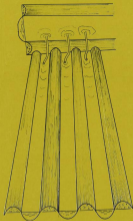


ΖΑΦΕΙΡΗ Γ. ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ



ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΖΗΤΗ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1999

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το πότισμα της γης είναι επινόηση της 4ης χιλιετηρίδας π.Χ. Την εποχή εκείνη, η άρδευση που γινόταν στη Μεσοποταμία και το Δέλτα του Νείλου, συντέλεσε σε ορισμένες διαρθρωτικές μεταβολές στις κοινωνίες που ζούσαν στις περιοχές αυτές. Αυτό έγινε πρώτ' απ' όλα γιατί, με το πότισμα, η παραγωγή των γεωργικών προϊόντων αυξήθηκε πέρα από τις ανάγκες των ίδιων των καλλιεργητών και ελευθέρωσε ένα μέρος των μελών της κοινωνίας τα οποία μπόρεσαν έτσι να ασχοληθούν με τις τέχνες, τα γράμματα και το εμπόριο. Επίσης, η κατασκευή των αρδευτικών έργων δημιούργησε την ανάγκη για συλλογική, αντί της ατομικής δράσης, και ακόμα την ανάγκη ύπαρξης νόμων που να διασφαλίζουν τη δικαίη κατά το δυνατό συμμετοχή στα οφέλη και τις υποχρεώσεις που απέρρεαν από τα έργα αυτά. Τα παραπάνω αποτέλεσαν τη βάση της εξελικτικής πορείας προς μια έννομη κοινωνία.

Η άρδευση σήμερα αποτελεί τη βάση της γεωργίας στην πιά εξελιγμένη της μορφή. Ενώ όμως τα αποτελέσματα πάνω στη γεωργία από τη σωστή εφαρμογή των αρδεύσεων είναι εντυπωσιακά, η μη σωστή χρήση του αρδευτικού νερού μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά, με μακροχρόνιες επιπτώσεις, προβλήματα υποβάθμισης της γονιμότητας των εδαφών. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Μεσοποταμίας στην οποία, ενώ η άρδευση κατά τους αρχαίους χρόνους είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλη ανάπτυξη και ευημερία, στη συνέχεια συντέλεσε στην προοδευτική υποβάθμιση της γης με συνέπεια οι εκτάσεις αυτές σήμερα να είναι ημιάγονες.

Στο βιβλίο αυτό δίνονται οι βασικές αρχές και πρακτικές που οδηγούν στη σωστή εφαρμογή των αρδεύσεων. Σημαντική έκταση δίνεται στο έδαφος σαν μέσο διακινήσεως και αποθηκεύσεως του νερού, στην κατανάλωση νερού από τις καλλιέργειες, στον προγραμματισμό των αρδεύσεων, στον τρόπο εφαρμογής των αρδεύσεων, στην απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού από τα χωράφια, στις πηγές προμήθειας νερού και στον τρόπο διανομής του.

Στα Κεφάλαια 2 μέχρι 7 αναλύονται οι νόμοι και οι συνθήκες που διέπουν την κίνηση του νερού σε ομοιογενή και διαστρωμένα εδάφη,

κορεσμένα και ακόρεστα. Γίνεται διερεύνηση του φαινομένου της διηθήσεως και δίνονται σχέσεις ποσοτικής εκτιμήσεώς της. Αναλύεται η διαδικασία υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας που είναι ωφέλιμη στις καλλιέργειες, σε σχέση με τις φυτικές, εδαφικές και κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής.

Τα Κεφάλαια 8 μέχρι 12 αναφέρονται στην κατανάλωση νερού από τις καλλιέργειες. Γίνεται ανάλυση του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής και των παραγόντων που το επηρεάζουν. Διερευνούνται μέθοδοι υπολογισμού, έμμεσες και άμεσες, με βάση παρατηρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας, ανέμου, σχετικής υγρασίας και ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας καθώς και με διαδοχικούς προσδιορισμούς των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας στο χωράφι ή με λυσίμετρα.

Το Κεφάλαιο 13 περιλαμβάνει την ανάλυση του τρόπου υπολογισμού των αναγκών των καλλιεργειών σε αρδευτικό νερό, την έννοια και τη διαδικασία υπολογισμού της αρδευτικής αποδοτικότητας, τον τρόπο διατηρήσεως των αλάτων του εδάφους σε χαμηλό επίπεδο και τη διαδικασία καταστρώσεως των προγραμμάτων αρδεύσεως.

Στα Κεφάλαια 14 μέχρι 16 περιγράφονται και αναλύονται οι μέθοδοι εφαρμογής του αρδευτικού νερού και ειδικά οι επιφανειακές μέθοδοι με κατάκλυση, περιορισμένη διάχυση και αυλάκια, ο καταιονισμός και η άρδευση με σταγόνες, παρουσιάζονται δε τρόποι ισοπεδώσεως των αγρών.

Τα Κεφάλαια 17 μέχρι 20 αναφέρονται στον τρόπο μετρήσεως του αρδευτικού νερού, στην προέλευσή του, στη σχεδίαση και λειτουργία αρδευτικών δικτύων μεταφοράς και εφαρμογής και στον υπολογισμό δικτύων στραγγίσεως που έχουν σαν σκοπό την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού από τα χωράφια.

