και ακολουθούσε το ρέμα της Απολλωνίας, του Μελισσουργού και τέλος του Κολχικού και όπως αναφέρθηκε είναι ίσες με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (Πίνακας 17).

Πίνακας 17: Τελικές ταχύτητες διήθησης των ρεμάτων οι οποίες είναι ίσες με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους

Table 17: Final infiltration rates of the streams which are equal to the saturated hydraulic conductivity of the soil

Ρέματα	$i_{τελ}=K_s$	Ταξινόμηση Nikolov (1983)	
Απολλωνία	30,4 cm/h	>16cm/h	Ταχεία (R)
Μελισσουργός	24,5 cm/h	>16cm/h	Ταχεία (R)
Κολχικό	15,4 cm/h	6-16cm/h	Μέτρια-Ταχεία (M-R)
Γερακαρού	66 cm/h	>16cm/h	Ταχεία (R)

Γενικότερα οι τιμές των ταχυτήτων διήθησης των ιζημάτων στις κοίτες των υδατορευμάτων της λεκάνης της Μυγδονίας ήταν πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές βιβλιογραφίας, γιατί αυτές αναφέρονται σε τιμές εδαφών και όχι στα υλικά των κοιτών των χειμάρρων.

Τα ρέματα Απολλωνίας και Μελισσουργού της λίμνης Βόλβης, παρόλο που οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο, είχαν ροή σε μια απόσταση 30-40 μέτρα από την περιοχή μέτρησης, λόγω αρκετών βροχοπτώσεων των προηγούμενων ημερών. Οι ταχύτητες διήθησης είχαν σχετικά μεγάλες τιμές και παρόμοιες μεταξύ τους, εφόσον αποτελούνται από το ίδιο υλικό (χονδρόκοκκες έως μεσόκοκκες άμμοι) και βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η μέτρηση της διηθητικής ικανότητας του ρέματος του Κολχικού δεν πραγματοποιήθηκε κοντά στη λίμνη, όπως στα υπόλοιπα ρέματα (σχετικά κοντά στις εκβολές), αλλά σε ένα σημείο αρκετά μακριά από αυτήν, που επιλέχθηκε, εξαιτίας της αδύνατης πρόσβασης στο αρχικά ορισθέν. Ο λόγος που δυσχέραινε την πρόσβαση ήταν τα λιμνάζοντα νερά και οι λάσπες που είχαν δημιουργηθεί στην περιοχή από την υπεράντληση νερού για το πότισμα των χωραφιών καλαμποκιού, με αποτέλεσμα να εμποδιστεί η διέλευση των διερχόμενων οχημάτων από την συγκεκριμένη περιοχή.

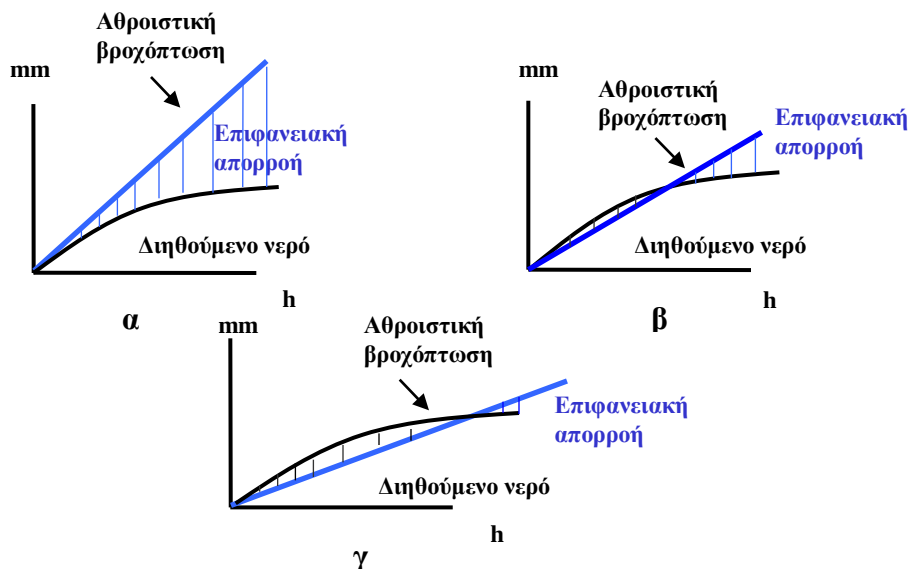
Το αποτέλεσμα της αρκετά μικρότερης ταχύτητας στο ρέμα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ρέματα ήταν λογικό και αναμενόμενο αφότου το σημείο αυτό αν και βρισκόταν αρκετά μακριά από τη λίμνη, το τμήμα της κοίτης είχε μικρή κλίση και το υλικό της ήταν αμμοαργιλώδες (πηλούχοι - ιλυούχοι άμμοι).

