



## **Ευχαριστίες**

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

*Σημαντική ήταν η βοήθεια των : Κυρήκου Ματούλας, Μακατουνάκη Βιργινίας και Καλημέρη Μαρίας.*

*Ιδιαίτερα αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που είναι πάντα δίπλα μου.*

## **PUMPING RATE VARIATIONS IN WELL LOCATED IN KAINA-VAMOS AREA (CRETE) AND THEIR IMPACTS ON GROUNDWATER QUALITY.**

The exploitation and management of groundwater in coastal aquifers are directly connected to the seawater intrusion in the aquifer which can be permanent or more commonly not permanent flow resulting in salinity rise. In most cases, the problem of seawater intrusion is easily recognized by the authorised personnel however, the extent of problem is unknown. Additionally the problem can reach impermissible limits when the suitable measures are not taken in time.

Kaina is one to several coastal regions in Greece, where intensive salt water intrusion in the aquifer occurs possibly due to anthropogenic causes. The aim of the present research was to correlate the pumping rate of Kaina's well to the physical, chemical and microbiological characteristics of the groundwater as a source of potable water.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ &amp; ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....</b>	<b>1</b>
<i>Ευχαριστίες .....</i>	<i>2</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 ΣΚΟΠΟΣ - ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>7</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>8</b>
<b>ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Καρστικά φαινόμενα – το καρστ στην Κρήτη .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Καθοριστικοί παράγοντες στη διαμόρφωση των καρστικών συστημάτων ....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Το «επίπεδο βάσης» και το βάθος καρστικοποίησης .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.1 Το «επίπεδο βάσης» και η υδρογεωλογική του σημασία .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2 Το βάθος καρστικοποίησης .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Τύποι του καρστ.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Υδρολογικές ζώνες στο καρστ .....</b>	<b>12</b>
<b>2.6 Η έννοια του καρστικού υδροφόρου και τα υδρογεωλογικά του χαρακτηριστικά .....</b>	<b>13</b>
<b>2.6.1 Η έννοια του καρστικού υδροφόρου .....</b>	<b>13</b>
<b>2.6.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των καρστικών συστημάτων .....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Καρστικό νερό – υπόγειο νερό.....</b>	<b>14</b>
<b>2.8 Υδροδυναμική του παράκτιου καρστικού συστήματος.....</b>	<b>15</b>
<b>2.9 Παράκτιες και Υποθαλάσσιες καρστικές πηγές.....</b>	<b>18</b>
<b>2.10 Αξιοποίηση παράκτιου καρστ.....</b>	<b>19</b>
<b>2.11 Αξιοποίηση παράκτιων πηγών.....</b>	<b>21</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>25</b>
<b>ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Το φαινόμενο της υφαλμύρινης – αίτια υφαλμύρινης .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Σενάρια υφαλμύρινης παράκτιων καρστικών υδροφορέων στην Ελλάδα</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Γενικά για τη διαχείριση υπόγειων υδροφορέων με φαινόμενα υφαλμύρινης .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1 Υφαλμύρινη παράκτιων υδροφορέων.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.2 Περιγραφή του μοντέλου κίνησης υδάτων σε παράκτιους υδροφορείς... 27</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Τρόποι προσομοίωσης διεπιφάνειας αλμυρού – γλυκού νερού .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 Διεπιφάνεια πεπερασμένου πάχους.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6 Απότομη διεπιφάνεια.....</b>	<b>32</b>
<b>3.7 Αναλυτικές σχέσεις.....</b>	<b>33</b>
<b>3.8 Προσέγγιση GHYBEN – HERZBERG .....</b>	<b>33</b>

3.9 Πραγματική εικόνα της διεπιφάνειας .....	34
3.10 Ακίνητη διεπιφάνεια σε κατακόρυφο επίπεδο .....	35
3.11 Σχέση γλυκού – αλμυρού νερού στα νησιά – αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς.....	35
3.12 Κατιοντική ανταλλαγή στη διεπιφάνεια αλμυρού – γλυκού νερού.....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>37</b>
4.1 Γεωγραφία της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	37
4.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης.....	38
4.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης .....	39
4.4 Κλιματολογικές συνθήκες.....	40
4.5 Υδρολογικές συνθήκες περιοχής.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>43</b>
<b>ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....</b>	<b>43</b>
5.1 Η εθνική νομοθεσία.....	43
5.2 Η Οδηγία- Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2000/60) .....	44
5.3 ΝΟΜΟΣ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 3199/ ΑΡ. Φ. 280 / 9 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2003 .....	45
<b>ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ.....</b>	<b>47</b>
6.1 Φυσικοχημικές παράμετροι .....	47
6.1.1 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH).....	47
6.1.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	47
6.1.3 Θερμοκρασία.....	47
6.2 Ανόργανα συστατικά .....	48
6.2.1 Άζωτο και νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	48
6.2.2 Άζωτο και αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	48
6.2.3 Φώσφορος.....	48
6.2.4 Χλώριο – χλωριόντα (Cl) .....	49
6.2.5 Θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	49
6.3 Δείκτες οργανικού φορτίου .....	49
6.3.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD).....	49
6.3.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) .....	50
6.4 Μικροβιολογικές παράμετροι .....	50
6.4.1 Ολικά και Κοπρανώδη Κολοβακτήρια .....	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>51</b>
7.1 Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας .....	51
7.2 Φυσικοχημικές παράμετροι .....	52
7.2.1 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH).....	52
7.2.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	52
7.3 Ανόργανα συστατικά .....	52
7.3.1 Νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ).....	52
7.3.2 Αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	53
7.3.3 Φώσφορος.....	53

7.3.4 Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> ).....	53
7.3.5 Θειικά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ).....	54
7.4.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD- Biochemical Oxygen Demand) ..	54
7.4.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD – Chemical Oxygen Demand) .....	54
7.5 Μικροβιολογικές παράμετροι .....	55
7.5.1 Ολικά Κοπρανώδη Κολοβακτήρια .....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>	<b>56</b>
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>56</b>
8.1 Τιμές pH. ....	56
8.2 Αγωγιμότητα.....	57
8.3 Χλώρια (Cl <sup>-</sup> ) .....	58
8.4 Συγκέντρωση NH <sub>4</sub> -N & NO <sub>3</sub> -N .....	60
8.5 PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	61
8.6 Θειικά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ).....	61
8.7 COD – BOD <sub>5</sub> – BOD <sub>20</sub> .....	62
8.8 Κολοβακτήρια Ολικά- Κοπρανώδη .....	63
8.9. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ .....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....</b>	<b>66</b>
<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>66</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.....</b>	<b>68</b>
<b>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	<b>68</b>
<b>12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>69</b>

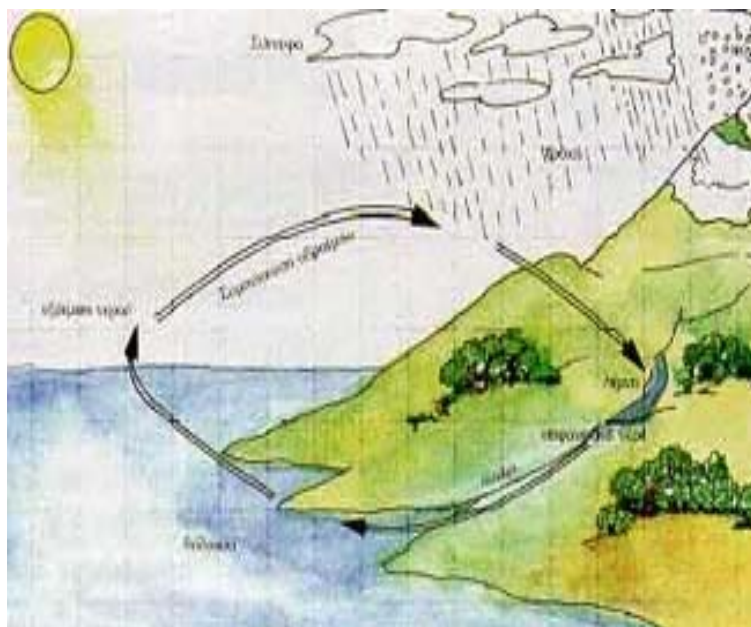
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φωτογραφίες της Γης από το διάστημα δείχνουν έναν εντυπωσιακά γαλάζιο πλανήτη. Ο συνολικός όγκος νερού - περίπου 1.400 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα - καλύπτει το 70% της επιφάνειας της Γης. Το 97,5% της ποσότητας του νερού στον πλανήτη, αποτελεί νερό των θαλασσών και έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση. Από το υπόλοιπο 2,5%, το μεγαλύτερο ποσοστό περίπου 2,13% βρίσκεται στα μεγάλα παγόβουνα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής κι το υπόλοιπο αποτελεί το επιφανειακό και υπόγειο νερό, από το οποίο ένα μικρότερο ποσοστό τηρεί τις ποιοτικές προδιαγραφές ώστε να είναι κατάλληλο για ύδρευση και άρδευση.

