

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΤΖΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΡΑΤΕΛΕΙΝΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

## ΣΤΡΑΤΗΓΙΣΕΙΣ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΡΕΑΤΩΝ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Α΄ ΜΕΡΟΣ : ΣΤΡΑΓΓΙΣΕΙΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σελ.

1.1. Γενικότητες	1
1.2. Σχέσεις μεταξύ όγκου και μάζας	2
1.3. Μηχανική σύσταση του εδάφους ( <i>soil texture</i> )	6

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

2.1. Ό πειραματικός νόμος του <i>Darcy</i>	9
2.2. Ύδραυλική αγωγιμότητα	13
2.3. Αποκλίσεις από τό νόμο του <i>Darcy</i>	28
2.4. Μετρήσεις τής ύδραυλικής αγωγιμότητας <i>K</i> γιά κορεσμένη ροή	31
2.4.1. Έργαστηριακές μετρήσεις	31
2.4.1.1. Συσκευή μέ σταθερό φορτίο	31
2.4.1.2. Συσκευή μέ μεταβλητό φορτίο	32
2.4.2. Μετρήσεις τής ύδραυλικής αγωγιμότητας στό ύπαιθρο	33
2.4.2.1. Μέτρηση γιά τήν περίπτωση ύπάρξεως ελεύθερης επιφάνειας	33
2.4.2.2. Μέτρηση γιά τήν περίπτωση πού ό ύπόγειος όρίζοντας είναι πολύ κατεβασμένος	37

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### Ο ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ

41

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

#### ΜΟΝΙΜΗ ΡΟΗ

45

4.1. Έξίσωση του <i>Laplace</i>	45
4.2. Ροή κάτω από φράγμα	49
4.3. Παραδοχές του <i>Dupuit</i>	54
4.4. Στρωματοποιημένα εδάφη	59

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ-ΙΣΑΠΟΧΗ ΤΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

5.1.	Γενικότητες	63
5.2.	Μόνιμη ροή	69
5.2.1.	Παράλληλες τάφροι έδραζόμενες σε άδιαπέρατο υπόστρωμα	69
5.2.2.	Παράλληλες τάφροι πάνω από τό άδιαπέρατο υπόστρωμα	71
5.2.3.	Τύπος του <i>Hooghoudt</i>	74
5.2.4.	Άριθμητικές εφαρμογές	79
5.2.5.	Περίπτωση δύο έδαφικών στρώσεων με υδραυλικές αγωγιμότητες $K_1$ και $K_2$	86
5.2.5.1.	Παραδοχές του <i>Dupuit</i>	86
5.2.5.2.	Έξισωση και νομογραφήματα των <i>Toksöz</i> και <i>Kirkham</i>	88
5.2.5.3.	Άριθμητικές εφαρμογές	97
5.3.	Μή μόνιμη ροή	98
5.3.1.	Έξισωση του <i>Boussinesq</i>	98
5.3.2.	Μή μόνιμη ροή, στράγγιση με σωληνωτά ντραίνα. Έξιώσεις των <i>Glover-Dumm</i>	101
5.3.3.	Άριθμητική εφαρμογή—Συμπεράσματα	111

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΕΩΣ

6.1.	Σωληνωτά ντραίνα	119
6.1.1.	Γενικότητες	119
6.1.2.	Υδραυλικός έπολογισμός των σωληνωτών ντραίνων	121
6.1.3.	Είδη σωληνωτών ντραίνων	124
6.1.4.	Περιβλήματα άγωγών στραγγίσεως ή φίλτρα	127
6.1.5.	Τεχνικά έργα	130
6.1.6.	Τοποθέτηση των ντραίνων	131
6.2.	Στραγγιστικές τάφροι	132
6.2.1.	Υδραυλικοί έπολογισμοί	132
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138

## Β' ΜΕΡΟΣ : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΡΕΑΤΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.	Γενικότητες	143
1.2.	Υδροφόρα στρώματα	144

1.3. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων	145
1.4. Μέθοδοι κατασκευής ενός πηγαδιού	148

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΞΙΣΩΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ

2.1. Ύδροφορείς υπό πίεση	153
2.2. Ύδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια	162

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΟΝΙΜΗ ΚΙΝΗΣΗ

3.1. Φρέατα υπό πίεση	165
3.2. Φρέατα με φρεατική επιφάνεια	168
3.3. Καμπύλες πτώσεως φορτίου – παροχής	170
3.3.1. Ύδροφορείς υπό πίεση	170
3.3.2. Ύδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια	173
3.4. Μέγιστη παροχή και κρίσιμη ταχύτητα	174
3.5. Άντληση από πολλά φρέατα	177
3.5.1. Ύδροφορείς από πολλά φρέατα	177
3.5.2. Ύδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια	178

