



**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΤΩΝ  
ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΗΜΩΝ ΒΑΜΟΥ, ΑΡΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2012**



**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΤΩΝ  
ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΗΜΩΝ ΒΑΜΟΥ, ΑΡΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**Επιβλέπων :**

**Δρ Γ Σταυρουλάκης**  
**Καθηγητής**

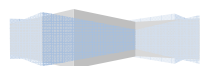
**Επιτροπή Αξιολόγησης :**

**Δρ. Κώττη Μελίνα**  
**Καθηγήτρια Εφαρμογών**

**Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)**  
**Εργαστηριακός Συνεργάτης**

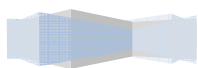
**Ημερομηνία παρουσίασης: 25/05/2012**

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 48**



## Ευχαριστίες

*Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη σημαντική συμβολή και συμπαράσταση του κ. Σταυρουλάκη Γεώργιου. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση αλλά κυρίως για την υπομονή του όλο αυτό τον καιρό.*



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διερεύνηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης είναι εξαιρετικά σημαντική επειδή αποτελεί την συνηθέστερη αιτία επιβάρυνσης του γλυκού νερού και σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο.

Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό είναι το κατεξοχήν αίτιο, οδηγώντας σε μεγαλύτερους ρυθμούς άντλησης και στη διείσδυση του αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Επίσης η μείωση του εμπλουτισμού των υδροφόρων λόγω της ελάττωσης του ρυθμού των βροχοπτώσεων αποτελεί ένα δεύτερο σημαντικό παράγοντα που τείνει να αυξηθεί με τον χρόνο. Το θέμα έχει απασχολήσει ένα σημαντικό αριθμό ερευνητών σε παγκόσμια κλίμακα.

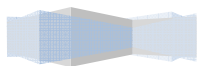
Σήμερα υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία τόσο σε θέματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του φαινομένου όσο και τους τρόπους ανίχνευσης του φαινομένου με διάφορες μεθόδους.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ξεκινάει με μια σύντομη περιγραφή για το νερό και για τα είδη του υδροφορέα καθώς και για την κίνηση του υπογείου νερού. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης καθώς και οι τρόποι αντιμετώπισης. Το πειραματικό μέρος της εργασίας, το οποίο παραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο ελέγχου ποιότητας υδατικών κι εδαφικών πόρων του τεχνολογικού εκπαιδευτικού ιδρύματος Κρήτης.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις Κάϊνας και Γαβαλοχωρίου του δήμου Βάμου, Νιο Χωριό του δήμου Αρμένων, Καλάμι του δήμου Σούδας. Στα δείγματα μετρήθηκαν φυσικές χημικές και μικροβιολογικές παράμετροι ποιότητας.

Οι μετρήσεις που έγιναν έδειξαν υφαλμύρωση σε κάποιες από τις γεωτρήσεις, όπως αυτή του Γαβαλοχωρίου. Επίσης, σημειώθηκαν σημαντικά στοιχεία για την ποιότητα νερού των υδροφόρων οριζόντων τα οποία περιγράφονται αναλυτικά.

Τέλος, προτείνονται κάποιες λύσεις στο πρόβλημα της υφαλμύρωσης.



# **DETERMINATION LEVEL OF SALINIZATION OF WELLS FOR MUNICIPALITIES OF VAMOS, ARMENI AND SUDA.**

## **ABSTRACT**

Exploring the phenomenon of salinization is extremely important because it is the most common cause of burden of freshwater and serious environmental problem in many coastal regions around the world.

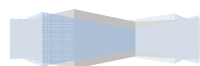
The increasing need for water is the main reason that leads to higher rates pumping and saltwater intrusion in coastal aquifers. Also, reducing the enrichment of water due to the decrease in rainfall patterns is another important factor that tends to increase in coming years. The issue has been addressed a significant number of researchers worldwide.

Nowadays, there is extensive literature both on matters relating to the characteristics of the phenomenon and ways to detect the phenomenon using various methods.

This thesis begins with a brief description of the water and the species of the aquifer and the movement of underground water. Then, we analyzed the phenomenon of salinization by the methods that can be treated and we made an analysis of the equations governing the movement. The experimental part of the project been analyzed , which took place in the laboratory of chemistry of the Technological Educational Institute of Chania, which included measurements of various physical and chemical properties of water samples that we examined.

The sampling sites are located in municipalities of Armeni, Vamos and Suda. We measured the water wells located in Kaina, in Gavalochori in Neo Chorio, in Kalami of Naustathmos and in Megala Xorafia.

The measurements have shown salinization in some of the wells, as Gavalohori. Finally, some proposed solutions to the problem of salinization.

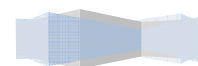


## Περιεχόμενα

1	ΤΟ ΝΕΡΟ.....	9
1.1	Εισαγωγή.....	9
1.2	Το υπόγειο νερό.....	9
1.3	Υδροφορείς.....	11
1.4	Τύποι υδροφόρων.....	11
1.4.1	Ελεύθεροι υδροφόροι.....	12
1.4.2	Αρτεσιανοί υδροφόροι.....	13
1.4.3	Ημιαρτεσιανοί ή υδροφόροι με διαρροές ( <i>Leaky aquifers</i> ).....	15
1.4.4	Εξιδανικευμένοι υδροφόροι ( <i>Idealized aquifers</i> ).....	15
1.5	Παράμετροι Υδροφορέων.....	15
1.6	Συντελεστής υδροχωρητικότητας (Storage coefficient).....	16
1.7	Η υδρογεωλογική λεκάνη (Ground water basin).....	17
1.8	Πηγές.....	18
1.9	Ο νόμος του Darcy (Υδραυλική αγωγιμότητα).....	22
2	ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ.....	25
2.1	Εισαγωγή - ορισμός.....	25
2.2	Μέθοδοι προσομοίωσης διεπιφάνειας.....	26
2.3	Ο νόμος Ghyben–Herzberg.....	27
2.4	Κυκλοφορία του θαλασσινού νερού κατά Cooper.....	29
2.5	Το σχήμα της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού.....	30
2.6	Η δομή της διεπιφάνειας.....	33
2.7	Η «ανύψωση» της διεπιφάνειας στα παράκτια έργα υδρομάστευσης.....	35
2.8	Το «πόδι» της διεπιφάνειας.....	37
2.9	Καρστ.....	38
2.10	Καρστικοποιημένοι υδροφορείς.....	39
2.11	Μοντέλα Προσομοίωσης.....	40
3	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	41
3.1	Η εθνική Νομοθεσία.....	41
3.2	Η Οδηγία- Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2000/60).....	42
3.3	Νόμος υπ' αριθμ. 3199/ ΑΡ. Φ. 280 / 9 Δεκεμβρίου 2003.....	44
3.3.1	Άρθρο 1.....	44
3.3.2	Άρθρο 2.....	44
3.3.3	Άρθρο 10.....	45
4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	46
4.1	Περιγραφή περιοχών μελέτης.....	46

4.1.1	Δήμος Βάμου .....	46
4.1.2	Δήμος Αρμένων .....	47
4.1.3	Δήμος Σούδας .....	50
4.1.4	Σημεία δειγματοληψίας.....	52
4.2	Κλιματολογικές συνθήκες.....	53
5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	54
5.1	Θερμοκρασία.....	54
5.2	Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου - pH .....	54
5.3	Θολρότητα .....	55
5.4	Αγωγιμότητα .....	55
5.5	Διαλυμένο οξυγόνο .....	56
5.6	Σκληρότητα .....	56
5.7	Ολικά στερεά στους 105°C .....	58
5.8	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD).....	59
5.9	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).....	61
5.10	Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ).....	61
5.11	Αμμωνιακά (Μέθοδος Nessler).....	63
5.12	Φωσφορικά .....	64
5.13	Θειικά .....	64
5.14	Κάλιο (K).....	65
5.15	Νάτριο (Na).....	66
5.16	Ασβεστίο.....	67
5.17	Χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ ) .....	68
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	69
6.1	Κάϊνα.....	69
6.2	Γαβαλοχώρι.....	77
6.3	Νιο Χωριό .....	85
6.4	Ναύσταθμος – Καλάμι .....	92
6.5	Μεγάλα Χωράφια.....	99
7	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	105
7.1	Τιμή pH .....	105
7.2	Αγωγιμότητα .....	106
7.3	Σκληρότητα .....	107
7.4	Ολικά στερεά στους 105 °C .....	108
7.5	Διαλυμένο οξυγόνο .....	109
7.6	Θολρότητα NTU.....	110
7.7	Φωσφορικά.....	110
7.8	Αμμωνιακά.....	111

7.9	Νιτρικά .....	112
7.10	Θειικά .....	112
7.11	Χλωριόντα .....	114
7.12	COD.....	115
7.13	BOD <sup>5</sup> .....	115
7.14	Νάτριο (Na) .....	116
7.15	Ασβέστιο (Ca) .....	116
7.16	Κάλιο (K).....	117
7.17	Συμπεράσματα μετρήσεων .....	118
8	ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ.....	119
8.1	Τεχνητός εμπλουτισμός.....	120
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	122





# 1 ΤΟ ΝΕΡΟ

## 1.1 Εισαγωγή

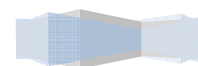
Το νερό είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τη ζωή, είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες αποσάθρωσης πετρωμάτων και σχηματισμού ιζημάτων. Βράζει στους 100°C και πήζει στους 0 εφόσον είναι χημικώς καθαρό. Στη φύση βρίσκεται σε τρεις μορφές, υγρή, στερεά, και αέρια, ενώ στην υγρή φάση το νερό έχει μεγάλο ιξώδες. Οι οργανισμοί προκειμένου να προσαρμοσθούν στο αυξημένο ιξώδες έχουν όλοι ατρακτοειδές σχήμα και μπορούν και κινούνται εύκολα μέσα στο νερό, και φυσικά δεν χρειάζονται όργανα στήριξης όπως τα χερσαία ζώα.

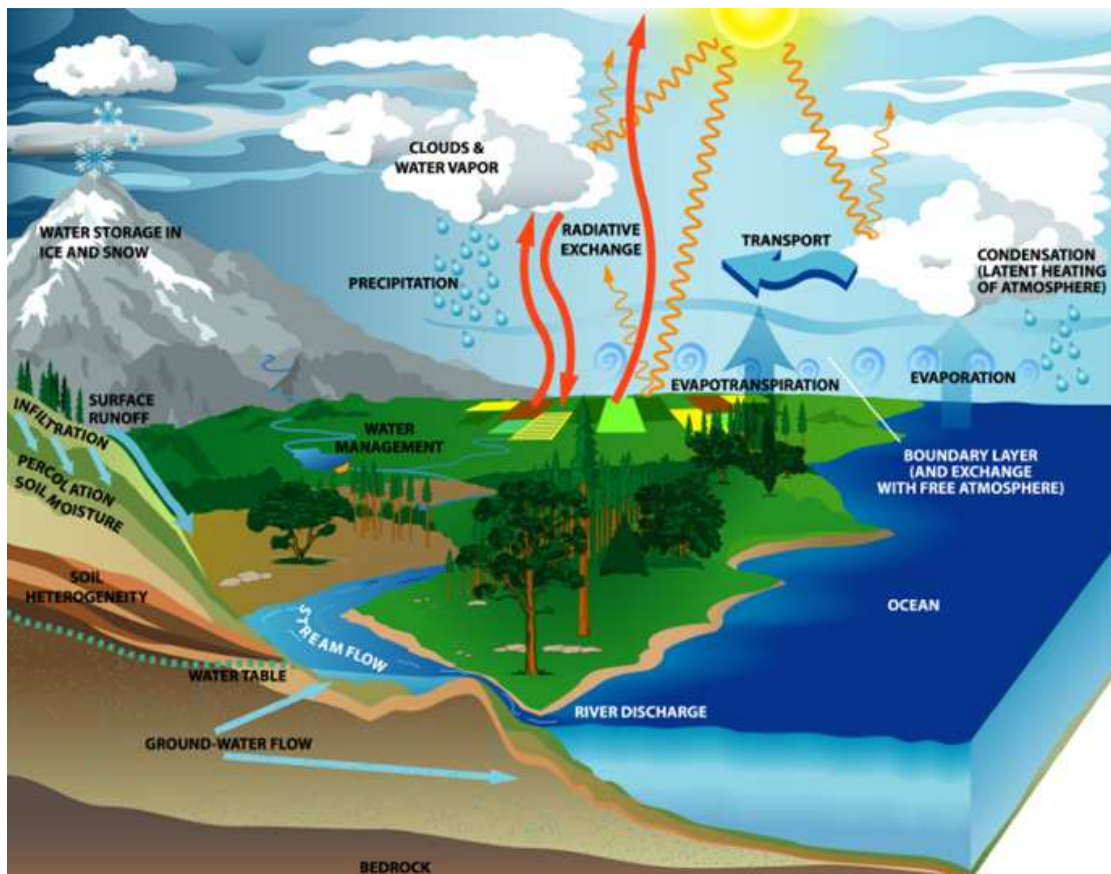
Η πυκνότητα του νερού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και η μεγαλύτερη πυκνότητα είναι στη θερμοκρασία των 3,94 βαθμών Κελσίου. Αυτό έχει μεγάλη σημασία, δηλαδή ότι ο ίδιος όγκος νερού έχει το μεγαλύτερο βάρος στους 3,94 βαθμούς γιατί έχει σαν αποτέλεσμα να επιπλέουν οι πάγοι πάνω στο νερό και έτσι μπορούν και λιώνουν.

Επίσης οι χημικές ιδιότητες και ιδιαίτερα οι διαλυτικές είναι πολύ σημαντικές για το οικοσύστημα. Το νερό έχει την ικανότητα να διαλύει μεγάλη ποικιλία ουσιών. Πολλά χημικά στοιχεία και χημικές ενώσεις διαλύονται στο νερό και ορισμένες από αυτές μεταφέρονται με την επίγεια και υπόγεια κίνηση του νερού σε διάφορα σημεία της επιφάνειας της γης. Με παρόμοιο τρόπο οι θρεπτικές ουσίες διαλυμένες μέσα στο νερό διέρχονται τις ρίζες και διαχέονται σε ολόκληρο τον ιστό του φυτού. Δυστυχώς όμως με τη διάλυση αυτή μεταφέρονται και βλαβερές ουσίες.[4]

## 1.2 Το υπόγειο νερό

Το νερό που υπάρχει στη φύση και που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις διακρίνεται σε επιφανειακό και υπόγειο. Επιφανειακό νερό είναι το νερό των λιμνών και των ποταμών ενώ υπόγειο είναι οι υδάτινες ποσότητες που υπάρχουν μέσα στο υπέδαφος και στους διάφορους υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς. Για τη μελέτη των υπογείων υδάτων είναι αναγκαίο να εξεταστεί το θέμα σφαιρικά και σε άμεσο συσχετισμό με τον υδρολογικό κύκλο. Καθώς και η ανανέωση ενός σημαντικού μέρους του συνόλου όγκου των εκμεταλλεύσιμων υπογείων νερών γίνεται με τη διάθεση των νερών των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ενώ τμήμα τους χάνεται καθώς εκφορτίζεται στις θάλασσες και τους ωκεανούς.



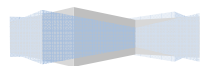


Σχήμα 1.1 Ο υδρολογικός κύκλος [1]

Το υπόγειο νερό κινείται μέσα στα διάκενα εδαφών η πετρωμάτων που χαρακτηρίζονται ως διαπερατά ή υδροπερατά. Οι όγκοι των γεωλογικών σχηματισμών στα οποία μπορεί να κινηθεί το υπόγειο νερό λέγονται υδροφορείς η υδροφόρα στρώματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υδροφόρων αποτελούν αλλουβιακές αποθέσεις. Αντίθετα τα λεγόμενα αδιαπέραστα στρώματα ενώ έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν έστω και μικρές ποσότητες νερού πρακτικά δεν έχουν καμία δυνατότητα μεταφοράς του. Κλασικό παράδειγμα της κατηγορίας αυτής αποτελούν αργιλικά εδάφη. Ενδιάμεση κατηγορία των δύο παραπάνω αποτελούν εδάφη που έχουν σημαντικά μικρότερη του διαπράττουν ικανότητα μεταφοράς νερού.

Τα εδαφικά αυτά στρώματα χαρακτηρίζονται ως ημιπερατά και τυπικό παράδειγμα τους είναι οι φακοί αργίλου σε εναλλαγές με αμμώδη εδάφη.

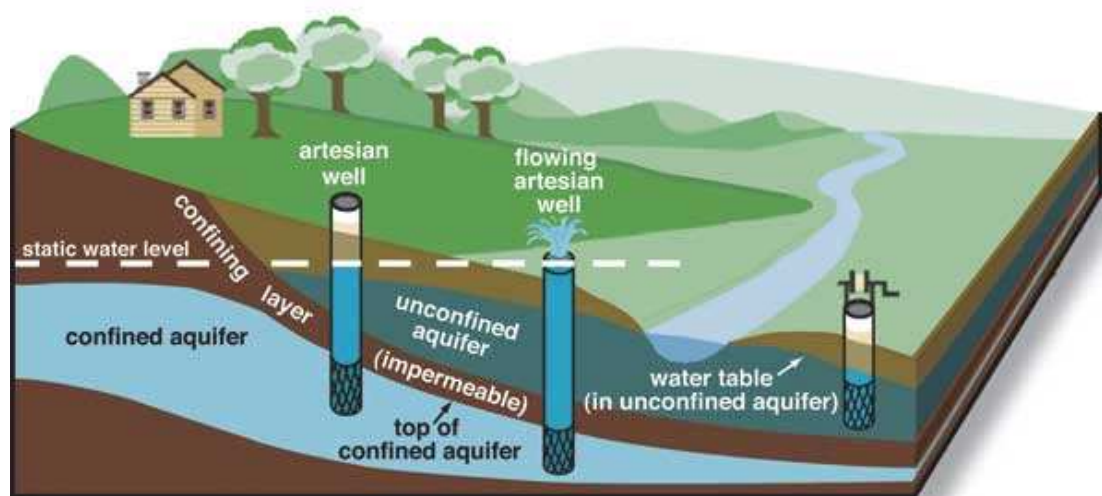
Η ροή του νερού στους υδροφορείς αναφέρεται συνήθως ως ροή σε πορώδη μέσα αφού έτσι ονομάζονται όλα τα πετρώματα και τα εδάφη που αποτελούνται από ένα στερεό σκελετό με τη μορφή συνάθροισης στερεών κόκκων που διαχωρίζονται και περιβάλλονται από διάκενα δηλαδή πόρους.[4]



### 1.3 Υδροφορείς

Το βασικό κριτήριο για μια γενική ταξινόμηση των υδροφόρων αποτελεί η θέση της ανώτατης στάθμης του νερού στο έδαφος. Έτσι διακρίνονται σε:

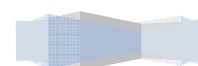
- 1) Ελεύθερος Υδροφορέας (unconfined aquifer): η ανώτατη επιφάνειά του είναι ο υδροφόρος ορίζοντας.
- 2) Περιορισμένος Υδροφορέας (confined aquifer): Περιέχει νερό υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και περιορίζεται στην άνω και κάτω επιφάνεια από αδιαπέραστα στρώματα.



Σχήμα 1.2: Ελεύθερος και περιορισμένος υδροβολέας [2]

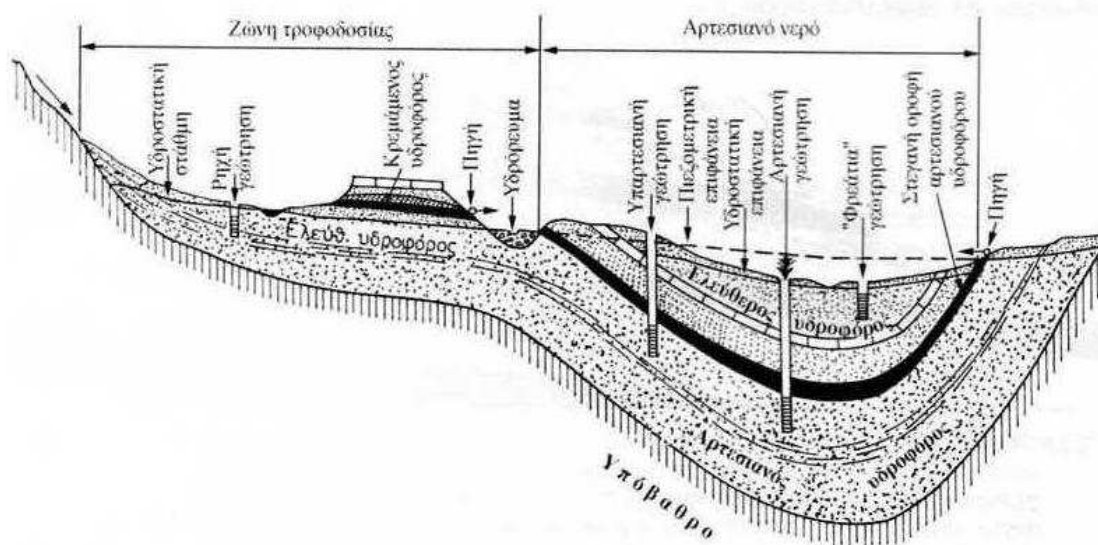
### 1.4 Τύποι υδροφόρων

Οι περισσότεροι υδροφόροι έχουν μεγάλη επιφανειακή έκταση και μπορούν να θεωρούνται σαν υπόγειες αποθήκες νερού. Το νερό εισέρχεται στην υπόγεια αποθήκη με το φυσικό ή τεχνητό εμπλουτισμό και ρέει κάτω από την δράση της βαρύτητας ή των υδρογεωτρήσεων άντλησης. Συνήθως, ο όγκος του νερού που παίρνεται ή μετακινείται ετήσια, είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα της αποθηκευτικής ικανότητας των υδροφόρων. Οι τελευταίοι χαρακτηρίζονται σαν **ελεύθεροι** και **αρτεσιανοί** (ή με πίεση ή εγκλωβισμένοι, confined), ανάλογα με την παρουσία ή απουσία μιας ελεύθερης υδροστατικής επιφάνειας, ενώ οι αρτεσιανοί υδροφόροι είναι ένας συνδυασμός ροών δύο πιο πάνω τύπων.[4]



### 1.4.1 Ελεύθεροι υδροφόροι

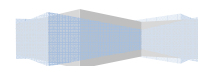
Ελεύθερος είναι ο υδροφόρος ο οποίος έχει ως δάπεδο στεγανό πέτρωμα, ως οροφή ελεύθερη υδροστατική επιφάνεια ενώ το νερό που γεμίζει το πορώδες της στέρεας φάσης βρίσκεται με πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Η ελεύθερη υδροστατική (φρεατία) επιφάνεια έχει μεταβαλλόμενη, κυματώδη μορφή και κλίση, ανάλογα με τις συνθήκες στις περιοχές τροφοδοσίας και στράγγισης, τις αντλίες από γεωτρήσεις και την υδραυλική αγωγιμότητα. Ανυψώσεις και ταπεινώσεις της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του αποθηκευμένου όγκου του στον υδροφόρο. Ελεύθεροι υδροφόροι παριστάνονται στις εικόνες 1.3 και 1.4. [4]



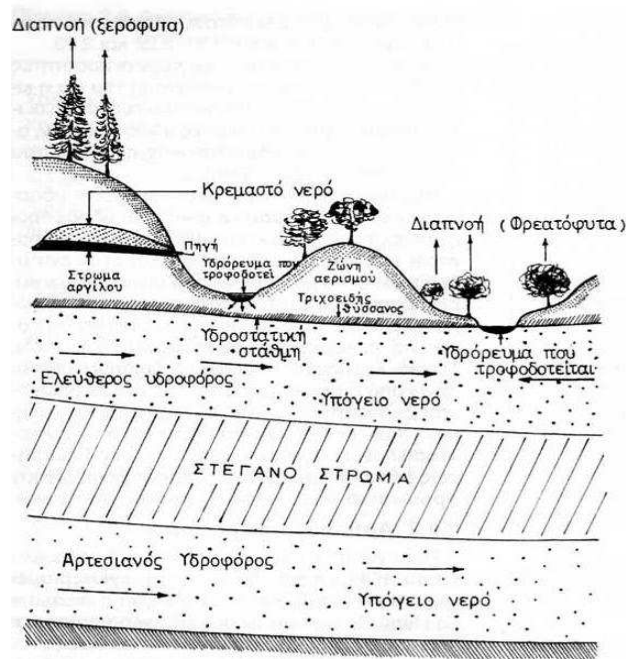
1.3 Ελεύθεροι, αρτεσιανοί υδροφόροι και υδρομαστευτικά έργα [4]

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ποσότητες του διαθέσιμου νερού η κατανομή του και η κίνησή του στον υδροφόρο, κατασκευάζονται οι ισοσταθμικοί χάρτες υδροϊσοϋψών, από μετρήσεις της υδροσταθμικής στάθμης του νερού μέσα στις γεωτρήσεις.

Μια ειδική περίπτωση των ελεύθερων υδροφόρων είναι οι κρεμαστοί (perched) υδροφόροι ή κρεμαστά υδροφόρα σώματα (perched ground-water bodies), που σχηματίζονται όταν ένα υδροφόρο στρώμα ή σώμα, χωρίζεται από το κύριο υδροφόρο. Τέτοιοι κρεμαστοί υδροφόροι δημιουργούνται πάνω από αργιλικούς φακούς, οι οποίοι βρίσκονται σε κλαστικές αποθέσεις ή σε καρστοποιημένα στρώματα ασβεστόλιθων.