Το νερό της Γης, ανεξάρτητα από το εάν παρουσιάζεται με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα ή με την υγρή μορφή του στο έδαφος, στο υπέδαφος και στις υδάτινες μάζες που καλύπτουν τα 3/4 της επιφάνειας του πλανήτη, βρίσκεται σε μια συνεχή κίνηση και υφίσταται μια συνεχή μετατροπή από την υγρή στην αέρια φάση του και αντίστροφα. Η συνεχής μεταφορά του νερού από την ατμόσφαιρα προς την ξηρά και τις υδάτινες μάζες του πλανήτη και η επιστροφή του στην ατμόσφαιρα ορίζεται σαν υδρολογικός κύκλος.

Ο υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού, όπως επίσης ονομάζεται, είναι μια από τις πλέον σημαντικές διεργασίες στη φύση. Με κινητήρια την ηλιακή ενέργεια, το νερό των ωκεανών, των λιμνών, των ποταμών, του εδάφους και της βλάστησης εξατμίζεται και ανέρχεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Οι υδρατμοί αυτοί ψύχονται, μετατρέπονται σε νερό υγρής φάσης ή σε πάγο και σχηματίζουν νέφη. Όταν τα σταγονίδια ή οι παγοκρύσταλλοι των νεφών αποκτήσουν αρκετά μεγάλο μέγεθος, υπό την επίδραση της βαρύτητας επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή βροχής ή χιονιού ( Σχ. 1).



**Σχήμα 1 :** Υδρολογικός κύκλος

Φτάνοντας το νερό στην επιφάνεια της Γης, ένα μέρος πέφτει κατευθείαν στο θαλάσσιο περιβάλλον και το υπόλοιπο πέφτει στη γήινη στερεά επιφάνεια όπου ένα μέρος του εξατμίζεται και μεταλλάσσεται ξανά στην αερίωδη φάση. Από τον κύριο όγκο του νερού που πέφτει στην γήινη στερεά επιφάνεια, αναλόγως ποικίλων συνθηκών ένα μέρος ρέει επιφανειακά σχηματίζοντας ποταμούς και ρυάκια που καταλήγουν στη θάλασσα ενώ το υπόλοιπο κατεισδύει υπόγεια.

Συνηθέστερη αιτία υποβάθμισης του γλυκού νερού αποτελεί η διεύρυνση του φαινομένου της υφαλμύρωσης και είναι εξαιρετικά σημαντική επειδή αποτελεί σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο.

Με τον όρο διείσδυση του αλμυρού νερού - υφαλμύρωση εννοούμε την **αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού για δεδομένη τοποθεσία και δεδομένο βάθος**. Το φαινόμενο αυτό, ιδιαίτερα έντονο σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες, προκαλεί σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης είναι ένα πολύ σημαντικό φαινόμενο μια και αποτελεί συχνή αιτία μόλυνσης του γλυκού νερού παράκτιων περιοχών ανά τον κόσμο. Ο συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση σε νερό. Η αύξηση των αναγκών σε νερό προκαλεί όλο και μεγαλύτερους ρυθμούς άντλησης που σε συνδυασμό με τη

μείωση του εμπλουτισμού των υδροφορέων, λόγω ελάττωσης των κατακρημνισμάτων οδηγούν στη διείσδυση αλμυρού νερού στους παράκτιους υδροφορείς.

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ - ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

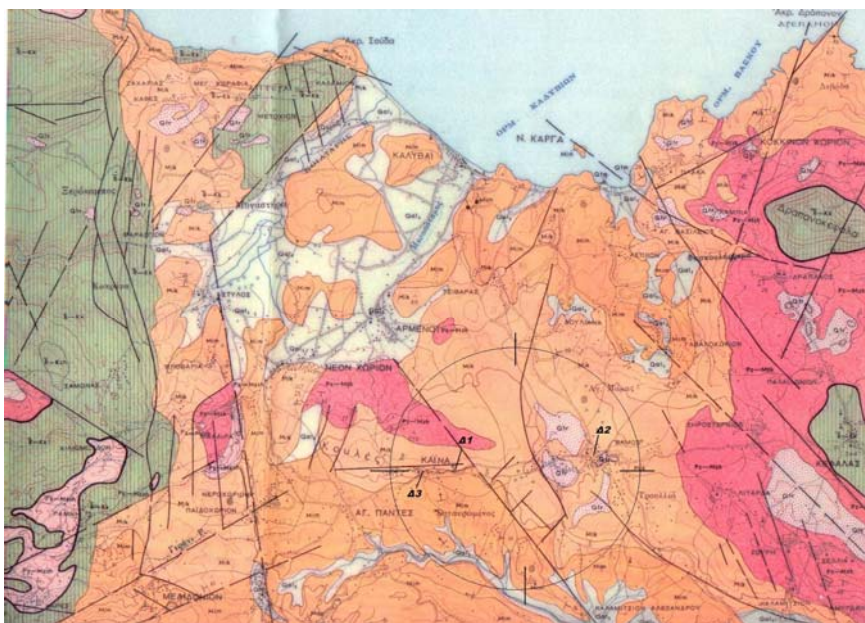
Η διερεύνηση του φαινομένου της υπαλμύρωσης είναι εξαιρετικά σημαντική επειδή αποτελεί τη συνηθέστερη αιτία υποβάθμισης του γλυκού νερού με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο.

Η εμφάνιση συμπτωμάτων υπαλμύρωσης στη γεώτρηση της Κάινα, με αύξηση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα, και η συνεχιζόμενη χρήση της γεώτρησης για ύδρευση προκάλεσαν το έντονο ενδιαφέρον του Εργαστηρίου για την μελέτη της μεταβολής της ποιότητας του νερού σε συνάρτηση με την ποσότητα άντλησης. Σε συνεννόηση με τον Δήμο Βάμου, πραγματοποιήθηκαν τακτικές δειγματοληψίες από την γεώτρηση. Παράλληλα έγιναν δειγματοληψίες και από δύο άλλα σημεία του Δήμου, από βρύση στην πλατεία του Βάμου και από βρύση καφενείου στην πλατεία της Κάινα. Η επιλογή έγινε με το κριτήριο της προέλευσης του νερού καθώς στην πλατεία του Βάμου διοχετεύεται νερό μετά την ανάμειξη νερού των πηγών Αρμένων και της γεώτρησης Κάινας ενώ στην βρύση του καφενείου στην Κάινα διοχετεύεται νερό μόνο των πηγών Αρμένων. Τα τρία σημεία δειγματοληψίας Δ1, Δ2 και Δ3 βρίσκονται μέσα στον κύκλο του χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 1) και είναι αντίστοιχα Δ1 : Νερό γεώτρησης Κάινα, Δ2 : Νερό από το δίκτυο ύδρευσης Βάμου και Δ3 : Νερό από τις πηγές Αρμένων.

Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας έδωσε την δυνατότητα να γίνει συγκριτική εκτίμηση της ποιότητας νερού προερχόμενου από τις πηγές Αρμένων, την γεώτρηση Κάινας και από την ανάμειξή τους. Άλλωστε στο μεγαλύτερο μέρος του Δήμου, μέσω του δικτύου ύδρευσης, διανέμεται το μείγμα νερού Αρμένων και Κάινας. Η ανάλυση των δειγμάτων νερού πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων του ΤΕΙ Κρήτης.

Παράλληλα πραγματοποιήθηκε συστηματική διερεύνηση, με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, των υδρογεωλογικών συνθηκών που διαμορφώνουν τα καρστικά συστήματα προκειμένου να γίνει ολοκληρωμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της έρευνας, δεδομένου ότι η ευρύτερη περιοχή Βάμου δομείται από καρστικά πετρώματα.

Βασικός στόχος ήταν να εκτιμηθούν οι συνθήκες εμφάνισης του φαινομένου της υπαλμύρωσης στη γεώτρηση και ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να χρησιμοποιείται η γεώτρηση έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα διείσδυσης θαλασσινού νερού. Έτσι θα μπορέσει η πτυχιακή αυτή εργασία να συμβάλει στη ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων της περιοχής.



**Εικόνα 1 :** Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (κλίμακα 1: 50,000, έκδοση Ι.Γ.Ε.Υ.1993)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ

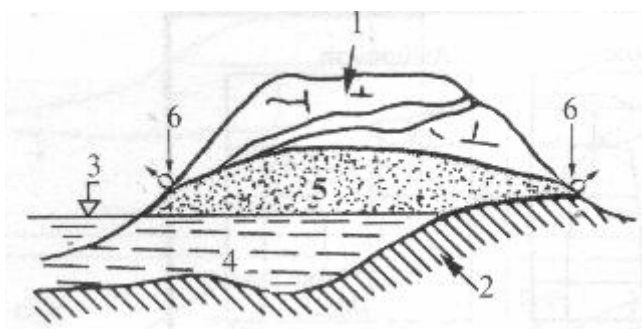
#### 2.1 Καρστικά φαινόμενα – το καρστ στην Κρήτη

Με τον όρο καρστ περιγράφονται περιοχές οι οποίες δομούνται από ευδιάλυτα ανθρακικά πετρώματα με χαρακτηριστικό ανάγλυφο, που είναι αποτέλεσμα της μηχανικής και χημικής δράσης του νερού. Η διάλυση των πετρωμάτων από το νερό προκαλεί διεύρυνση των κοιλοτήτων εντός του πετρώματος, αύξηση της διαπερατότητάς του και δυνατότητα μεταβίβασης διαμέσου αυτού μεγάλων ποσοτήτων νερού.

Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται πάντα με την παρουσία ορισμένων ανθρακικών πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα, ώστε τα διάκενα να διευρύνονται με τη διεργασία της διάλυσης αλλά και να παραμένουν ανοικτά για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τα πετρώματα αυτά λέγονται καρστικά. Τα καρστικά πετρώματα έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο γενικότερα και τον Ελλαδικό ειδικότερα.

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (1981), με τον όρο καρστ εννοείται τόσο η κυκλοφορία του νερού σε ασυνέχειες (κατατμίσεις, διακλάσεις, ρωγμές και καρστικές κοιλοότητες) όσο και η δημιουργία των αντίστοιχων καρστικών μορφών σε διαλυτά κυρίως πετρώματα, αυτό γιατί τα δύο φαινόμενα κυκλοφορίας του νερού και της διάλυσης των πετρωμάτων εξελίσσονται παράλληλα.

Γενικά πιστεύεται ότι ο A.Grund (Καλλεργής, 1981) είναι ο πρώτος που αναφέρεται στην υδρογεωλογική σημασία του καρστ. Ο A.Grund (1903) διατυπώνει τη θεωρία του για την ύπαρξη ενός ενιαίου, περισσότερο ή λιγότερο, υπεδάφικου υδροφόρου, που ανυψώνεται προοδευτικά από τη στάθμη της θάλασσας προς την ενδοχώρα ( Σχ.2 ).



**Σχήμα 2 :** Θεωρία Grund: 1. Περαιτή καρστική μάζα, 2. Αδιαπέρατο υπόβαθρο, 3. Θάλασσα, 4. Υπόγειο νερό, 5. Καρστικό νερό, 6. Καρστικές πηγές (Καλλέργης, 2001).

Η Κρήτη παρουσιάζει ένα σημαντικό αριθμό χαρακτηριστικών επιφανειακών και υπόγειων καρστικών σχηματισμών. Η παρουσία καρστ στην Κρήτη οφείλεται στην μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση των ασβεστόλιθων, στον έντονο τεκτονισμό της νήσου και στις έντονες παλαιοκλιματικές μεταβολές που έλαβαν χώρα τα τελευταία 2 εκατ. χρόνια.

#### 2.2 Καθοριστικοί παράγοντες στη διαμόρφωση των καρστικών συστημάτων

Επιγραμματικά αναφέρουμε του παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των καρστικών συστημάτων δίνοντας έμφαση στους πιο σημαντικούς :

1. Γεωλογικοί παράγοντες
2. Νεοτεκτονικές κινήσεις

3. Ευστατικές κινήσεις στο τεταρτογενές
4. Ανθρωπογενείς παράγοντες – καταβόθρες ανθρωπογενούς προέλευσης
5. Κλιματολογικοί παράγοντες

Ανεξάρτητα λοιπόν από το πρόβλημα αν και κατά πόσο στη δημιουργία το σημαντικότερο ρόλο παίζουν οι κλιματολογικές, γεωμορφολογικές ή γεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής, είναι αναντίρρητο ότι η τελική διαμόρφωση ενός καρστικού συστήματος ρυθμίζεται κατά κύριο λόγο από γεωλογικούς παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν και την υδρογεωλογική του σημασία.

Με δεδομένο δε ότι τελικά το πρόβλημα, κατά κανόνα, είναι η δυνατότητα αξιοποίησης των καρστικών νερών ενός καρστικού συστήματος, έμφαση πρέπει να δίνεται στη διερεύνηση των γεωλογικών εκείνων παραγόντων από τους οποίους κύρια εξαρτάται η δυνατότητα εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού, που περιέχεται στα καρστικά συστήματα.

Οι γεωλογικοί παράγοντες είναι λιθostrωματικοί, παλαιογεωγραφικοί τεκτογενετικοί, ευστατικοί και περιγράφονται στη συνέχεια :

Α) Λιθostrωματογραφικοί και ιζηματογενείς χαρακτήρες:

Οι χαρακτήρες αυτοί καθορίζουν την ομοιογένεια και ισορροπία των ανθρακικών σχηματισμών, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη έννοια. Ο ρόλος των χαρακτηριστικών αυτών είναι κατ' αρχήν καθοριστικός για το είδος του καρστ που θα δημιουργηθεί.

Γενικά τα λιθostrωματογραφικά και ιζηματογενή χαρακτηριστικά στο περιμεσογειακό καρστ είναι τέτοια ώστε να μην εξασφαλίζεται, τουλάχιστον κατά την κατακόρυφη έννοια, ομοιογένεια και ισορροπία, με αποτέλεσμα την αντίσταση των πετρωμάτων στη διάβρωση αλλά και τη χημική διάλυση να αναπτύσσεται ανώμαλα. Η ανομοιογένεια αυτή, στη μικροσκοπική κλίμακα ή το πολύ στην κλίμακα του δείγματος, είναι σχεδόν απόλυτη και αποτελεί τον κανόνα.

Στην κλίμακα όμως της εμφάνισης, είναι δυνατόν οι ανθρακικές μάζες να εμφανίζουν σχετική ομοιογένεια. Αυτή είναι η περίπτωση του Δυναρικού καρστ και του καρστ του συγκροτήματος Παρνασσού – Γκιώνας. Στις περιοχές αυτές το καρστ έχει μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης κατά την κατακόρυφη και συνήθως το στεγανό υπόβαθρό τους, αν υπάρχει, βρίσκεται πάνω από το γενικό επίπεδο βάσης.