Τα θέματα που παρουσιάζονται αναλύονται σε βάθος και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές, χρησιμοποιούνται δε πολλά υπολογιστικά παραδείγματα που δένουν τη θεωρία με την εφαρμογή.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να τονίσω ότι λόγω της φύσεως του αντικείμενου, η μεταφορά στην πράξη όλων όσων περιλαμβάνονται στο βιβλίο αυτό δεν πρέπει να γίνεται με τρόπο στατικό, αλλά μετά από σοβαρό προβληματισμό και κρίση σε σχέση με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Σκοπός του βιβλίου είναι να συμβάλλει στον ορθό σχεδιασμό και εφαρμογή των εγγείων βελτιώσεων στη χώρα μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	1
1.1 Το έδαφος	2
1.2 Το εδαφικό νερό	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ DARCY ..	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΡΟΗ	19
3.1 Εφαρμογή του νόμου του Darcy σε κορεσμένο ομογενές έδαφος	19
3.2 Εφαρμογή του νόμου του Darcy σε κορεσμένο έδαφος με στρώσεις	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	33
4.1 Εργαστηριακή μέθοδος του υδροπερατόμετρου πτώσεως στάθμης	33
4.2 Επί τόπου μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας. Μέθοδος του απλού θαλάμου (Hooghoudt)	38
4.3 Επί τόπου μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας όταν δεν υπάρχει υπόγεια στάθμη νερού	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΚΟΡΕΣΤΗ ΡΟΗ	51
5.1 Κίνηση του νερού σε ακόρεστο έδαφος	51
5.2 Διαγράμματα ενεργειακής καταστάσεως του νερού	60
5.3 Το φαινόμενο της υστερήσεως	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΔΙΗΘΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	71
6.1 Περιγραφή και βασικές έννοιες	71
6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των αγρών	75
6.3 Διερεύνηση εξισώσεων οριζόντιας και κατακόρυφης διηθήσεως	77
6.4 Εμπειρικές μέθοδοι	87
6.5 Μέτρηση της διηθητικότητας	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΣΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΔΑΦΙΚΟ ΝΕΡΟ	103
7.1 Εδαφική υγρασία	103
7.2 Προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας	106
7.3 Η υδατοϊκανότητα του εδάφους	109
7.4 Το σημείο μόνιμης μαράνσεως	113
7.5 Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους	114
7.6 Το ριζόστρωμα των καλλιεργειών	115
7.7 Διαθέσιμη και ωφέλιμη υγρασία	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	127
8.1 Φυτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	128
8.2 Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	130
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	143
9.1 Δυναμική εξατμισοδιαπνοή	143
9.2 Αεροδυναμικές μέθοδοι	144
9.3 Μέθοδος του ισοζυγίου ενέργειας	150
9.4 Μικτές μέθοδοι	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΕΜΜΕΣΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	155
10.1 Η μέθοδος του Thornthwaite	156
10.2 Η μέθοδος των Blaney-Criddle	158
10.3 Η μέθοδος των Jensen-Haise	161
10.4 Άλλες μέθοδοι	164
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΜΜΕΣΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	174
11.1 Βασικές έννοιες	174
11.2 Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής	175
11.3 Φυτικοί συντελεστές	189
11.4 Εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής	197
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ	219
12.1 Μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων	219
12.2 Μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών	221
12.3 Μέθοδος του ισοζυγίου υγρασίας	223
12.4 Μέθοδος του λυσίμετρου	223
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	227
13.1 Ανάγκες των καλλιιεργειών σε νερό αρδεύσεως	227
13.2 Βάθος, διάρκεια και εύρος αρδεύσεως	238
13.3 Προγραμματισμός των αρδεύσεων	242
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ	251
14.1 Άρδευση με κατάκλυση	254
14.2 Άρδευση με περιορισμένη διάχυση	256
14.3 Άρδευση με αulάκια	267
14.4 Μαθηματικά ομοιώματα	275
14.5 Προετοιμασία του εδάφους για την εφαρμογή επιφανειακής αρδεύσεως	279
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟ	293
15.1 Περιγραφή	293
15.2 Παροχή δικτύου	297
15.3 Διατάξεις αρδεύσεως	298

15.4 Δίκτυο εφαρμογής	304
15.5 Δίκτυο μεταφοράς	311
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ	319
16.1 Σταλακτήρες	320
16.2 Διατάξεις αρδέσεως	326
16.3 Αρδευτικές παράμετροι	333
16.4 Δίκτυο εφαρμογής	337
16.5 Δίκτυο μεταφοράς	340
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	347
17.1 Μέτρηση με σπές	347
17.2 Μέτρηση με εκχειλιστές	353
17.3 Μετρητές Parshall	358
17.4 Μετρητές ροής σε κλειστούς αγωγούς	364
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	369
18.1 Βροχή και απορροή	370
18.2 Ανάλυση συχνότητας παροχών υδάτινων ρευσμάτων	377
18.3 Ταμιευτήρες νερού	383
18.4 Υπόγειο νερό	388
18.5 Άντληση του νερού	395
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 19. ΔΙΚΤΥΑ ΕΓΓΕΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ	403
19.1 Εισαγωγή	403
19.2 Διατάξεις επιφανειακών αρδευτικών και στραγγιστικών δικτύων	406
19.3 Υδραυλικοί υπολογισμοί αρδευτικών δικτύων	413
19.4 Υδραυλικά στοιχεία τάφρων	421
19.5 Ρύθμιση και μέτρηση της ροής διαρύγων	424
19.6 Υπερχείλιση και εκκένωση διαρύγων	427
19.7 Αναβαθμοί διαρύγων και τάφρων	431
19.8 Άλλα ειδικά έργα	436
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20. ΥΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	439
20.1 Γενικές αρχές	439
20.2 Ισαποχή στραγγιστήρων κάτω από συνθήκες σταθερής ροής	443
20.3 Ισαποχή στραγγιστήρων κάτω από συνθήκες ασταθούς ροής	451
20.4 Προβλήματα που προκαλούνται από αρτεσιανούς υδροφορείς	456
20.5 Υδραυλικά στοιχεία στραγγιστήρων	458
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	463
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ	475
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	479