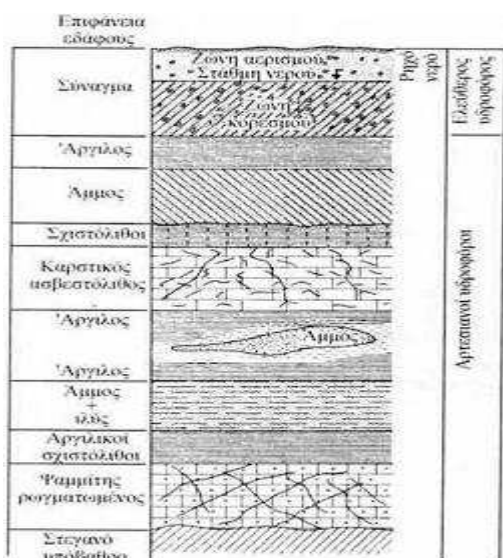




Εικ1.4 Διάφορες εμφανίσεις του υπόγειου νερού[4]

### 1.4.2 Αρτεσιανοί υδροφόροι

Είναι γνωστοί στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία (Todd, 1980, Walton, 1970) και σαν εγκλωβισμένοι ή με πίεση (confined or artesian or pressure aquifers). Σ' αυτούς το υπόγειο νερό βρίσκεται «εγκλωβισμένο» ανάμεσα στα σχετικά αδιαπέραστα στρώματα της οροφής και του δαπέδου, με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.



Εικ.1.5 Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου[4].

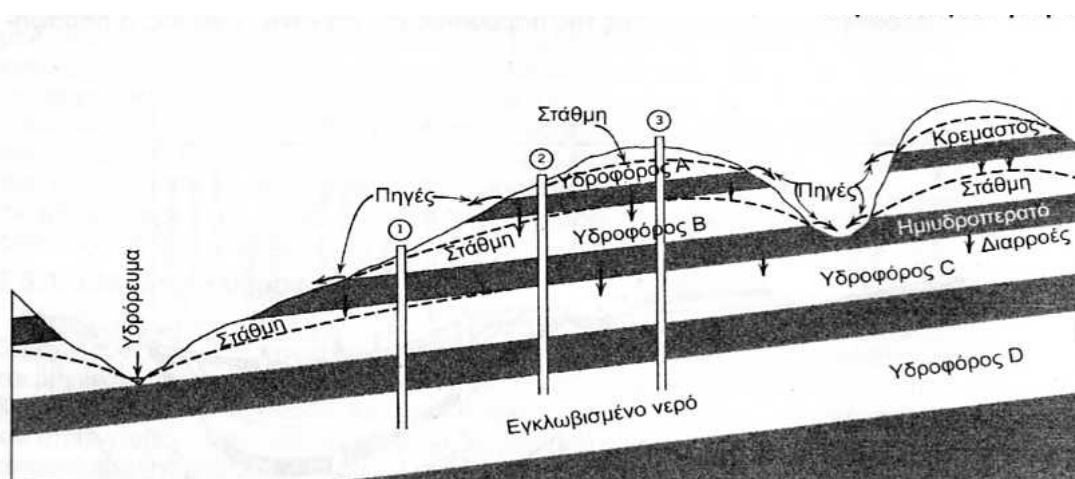
Η στάθμη του νερού σε μια υδρογεώτρηση, που βρίσκεται σε αρτεσιανό υδροφόρο ανεβαίνει ψηλότερα από τον πυθμένα της αδιαπέραστης οροφής. Κατά κανόνα, οι αρτεσιανοί υδροφόροι μεταπίπτουν προς τα έναντι σε ελεύθερους υδροφόρους λόγω διακοπής της παρουσίας της στεγανής οροφής, ή αποσφήνωσης της. Από αυτή την περιοχή γίνεται κατά κύριο λόγο ο εμπλουτισμός των αρτεσιανών υδροφόρων. Η περιοχή που τροφοδοτεί με νερό τον αρτεσιανό υδροφόρο ονομάζεται περιοχή τροφοδοσίας ή εμπλουτισμού (recharge area).

Πέρα όμως από την περιοχή τροφοδοσίας, το νερό μπορεί να περάσει στον αρτεσιανό υδροφόρο από το σχετικά αδιαπέραστο στρώμα. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού στις αρτεσιανές υδρογεωτρήσεις, δηλαδή σε γεωτρήσεις που

υδρομαστεύουν αρτεσιανούς υδροφόρους, προέρχονται, κατά κύριο λόγο, από τις μεταβολές της πίεσης και όχι τόσο από τις μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού. Έτσι, οι αρτεσιανοί υδροφόροι παρουσιάζουν μικρές μόνο μεταβολές της αποθήκευσης και δρουν κατά κύριο λόγο σαν αγωγοί για τη μεταβίβαση του νερού από τις περιοχές τροφοδοσίας στις θέσεις φυσικής ή τεχνητής εκροής.

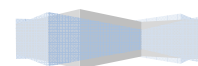
Όταν η οροφή ή το δάπεδο ή και τα δύο είναι στρώματα ημιυδροφόρα, οι υδροφόροι είναι ημιαρτεσιανοί.

Η πιεζομετρική επιφάνεια (piezometric or potentiometric surface) ενός αρτεσιανού υδροφόρου είναι μια εικονική επιφάνεια που συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο. [4]



1.6 Ελεύθερος, αρτεσιανός και κρεμαστός υδροφόρος σε μια στρωματογραφική ακολουθία ψαμιτών και σχιστολιθών. Με βάση τα στοιχεία μόνο της γεώτρησης 1, ο υδροφόρος B κατατάσσεται στους κρεμαστούς κι ο υδροφόρος C στους ελεύθερους. Με βάση μόνο τα στοιχεία της γεώτρησης 2, οι υδροφόροι κατατάσσονται ο A στους κρεμαστούς, ο B στους ελεύθερους και οι C και D στους αρτεσιανούς. Με βάση μόνο τα στοιχεία της γεώτρησης 3, όλοι οι υδροφόροι, πλην του A, κατατάσσονται στους αρτεσιανούς. [4]

Η στάθμη του νερού μέσα στη γεώτρηση, που υδρομαστεύει έναν αρτεσιανό υδροφόρο, καθορίζει το ύψος της πιεζομετρικής επιφάνειας στο σημείο αυτό. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται ελεύθερη αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα. Από τις μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης του νερού μέσα σε υδρογεωτρήσεις και πιεζόμετρα κατασκευάζονται οι πιεζομετρικοί χάρτες. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια ενός αρτεσιανού υδροφόρου πέσει κάτω από τον πυθμένα της αδιαπέραστης οροφής, τότε ο υδροφόρος συμπεριφέρεται σαν ελεύθερος. Είναι πολύ συνηθισμένη η περίπτωση που ένας ελεύθερος υδροφόρος υπέρκειται, με παρεμβολή στεγανού στρώματος ενός αρτεσιανού υδροφόρου. (1.3, 1.4, 1.5, 1.6)



### 1.4.3 Ημιαρτεσιανοί ή υδροφόροι με διαρροές (Leaky aquifers)

Είναι οι πιο συνηθισμένοι τύποι υδροφόρων οριζόντων παρά το γεγονός ότι είναι δύσκολη η αναγνώριση τους, συνήθως λόγω κακής ερμηνείας των διαγραμμάτων των αντλητικών δοκιμασιών. Γενικά, οι ημιαρτεσιανοί υδροφόροι απαντούν στις αλλουβιακές κοιλάδες ή σε λεκάνες παλιών λιμνών, όπου ένα περατό στρώμα υπόκειται ή υπέρκειται ενός ημιυδροφόρου ή γενικά ημιπερατού στρώματος. Η άντληση νερού από μια υδρογεώτρηση, που υδρομαστεύει έναν ημιαρτεσιανό υδροφόρο, προκαλεί την κίνηση του νερού κατά δύο κατευθύνσεις, οριζόντια ροή μέσα στον υδροφόρο και κατακόρυφη ροή από το ημιυδροφόρο στρώμα προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Σημειώνεται ότι η φορά της κατακόρυφης ροής εξαρτιέται από τη σχετική θέση της πιεζομετρικής και της υδροστατικής επιφάνειας.[4]

### 1.4.4 Εξιδανικευμένοι υδροφόροι (Idealized aquifers)

Για τους μαθηματικούς υπολογισμούς της αποθήκευσης και της ροής του υπόγειου νερού, συχνά είναι απαραίτητη η παραδοχή ότι οι υδροφόροι είναι ομοιογενείς και ισότροποι. Σ' έναν ομοιογενή υδροφόρο οι υδραυλικές του ιδιότητες είναι οι ίδιες σε κάθε σημείο του. Στον ισότροπο υδροφόρο ορίζοντα οι πιο πάνω ιδιότητες είναι ανεξάρτητες από τη θεωρούμενη διεύθυνση. Τέτοιοι εξιδανικευμένοι υδροφόροι δεν υπάρχουν στη φύση παρά ταύτα όμως επιτυγχάνονται ικανοποιητικές ποσοτικές προσεγγιστικές λύσεις με τις πιο πάνω παραδοχές, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα οι μέσες υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες.[4]

## 1.5 Παράμετροι Υδροφορέων

Οι υδροφορείς μπορεί να χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να συκρατούν και να μετακινούν ύδωρ. Οι ιδιότητες που τους χαρακτηρίζουν είναι:

- 1) Το πορώδες (porosity). Πορώδες είναι το ποσοστό του πετρώματος η του εδάφους που δεν καταλαμβάνεται από στερεά υλικά και ορίζεται ως:

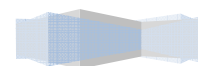
$$\text{Πορώδες } n = \frac{V_v}{V_o}$$

Όπου  $V_v$ : ο όγκος των κενών

$V_o$ : ο συνολικός όγκος του δείγματος

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες είναι :

- 1) Η κοκκομετρική σύνθεση
- 2) Η διάταξη των κόκκων
- 3) Το σχήμα των κόκκων



Ενώ χαρακτηριστικές τιμές του πορώδους και της ειδικής απόδοσης είναι:

Πιν.: Πίνακας χαρακτηριστικών τιμών πορώδους και ειδικής απόδοσης [3]

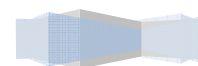
Υλικά	Πορώδες (%)	Ειδική απόδοση
<i>Μη διασταυρωμένα υλικά</i>		
Χαλίκια		15-30 25-35
Άμμος		10-30 25-45
Ίλος		5-10 35-50
Πηλός		1-5 45-55
Άμμος και χαλίκια		20-30 10-20
<i>Διασταυρωμένα υλικά</i>		
Αμμώλιθος	5 – 30	3 – 15
Δολοματικοί ασβεστόλιθοι	1 – 20	0,5 – 10
Καρστικοί ασβεστόλιθοι	5 – 30	2 – 15
Σχιστόλιθος	1 – 10	0,5 – 5
Κυστοειδής βασάλτης		10 – 40
Αποσαθρωμένος βασάλτης	5 – 30	2 – 10
Πορώδης βράχος		10 – 60
Φρέσκος γρανίτης και γλευσίτης	0,01 – 2	<0,1
Αποσαθρωμένος γρανίτης και γλευσίτης	1 - 15	0,5 - 5

2) Το ενεργό πορώδες (effective porosity,  $n_e$ ) ή ειδική απόδοση (specific yield). Ενεργό πορώδες είναι το ποσοστό των πόρων που είναι διαθέσιμο για τη ροή του ρευστού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα ποσοστό των πόρων δεν επικοινωνούν μεταξύ τους.

$$n_e = \frac{V_Y}{V_o}$$

Όπου  $V_Y$ : ο όγκος του νερού που μπορεί να στραγγιστεί κάτω από την επίδραση της βαρύτητας  
 $V_o$ : ο συνολικός όγκος του εδάφους.[3]

## 1.6 Συντελεστής υδροχωρητικότητας (Storage coefficient)





Το νερό που τροφοδοτεί έναν υδροφόρο ή που εκρέει από αυτόν, αντιπροσωπεύει μια μεταβολή του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο. Στους ελεύθερους υδροφόρους αυτό εκφράζεται από το γινόμενο του όγκου του υδροφόρου που βρίσκεται κάτω από την υδροστατική του επιφάνεια, στην αρχή και στο τέλος μιας θεωρούμενης χρονικής περιόδου, επί τη μέση ειδική απόδοση του σχηματισμού. Στους αρτεσιανούς υδροφόρους και με την παραδοχή ότι παραμένουν κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους, οι μεταβολές της πίεσης προκαλούν μικρές μόνο μεταβολές στον αποθηκευμένο όγκο νερού. Έτσι, η υδροστατική πίεση μέσα σε έναν υδροφόρο υποβαστώνει, μερικά, το βάρος των υπερκειμένων του υδροφόρου υλικών. Το υπόλοιπο βάρος το δέχεται ο στέρεος σκελετός του υδροφορέα, όταν ελαττώνεται η υδροστατική πίεση με την άντληση νερού π.χ., αυξάνει το φορτίο (βάρος) που υποβαστώνεται από το σκελετό. Προκαλείται συμπίεση του σκελετού του υδροφόρου. Η συμπίεση αυτή αναγκάζει κάποια ποσότητα νερού να ελευθερωθεί από την αποθήκευση. Επιπλέον, ο υποβιβασμός της πίεσης προκαλεί μικρή ελαστική διόγκωση και πρόσθεση απελευθέρωση νερού. Η ικανότητα των αρτεσιανών υδροφόρων να απελευθερώνουν νερό, λόγω συμπίεσης του σκελετού τους και διόγκωσης του περιεχόμενου νερού, εκφράζεται από την ειδική υδροχωρητικότητα  $S_s$  (SpecificStorage) ή αποθηκευτικότητα.

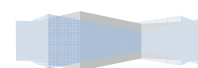
Για έναν αρτεσιανό υδροφόρο πάχους  $b$  η υδροχωρητικότητα ή συντελεστής υδροχωρητικότητας (storativity, storagecoefficient)  $S$ , ορίζεται από το γινόμενο:

$$s = S_s \cdot b = \rho g b (\alpha + \theta \beta)$$

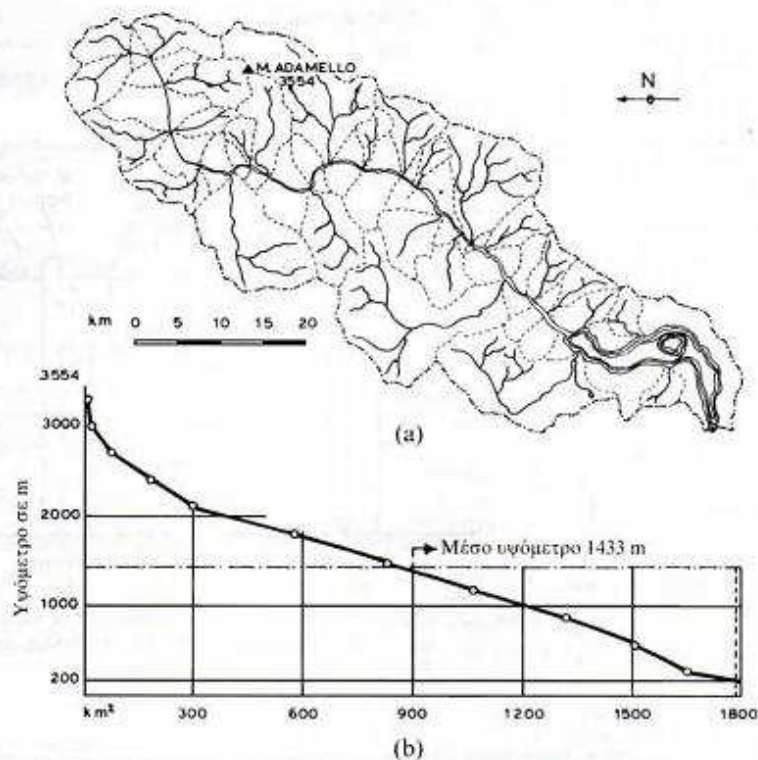
Όπου  $\alpha$  η συμπίεσιμότητα του υδροφορέα,  $\beta$  η συμπίεσιμότητα του ρευστού και  $\theta$  το πορώδες. Δηλαδή, ο συντελεστής υδροχωρητικότητας ή αποθηκευτικότητας  $S$  ενός αρτεσιανού υδροφόρου πάχους  $b$ , είναι ο όγκος του νερού που ελευθερώνεται ή αποθηκεύεται ανά μονάδα επιφάνειας του υδροφόρου ανά μονάδα μεταβολής της συνιστώσας του υδραυλικού φορτίου που είναι κάθετη στην πιο πάνω επιφάνεια. [4]

## 1.7 Η υδρογεωλογική λεκάνη (Ground water basin)

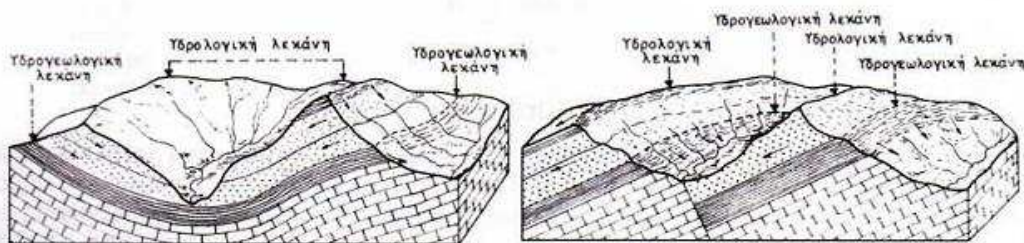
Η υδρογεωλογική λεκάνη είναι μια υδρογεωλογική ενότητα που περιέχει ένα μεγάλο ή περισσότερους αλληλοσυνδεδεμένους υδροφόρους (Todd, 1980, [4]). Μια υδρογεωλογική λεκάνη σημαίνει, με άλλα λόγια, μια περιοχή που περιλαμβάνει υπόγεια αποθήκη ικανή να δώσει αξιόλογη ποσότητα νερού. Τέτοια λεκάνη μπορεί να συμπίπτει ή όχι με μια φυσιογραφική μονάδα ή με μια υδρολογική λεκάνη. Η τελευταία είναι ταυτόσημη με τη λεκάνη απορροής (drainagebasin), δηλαδή με τη λεκάνη ενός υδρορεύματος που ορίζεται από την υδροκριτική γραμμή ή τον υδροκρίτη (waterdivide), που είναι η γραμμή εκατέρωθεν, της οποίας τα επιφανειακά νερά ρέουν προς αντίθετες κατευθύνσεις. Με άλλα λόγια, η λεκάνη απορροής είναι είναι η φυσιογραφική ενότητα που τροφοδοτεί με επιφανειακό νερό ένα υδρόρευμα, ενώ η υδρογεωλογική λεκάνη είναι η γεωλογική ενότητα που τροφοδοτεί με υπόγειο νερό έναν υδροφόρο ή ένα υδροφόρο σύστημα. Η λεκάνη απορροής και η υδρογεωλογική λεκάνη μπορεί να συμπίπτουν ή όχι. Σε μια κοιλάδα που διαμορφώνεται ανάμεσα στα βουνά, η υδρογεωλογική λεκάνη είναι δυνατόν να κατέχει μόνο το κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής. Αντίθετα, στους καρστικούς σχηματισμούς και στους αμμολόφους οι δύο λεκάνες είναι τελείως διαφορετικές και συχνά ανεξάρτητες ανάμεσά τους. Η εικόνα 1.7 δείχνει μια φυσιογραφική



(υδρολογική) λεκάνη μαζί με την υψογραφική της καμπύλη. Η εικόνα 1.8 δίνει παραδείγματα όπου υδρολογική και υδρογεωλογική λεκάνη δεν συμπίπτουν.



Εικ 1.7 Παράδειγμα υδρολογικής λεκάνης με το υδρολογικό δίκτυο (α) και την υψογραφική της καμπύλη (β) [4]



1.8 Δύο παραδείγματα στα οποία δε συμπίπτουν η υδρολογική και υδρογεωλογική λεκάνη. Τα σιτικά στρώματα είναι διαπερατά, εκείνα με συνεχή γραμμή στεγανά. [4]

## 1.8 Πηγές

Πηγή (Spring) είναι μια συγκεντρωμένη εκροή υπογείου νερού, που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους σαν ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα. Πρέπει να γίνει αντιδιαστολή της πηγής από τη διαρροή (seepage), η οποία είναι μια πιο αργή κίνηση υπογείου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό στις περιοχές διαρροών μπορεί να σχηματίσει μικρά τέλματα ή ροές ή και να εξατμιστεί, ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής, το κλίμα και την τοπογραφία.

Διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των πηγών έχουν προταθεί χωρίς να έχει καθιερωθεί κάποιος από αυτούς. Πιο επιτυχημένες κρίνονται οι ταξινομήσεις που έχουν προταθεί στην καρστική υδρογεωλογία., [4]

Ο Bryan διέκρινε τις πηγές στις προερχόμενες: i) από τις δυνάμεις βαρύτητας (βαρυτικές πηγές) και ii) από άλλες δυνάμεις εκτός βαρύτητας (μη βαρυτικές πηγές).

α) **Βαρυτικές πηγές** (gravity springs) : προέρχονται από νερό που ρέει κάτω από υδροστατική πίεση. Ο Bryan διέκρινε τους παρακάτω τύπους:

- **πηγές ταπεινώσεων**(*depression springs*): σχηματίζονται εκεί που η επιφάνεια του εδάφους τέμνει την υδροστατική ή πιεζομετρική επιφάνεια.

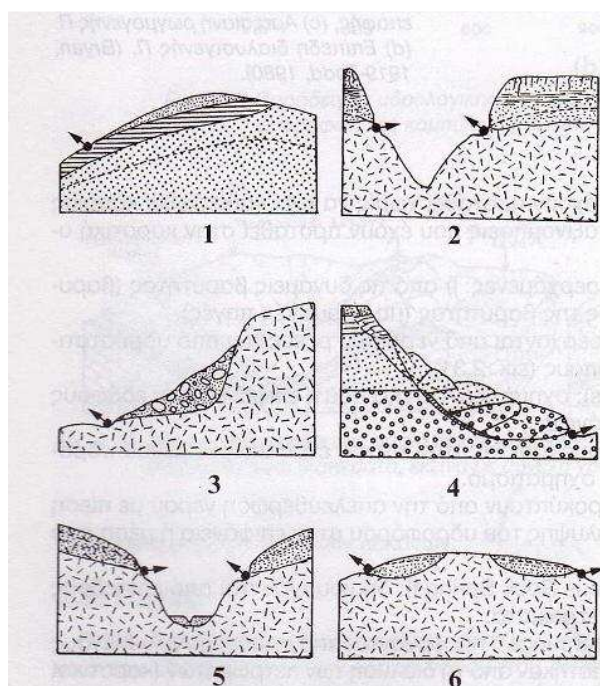
- **Πηγές επαφής** (*contact springs*): δημιουργούνται στην επαφή ενός υπερκείμενου υδροφόρου με ένα υποκείμενο , λιγότερο περατό σχηματισμό.

- **Αρτεσιανές πηγές** (*artesian springs*): προκύπτουν από την απελευθέρωση νερού με πίεση από αρτεσιανούς υδροφόρους, λόγω αποκάλυψης του υδροφόρου στην επιφάνεια ή μέσα από άνοιγμα στην αδιαπέραστη οροφή.

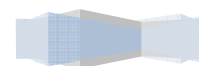
- **Πηγές στεγανών πετρωμάτων** (*impervious rock springs*): δημιουργούνται από επίπεδους αγωγούς ή ρωγμές στα στεγανά συμπαγή πετρώματα.

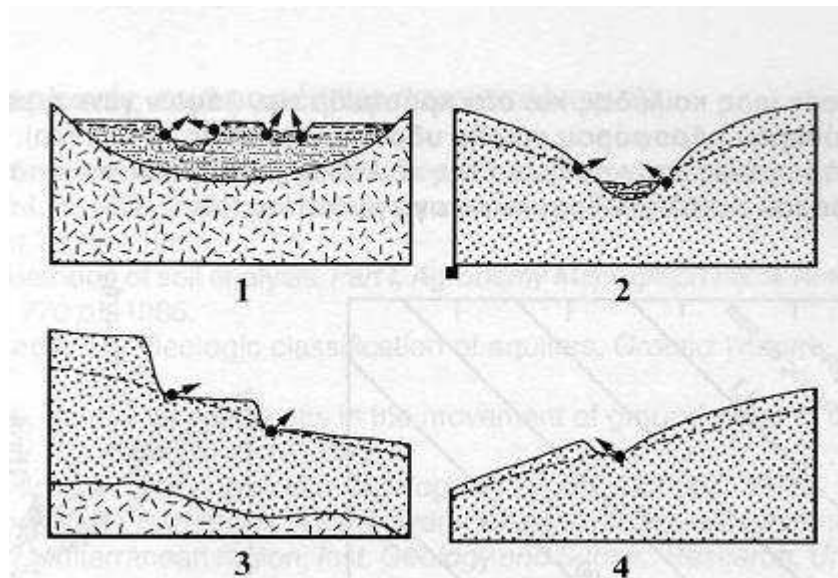
- **Ρωγμογενείς πηγές** (*taboular or fracture springs*): προέρχονται από αποστρωγγυλωμένους αγωγούς ή από αγωγούς που σχηματίστηκαν από τη διάλυση των πετρωμάτων (καρστικοί αγωγοί) ή από ρωγμές σε στεγανό πέτρωμα που επικοινωνούν με υπόγειο νερό.

