Η κίνηση του εδαφικού νερού προς τους στραγγιστικούς αγωγούς γεωργικών εκτάσεων, που δέχονται κατακόρυφη εισροή από βροχόπτωση ή άρδευση, καθώς και εισροή ή διαρροή μέσα από ένα ημιδιαπερατό υπόστρωμα, είναι στη γενική περίπτωση τριδιάστατη και περιγράφεται από μη γραμμικές μη ομογενείς μερικές διαφορικές εξισώσεις καθώς και από αρχικές και οριακές συνθήκες. Εξαιτίας των δυσκολιών που συναντώνται για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος, πολλοί ερευνητές απλοποιούν το πρόβλημα αυτό, θεωρώντας ότι ισχύουν οι παραδοχές:

* Το έδαφος είναι ομογενές, ισότροπο και βρίσκεται πάνω σε ένα οριζόντιο αδιαπέρατο ή ημιδιαπερατό υπόστρωμα.
* Οι υδρογεωλογικές ιδιότητες και παράμετροι του εδάφους είναι σταθερές.
* Το ύψος της στάθμης του νερού πάνω από την αδιαπέρατη ή ημιδιαπερατή βάση είναι κατά προσέγγιση ίσο προς το μέσο φορτίο του βάθους κορεσμού του εδάφους.
* Η τιμή της επαναπλήρωσης από βροχόπτωση ή άρδευση είναι μικρή, σε σχέση με την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, οπότε η κατακόρυφη εισροή είναι σταθερή και ακολουθεί σχεδόν πλήρως τη διεύθυνση της κλίσης της υπόγειας στάθμης.
* Η τιμή της εισροής μέσα από το ημιδιαπερατό υπόστρωμα είναι επίσης πολύ μικρή και εισέρχεται στο έδαφος που στραγγίζεται με μηδενική κατακόρυφη ταχύτητα.
* Η ροή είναι μονοδιάστατη συμμετρική και έχει διεύθυνση κάθετη προς τους στραγγιστικούς αγωγούς.
* Ισχύουν οι παραδοχές των Dupuit – Forchheimer.

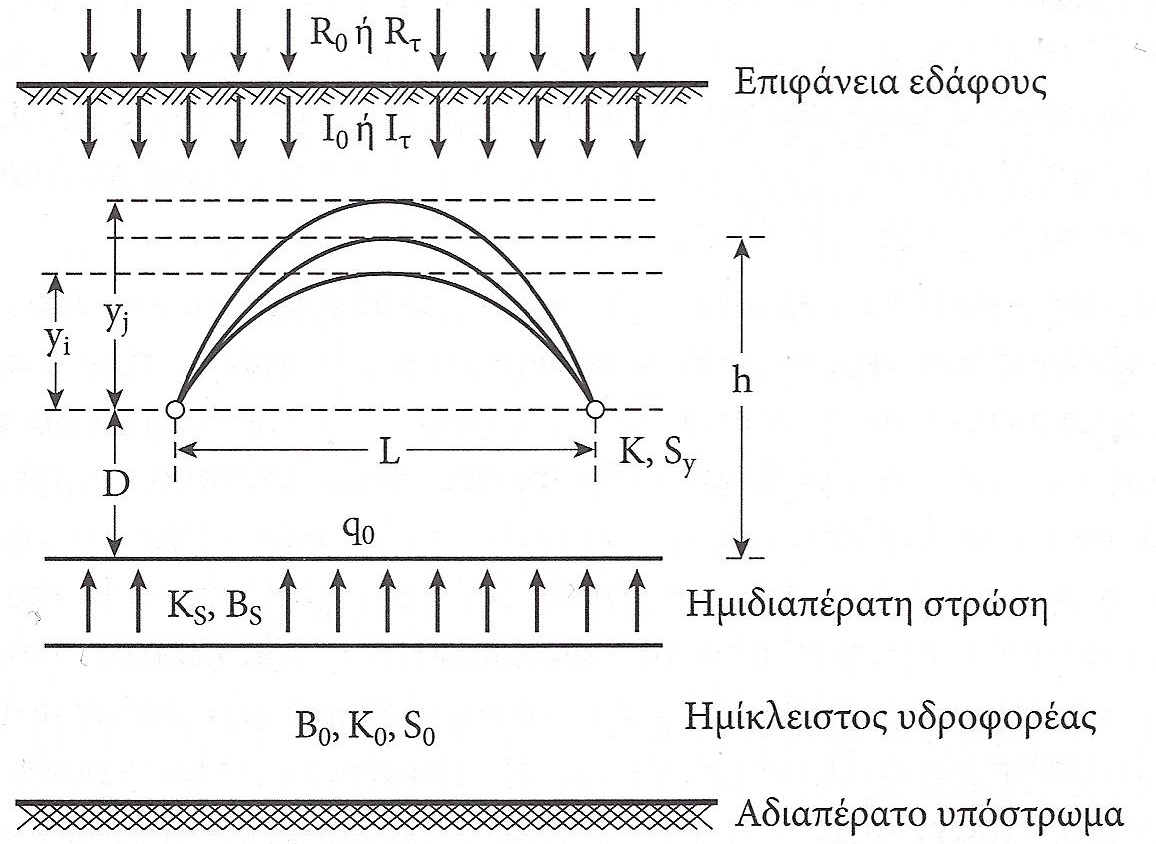
Οι αποτιμήσεις από τις δύο τελευταίες παραδοχές είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν με την εισαγωγή του ισοδύναμου βάθους , αντί για το πραγματικό βάθος των στραγγιστικών αγωγών από το οριζόντιο υπόστρωμα. Έτσι πετυχαίνεται διόρθωση στον υπολογισμό της ισαποχής των στραγγιστικών αγωγών, απόκλιση η οποία οφείλεται στη σύγκλιση των γραμμών ροής του στραγγιζόμενου νερού. Η διόρθωση αυτή, μπορεί να γίνει με ικανοποιητική ακρίβεια και ευκολότερα αν εφαρμοστεί η μέθοδος Van Beers.