1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο του κύκλου της ζωής. Σε δυναμικά αναπτυσσόμενες καλλιέργειες, το νερό είναι τέσσερις με οκτώ φορές παραπάνω από το βάρος των στερεών συστατικών των φυτών. Ακόμη, για την παραγωγή μιας μονάδας ξερής φυτικής ουσίας χρειάζεται να περάσουν μέσα από τα φυτά πολλές εκατοντάδες μονάδες νερού που χάνονται στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της διαπνοής.

Τα φυτά παίρνουν το νερό από το έδαφος. Με την έννοια αυτή, το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αποθήκη που δέχεται νερό με τη μορφή βροχής ή αρδευσεως το οποίο στη συνέχεια διαθέτει στα φυτά. Για να είναι το εδαφικό νερό χρήσιμο στις καλλιέργειες πρέπει να κρατιέται ανάμεσα σε ορισμένα όρια. Αν υπάρχει υπέρβαση των ορίων αυτών, το νερό γίνεται επιζήμιο και πρέπει να απομακρύνεται με στράγγιση. Αντίθετα, αν το εδαφικό νερό πέσει κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια, οι καλλιέργειες δεν μπορούν να αναπτυχθούν κανονικά οπότε νερό πρέπει να προστεθεί με άρδευση. Για τη σωστή άρδευση και στράγγιση είναι απαραίτητη η σε βάθος γνώση των νόμων που διέπουν την κίνηση, ανακατανομή και συγκράτηση του νερού στο έδαφος.

Το νερό χάνεται από τα χωράφια με τις διαδικασίες της διαπνοής και εξατμίσεως. Εξατμηση και διαπνοή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, τη διαθεσιμότητα ενέργειας και την κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα στην περιοχή του φυλλώματος των καλλιεργειών. Πηγή ενέργειας για τα φυτά είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. Κάθε διαδι-

κασία ποσοτικής εκτίμησης της εξάτμισης και διαπνοής και των διακυμάνσεών τους με το χρόνο είναι φυσικό να προϋποθέτει τη σε βάθος γνώση των παραγόντων αυτών.

Η γνώση του ωφέλιμου νερού που μπορεί να αποθηκευθεί στο έδαφος και του ρυθμού διαπνοής και εξάτμισης του από το χωράφι, αποτελεί βασική υποδομή για τον καθορισμό του αριθμού των αρδεύσεων που χρειάζεται μια καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της βλαστικής της περιόδου, της ποσότητας του νερού που πρέπει να εφαρμόζεται με κάθε άρδευση και της διάρκειας κάθε αρδεύσεως.

1.1. ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος, με τη γεωργική του έννοια, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνθετο σύστημα που ταυτόχρονα είναι μια αποθήκη θρεπτικών στοιχείων, ένα περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται και δρα πλήθος μικροοργανισμών, ένα μέσο στερεώσεως των φυτών, ένα μέσο διακινήσεως του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις και μια αποθήκη νερού από την οποία τα φυτά αντλούν την απαραίτητη για την ανάπτυξή τους υγρασία.

Ο τρόπος σχηματισμού των εδαφών έχει περιγραφεί αναλυτικά και αναφέρεται διεξοδικά στις εργασίες των Robinson (1951), Comber (1960), Russell (1961) κ.ά. Μητρικό υλικό των ορυκτών εδαφών αποτελούν τα χαλαρά συκρατούμενα τεμαχίδια αποσαθρωμένων πετρωμάτων ή ιζηματογενή υλικά διαφόρων ειδών και προελεύσεων. Η φυσική και χημική διάβρωση που δρα χωρίς διακοπή πάνω στα υλικά αυτά, έχει σαν αποτέλεσμα την κατά βάθος διάστρωση των εδαφών. Ο τρόπος εναλλαγής των στρώσεων και το είδος των υλικών από τα οποία αποτελούνται επηρεάζουν την σε βάθος και πυκνότητα ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών όπως και την κίνηση, ανακατανομή και αποθήκευση του νερού.

Βασικά φυσικά χαρακτηριστικά ενός εδάφους είναι η *υφή* και η *δομή*. Εδαφική υφή είναι η ποσοστιαία αναλογία των διαφόρου μεγέθους ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος. Εδαφική δομή είναι ο τρόπος διατάξεως των σωματιδίων αυτών για τον σχηματισμό ομάδων ή συσσωματωμάτων. Εδαφική υφή και δομή, σε συνδυασμό, ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο εφοδιασμού και διακίνησης του νερού στο έδαφος.

Εδαφικά σωματίδια χαρακτηρίζονται τα στερεά που έχουν διάμετρο ≤ 2 mm. Στον Πίνακα 1.1 δίνονται αναλυτικά οι κατηγορίες των σωματιδίων αυτών και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με το USDA Handbook 18 (1951). Η ταξινόμησή τους γίνεται με *μηχανική ανάλυση*.