β) **Μη βαρυτικές πηγές** (*non gravity springs*): πρόκειται, κατά κύριο λόγο, για θερμές και μεταλλικές πηγές που το νερό τους προέρχεται από μεγάλο βάθος.[4]



1.9 Διάφοροι τύποι πηγών 1) μανδύα 2) Κρεμαστή Π. 3) Π. Κώνου κορημάτων 4) Π. Κατολίσθησης 5) Π. Παλιών αλλούβιων 6) Π. τσέπης[4]





1.10 Διάφοροι τύποι πηγών 1) Κοιλαδογενής Πηγή 2) Υδρορεύματος 3) Π. Κλιτούς 4) Π. Τοπογραφικής ταπεινώσης [4]

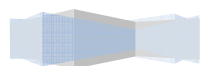
Ο Tolman [4] διακρίνει τις αλλουβιακές πηγές καθώς και τους τύπους των πηγών που αναφέρονται στις 1.9 και 1.10.

Οι Richter-Wager [4] διέκριναν (1.11) τους πιο παρακάτω τύπους πηγών:

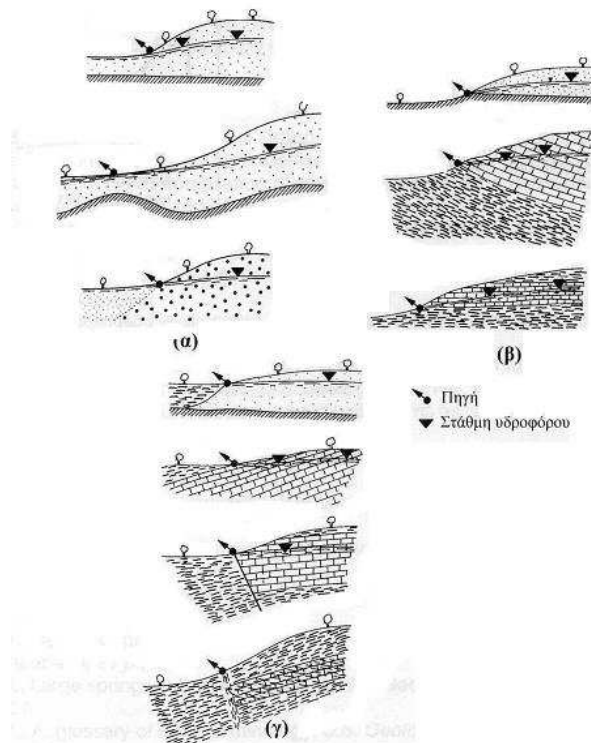
- α) Μορφολογικές: οφείλονται στην πλευρική πίεση της διαπερατότητας.
- β) Στρωματογενής: το υδροφόρο στρώμα τελειώνει με φυσικό τρόπο ή λόγω διάβρωσης.
- γ) Πηγές φραγμού: το υδροφόρο στρώμα διακόπτεται από την παρουσία στεγανού στρώματος ή ρήγματος.

Μέγεθος πηγής	Μέση παροχή
Πρώτο	$>10 \text{ m}^3/\text{s}$
Δεύτερο	$1 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$
Τρίτο	$0,1 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$
Τέταρτο	$10 - 100 \text{ l/s}$
Πέμπτο	$1 - 10 \text{ l/s}$
Έκτο	$0,1 - 1 \text{ l/s}$
Έβδομο	$10 - 100 \text{ ml/s}$
Όγδοο	$<10 \text{ ml/s}$

Πίνακας 2. Ταξινόμηση πηγών ανάλογα με την παροχή τους κατά Meinzer[4]

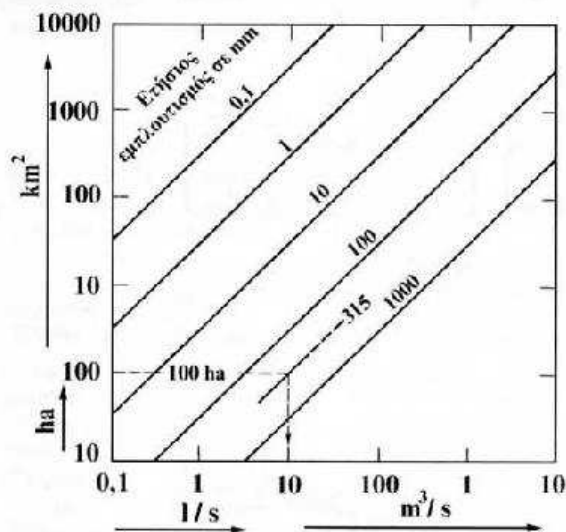






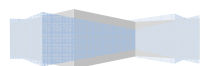
1.11 Τύποι πηγών (Richter – Wager, in Bentz-Martini ed., 1969): α) Πηγές στέγνωσης, β) Στρωματογενής – υπερχείλισης, γ) Πηγές φραγμού[4]

Για τον καθορισμό του μεγέθους των πηγών ο Meinzer πρότεινε την ταξινόμηση, που δίνεται στον πίνακα 1. Συνήθως πηγές μεγάλου μεγέθους απαντούν στις ηφαιστειακές και στις καρστικές περιοχές. Η παροχή μιας πηγής εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής τροφοδοσίας του υδροφόρου που εκφορτίζεται από την πηγή και την ένταση της τροφοδοσίας. Η 1.12 εκφράζει γραφικά τη σχέση ανάμεσα στα μεγέθη αυτά. [4]



1.12 Σχέση της έκτασης της λεκάνης απορροής πηγής και παροχής.[4]

Οι περισσότερες πηγές παρουσιάζουν διακύμανση της παροχής τους. Οι διακυμάνσεις αυτές αντανακλούν τις μεταβολές στην ένταση του εμπλουτισμού, με



διάρκεια εμπλουτισμού που κυμαίνεται από λεπτά της ώρας μέχρι χρόνια και βρίσκονται σε στενή σχέση με τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες.

Οι μόνιμες πηγές (perennialsprings) αποστραγγίζουν συνήθως εκτεταμένους υδροφόρους και δίνουν νερό όλο το χρόνο, ενώ διαλείπουσες (intermittentsprings) δίνουν νερό μόνο για χρονικά διαστήματα μηνών. Μόνιμες πηγές, σχετικά σταθερής παροχής, δίνουν τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι αμμόλοφοι. Οι περιοδικές πηγές παρουσιάζουν κανονικές, κατά το μάλλον ή ήττον, χρονικές διακυμάνσεις της παροχής τους που δεν έχουν σχέση με τις βροχοπτώσεις ή με εποχιακά γεγονότα. Τέτοιες διακυμάνσεις μπορούν να προκληθούν από μεταβολές στην διαπνοή, στην ατμοσφαιρική πίεση, από την επίδραση παλιρροιακών φαινομένων πάνω σε αρτεσιανούς υδροφόρους και από φυσικούς σίφωνες που δρουν σε υπόγειους ταμιευτήρες. Στους παράκτιους καρστικούς σχηματισμούς είναι συχνές οι εμφανίσεις παράκτιων και υποθαλάσσιων καρστικών πηγών. Τέτοιες πηγές εμφανίζονται στις Μεσογειακές ακτές και στη Χαβάη (ηφαιστειακά πετρώματα).

Οι πηγές αποτελούν μια ασφαλή ένδειξη του είδους της υδροφορίας μιας περιοχής. Μεγάλος αριθμός μικρών πηγών στις παρυφές μιας κοιλάδας και στα κράσπεδα των λόφων γενικά μαρτυρούν την ύπαρξη ρηχού ελεύθερου υδροφόρου μικρής υδροπερατότητας. Αντίθετα, μεγάλες πηγές συγκεντρωμένες στον πυθμένα της κοιλάδας μαρτυρούν την ύπαρξη σημαντικού ελεύθερου υδροφόρου μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας.

## 1.9 Ο νόμος του Darcy (Υδραυλική αγωγιμότητα)

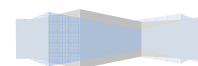
Για να μελετήσει τις σχέσεις υδραυλικής κλίσης  $i$  και ταχύτητας  $V$  κατά τις ροές διήθησης, ο Darcy επινόησε και χρησιμοποίησε τη συσκευή του παρακάτω σχήματος που λέγεται και περατόμετρο του Darcy. Αυτή αποτελείται από έναν κύλινδρο  $\Sigma$  μέσα στον οποίο τοποθέτησε ένα δείγμα υλικού το οποίο ήθελε να μελετήσει και δύο λεκάνες  $A$  και  $B$  που συνδέονται με τον κύλινδρο σε διαμέσου σωλήνων. Ο κύλινδρος φέρει κατακόρυφους σωλήνες (πιεζόμετρα) που μπορούμε να παρατηρήσουμε το πιεζομετρικό ύψους  $h$ . Ο Darcy μετακίνησε τις λεκάνες  $A$  και  $B$  ώστε να μεταβληθεί η απώλεια φορτίου  $i$  και κατά συνέπεια οι υδραυλική κλίση  $i$  αφού το μήκος  $l$  του κυλίνδρου  $\Sigma$  παρέμεινε σταθερό και επανέλαβε πολλές φορές το πείραμα με διαφορετικά δείγματα πορώδους μέσου αλλά και με διαφορετικές υδραυλικές κλίσεις για κάθε δείγμα. Έτσι βρήκε ότι η παροχή  $q$  που τελικά έπαιρνε από την λεκάνη  $B$  ήταν:

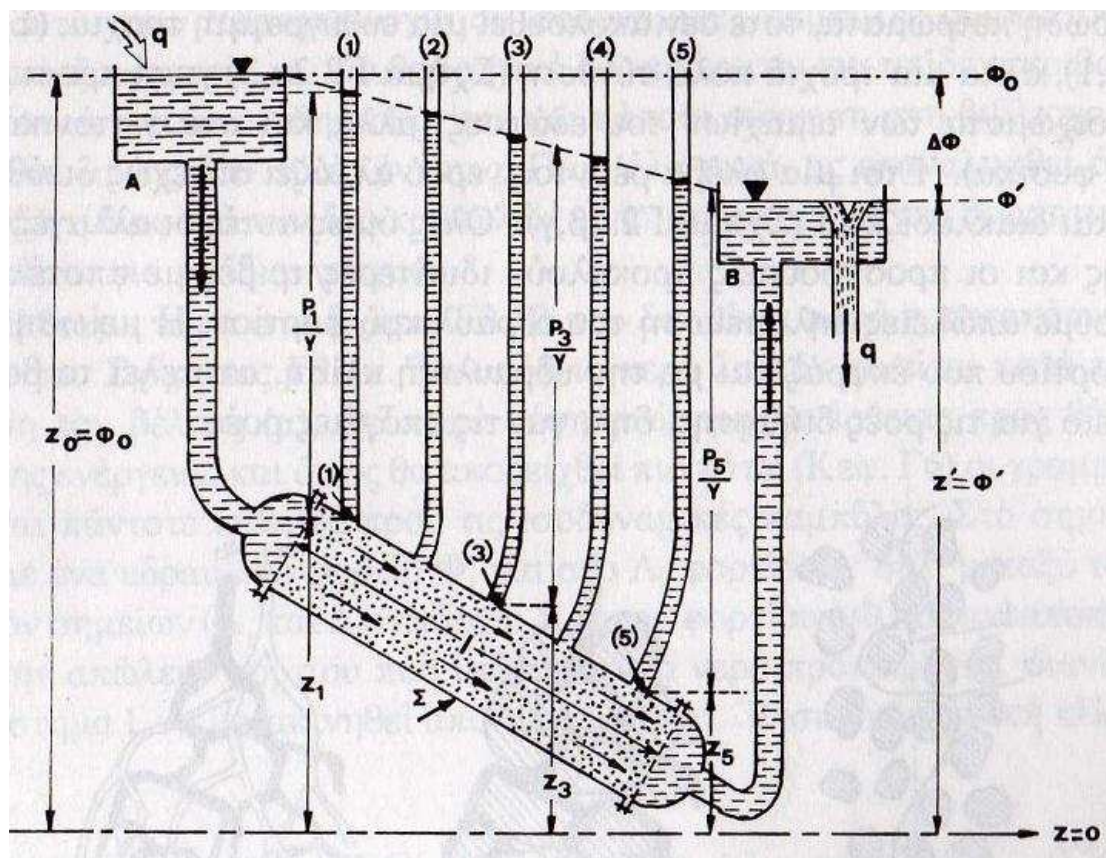
$$q = Ek \frac{\Delta\Phi}{l} \quad (1)$$

Όπου,  $E$  = η διατομή του κυλίνδρου  $\Sigma$

$$\frac{\Delta\Phi}{l} = i = \text{η υδραυλική κλίση}$$

$k$  = (συντελεστής περατότητας) μια σταθερή που εξαρτάται μόνο από την φύση του χρησιμοποιηθέντος δείγματος. Είναι μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που ρυθμίζει την υδραυλική συμπεριφορά των διαφόρων πετρωμάτων και σχηματισμών.





Σχήμα 1.13 Η συσκευή και πείραμα του Darcy[4]

Η σχέση (1) μπορεί να γραφεί:

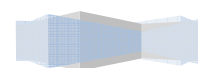
$$\frac{q}{E} = k \frac{\Delta\Phi}{l} \quad (2)$$

αλλά  $\frac{q}{E} = V = \eta$  ταχύτητα της ροής διήθησης, γιατί εξ ορισμού  $q = EV$  και εξ άλλου το πηλίκο  $q/E$  έχει διαστάσεις ταχύτητας. Έτσι η (2) γίνεται:

$$V = k \frac{\Delta\Phi}{l} \quad \text{ή} \quad V = ki \quad (3)$$

Αυτές οι δύο ταυτόσημες σχέσεις αποτελούν την μαθηματική έκφραση του νόμου του Darcy: η ταχύτητα μιας ροής διήθησης είναι συνάρτηση της υδραυλικής κλίσης  $i$  και του συντελεστή περατότητας του διαρρέομενου σχηματισμού.

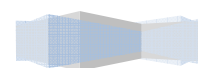
Το πείραμα του Darcy απόδειξε ότι η ταχύτητα  $V$  δεν μεταβάλλεται όποιος και αν είναι ο προσανατολισμός του κυλίνδρου  $\Sigma$ . Αυτό βασικά σημαίνει ότι το νερό κινείται απλώς από θέση υψηλότερης ενέργειας προς θέση χαμηλότερης ενέργειας, άσχετα αν το νερό αυτό «ανεβαίνει» ή «κατεβαίνει» σε σχέση με κάποιο επίπεδο αναφοράς.



Ο νόμος του Darcy αναφέρεται και ισχύει φυσικά σε μονοφασικές ροές διήθησης, σε ροές δηλαδή όπου έχουμε πρακτικά μία ρέουσα φάση, ένα υγρό, (το νερό για την περίπτωσή μας) και κατά συνέπεια ισχύει για υδροφόρα κορεσμένα σε νερό. Είναι η πρακτικά συνηθέστερη περίπτωση που μας ενδιαφέρει.

Η φυσική σημασία του νόμου του Darcy γίνεται προφανής από όσα γράφτηκαν. Είναι σαφές ότι η ροή ενός υγρού μέσα σε ένα πορώδες μέσο προκαλεί διάφορες τριβές που οφείλονται τόσο στο ιξώδες, όσο στις προσκρούσεις των μορίων του υγρού με τα εσωτερικά τοιχώματα του μέσου. Έτσι έχουμε μια υποβάθμιση ενέργειας: δηλαδή ένα μέρος της μηχανικής ενέργειας του υγρού – ένα μέρος του υδραυλικού φορτίου - μετατρέπεται με τις τριβές σε θερμότητα. Έτσι προκαλείται μια μείωση, μια απώλεια του φορτίου. Ο νόμος του Darcy δείχνει ακριβώς πως αυτή η μείωση του υδραυλικού φορτίου εξαρτάται από την ταχύτητα της ροής διήθησης.

Ο νόμος του Darcy ισχύει για αριθμούς Reynolds < 1, έχει παρατηρηθεί όμως ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και για  $Re=10$ . Στην περίπτωση των υπογείων νερών συμβαίνει με  $Re=1$ , πράγμα το οποίο εξασφαλίζει τη χρήση του νόμου Darcy χωρίς καμία προϋπόθεση, πλην των περιπτώσεων που υπάρχει μεγάλη υδραυλική κλίση, όπως κοντά σε φρέαρ άντλησης ή σε περιπτώσεις που υπάρχει τυρβώδης ροή όπως κοντά σε βασάλτη ή ασβεστόλιθο με μεγάλα ανοίγματα.





## 2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή - ορισμός

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας σε αυτούς, δηλαδή της εισπνοής θαλάσσιου νερού στο σύστημα των εν λόγω υδροφορέων. Η εισροή αυτή μπορεί να είναι μόνιμη ή συνηθέστερα μη μόνιμη ροή. Έτσι, το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού. Αποτέλεσμα της διείσδυσης αυτής της θάλασσας είναι η υφαλμύρωση των υδροφορέων αυτών.

Με τον όρο « υφαλμύρωση υδροφορέων » εννοείται η ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρωσης αυτής μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Αυτή η διείσδυση του αλμυρού νερού μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας) όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές σε συνδυασμό και των δύο. Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και αφορά συγκεκριμένους υδροφορείς με γνωστά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρεάτια κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε το θαλάσσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού. Πρέπει να τονιστεί ότι το φαινόμενο δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση.

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης στις περισσότερες περιπτώσεις αναγνωρίζεται από τους υπεύθυνους υδρογεωλόγους και μηχανικούς. Συνήθως όμως είναι άγνωστη η έκτασή του, λόγω έλλειψης στοιχείων. Δεν είναι δηλαδή εύκολη η ποσοτικοποίηση του προβλήματος. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφορέα συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθιστάται εύκολα. Επιπλέον στις περισσότερες φορές το πρόβλημα φθάνει σε ανεπίτρεπτα όρια και τα κατάλληλα μέτρα δεν παίρνονται εγκαίρως. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι συνήθως συνδεδεμένη με οικονομικούς, κοινωνικούς, νομικούς και πολιτικούς παράγοντες και αυτό δυσχεραίνει ιδιαίτερα το πρόβλημα.

Προβλήματα υφαλμύρωσης παρατηρούνται σε μεγάλη-περιφερειακή ή μικρή-τοπική κλίμακα. Στην πρώτη περίπτωση επηρεάζονται μεγαλύτερες εκτάσεις από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως πχ. από εγχειοβελτιωτικά έργα. Λέγοντας μικρής κλίμακας προβλήματα, εννοείται η επίδραση που παρατηρείται στην διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού στην περιοχή γύρω και κάτω από ένα φρέαρ άντλησης.

Τα προβλήματα αυτά είναι ιδιαίτερα σύνθετα και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής τους. Μια τεχνική η οποία ακολουθείται είναι η εφαρμογή κατά τη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων μεθόδων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

Η μαθηματική προσομοίωση αποτελεί για τον μελετητή ένα δυναμικό εργαλείο που διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση υπόγειων υδροφορέων και επιτρέπει την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι εφαρμοσμένες αυτές μαθηματικές προσομοιώσεις είναι χρήσιμες επίσης στις αναγνωριστικές έρευνες, σε φάσεις

προκαταρκτικής μελέτης ή προμελέτης ενός έργου, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς υδροφορέα μετά από μετρήσεις πεδίου.

Βασική προϋπόθεση όμως για τα ανωτέρω είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μαθηματική προσομοίωση και την εφαρμογή ενός συγκεκριμένου υπολογιστικού προγράμματος πρέπει να είναι “σωστά”, δηλαδή να αντιπροσωπεύουν πράγματι τον υπό μελέτη υδροφορέα. Η εκπόνηση συνεπώς αξιόπιστων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων είναι αναγκαία.

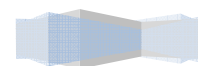
## 2.2 Μέθοδοι προσομοίωσης διεπιφάνειας

Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων, όπως και γενικότερα τα θέματα διαχείρισης υπογείων νερών, αποτελεί διεπιστημονικό αντικείμενο και για την αντιμετώπιση της απαιτείται η συνεργασία πολλών ειδικοτήτων. Για την ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου της διείσδυσης της θάλασσας σε έναν υφάλμυρο υδροφορέα, ιδιαίτερη σημασία έχουν η γνώση της θέσης, των ορίων και των γεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών του συστήματος υπογείων νερών, η σχέση του συστήματος με τα επιφανειακά νερά και γειτονικά οικοσυστήματα, η χημική του σύνθεση και οι πιέσεις και οι επιπτώσεις λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Δύο είναι οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων:

1) Θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους, λόγω υδροδυναμικής διασποράς (Pinder and Cooper, Henry). Η διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς αντιμετωπίζεται σαν ένα είδος ρύπανσης περιβαλλοντικής προέλευσης. Θεωρείται ότι υπάρχουν δύο αναμίξιμα υγρά (δύο συνιστώσες μίας φάσης) και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σαν πρόβλημα υδροδυναμικής διασποράς με συγκέντρωση εξαρτώμενη από την πυκνότητα (για κορεσμένη ροή).

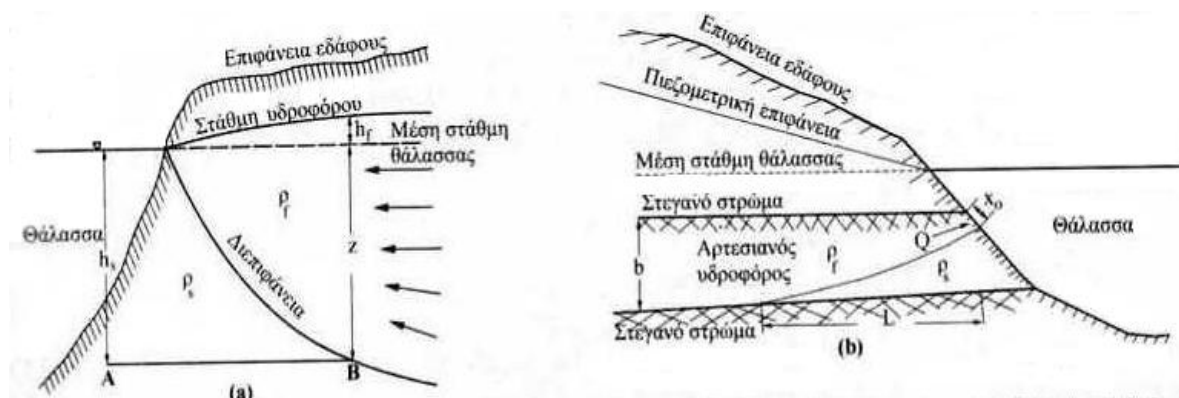
2) Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας (ακίνητης ή κινούμενης), εάν το πάχος της διεπιφάνειας είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα (Ghyben – Herzberg). Γίνεται η παραδοχή ότι υπάρχουν δύο μη αναμίξιμα υγρά (δύο διαφορετικές φάσεις). Για αδιατάρακτες συνθήκες ροής θεωρείται κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή μόνιμη ροή και ακίνητη διεπιφάνεια, με ταυτόχρονη εκροή γλυκού νερού προς τη θάλασσα πάνω από αυτήν. Λόγω άντλησης παρατηρείται κινούμενη διεπιφάνεια, επομένως μία μόνιμη ροή.



## 2.3 Ο νόμος Ghyben–Herzberg

Οι παράκτιοι υδροφόροι, κάτω από φυσικές συνθήκες, αποστραγγίζονται προς την θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις, στις παράκτιες περιοχές ελαττώνουν ή αναστρέφουν την φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό της μείωσης ή αναστροφής της υδραυλικής κλίσης αποτελεί την διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Έτσι, τα αντλούμενα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα, επιβαρύνονται από το θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα καταστρεπτικό, όχι μόνο για τους υδροφόρους, αλλά συχνά και για την οικονομική ζωή του τόπου.

Αν δεχτούμε ότι το γλυκό και το θαλασσινό νερό δεν αναμιγνύονται και δεδομένου ότι έχουν διαφορετικές πυκνότητες, σχηματίζεται ανάμεσά τους μια διεπιφάνεια που το σχήμα της καθορίζεται από το υδροδυναμικό ισοζύγιο, οπουδήποτε τα δύο ρευστά βρίσκονται σε επαφή. Οι εικόνα 2.2 δείχνει μια παράκτια διατομή ενός ελεύθερου υδροφόρου. Κατά τους Ghyben (1888, 1889) και Herzberg (1901), υπάρχει ένα σημείο, όπου συναντώνται οι διατομές της ακτής, της διεπιφάνειας, της στάθμης της θάλασσας και του υδροφόρου.