Όσον αφορά το ρέμα της Γερακαρούς, η αρκετά μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με τα υπόλοιπα ρέματα είναι πολύ πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη εγκάρσιων τεχνητών αναβαθμών, για τη διευθέτηση της κοίτης, οι οποίες δημιουργούν μια κλιμακωτή διάταξη του μορφολογικού της προφίλ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δραματική μείωση των κλίσεων, τη μείωση της ταχύτητας του νερού, τη συγκράτηση της χονδρόκοκκης άμμου και συνεπώς την επιτάχυνση της κατείδυσης του νερού και τη μείωση της επιφανειακής απορροής. Η διαδικασία αυτή είναι θετικό στοιχείο για τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, αλλά όχι για τη λίμνη γιατί με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η ποσότητα του νερού που κινείται προς αυτήν.

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.9 του πρώτου Κεφαλαίου για να επέλθει επιφανειακή απορροή σε μια περιοχή πρέπει η ένταση της βροχόπτωσης-παροχής να υπερβαίνει τη μέγιστη διηθητική ικανότητα του ιζήματος. Δεδομένου ότι είναι γνωστή η μέγιστη διηθητική ικανότητα του κάθε ρέματος στην περιοχή έρευνας, από τις μετρήσεις που έχουν γίνει, έχοντας και ως δεδομένη μια σταθερή τιμή βροχόπτωσης-παροχής, μπορεί να ειπωθεί πως για να υπάρξει ροή και συνεπώς οριζόντια κίνηση του νερού προς τις λίμνες, πρέπει να ξεπεραστεί αυτή η μέγιστη διηθητική ικανότητα, ώστε να επέλθει πλήρης κορεσμός των ιζημάτων της κοίτης, να μην μπορεί να απορροφηθεί περαιτέρω άλλη ποσότητα νερού και να υπάρξει επιφανειακή απορροή. Το φαινόμενο αυτό δεν μελετήθηκε αριθμητικά στα πλαίσια αυτής της εργασίας και μπορεί να αποτελέσει ένα πεδίο μελλοντικής έρευνας.

Παρ' όλα αυτά έγινε μια θεωρητική προσέγγιση για την περίπτωση μιας ραγδαίας (Εικόνα 44α), μιας μέτριας (Εικόνα 44β) και μιας ασθενούς βροχόπτωσης (Εικόνα 44γ). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί σε μια ραγδαία βροχόπτωση το νερό διηθείται ταχύτατα και δημιουργείται απορροή σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, σχεδόν αμέσως μετά την έναρξη της βροχόπτωσης (ένταση βροχής>>μέγιστη διηθητική ικανότητα). Στην περίπτωση της μέτριας βροχόπτωσης το νερό αρχικά διηθείται για κάποιο χρονικό διάστημα και μετά όταν το έδαφος κορεστεί δημιουργείται επιφανειακή απορροή. Τέλος σε μια ασθενή βροχόπτωση ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία επιφανειακής απορροής είναι πολύ περισσότερος από αυτόν που χρειάζεται σε μια μέτρια βροχόπτωση, αφού το ίζημα θα χρειαστεί περισσότερη ώρα για να κορεστεί και να επέλθει επιφανειακή απορροή.

Επομένως για την δημιουργία επιφανειακής απορροής (με σκοπό την τροφοδοσία των λιμνών) είναι απαραίτητη η ύπαρξη βροχοπτώσεων-παροχών μεγάλης έντασης, οι οποίες θα πρέπει να ξεπερνούν τη μέγιστη διηθητική ικανότητα των ιζημάτων. Αντίθετα ασθενείς βροχοπτώσεις- παροχές δεν κατορθώνουν να δώσουν επιφανειακή απορροή, αλλά κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υδροφόρους.



Εικόνα 44: Περιπτώσεις ραγδαίας (α) μέτριας (β) και ασθενούς (γ) βροχόπτωσης σε σχέση με τη δημιουργία επιφανειακής απορροής

Picture 44: Cases of high (a) moderate (b) and low (c) rainfall in relation with runoff