Οι τρόποι που γίνεται η ανάλυση αυτή είναι σχεδόν παγκόσμια τυποποιημένοι. Περιγραφές και συγκρίσεις τους δίνονται στις εργασίες των Piper (1944), Kilmer και Alexander (1949), Baver (1956) κ.ά. Τα εδάφη ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άμμο, ιλύ και αργίλλο, διακρίνονται σε 12 τύπους υψής που δίνονται στο Σχήμα 1.1.

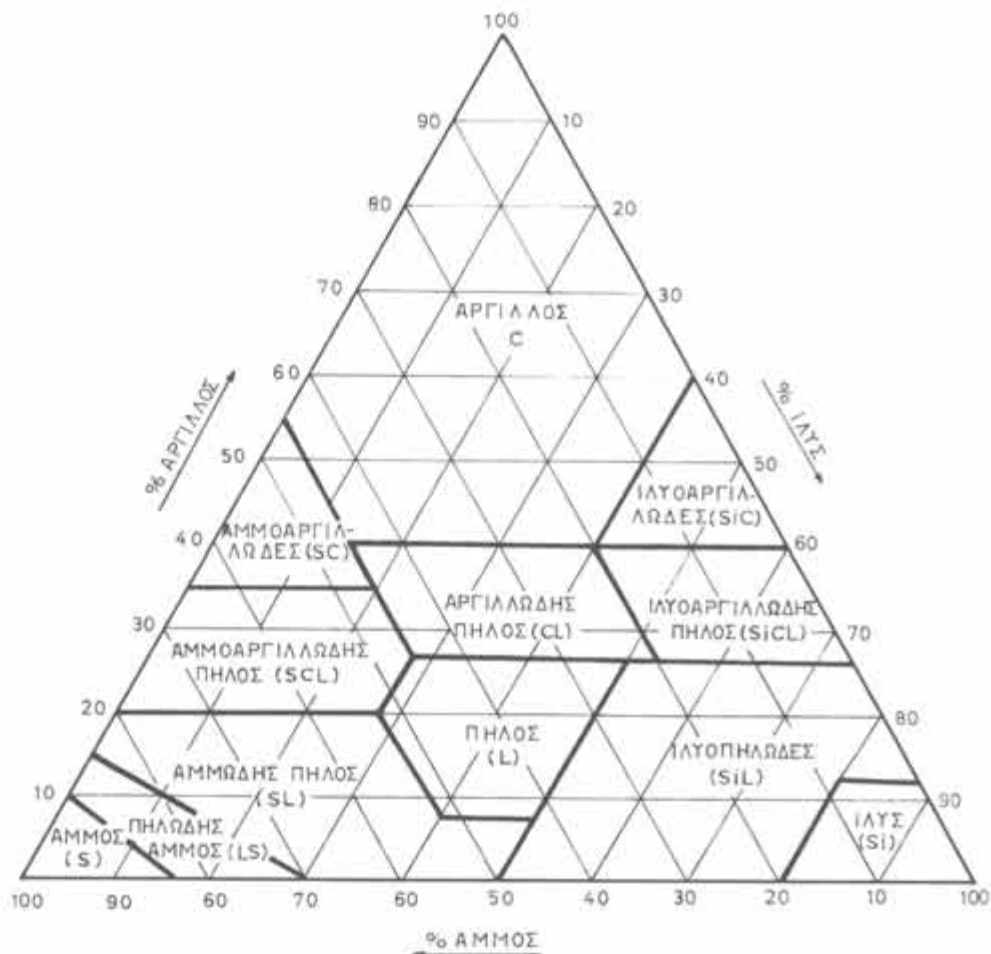
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Ταξινόμηση των εδαφικών σωματιδίων (κόκκων) κατά το USDA Handbook 18 (1951)

Χαρακτηρισμός σωματιδίων	Διάμετρος κόκκων, mm	Αριθμός κόκκων ανά gr	Επιφάνεια κόκκων, cm ² /gr
(1)	(2)	(3)	(4)
Άμμος	2,00 – 0,05		
Πολύ χονδρή	2,00 – 1,00	90	11
Χονδρή	1,00 – 0,50	720	23
Ενδιάμεση	0,50 – 0,25	5700	45
Λεπτή	0,25 – 0,10	46000	91
Πολύ λεπτή	0,10 – 0,05	722000	227
Ιλύς	0,05 – 0,002	5776000	454
Αργίλλος	< 0,002	90261000	8000000

Η δομή ενός εδάφους μπορεί να είναι ομοιόμορφη σε όλο το βάθος του ή να διαφέρει από οριζόντια σε οριζόντια, με συνηθέστερη την δεύτερη περίπτωση. Σε σχέση με τη δομή, κατά το USDA Agricultural Information Handbook (1959), τα εδάφη ταξινομούνται σε έξι βασικούς τύπους που είναι (1) τα ελαφρά μονόκοκκα, (2) τα βαριά μονόκοκκα, (3) κυβικής μορφής, (4) πλακώδη, (5) κοκκώδη και (6) πρισματικά. Τα ελαφρά μονόκοκκα εδάφη απαρτίζονται από σωματίδια με ομοιόμορφους κόκκους της τάξεως της άμμου, στερούνται δομής και επιτρέπουν την εύκολη διείσδυση και διακίνηση του νερού. Τα βαριά μονόκοκκα απαρτίζονται από κόκκους της τάξεως της αργίλλου, δεν έχουν δομή και μοιάζουν με συμπαγή άμορφη μάζα. Το νερό κινείται μέσα στα εδάφη αυτά πολύ δύσκολα. Ανάμεσα στους δύο ακραίους αυτούς τύπους δομής βρίσκονται οι άλλοι τέσσερις. Στα κυβικής μορφής εδάφη οι κόκκοι σχηματίζουν συσσωματώματα που έχουν μορφή κύβων και επιτρέπουν καλή διακίνηση του νερού. Τα πλακώδη αποτελούνται από πλατιά και λεπτά συσσωματώματα στα οποία η πλευρική κίνηση του νερού γίνεται εύκολα σε αντίθεση με την κατακόρυφη που γίνεται με δυσκολία. Στα πρισματικά εδάφη τα συσσωματώματα έχουν τη μορφή πρισμάτων με