Εικ. 2.1. Κατανομή γλυκού και αλμυρού νερού σε παράκτιους (α. ελεύθερο και β. αρτεσιανό) υδροφόρους.  $X_0$ , το μέτωπο εκφόρτισης γλυκού νερού.[4]

Η ολική υδροστατική πίεση στο σημείο A είναι (εικ.2.2α):

$$p_A = \rho_s g h_s = \rho_s g z$$

Στο σημείο B η πίεση θα είναι :  $p_B = \rho_f g z + \rho_f g h_f$

Επειδή  $p_A = p_B$  προκύπτει η σχέση Ghyben-Herzberg:

$$z_{(x,y)} = h_{f(x,y)} \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} = \frac{h_f \rho_f}{\Delta \rho}$$

Για  $\rho_s = 1.025 \text{ gr/cm}^3$  και  $\rho_f = 1 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\Delta \rho = \rho_s - \rho_f = 0,025$  και  $\rho_f / \Delta \rho = c = 40$ ,  
οπότε :

$$z = 40h_f$$

Στη σχέση Ghyben-Herzberg, η διεπιφάνεια κλείνει προς την ακτή. Από το νόμο του Darcy:

$$\eta\mu\gamma_i = dh / ds = v_g / k$$

Όπου :

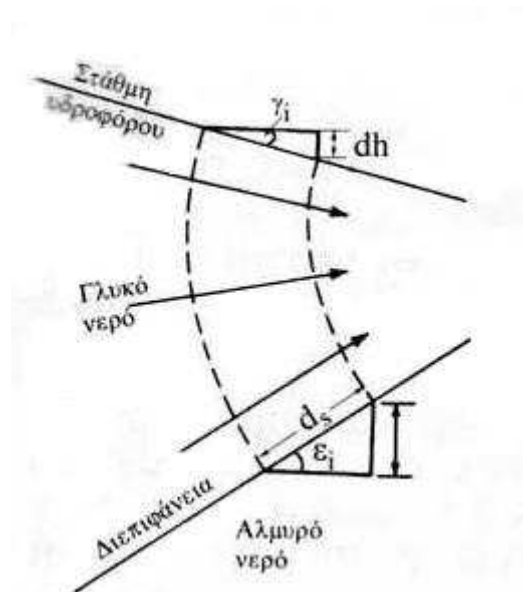
$\gamma_i$  η κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας

$v_g$  η φαινόμενη ταχύτητα του υπόγειου νερού

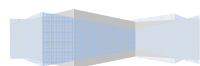
$k$  η υδραυλική αγωγιμότητα.

Η κλίση της διεπιφάνειας, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3 δίνεται από την σχέση:

$$\eta\mu\varepsilon_i = v_g \rho_f / k \Delta\rho$$

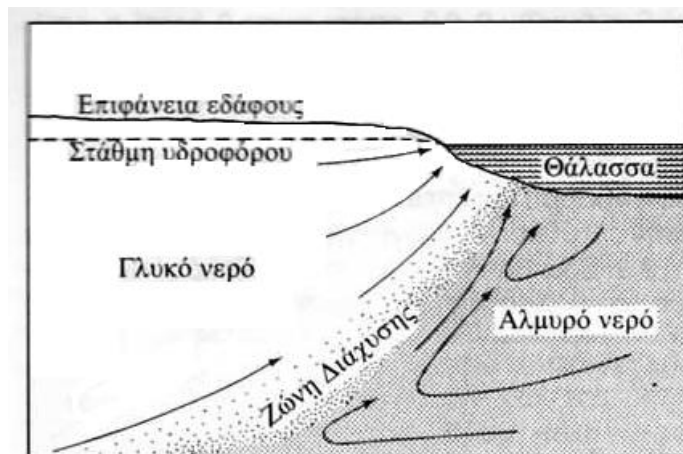


Εικ.2.2 Σχέση ανάμεσα στις κλίσεις της υδροστατικής επιφάνειας και της διεπιφάνειας (Walton, 1970)[4]



## 2.4 Κυκλοφορία του θαλασσινού νερού κατά Cooper

Ο Cooper έκανε την υπόθεση, ότι κάτω από δυναμικές συνθήκες, το θαλασσινό νερό δεν είναι στατικό, αλλά ρέει αδιάκοπα από τον πυθμένα της θάλασσας σε μια ζώνη διάχυσης -η οποία έχει σημαντικό πάχος και σ' αυτήν υπάρχει πλήρης διαβάθμιση της αλμυρότητας από εκείνη του γλυκού νερού σ' αυτή του θαλασσινού- και απ' αυτή πίσω στη θάλασσα.



Εικ.2.3 Κυκλοφορία του θαλασσινού νερού από τη θάλασσα στη ζώνη διάχυσης και πίσω στη θάλασσα.[4]

Αυτή η ροή τείνει να μειώσει την έκταση, που καταλαμβάνει στον υδροφόρο το θαλασσινό νερό. Υπάρχει μια συνεχής ροή αλμυρού νερού από τη ζώνη της διάχυσης προς τη θάλασσα.(εικ.2.4). Κατά τον

Cooper (1959), άλατα μεταφέρονται από τον πυθμένα της θάλασσας, μέσω του υδροφόρου, προς τη ζώνη της διάχυσης και από κει πίσω στη θάλασσα. Τα άλατα μεταφέρονται, κυρίως με υδραυλική ροή του αλμυρού νερού, με συνέπεια την απώλεια φορτίου, στην περιοχή του αλμυρού νερού.

Θαλασσινό και γλυκό νερό αναμιγνύονται στη ζώνη της διάχυσης. Αραιωμένο θαλασσινό νερό, που γίνεται έτσι αραιότερο, ανεβαίνει προς τη μεριά της θάλασσας. Τα άλατα τα οποία εισάγονται στην περιοχή γλυκού νερού, μεταφέρονται πίσω στη θάλασσα, με τη ροή του γλυκού νερού. Η κυκλοφορία διευκολύνεται από την ανταλλαγή αλάτων. Η ζώνη διάχυσης δημιουργείται από την κίνηση του μετώπου του αλμυρού νερού, που προκαλείται από τα παλιρροϊκά φαινόμενα του ωκεανού και τη διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου, που προκαλείται από τις μεταβολές της αναπλήρωσής του, από τις αντλήσεις κτλ. Τόσο η θερμική όσο και η μοριακή διάχυση είναι σημαντικά μέρη της διαδικασίας της διασποράς-η θερμική προκαλεί ισχυρές ανταλλαγές ενώ η μοριακή διάχυση συμπληρώνει την ανάμιξη.

Αν δεχτούμε ότι ο συντελεστής διασποράς κατά την διεύθυνση ροής (διαμήκης διασπορά) είναι ανάλογος προς την πρώτη δύναμη της μέσης ταχύτητας (Cooper 1959), προκύπτει η σχέση:

$$D_D = \frac{4M_D A_M}{t_i}$$

Όπου:  $D_D$  ο συντελεστής διασποράς

$M_D$  σταθερά του υδροφόρου

$A_m$  το εύρος

την περίοδο της μετατόπισης του νερού στον υδροφόρο, που προκαλείται από τα παλιρροϊκά κύματα φαινόμενα.

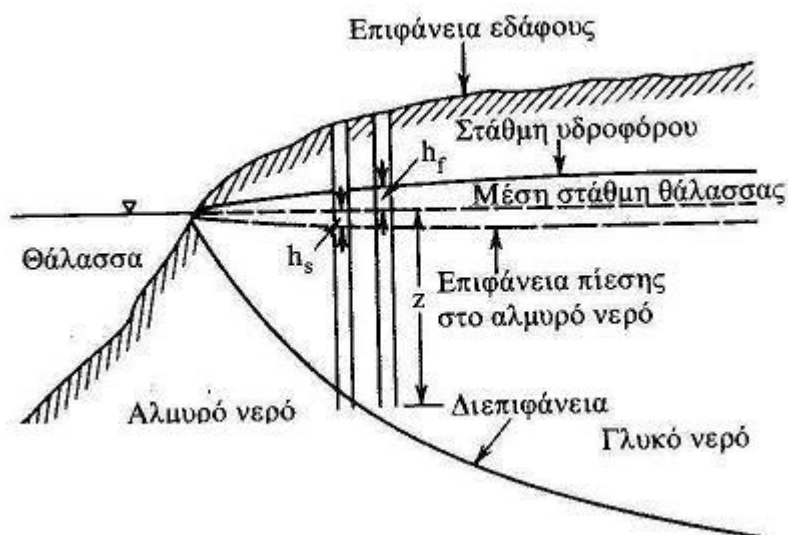
Το μέγεθος  $A_m$  είναι συνάρτηση του εύρους της παλίρροιας και της απόστασης από

την ακτή (Cooper 1959)

## 2.5 Το σχήμα της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού

Ο Lusczynski βασιζόμενος στις εργασίες του Hubbert επαναδιατύπωσε την εξίσωση Ghyben-Herzberg με την γενική μορφή:

$$z = \left( \frac{\rho_f h_f}{\Delta\rho} \right) - \left( \frac{\rho_f h_s}{\Delta\rho} \right) \quad (1)$$



Εικ 2.4 Διάγραμμα που απεικονίζει τα διαφορετικά φορτία του γλυκού και του αλμυρού νερού σε ασυνεχή ροή και σε παράκτιο ελεύθερο υδροφόρο[4]

Το υπόγειο νερό, σταθερής πυκνότητας κινείται προς την κατεύθυνση προς την οποία ελαττώνεται το φορτίο. Όταν η πυκνότητα μεταβάλλεται στο χώρο, π.χ. κατά μήκος της ακτής οι μετρήσεις του φορτίου δεν δείχνουν άμεσα τη διεύθυνση ροής. Σε υδρογεωτρήσεις που περιέχουν αλμυρό νερό πρέπει να υπολογιστεί το φορτίο που αντιστοιχεί στο γλυκό νερό. Η μετατροπή του φορτίου αλμυρού νερού σε φορτίο γλυκού νερού, σε δεδομένη υδρογεώτρηση, δίνεται από την εξίσωση υδροστατικής πίεσης (Kohout, 1960):  $p = \rho g I_c$

Όπου

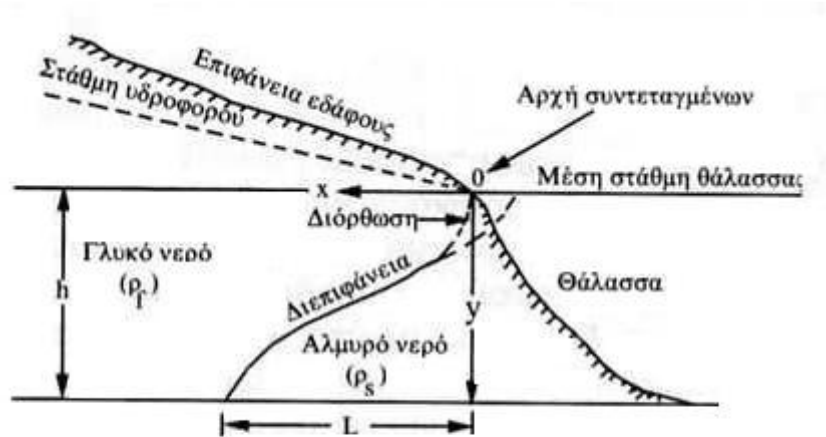
- $p$  η πίεση στο κάτω άκρο της σωλήνωσης,
- $\rho$  η πυκνότητα του νερού σ' αυτή και
- $I_c$  το μετρημένο μήκος νερού πάνω από το πέρας της σωλήνωσης.

Εξισώνοντας το δεξιό μέλος της εξίσωσης (1) για το γλυκό και αλμυρό νερό



προκύπτει  $\rho_f I_f = \rho_s I_s$

$$I_f = \frac{\rho_s I_s}{\rho_f} \quad (2)$$



Glover (1964):  $q = k'b^2/2L$ ,  $x_0 = q/2k$ ,  $k' = k \Delta\rho/\rho_f$   
 $y - [(2qx/k') - (q^2/2k'^2)] = 0$   
 Για  $x=0$ ,  $y_0 = q/k'$   
 Για  $y=0$ ,  $x_0 = q/2k'$

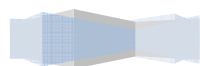
Εικ 2.5 Η παραβολική μορφή της διεπιφάνειας κατά Rumer – Harleman (1963) και Glover (1964).[4]

όπου οι δείκτες f και s αναφέρονται στο γλυκό και αλμυρό νερό αντίστοιχα.

Ο Lusczynski (1961,[4]) εισήγαγε την έννοια του σημειακού φορτίου, του φορτίου του γλυκού νερού και του φορτίου του νερού της περιοχής (environmentalwaterhead), προκειμένου να υπολογιστεί η κατανομή της ταχύτητας της διασποράς και να καθοριστεί το μέτωπο της διασποράς μέσα στο γλυκό νερό.

Ο Lusczynskietal. (1966, [4]) ξεκινώντας από τη σχέση Ghyben-Herzberg και τη θεωρία του Hubert, γενίκευσαν την πρώτη και για τις περιπτώσεις όπου το υποκείμενο αλμυρό νερό βρίσκεται σε κίνηση, με τα φορτία κάτω ή πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Το αποτέλεσμα για συνθήκες μη μόνιμης ροής έχει τη μορφή της εξίσωσης (1), από την οποία προκύπτει:

$$z = ch_f - ch_s \quad (3)$$



Όπου:

$z$  το βάθος των υδρογεωτρήσεων που έχουν γλυκό (φορτίο  $h_f$ , πυκνότητα  $\rho_f$ ) αντίστοιχα νερό. Αναγνωρίζοντας την προσεγγιστική μορφή της σχέσης Ghyben-Herzberg, και με βάση τη θεωρία του Hubbert, οι Charmonman(1965), Cooperetal.(1964) ανέπτυξαν πιο ακριβείς λύσεις της μορφής της διεπιφάνειας. Ο Glover (1964) προτείνει τη μορφή:

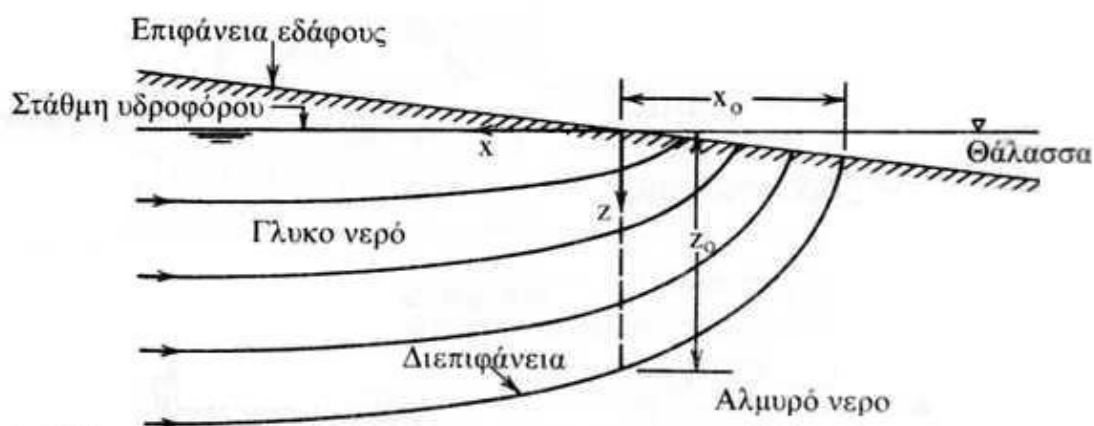
$$z^2 = \frac{2qx\rho_f}{\Delta\rho k} + \left(\frac{q\rho_f}{\Delta\rho k}\right)^2 \quad (4)$$

Όπου

$z$  και  $x$  φαίνονται στην εικόνα 2.5,  $k$  η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου και  $q$  η ροή γλυκού νερού ανά μονάδα μήκους της ακτής.

Η αντίστοιχη μορφή για την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου είναι:

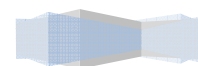
$$h = \left[\frac{2\Delta\rho \cdot qx}{k}\right]^{1/2} \quad (5)$$



Εικ 2.6 Διάγραμμα ροής σε ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο[4]

Το εύρος  $x_0$  της υποθαλάσσιας ζώνης από την οποία εκφορτίζεται γλυκό νερό προς τη θάλασσα μπορεί να υπολογιστεί για  $z=0$ .

$$x_0 = -\frac{q\rho_f}{2\Delta\rho k} \quad (6)$$





ή

$$x_0 = \frac{-cq}{2k}$$

Το βάθος της «διεπιφάνειας»  $z_o$ , ακριβώς στη γραμμή της ακτής, βρίσκεται εκεί όπου  $x=0$  και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z_o = \frac{q_f \rho_f}{\Delta \rho k} \quad (7)$$

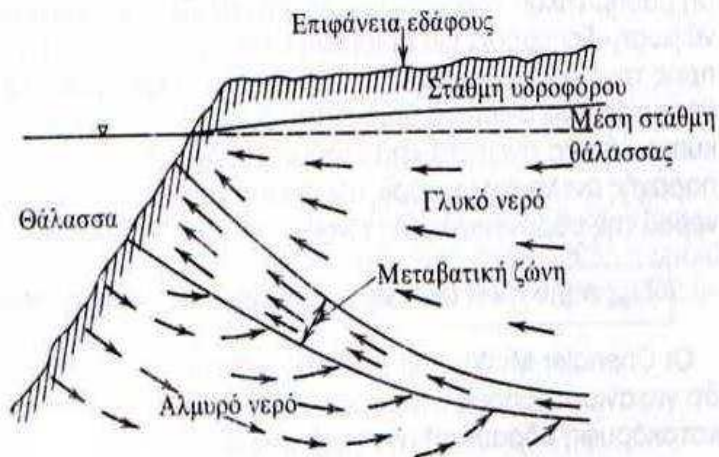
Τέλος, το ύψος της στάθμης  $h_f$  πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε οποιαδήποτε απόσταση από την ακτή  $x$  δίνεται από τη σχέση:

$$h_f = \frac{2qx\Delta\rho}{k\rho_f} \quad (8)$$

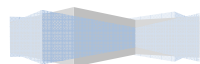
Όταν  $x=0$ ,  $h_f=0$

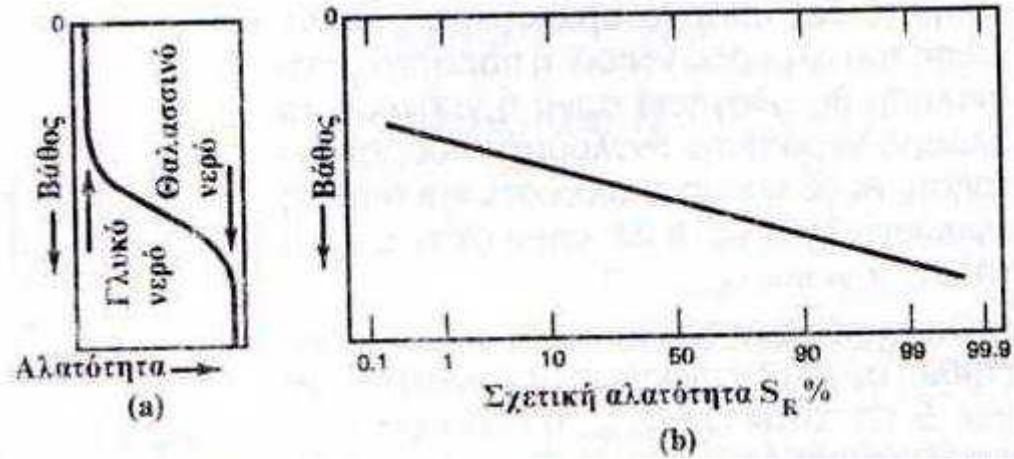
## 2.6 Η δομή της διεπιφάνειας

Στην εικόνα 2.8 όπου φαίνεται η κίνηση του αλμυρού νερού προς στη στεριά, το πάχος της μεταβατικής ζώνης γλυκού-αλμυρού νερού και η ροή στις τρεις υπόγειες ζώνες (γλυκού - αλμυρού και ενδιάμεσης ποιότητας νερού). Το πάχος της μεταβατικής ζώνης («διεπιφάνειας») γίνεται μεγαλύτερο κοντά στην ακτή, εκεί όπου τα παλιρροϊκά φαινόμενα είναι έντονα. Μέσα στη «διεπιφάνεια», η αλατότητα αυξάνει προοδευτικά με το βάθος από το γλυκό στο αλμυρό νερό.[4] Έτσι, είναι προτιμότερο να υπολογίζεται η σχετική αλατότητα  $S_R$ , σαν ποσοστό από τη σχέση:



Εικ.2.7 Διάγραμμα ροής γλυκού και αλμυρού νερού σε ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο [4]





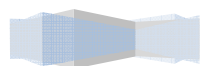
Εικ. 2.8 Αύξηση της αλατότητας με το βάθος, στη μεταβατική ζώνη (α) γραμμική κλίμακα (β) κλίμακα πιθανοτήτων [4]

$$S_R = 100 \left( \frac{C - C_f}{C_s - C_f} \right) \quad (9)$$

Όπου  $C$  η αλατότητα (μετρημένη σαν T.D.S. ή περιεκτικότητα σε χλωρίοντα ή σαν ηλεκτρική αγωγιμότητα) σε ένα ορισμένο βάθος μέσα στη «διεπιφάνεια» και  $C_f$  και  $C_s$  οι αλατότητες του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα.

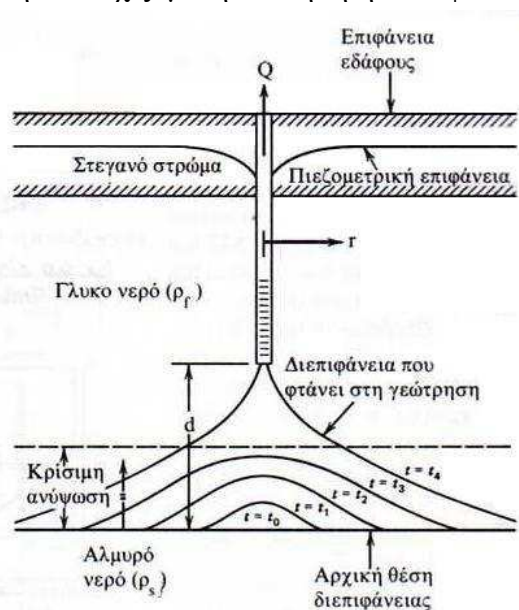
Αν προβληθούν οι τιμές  $S_R$  συναρτήσει του βάθους σε χαρτί πιθανοτήτων, θα προκύψει ευθεία γραμμή (εικ.2.9,b). Δεδομένου ότι είναι δύσκολη η συλλογή λεπτομερών στοιχείων στο επίπεδο, για τη μορφή της «διεπιφάνειας» από δύο τυχόντα σημεία μέτρησης της αλμυρότητας. Η τιμή 50% της  $S_R$ , που αντιστοιχεί στη μέση θέση της «διεπιφάνειας» καθορίζει τη θέση της χωρίς ανάμιξη.

Όταν υπάρχει ανομοιογένεια σε παράκτιους υδροφόρους, τότε παρατηρούνται στρωσιγενής διάταξη και ανωμαλίες στην κατανομή του γλυκού και του αλμυρού νερού. [4]



## 2.7 Η «ανύψωση» της διεπιφάνειας στα παράκτια έργα υδρομάστευσης

Όταν ένας υδροφόρος περιέχει ένα υποκείμενο στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από μια υδρογεώτρηση που εισχωρεί μόνο στο ανώτερο μέρος του, το οποίο περιέχει γλυκό νερό, τότε παρατηρείται μια τοπική «ανύψωση» της διεπιφάνειας, κάτω από την υδρογεώτρηση, (εικ.2.10) με τη μορφή ενός ανεστραμμένου «κώνου κατάπτωσης» (upcoming), δηλαδή ενός κώνου ανόδου της διεπιφάνειας. Στην περίπτωση του σχήματος 2.10 η διεπιφάνεια είναι, τη στιγμή έναρξης της άντλησης ( $t=t_0$ ), οριζόντια. Με την συνεχιζόμενη άντληση η διεπιφάνεια ανεβαίνει σε διαδοχικά ψηλότερα επίπεδα, μέχρι ενδεχόμενα να φτάσει στην υδρογεώτρηση. Αυτό, γενικά, σημαίνει ότι θα πρέπει να διακοπεί η άντληση. Μετά την διακοπή, το βαρύτερο, αλμυρό νερό τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Το φαινόμενο της «ανύψωσης» μελετήθηκε κυρίως από τους Ackermann-Chang (1971), Benett (1968), Wang (1965), Dagan-Bear (1968), Haubold (1975), προκειμένου να καθοριστούν τα κριτήρια κατασκευής και λειτουργίας υδρογεωτρήσεων άντλησης γλυκού νερού πάνω από το αλμυρό. [4]



Εικ 2.9 Διάγραμμα της «ανύψωσης» αλμυρού νερού, σε αντλούμενη υδρογεώτρηση. [4]

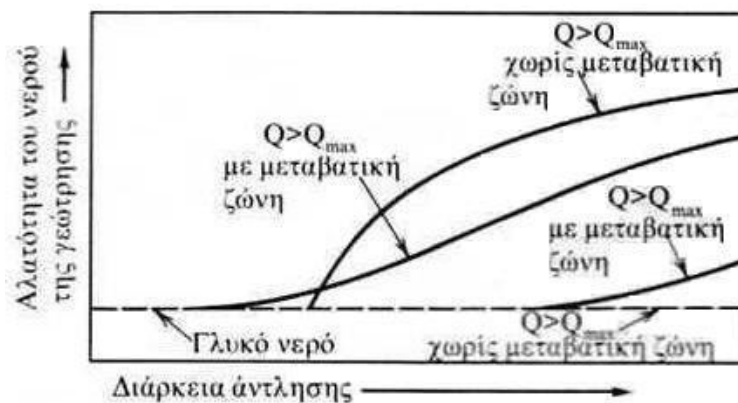
Οι Schmorak-Mercado (1969), προτείνουν μια προσεγγιστική αναλυτική επίλυση της «ανύψωσης», βασισμένη στις παραδοχές του Dupuit και τη σχέση Ghyben-Herzberg, που έχει τη μορφή:

$$z = \frac{Q}{2\pi dk \left( \frac{\Delta\rho}{\rho_f} \right)} \quad (10)$$

Η σχέση αυτή φανερώνει μια τελική ανύψωση της διεπιφάνειας, σε μια νέα θέση ισορροπίας, που είναι ευθέως ανάλογη προς την παροχή άντλησης  $Q$ . Ο Kawabata(1965), έδειξε, με τη χρήση μαθηματικού ομοιώματος, ότι η σχέση 10 ισχύει μόνο για μικρές «ανυψώσεις». Όταν η «ανύψωση» ξεπεράσει μια ορισμένη κρίσιμη τιμή (εικ.2.10), τότε επιτυγχάνεται η παραπέρα πορεία προς την υδρογεώτρηση. Η «κρίσιμη» αυτή «ανύψωση»  $z/d$  έχει εκτιμηθεί σε 0,3 έως 0,5. Έτσι, θέτοντας ένα ανώτατο όριο  $z/d = 0,3$ , προκύπτει, ότι το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο παροχής άντλησης  $Q$ , χωρίς αλμύριση του νερού της υδρογεώτρησης είναι:

$$Q_{\max} \leq 0,6\pi d^2 k (\Delta\rho / \rho_f) \quad (11)$$

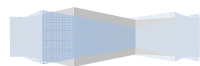
Οι Chandler-McWhorter (1975) δέχονται ότι για ανισότροπους υδροφόρους, όπου η κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα είναι μικρότερη από την οριζόντια, η  $Q_{\max}$  είναι μεγαλύτερη από εκείνη που επιτρέπεται στους ισότροπους υδροφόρους. Στην πράξη, πάντως, ακόμα και με μικρές παροχές άντλησης, δεν υπάρχει οριακή κρίσιμη ανύψωση του αλμυρού νερού. Η παρατεταμένη άντληση θα οδηγήσει αργά ή γρήγορα το αλμυρό νερό στην αντλούμενη υδρογεώτρηση. Αυτό φαίνεται άλλωστε και από τις εξισώσεις 10 και 11 όπου όταν  $\Delta\rho \rightarrow 0$ , τότε  $z \rightarrow \infty$  και  $Q_{\max} \rightarrow 0$ .