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΚΙΝΗΣΗ

4.1. Ύδροφορείς υπό πίεση, εξίσωση του <i>Thies</i>	179
4.2. Προσδιορισμός των υδρογεωλογικών παραμέτρων	183
4.2.1. Μέθοδοι του <i>Theis</i>	183
4.2.2. Μέθοδος του <i>Jacob</i>	188
4.3. Άκτινα επιρροής ή δράσεως	192
4.4. Διαρροή από ήμιδιαπερατά υδροφόρα στρώματα	193
4.4.1. Προσδιορισμός των υδρογεωλογικών παραμέτρων	198
4.5. Έπαναφορά της πιεζομετρικής επιφάνειας μετά τό σταμάτημα της άντλήσεως	206
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	209

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΩΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

5.1. Περίληψη	211
5.2. Θεωρία των υπογείων νερών	213
5.3. Τεχνητή τροφοδότηση διά μέσου δεξαμενών	215
5.4. Τεχνητή τροφοδότηση διά μέσου φρεάτων	217

5.5. Όρισμένα πρόσφατα παραδείγματα	221
5.5.1. Τροφοδότηση του ύδροφόρου όριζοντα <i>CHARF EL AKAB</i> στο Μαρόκο	221
5.5.2. Πειραματικός εμπλουτισμός στο ύδροφόρο στρώμα του <i>Tournai</i>	222
5.5.3. Τροφοδότηση ύδροφόρου στρώματος στο <i>MOULLE</i> (Διαμέρισμα <i>Pas-de Calais France</i> ) [5]	223
5.5.4. Άλλουβιακό στρώμα της <i>Durance</i> (Γαλλία) [5]	223
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>227</b>

# 1

## ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

---

### 1.1. Γενικότητες

Ο όρος «έδαφος» αναφέρεται βασικά στην εξωτερική επιφάνεια της γης που διαμορφώθηκε με συνεχείς μεταβολές διά μέσου του χρόνου. Το έδαφος σήμερα αποτελεί τό αντικείμενο μελέτης πολλών κλάδων της επιστήμης :

- Έδαφολογία
- Έδαφομηχανική
- Τεχνική Γεωλογία
- Στραγγίσεις κ.λπ.

Ο έδαφολόγος εξετάζει τό έδαφος σάν ένα φυσικό σώμα και ενδιαφέρεται κυρίως για τά αποτελέσματα των βιοχημικών διεργασιών των πρωτογενών υλικών, τά έδαφικά προφίλ μέ τά διάφορα έδαφολογικά στρώματα ή όρίζοντες. Έξετάζει και ταξινομεί τά έδάφη, όπως βρίσκονται στη φυσική τους κατάσταση. Ο έδαφομηχανικός εξετάζει τίς μηχανικές ιδιότητες του έδάφους και τό θεωρεί σάν ύποδομή μιās φέρουσας κατασκευής.

Ο χημικός του έδάφους βλέπει τό έδαφος σάν ένα λεπτό υλικό, ως επί τό πλείστον χρωματισμένο μέ λεπτή ή χονδρή διαβάθμιση που έχει πεπλεγμένες χημικές και φυσικές ιδιότητες.

Ο γεωπόνος βλέπει τό έδαφος σάν ένα μέσο για τήν ανάπτυξη των φυτών και ενδιαφέρεται γενικά για τίς συνθήκες του τμήματος που βρίσκεται κοντά στην έδαφική επιφάνεια.

Ο ειδικευμένος στις στραγγίσεις έπωφελεΐται από τήν έμπειρία των παραπάνω κλάδων, του έδαφομηχανικού, έδαφοφυσικού, γεωπόνου, έδαφολόγου κ.λπ. και ενδιαφέρεται βασικά για κείνες τίς ιδιότητες του έδάφους που έπηρεάζουν τήν κίνηση του νερού προς τό έδαφος και μέσα στο έδαφος.

Μέ βάση τό παραπάνω σκεπτικό μπορούμε νά θεωρήσουμε τό έδαφος σάν ένα σύστημα πού άποτελείται άπό τρεις φάσεις :

- Στερεά φάση.
- Ύγρη φάση
- Άέρια φάση.

Ή στερεά φάση άποτελείται άπό τά σωματίδια του έδάφους και καλείται στερεό μητρώο (*solid matrix*). Ή ύγρη φάση άποτελείται άπό τό νερό και άπό τόν άέρα του έδάφους.