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι τιμές των ταχυτήτων διήθησης στις κοίτες των υδατορευμάτων της Μυγδονίας λεκάνης ήταν πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές της βιβλιογραφίας, γιατί αυτές αναφέρονται σε τιμές εδαφών και όχι στα 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), του Μελισουργού (24,5 cm/h) και τέλος του Κολχικού (15,4 cm/h).
- Σύμφωνα με την ταξινόμηση που πρότεινε ο Nikolov (1983) οι ταχύτητες διήθησης για τα ρέματα Απολλωνίας, Μελισουργού και Γερακαρούς χαρακτηρίζονται ως ταχείες (R), ενώ του Κολχικού χαρακτηρίζεται ως μέτρια-ταχεία (M-R).
- Τα ρέματα Απολλωνίας και Μελισουργού της λίμνης Βόλβης είχαν σχετικά παρόμοιες τιμές ταχύτητας διήθησης, εφόσον αποτελούνταν από το ίδιο υλικό (χονδρόκοκκες έως μεσόκοκκες άμμοι) και βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.
- Η μικρότερη ταχύτητα διήθησης στο ρέμα του Κολχικού οφείλεται στο ότι η μέτρηση της διηθητικής ικανότητας του ρέματος πραγματοποιήθηκε σε ένα σημείο το οποίο αν και βρισκόταν αρκετά μακριά από τη λίμνη, το τμήμα της κοίτης είχε μικρή κλίση και το υλικό ήταν ιλυούχες άμμοι.
- 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 στην αύξηση της κατείσδυσης. Η διαδικασία αυτή είναι θετικό στοιχείο για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (κατακόρυφη κίνηση), αλλά όχι για τη λίμνη γιατί με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η ποσότητα του νερού που κινείται προς τη λίμνη.
- Για την δημιουργία επιφανειακής απορροής (με σκοπό την τροφοδοσία των λιμνών) είναι απαραίτητη η ύπαρξη βροχοπτώσεων-παροχών μεγάλης έντασης, οι

οποίες θα πρέπει να ξεπερνούν τη μέγιστη διηθητική ικανότητα των ιζημάτων της κοίτης, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία επιφανειακής απορροής, ενώ αντίθετα ασθενείς βροχοπτώσεις-παροχές δεν κατορθώνουν να δώσουν επιφανειακή απορροή αλλά κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υδροφόρους.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναθεωρημένο Σχέδιο Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης του Εθνικού Πάρκου των λιμνών Κορώνειας, Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών, Ν.Ε.Θ., 2004 .

Βουδούρης Κ., (2009). Υδρογεωλογία περιβάλλοντος, υπόγεια νερά και περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Ζαμπούρ Γ., (2010). Υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής της λίμνης Βόλβης, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης .

Μανάκου Μ., (2007). Συμβολή στον προσδιορισμό τρισδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης: Εφαρμογή στην ιζηματογενή Μυγδονία λεκάνη, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών .

Μουντράκης Δ., (1985) . Γεωλογία Ελλάδος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μπάκα Σ., (2011). Αξιολόγηση επιπτώσεων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη λίμνη Κορώνεια, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας .

Μπάλλας Λ., (2007). Χρήση ασαφών κανόνων στη διαχείριση υδατικών πόρων- Εφαρμογή στην υδρολογική λεκάνη Βόλβης, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών .

Μωυσιάδης 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 .

Παυλίδης Σ., (2007). ΠΑΝ-ΓΑΙΑ (Παγγαία), Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα .

Σούλιος Γ., (1996) Γενική Υδρογεωλογία, τόμος Ι, Εκδόσεις University Press, Θεσσαλονίκη .

Τσακίρης Γ., (1995). Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα .

Τσιούνα Αι., (2012). Εκτίμηση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του ποταμού Αποσελέμη (Ν.Κρήτη), Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας .

Χαραλάμπους Ε., (2010). Εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του νερού της λίμνης Βόλβης με βάση το φυτοπλαγκτό. Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης .

Ψιλοβίκος Α., (1977). Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβης), Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης .

1η έκθεση αξιολόγησης εφαρμογής των όρων προστασίας του Εθνικού Πάρκου λιμνών Βόλβης - Κορώνειας και Μακεδονικών Τεμπών, Σεπτέμβριος 2003 - Φεβρουάριος 2006, Συντάκτες έκδοσης Ζαλίδης Γεώργιος, Μιχαλοπούλου Χαρίκλεια, Τσαγκαρλής Γεώργιος, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2006

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

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

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

Hydrology Book, Manuals and reports on engineering, Practice No 28, American Society of Civil Engineers (ASCE), 1996

Rajeh Alhassoun., (2009). Studies on factors affecting the infiltration capacity of agricultural soils

USDA, (1998). The United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- <http://www.plemenosem.wikispaces.com/>
- <http://www.civil-online2010.blogspot.com/>
- <http://soilphysics.okstate.edu/software/water/infil.html>
- echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm
- <http://www.interpore.org/>
- [www.usyd.edu.au/agric/web04/Single ring final/htm](http://www.usyd.edu.au/agric/web04/Single%20ring%20final.htm)
- [http://www.pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Presentations/Water permeability & infiltration measurements-def.pdf](http://www.pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Presentations/Water%20permeability%20&%20infiltration%20measurements-def.pdf)
- [www. omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/.../act10.pdf](http://www.omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/.../act10.pdf)
- <http://www.envco.co.nz/>
- <http://www.scialert.net/>
- <http://wfd.ypeka.gr/>
- <http://www.wagtechprojects.com/products/Double-Ring-Infiltrrometer.html>
- <http://www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/EN/m1-0904eringinfiltrrometer.pdf>
- <http://www.cv.nctu.edu.tw/~wwwadm/chinese/teacher/Ppt-pdf/AGTwk6HydraulicCon.pdf>