μακρύ τον κατακόρυφο άξονά τους και παρουσιάζουν εύκολη διείσδυση και κατακόρυφη κίνηση του νερού. Τέλος, τα κοκκώδη απαρτίζονται από σφαιρικά συσσωματώματα και επιτρέπουν καλή κίνηση του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις.



ΣΧΗΜΑ 1.1

Κατάταξη εδαφών σε τύπους υφής ανάλογα με την ποσοστιαία αναλογία σε άμμο, ιλέ και άργιλλο, σύμφωνα με το USDA Handbook 18.

Αντίθετα από την υφή, που πρακτικά είναι αδύνατο να μεταβληθεί, η δομή του εδάφους, στην επιφανειακή του κυρίως στρώση, μπορεί να αλλάξει με διάφορες επεμβάσεις προς το καλύτερο ή χειρότερο. Ευεργετική επίδραση στη δομή έχει η μακροχρόνια καλλιέργεια ψυχανθών και η εναλλαγή ξερών και υγρών περιόδων. Αντίθετα, χρήση καλλιεργητικών μηχανημάτων σε βαρεία και υγρά εδάφη υποβαθμίζει τη δομή τους. Άλλος σοβαρός παράγοντας υποβαθμίσεως είναι η περιεκτικότητα σε άλατα του αρδευτικού νερού, κυρίως όταν αυτό εφαρμόζεται σε βαρεία μέχρι μέσα εδάφη. Ιδιαίτερα σοβαρή επίδραση έχει το νάτριο που προκαλεί αποσύνθεση των εδαφικών συσσωματωμάτων και μετατρέπει το έδαφος σε μια άμορφη συμπαγή μάζα.

Ξεχωριστή κατηγορία αποτελούν τα *οργανικά* εδάφη. Τέτοια είναι τα εδάφη που περιέχουν οργανική ουσία σε ποσοστό από 20% μέχρι 95%. Οργανικά εδάφη στα οποία έγινε λίγο ή καθόλου αποσύνθεση της οργανικής τους ουσίας λέγονται *τυρφώδη* και είναι πολύ προβληματικά σε σχέση με την κίνηση του νερού και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών. Οργανικά εδάφη στα οποία η αποσύνθεση είναι πολύ προχωρημένη λέγονται *χουμώδη* και παρουσιάζουν άριστες συνθήκες κινήσεως και αποθηκείσεως του νερού.

1.2. ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΝΕΡΟ

Εξαιτίας της βαρύτητας, το νερό, όπως κάθε άλλο σώμα στην επιφάνεια της γης, έλκεται προς τα κάτω προς τη γενική κατεύθυνση που οδηγεί στο κέντρο της. Στο εδαφικό νερό, πέρα από τη βαρύτητα, ενεργούν και άλλες δυνάμεις. Υπό την επίδρασή τους το νερό μπορεί να κινηθεί προς διάφορες κατευθύνσεις. Το εδαφικό νερό κινείται επίσης σαν αποτέλεσμα διαφορών στη θερμοκρασία, στη συγκέντρωση αλάτων και στη δράση των ριζών των φυτών. Κάτω από τη συνδυασμένη επίδραση όλων των παραπάνω παραγόντων, το εδαφικό νερό βρίσκεται σε συνεχή κίνηση, της οποίας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά διαμορφώνονται κατά περίπτωση από τη μορφή και τη διάταξη των εδαφικών πόρων.

Τον 17ο αιώνα ο Newton ανακάλυψε τη βαρύτητα και δήλωσε ότι ένα υλικό σώμα έλκει κάθε άλλο με μια δύναμη που είναι ανάλογη με το γινόμενο της μάζας των δύο σωμάτων και αντίστροφα ανάλογη με το τετράγωνο της μεταξύ τους αποστάσεως. Αυτό εκφράζεται από τη σχέση

$$F = c \frac{mM}{r^2} \quad (1.1)$$

όπου F είναι η δύναμη, m και M είναι οι μάζες των δύο σωμάτων, r

είναι η απόσταση μεταξύ τους και c είναι μια σταθερά. Αν το ένα από τα δύο σώματα είναι η γη, η σχέση (1.1) γίνεται

$$F = G \frac{mM}{r^2} \quad (1.2)$$

όπου το G είναι η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας ίση με 6.67×10^{-8} dynes \cdot cm²/gr². Αν ένα υλικό σώμα βρίσκεται στην επιφάνεια της γης της οποίας η ακτίνα είναι R , έχοντας υπόψη ότι $F = ma$, όπου a είναι η επιτάχυνση, μπορούμε να γράψουμε τη σχέση

$$F = ma = G \frac{mM}{R^2} \rightarrow a = g = \frac{GM}{R^2} \quad (1.3)$$

Γνωρίζοντας ότι η μάζα της γης είναι $M = 5,98 \times 10^{27}$ gr και η ακτίνα της $R = 6,38 \times 10^8$ cm, η επιτάχυνση βρίσκεται ίση με $g = 980$ cm/sec². Το g είναι η *επιτάχυνση της βαρύτητας* που είναι σταθερή και υποδηλώνει τη δύναμη ανά μονάδα μάζας που ενεργεί πάνω σε κάθε σώμα που βρίσκεται στη γη. Αυτό ισχύει και για το εδαφικό νερό.