Όπως είναι γνωστό, ένα οποιοδήποτε φυσικό ασταθές ή μόνιμο πρόβλημα ορίζεται από τη διαφορική εξίσωση που περιγράφει το φυσικό φαινόμενο, την αρχική και τις οριακές συνθήκες. Ας θεωρήσουμε ένα έδαφος, στο οποίο έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί ένα στραγγιστικό δίκτυο. Το ύψος της υπόγειας στάθμης, για οποιοδήποτε πρόβλημα στραγγίσεων, βρίσκεται στο κέντρο των στραγγιστικών αγωγών, ορίζοντας έτσι τις οριακές συνθήκες αυτών των προβλημάτων. Έτσι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα ασταθούς ή μη μόνιμης στράγγισης καθορίζεται με βάση τη μερική διαφορική εξίσωση και την αρχική συνθήκη που το περιγράφουν.

Η μερική διαφορική εξίσωση μπορεί να είναι ομογενής ή μη ομογενής. Ο όρος που καθιστά μη ομογενή τη διαφορική εξίσωση εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος της εισροής ή της εκροής νερού προς ή από το προς στράγγιση έδαφος, κατά την περίοδο της ασταθούς κατάστασης. Η σχέση που περιγράφει την αρχική συνθήκη, ο οποία επίσης καθορίζει ένα ιδιαίτερο πρόβλημα, εξαρτάται επίσης από το είδος και το μέγεθος της αρχικής εισροής ή εκροής νερού προς ή από το προς στράγγιση έδαφος κατά την περίοδο της σταθερής κατάστασης που προηγείται της ασταθούς κατάστασης.

Η ασταθής κατάσταση ενός προβλήματος στραγγίσεων οφείλεται στις τιμές των και και θα λαμβάνει χώρα όταν η τιμή της είναι διαφορετική από εκείνη της . Το άθροισμα των δύο επιμέρους μεγεθών και καθορίζει τον μη ομογενή όρο της μερικής διαφορικής εξίσωσης, καθώς τα δύο αυτά μεγέθη λαμβάνουν χώρα στη χρονική περίοδο της μη μόνιμης στράγγισης, δηλαδή όταν .

Προκειμένου να διακρίνουμε τις διάφορες περιπτώσεις που καθορίζουν ένα ιδιαίτερο πρόβλημα, ας θεωρήσουμε στο τα δύο χαρακτηριστικά μεγέθη της υπόγειας στάθμης και στο μεσοδιάστημα των στραγγιστικών αγωγών . Επιπρόσθετα στη θέση αυτή η υπόγεια στάθμη έχει την αρχική τιμή για , ενώ για την τιμή . Με βάση αυτούς τους συμβολισμούς και τις τιμές τους, διακρίνουμε τα επιμέρους προβλήματα της ασταθούς στράγγισης:



Στο **πέμπτο πρόβλημα** θα είναι , και . Έτσι όταν ή θα λαμβάνει χώρα μια ανύψωση της υπόγειας στάθμης από τη θέση κατά τον χρόνο στη θέση , κατά τον χρόνο . Αντίθετα όταν είναι όταν ή θα λαμβάνει χώρα μια πτώση της υπόγειας στάθμης από την θέση κατά τον χρόνο , στη θέση , κατά τον χρόνο .

Δεν μελετώνται μεταβολές στην τιμή της υπόγειας εισροής ή εκροής , καθώς παραδεχόμαστε ότι ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η τιμή της είναι σχετικά ασήμαντος επειδή η μεταβολή με το χρόνο της υπόγειας στάθμης είναι μικρή και ως εκ τούτου επηρεάζει ελάχιστα την εισερχόμενη ή εξερχόμενη υπόγεια παροχή . Ο ρυθμός μεταβολής της άρδευσης ή βροχόπτωσης και κατά συνέπεια η τιμή της επιφανειακής εισροής , είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερος και οι μεταβολές λαμβάνουν χώρα σε πολύ μικρότερα χρονικά διαστήματα. Έτσι στον ίδιο χρόνο οι οποιεσδήποτε μεταβολές συμβαίνουν στην τιμή του θεωρούνται αμελητέες.