Εικ. 2.10 Καμπύλες αλατότητας νερού υδρογεωτρήσεων, σε συνθήκες ανερχόμενου κώνου, μιας απότομης διεπιφάνειας και μιας μεταβατικής ζώνης. [4]

Όπως έδειξαν οι Schmorak και Mercado (1969, [4]), σε μία διεπιφάνεια με μεγάλη κλίση (εικ. 2.11) όταν  $Q > Q_{\max}$ , η αλατότητα εμφανίζεται αργότερα και αυξάνει πιο γρήγορα απ' ό,τι σε μια μεταβατική ζώνη. Όταν  $Q < Q_{\max}$ , δεν θα αλμυρίσει το νερό στην αντλούμενη υδρογεώτρηση, στην περίπτωση της απότομης διεπιφάνειας. Όμως, θα υπάρξει μια βαθμιαία δειξήσωση αλμυρού νερού από την ανερχόμενη μεταβατική ζώνη. Το ανώτατο όριο αλατότητας που μπορεί να παρατηρηθεί στην αντλούμενη υδρογεώτρηση, κατά την διαδικασία της «ανύψωσης», πλησιάζει μία ενδιάμεση τιμή, μεταξύ των ακραίων τιμών της (στο γλυκό και στο αλμυρό νερό). Οι Schmorak και Mercado (1969), με βάση εμπειρικά στοιχεία, δείχνουν, ότι το όριο αυτό κυμαίνεται μεταξύ 5% και 8% της συγκέντρωσης αλατιού στο αλμυρό νερό. [4]

Η «ανύψωση» αντιμετωπίζεται με την κατασκευή υδρογεωτρήσεων, που να απέχουν, κατακόρυφα, όσο γίνεται περισσότερο, από την ζώνη αλμυρού νερού, με τον περιορισμό των παροχών άντλησης και τέλος με την ταυτόχρονη άντληση γλυκού και αλμυρού νερού από τη ζώνη αλμυρού νερού, κάτω απ' το γλυκό νερό («υδρογεωτρήσεις καθαρισμού», «Scavengerwells»). Οι Bear και Dagan (1968) προτείνουν την παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό της «ανύψωσης» της διεπιφάνειας (εικ. 2.10).



$$Z_t = \frac{\rho_f Q}{2\pi \cdot \Delta\rho k_x d} \left( 1 - \frac{2\rho_f \theta d}{2\rho_f \theta d + \Delta\rho \cdot k_z t} \right) \quad (12)$$

όπου  $k_x$  και  $k_z$  η υδραυλική αγωγιμότητα, κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση,  $\theta$  το πορώδες του υδροφόρου και  $t$  ο χρόνος από την έναρξη της άντλησης.

Όταν  $t \rightarrow \infty$  η εξίσωση 12 γίνεται:

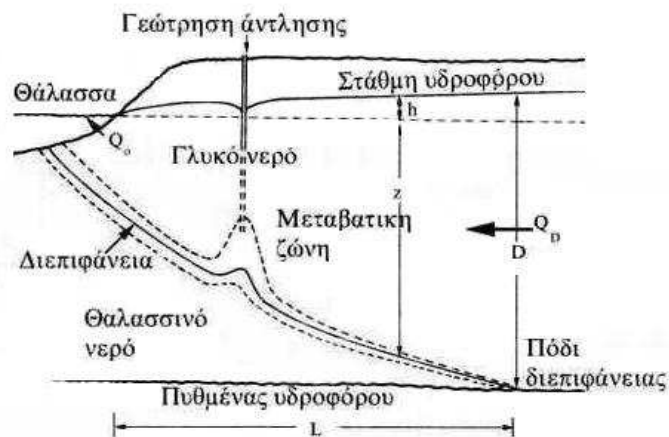
$$Z_\infty = \frac{\rho_f Q}{2\pi \Delta\rho \cdot k_x \cdot d} \quad (13)$$

όπου  $Z_\infty$  η τελική «ανύψωση». Τιμές του  $z$  που υπολογίσθηκαν από την εξίσωση 12, συμφωνούν γενικά με τις μετρήσεις στο ύπαιθρο, μέχρι την «κρίσιμη» τιμή του  $z$  (Kawabata, 1965), η οποία είναι της τάξης του 0,3 με 0,5 d. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε ο Haubold (1975) χρησιμοποιώντας ένα ομοίωμα του Hele-Shaw.

## 2.8 Το «πόδι» της διεπιφάνειας

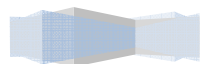
Το σημείο, στο οποίο η διεπιφάνεια συναντά το στεγανό πυθμένα του παράκτιου υδροφόρου, αποτελεί το «πόδι» της διεπιφάνειας (toe of the interface), όπως δείχνει η εικ.2.12. Το «πόδι» δηλαδή βρίσκεται εκεί, που το  $z$ , στο οποίο βρίσκεται η διεπιφάνεια, είναι ίσο με το βάθος  $D$  του στεγανού υπόβαθρου του υδροφόρου.

Έναντι του «ποδιού», ο υδροφόρος περιέχει γλυκό νερό μόνο. Για μια λουρίδα του υδροφόρου εύρους ίσου με τη μονάδα, έστω 1km, και πάχους όσο το πάχος του υδροφόρου, ισχύει ότι (Bear, 1979, [4]):



Εικ 2.11 Η απόσταση  $L$  του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή.[4]

$$L = D \sqrt{\frac{k}{cR}}$$





$$Q_L = \left( \frac{kD^2}{2cL} \right) - \left( \frac{RL}{2} \right)$$

$$Q_0 = \left( \frac{kD^2}{2cL} \right) + \left( \frac{RL}{2} \right)$$

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{kD^2}{cR}}$$

όπου  $k$  η υδροπερατότητα,  $D$  το βάθος του στεγανού πυθμένα, κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας,  $L$  η απόσταση του «ποδιού» από την ακτή,  $R$  ο εμπλουτισμός της μοναδιαίας λουρίδας (mm/χρόνο),  $Q_L$  οι εισροές στον υδροφόρο από το ανάντη τμήμα του,  $Q_0$  οι εκροές του υδροφόρου προς τη θάλασσα,  $L_{opt}$  η απόσταση εκείνη η οποία ελαχιστοποιεί τις  $Q_0$  και  $c = \rho_f / \Delta\rho$ .

Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου έχει δύο συνέπειες:

1. η διεπιφάνεια αλλάζει θέση,
2. η ζώνη ανάμιξης (μεταβατική) διευρύνεται, λόγω υδροδυναμικής διασποράς.

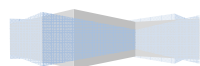
Δοθέντος ότι, όταν το υπόγειο νερό περιέχει έστω και 4% θαλασσινό νερό, είναι ακατάλληλο για τις πιο πολλές χρήσεις, η εκμετάλλευση των παράκτιων υδροφόρων (φακών γλυκού νερού πάνω σε αλμυρό), θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόσταση του «ποδιού» της διεπιφάνειας από την ακτή.

## 2.9 Καρστ

Ο όρος καρστ (karst) αναφέρεται στο ανάγλυφο περιοχών με ανθρακικά πετρώματα, στα οποία εμφανίζονται χαρακτηριστικές επιφανειακές και υπόγειες γεωμορφές. Ο όρος καρστ προέρχεται από την ομώνυμη ασβεστολιθική περιοχή της βορειοδυτικής Γιουγκοσλαβίας, όπου έγιναν οι πρώτες κλασικές μελέτες γι' αυτό τον τύπο ανάγλυφου.

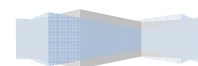
Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του κάρστ είναι η ασυνέχεια των επιφανειακών ρευμάτων. Η απορροή πραγματοποιείται συνήθως υποεπιφανειακά και ακολουθεί τις διακλάσεις, τις ρηγματώσεις ή τις επιφανείς στρώσης του πετρώματος, δημιουργώντας αγωγούς διάλυσης και κατόπιν διάβρωσης. Συχνά σχηματίζονται σπήλαια και σήραγγες με σταλακτίτες και σταλαγμίτες, ενώ επιφανειακά δημιουργούνται διάφορα καρστικά έγκοιλα (δολίνες, ουβάλες, πόλγες), καταβόθρες και καρστικές κοιλάδες.

Για τους καρστικούς σχηματισμούς, το αποτύπωμα τους στην επιφάνεια της γης εκφράζεται ως "λύση" μορφολογίας στην τοπική κλίμακα. Επειδή λόγω της σχετικής μεγάλης ανάλυσης των 79m, πολλές καρστικές μορφές δεν μπορούν να διακριθούν από τον Landsat MSS. Μόνο στις μεγαλύτερης ανάλυσης εικόνες μπορεί να διακριθεί η καρστική μορφή ή σε μερικές μεγάλες δολίνες και ουβάλες. [6]



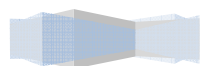
## 2.10 Καρστικοποιημένοι υδροφορείς

Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυση τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τέτοια πετρώματα είναι οι εβαπορίτες, τα ανθρακικά, οι ηφαιστίτες, οι χαλαζίτες και οι υπερβασίτες. Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες). Καρστικοποιημένος υδροφορέας ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στον οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης, των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή/και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοιχτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματος τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα. Όσον αφορά τα ρήγματα, λόγω της καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσο της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφορέα και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφορείς αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία. Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης είναι δυνατόν να προκληθεί από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη. [10]



## 2.11 Μοντέλα Προσομοίωσης

Ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης που περιγράφει το υπόγειο υδατικό φυσικό σύστημα μιας περιοχής έχει ως κύριο στόχο την προσομοίωση των φαινομένων που εμφανίζονται στον υδροφορέα. Το θεωρητικό μοντέλο του συστήματος καθορίζεται όταν περιγραφούν οι φυσικοί νόμοι με τις κατάλληλες διαφορικές εξισώσεις, ενώ παράλληλα προσδιορίζονται τα όρια του πεδίου και οι οριακές συνθήκες που ισχύουν σε αυτά. Το θεωρητικό μοντέλο του υπόγειου υδατικού φυσικού συστήματος μιας περιοχής είναι δυνατόν να επιλυθεί με αναλυτικές, ημι-αναλυτικές ή αριθμητικές λύσεις. Για την αριθμητική επίλυση των διαφορικών εξισώσεων, η υπό μελέτη περιοχή διακριτοποιείται και οι διαφορικές εξισώσεις προσεγγίζονται με αλγεβρικές σ' ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων (κόμβοι) του πεδίου. Τα αριθμητικά μοντέλα, ανάλογα με τη μέθοδο διακριτοποίησης που εφαρμόζεται, διακρίνονται σε μοντέλα πεπερασμένων διαφορών, πεπερασμένων στοιχείων, οριακών στοιχείων και μοντέλα κινούμενων σημείων.[10]





### 3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το νερό, που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία, να μην είναι θολό και να μην έχει χρώμα και δυσάρεστη οσμή και γεύση. Η τοποθεσία, η κατασκευή, η λειτουργία και η επίβλεψη μιας πηγής υδροληψίας (πηγές, δεξαμενές, επεξεργασία και διανομή νερού) πρέπει να είναι τέτοιες που να αποκλείουν οποιαδήποτε ρύπανση και του νερού. Οι περισσότερες χώρες στον κόσμο έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους και χρησιμοποιούν μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων παρόμοιες για να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης, επιδημίες από ασθένειες υδρικής προέλευσης μπορεί να αποφευχθούν εάν γίνονται αυστηροί έλεγχοι από τους υπευθύνους των συστημάτων υδροληψίας και τις αρμόδιες αρχές υγείας, όσον αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού. Σύμφωνα με την Υγειονομική Ήατάξη, “πόσιμο νερό” νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του.

#### 3.1 Η εθνική Νομοθεσία

Η εθνική νομοθεσία για τους υδατικούς πόρους αποτελείται από μία σειρά από νόμους διατάγματα και διοικητικές αποφάσεις, ιδρυτικούς νόμους και οργανισμούς υπουργείων και φορέων, που χρονολογούνται από το 1930 και που πολλές φορές επικαλύπτονται ή έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους και αναφέρονται στην έρευνα, αξιοποίηση, χρήση και προστασία των υδατικών πόρων. Ο αριθμός αυτών των νομοθετικών ρυθμίσεων υπολογίζεται σε 300. Μεταξύ των βασικών χαρακτηριστικών τους είναι τα ακόλουθα:

- η προσπάθεια προώθησης των θέσεων των φορέων που τις έχουν εκδώσει,
- η τομεακή και επομένως αποσπασματική αντιμετώπιση των προβλημάτων,
- η λόγω παλαιότητας απουσία σύνδεσης με τη σημερινή φύση των προβλημάτων,
- η μη δρομολόγηση συντονισμένων και συστηματικών προγραμμάτων απόκτησης και αξιολόγησης δεδομένων πεδίου, απαραίτητων για την ουσιαστική εφαρμογή τους,
- η έλλειψη πρόβλεψης οργάνων παρακολούθησης και εξειδίκευσης της εφαρμογής τους,
- η απουσία σύνδεσης και εναρμόνισης με τις αναπτυξιακές επιδιώξεις παραγωγικών τομέων και περιοχών της χώρας, η καθυστέρηση κάλυψης υποχρεώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή κοινοτικών οδηγιών.

Από το συνολικό αυτό νομοθετικό έργο, δύο σχετικά πρόσφατα νομοθετήματα, που λειτουργούν συμπληρωματικά, διακρίνονται για την διατομεακή τους αντίληψη και την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των υδατικών πόρων. Πρόκειται για τον Ν. 1650/86 για την Προστασία του Περιβάλλοντος που αντιμετωπίζει το νερό ως στοιχείο του περιβάλλοντος και προβλέπει μέτρα οργανωτικά και θεσμικά για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας των υδατικών πόρων και για τον Ν. 1739/87 για τη διαχείριση των Υδατικών Πόρων.

Ο δεύτερος, εισάγει σύγχρονη αντίληψη για την αντιμετώπιση του νερού στην έρευνα, τη διοίκηση και την καθημερινή πρακτική, με τη θεσμοθέτηση

διαδικασιών και οργάνων που επιτρέπουν την άσκηση της διαχείρισης σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Ο νόμος αυτός είναι ο μοναδικός που συνδέει τα θέματα διαχείρισης με τον προγραμματισμό ανάπτυξης της χώρας. Συγκεκριμένα προβλέπει τη χάραξη και εφαρμογή υδατικής πολιτικής ως προϋπόθεσης για μια αναπτυξιακή πολιτική που θα μεγιστοποιεί τα αποτελέσματα της παραγωγικής διαδικασίας, θα εξομαλύνει τις ανταγωνιστικές χρήσεις νερού, θα συμβάλλει στη συνεχή ανανέωση των υδατικών πόρων και θα συντελεί στην προστασία του περιβάλλοντος. Και όλα αυτά μέσα από διαδικασίες και όργανα στα οποία λαμβάνεται υπόψη η γνώμη όλων των εμπλεκόμενων φορέων.

Δυστυχώς, οι γνωστές αδυναμίες του δημόσιου τομέα απέτρεψαν την εφαρμογή των δύο νόμων στην κλίμακα που επιβάλλεται από το μέγεθος των προβλημάτων, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της αποσπασματικής και ευκαιριακής αντιμετώπισης της διαχείρισης του νερού.

Παρόλα αυτά, και η μερική ακόμα εφαρμογή τους, κυρίως του Ν. 1739/87, έδωσε μέχρι σήμερα ένα μεγάλο παιδευτικό όφελος, γιατί δημιούργησε τις δομές και τις εμπειρίες εκείνες που είναι απαραίτητες για να συνειδητοποιήσουν οι χρήστες και όλοι οι εμπλεκόμενοι στο κύκλωμα του νερού την αναγκαιότητα ορθολογικής και προγραμματισμένης χρήσης του.

### **3.2 Η Οδηγία- Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2000/60)**

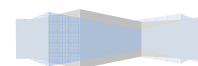
Με τη νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία - Πλαίσιο για το Νερό (2000/60), δίνεται η ευκαιρία στις χώρες της Ενωμένης Ευρώπης να αποκτήσουν υδατική πολιτική οργανώνοντας, εκσυγχρονίζοντας και ομογενοποιώντας τα συστήματα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Πρόκειται για μια σημαντική ευκαιρία για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον στην Ευρώπη, καθώς η νέα Οδηγία υποδεικνύει το δρόμο για την χάραξη και εφαρμογή μιας πολιτικής νερού με χαρακτηριστικά βιωσιμότητας, μιας πολιτικής δηλαδή που να διασφαλίζει διαχρονικά τόσο την ανάπτυξη, με την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό, όσο και το περιβάλλον, με τη διατήρηση και την προστασία των υδατικών συστημάτων.

Η Οδηγία ανασχηματίζει την υφιστάμενη ευρωπαϊκή νομοθεσία με την εισαγωγή ενός νέου μοντέλου διαχείρισης των υδάτων δηλαδή την ολοκληρωμένη υδατική διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. (Παράρτημα II). δημοσιεύθηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων και τέθηκε σε ισχύ την 22.12.2000.

Η διαχειριστική προσέγγιση της Οδηγίας - η ολοκληρωμένη υδατική διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού - στοχεύει στην διασφάλιση του πλήρους συντονισμού της υδατικής πολιτικής σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Υπό την έννοια του "Πλαισίου", η Οδηγία επικεντρώνεται στην εγκατάσταση των σωστών συνθηκών που ενθαρρύνουν την ικανοποιητική και αποτελεσματική προστασία των υδάτων σε τοπικό επίπεδο, με την εισαγωγή εργαλείων για μία κοινή προσέγγιση, κοινούς στόχους, αρχές,

ορισμούς και βασικά μέτρα. Όμως, οι μηχανισμοί και τα ειδικά μέτρα που απαιτούνται για την επίτευξη της "καλής κατάστασης", λαμβάνονται σε τοπικό επίπεδο και είναι ευθύνη των αρμοδίων (εθνικών, περιφερειακών, τοπικών ή σε επίπεδο λεκάνης απορροής) αρχών. Στο πλαίσιο της εφαρμογής της Οδηγία 60/2000, τα κράτη - μέλη και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχουν από κοινού αναλύσει τις



προκλήσεις και έχουν θεμελιώσει μία Κοινή Στρατηγική, που υιοθετήθηκε μετά από μια περίοδο έντονων συζητήσεων των χωρών μελών και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Στόχοι της κοινής στρατηγικής είναι η συνέπεια στην εφαρμογή και η συγκρισιμότητα, η κοινή αντίληψη και προσέγγιση, οι κοινές προσπάθειες και δραστηριότητες, η ανταλλαγή εμπειρίας και πληροφόρησης, η ανάπτυξη μιας διαδικασίας καθοδήγησης μέσω κατευθυντήριων γραμμών, η διαχείριση της πληροφορίας μέσω συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και ο περιορισμός του κινδύνου ανεπαρκούς εφαρμογής της Οδηγίας (λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία που προέρχεται από την εφαρμογή άλλων οδηγιών που έχουν σχέση με τα νερά).

Για την επίτευξη αυτών των στόχων θεσπίστηκαν Θεματικές Ομάδες Εργασίας καθώς και Ομάδα Στρατηγικής, η οποία ανέλαβε το συντονισμό των προγραμμάτων εργασίας, αποφασίστηκε η διεξαγωγή σειράς Συναντήσεων Εργασίας στα κράτη μέλη όπως και άλλων διεθνών διοργανώσεων αλλά και πιλοτικών προγραμμάτων.

Οι δραστηριότητες διαιρέθηκαν σε προγράμματα και για κάθε επί μέρους πρόγραμμα αναπτύχθηκε ένα συγκεκριμένο φύλλο εργασίας που αναφέρεται στο περιεχόμενο, τους στόχους, την χώρα ή τον οργανισμό που θα αναλάβει να ηγηθεί του προγράμματος, στο χρόνο ολοκλήρωσης των εργασιών, στη σχέση του με το αντικείμενο των άλλων προγραμμάτων και στους χρηματοδότες.

Οι στόχοι και τα μέτρα που έχουν ληφθεί στη διαδικασία της Κοινής Στρατηγικής αλλά και τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα περιορίζουν όντως τον κίνδυνο ανεπαρκούς εφαρμογής της Οδηγίας.

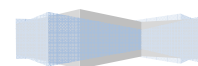
Με βάση την Οδηγία αυτή κάθε Κράτος Μέλος αναλαμβάνει την υποχρέωση να καταρτίζει πρόγραμμα λήψης μετρήσεων και καταγραφής των υδρολογικών, φυσικοχημικών, ρυπαντικών κλπ. μεταβολών που επιτελούνται στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Στην Χώρα μας το ΙΓΜΕ (στο πλαίσιο του "δικτύου παρακολούθησης των υπόγειων νερών της Χώρας"), ασχολήθηκε μέχρι το 2001 με την συλλογή πληροφοριών που αφορούν στα υπόγεια νερά, ενώ το πρόγραμμα Υδροσκόπιο και τα προγράμματα των άλλων φορέων (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΥΠΓΕ κ.λ.π) κάλυπταν (μερικώς ίσως και όχι συστηματικά) τα επιφανειακά νερά.

Σήμερα είναι πλέον σαφές ότι η βιώσιμη αντιμετώπιση των υδατικών προβλημάτων δεν απαιτεί τη μονόπλευρη εξασφάλιση ολοένα και περισσότερων υδατικών αποθεμάτων, αλλά αντιθέτως, επιβάλλει την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης νερού. Η υπόθεση της διευθέτησης αυτού του ισοζυγίου είναι μια υπόθεση σύνθετη που αφορά κατ' αρχήν στις φυσικές και τεχνικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα του νερού στη φύση και στον σχεδιασμό των τεχνικών έργων αξιοποίησής του. Αφορά επίσης στην ανάπτυξη, αφού άμεσα εξαρτώνται από το νερό μια σειρά από σημαντικές οικονομικές δραστηριότητες, από την αγροτική παραγωγή έως τη βιομηχανία, την παραγωγή ενέργειας και τον τουρισμό. Ακόμη, αφορά την κοινωνία που είναι και ο τελικός χρήστης του νερού. Τέλος αφορά στο περιβάλλον, μια και πάνω απ' όλα το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά αγαθά με ανυπολόγιστη οικολογική αξία.

Το πρόβλημα συνεπώς του νερού είναι ποιοτικά και ποσοτικά σύνθετο και πολυδιάστατο και ακριβώς σ' αυτό το χαρακτηριστικό του οφείλεται και η μεγάλη δυσκολία στην αντιμετώπιση του.

Διότι τέτοιου είδους πολύπλοκα προβλήματα απαιτούν ολοκληρωμένες λύσεις που συνίστανται σε συνολική και ενιαία επέμβαση σε όλα τα μέτωπα και τους εμπλεκόμενους τομείς.