Το εδαφικό νερό δέχεται και ασκεί πιέσεις. *Πίεση* είναι η δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας. Η πίεση που ασκούν γενικά τα υγρά είναι ανάλογη με το ύψος υγρής στήλης και εκφράζεται από τη σχέση

$$p = \rho g h \quad (1.4)$$

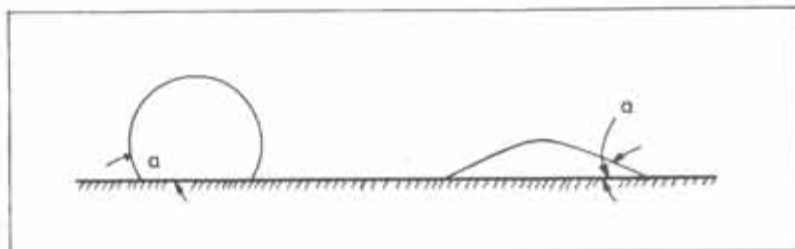
όπου ρ είναι η πυκνότητα του υγρού και h το ύψος της υγρής στήλης. Για το νερό, που στο σύστημα CGS η πυκνότητά του είναι ίση με τη μονάδα, η σχέση (1.4) απλουστεύεται στη

$$p = g h \quad (1.5)$$

Όταν ένα υγρό βρίσκεται σε επαφή με μια στερεή επιφάνεια, το υγρό μπορεί να διαβρέχει ή όχι την επιφάνεια. Η ικανότητα διαβροχής εξαρτάται από τη *γωνία επαφής* που σχηματίζεται ανάμεσα στο υγρό και την επιφάνεια. Αν η γωνία αυτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, είναι μικρότερη από 90° το υγρό διαβρέχει την επιφάνεια και αν είναι μεγαλύτερη από 90° το υγρό δεν τη διαβρέχει. Η γωνία επαφής ανάμεσα στον υδράργυρο και το γυαλί είναι 140° και για το λόγο αυτό το γυαλί δεν διαβρέχεται από τον υδράργυρο. Η γωνία επαφής νερού-γυαλιού είναι μηδέν, δηλαδή το νερό διαβρέχει το γυαλί. Σχετικά με το έδαφος, η γωνία επαφής νερού-επιφάνειας εδαφομορίων εξαρτάται από τη φύση της επιφάνειας αυτής, γενικά όμως είναι στην περιοχή του μηδενός που σημαίνει ότι υπάρχει πλήρης διαβροχή των εδαφικών επιφανειών από το νερό.

Μια άλλη δύναμη που αναπτύσσεται όταν νερό και εδαφομόρια βρίσκονται σε επαφή είναι η *επιφανειακή τάση*. Εξ ορισμού, επιφανειακή τάση είναι μια δύναμη που ενεργεί κάθετα σε ένα μήκος και εκφράζεται από τη σχέση

$$\sigma = \frac{F}{L} \quad (1.6)$$

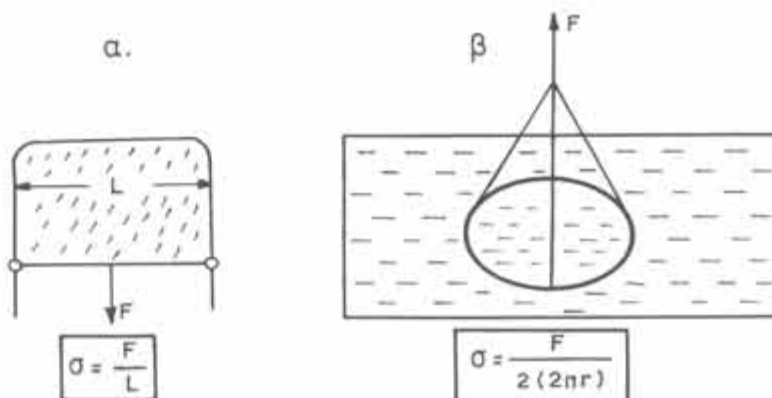


ΣΧΗΜΑ 1.2

Γωνίες επαφής ανάμεσα σε μια λεία επιφάνεια και δύο διαφορετικά υγρά.

Η σχέση αυτή αντιπροσωπεύει την περίπτωση (α) στο Σχήμα 1.3. Στην περίπτωση (β) του ίδιου Σχήματος, που δείχνει ένα κρίκο να έλκεται έξω από μια υδάτινη επιφάνεια, επειδή το νερό βρίσκεται σε επαφή με την εσωτερική και εξωτερική όψη του κρίκου, η επιφανειακή τάση είναι

$$\sigma = \frac{F}{2L} = \frac{F}{2(2\pi r)} \quad (1.7)$$



ΣΧΗΜΑ 1.3

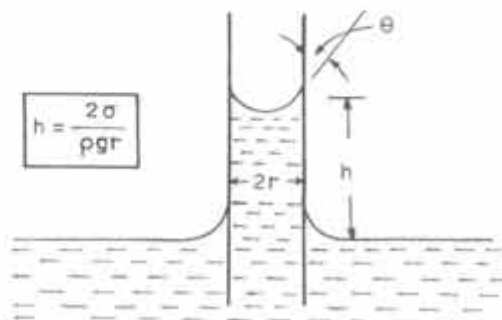
Παραστατική απεικόνιση περιπτώσεων επιφανειακής τάσεως.