Τό τμήμα του έδάφους πού άποτελείται άπό τήν ύγρη και τήν άερια φάση καλείται χώρος τών κενών ή χώρος τών πόρων (*void space or pore space*).

Τό σύνολο στερεάς, ύγρης και άερίου φάσης καλείται *πορώδες μέσο* (*porous medium*) και ή ροή τών ρευστών μέσα στό έδαφος καλείται ροή διά πορώδους μέσου.

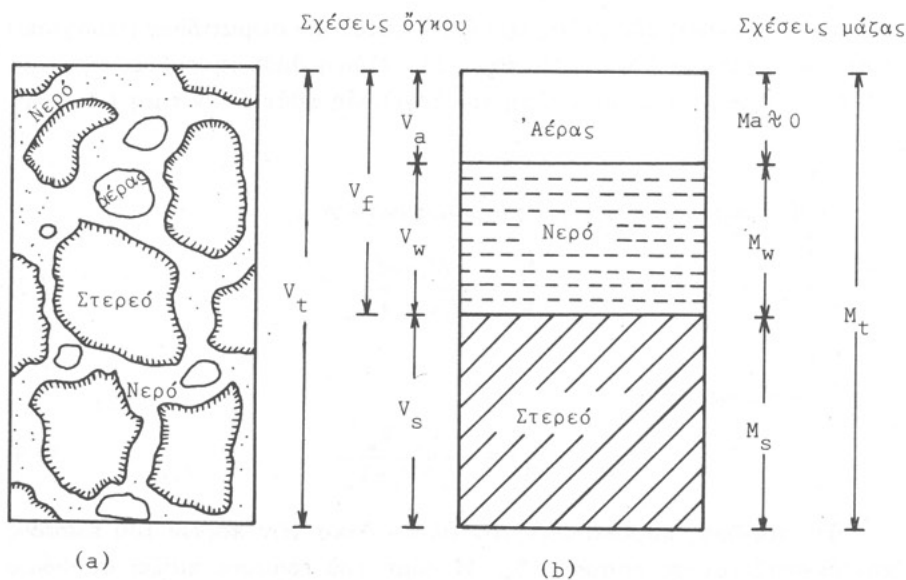
Τό έδαφος λοιπόν είναι ένα *πορώδες μέσο* και σάν τέτοιο άποτελείται άπό ένα άπειρο πλήθος πόρων, οί περισσότεροι άπό τούς όποιους άλληλοσυνδέονται και σχηματίζουν τόν άποτελεσματικό χώρο τών πόρων (*effective pore space*). Σε αντίθεση μέ αυτούς, ύπάρχουν πόροι πού δέν άλληλοσυνδέονται ή άκόμη και άλλοι πού άλληλοσυνδέονται μέν, παρουσιάζουν όμως τό ένα άκρο φραγμένο (*blind pores*) και έτσι δέν είναι άποτελεσματικοί, γιατί δέν μπορεί νά γίνει ροή διά μέσου τέτοιων πόρων.

## 1.2. Σχέσεις μεταξύ όγκου και μάζας

Στό σχ. 1a δίνουμε μία άντιπροσωπευτική εικόνα ενός πραγματικού έδαφικού δείγματος μέ τίς τρεις φάσεις του, ενώ στό σχ. 1b δίνουμε μία σχηματική παράσταση ενός ιδεατού έδαφικού δείγματος, πού θά μās βοηθήσει νά προσδιορίσουμε τίς σχέσεις μεταξύ του όγκου και της μάζας τών τριών φάσεων. Στό δείγμα αυτό οί τρεις φάσεις είναι σαφώς χωρισμένες σε τρία μέρη:

Στό κάτω μέρος είναι ή στερεά φάση, στό μεσαίο ή ύγρη φάση και στό έπάνω μέρος ή άερια φάση :

Μέ βάση τό σχ. 1 προσδιορίζουμε τίς παρακάτω σχέσεις μεταξύ μάζας και όγκου :



Σχ. 1. Σχηματική παράσταση εδαφικού δείγματος  
 (α) Πραγματικό έδαφος  
 (β) Ίδεατό έδαφος χωρισμένο σε τρεις φάσεις

α) Πυκνότητα του στερεού  $\rho_s$

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (1.1)$$

Στά περισσότερα άλατουχα εδάφη ή μέση πυκνότητα των σωματιδίων μεταβάλλεται μεταξύ 2,6 και 2,7  $g/cm^3$ , ή δέ παρουσία οργανικών ουσιών μειώνει την τιμή του  $\rho_s$ . Πολλές φορές ή πυκνότητα εκφράζεται σε όρους του ειδικού θάρους δηλαδή σά λόγος της πυκνότητας των εδαφών καί της πυκνότητας του νερού σε 4<sup>ο</sup> C καί υπό την ατμοσφαιρική πίεση. Τό ειδικό θάρος είναι αδιάστατο καί έπειδή ή πυκνότητα του νερού παίρνεται ίση μέ 1  $g/cm^3$ , αριθμητικά τό ειδικό θάρος συμπίπτει μέ την πυκνότητα.