### 3.3 Νόμος υπ' αριθμ. 3199/ ΑΡ. Φ. 280 / 9 Δεκεμβρίου 2003

Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 200/60/ΕΚ του

Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000.

#### 3.3.1 Άρθρο 1

Με τις διατάξεις του παρόντος νόμου και των κανονιστικών πράξεων που προβλέπεται να εκδοθούν κατ' εξουσιοδότηση του, εναρμονίζεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις του 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000 ( επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων L327/22.12.2000)

#### 3.3.2 Άρθρο 2

##### Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί

Ο νόμος αυτός εφαρμόζεται για την προστασία και την διαχείριση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Κατά την έννοια του νόμου αυτού και των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση του νοούνται ως :

Υπόγεια ύδατα : το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος. Υδροφόρος ορίζοντας : είναι το υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές, ώστε να επιτράπουν, είτε σημαντική ροή υπόγειων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπόγειων υδάτων.

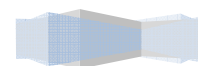
Σύστημα υπόγειων υδάτων : είναι ο συγκεκριμένος όγκος υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσοτέρων υδροφόρων οριζόντων.

Κατάσταση υπόγειων υδάτων : είναι η συνολική αποτύπωση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και χημικής του κατάστασης.

Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων : η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον καλή τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη. Καλή χημική κατάσταση υπόγειων υδάτων : η χημική κατάσταση του συστήματος υπόγειων υδάτων, η οποία πληρεί τους όρους που ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

Επικίνδυνες ουσίες : ουσίες ή ομάδες ουσιών που είναι τοξικές, σταθερές και επιρεπείς σε βιοσυσσώρευση, καθώς και άλλες ουσίες ή ομάδες ουσιών που δημιουργούν ανάλογο βαθμό ανησυχίας. Υπηρεσίες ύδατος : όλες οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχουν, για τα νοικοκυριά, τις δημόσιες υπηρεσίες ή οποιαδήποτε οικονομική δραστηριότητα: α) άντληση, κατακράτηση, αποθήκευση,

επεξεργασία και διανομή επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων, β) εγκαταστάσεις συλλογής και επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες στη συνέχεια πραγματοποιούν ρήψεις σε επιφανειακά ύδατα. Ποσοτική κατάσταση : η έκφραση του βαθμού στον οποίο ένα σύστημα υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από άμεσες ή έμμεσες αντλήσεις.



### 3.3.3 Άρθρο 10

#### Γενικοί κανόνες χρήσης των υδάτων

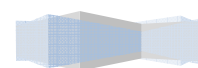
Οι χρήσεις των υδάτων διακρίνονται σε ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, ενεργειακή χρήση και χρήση για αναψυχή. Η χρήση για ύδρευση έχει προτεραιότητα ως προς την ποσότητα και την ποιότητα έναντι κάθε άλλης χρήσης.

Για κάθε χρήση εφαρμόζονται οι παρακάτω κανόνες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στα

#### Στάδια διαχείρισης :

A) Κάθε χρήση πρέπει να απόβλεπει στην στη βιώσιμη και ισόρροπη ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και να διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων, την επάρκεια των αποθεμάτων τους και τη διατήρηση της ποιότητας τους ιδιαίτερα δε τη μείωση και την αποτροπή της ρύπανσής τους.

B) Η ικανοποίηση της ζήτησης νερού γίνεται με βάση τα όρια και τις δυνατότητες των υδατικών αποθεμάτων, λαμβανομένων υπόψη των αναγκών και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων, καθώς και της ισορροπίας που απαιτείται μεταξύ άντλησης και ανατροφοδότησης των υπόγειων υδάτων. Οι ανάγκες των χρήσεων σε νερό ικανοποιούνται κατά το δυνατό σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού. Κατά τη διαχείριση των υδάτων πρέπει να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση νερού μέσω της χρήσης τεχνικών μεθόδων, οικονομικών κινήτρων και εργαλείων.





## 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 4.1 Περιγραφή περιοχών μελέτης

#### 4.1.1 Δήμος Βάμου

Ο Δήμος Βάμου, με έδρα την ομώνυμη κομόπολη, αποτελείται από τις πρώην κοινότητες Βάμου, Γαβαλοχωρίου, Πλάκας, Κόκκινου χωριού, Κάϊνας, Κεφάλια, Ξηροστερνίου, Σελλιών και Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου και βρίσκεται 26 χλμ. από τα Χανιά στη βορειοδυτική Κρήτη, νοτιοανατολικά του νομού.

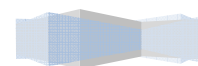
Πρόκειται για μια ημιορεινή περιοχή με ποικιλόμορφο και ενδιαφέρον φυσικό περιβάλλον, όπου κυριαρχεί η τοπική δασώδης και θαμνώδης βλάστηση αλλά χαρακτηρίζεται και από την πλούσια αρχιτεκτονική κληρονομιά της. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή είναι διάσπαρτη από μικρούς οικισμούς, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι παλαιοί. Το κλίμα είναι ξηρό και θερμό κι όλη η βλάστηση είναι προσαρμοσμένη σ' αυτό. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, με διάφορα προγράμματα, ολοένα και αυξάνεται η αρδευόμενη έκταση. Η παραλιακή ζώνη του Δήμου είναι βραχώδης και απότομη και λόγω της ιδιαίτερης ομορφιάς της έχει χαρακτηριστεί ως προστατευόμενη από το πρόγραμμα Natura 2000.



Η περιοχή γύρω από τον νομό Βάμου είναι ένα πολύβλαστο τοπίο μερικά χιλιόμετρα από την ακτή. Ένα πολύ οργανωμένο χωριό, πολλοί τουρίστες εντούτοις επισκέπτονται ή μένουν στο χωριό και στα περιβάλλοντα χωριά όπως αυτά του Γαβαλοχωρίου και των Καλυβών. Υπάρχει πολλή υποδομή στο χωριό συμπεριλαμβανομένου του Δημαρχείου του δήμου Βάμου που καλύπτει διάφορα άλλα χωριά, ένα μεγάλο ιατρικό κέντρο, το δικαστήριο και το γυμνάσιο για την περιοχή, και διάφορα εστιατόρια, καταστήματα, εξυπηρετώντας κατά ένα μεγάλο μέρος τη τοπική κοινότητα.

Στο δήμο Βάμου ανήκουν οι γεωτρήσεις της Κάϊνας και του Γαβαλοχωρίου. Για να προσπαθήσουμε να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη άποψη για το επίπεδο υφαλμύρωσης στον κάμπο των Χανίων, τα σημεία δειγματοληψίας μας ήταν διάσπαρτα και σε διαφορετικό υψόμετρο.

Το πρώτο σημείο απ' όπου παίρναμε δείγμα νερού ήταν η γεώτρηση της **Κάϊνας**.





*Εικ. 3.1 Γεώτρηση Κάινας*

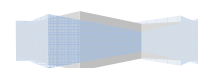
Στη συνέχεια πηγαίναμε στο χωριό του Γαβαλοχωρίου και παίρναμε το δείγμα νερού από μια βρύση τοπικού ξενοδοχείου διότι ήταν αδύνατον να πάρουμε δείγμα από τη γεώτρηση λόγω απουσίας βάνας.



*Εικ. 3.2 Γεώτρηση Γαβαλοχωρίου*

#### **4.1.2 Δήμος Αρμένων**

Η περιοχή του Δ. Αρμένων βρίσκεται στο βόρειο κεντρικό τμήμα του νομού Χανίων, σε απόσταση 18 km ανατολικά της πόλης των Χανίων. Εκτείνεται ως μια μακρόστενη λωρίδα από τον όρμο των Καλυβών προς την ορεινή ενδοχώρα του





νομού με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η συνολική έκταση του δήμου είναι 55.292 στρέμματα. Γεωμορφολογικά η περιοχή του Δήμου χωρίζεται σε δύο μέρη. Νότια των Μαχαιρών η περιοχή χαρακτηρίζεται ορεινή και ημιορεινή και αποτελεί τμήμα των υπορειών των Λευκών Ορέων. Βόρεια των Μαχαιρών και μέχρι τη θάλασσα η περιοχή χαρακτηρίζεται λοφώδης και πεδινή. Σε πολλές τοποθεσίες οι κλίσεις των κλιτύων των λόφων και των ορεινών όγκων είναι μεγάλες και απότομες έως και κρημνώδεις εξαιτίας του έντονου τεκτονισμού της περιοχής.



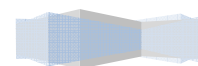
Η παράκτια ζώνη του Δ. Αρμένων αποτελεί το δυτικό τμήμα του Όρμου Καλυβών. Έχει μήκος 3 km περίπου και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Το σημερινό αποτέλεσμα της ακτής οφείλεται στη διαβρωτική - μεταφορική - δημιουργική δράση των κυμάτων και ρευμάτων που επικρατούν στο Κρητικό πέλαγος. Η παράκτια ζώνη είναι αμμώδης και περιορίζεται μεταξύ των βραχωδών ακτών του ακρωτηρίου Σούδα στα βορειοδυτικά και της τοποθεσίας Φοινικιά στα νοτιοανατολικά (θέση Βιολογικού Σταθμού).

### Υδρολογία - Πηγές

Η επιφανειακή απορροή των ποταμών Κοιλιάρη και Μεσοποτάμου εξαρτάται αφ' ενός μεν από τις βροχοπτώσεις, αφ' ετέρου δε από πηγές που υπάρχουν και εκφορτίζουν σε αυτούς. Οι περισσότερες κοίτες των ρεμάτων και χειμάρρων της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκαν σε ρηξιγενείς επιφάνειες που είναι παράλληλες σε κανονικά κατακόρυφα ρήγματα της περιοχής. Κατά τη θερινή περίοδο τα ρέματα Γεράνι, Μαχαιροί και ο χειμάρρος Κεραμειανός στερεύουν και ο ποταμός Κοιλιάρης τροφοδοτείται αποκλειστικά από τα νερά των πηγών Στύλου και Βλυχάδων. Κατά τη χειμερινή περίοδο οι επιφανειακές απορροές των χειμάρρων και ρεμάτων είναι πλημμυρικές με συνέπεια να δημιουργούνται πλημμυρικά φαινόμενα. Η επιφανειακή απορροή του Μεσοποτάμου εξαρτάται από τα νερά των μόνιμων πηγών Αρμένοι και Ζούρμπου και τις περιοδικές πηγές Αναβρέτης.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι σημαντικό ρόλο στις επιφανειακές απορροές της περιοχής διαδραματίζουν πηγές που βρίσκονται στη λοφώδη και πεδινή περιοχή του Δήμου. Όλες οι πηγές που συναντώνται στην περιοχή μελέτης είναι καρστικές πηγές, δηλαδή εκροές νερού από ενεργό καρστικό σύστημα. Όλες οι πηγές τροφοδοτούνται από τη φρεατία ζώνη. Η παροχή των χαμηλότερων υψομετρικά πηγών αυξάνει σε βάρος των υψηλότερων, με αποτέλεσμα στις ξηρές εποχές να ξηραίνονται οι υψομετρικά υψηλότερες (π.χ. πηγές Αναβρέτης)

### Υδρολιθολογία σχηματισμών



Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης από άποψη υδρογεωλογικής συμπεριφοράς διακρίνονται ως εξής:

α) Υδροπερατοί σχηματισμοί:

- *Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα διαφόρων γεωλογικών ηλικιών.* Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως έντονη καρστικότητα και κατά θέσεις είναι ρηγματωμένοι. Το καρστ σε πολλά μέρη έχει δημιουργήσει σπηλαιώσεις σε βάθος μερικών μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους (π.χ. οικισμός Καλυβιών) . Τα ασβεστολιθικά πετρώματα προσφέρουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη υδροφορέων.
- *Αποθέσεις Νεογενούς και Ολόκαινου,* που περιέχουν μεγάλα ποσοστά άμμου και χαλίκων και μικρά ποσοστά πηλού και αργίλου και καλύπτουν την πεδινή έκταση βόρεια του Νέου Χωριού.

β) Ημιδιαπερατοί σχηματισμοί:

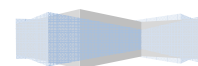
- *Μαργαικοί ασβεστόλιθοι* του Νεογενούς που καλύπτουν την κεντρική και βόρεια περιοχή μελέτης μέχρι την θάλασσα.

γ) Αδιαπέρατα ( υδατοστεγείς ) σχηματισμοί:

- *Μάργες* του Νεογενούς που εντοπίζονται στην κεντρική και βόρεια περιοχή μελέτης
- *Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι* που εντοπίζονται στην περιοχή Καρές - Μαχαίροι.

Υδρογεωλογική μελέτη για την περιοχή του Δ. Αρμένων δεν έχει εκπονηθεί. Από δεδομένα της Υ.Ε.Β. Ν. Χανίων και προσωπική επαφή με τον γεωλόγο της Υ.Ε.Β. κ. Κ. Βοζινάκη, καθώς και από την επιτόπια μακροσκοπική παρατήρηση προκύπτει ότι υδρογεωλογικά η περιοχή μελέτης είναι πλούσια σε υδατικό δυναμικό εξαιτίας:

- 1) των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Ν. Χανίων,
- 2) της μεγάλης σε έκταση παρουσίας υδροπερατών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, ολοκαινικές αποθέσεις)
- 3) του γεωμορφολογικού ανάγλυφου (σταδιακή μείωση του υψομέτρου από νότο, υπόρειες Λευκών Ορέων, προς βορρά , επίπεδο της θάλασσας),
- 4) της έντονης τεκτονικής δράσης που έλαβε χώρα το Πλειοτεταρτογενές.



Στο δήμο Αρμένων ανήκει η περιοχή “Νιο Χωριό” απ’ όπου δεν υπήρχε πρόσβαση στην γεώτρηση κι έτσι το δείγμα συλλεγόταν από κατοικία που βρίσκονταν εκεί.

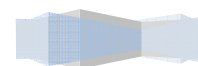
#### 4.1.3 Δήμος Σούδας

Ο Δήμος Σούδας, αποτελείται από την Σούδα (έδρα του δήμου), τα Τσικαλαριά και τα Άπτερα. Ο Δήμος της Σούδας με την Απτέρα, τη σπουδαιότερη “πόλη κράτος” της δυτικής Κρήτης στην αρχαιότητα, τα όμορφα Τσικαλαριά και τη Σούδα με το μεγαλύτερο φυσικό λιμάνι της Μεσογείου, διαθέτει αξιόλογα αρχαιολογικά μνημεία και ξεχωριστές φυσικές ομορφιές. Ο κόλπος της Σούδας, στα βόρεια παράλια του σημερινού νομού Χανίων, σχηματίζεται από τον κυρίως κορμό της Κρήτης και το ακρωτήριο Μελέχα, ή Ακρωτήρι. Η γεωφυσική του θέση, ο προσανατολισμός του, σε συνδυασμό με το μέγεθος και το επαρκές βάθος του, τον καθιστούν ένα ασφαλές λιμάνι κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Η γεωγραφική του θέση στο κέντρο της ανατολικής Μεσογείου



πάνω στους πανάρχαιους θαλάσσιους δρόμους, του δίδουν μια ξεχωριστή στρατηγική σημασία, με αποτέλεσμα να προκαλεί το έντονο ενδιαφέρον από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Ο κόλπος της Σούδας, είναι ένα από τα στρατηγικά σημαντικότερα αγκυροβόλια του ΝΑΤΟ, στην Μεσόγειο. Ο νέος Δήμος Σούδας καταλαμβάνει ολόκληρο το νοτιοδυτικό τμήμα του όρμου της Σούδας διαθέτει δε ένα σύγχρονο εμπορικό και επιβατικό λιμάνι το οποίο αποτελεί τον κύριο ακτοπλοϊκό σύνδεσμο της Δυτικής Κρήτης με την υπόλοιπη Ελλάδα. Από τα δυτικά συνορεύει με το Δήμο Χανίων και το Δήμο Ελευθερίου Βενιζέλου, ανατολικά με το Δήμο Αρμένων, βόρεια με το Δήμο Ακρωτηρίου και νότια με το Δήμο Κεραμειών. Ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου, σύμφωνα με τα προσωρινά στοιχεία της απογραφής του 2001, ανέρχεται σε 8.000 περίπου κατοίκους και η έκταση του, είναι 22.007 στρέμματα.

Στο δήμο Σούδας ανήκουν οι γεωτρήσεις του Ναύσταθμου και στα Μεγάλα Χωράφια, οι οποίες βρίσκονταν στην περιοχή Καλάμι. Το δείγμα συλλεγόταν από την απορροή της γεώτρησης στη θάλασσα. Οι μετρήσεις από τη γεώτρηση στα Μεγάλα Χωράφια είναι περιορισμένες γιατί κάποια στιγμή η γεώτρηση κλειδώθηκε με αποτέλεσμα να μην έχουμε πρόσβαση σ’ αυτήν.

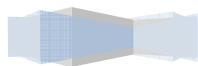




*Εικ. 3.3 Απορροή γεώτρησης Νάυσταθμου. Από αυτό το σημείο γίνονταν η δειγματοληψία.*



*Εικ. 3.4 Γεώτρηση της περιοχής “Μεγάλα Χωράφια”. Μετά τις 03/05/2007 η γεώτρηση κλειδώθηκε με λουκέτο.*





#### 4.1.4 Σημεία δειγματοληψίας

Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας είναι:

**Καΐνα** : N35.40722 E024.17544

**Γαβαλοχώρι** : N35.40661 E024.17915

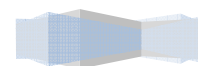
**Νιοχωριό** : N35.51976 E024.04202

**Ναύσταθμος–Καλάμι** : N35.42587 E024.18975

**Μεγάλα Χωράφια** : N35.468580 E24.120998

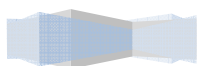


Εικ 3.4 Χάρτης με τα πέντε σημεία δειγματοληψίας.



## 4.2 Κλιματολογικές συνθήκες

Η περιοχή έχει μεσογειακό κλίμα. Χαρακτηρίζεται από τις εποχιακές διαφοροποιήσεις του έτους, μακρά, ζεστά και άνυδρα καλοκαίρια με υψηλά ποσοστά υγρασίας, γεγονός που θυμίζει εύκρατο κλίμα κατά καιρούς, και υψηλές θερμοκρασίες. Χαρακτηρίζεται επίσης από βραχείς και κρύους χειμώνες, με έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις κυρίως στα νότια ορεινά, δηλαδή σε μεγαλύτερα υψόμετρα και σπανιότατα σε πεδινές ή παραλιακές περιοχές. Το μεγάλο ποσοστό κατακρημνισμάτων που φθάνει με μορφή είτε βροχής είτε χιονιού στα Λευκά Όρη τροφοδοτούν τον υδροφόρο της περιοχής με μεγάλα ποσά ύδατος.





## 5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

### 5.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία μαζί με το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό αποτελούν τις βασικότερες ίσως παραμέτρους που επηρεάζουν τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν σε πολύ συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το ξεπέραςμα του οποίου επιφέρει, αρχικά «στρες» και στη συνέχεια θάνατο. Γι αυτό η μέτρηση της θερμοκρασίας πρέπει να συνοδεύει κάθε δειγματοληψία.

### 5.2 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου - pH

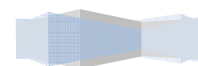
Στην παρούσα εργασία η μέτρηση του pH γίνεται με την ηλεκτρομετρική μέθοδο με τη βοήθεια του πεχάμετρου. Ο ηλεκτρομετρικός προσδιορισμός του pH μπορεί να εφαρμοστεί στα πόσιμα, επιφανειακά και θαλασσινά νερά καθώς και στα λύματα και βιομηχανικά απόβλητα.

Ο προσδιορισμός του pH στα δείγματα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία και αν αυτό δεν είναι δυνατό η μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο πρέπει να γίνεται το συντομότερο δυνατό.

**Διαδικασία μέτρησης pH :** Αρχικά βαθμονομούμε το πεχάμετρο με τη βοήθεια πρότυπων διαλυμάτων με pH 4 και 7 ως εξής: Βυθίζουμε το ηλεκτρόδιο του πεχάμετρου στο διάλυμα με τιμή pH 4 και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η τιμή στην οθόνη του οργάνου. Όταν δούμε την τιμή 4 ξεπλένουμε καλά με απιονισμένο νερό το ηλεκτρόδιο και το βυθίζουμε στο πρότυπο διάλυμα με pH 7 μέχρι η οθόνη να δείξει την τιμή 7. Όταν πάρουμε και αυτήν την ένδειξη τότε το όργανο έχει βαθμονομηθεί και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε το pH των δειγμάτων που θέλουμε να αναλύσουμε. Στη συνέχεια παίρνουμε κάθε ένα δείγμα και βυθίζουμε το ηλεκτρόδιο.

**Προσοχή!** Είναι σημαντικό να ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο πριν από κάθε μέτρηση για να απομακρύνονται οι όποιες παρεμποδιστικές ουσίες(π.χ. ελαιώδεις ουσίες ή αιωρούμενα στερεά).

Όταν σταματήσει να αναβοσβήνει η ένδειξη “stabilizing” τότε παίρνουμε τη μέτρηση μας.



### 5.3 Θολερότητα

Η θολερότητα καθορίζει την αποδοχή του νερού για πόση. Η θολερότητα οφείλεται στην ύπαρξη αιωρούμενων συστατικών και συστατικών σε κolloειδή κατάσταση. Επίσης η θολερότητα επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης του νερού. Η θολερότητα μετράται αντικειμενικά σε νεφελομετρικές μονάδες NTU. Θολερότητα < 5 NTU είναι αποδεκτή από τους καταναλωτές. Ιδανικά θολερότητα < 0,1 NTU είναι επιθυμητή για μέγιστη αποτελεσματικότητα των μεθόδων απολύμανσης.

Η μέτρηση της θολερότητας με την νεφελομετρική μέθοδο, μπορεί να προσδιοριστεί σε οποιοδήποτε δείγμα που δεν περιέχει ευμεγέθη στερεά ή σωματίδια που καθιζάνουν γρήγορα. Επίσης, το δείγμα δεν πρέπει να περιέχει φυσαλίδες αερίων ή να είναι έγχρωμο. Το δείγμα πρέπει να αναλύεται όσο το δυνατόν συντομότερα. Αν τα παραπάνω δεν είναι εφικτά, τότε το δείγμα πρέπει να καταψύχεται ή να συντηρείται στους 4°C για να περιοριστεί η μικροβιακή αποσύνθεση των στερεών. Οι μετρήσεις της θολότητας πραγματοποιήθηκαν με φορητό θολερόμετρο (Lovibond CR3210).

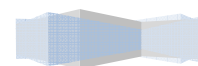
Το θολερόμετρο ρυθμίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αρχικά μετριοούνται στο θολερόμετρο πρότυπα αιωρήματα (1, 10, 100 και 1000 NTU) που να καλύπτουν την περιοχή η οποία ενδιαφέρει και ελέγχεται η αντιστοιχία των ενδείξεων του οργάνου με τα πρότυπα διαλύματα. Αφού πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση του οργάνου παίρνουμε την άδεια και καθαρή κυψελίδα όπου περιέχεται στο κουτί του οργάνου για την τοποθέτηση του δείγματος μας, την σκουπίζουμε εξωτερικά με χαρτί εμποτισμένο σε αιθυλική αλκοόλη και κρατώντας την μόνο από το πάνω μέρος της, την γεμίζουμε με το δείγμα μας μέχρι την ένδειξη της. Το δείγμα μας πρέπει να αναδεύεται έτσι ώστε να γίνει τέλεια διασπορά των αιωρούμενων στερεών και αφού εξαφανιστούν οι διάφορες φυσαλίδες αέρα μεταφέρεται στον σωλήνα του θολερόμετρου. Στην συνέχεια η κυψελίδα τοποθετείται στην υποδοχή του οργάνου έτσι ώστε το λευκό βαθμονομημένο τρίγωνο να δείχνει προς το αντίστοιχο σημάδι σωστής τοποθέτησης. Σημειώνουμε κατευθείαν την ένδειξη που αντιστοιχεί στην κλίμακα του οργάνου [14]

### 5.4 Αγωγιμότητα

Η μέτρηση της αγωγιμότητας γίνεται με όργανα γνωστά ως αγωγιμόμετρα. Τα όργανα αυτά μετρούν την αντίσταση του διαλύματος ή την τάση του εναλασσόμενου ρεύματος. Τα αγωγιμόμετρα, συνήθως αποτελούνται από μία πηγή εναλασσόμενου ρεύματος, γέφυρα Wheatstone και κύτταρο αγωγιμότητας και δίνουν κατευθείαν την τιμή της αγωγιμότητας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αντίθεση με την αγωγιμότητα των μετάλλων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με ρυθμό περίπου 1,9% / °C. Η μέτρηση της αγωγιμότητας πρέπει πάντα να πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία η οποία πρέπει να αναγράφεται δίπλα στο αποτέλεσμα της μέτρησης. Χρειαζόμαστε ένα πρότυπο διάλυμα KCl με αγωγιμότητα 1278  $\mu\text{S}$  για τη βαθμονόμηση του αγωγιμόμετρου.