Συνέπεια της επιφανειακής τάσης και της γωνίας επαφής είναι αυτό που λέγεται *τριχοειδές φαινόμενο*. Ας εξετάσουμε την περίπτωση του νερού σε σχέση με τη διάταξη του Σχήματος 1.4. Η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσα στο νερό και τα τοιχώματα του σωλήνα είναι

$$F = (2\pi r) \cdot \sigma \cdot \cos \theta \quad (1.8)$$

όπου σ είναι η επιφανειακή τάση και θ είναι η γωνία επαφής. Η δύναμη αυτή συγκρατεί το βάρος της υγρής στήλης ύψους h , που είναι

$$W = (\rho g) \cdot (\pi r^2) \cdot h \quad (1.9)$$



ΣΧΗΜΑ 1.4

Ανύψωση νερού σε τριχοειδή σωλήνα.

Επειδή $F = W$, από τις σχέσεις (1.8) και (1.9) προκύπτει

$$(\rho g) \cdot (\pi r^2) \cdot h = (2\pi r) \cdot \sigma \cdot \cos \theta \rightarrow h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\rho g r} \quad (1.10)$$

Στην περίπτωση νερού-εδάφους $\theta = 0$, $\cos \theta = 1$ και η σχέση (1.10) απλοποιείται σε

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (1.11)$$

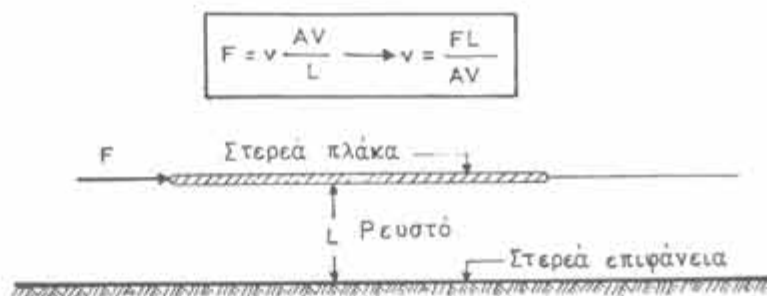
Το h μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει τη δύναμη με την οποία το νερό συγκρατείται στους εδαφικούς πόρους. Στο τριχοειδές φαινόμενο οφείλεται η προς τα πάνω κίνηση του νερού που υγραίνει την περιοχή πάνω από την υπόγεια στάθμη.

Χαρακτηριστικό όλων των ρευστών είναι το *ιξώδες*. Το *ιξώδες* μπορεί να θεωρηθεί σαν η εσωτερική τριβή των ρευστών. Εξαιτίας του για να κινηθεί ένα ρευστό χρειάζεται να ενεργήσει πάνω του κάποια δύναμη. Μια σχέση για το *ιξώδες* μπορεί να βρεθεί με τη βοήθεια της

διάταξης που φαίνεται στο Σχήμα 1.5. Με τα δεδομένα του Σχήματος, η δύναμη F που απαιτείται για να προκαλέσει την κίνηση της στερεής πλάκας με ταχύτητα V είναι ανάλογη με την επιφάνεια της πλάκας A και αντίστροφα ανάλογη με το βάθος του ρευστού L . Οι παράμετροι αυτές συνδέονται με τη σχέση

$$F = v \frac{AV}{L} \rightarrow v = \frac{FL}{AV} \quad (1.12)$$

όπου v είναι μια αναλογική σταθερά γνωστή σαν *συντελεστής ιξώδους* με διαστάσεις $\text{gr/cm} \cdot \text{sec}$. Μονάδα μετρήσεως του ιξώδους είναι η poise που είναι ίση με $1 \text{ gr/cm} \times \text{sec}$. Επειδή η μονάδα αυτή είναι σχετικά



ΣΧΗΜΑ 1.5

Επεξηγηματική διάταξη που αναφέρεται στο ιξώδες των ρευστών.

μεγάλη, συνήθως παίρνεται το $1/100$ της που είναι η centipoise. Το ιξώδες των ρευστών επηρεάζεται δραστικά από τη θερμοκρασία. Τον κανόνα αυτό ακολουθεί και το νερό. Μερικές χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή ιξώδους v για διάφορες θερμοκρασίες είναι:

Θερμοκρασία	Ιξώδες νερού
0 °C	$v = 1.79$ centipoise
20 °C	$v = 1.01$ »
40 °C	$v = 0.66$ »

Το εδαφικό νερό, όπως και κάθε άλλο σώμα στη γη, έχει τη δική του ενέργεια. Η ενέργεια αυτή διακρίνεται σε κινητική και δυναμική. Η *κινητική* ενέργεια εκφράζεται από τη σχέση

$$E_v = \frac{m V^2}{2} \quad (1.13)$$

όπου m η μάζα του σώματος και V η ταχύτητα με την οποία κινείται. Η κινητική ενέργεια του κινούμενου μέσα στο έδαφος νερού ανά μονάδα βάρους βρίσκεται αν διαιρέσουμε την παραπάνω σχέση με το βάρος του νερού (mg), οπότε

$$E_v = \frac{V^2}{2g} \quad (1.14)$$

Η ποσότητα αυτή έχει διαστάσεις μήκους και επικράτησε να αναφέρεται σαν *ύψος ταχύτητας*. Επειδή η ταχύτητα με την οποία κινείται το νερό στο έδαφος είναι πολύ μικρή, το μέγεθος της E_v είναι ασήμαντο και συνήθως παραλείπεται κατά τη λύση πρακτικών προβλημάτων κινήσεως του εδαφικού νερού.