β) Φαινόμενη πυκνότητα σε ξερή κατάσταση  $\rho_b$

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_a + V_w} \quad (1.2)$$



Είναι ο λόγος της μάζας των ξερών στερεών σωματιδίων (τεμαχίδια) πρὸς τὸν ὅλικό ὄγκο τοῦ ἐδάφους. Γιά ἐδάφη ἀμμώδη φθάνει τὴν τιμὴ 1,6 g/cm<sup>3</sup> ἐνῶ γιά ἰλυώδη ἐδάφη καὶ ἀργιλώδη φθάνει τὴν τιμὴ 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

γ) Φαινόμενη πυκνότητα σὲ ὑγρὴ κατάσταση  $\rho_t$

$$\rho_t = \frac{M_t}{V_t} = \frac{M_s + M_w}{V_s + V_a + V_w} \quad (1.3)$$

δ) Πορώδες  $n$

$$n = \frac{V_f}{V_t} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_a + V_w} \quad (1.4)$$

Τὸ πορώδες παρουσιάζει τὸν ὅλικό ὄγκο τῶν πόρων τοῦ ἐδάφους καὶ ἐκφράζεται σὲ ποσοστὰ %. Ἡ δομὴ τοῦ ἐδάφους παίζει σπουδαῖο ρόλο στὸν προσδιορισμὸ τοῦ πορώδους, ἐπίσης δὲ καὶ τὸ μέγεθος τῶν σωματιδίων. Ἐτσι τὰ ἐδάφη πού εἶναι χονδρόκοκκα (ἀμμώδη) εἶναι λιγώτερο πορώδη (35 μέχρι 50%) ἀπὸ τὰ λεπτόκοκκα (ἀργιλώδη, 40 μέχρι 60%).

Τὸ πορώδες ἐνῶ παρουσιάζει μεγάλο ἐνδιαφέρον γιά τὴν κίνηση τοῦ νεροῦ, δὲν μᾶς πληροφορεῖ καθόλου γιά τὴν κατανομὴ τῶν πόρων μέσα στὸ ἐδαφικὸ δείγμα, γιατί ἀποτελεῖ μιὰ μακροσκοπικὴ ιδιότητα τοῦ ἐδάφους. Ἡ κατανομὴ τοῦ μεγέθους τῶν πόρων (*pore - size distribution*) ἐπηρεάζει οὐσιαστικά τὴν κίνηση τοῦ νεροῦ καὶ τοῦ ἀέρα διὰ μέσου τοῦ ἐδάφους καὶ γι' αὐτὸ ἔχουν ἀναπτυχθεῖ πολλές θεωρίες πάνω στὸ θέμα αὐτό, πού θά μᾶς ἀπασχολήσουν στὸ κεφάλαιο «Ἀκόρεστη ροή».

ε) Δείκτης κενῶν  $e$

$$e = \frac{V_a + V_w}{V_s} = \frac{V_f}{V_t - V_f} \quad (1.5)$$

Ὁ δείκτης κενῶν  $e$  χρησιμοποιεῖται κυρίως στὴν ἐδαφομηχανικὴ, ἐνῶ στίς στραγγίσεις προτιμοῦμε τὴν χρησιμοποίησιν τοῦ πορώδους. Ὁ δείκτης κενῶν  $e$  συνδέεται μέ τὸ πορώδες  $n$  μέ τὴ σχέση

$$e = \frac{n}{1 - n} .$$

στ) *Περιεκτικότητα σε νερό ή ύγρασία*

Ἡ περιεκτικότητα σε νερό ή ύγρασία ἐκφράζεται εἴτε σέ σχέση μέ τή στερεά μάζα (ύγρασία κατά θάρος  $w$ ) εἴτε σέ σχέση μέ τόν ὀλικό ὄγκο τοῦ ἐδαφικοῦ δείγματος (ύγρασία κατ' ὄγκο  $\theta$ )

στ 1) Ὑγρασία κατά θάρος  $w$

$$w = \frac{M_w}{M_s} . \quad (1.6)$$

Εἶναι ἡ μάζα τοῦ νεροῦ σέ σχέση μέ τήν μάζα τῶν σωματιδίων τοῦ ξεροῦ ἐδάφους. Σάν ξερό ἐδαφος θεωροῦμε τό ἀποξηραμένο μέσα σ' ἓνα φοῦρνο καί σέ θερμοκρασία  $105^{\circ} \text{C}$ . Ἐκφράζεται σέ ποσοστά % καί γιά ἐδάφη ἀλατοῦχα κορεσμένα τό  $w$  κυμαίνεται ἀπό 25 μέχρι 60%.