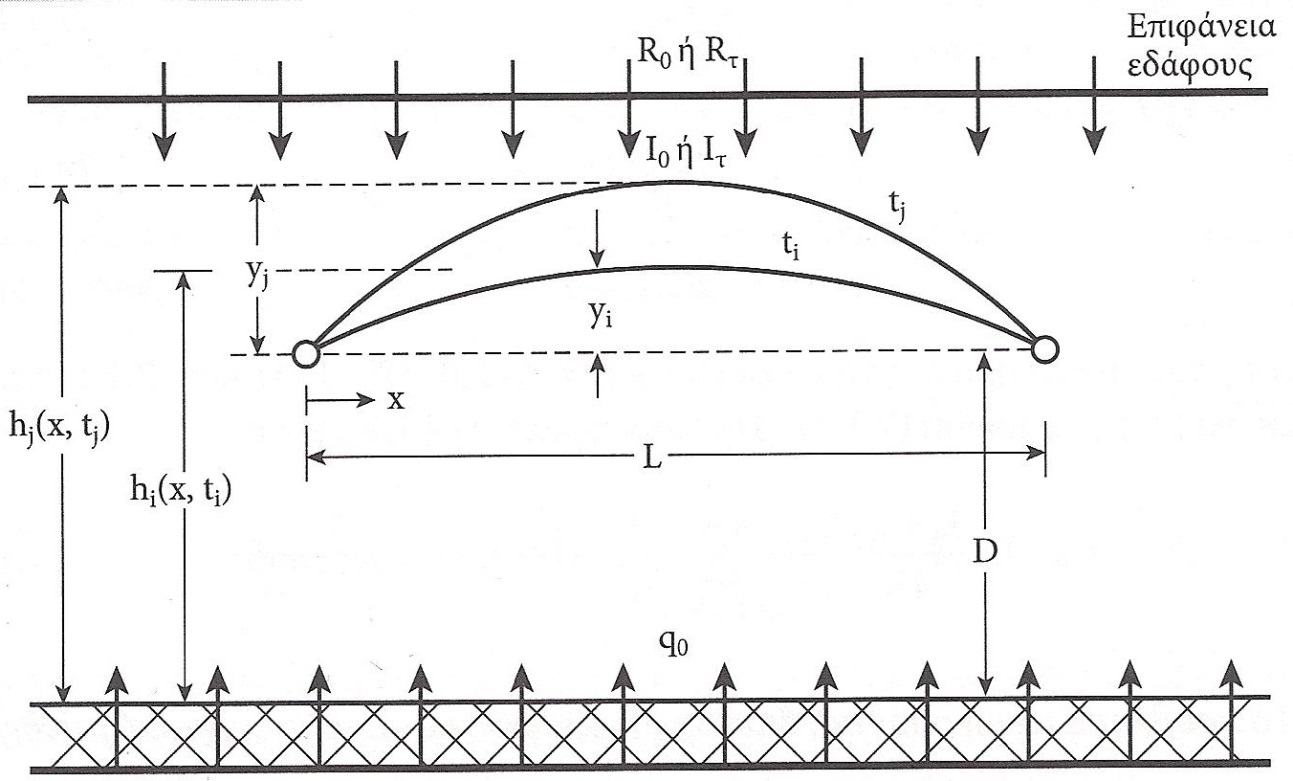
**4.9 Πρόβλημα με επιφανειακή και υπόγεια εισροή κατά τη σταθερή και την ασταθή στράγγιση**

Η ασταθής στράγγιση ενός εδάφους που δέχεται μια επαναπλήρωση από βροχόπτωση ή άρδευση, το οποίο βρίσκεται πάνω σε ένα οριζόντιο ημιδιαπερατό υπόστρωμα, μέσα από το οποίο εισέρχεται μια σταθερή παροχή επαναπλήρωσης , όπως φαίνεται στο , περιγράφεται από την μη ομογενή μη γραμμική διαφορική εξίσωση του Boussinesq , όπου και παίρνουν τιμές διάφορες του μηδενός και . Επιπρόσθετα η μαθηματική περιγραφή του προβλήματος γίνεται και από τις οριακές συνθήκες και από την αρχική συνθήκη Χρησιμοποιώντας τους μετασχηματισμούς της και παίρνεται από τις εξισώσεις αυτές το μαθηματικό πρόβλημα:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

και

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |



Για τη λύση του προβλήματος των εξισώσεων , και εφαρμόζεται η μέθοδος διαχωρισμού των μεταβλητών. Έτσι η λύση του προβλήματος αυτού, επειδή τόσο η διαφορική εξίσωση όσο και η αρχική συνθήκη είναι μη ομογενείς, μπορεί να γραφεί με τη μορφή:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Με την βοήθεια της εξίσωσης αυτής οι και γίνονται, αντίστοιχα:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Οι εξισώσεις , και ορίζουν μοναδικά τα επιμέρους δύο προβλήματα:

Το πρόβλημα με ομογενή διαφορική εξίσωση και μη ομογενή αρχική συνθήκη:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Η λύση του προβλήματος των εξισώσεων , και σύμφωνα με την εξίσωση της παραγράφου , είναι

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

*Το πρόβλημα με μη ομογενή* διαφορική *εξίσωση και ομογενή* αρχική *συνθήκη.*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Η λύση του προβλήματος των εξισώσεων , και σύμφωνα με την παράγραφο , αντικαθιστώντας στη λύση της το με , θα είναι:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Από τις εξισώσεις και λαμβάνοντας υπόψη τις , και , παίρνουμε

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Η εξίσωση αυτή δίνει, για οποιεσδήποτε τιμές των x και t, το ύψος της στάθμης του υπόγειου νερού από το ημιδιαπερατό υπόστρωμα, μέσα από το οποίο εισέρχεται με ανοδική κίνηση στο έδαφος που στραγγίζεται μια σταθερή παροχή επαναπλήρωσης , όταν επιπλέον υπάρχει και μια επαναπλήρωση από βροχόπτωση και σταθερή άρδευση ίση με το κατά την σταθερή και κατά την ασταθή στράγγιση.