Β) Τεκτογενετικούς χαρακτήρες οι οποίοι καθορίζουν:

- Την πτυχογόνο τεκτονική των ανθρακικών πετρωμάτων (αντίκλινα – σύγκλινα)
- Τη ρηξιγενή τεκτονική των ανθρακικών πετρωμάτων και τη στρωματογραφική τους σχέση με τους άλλους σχηματισμούς (διαρρήξεις – επωθήσεις – εφιππεύσεις).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγωγών.

Γ) Παλαιογεωγραφικούς χαρακτήρες:

Οι χαρακτήρες αυτοί είναι τα ίχνη της εξελικτικής πορείας της περιοχής δια μέσου των γεωλογικών αιώνων. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο καθορισμός της γεωλογικής διάρκειας που τα πετρώματα ήταν σε ανάδυση, η οποία σε συνδυασμό με τις παλαιοκλιματικές συνθήκες έπαιξε σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του παλαιοκάρστ.

## 2.3 Το «επίπεδο βάσης» και το βάθος καρστικοποίησης

### 2.3.1 Το «επίπεδο βάσης» και η υδρογεωλογική του σημασία

Η καρστική διάβρωση αναπτύσσεται κατά την κατακόρυφη και δεν σταματάει παρά μόνο στο «στεγανό» υπόβαθρο των καρστικών σχηματισμών. Το στρώμα του νερού που αναπαύεται πάνω σε αυτό το αδιαπέρατο υπόβαθρο, αποτελεί το «**επίπεδο βάσης**» μιας καρστικής περιοχής.

Σε περίπτωση ύπαρξης του υδροφόρου στα ανθρακικά πετρώματα αυτός αποτελεί το **προσωρινό ή το τοπικό επίπεδο βάσης**, διότι μετακινείται προς τα κάτω μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο μαζί με τη καρστικοποίηση μέχρις αυτού. Αν το στεγανό στρώμα βρίσκεται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας η καρστικοποίηση προχωρεί και κάτω από τη στάθμη αυτή και συνδέεται με υποθαλάσσιες καρστικές πηγές.

Μια πιο γενικευμένη άποψη για το «επίπεδο βάσης» του καρστ είναι εκείνη που δώθηκε από τον W. Mopoe, 1970, (Καλλεργης, 2001), η οποία θεωρεί σαν τέτοιο την **επιφάνεια εκείνη, βαθύτερα από την οποία δε γίνεται καρστικοποίηση**.

Η επιφάνεια αυτή, κάτω από την οποία δε δημιουργούνται καρστικές μορφές, μπορεί να είναι ένα μειωμένης περατότητας στεγανό υπόβαθρο των καρστικών σχηματισμών. Στην

περίπτωση ανοιχτού στη θάλασσα παράκτιου καρστ, το υπόβαθρο μπορεί να βρίσκεται σε θετικό υψόμετρο.

Το επίπεδο βάσης των καρστικών υδροφόρων ελέγχει την κίνηση του υπόγειου νερού σε αυτούς, τη γεωμετρία τους και τη διαμόρφωσή τους. Έτσι η διεύθυνση ροής του καρστικού νερού καθορίζεται από τη θέση του **επιπέδου βάσης της διάβρωσης**. Σημαντική επίσης σημασία έχουν η λιθολογία, οι διαρρήξεις και οι τεκτονικές δομές, αλλά οπωσδήποτε το επίπεδο βάσης της διάβρωσης παίζει καθοριστικό ρόλο.

Σύμφωνα με τον Καλλέργη, (1981), ανάλογα με το ρόλο του επιπέδου βάσης της διάβρωσης, το οποίο είναι το **χαμηλότερο επίπεδο μέχρι το οποίο λαμβάνει χώρα η διαβρωτική διεργασία**, διακρίνεται σε:

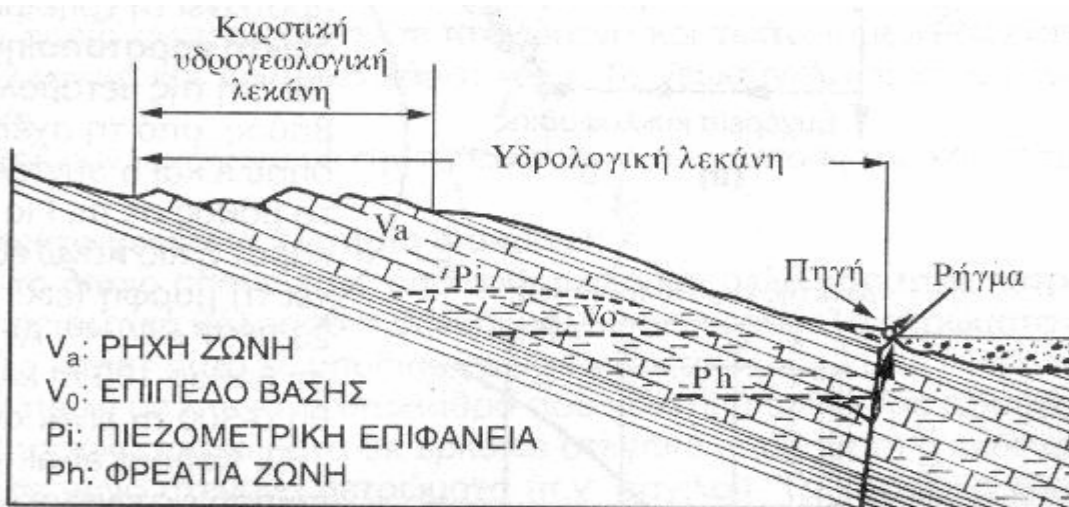
- **Απόλυτο επίπεδο βάσης της διάβρωσης.** Είναι οι θαλάσσιες λεκάνες, ιδιαίτερα οι ζώνες ανάμεσα στο επίπεδο τις θάλασσας και στις πιο βαθιές υποθαλάσσιες πηγές της περιοχής. **Όταν δεν υπάρχουν υποθαλάσσιες πηγές, το επίπεδο βάσης της διάβρωσης είναι η στάθμη της θάλασσας (μέση στάθμη).**

- **Γενικό επίπεδο βάσης της διάβρωσης.** Ισχύει για τις ηπειρωτικές περιοχές. Είναι οι βαθιές χαράδρες και οι ποτάμιες κοιλάδες οι οποίες συνήθως κατευθύνουν το νερό άμεσα προς τη θάλασσα. Τα επίπεδα αυτά δέχονται νερό από μεγάλες καρστικές περιοχές.

- **Τοπικό επίπεδο διάβρωσης.** Είναι οι πόλγες, οι κοιλάδες σε μεγαλύτερα υψόμετρα, οι καταβόθρες κ.λ.π. Τα επίπεδα αυτά επηρεάζουν γενικά μικρές περιοχές και χρησιμεύουν σαν οδηγοί νερού, που αποθηκεύεται προσωρινά. Παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση και στην εξέλιξη της καρστικής διεργασίας.

Το επίπεδο βάσης των καρστικών συστημάτων συχνά καθορίζει τα όρια της υδρογεωλογικής τους λεκάνης. Ο Bogli, (1980), διατυπώνει μια «γεωμορφολογική» άποψη για την έννοια του **τοπικού επιπέδου βάσης**, θεωρώντας σαν τέτοιο το «υδρορεύμα, το οποίο συγκεντρώνει και μεταφέρει μακριά το νερό μιας λεκάνης αποροής».