στ 2) Ὑγρασία κατ' ὄγκο  $\theta$

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_f} . \quad (1.7)$$

Εἶναι ὁ ὄγκος τοῦ νεροῦ σέ σχέση μέ τόν ὀλικό ὄγκο τοῦ ἐδαφικοῦ δείγματος καί ἐκφράζεται σέ ποσοστά %. Γιά ἀμμώδη ἐδάφη καί σέ κατάσταση κορεσμοῦ ἔχουμε

$$\theta_s = 40 \sim 50 \% .$$

ἐνῶ γιά ἀργιλώδη ἐδάφη καί σέ κατάσταση κορεσμοῦ ξεπερνᾶ πολλές φορές τήν τιμή 60%. Γιά τήν κατάσταση κορεσμοῦ ἰσχύει

$$\theta_s = n .$$

Ἀπό τίς σχέσεις (1.6) καί (1.7) προκύπτει ἡ παρακάτω

$$\frac{\theta}{w} = \left( \frac{M_s}{V_t} \right) / \left( \frac{M_w}{V_w} \right) = \frac{\rho_b}{\rho_w} . \quad (1.8)$$

ζ) Ὁ βαθμός κορεσμοῦ  $S$

$$S = \frac{V_w}{V_f} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \quad (1.9)$$

Ὁ βαθμός κορεσμοῦ ἢ κορεσμός ἐκφράζει τὸν ὄγκο τοῦ νεροῦ μέσα στοὺς πόρους τοῦ ἔδαφικοῦ δείγματος σέ ποσοστά %. Ἐτσι γιὰ ἓνα ξερὸ ἔδαφος ἔχουμε  $S = 0\%$  ἐνῶ γιὰ ἓνα ἔδαφος κορεσμένο ἔχουμε  $S = 100\%$ . Φυσικά στή φύση δέν ἀπαντοῦμε τίς δύο αὐτές ἀκραίες περιπτώσεις.

Ἡ ὕγρασία, τὸ πορῶδες καὶ ὁ βαθμός κορεσμοῦ συνδέονται μὲ τὴν παρακάτω σχέση :

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \cdot \frac{V_a + V_w}{V_t} = S \cdot n \quad (1.10)$$

### 1.3. Μηχανικὴ σύσταση τοῦ ἔδάφους (soil texture)

Τὸ μέγεθος τῶν σωματιδίων ἑνὸς ἔδαφους μεταβάλλεται αἰσθητὰ ἀπὸ ὀρισμένα χονδρόκοκκα, πού εἶναι ὄρατά μὲ γυμνὸ μάτι μέχρι ἄλλα λεπτόκοκκα, πού εἶναι κολλοειδῆ καὶ εἶναι ἀδύνατο νὰ τὰ δοῦμε. Βασικά χωρίζουμε ὄλα τὰ σωματίδια πού περιέχονται μέσα στοῦ ἔδαφος σέ τρεῖς κατηγορίες.

- Ἄμμος.
- Ἴλύς.
- Ἀργίλος.

Ἐτσι ἡ σχετικὴ ἀναλογία ἄμμου, ἱλύος καὶ ἀργίλου σέ ἓνα ἔδαφικὸ δείγμα προσδιορίζει τὴ μηχανικὴ σύσταση τοῦ ἔδαφους. Ὑπάρχουν διάφορες μέθοδοι γιὰ τὴν ταξινόμηση τῶν ἔδαφῶν μὲ βάση τὸν παραπάνω διαχωρισμὸ τους. Ἐτσι στοῦ παρακάτω σχῆμα δίνουμε τὴν ταξινόμηση τοῦ *U. S. Departm. of Agriculture, U. S. Bureau of Soils & U. S. Public Rds Ads* καὶ τῆς *International Society of Soil Science*.