Στο μεσοδιάστημα των στραγγιστικών σωλήνων, όπου είναι x=L/2, η εξίσωση δίνει

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

ή

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Παίρνοντας υπόψη ότι για μεγάλες τιμές του είναι οι εξισώσεις γίνονται, αντίστοιχα:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

ή

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Στο Σχήμα του Σχήματος 4.3 παρουσιάζεται η καμπύλη για κάθε τιμή του αδιάστατου χρόνου τ. Το Σχήμα αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους της στάθμης του υπόγειου νερού στο μεσοδιάστημα των στραγγιστικών σωλήνων, για οποιοδήποτε χρόνο , εφαρμόζοντας είτε μια από τις σχέσεις , οπότε υπολογίζεται στο , είτε μία από τις σχέσεις οπότε υπολογίζεται το . Εδώ πρέπει να σημειωθεί, όπως άλλωστε είναι προφανές, ότι οι σχέσεις και θα εφαρμοστούν όταν είναι γνωστές τιμές των παροχών και που εισέρχονται με ανοδική κίνηση μέσα από το ημιδιαπερατό υπόστρωμα και από την επιφανειακή βροχόπτωση ή άρδευση, αντίστοιχα, ενώ οι σχέσεις και θα εφαρμοστούν όταν είναι γνωστή η τιμή του ύψους  της στάθμης του υπόγειου νερού από τους στραγγιστικούς σωλήνες, το οποίο αναφέρεται στο μεσοδιάστημά τους και στην αρχική συνθήκη.

Για τον υπολογισμό της έντασης της παροχής qt, η οποία είναι η παροχή του νερού ανά μονάδα στραγγιζόμενης επιφάνειας, που εισέρχεται στο στραγγιστικό σωλήνα, χρησιμοποιείται και πάλι ο νόμος του Darcy της εξίσωσης . Παραγωγίζοντας λοιπόν την εξίσωση παίρνουμε:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

η οποία στη θέση του στραγγιστικού σωλήνα, όπου είναι x=0, γίνεται

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Αντικατάσταση της εξίσωσης στην εξίσωση δίνει:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

ή επειδή είναι

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

Στο Σχήμα του Σχήματος 4.4 παρουσιάζεται η καμπύλη για κάθε τιμή του αδιάστατου χρόνου τ. Το Σχήμα αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της έντασης της παροχής , η οποία εισέρχεται το στραγγιστικό σωλήνα, με την βοήθεια της εξίσωσης όταν κατά την περίοδο της σταθερής στράγγισης λαμβάνει χώρα μια επιφανειακή επαναπλήρωση , κατά την περίοδο της ασταθούς στράγγισης μια επιφανειακή επαναπλήρωση , ενώ καθόλη την περίοδο της στράγγισης λαμβάνει χώρα και μια υπόγεια επαναπλήρωση από το ημιδιαπερατό υπόστρωμα ίση με .

Τις παραπάνω σχέσεις , και πρώτος εξήγαγε ο Δ.Καραμούζης.

**5.1 Πειραματική Διαδικασία**

Για την μελέτη της κίνησης του νερού μέσα στο έδαφος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συστήματα (μοντέλα) που μπορούν να την περιγράψουν δυναμικά και στατικά. Γενικά έχουμε τις εξής κατηγορίες μεθόδων μελέτης της κίνησης του υπογείου νερού   
:

1. Τις μαθηματικές μεθόδους
2. Τα αναλογικά μοντέλα
3. Τα φυσικά μοντέλα

Α) Οι μαθηματικές μέθοδοι διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Τις αναλυτικές μεθόδους που αναλύσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια και τις αριθμητικές. Οι δυο περισσότερο διαδεδομένες αριθμητικές μέθοδοι είναι:

* Οι πεπερασμένες διαφορές
* Τα πεπερασμένα στοιχεία

Β) Τα αναλογικά μοντέλα ανήκουν στην κατηγορία των εργαστηριακών μοντέλων και στηρίζονται στη χρήση φυσικών φαινομένων διαφορετικών της κίνησης του νερού με την προϋπόθεση ότι ισχύουν για αυτά ανάλογοι νόμοι με αυτούς που ισχύουν και μέσα στην υπόγεια υδραυλική. Μερικά από τα αναλογικά μοντέλα είναι:

* **Το μοντέλο ιξώδους ροής (Helleshaw).** Αυτό αποτελείται από δυο πλάκες παράλληλες που απέχουν 2 – 3 mm και οι οποίες μπορούν να τοποθετούνται οριζόντια ή κατακόρυφα. Έτσι μελετάται η διαρροή νερού μέσα από χωμάτινα φράγματα ή η είσοδος θαλασσινού νερού σε παραλιακά υδροφόρα στρώματα ή ακόμη μονοδιάστατες ροές του νερού στο έδαφος ή προς κοντινές στραγγιστικές τάφρους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συσκευών Helleshaw είναι:

* Η κίνηση του νερού παρατηρείται κατ’ ευθείαν.
* Μπορούμε να μελετήσουμε μη μόνιμες καταστάσεις.
* Δίνεται αυτόματα η ελεύθερη επιφάνεια.
* Τα οριζόντια μοντέλα μπορούν να πάρουν κεκλιμένες θέσεις.
* **Το ηλεκτρικό μοντέλο συνεχούς τύπου.** Για την εφαρμογή αυτή, χρησιμοποιείται το Teledeltos, ένα είδος χαρτιού που είναι καλός αγωγός του ρεύματος. Με αυτό μελετώνται μόνιμες ροές, βρίσκονται οι ισοδυναμικές γραμμές και οι γραμμές ροής χωρίς όμως να έχουμε μεγάλη ακρίβεια και χωρίς να μπορούμε να δημιουργήσουμε την ελεύθερη επιφάνεια του κινούμενου νερού.
* **Το ηλεκτρικό μοντέλο ασυνεχούς τύπου.** Σε αυτό το μοντέλο η άγνωστη συνάρτηση δυναμικού υπολογίζεται μόνο σε ορισμένα σημεία που αντιστοιχούν στους κόμβους των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Το μοντέλο αυτό δίνει πιο καλής ακρίβειας αποτελέσματα από το προηγούμενο μοντέλο.

Γ) **Τα φυσικά μοντέλα ή μοντέλα άμμου** είναι αληθινά μοντέλα υδροφόρων εδαφικών στρωμάτων και σε αυτά ισχύουν οι ίδιοι νόμοι που ισχύουν και στο έδαφος ή στο υδροφόρο στρώμα. Η γεωμετρική ομοιότητα (ο λόγος των μηκών ως προς το πρότυπο), μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή κατάλληλων δεξαμενών. Ανάλογα με τα προβλήματα που θα μελετηθούν, κατασκευάζονται δεξαμενές διαφόρων σχημάτων (ορθογώνιες, κυλινδρικές κ.λπ.) και με την σωστή γεωμετρική ομοιότητα. Το ρευστό που συνήθως χρησιμοποιείται σ’ ένα μοντέλο άμμου για την μελέτη προβλημάτων ροής, είναι νερό βρύσης, μίγματα αιθανόλης και νερού, και ορυκτέλαιο. Ο έλεγχος της υπόγειας στάθμης, σε διάφορα σημεία, γίνεται με τη βοήθεια πιεζόμετρων. Απαραίτητο βέβαια, είναι στα δεδομένα των πιεζόμετρων να γίνεται διόρθωση για την τριχοειδή ανύψωση. Τέλος με την χρήση κατάλληλων συσκευών τροφοδότησης, με χρήση χρωστικής ουσίας, μπορούν να σχηματιστούν γραμμές ροής που φαίνονται εύκολα από τα διαφανή τοιχώματα της συσκευής. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον μελετητή να έχει μια καλή εποπτική εικόνα της κίνησης του νερού μέσα στη συσκευή. Τα κύρια πλεονεκτήματα των μοντέλων άμμου είναι:

* Κατασκευάζονται εύκολα.
* Το πιεζομετρικό ύψος στο μοντέλο παρακολουθείται εύκολα.
* Προσαρμόζονται καλά σε μελέτες προβλημάτων διασποράς και διάχυσης.
* Οι γραμμές ροής μπορούν να γίνουν ορατές με τη βοήθεια χρωστικών ουσιών.

Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι:

* Δεν μπορούν να εξετάσουν προβλήματα περιφερειακής ροής σε υδροφόρα στρώματα που εκτείνονται σε μεγάλες οριζόντιες περιοχές.
* Δε δίνουν πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Άξιες αναφοράς πάνω στα μοντέλα άμμου είναι οι εργασίες των V.A. Zlotnik et al (2007), που μελετάται η επιρροή που έχει στην ροή του νερού μέσα σε ένα μοντέλο άμμου παγιδευμένος αέρας, των M. Rossi et al (2008) όπου μελετάται η διάλυση ρύπων και η αραίωση τους μέσα σε μοντέλο άμμου, των Lei Shi et al (2011) όπου μοντέλα άμμου χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση μοντέλου αλατότητας σε γεωτρήσεις, και τέλος η μελέτη των Xie Luofen et al (2012), οι οποίοι μελετούν την σταθερότητα της βάσης φραγμάτων που εδράζονται σε αμμώδες έδαφος, με την χρήση μοντέλου άμμου. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής έχουν γίνει πειραματικές εφαρμογές μοντέλου άμμου όπως είναι η μεταπτυχιακή διατριβή της Αι. Βαμβακά (2001) πάνω στην ασταθή στράγγιση σε οριζόντια και κεκλιμένα εδάφη με μεταβαλλόμενη ειδική σε νερό απόδοση.

**5.2 Περιγραφή εργαστηριακού μοντέλου άμμου των πειραμάτων**

Για την πειραματική διερεύνηση του προβλήματος της ασταθούς κίνησης υπόγειου νερού προς στραγγιστικούς αγωγούς, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο άμμου με δεξαμενή σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου. Το μοντέλο άμμου με την δεξαμενή, αποτέλεσε μια αναπαράσταση (σε σμίκρυνση) ενός εδάφους που οριοθετείται από δύο παράλληλες τάφρους.