Η *δυναμική* ενέργεια του εδαφικού νερού διαμορφώνεται από τη σχετική θέση του και τις δυνάμεις που ενεργούν σ' αυτό που συνολικά μπορεί να θεωρηθούν σαν πιέσεις. Η ενέργεια που έχει το νερό λόγω της θέσεώς του οφείλεται στη βαρύτητα, είναι ανάλογη προς την απόσταση από κάποιο αυθαίρετο επίπεδο αναφοράς και σε μέγεθος είναι ίση και αντίθετη με αυτή που χρειάζεται για να ανυψωθεί από το επίπεδο αναφοράς μέχρι τη θέση που βρίσκεται, εκφράζεται δε από τη σχέση

$$E_g = mgz \quad (1.15)$$

όπου z είναι η απόσταση από το επίπεδο αναφοράς. Ανά μονάδα βάρους η ενέργεια αυτή είναι ίση με το z , η σχέση (1.15) απλοποιείται σε

$$E_g = z \quad (1.16)$$

έχει διαστάσεις μήκους και λέγεται *ύψος θέσεως*.

Η δεύτερη μορφή δυναμικής ενέργειας οφείλεται στις πιέσεις p . Ανά μονάδα βάρους η ενέργεια αυτή είναι

$$E_p = \frac{p}{mg} = \frac{p}{\gamma} \quad (1.17)$$

έχει διαστάσεις μήκους και λέγεται *ύψος πίεσης*. Η συνολική δυναμική ενέργεια, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι

$$H = E_g + E_p = z + \frac{p}{\gamma} \quad (1.18)$$

και λέγεται *υδραυλικό ύψος*.

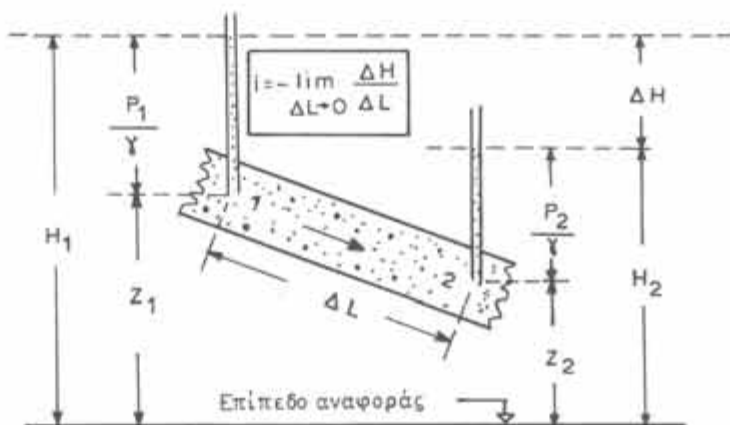
Στην κίνηση του εδαφικού νερού βρίσκει εφαρμογή και το θεώρημα του Bernoulli, που λέει ότι το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας είναι σταθερό, μπορεί δε να εκφρασθεί με τη σχέση

$$\frac{V^2}{2g} + z + \frac{p}{\gamma} = \text{σταθερό} \quad (1.19)$$

Ας πάρουμε την περίπτωση της εδαφικής στήλης στο Σχήμα 1.6. όπου νερό κινείται από το σημείο 1 στο σημείο 2 που η μεταξύ τους απόσταση είναι ΔL . Μετά την εγκατάσταση του επίπεδου αναφοράς, τα ύψη θέσεως στα σημεία 1 και 2 είναι z_1 και z_2 , και τα ύψη πίεσεως, όπως δείχνουν τα πιεζόμετρα, είναι αντίστοιχα p_1/γ και p_2/γ . Εφαρμογή του θεωρήματος Bernoulli στις δύο θέσεις δίνει

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta H \quad (1.20)$$

όπου ΔH είναι οι απώλειες ροής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, τα



ΣΧΗΜΑ 1.6

Εφαρμογή του θεωρήματος Bernoulli σε εδαφική στήλη για τον υπολογισμό της υδραυλικής κλίσεως.

ύψη ταχύτητας είναι αμελητέα και παραλείπονται. Έτσι, η σχέση (1.20) απλοποιείται στην

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = H_1 - H_2 = \Delta H \quad (1.21)$$

που δείχνει ότι οι απώλειες ροής είναι ίσες με τη διαφορά των υδραυλικών υψών ανάμεσα στα σημεία 1 και 2. Ο λόγος

$$i = \frac{H_1 - H_2}{\Delta L} \quad (1.22)$$

ή γενικότερα

$$i = - \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta H}{L} = - \frac{dH}{dL} \quad (1.23)$$

λέγεται *υδραυλική κλίση* και εκφράζει τις απώλειες ροής ανά μονάδα μήκους διαδρομής.