Ἐνα ἔδαφος πού ἀποτελεῖται ἐξ' ὀλοκλήρου ἢ σχεδόν ἐξ' ὀλοκλήρου ἀπὸ μιὰ ὀρισμένη κατηγορία ἔδαφῶν καλεῖται ὀμοιόμορφο, ἐνῶ ἐάν οἱ κόκκοι εἶναι διαφορετικῶν μεγεθῶν καλεῖται *καλῶς διαβαθμισμένο*. Ἐτσι στοῦ σχ. 3 φαίνονται ὀρισμένες τυπικὲς κοκκομετρικὲς καμπύλες τῆς κατανομῆς τοῦ μεγέθους τῶν κόκκων, πού τίς παίρνουμε σέ ἡμιλογαριθμικὴ κλίμακα μὲ ἄξονα τῶν  $x$  τὸ μέγεθος τῶν κόκκων καὶ ἄξονα τῶν  $y$  τὸ ποσοστὸ τοῦ βάρους πού περνᾷ ἀπὸ κάθε κόσκινο σέ κάθε ἀνάλυση.

U.S. Department  
of Agriculture

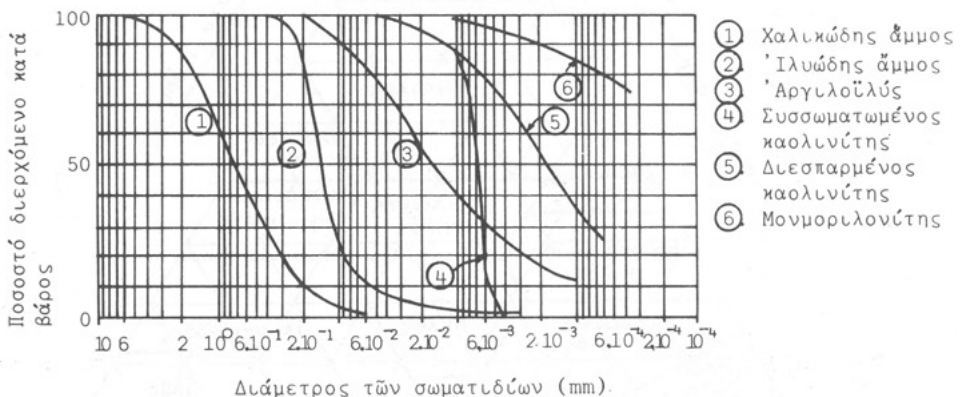
U.S. Bureau of  
Soils & U.S.  
Public Rds Adms

Intern. Society  
of Soil Science

Χαλίκια	"Άμμος		'Ιλύς	"Αργίλος	(mm)
2			$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	
Χαλίκια	"Άμμος		'Ιλύς	"Αργίλος	(mm)
2	Χονδρή	Λεπτή	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	
Χαλίκια	"Άμμος		'Ιλύς	"Αργίλος	(mm)
2	Χονδρή	Λεπτή	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$

Σχ. 2. Μηχανική κατάταξη των εδαφών σύμφωνα με τα όρια διακυμάνσεως των διαμέτρων των σωματιδίων.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες χρησιμεύουν επίσης για να ορίζουμε διάφορα μέσα μεγέθη κόκκων. Έτσι συχνά χρησιμοποιούμε τη διάμετρο  $d_{10}$  που σημαίνει τη διάμετρο εκείνη των κοσκίνων που περνά από μέσα μικρότερο ποσοστό κόκκων από τό 10% σέ βάρος. Η διάμετρος αυτή καλείται ενεργή διάμετρος των κόκκων.



Σχ. 3. Τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες.

Μεταχειριζόμενοι τίς διαμέτρους  $d_{10}$  και  $d_{60}$  προσδιορίζουμε τον συντελεστή ομοιομορφίας του Hazen,  $C_u$