Η δεξαμενή, σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου, έχει την βάση και τις δυο κατακόρυφες μικρές έδρες της κατασκευασμένες από χάλυβα, ενώ οι μεγάλες κατακόρυφες έδρες είναι κατασκευασμένες από Plexiglas πάχους 10 χιλιοστών. Η κύρτωση των δύο μεγάλων εδρών, αποφεύγεται με την χρήση κατάλληλα τοποθετημένων ελασμάτων. Παρόλα αυτά, καθώς υπήρξε μια μικρή κύρτωση, για να παρθεί τιμή για το πλάτος της δεξαμενής, έγιναν μετρήσεις ανά 10 εκατοστά και ως τελική τιμή πάρθηκε ο μέσος όρος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι διαστάσεις της δεξαμενής είναι: μήκος 3 μέτρα, πλάτος 15,7 εκατοστά και ύψος: 66,5 εκατοστά.

Στα δυο άκρα της δεξαμενής, σε απόσταση 20 εκατοστών από την κάθε χαλύβδινη μικρή έδρα, τοποθετούνται δυο διαφράγματα τα των οποίων οι διαστάσεις είναι: 65cm ύψος, 15.7cm πλάτος και 4mm πάχος. Με αυτό τον τρόπο η δεξαμενή χωρίζεται σε τρία διαφορετικά τμήματα. Στο χώρο μεταξύ των διαφραγμάτων, τοποθετείται το έδαφος, και οι χώροι δεξιά και αριστερά, λειτουργούν ως στραγγιστικές τάφροι, καθώς τα διαφράγματα είναι διαπερατά από το νερό αλλά συγκρατούν το έδαφος. Στους χώρους που λειτουργούν ως στραγγιστικές τάφροι, στον πάτο της δεξαμενής υπάρχει σύστημα το οποίο λειτουργεί ως υπερχειλιστής, και μπορεί να ρυθμίζεται σε διάφορα ύψη από την βάση της δεξαμενής. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται σταθερή η στάθμη του νερού στην κάθε τάφρο, και είναι ανεξάρτητη η μια από την άλλη.

Κατά μήκος της βάσης της κεντρικής δεξαμενής υπάρχουν 25 οπές, σε μεταξύ τους απόσταση 10 εκατοστών, με τη πρώτη και τελευταία να απέχουν 25 εκατοστά από τις χαλύβδινες μικρές έδρες, και 5 εκατοστά από τα διαφράγματα. Αυτές οι οπές είναι συνδεδεμένες με τριχοειδείς σωλήνες οι οποίοι ξεκινούν από την βάση της δεξαμενής και καταλήγουν σε ένα βαθμονομημένο πίνακα, η παρατήρηση του οποίου μας δίνει το ύψος της στάθμης του νερού μέσα στην δεξαμενή, πάνω από κάθε οπή.

Κατά την τοποθέτηση του εδάφους και σε ύψος ΧΧ εκατοστών από την βάση της δεξαμενής τοποθετήθηκαν 4 σταλακτοφόροι σωλήνες των οποίων η παροχή ελεγχόταν από μια βάνα και ήταν άμεσα μετρήσιμη με υδρόμετρο κατάλληλα τοποθετημένο. Με την πλήρωση της δεξαμενής με έδαφος, τοποθετήθηκαν με την ίδια διάταξη 4 σταλακτοφόροι σωλήνες στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι σωλήνες οι οποίοι είναι θαμμένοι, προσομοιώνουν παροχή που εισχωρεί στο σύστημα από υπόγειο υδροφορέα, και οι σωλήνες που είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του εδάφους προσομοιώνουν παροχή που εισχωρεί στο σύστημα από βροχόπτωση ή άρδευση.

Το επίπεδο αναφοράς των μετρήσεων είναι η αρχή της βάσης του πίνακα στον οποίο αποτυπώνεται το ύψος στάθμης. Από αυτόν η βάση της δεξαμενής βρίσκεται στα 22 εκατοστά, το επίπεδο στο οποίο έχουν ρυθμιστεί οι υπερχειλιστές που βρίσκονται στις στραγγιστικές τάφρους βρίσκεται στα 24,8 εκατοστά.

Στο Παράρτημα ΙΙ, παραθέτονται φωτογραφίες του πειράματος.

**5.3 Χαρακτηριστικά του εδάφους**

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης έγινε με την μέθοδο Βουγιούκου. Οι τιμές και (πρώτη και δεύτερη ανάγνωση του πυκνόμετρου) ήταν αντίστοιχα, 4 και 3.2 ενώ η θερμοκρασία του διαλύματος ήταν . Σύμφωνα με την μέθοδο, θα πρέπει να γίνει διόρθωση των ενδείξεων, και οι τελικές τιμές θα είναι, και . Σύμφωνα με τις σχέσεις:

Σύμφωνα με τα παραπάνω το έδαφος ανήκει στην κατηγορία Loamy Sand.