Το απόλυτο επίπεδο βάσης μιας καρστικής περιοχής βρίσκεται κατά τον Bogli , στο χείλος της, (Σχ.3), το οποίο βέβαια δεν συμπίπτει με το ορατό στην επιφάνεια όριο της καρστικής λεκάνης. Το νερό συχνά μπορεί να ανέρχεται στην επιφάνεια μέσα από ένα ρήγμα. Το υψόμετρο της πηγής, σε αυτήν την περίπτωση, αποτελεί το επίπεδο αναφοράς, δηλαδή το τοπικό επίπεδο βάσης. Η τεκτονική και ο ρυθμός ανάπτυξης του καρστ καθορίζουν την εμφάνιση και τον αριθμό των πηγών, που στην καρστική υδρογεωλογία μπορεί να είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη. Στο νεαρό ενδοκάρστ, οι ρωγμές έχουν μικρό ακόμα άνοιγμα και γι αυτό η ροή του νερού απαιτεί υψηλότερα φορτία. Η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται σχετικά ψηλά. Ο αριθμός των ενεργών διόδων νερού και ο αριθμός των πηγών είναι μεγάλος. Στο πλήρως ανεπτυγμένο (ώριμο) ενδοκάρστ παρατηρούνται μόνο λίγες, αν και μεγάλων διαστάσεων, ενεργοί δίοδοι νερού και, αντίστοιχα, λίγες αλλά μεγάλες καρστικές πηγές. Έτσι, στο νεαρό καρστ η ροή του νερού είναι διάχυτη, ενώ στο ενεργό είναι τελείως προνομακική (Bogli, 1980).

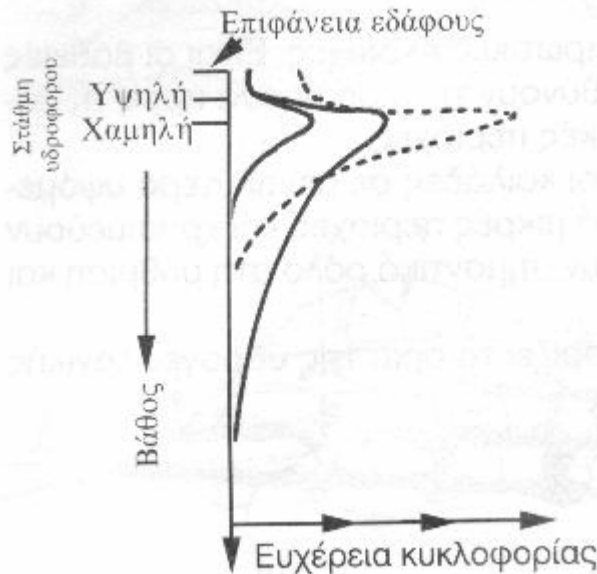


**Σχήμα 3 :** Υδρολογική λεκάνη καρστικής περιοχής(Καλλέργης, 2001).

### 2.3.2 Το βάθος καρστικοποίησης

Το βάθος, μέχρι το οποίο τα πετρώματα υπόκεινται στην καρστική διεργασία, κυμαίνεται πολύ (στο διναρικό καρστ έχουν συναντηθεί ενεργές καρστικές μορφές σε βάθος 2236 m κ.σ.θ.). Η μεταβατική ζώνη, δηλαδή η ζώνη εκείνη βαθύτερα από την οποία δεν λαμβάνει χώρα καρστοποίηση, αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, το επίπεδο βάσης ή το επίπεδο της καρστοποίησης (ή του καρστικού συστήματος) ή τη βάση της καρστοποίησης. Το επίπεδο αυτό στην Ελληνική περιοχή βρίσκεται μέχρι βάθος 250m, στα Απαλάχια μέχρι βάθος 50 – 200 m.

Σύμφωνα με τους Le Grand – Stringfield, 1971, (Καλλέργης, 1981), (Σχ. 4), η καρστοποίηση ελαττώνεται με το βάθος. Το βάθος της μεγαλύτερης καρστοποίησης και δευτερογενούς πορώδους δεν ξεπερνά τα 10 – 15 m από την επιφάνεια του εδάφους.



**Σχήμα 4 :** Μεταβολή της έντασης καρστοποίησης με το βάθος : Μεταβολή του ρυθμού κυκλοφορίας και της διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων με το βάθος (Καλλέργης, 1981)

Οι Kohout et al., (Καλλέργης, 1981), δέχονται ότι η καρστοποίηση εκτείνεται βαθιά, κάτω από το σημερινό επίπεδο βάσης της διάβρωσης. Πολυάριθμες υποθαλάσσιες καρστικές πηγές στις Ελληνικές και Διναρικές ακτές, που βρίσκονται σε βάθη μέχρι 60m από τη στάθμη της θάλασσας, μαρτυρούν την έντονη καρστοποίηση, τουλάχιστον μέχρι αυτό το βάθος. Στις Μπαχάμες δημιουργούνται σταλακτίτες μέχρι σε βάθος 50 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

### 2.4 Τύποι του καρστ

Με βάση τους μορφολογικούς χαρακτήρες διακρίνουμε τους εξής τύπους καρστ σύμφωνα με τους Le Grand, Stringfield (Καλλέργης, 1981):

1. Όλοκαρστ (Holokarst), στο οποίο η καρστική διεργασία βρίσκεται σε εξέλιξη και αναπτύσσεται σε περιοχές που εξολοκλήρου κατέχονται από ανθρακικά πετρώματα.
2. Μέροκαρστ (Merokarst), που τα ανθρακικά πετρώματα είναι πολύ λίγο διαλυτά και οι καρστικές μορφές είναι αραιές και το βάθος της καρστοποίησης περιορισμένο.
3. Μεταβατικό ή ενδιάμεσο καρστ (Transitional karst) που είναι μεταβατική μορφή ανάμεσα στις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Από υδρογεωλογική άποψη η διάκριση των καρστ είναι :

1. Καρστ πλατφόρμας, όπου τα στρώματα είναι οριζόντια και το ανάγλυφο, το χαρακτηριστικό της πλατφόρμας και οι ασβεστόλιθοι δεν είναι καθαροί και η καρστοποίησή τους εμποδίζεται.
2. Γεωσυγκλινές καρστ, το οποίο αναπτύσσεται σε πτυχωμένα και τεκτονισμένα ανθρακικά πετρώματα.

Ανάλογα με τη θέση του το καρστ διακρίνεται σε :

1. Παράκτιο, όταν βρίσκεται στην παράκτια περιοχή. Χαρακτηρίζεται από τη παρουσία παράκτιων και υποθαλάσσιων, γλυκών ή υφάλμυρων καρστικών πηγών. Συχνά η διείσδυση του θαλασσινού νερού φτάνει σε βάθος μερικών χιλιομέτρων από την ακτή.
2. Ηπειρωτικό, που διακρίνεται σε:
  - Παραθαλάσσιο, χαρακτηρίζεται από παραθαλάσσιες υφάλμυρες πηγές και την απουσία μόνιμης επιφανειακής ροής.
  - Υψηλό καρστ, που αναπτύσσεται σε εξωτερικές ζώνες και χαρακτηρίζεται από την παρουσία καταβοθρών και χαμένων ποταμών.
  - Εσωτερικό κάρστ, που απαντά στις εσωτερικές ζώνες και χαρακτηρίζεται από διαμελισμένο καρστικό τύπο στον οποίο η διάβρωση του υδρογραφικού δικτύου με μόνιμη ροή έχει φτάσει μέχρι το επίπεδο των καρστικών υδροφόρων.

## 2.5 Υδρολογικές ζώνες στο καρστ

Ανάλογα με τον τύπο του επιπέδου βάσης και τη θέση του διακρίνονται τέσσερις ζώνες (Σχ.5).

- I. **Ανώτερη ζώνη (ζώνη Α)** : Χαρακτηρίζεται από τη καθοδική κίνηση του νερού μέσα από το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες. Το νερό μεταφέρεται με τη μορφή χωριστών ρευμάτων. Στις ξηρές περιόδους μπορεί να περιέχει ένα μόνιμο υδρόρευμα της μορφής **χαμένου ποταμού**. Ένας χαμένος ποταμός (lost river), όταν αντιπροσωπεύει την επέκταση μεγάλου επιφανειακού υδρορεύματος, χαρακτηρίζεται από αγωγούς μεγάλης διατομής. Συχνά στη ζώνη αυτή δημιουργούνται επικρεμάμενα υδροφόρα συστήματα (Milanovic, 1981)

Οι αγωγοί νερού σπάνια είναι τελείως γεμάτοι με νερό. Είναι δυνατή η αποθήκευση μικρών ποσοτήτων νερού στη ζώνη αυτή.