$$C_u = d_{60} / d_{10}$$

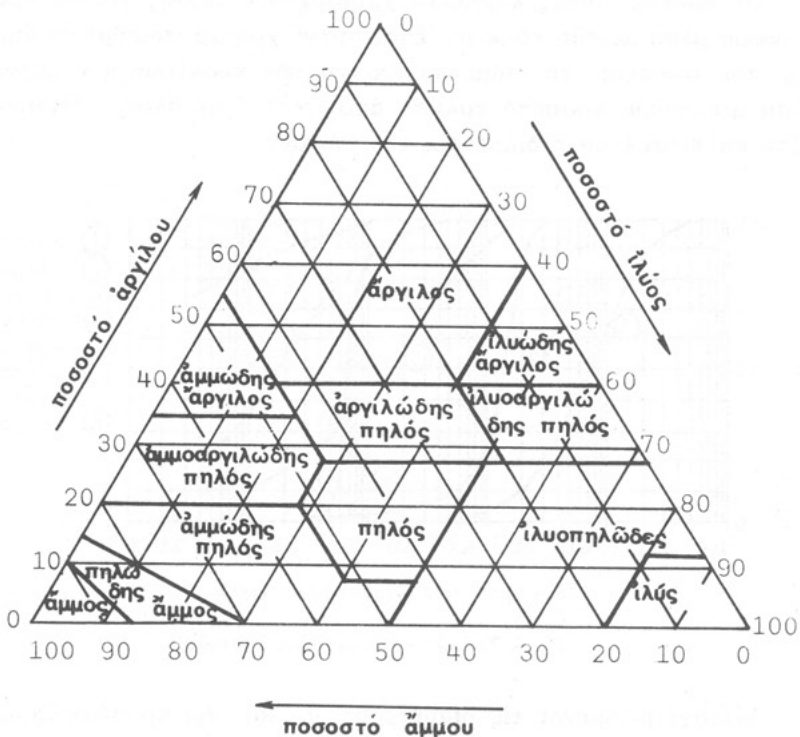
Ἐπίσης πολλές φορές μεταχειριζόμαστε τὸν συντελεστὴ διαβαθμίσεως  $C_g$

$$C_g = (d_{30})^2 / (d_{60} d_{10}). \quad (1.12)$$

Ἐνα καλῶς διαβαθμισμένο ἔδαφος ἔχει ὑψηλὸ συντελεστὴ ὁμοιομορφίας, ἐνῶ ἓνα ἔδαφος ποὺ παρουσιάζει συντελεστὴ ὁμοιομορφίας μικρότερο ἀπὸ 2 θεωρεῖται ὁμοιόμορφο.

Ἡ κοκκομετρικὴ ἀνάλυση τοῦ ἐδάφους γίνεται βασικὰ μὲ κόσκινα, ἐφ' ὅσον πρόκειται γιὰ κόκκους μεγαλύτερους ἀπὸ  $d = 0,2 \text{ mm}$ . Γιὰ μικρότερες διαμέτρους χρησιμοποιεῖται ὁ νόμος τοῦ Stokes ποὺ ἐκφράζει τὴν ἰσορροπία μεταξύ δυνάμεων τριβῆς καὶ βαρύτητας.

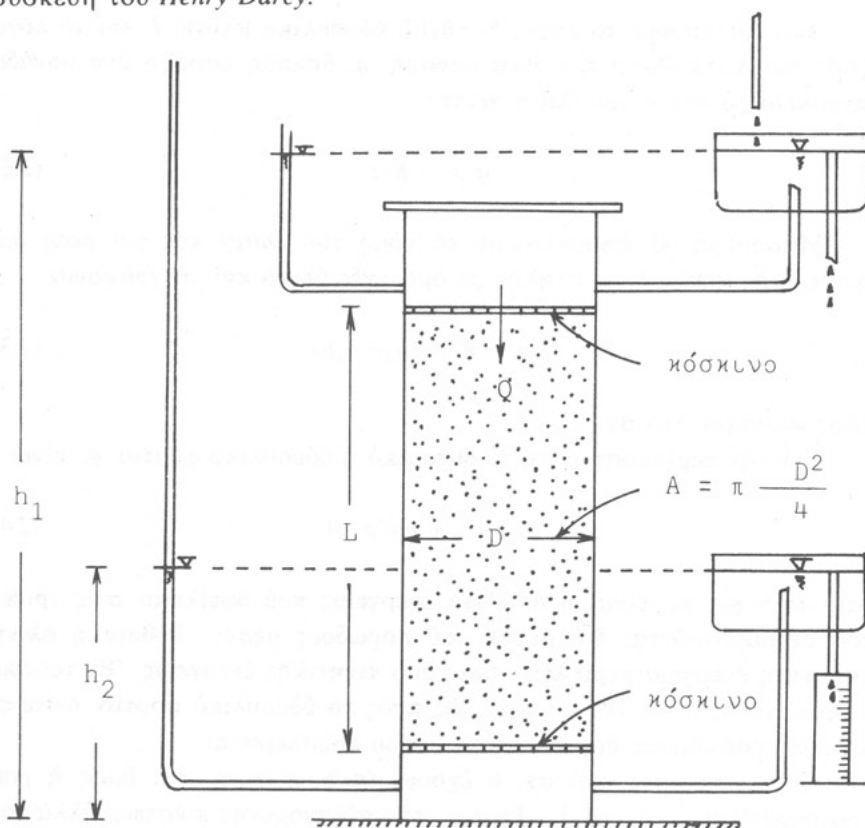
Τὸ *U. S. Soil Conservation Service* χρησιμοποιεῖ τὸ παρακάτω τρίγωνο γιὰ νὰ προσδιορίσει ποσοτικὰ ἓνα ἔδαφικὸ δεῖγμα. Ἔτσι στὶς τρεῖς πλευρὲς τοῦ ἰσόπλευρου τριγώνου τοποθετοῦμε τὰ ποσοστὰ % τῆς περιεκτικότητας σὲ ἄμμο, ἰλὺ καὶ ἄργιλο τοῦ ἔδαφικοῦ δείγματος.