Για τον προσδιορισμό της κατανομής μεγέθους των κόκκων άμμου, χρησιμοποιήθηκαν πέντε κόσκινα διαμέτρου . Μετά από ανακίνηση πέντε λεπτών, ζυγίστηκαν οι ποσότητες που είχαν συγκρατηθεί από τα κόσκινα από μια ποσότητα 100 γραμμαρίων. Οι τιμές των μεγεθών ήταν:

Η αθροιστική καμπύλη των κλασμάτων της άμμου που χρησιμοποιήθηκε, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζεται στο Σχήμα:

**5.4 Μέτρηση υδραυλικής αγωγιμότητας**

Το μοντέλο άμμου με την δεξαμενή, χρησιμοποιήθηκε και για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας του πορώδους μέσου. Εφαρμόστηκε συνεχής σταθερή παροχή στην αριστερή τάφρο (Α) και με την βοήθεια του υπερχειλιστή η στάθμη του νερού στην τάφρο Α διατηρήθηκε σταθερή σε απόσταση 30 εκατοστών από τον πυθμένα της δεξαμενής. Κατά τον ίδιο τρόπο η στάθμη του νερού στην δεξιά τάφρο (Β) ρυθμίστηκε έτσι ώστε να βρίσκεται σε απόσταση 20 εκατοστών από τον πυθμένα της δεξαμενής. Έτσι η κίνηση του νερού γινόταν από την τάφρο Α προς την τάφρο Β λόγω διαφοράς του υδραυλικού φορτίου. Η ροή αυτή συνεχίστηκε για αρκετή ώρα έως ότου επέλθουν συνθήκες σταθερής ροής. Ο έλεγχος της ροής έγινε με δυο τρόπους. Πρώτα γινόταν περιοδικά έλεγχος της στάθμης στον βαθμονομημένο πίνακα, έως ότου οι ενδείξεις να μην παρουσιάζουν μεταβολή με τον χρόνο. Στη συνέχεια έγινε μέτρηση της παροχής υπερχείλισης στην τάφρο Β. Η μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας γινόταν όταν τρείς διαδοχικές μετρήσεις της παροχής υπερχείλισης της τάφρου Β έδιναν παρόμοια αποτελέσματα. Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίστηκε πριν από κάθε πείραμα. Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

όπου είναι η ανά μονάδα πλάτους παροχή, είναι η απόσταση μεταξύ των δύο τάφρων, και είναι τα σταθερά βάθη στις τάφρους Α και Β αντίστοιχα.

Η εξίσωση ισχύει για σταθερή κίνηση του νερού, μέσα σ’ ένα ελεύθερο υδροφορέα, προς στραγγιστική τάφρο. Επιπλέον η εξίσωση είναι ακριβής και ισχύει ανεξάρτητα από την επιφάνεια διαστάλαξης η οποία δημιουργείται στο τοίχωμα (διάφραγμα) της κατάντη τάφρου Β, και ανεξάρτητα από τη χρήση των παραδοχών Dupuit – Forchheimer. Ισχύει όμως ο νόμος του Darcy και αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα δεν ισχύουν όταν η κλίση του φορτίου είναι πολύ μεγάλη. Δηλαδή όταν η διαφορά είναι μεγάλη.

Μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας γινόταν πριν από κάθε πείραμα και οι μονάδες μέτρησης σε όλα τα πειράματα είναι **εκατοστά ανά δευτερόλεπτο**.

**5.5 Ειδική απόδοση σε νερό του εδάφους**

Η ειδική απόδοση σε νερό του εδάφους δεν μετρήθηκε πειραματικά. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλυτικές σχέσεις είναι σύμφωνα με τον Πίνακα 1.2 των Morris και Johnson για τα αμμώδη εδάφη 0,31. Κατά τον υπολογισμό των αναλυτικών λύσεων, η τιμή της ειδικής απόδοσης σε νερό, μεταβάλλεται τέσσερις φορές. Η μεταβολή αυτή γίνεται διότι όπως αναφέρεται στην θεωρία η τιμή της ειδικής απόδοσης μεταβάλλεται ανάλογα με την μεταβολή του ύψους στάθμης. Στην συνέχεια αυτές οι τέσσερις τιμές βελτιώνονται με δοκιμές για κάθε πείραμα ξεχωριστά. Η βελτίωση γίνεται με έλεγχο των διαφορών των τετραγώνων των τιμών, μεταξύ των πειραματικών μετρήσεων και των αναλυτικών λύσεων. Παράλληλα, γίνεται οπτικός έλεγχος των καμπυλών των αναλυτικών λύσεων ώστε να αποφευχθεί ασυνέχεια στην λύση.

**5.6 Διαδικασία εκτέλεσης των πειραμάτων.**

Η διαδικασία εκτέλεσης των πειραμάτων είναι η ακόλουθη:

Αφού προσδιοριστεί η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας με την μέθοδο που αναφέρεται στην Παράγραφο 5.3, ξεκινά το εκάστοτε πείραμα. Δίνεται η ανάλογη παροχή νερού επιφανειακά ή υπόγεια, ανάλογα με την αρχική συνθήκη του προβλήματος που μελετάται. Στη συνέχεια γίνεται συχνός έλεγχος των ενδείξεων των πιεζομέτρων και στην περίπτωση που δεν διαπιστώνονται μεταβολές με την πάροδο του χρόνου, γίνεται παροχομέτρηση των υπερχιληστών. Αυτό γίνεται με την συλλογή και ογκομέτρηση της ποσότητας του νερού που εκκενώνεται από τους υπερχειλιστές σε ορισμένο χρόνο. Όταν οι διαφορές μεταξύ τριών διαδοχικών μετρήσεων είναι ελάχιστες, βγαίνει ο μέσος όρος της παροχής που εκκενώνεται από τους υπερχειλιστές. Η παροχή που μετράται από τον αριστερό υπερχειλιστή, χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό των αναλυτικών λύσεων για τα σημεία 1 έως 12, η παροχή που μετράται από τον δεξιό υπερχειλιστή για τα σημεία 14 έως 25, και ο μέσος όρος των παροχών που μετράται από τον αριστερό και τον δεξιό υπερχειλιστή, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αναλυτικών λύσεων του σημείου 13 που είναι στην ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών τάφρων.