### II. Ζώνη αποθήκευσης νερού και σχηματισμού υδροφόρων

Περιλαμβάνει τις υποζώνες Β, C και D. Η κίνηση του νερού σε αυτές είναι βαρυτική. Η **υποζώνη Β** περιορίζεται σε βάθος από το απόλυτο επίπεδο βάσης ή τη φανταστική προέκτασή του. Η γενική διεύθυνση ροής του καρστικού νερού σε αυτές είναι προς το επίπεδο βάσης.

Η δημιουργία της είναι στενά συνυφασμένη με την υγρή περίοδο, οπότε λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο ο εμπλουτισμός της. Η μετάβασή της προς τη ζώνη Α είναι ασυνεχής. Κατά την περίοδο τροθοδοσίας, όταν το τοπικό επίπεδο βάσης βρίσκεται χαμηλότερα από το επίπεδο στο οποίο το νερό πέφτει σαν καταρράκτης, η ροή είναι τυρβώδης.

Η **υποζώνη C** απαντιέται σε περιοχές με μεγάλες υδρολογικές λεκάνες. Συνήθως εκφορτίζεται από μεγάλη πηγή και η τροφοδοσία του υδροφόρου που συντηρεί την πηγή είναι συνεχής. Η πιο πάνω πηγή δρα σαν το τελικό τμήμα του καρστικού δικτύου της περιοχής. Η υποζώνη αυτή πρακτικά λείπει στις παράκτιες περιοχές και στα νησιά.

Η **υποζώνη D** χωρίζεται από την υποζώνη C με το επίπεδο μηδενικού υψομέτρου (φανταστική επέκταση του επιπέδου της θάλασσας). Όταν το σημείο ροής λόγω της παρουσίας στεγανού διαφράγματος βρίσκεται πάνω από το τοπικό επίπεδο βάσης τότε το όριο ανάμεσα στις υποζώνες C και D βρίσκεται στο σημείο υπερχείλισης του διαφράγματος αυτού. Η κυκλοφορία στην υποζώνη D γίνεται με το μηχανισμό του σίφωνα και μόνο.

### III. Ζώνη αλμυρού και υφάλμυρου νερού.

Περιλαμβάνει τις υποζώνες E και F, και αναπτύσσεται στις περιοχές που δε μεσολαβεί στεγανό διάφραγμα, ανάμεσα στον καρστικό υδροφόρο και τη θάλασσα.

Η **υποζώνη αλμυρού νερού E** περιέχει νερό που προέρχεται από ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού, η δε περιεκτικότητά του σε χλωρίοντα μπορεί να μεταβάλλεται, ανάλογα με το υδραυλικό φορτίο στην ενδοχώρα και την απόσταση του δοσμένου σημείου από την ακτή.

Η **υποζώνη αλμυρού νερού F** επηρεάζεται μόνιμα από τη θάλασσα. Το γλυκό νερό έχει αντικατασταθεί πλήρως από το αλμυρό νερό. Η καρστοποίηση είναι λιγότερο εκτεταμένη καθώς αυξάνεται το βάθος.

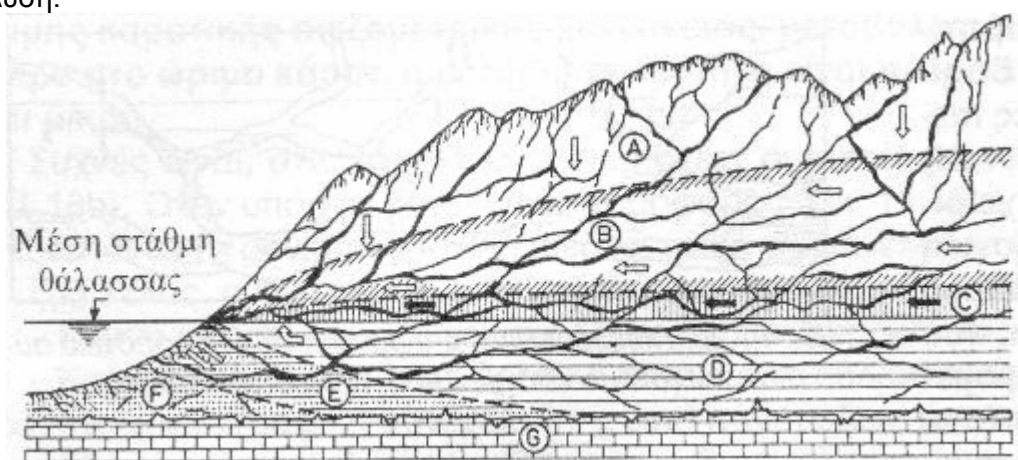
#### IV. Μη καρστοποιημένη ζώνη G

Αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα χωρίς καρστοποίηση και, κατά συνέπεια, δεν περιέχει καρστικό νερό. Το ανώτερο όριο της μη καρστοποιημένης ζώνης αποτελεί **το επίπεδο βάσης της καρστοποίησης του καρστ**. Το επίπεδο αυτό δεν είναι καλά διαμορφωμένο και αποτελεί τη μετάβαση από το καρστοποιημένο προς το μη καρστοποιημένο πέτρωμα.

Στην περίπτωση που υπάρχει ένα γενικό επίπεδο διάβρωσης, απουσιάζει η ζώνη αλμυρού και υφάλμυρου νερού εκτός από την περίπτωση των δέλτα των ποταμών.

Στις ψηλές καρστικές περιοχές (ψηλό καρστ), η παρουσία τοπικών επιπέδων βάσης της διάβρωσης έχουν σαν αποτέλεσμα η κυκλοφορία του νερού στην υποζώνη B, καθώς και η γενική υδραυλική κλίση να εξαρτάται πια όχι μόνο από το απόλυτο επίπεδο βάσης αλλά και τα τοπικά. Συχνά διαμορφώνονται επάλληλοι καρστικοί υδροφόροι σε διαφορετικά υψόμετρα. Άλλοτε πάλι αναπτύσσονται τοπικές διευθύνσεις ροής, αντίθετες προς τη γενική κυκλοφορία του υπόγειου νερού.

Στην περίπτωση του ενδοχωρικού (εσωτερικού) καρστ, η υποζώνη C εκτείνεται σε μεγάλο βάθος και το νερό σε αυτήν κινείται προς το απόλυτο επίπεδο βάσης με βραδύ ρυθμό, κύρια, μέσα από ρωγμωγενές δευτερογενές πορώδες και, λιγότερο, μέσα από πορώδες που προήλθε από διάλυση.



**Σχήμα 5 :** Οι υδρολογικές ζώνες σε ένα παράκτιο καρστικό σύστημα (Milanovic, 1981)

### 2.6 Η έννοια του καρστικού υδροφόρου και τα υδρογεωλογικά του χαρακτηριστικά

#### 2.6.1 Η έννοια του καρστικού υδροφόρου

Ο όρος **καρστικός υδροφόρος** έχει τρεις δυνατότητες ( Καλλέργης, 2001):

1. Ο υδροφόρος αντιστοιχεί σε όλη τη φρεατία ζώνη, αυτό όμως σημαίνει ότι δύο γεωτρήσεις σε έναν τέτοιο υδροφόρο μπορεί να δώσουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα, έστω και αν απέχουν μεταξύ τους μόνο μερικά μέτρα.
2. Ο υδροφόρος ορίζεται μόνο από τις κοιλότητες που είναι γεμάτες με νερό. Στην περίπτωση όμως αυτή οι ισοδυναμικές επιφάνειες γίνονται πολύπλοκες και ερμηνεύονται δύσκολα.
3. Ο υδροφόρος περιλαμβάνει την περιμετρική επιφάνεια του συνόλου των καρστικά και υδρολογικά ενεργών κοιλοτήτων που περιβάλλονται από αρνητικά όρια (φραγμούς). Όταν η κίνηση του νερού είναι πολύ αργή περιλαμβάνονται στον υδροφόρο και οι μεγάλες ρωγμές.