Σχ. 4. Τρίγωνο ἔδαφῶν

## 2.1. Ο πειραματικός νόμος του Darcy

Τό 1856 ο *Henry Darcy* [8] δημοσίευσε μία έργασια πάνω στη ροή του νερού διά μέσου όμογενοῦς ἄμμου. Τό σχ. 5 δείχνει τήν πειραματική συσκευή του *Henry Darcy*.



Σχ. 5. Πειραματική συσκευή του *Darcy*

Ἐκ τῶν πειράματά του ὁ *Darcy* συμπέρανε ὅτι ἡ παροχὴ  $Q$ , πού περνᾷ μέσα ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια  $A$  τῆς συσκευῆς ( $A = \pi D^2/4$ ) εἶναι ἀνάλογη πρὸς :

1. Τὴν ἐπιφάνεια  $A$ .
2. Τὴν διαφορά φορτίου  $h_1 - h_2$ .
3. Τὸ ἀντίστροφο τοῦ μήκους  $L$ .
4. Ἐνα συντελεστὴ ἀναλογίας  $K$  πού ὀνομάζεται ὑδραυλικὴ ἀγωγιμότητα καὶ θὰ τὸν ὀρίσουμε ἀμέσως παρακάτω.

Ἔτσι ἡ μαθηματικὴ διατύπωση τοῦ τύπου τοῦ *Darcy* εἶναι

$$Q = K \cdot A \cdot (h_1 - h_2) / L = -K \cdot A \cdot (h_2 - h_1) / L \quad (2.1)$$

Ἐάν καλέσουμε τὸ λόγος  $(h_2 - h_1) / L$  ὑδραυλικὴ κλίση  $i$  καὶ τὸ λόγος  $(Q/A)$  ταχύτητα *Darcy* ἢ εἰδικὴ παροχὴ  $q$ , δηλαδή παροχὴ ἀνά μονάδα ἐπιφανείας, ὁ τύπος τοῦ *Darcy* γίνεται

$$q = -K \cdot i \quad (2.2)$$

Μποροῦμε νὰ ἐπεκτείνουμε τὸ νόμο τοῦ *Darcy* καὶ γιὰ ροές διὰ μέσου μιᾶς κεκλιμένης στήλης μὲ ὁμογενές ὑλικό καὶ νὰ γράψουμε

$$Q = -K \cdot A (\varphi_2 - \varphi_1) / L, \quad (2.3)$$

ὅπως φαίνεται στὸ σχ. 6

Γιὰ τὴν περίπτωση αὐτὴ τὸ δυναμικὸ ἢ ὑδραυλικὸ φορτίο  $\varphi_i$  εἶναι

$$\varphi_i = z_i + p_i / (\rho \cdot g) \quad (2.4)$$

καὶ  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  εἶναι ἡ ἀπώλεια ἐνεργείας πού ὀφείλεται στὶς τριβὲς πού δημιουργοῦνται διὰ μέσου τοῦ πορώδους μέσου. Βέβαια ἡ ὀλικὴ μηχανικὴ ἐνέργεια περικλείει ἕναν ὄρο κινητικῆς ἐνέργειας. Ἐν τούτοις ὁ ὄρος αὐτός εἶναι τόσο μικρός ὡς πρὸς τὸ ὑδραυλικὸ φορτίο, ὥστε σ' ὄλα τὰ προβλήματα διὰ πορώδους μέσου παραλείπεται.

Ὅπως φαίνεται στὸ σχ. 6 ἔχουμε  $(p_1/\gamma) < (p_2/\gamma)$  καὶ ὁμοίως ἡ ροὴ δημιουργεῖται πρὸς τὴν διευθύνση τῆς ἀυξανόμενης πίεσεως, ἀλλὰ τοῦ μειουμένου φορτίου γιατί εἶναι  $\varphi_1 > \varphi_2$ .