Στην περίπτωση κατά την οποία έχουμε ταυτόχρονη υπόγεια και επιφανειακή εισροή, γίνεται δύο φορές μέτρηση της παροχής. Πρώτα μετράται η παροχή μόνο με την υπόγεια εισροή, και στην συνέχεια μετράται η παροχή με ταυτόχρονη την υπόγεια και την επιφανειακή εισροή. Η μεταξύ τους διαφορά, είναι προφανώς η επιφανειακή εισροή.

Στη συνέχεια μεταβάλλεται η επιφανειακή παροχή ανάλογα με το εκάστοτε πείραμα, και με την χρήση φωτογραφικής μηχανής, αποτυπώνονται οι ενδείξεις των πιεζομέτρων σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Όταν παρατηρηθεί ότι οι τιμές των πιεζομέτρων δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο, τότε το πείραμα τελειώνει και γίνεται εκ νέου μέτρηση της παροχής υπερχείλισης στην αριστερή και την δεξιά τάφρο πριν διακοπεί η τροφοδοσία νερού.

Τέλος σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό των μεγίστων διαφορών μεταξύ των αναλυτικών λύσεων και των πειραματικών τιμών, το σημείο 15 (x= 155 cm) δεν συμπεριλήφθη μεταξύ των τιμών σύγκρισης, καθώς όπως φαίνεται σε όλα τα πειράματα, υπήρχε σφάλμα στο συγκεκριμένο πιεζόμετρο.

**6.5.1 Περίπτωση κατά την οποία**

Για την πρώτη περίπτωση κατά την οποία έχουμε ότι: Ο μέσος όρος της τιμής της ειδικής σε νερό απόδοσης είναι . Ο μέσος όρος της τιμής της αρχικής επιφανειακής εισροής είναι , η οποία στο αριστερό τμήμα της δεξαμενής είναι και στο δεξιό τμήμα είναι , ο μέσος όρος της αρχικής υπόγειας εισροής είναι , η οποία στο αριστερό τμήμα είναι και στο δεξιό είναι , τέλος ο μέσος όρος της επιφανειακής εισροής στην ασταθή κατάσταση είναι η οποία στο αριστερό τμήμα είναι και στο δεξιό είναι .. Οι λύσεις του προβλήματος αυτού δίνονται από την εξίσωση . Κατά την αναλυτική λύση των εξισώσεων, το βάθος της σχέσης στον χρόνο , υπολογίζεται από την σταθερή κατάσταση. Στη συνέχεια για όλες τις επόμενες χρονικές στιγμές η τιμή του ήταν η τιμή του που υπολογίστηκε κατά το προηγούμενο βήμα. Παράλληλα για κάθε χρονική στιγμή η τιμή του υπολογίστηκε σε δυο βήματα. Στον Πίνακα 6.5α δίνονται συγκριτικά οι πειραματικές τιμές με μπλε χρώμα και οι τιμές τις αναλυτικής λύσης με κόκκινο χρώμα. Στη συνέχεια ακολουθούν συγκριτικά Σχήματα για κάθε θέση, όπου παρουσιάζεται η **μεταβολή του** **ύψους στο χρόνο** .

**Πίνακας 6.5 α:** Πειραματικές τιμές (μπλε χρώμα) και Αναλυτική λύση (κόκκινο χρώμα)

**6.5.2 Περίπτωση κατά την οποία**

Για την δεύτερη περίπτωση κατά την οποία έχουμε ότι: Ο μέσος όρος της τιμής της ειδικής σε νερό απόδοσης είναι . Ο μέσος όρος της τιμής της αρχικής επιφανειακής εισροής είναι , η οποία στο αριστερό τμήμα της δεξαμενής είναι και στο δεξιό τμήμα είναι , ο μέσος όρος της αρχικής υπόγειας εισροής είναι , η οποία στο αριστερό τμήμα είναι και στο δεξιό είναι , τέλος ο μέσος όρος της επιφανειακής εισροής στην ασταθή κατάσταση είναι η οποία στο αριστερό τμήμα είναι και στο δεξιό είναι .. Οι λύσεις του προβλήματος αυτού δίνονται από την εξίσωση . Κατά την αναλυτική λύση των εξισώσεων, το βάθος της σχέσης στον χρόνο , υπολογίζεται από την σταθερή κατάσταση. Στη συνέχεια για όλες τις επόμενες χρονικές στιγμές η τιμή του ήταν η τιμή του που υπολογίστηκε κατά το προηγούμενο βήμα. Παράλληλα για κάθε χρονική στιγμή η τιμή του υπολογίστηκε σε δυο βήματα. Στον Πίνακα 6.5β δίνονται συγκριτικά οι πειραματικές τιμές με μπλε χρώμα και οι τιμές τις αναλυτικής λύσης με κόκκινο χρώμα. Στη συνέχεια ακολουθούν συγκριτικά Σχήματα για κάθε θέση, όπου παρουσιάζεται η **μεταβολή του** **ύψους στο χρόνο** .

**Πίνακας 6.5 β:** Πειραματικές τιμές (μπλε χρώμα) και Αναλυτική λύση (κόκκινο χρώμα)