**Διαδικασία μέτρησης αγωγιμότητας :** Βαθμονομούμε το αγωγιμόμετρο με πρότυπο διάλυμα KCl 1278  $\mu\text{S}$  με τρόπο παρόμοιο του pH. Ακολουθεί η μέτρηση των αγωγιμοτήτων των δειγμάτων μας. Για κάθε μέτρηση το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται καλά με απιονισμένο νερό.



## 5.5 Διαλυμένο οξυγόνο

Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου. Τα αστικά λύματα όπως και συγκεκριμένες κατηγορίες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου. Η μη αποτελεσματική επεξεργασία τους πριν την τελική τους διάθεση, οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών στα φυσικά ύδατα όπου λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες: Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα για νιτροποίηση (μετατροπή σε νιτρικά). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, το άζωτο και ο φώσφορος που περιέχονται στα λύματα, ως θρεπτικά συστατικά, ενεργοποιούν την παραγωγή νέας ζωντανής οργανικής ύλης στον υδάτινο αποδέκτη η οποία μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της αποσυντίθεται καταναλώνοντας διαλυμένο οξυγόνο.

Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά. Λόγω κυρίως της παρουσίας οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου.

Ο βαθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται επίσης από την υφιστάμενη σχέση των ρυθμών αποξυγόνωσης και οξυγόνωσης του συγκεκριμένου οικοσυστήματος (συχνά η αναπλήρωση του οξυγόνου γίνεται μόνο από εισρέουσες μάζες νερού πλουσιότερες σε διαλυμένο οξυγόνο). Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η ενδεικνυόμενη ελάχιστη μέση τιμή διαλυμένου οξυγόνου για τη διαβίωση σαλμονίδων πρέπει να είναι τα 9 mg/l και η οριακή ελάχιστη τιμή τα 7 mg/l, ενώ για τις κυπρινίδες 7 mg/l και 5 mg/l, αντίστοιχα. Για οικοσυστήματα καλλιέργειας οστρακοειδών η ελάχιστη συγκέντρωση στο 95 % του χρόνου πρέπει να είναι ίση με 70% της τιμής κορεσμού, ενώ για περιοχές κολύμβησης συνιστάται ελάχιστη τιμή στο 90% του χρόνου ίση με τα 80% της τιμής κορεσμού.

## 5.6 Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού είναι μία από τις σημαντικές χημικές παραμέτρους της ποιότητας του νερού, μαζί με το pH, την αγωγιμότητα (conductivity) κλπ.

Ο ρόλος της σκληρότητας, τόσο για τη χημεία του νερού, όσο και για την φυσιολογία των ψαριών και την υγεία των υδρόβιων φυτών και ζώων (πχ ασπόνδυλα) είναι, σαφώς, ένας ρόλος πρωταγωνιστικός. Η σκληρότητα, διατηρεί πολύ στενή σχέση με το pH, αφού σ' αυτήν οφείλεται, εν πολλοίς, τόσο η διαμόρφωση των τιμών του pH, όσο και η σταθερότητά του. Επειδή το pH είναι σταθεροποιητικός παράγοντας για ένα κλειστό σύστημα ενυδρείου - αφού επιδρά στην τοξικότητα των ενώσεων του Αζώτου μέσα στο νερό - αντιλαμβανόμαστε πώς και για ποιο λόγο, ή σκληρότητα είναι μία βασική χημική παράμετρος του νερού.

Τα διαλυμένα άλατα στο νερό απορροφούνται από τα ψάρια ως απαραίτητα για τη διαβίωσή τους άλατα ή ιχνοστοιχεία – αφού όλοι οι οργανισμοί χρειάζονται άλατα και ιχνοστοιχεία - και ως πρώτη ύλη για το χτίσιμο της οστέινης μάζας τους (σκελετός) και για τις περαιτέρω λειτουργίες τους. Τα υδρόβια φυτά χρησιμοποιούν επίσης τα διάφορα άλατα ως θρεπτικά συστατικά και τα υδρόβια ασπόνδυλα ζώα χρειάζονται τα άλατα για να κτίσουν τους σκελετούς τους (κοράλλια) ή τα κελύφη τους (υδρόβια σαλιγκάρια, σπειρογράφοι).

Η σκληρότητα στην πραγματικότητα είναι δύο πράγματα μαζί, που το ένα επηρεάζει και επηρεάζεται από το άλλο.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές σκληρότητες,

η *Ολική σκληρότητα* (Total Hardness)

η *μη ανθρακική η μόνιμη σκληρότητα* (non Carbonate Hardness) και

η *Ανθρακική σκληρότητα* (Carbonate Hardness).

Η Ολική σκληρότητα μετράει τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Συνήθως αναφέρεται στη συγκέντρωση αλάτων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Αυτές οι συγκεντρώσεις μετρούνται η σε p.p.m. (partspermillion = μέρη στο εκατομμύριο), mg/l (χιλιοστογραμμάρια ανά λίτρο) ή γερμανικούς βαθμούς (dGH). Για να μετατρέψουμε τους dGH σε mg/l ή p.p.m. αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τους γερμανικούς βαθμούς επί 17,9.

Η Ανθρακική σκληρότητα (KH) γνωστή και σαν Alkalinity, μετράει τη συγκέντρωση Ανθρακικών (carbonates) και Διτανθρακικών (bicarbonates) αλάτων στο νερό. Μετριέται και αυτή σε p.p.m., mg/l ή γερμανικούς βαθμούς (dKH). Για να μετατρέψουμε τους dKH σε mg/l ή p.p.m. πρέπει, επίσης, να πολλαπλασιάσουμε τους γερμανικούς βαθμούς επί 17,9.

Νερό με βαθμούς σκληρότητας από 300 – 500 mg/LCaCO<sub>3</sub>, θεωρείται σκληρό και χρησιμοποιείται ως πόσιμο μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, ενώ είναι ακατάλληλο για πλύσιμο με χρήση των κοινών σαπουνιών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα διαλυμένα όξινα ανθρακικά ή θειικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου σχηματίζουν αδιάλυτα άλατα με τα οργανικά ανιόντα των λιπαρών οξέων που περιέχονται στα κοινά σαπουνία (παλμιτικού, στεατικού και ελαϊκού), με αποτέλεσμα την αναστολή της απορρυπαντικής τους δράσης. Επίσης, το σκληρό νερό είναι ακατάλληλο για την τροφοδοσία ατμολεβήτων, θερμαντικών σωμάτων και σωλήνων μεταφοράς θερμού νερού επειδή κατά τη θέρμανση αποτίθενται στα τοιχώματα τους ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου.

#### Διαδικασία ανάλυσης

1. Σε κωνική φιάλη προσθέτουμε 25 ml δείγματος.
2. προσθέτουμε μια «ταμπλέτα σκληρότητας» (Indicator buffer tablets της MerckR).
3. Προσθέτουμε στο απαγωγό και με προσοχή 1 ml NH<sub>3</sub>.
4. Κατά την προσθήκη των ταμπλέτων και της NH<sub>3</sub> το διάλυμα αποκτά καφέ-κόκκινο χρώμα

#### Τιτλοδότηση:

1. Γεμίζουμε την προχοΐδα με διάλυμα EDTA 0,01 M
2. Τιτλοδοτούμε το δείγμα στην κωνική φιάλη με το διάλυμα EDTA στην προχοΐδα.
3. Καταγράφουμε το ύψος του διαλύματος στην προχοΐδα

4. Προσθέτουμε μικρές ποσότητες EDTA στην κωνική αναδεύοντας ταυτόχρονα, έως το χρώμα του δείγματος αλλάξει από καφέ-κόκκινο σε πρασινωπό
5. Καταγράφουμε το ύψος του διαλύματος στην προχοΐδα
6. Υπολογίζουμε των όγκο του EDTA που καταναλώθηκε.

#### Παρασκευή EDTA 0,01 M

1. Σε σφαιρική ογκομετρική φιάλη 1L προσθέτουμε 3,723 g EDTA.
2. Συμπληρώνουμε με αποιονισμένο νερό.
3. Αποθηκεύουμε το διάλυμα σε φιάλη πολυαιθυλενίου, σημειώνοντας πάνω σε αυτό το περιεχόμενο του και την ημερομηνία παρασκευής.

Στην Ελλάδα τα νερά χαρακτηρίζονται μάλλον σκληρά, επί το πλείστον, αφού οι υδροφόροι ορίζοντες απαντώνται μέσα σε ασβεστολιθικούς θύλακες και επιπροσθέτως διαλυμένα πυριτικά, θειούχα και άλλα άλατα δημιουργούν συγκεκριμένες ποιότητες νερού.

### **5.7 Ολικά στερεά στους 105°C**

Το σύνολο των στερεών που υπάρχουν στα ύδατα (αιωρούμενα, διαλυμένα, καθιζάνοντα) αποτελούν τα ολικά στερεά, η μέτρηση των οποίων παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο υδατικός αποδέκτης.

#### Διαδικασία μέτρησης

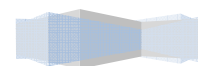
- 1) Τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στον φούρνο ξήρανσης σε θερμοκρασία 105 °C για περίπου μια ώρα, προκειμένου να εξατμιστεί η πιθανή υγρασία που μπορεί να έχει το ποτήρι μας.
- 2) Στην συνέχεια τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στο ξηραντήρα στον οποίο υπάρχει silicagel (με μπλε χρώμα) έως ότου φτάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 3) Ζυγίζουμε το ποτήρι ζέσεως και καταγράφουμε το βάρος ως «αρχικό βάρος» σε γραμμάρια.
- 4) Προσθέτουμε 100 ml από το δείγμα μας στο προ-ζυγισμένο ποτήρι ζέσεως (το ποτήρι δεν είναι στον ζυγό επάνω).
- 5) Τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στον φούρνο ξήρανσης σε θερμοκρασία 105 °C για 24 ώρες έως ότου το περιεχόμενο του να εξατμισθεί και να μείνει το στερεό υπόλειμμα (ίζημα) στον πυθμένα.
- 6) Τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στο ξηραντήρα και αφήνουμε να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 7) Στην συνέχεια το ζυγίζουμε και καταγράφουμε το βάρος ως «βάρος μετά την ξήρανση» σε γραμμάρια.

$$\text{ολικά στερεά} = (B - A) \cdot 10.000 \text{ mg / lt}$$

Όπου:

A: αρχικό βάρος (gr)

B: βάρος μετά την ξήρανση (gr)



## 5.8 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD), αποτελεί την παράμετρο που προσδιορίζει έμμεσα το οργανικό φορτίο το οποίο μπορεί να διασπασθεί από πληθυσμούς μικροοργανισμών που υπάρχουν στα ύδατα και τα απόβλητα (προσδιορίζεται το οξυγόνο που απαιτείται για τη διάσπαση του δυνητικά βιοαποδομήσιμου κλάσματος του συνολικού οργανικού φορτίου, με τη βοήθεια των μικροοργανισμών,  $BOD_u$ ). Δεδομένου ότι η βιοχημική αποδόμηση είναι βραδεία διαδικασία η οποία ολοκληρώνεται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, μετράται συνήθως το οξυγόνο που καταναλώνεται εντός των πρώτων πέντε ημερών από την έναρξή της (προσδιορισμός του  $BOD_5$ ).

Το  $BOD_5$  αποτελεί βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ενώ το  $BOD_u$  χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βαθμού αποξυγόνωσης (μείωσης του διαλυμένου οξυγόνου) των υδατικών αποδεκτών.

### Αρχή της μεθόδου:

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς του δείγματος για να καταναλώσουν αερόβια την περιεχομένη οργανική ουσία που περιέχεται στο δείγμα. Η βιοχημική απαίτηση “οξυγόνο ή βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο” BOD εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες: γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ( $g/m^3$ ).

Συγκεκριμένος όγκος δείγματος με ρυθμισμένο pH τοποθετείται σε σφραγισμένο δοχείο μέσα σε θερμοθάλαμο στους  $25^{\circ}C$  για 5 ημέρες. Η κατανάλωση του περιεχομένου οξυγόνου στο δοχείο κατά την διάσπαση του οργανικού φορτίου του δείγματος από τους μικροοργανισμούς, υπολογίζεται ως από τι μεταβολή της πίεσεως στο δοχείο και μετράτε μανόμετρα.

Το παραγόμενο  $CO_2$  για να μην επηρεάζει την μεταβολή της πίεσεως στο δοχείο, δεσμεύεται από φίλτρο στερεού NaOH που βρίσκεται μέσα στην φιάλη.

### Προετοιμασία δείγματος:

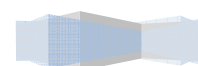
1. Θέτουμε σε λειτουργία τον θερμοθάλαμο σε θερμοκρασία  $20^{\circ}C$ .
2. Στο δείγμα μετράτε το pH και ρυθμίζεται από 6 έως 7,5 (για την ρύθμιση του pH χρησιμοποιούμε το διάλυμα HCl 0,01 M).
3. Σε ειδική σκουρόχρωμη φιάλη των 500 ml τοποθετείται ποσότητα 428 ml δείγματος αν το BOD του δείγματος αναμένεται υψηλό τότε προτείνεται αραιώση. Η αραιώση του δείγματος μπορεί να επιτηδευθεί με την μείωση της ποσότητας του δείγματος που τοποθετείται στο δοχείο συμφωνά με το πινάκα 1.
4. Τοποθετούμε μαγνητικός αναδευτήρας μέσα στην φιάλη.
5. Τοποθετούμε την λαστιχένια βάση για το αλκαλικό αντιδραστήριο στο λαιμό της φιάλης.



6. Τοποθετούμε μερικούς κρυστάλλους στέρεου NaOH στην λαστιχένια βάση προσέχοντας να μην έρθουν σε επαφή με το δείγμα μας.
7. Τοποθετούμε την ειδική μανομετρική συσκευή μέτρησης του BOD στην κορυφή της φιάλης χωρίς όμως να την κλείσουμε αεροστεγώς.
8. Τοποθετούμε την φιάλη στο αεροθάλαμο πάνω στους μαγνητικούς αναδευτήρες ώστε να υπάρχει συνεχής ανάδευση.
9. Αφήνουμε στους 20°C για 15 λεπτά για να γίνει εξισορρόπηση της θερμοκρασίας της φιάλης και του δείγματος με αυτήν του θερμοθαλάμου.
10. Όταν η θερμοκρασία σταθεροποιηθεί, σφραγίζουμε την φιάλη βιδώνοντας την ειδική μανομετρική συσκευή μέτρησης του BOD.
11. Μηδενίζουμε την συσκευή.
12. Αφήνουμε στο θερμοθάλαμο για 5 ημέρες την φιάλη με διαρκή ανάδευση και σταθερή θερμοκρασία 20°C.
13. Μετά το πέρας των 5 ημερών λαμβάνουμε την τιμή που αναγράφεται στην συσκευή του BOD και την καταγράφουμε ως «ένδειξη οργάνου».

Πίνακας 1: Χρησιμοποιούμενοι όγκοι διαλύματος ανάλογα με το εύρος των μετρήσεων.

Μετρίσιμο εύρος BODmg/l	Όγκος δείγματος ml	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
0 – 4	428	1
0 – 80	360	2
0 – 200	244	5
0 – 400	157	10
0 – 800	94	20
0 – 2000	56	50
0 - 4000	21,7	100



## 5.9 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) είναι η παράμετρος που προσδιορίζει έμμεσα το συνολικό οργανικό φορτίο που υπάρχει στα ύδατα ή τα απόβλητα (βιοαποδομήσιμο και μη). Συγκεκριμένα, προσδιορίζει το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη διάσπαση-οξειδωση του συνολικού οργανικού φορτίου προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η οξειδωση πραγματοποιείται με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, υπό όξινες συνθήκες και λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες οργανικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στις διαδικασίες πλήρους οξειδωσής τους (π.χ. αρωματικές ενώσεις), η διεργασία αναπτύσσεται παρουσία καταλύτη. Το COD αποτελεί επίσης βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο το προσδιορίζουμε με ημιποσοτική μέθοδο φωτομετρικά με την χρήση του Cell test *MERCK 1.14540.0001* με εύρος μέτρησης 10-150 mg/l COD.

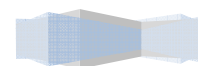
**Αρχή της μεθόδου :** Η μέθοδος βασίζεται στη οξειδωση δείγματος νερού με θερμό διάλυμα διχρωμικού καλίου και θεικό άργυρο ως καταλύτη. Το χλώριο του δείγματος εξουδετερώνεται με νιτρικό υδράργυρο. Η συγκέντρωση ιόντων  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  κίτρινου χρώματος που δεν καταναλώθηκαν προσδιορίζεται φωτομετρικά.

**Διαδικασία μέτρησης:** Σε έναν σωλήνα χώνευσης βάζουμε 10 ml. Στη συνέχεια αναδεύουμε και βάζουμε το σωλήνα στον θερμοαντιδραστήρα για δύο ώρες αφού τον έχουμε πωματώσει ερμητικά. Μετά το πέρα του χρόνου βγάζουμε το σωλήνα από το θερμοαντιδραστήρα και το αφήνουμε να κρυώσει για 30 min. Στη συνέχεια ξεπλένουμε την κυψελίδα αναγνώρισης με το διάλυμα μια φορά και μετά στην ίδια κυψελίδα βάζουμε το δείγμα και αφού την έχουμε σκουπίσει καλά εξωτερικά την βάζουμε στο φωτόμετρο και παίρνουμε τη μέτρηση.

## 5.10 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )

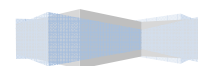
Τα νιτρικά αποτελούν την ανώτατη οξειδωτική βαθμίδα των ενώσεων του αζώτου, είναι θερμοδυναμικώς σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους στα ύδατα οφείλονται κυρίως σε βιοχημικές δράσεις. Η συγκέντρωσή τους στα φυσικά ύδατα είναι πολύ μικρή, ενώ σε ορισμένα υπόγεια ύδατα εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις. Όταν το νερό που προορίζεται για πόσιμο περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και υπόκειται σε καθαρισμό με ενεργό άνθρακα, τότε είναι δυνατό να παρατηρηθεί αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη που όπως αναφέρθηκε είναι επικίνδυνα για την υγεία. Επίσης, ανάγονται στον οργανισμό σε νιτρώδη και στη συνέχεια απορροφώνται από το αίμα και οξειδώνουν το σίδηρο της αιμογλοβίνης. Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στα ύδατα παρουσιάζουν τον κίνδυνο πρόκλησης στα βρέφη της νόσου της κυάνωσης, ενώ στο όξινο περιβάλλον του στομάχου των οργανισμών ενδέχεται να μετατραπούν όπως και τα νιτρώδη, σε νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες ουσίες.

Τα νιτρικά ιόντα τα προσδιορίσαμε με την ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο με kit – test *Nitrate 09713 reagent test NO3-N* της εταιρίας Merck. Το εύρος του test ήταν 1.0 – 25.0 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$ .



**Αρχή της μεθόδου:** Σε ένα διάλειμμα που έχει οξινιστεί με θειικό και φωσφορικό οξύ το νιτρικό άλας αντιδρά με 2,6 – διμεθυλοφαινόλη για να σχηματίσει 4-νιτρο-2,6 – διμεθυλοφαινόλη χρώματος πορτοκαλί, η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.

**Διαδικασία μέτρησης:** Με μία πιπέτα παίρνουμε 4ml από το αντιδραστήριο NO<sub>3</sub> – 1 σε μία άδεια κυλινδρική κυψελίδα. Στη συνέχεια με πιπέτα ακριβείας προσθέτουμε 0,5 ml από το δείγμα και 0,5ml από το αντιδραστήριο NO<sub>3</sub> – 2 και αναμιγνύουμε στον αναδευτήρα. Σε αυτή τη φάση πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί γιατί η κυψελίδα θερμαίνεται. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 10 min. Μετά το πέρας του χρόνου μεταφέρουμε το διάλυμα σε ορθογώνια γυάλινη κυψελίδα την οποία βάζουμε στο φασματόμετρο και παίρνουμε την τιμή.



### 5.11 Αμμωνιακά (Μέθοδος Nessler)

Η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα ύδατα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των υδάτων από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξειδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερης διάρκειας.

Η αμμωνία με τη μορφή  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  και  $\text{NH}_3$ , βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα επιφανειακά ύδατα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων ως αποτέλεσμα της υδρόλυσης της ουρίας και της αποδόμησης αζωτούχων ενώσεων).

Ο προσδιορισμός των ιόντων αμμωνίου βασίζεται στην αντίδραση του  $\text{NH}_4^+$  με το αντιδραστήριο Nessler, οπότε σχηματίζεται ένα διπλό άλας χρώματος καφεκιτρίνου σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

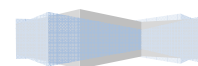


Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για συγκεντρώσεις ιόντων αμμωνίου από 0.02 μέχρι 5 mg/l. Για υψηλότερες συγκεντρώσεις συνιστάται η ανάλογη αραίωση. Με την προκατεργασία του δείγματος με θειικό ψευδάργυρο σε αλκαλικό περιβάλλον καταβυθίζονται τα ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου και θείου, τα οποία σχηματίζουν θόλωμα με την προσθήκη του αντιδραστηρίου Nessler.

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με το Ammonium Cell Test 14739 της εταιρίας Merck Γερμανίας. Το εύρος του test είναι 0.01 – 2.00 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$

**Αρχή της μεθόδου :** Το αμμωνιακό άζωτο υφίσταται μερικώς με τη μορφή αμμωνιακών ιόντων και μερικώς με τη μορφή αμμωνίας. Μεταξύ των δύο αυτών μορφών υπάρχει μια δυναμική ισορροπία, εξαρτημένη από το pH. Σε ισχυρά αλκαλικά διαλύματα το  $\text{NH}_4 - \text{N}$  βρίσκεται ως επί το πλείστον με τη μορφή αμμωνίας η οποία αντιδρά με τα υποχλωριώδη ιόντα σχηματίζοντας μονοχλωραμίνες. Οι μονοχλωραμίνες παρουσία φαινόλης σχηματίζουν την μπλε ινδοφαινόλη, η συγκέντρωση της οποίας προσδιορίζεται φωτομετρικά.

**Διαδικασία μέτρησης:** Με μία πιπέτα προσθέτουμε 10ml δείγματος σε σωλήνα του kit. Προσθέτουμε και 1,3ml από το αντιδραστήριο  $\text{NH}_4 - 1\text{B}$  και ανακατεύουμε με προσοχή γιατί το διάλυμα θερμαίνεται. Στη συνέχεια προσθέτουμε και δυο μικροκουταλιές από το αντιδραστήριο  $\text{NH}_4 - 2\text{B}$  και ανακατεύουμε στον αναδευτήρα. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 5min. Ύστερα προσθέτουμε οχτώ σταγόνες  $\text{NH}_4 - 3\text{B}$  και αφήνουμε πάλι το διάλυμα να ηρεμήσει για 10min. Ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCCK Spectroquant® NOVA 60).



## 5.12 Φωσφορικά

Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα, ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών και πολυφωσφορικών ιόντων, ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά νερά οφείλεται σε πηγές φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Πολυφωσφορικά ιόντα περιέχονται και στα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά οικιακής και βιομηχανικής χρήσης. Έτσι οι επιφανειακοί αποδέκτες δέχονται απόβλητα και λύματα επιβαρυνμένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Ο οργανικός φώσφορος δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες και περιέχεται στα περιττώματα και υπολείμματα τροφών, στα ιζήματα λιμνών, λιμνοθαλασσών, κλειστών θαλάσσιων κόλπων και στην βιολογική ιλύ υπό τη μορφή ανόργανων αλάτων ή δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψή του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις που ο φώσφορος είναι ο περιοριστικός παράγοντας η διοχέτευση λυμάτων και αποβλήτων καθώς και η έκπλυση φυτοφαρμάκων προκαλεί υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκών ή μακρόφυτων που προκαλούν ευτροφισμό.

Στη φύση τα πολυφωσφορικά ιόντα βαθμιαία υδρολύονται στο νερό προς σταθερές ομάδες ορθοφωσφορικών. Επίσης, ο δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις φώσφορος, με τη δράση βακτηρίων αποικοδομείται με τελικό προϊόν ορθοφωσφορικά ιόντα. Ανώτατο επιτρεπτό όριο για πόσιμο νερό είναι τα 0,5 μg/L.

**Αρχή μεθόδου :** Σε ένα διάλειμμα που έχει οξινιστεί με θειικό οξύ, τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με μολυβδαινικά ιόντα και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ. Το ασκορβικό οξύ το ανάγει σε φωσφορο-μολυβδαινικό σύμπλοκο του αντιμονίου μπλε χρώματος το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

**Διαδικασία μέτρησης:** Με μία πιπέτα βάζουμε 5ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέτουμε πέντε σταγόνες αντιδραστήριου P – 1A και αναδεύουμε στον αναδευτήρα. Στη συνέχεια προσθέτουμε μία δόση του αντιδραστήριου P – 2A με το μπλε κουταλάκι και αναδεύουμε καλά ώσπου να διαλυθεί το ίζημα. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 5min και μετά μεταφέρουμε το διάλυμα σε ορθογώνια πλαστική κυψελίδα. Ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCCK Spectroquant® NOVA 60) αφού προηγουμένως έχουμε βάλει την κυψελίδα αναγνώρισης.