#### 2.6.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των καρστικών συστημάτων

Τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των καρστικών συστημάτων είναι (Καλλέργης, 2001):

1. Άμεση αλληλεξάρτηση, πλευρική και κατακόρυφη, των συστημάτων στράγγισης, κάτι που οδηγεί σε συνεχή διακλάδωση των αγωγών ροής νερού.
2. Η κίνηση του νερού στους καρστικούς αγωγούς μπορεί να είναι:
  - Τύπου κατεισδυσσης (κυρίως στην ανώτερη ζώνη του υδροφόρου)
  - Υπό πίεση
  - Ελεύθερης κυκλοφορίας
  - Σύνθετης ροής (μερικά υπό πίεση και μερικά ελεύθερης κυκλοφορίας)
3. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ελάχιστα συγκρατούνται στην επιφάνεια έτσι οι καρστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από μικρά μήκη, ή από απουσία, επιφανειακών υδρορευμάτων και γενικότερα από φτωχό υδρογραφικό δίκτυο.
4. Η πλειονότητα των επιφανειακών υδρορευμάτων είναι διαλείπουσας μορφής.
5. Οι παροχές των πηγών και των υδρορευμάτων παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.
6. Στις κλειστές πόλγες δημιουργούνται προσωρινά τέλματα, τα οποία στραγγίζονται από ζώνες καταβόθρων.

Οι στάθμες των καρστικών υδροφόρων παρουσιάζουν εποχιακές διακυμάνσεις.

## 2.7 Καρστικό νερό – υπόγειο νερό

Στους κύκλους των υδρογεωλόγων εξακολουθεί να υπάρχει κάποια σύγχυση όσον αφορά στη χρήση των όρων «καρστικό νερό» και «υπόγειο νερό» ως συνέπεια της θεωρίας του Grund κατά την οποία το επίπεδο της θάλασσας αποτελεί υδρολογικό «επίπεδο βάσης», αλλά και επίπεδο κάτω από το οποίο δεν λαμβάνει χώρα «διάβρωση» ή καλύτερα διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Πάνω λοιπόν από το επίπεδο αυτό αναπτύσσεται η ζώνη του «υπόγειου νερού», όπου το νερό σπάνια κινείται. Πάνω από τη ζώνη του «υπόγειου νερού», αναπτύσσεται μία ζώνη «καρστικού νερού» όπου το τελευταίο κινείται πλευρικά προς τη θάλασσα συνήθως ή προς την πηγή.

Ο Καλλέργης, 2001 χρησιμοποιεί τον όρο «υπόγειο νερό», στο οποίο συμπεριλαμβάνει όλο το νερό που απαντά σε βάθος.

Η IASH (1939), ορίζει το «υπόγειο νερό» «ως νερό που γεμίζει τις κοιλότητες του φλοιού της γης συνεχώς και υπόκειται μόνο στη βαρύτητα και την υδραυλική πίεση. Ο όρος υπόγειο νερό δεν συναρτάται με το αν οι πιο πάνω κοιλότητες είναι σε χαλαρά ή συμπαγή υλικά, σε διαβρωμένα ή συμπαγή πετρώματα και αν βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια ή σε βάθος. Συνήθως οι γερμανόφωνοι ερευνητές απορρίπτουν την ταύτιση της έννοιας «υπόγειο νερό» με τον όρο «καρστικό νερό» και αυτό όχι χωρίς επιχειρήματα.

Η Διεθνής Ένωση Επιστημονικής Υδρογεωλογίας (IASH) στον όρο «υπόγειο νερό» (ground water) περιλαμβάνει:

- Το πορώδες υπόγειο νερό (pore groundwater).
- Το ρωγμώδες υπόγειο νερό (joint groundwater).
- Και το καρστικό υπόγειο νερό (karst water).

Η πρόταση της IASH έχει πλέον υιοθετηθεί ευρύτατα ανάμεσα στους υδρογεωλόγους.

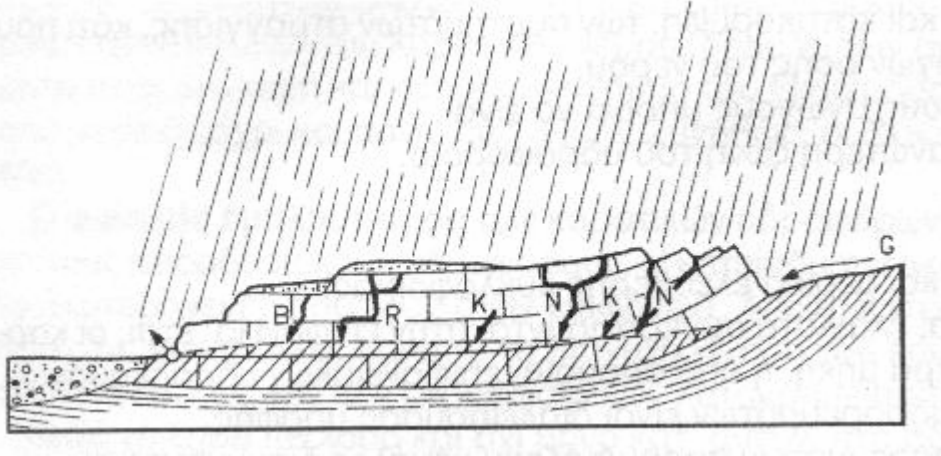
Το καρστικό νερό τροφοδοτείται από το διηθημένο νερό που προέρχεται από:

- Τις βροχοπτώσεις πάνω στο γυμνό ασβεστόλιθο (N)
- Το εδαφικό νερό (B)
- Την επιφανειακή απορροή (G) και
- Το νερό συμπύκνωσης (K).

Όλα αυτά τα υπόγεια νερά αναμιγνύονται στο υπέδαφος και τελικά συγκεντρώνονται στη φρεάτια ζώνη (Σχ.6) ή στραγγίζονται με τη μορφή πηγών. Κατά την κίνηση τους, τα διάφορα είδη

νερού έχουν διαφορετική συμπεριφορά και το ποσοστό όξινου ανθρακικού ασβεστίου σε αυτά κυμαίνεται.

Στα αρχικά στάδια της καρστοποίησης τα καρστικά πετρώματα συμπεριφέρονται απέναντι στο νερό σαν τα αδιάλυτα συμπαγή πετρώματα, είναι δηλαδή αδιαπέρατα. Όταν ρωγματοθούν από ποικίλα τεκτονικά αίτια διαμορφώνεται το δευτερογενές πορώδες το οποίο οφείλεται στη διέλευση, του νερού στο δίκτυο των ρωγμών οπότε δημιουργείται ένα είδος ζώνης διήθησης, ανάλογη της φρεάτιας ζώνης, με υπόγειο νερό που βρίσκεται σε άμεση σχέση και στη γειτονιά της γήινης επιφάνειας.



**Σχήμα 6 :** Υπόγειο καρστικό νερό (Καλλέργης, 2001)

Όταν διευρυνθούν οι ρωγμές, με τη διάλυση, τότε η πάνω κορεσμένη ζώνη κινείται βαθύτερα και βρίσκεται υπό την άμεση επίδραση του επιπέδου βάσης ή σχηματίζεται ρηχό καρστ πάνω από στεγανό στρώμα. Όταν η ζώνη διήθησης φτάσει στο μεγαλύτερο πάχος του, έχει πια διαμορφωθεί η ρηχή ζώνη.