## 5.13 Θεϊκά

Από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στη βιομηχανία είναι το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παρουσία σημαντικών ποσοτήτων θειούχων και θεικών στα παραγόμενα απόβλητα και στην περίπτωση που δεν λαμβάνει χώρα αποτελεσματική απομάκρυνσή τους, ρυπαίνουν τα φυσικά ύδατα στα οποία καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα. Τονίζεται ότι η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών ευνοεί τη μετατροπή των θειωδών σε θειικά, ενώ η

ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών την αντίστροφη αντίδραση (μετατροπή θεικών προς θειώδη).

#### Αρχή της μεθόδου:

Τα θειικά ιόντα  $\text{SO}_4^{-2}$  καταβυθίζονται σε διάλυμα οξικού οξέος με χλωριούχο βάριο  $\text{BaCl}_2$  όπου δεσμεύονται με την μορφή κρυστάλλων θειικού βαρίου  $\text{BaSO}_4$  ομοιόμορφου μεγέθους. Η απορρόφηση του αιωρήματος του  $\text{BaSO}_4$  μετράτε φωτομετρικά και η συγκέντρωση των  $\text{SO}_4^{-2}$  υπολογίζεται συναρτήσει πρότυπης καμπύλης αναφοράς

**Διαδικασία μέτρησης:** Σε έναν σωλήνα χώνευσης βάζουμε 5ml δείγματος, 4 σταγόνες  $\text{SO}_4^-$  1A, 2 μικροκουταλιές  $\text{SO}_4^-$  2A. Κλείνουμε το σωλήνα και αφήνουμε να θερμανθεί στους 40ο C για 5min αφού ανακατέψουμε. Μετά το πέρας του χρόνου προσθέτουμε 5 ml  $\text{SO}_4^-$  φιλτράρουμε και προσθέτουμε 8 κουταλιές  $\text{SO}_4^-$  4A. Ανακατεύουμε και αφήνουμε να θερμανθεί για 7min στους 40° C. Στη συνέχεια μετράμε στο φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60) στα 515 nm.

#### Υπολογισμοί

$$\text{mgSO}_4^{-2}/\text{L} = \frac{\text{mgSO}_4^{-2} \times 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

Αν έχει χρησιμοποιηθεί το ρυθμιστικό διάλυμα A υπολογίζουμε την συγκέντρωση απευθείας από την καμπύλη αναφοράς. Στην περίπτωση που έχει χρησιμοποιηθεί ρυθμιστικό διάλυμα B αφαιρούμε από το μετρούμενο αποτέλεσμα την συγκέντρωση του τυφλού διαλύματος.

## 5.14 Κάλιο (K)

### Φωτομετρική μεθοδος

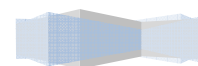
#### Αρχή της μεθόδου

Όταν διάλυμα που περιέχει ιόντα μετάλλων εκχέεται (ψεκάζεται) σε φλόγα χαμηλής θερμοκρασίας, τα ηλεκτρόνια των ιόντων διεγείρονται και μεταβαίνουν σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση

Όταν τα ηλεκτρόνια από διεγείρονται επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και εκπέμπουν σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με την χρήση καταλλήλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φώτο-ανιχνευτή. Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων στην φλόγα και επακόλουθα, του διαλύματος (αυτό ισχύει για διαλύματα χαμηλών συγκεντρώσεων)

Το ηλεκτρικό σήμα από τον φώτο-ανιχνευτή, ενισχύεται και αναγράφεται σε ψηφιακή μορφή.

Για τα ιόντα του Καλίου ισχύει η παραπάνω διαδικασία για συγκεντρώσεις έως και 10,00 ppm, η καμπύλη προτυποποίησης είναι ευθεία γραμμή.





### Όργανα και σκευή

- Φωτοφωτόμετρο με κατάλληλο οπτικό φίλτρο για των προσδιορισμό Καλίου.

### Αντιδραστήρια

- Πρότυπα διαλύματα Κ διαφορών συγκεντρώσεων από 0,00 ppm έως 10,00 ppm

### Πειραματική διαδικασία

1. Αρχικά μετρούνται τα πρότυπα δείγματα καθώς και το τυφλό και οι ενδείξεις του οργάνου καταγράφονται για κάθε ένα από αυτά.
2. Από τις παραπάνω μετρήσεις χαράσσεται καμπύλη αναφοράς
3. Στην συνέχεια μετρούνται τα δείγματα και από τις ενδείξεις του οργάνου και την καμπύλη προτυποποίησης, υπολογίζεται η αντίστοιχη συγκέντρωση του κάθε δείγματος.

## 5.15 Νάτριο (Na)

### **Φωτομετρική μέθοδος**

#### Αρχή της μεθόδου

Όταν διάλυμα που περιέχει ιόντα μετάλλων εκχέεται (ψεκάζεται) σε φλόγα χαμηλής θερμοκρασίας, τα ηλεκτρόνια των ιόντων διεγείρονται και μεταβαίνουν σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση

Όταν τα ηλεκτρόνια από διεγείρονται επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και εκπέμπουν σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με την χρήση καταλλήλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φώτο-ανιχνευτή. Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων στην φλόγα και επακόλουθα, του διαλύματος (αυτό ισχύει για διαλύματα χαμηλών συγκεντρώσεων)

Το ηλεκτρικό σήμα από τον φώτο-ανιχνευτή, ενισχύεται και αναγράφεται σε ψηφιακή μορφή.

Για τα ιόντα του Νατρίου ισχύει η παραπάνω διαδικασία για συγκεντρώσεις έως και 10,00 ppm, η καμπύλη προτυποποίησης είναι ευθεία γραμμή.

### Όργανα και σκευή

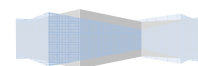
- Φωτοφωτόμετρο με κατάλληλο οπτικό φίλτρο για των προσδιορισμό Νατρίου.

### Αντιδραστήρια

- Πρότυπα διαλύματα Na διαφορών συγκεντρώσεων από 0,00 ppm έως 10,00 ppm

### Πειραματική διαδικασία

1. Αρχικά μετρούνται τα πρότυπα δείγματα καθώς και το τυφλό και οι ενδείξεις του οργάνου καταγράφονται για κάθε ένα από αυτά.
2. Από τις παραπάνω μετρήσεις χαράσσεται καμπύλη αναφοράς



3. Στην συνέχεια μετρούνται τα δείγματα και από τις ενδείξεις του οργάνου και την καμπύλη προτυποποίησης, υπολογίζεται η αντίστοιχη συγκέντρωση του κάθε δείγματος.

## 5.16 Ασβεστό

### Φωτομετρική μέθοδος

#### Αρχή της μεθόδου

Όταν διάλυμα που περιέχει ιόντα μετάλλων εκχέεται (ψεκάζεται) σε φλόγα χαμηλής θερμοκρασίας, τα ηλεκτρόνια των ιόντων διεγείρονται και μεταβαίνουν σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση

Όταν τα ηλεκτρόνια από διεγείρονται επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και εκπέμπουν σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με την χρήση καταλλήλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φώτο-ανιχνευτή. Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων στην φλόγα και επακόλουθα, του διαλύματος (αυτό ισχύει για διαλύματα χαμηλών συγκεντρώσεων)

Το ηλεκτρικό σήμα από τον φώτο-ανιχνευτή, ενισχύεται και αναγράφεται σε ψηφιακή μορφή.

Για τα ιόντα του Ασβεστίου ισχύει η παραπάνω διαδικασία για συγκεντρώσεις έως και 100,00 ppm, η καμπύλη προτυποποίησης είναι ευθεία γραμμή.

#### Όργανα και σκευή

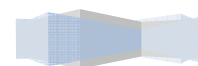
- Φλωγοφωτόμετρο με κατάλληλο οπτικό φίλτρο για των προσδιορισμό Ασβεστίου.

#### Αντιδραστήρια

- Πρότυπα διαλύματα Ca διαφορών συγκεντρώσεων από 0,00 ppm έως 100,00 ppm

#### Πειραματική διαδικασία

1. Αρχικά μετρούνται τα πρότυπα δείγματα καθώς και το τυφλό και οι ενδείξεις του οργάνου καταγράφονται για κάθε ένα από αυτά.
2. Από τις παραπάνω μετρήσεις χαράσσεται καμπύλη αναφοράς
3. Στην συνέχεια μετρούνται τα δείγματα και από τις ενδείξεις του οργάνου και την καμπύλη προτυποποίησης, υπολογίζεται η αντίστοιχη συγκέντρωση του κάθε δείγματος.



### 5.17 Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)

Τα χλωριόντα αποτελούν μία από τις κύριες κατηγορίες ανόργανων συστατικών των φυσικών υδάτων και η συγκέντρωσή τους ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία και την προέλευσή τους. Ο έλεγχος της παρουσίας των χλωριόντων στα ύδατα (πόσιμο, άρδευσης, νερό για βιομηχανική χρήση) είναι απαραίτητος προκειμένου να καθορισθεί η ενδεικνυόμενη χρήση τους. Αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριούχων συστατικών στα υπόγεια ύδατα είναι σοβαρή ένδειξη ρύπανσης των υδάτων αυτών από χώρους τελικής διάθεσης στερεών αποβλήτων. Σημειώνεται επίσης ότι η συγκέντρωση των χλωριόντων στους φυσικούς αποδέκτες δεν επηρεάζεται από τους μηχανισμούς απορρύπανσης που λαμβάνουν χώρα.

Αρχή μεθόδου : Για τη μέτρηση των ιόντων χλωρίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σύμφωνα με τη μέθοδο, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου και με δείκτη τελικού σημείου διάλυμα χρωμικού καλίου.

**Διαδικασία μέτρησης:** Για κάθε δείγμα πραγματοποιούνται τρεις ογκομετρήσεις. Σε κωνική φιάλη τοποθετούνται 25ml απιονισμένο νερό και 25ml από το αντίστοιχο δείγμα. Προσθέτεται 1ml δείκτη διχρωμικού καλίου (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) 2% σε κάθε κωνική φιάλη, ο οποίος δίνει στο διάλυμα έντονο κίτρινο χρώμα. Η προχοΐδα γεμίζεται πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO<sub>3</sub>) 0,01N. Σημειώνεται η αρχική τιμή και προσθέτεται νιτρικό άργυρο μέχρι να αλλάξει χρώμα το διάλυμα. Με την πρώτη αλλαγή χρώματος σημειώτεται η τελική τιμή και από τη διαφορά τους υπολογίζονται τα ml του νιτρικού αργύρου που καταναλώθηκαν.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης χλωρίων γίνεται βάση του τύπου :

$$\text{mg / L Cl} = (A - B) * N * 35.450 / C$$

όπου :

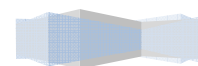
A = τα mL διαλύματος AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκαν για το δείγμα

B = τα mL διαλύματος AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκαν για το μάρτυρα

N = η κανονικότητα του διαλύματος AgNO<sub>3</sub>

C = ο όγκος του δείγματος σε mL

Είναι σωστό για κάθε δείγμα να γεμίζεται η προχοΐδα με AgNO<sub>3</sub> γιατί κάτι τέτοιο θα βοηθάει να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.



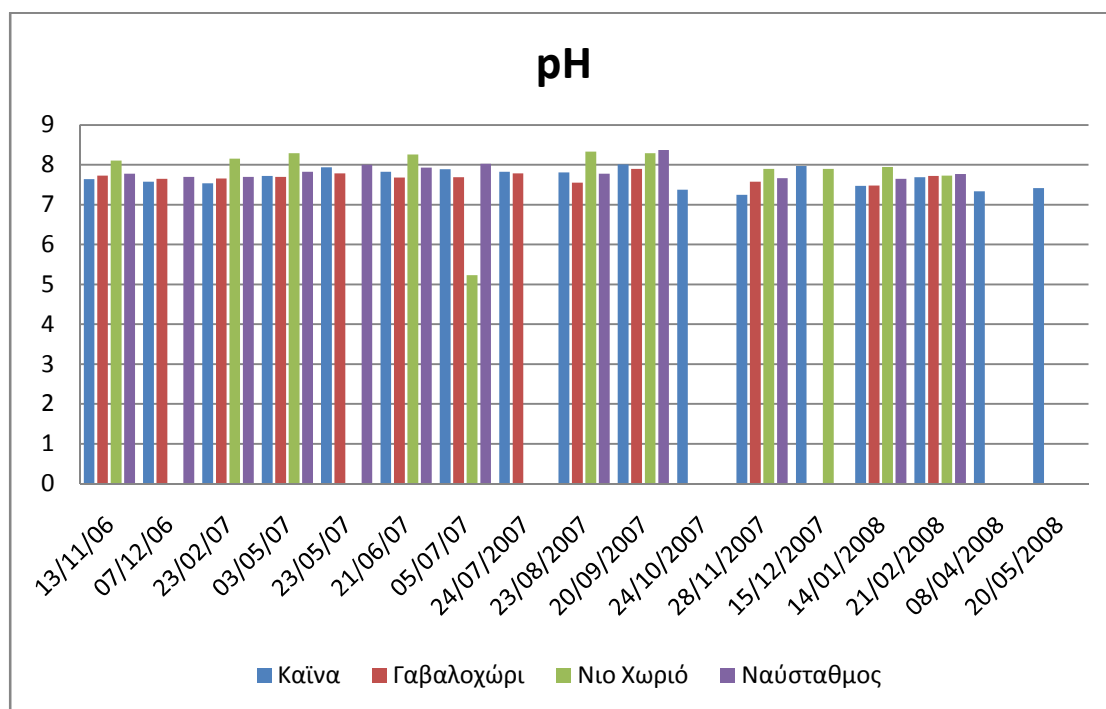
## 7 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σαν πρώτο συμπέρασμα από τα αποτελέσματα είναι η πολύ πιο υψηλή σε σχέση με τα επιτρεπτά όρια (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) μέτρηση της αγωγιμότητας στην περιοχή του Γαβαλοχωρίου. Σε πρώτη φάση, αυτό και μόνο το συμπέρασμα κάνει το νερό μη ποσιμό αφού η αγωγιμότητα του κυμαίνεται από 2300 έως 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

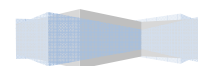
### 7.1 Τιμή pH

Στο σχήμα 7.1 φαίνεται ότι οι τιμές του pH και στα τέσσερα δείγματα είναι μέσα στα αποδεκτά όρια (6,5 – 8,5). Εξαιρέση αποτελεί η μέτρηση στις 05/07/2007 στην γεώτρηση στο Νιο Χωριό όπου η τιμή του pH είναι 5,23. Λόγω του ότι η μέτρηση αυτή είναι η μοναδική κάτω από το επιτρεπτό όριο και λόγω του ότι όλες οι άλλες μετρήσεις είναι μέσα στα αποδεκτά όρια, θεωρείται ότι έγινε κάποιο σφάλμα κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης μέτρησης.

Γενικά, υπάρχει μια σταθερή τιμή pH και στα τέσσερα δείγματα, με ελαφρά αυξημένη τιμή pH, αυτή του Νιου Χωριού.

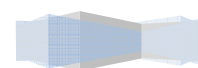


Σχ. 7.1 Μεταβολή του pH δειγμάτων νερού γεωτρήσεων Καΐνας, Γαβαλοχωρίου, Νιου Χωριού και Ναύσταθμου.



## 7.17 Συμπεράσματα μετρήσεων

Από τις παραπάνω μετρήσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο υδροφόρος ορίζοντας του Γαβαλοχωρίου έχει υποστεί υφαλμύρωση σε σημείο τέτοιο που δεν μπορεί να διορθωθεί. Το θαλάσσιο νερό έχει εισχωρήσει πολύ μέσα στον υδροφόρο καταστρέφοντάς τον από πηγή πόσιμου νερού. Από την άλλη, ο υδροφόρος της Κάϊνας παρ' ότι έχει υποστεί υφαλμύρωση, βλέπουμε ότι το φαινόμενο μπορεί να διορθωθεί αφού τους μήνες του χρόνου που δεν υπάρχει μεγάλη άντληση, η τιμές της αγωγιμότητας, τα ολικά στερεά και το νάτριο, που είναι τα χαρακτηριστικά της υφαλμύρωσης, είναι μειωμένες, που σημαίνει ότι με σωστή διαχείριση το φαινόμενο μπορεί να εξαλειφθεί. Το νερό από το Νιο Χωριό είναι το καλύτερο ποιοτικά δείγμα νερού από αυτά που εξετάσαμε. Όλες οι παράμετροι είναι στα επιθυμητά όρια.



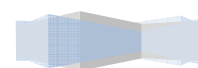
## 8 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

Η αναχαίτιση του φαινομένου είναι μια δύσκολη και επίπονη διαδικασία μιας και είναι ένα φυσικό φαινόμενο που είναι δύσκολα αναστρέψιμο. Επίσης και μετά την αντιμετώπισή του είναι απαραίτητο να απομακρυνθεί και το αλάτι που έχει προσροφηθεί από τους κόκκους του εδάφους. Γ' αυτό καλύτερη θα ήταν η πρόβλεψη του, έτσι ώστε να αποφευχθεί η εισροή της θάλασσας στο έδαφος με μια σωστή υδρολογική μελέτη για τη διαχείριση των υπογείων υδάτων, παρά η αντιμετώπιση του φαινομένου.

Σε παράκτιες περιοχές όπου τα αποθέματα του υδροφορέα είναι ελάχιστα είναι απαραίτητη να γίνει μια ορθολογική διαχείριση έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υπερεκμετάλλευσης γιατί οι επιπτώσεις που υπεισέρχονται (πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, διείσδυση της θάλασσα και η υφαλμύρωση των παράκτιων εδαφών, καθιζήσεις εδαφών λόγω συμπίεσης των κενών των πόρων του υδροφορέα, οικονομικό κόστος για μεταφορά γλυκού νερού) είναι πολύ μεγάλες.

Για την αναχαίτιση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του εμπλουτισμού των υδάτων με πηγάδια εισαγωγής. Μια ενδιαφέρουσα πρόταση θα ήταν να χρησιμοποιηθούν οι εκροές του βιολογικού καθαρισμού αλλά είναι απαραίτητη περαιτέρω επεξεργασία τους καθώς η νομοθεσία προβλέπει το εισαγόμενο νερό να ικανοποιεί τα κριτήρια του πόσιμου νερού. Άλλες μέθοδοι όπως αυτή της δημιουργίας υποθαλάσσιων φραγμάτων ή της τεχνικής της κρυσταλλοποίησης δεν ενδείκνυνται γιατί η μεν πρώτη έχει μεγάλο οικονομικό κόστος και λόγω της σεισμικότητας στον Ελλαδικό χώρο ίσως να μην έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα για την δεύτερη δε, βρίσκεται ακόμη σε πιλοτικό στάδιο.

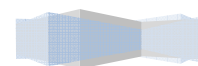
Αναγκαία κρίνεται και η μεταφορά νερού από παρακείμενες περιοχές με περισσεύματα υδατικού δυναμικού για μεγαλύτερη αντιμετώπιση του φαινομένου. Είναι απαραίτητη η εκπόνηση μελετών και έργων για την αξιοποίηση και εξοικονόμηση επιφανειακών υδάτων έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων καθώς και υδρογεωλογικών ερευνών και μελετών που να καθορίζουν το υδατικό ισοζύγιο και το υδατικό δυναμικό του υπόγειου υδροφορέα.





## 8.1 Τεχνητός εμπλουτισμός

- i. Σκοπός του τεχνητού εμπλουτισμού είναι ένας από τους πιο κάτω ή συνδυασμός περισσότερων του ενός από αυτούς.
- Η αύξηση της εκμεταλλεύσιμης ποσότητας υπόγειου νερού ή η δημιουργία προσωρινής υπόγειας αποθήκης για εκμετάλλευση.
  - Η αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας (δηλ. του υδρολογικού ισοζυγίου) υδροφόρων στρωμάτων ή συστημάτων που διαταράχθηκε λόγω υπερεκμετάλλευσης (υπεράντλησης) τους ή η πρόληψη της επαπειλούμενης διατάραξης του υδρολογικού ισοζυγίου και των συνεπειών του (βλ. προηγούμενο κεφάλαιο).
  - Η πρόκληση ανόδου της στάθμης (τοπικά ή γενικά) σε παράκτια υδροφόρα στρώματα για την αποφυγή ή την αναχαίτιση διείσδυσης της θάλασσας και υφαλμύρωσης των υδροφορέων.
  - Η άνοδος ή έστω η διατήρηση της στάθμης υδροφόρων στρωμάτων για την αποφυγή συνίζησής τους και υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους.
  - Η τροποποίηση της ποιότητας υπόγειου νερού με εμπλουτισμό του από άλλο κατάλληλο ποιοτικά.
  - Η επεξεργασία επιφανειακών νερών προς εκμετάλλευση δια της διήθησής τους από κατάλληλα εδαφικά-γεωλογικά στρώματα.
  - Η διατήρηση της παροχής που επαπειλείται με μείωση ή και πλήρη στέρηση ή επαναλειτουργία στειρευθείσης ήδη πηγής αντλουμένου φρέατος (ή γεώτρησης) ή κάθε υδροληπτικού (υδρομαστευτικού) έργου.
  - Η ενεργειακή χρήση νερού με εισαγωγή κρύου και άντληση ζεστού σε περιοχές γεωθερμικών πεδίων.
  - Η λειτουργία ψυκτικών εγκαταστάσεων και μηχανισμών εργοστασίων με την εισαγωγή θερμού νερού και την άντληση κρύου.
  - Η αντιμετώπιση πλημμυρικών παροχών με τη διοχέτευση μέρους τους σε περιοχές με διατάξεις-εγκαταστάσεις τεχνητού εμπλουτισμού.[13]
- ii. Προϋποθέσεις εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού είναι οι εξής:
- Να υπάρχει επιφανειακό νερό σε επαρκή ποσότητα.
  - Η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτήν του υπόγειου.
  - Να υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (επιφάνειες και υπέδαφος με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική διασύνδεση κλπ).
  - Να υπάρχουν περιοχές κατάλληλες γεωμορφολογικά.
  - Το κατασκευαστικό και το λειτουργικό κόστος να μην είναι ασύμφορα.
- iii. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Τεχνητού Εμπλουτισμού. Στα πλεονεκτήματα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε:
- Περιβαλλοντικά έχει γενικά θετικές επιπτώσεις: βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού, προστασία της ύπαρξης και της

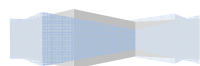


λειτουργίας πηγών και υγροτόπων, αποφυγή συνίζησης και άρα ποσοτικής υποβάθμισης υδροφορέων, αποφυγή ή αναχαίτιση διείσδυσης θαλασσινού νερού στα παράκτια υδροφόρα στρώματα.

- Οι υπόγειοι ταμιευτήρες δεν διατρέχουν τους κινδύνους φυσικών καταστροφών των επιφανειακών ταμιευτήρων (κατολισθήσεις, πλημμύρες, άμεσες μολύνσεις κλπ).
- Δεν αχρηστεύεται λόγω υπεράντλησης τυχόν υπάρχουσα υποδομή από γεωτρήσεις, αγωγούς κλπ.
- Μειώνονται οι απώλειες νερού από εξατμίσεις.

iv. Στα μειονεκτήματα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε:

- Απαιτείται συνεχής και επιμελής παρακολούθηση των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού.
- Υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης-ρύπανσης υπόγειου νερού, αν, έστω επεισοδιακά, χρησιμοποιηθεί μολυσμένο-ρυπασμένο νερό.
- Δεν συναντώνται συχνά στη φύση κατάλληλες συνθήκες υπό οικονομικά συμφέροντες όρους για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού.[13]



## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/images/ocp2003/WaterCycle-optimized.jpg>:  
ο κύκλος του νερού
- [2] <http://www.kgs.ku.edu/Publications/PIC/23figures/Fig2.jpg>:  
ελεύθερος και περιορισμένος υδροφορέας
- [3] Στεφανόπουλος Κ. (2004) " Προσδιορισμός της Ζώνης Υφαλμύρωσης στην Περιοχή Χερσονήσου – Ηρακλείου Κρήτης με Χρήση Προσομοίωσης και Μετρήσεων Πεδίου " Πτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [4] Γ.Α. Καλλέργης, (2001) Εφαρμοσμένη περιβαλλοντική υδρογεωλογία (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος): Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού. Α, Β & Γ τόμος.
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Vamos>
- [6]  
<http://www.topografoi.com/rs/wiki/index.php?title=%CE%9A%CE%B1%CF%81%CF%83%CF%84>
- [7]  
<http://users.auth.gr/~darakas/DARAKAS%20LECTURES%202010%20pdf/4%20BOD%20COD%20Biochemical%20Reactions%20Kinetics.pdf>
- [8] <http://www.dimosarmenon.gr/city/waters/waters.html>
- [9] <http://www.souda.gr/our-space/natural-geography/natural-geography.html>
- [10] Μαυροκεφαλίδου Ελένη 2005 "Μελέτη της ποιότητας νερού στα πλαίσια ορθολογικής διαχείρισης του υπόγειου υδροφορέα Περιοχής Βάμου" Πτυχιακή εργασία Τει Κρήτης.
- [11] <http://www.awitec.gr>
- [12] <http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/lessons/41/katsiri/waterTreatment1.pdf>
- [13] <http://www.geo.auth.gr/763/ch7.htm>
- [14] Μηνου Αντωνία (2009) "Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης στον εμπορικό λιμένα της Σούδας και στον Ενετικό λιμένα Χανίων" Πτυχιακή εργασία