## 2.8 Υδροδυναμική του παράκτιου καρστικού συστήματος.

Τέτοια συστήματα σχηματίζονται σε καρστοποιημένες μάζες πετρωμάτων, που βρίσκονται κοντά στην ακτή. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το θαλασσίνο νερό και η άμεση επαφή γλυκού και αλμυρού νερού. Από το Σχ.5 φαίνεται ότι το μέρος των ζωνών D, E και F ανήκουν στον παράκτιο υδροφόρο. Συχνά η διείδρωση του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα προκαλεί αλμύριση του υδροφόρου **ψηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας**. Θεωρείται επίσης ότι η αλμύριση μπορεί να γίνει μέσω αγωγών, οι οποίοι καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας, που μακριά από την ακτή σε μεγάλο βάθος. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η υποθαλάσσια πηγή της Φλόριδας (Red Snapper Sink) που βρίσκεται σε απόσταση 40 km από την ακτή, που ο κατακόρυφος αγωγός της ξεκινά από τον πυθμένα της θάλασσας σε απόλυτο υψόμετρο  $-27m$  και φτάνει σε υψόμετρο  $-200m$  περίπου. Η διάμετρος του αγωγού ανέρχεται σε 50m. Ο αγωγός αυτός προκαλεί, μέσω του καρστικού συστήματος πηγής, αλμύριση μέρους του καρστικού υδροφόρου της Φλόριδας.

Σε σπανιότερες περιπτώσεις η αλμύριση του παράκτιου υδροφόρου μπορεί να οφείλεται σε απολιθωμένο θαλασσίνο νερό, που εγκλωβίστηκε στους παράκτιους αγωγούς σε παλιότερες γεωλογικές εποχές.

Σε έναν παράκτιο καρστικό υδροφόρο ο Stepanovic (Καλλέργης, 1981) διακρίνει τρεις ζώνες:

- Ζώνη γλυκού νερού
- Υφάλμυρη ζώνη (μεταβατική)
- Ζώνη αλμυρού νερού

Η πρόσφατη αλμύριση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων λαμβάνει χώρα με τους εξής μηχανισμούς (Milanovic, 1981):

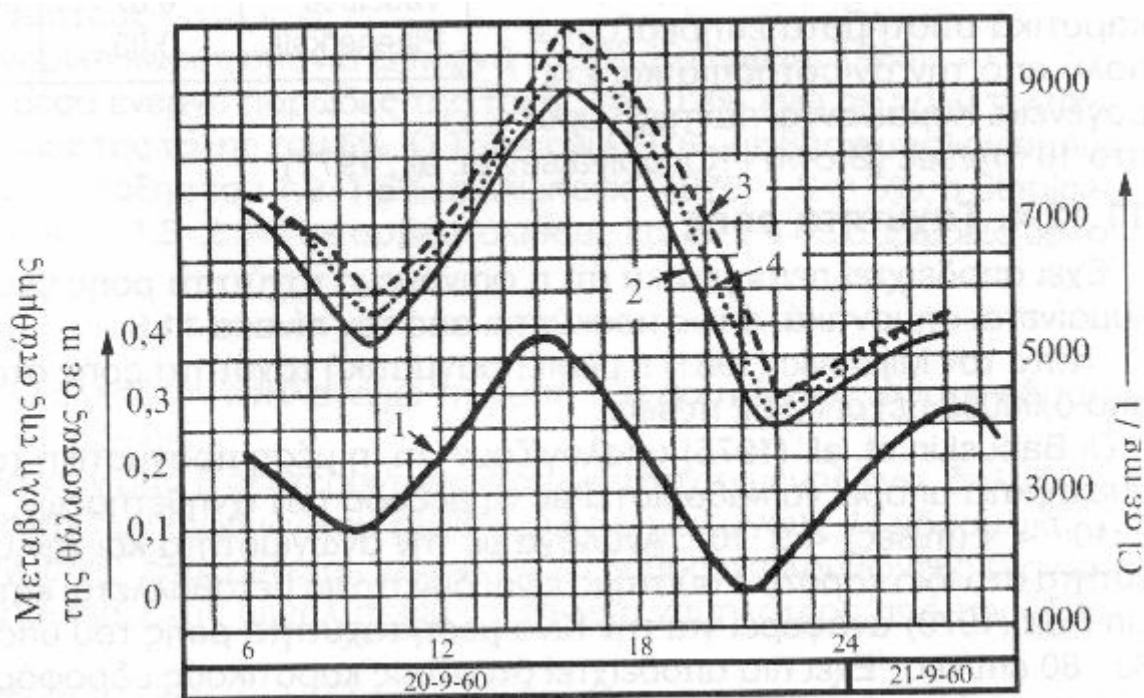
- Με καρστικούς αγωγούς που το συνολικό τους μήκος βρίσκεται σε επαφή με τη θάλασσα.



- Όταν το στεγανό διάφραγμα ανάμεσα στο καρστικό σύστημα και τη θάλασσα, διαταραχτεί κατά θέσεις από τη διάβρωση ή τον τεκτονισμό.
- Όταν το στεγανό διάφραγμα βρίσκεται, μερικώς, κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.
- Όταν το στεγανό διάφραγμα είναι πολύ ρηχό, οπότε η κυκλοφορία γίνεται κάτω από αυτό.

Έχει παρατηρηθεί αλμύριση καρστικών υδροφόρων σε αποστάσεις από την ακτή προς την ενδοχώρα μέχρι 10 km. Τα παλιρροιακά φαινόμενα της θάλασσας επηρεάζουν – με υστέρηση 20min σε αποστάσεις από την ακτή 700 – 1250 m – το ρυθμό αλμύρισης παράκτιων υδροφόρων (Σχ.7). Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας σε χλωρίοντα, της υφάλμυρης ζώνης. Όταν η διακύμανση αυτή είναι μεγάλη (της τάξης των μερικών χιλιάδων mg/lit Cl<sup>-</sup>) η υφάλμυρη ζώνη μπορεί να έχει εύρος μερικών χιλιομέτρων ενώ το μέγεθος της ζώνης γλυκού νερού μικραίνει σημαντικά όταν οι υδραυλικές κλίσεις προς τη θάλασσα είναι μικρές.

Όπως προαναφέρθηκε, η σημερινή θέση των παράκτιων καρστικών συστημάτων είναι αποτέλεσμα αφ ενός μεν των κατακόρυφων ευστατικών κινήσεων του Τεταρτογενούς και αφ ετέρου των νεοτεκτονικών κινήσεων που έπληξαν το χώρο του Αιγαίου.



**Σχήμα 7 :** Διάγραμμα μεταβολής της αλατότητας των παρακτινών πηγών Vrilo, (καμπύλες 2, 3, και 4) σε σχέση με τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας (1) κατά Mijanovic (Καλλέργης, 2001)

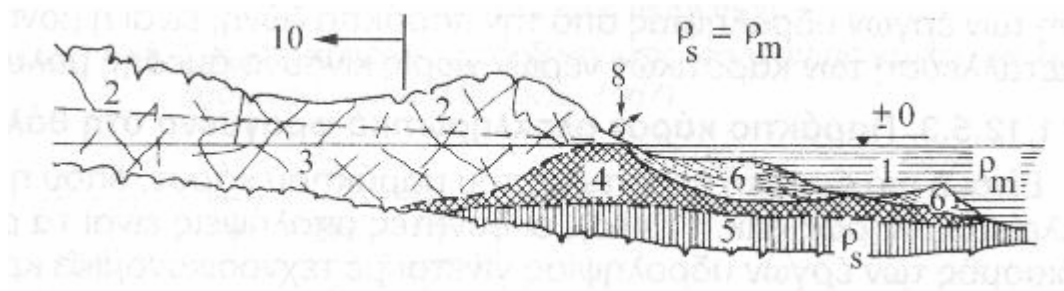
Έτσι, διαπιστώνουμε, σήμερα ενεργά καρστικά συστήματα να βρίσκονται όχι απλώς σε αρνητικά υψόμετρα, αλλά σε βάθη μεγαλύτερα των 150m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Τα συστήματα αυτά, θα έλεγε κανείς, αποτελούνται από ένα σύνολο αγωγών που μερικοί από αυτούς είναι δρόμοι κυκλοφορίας θαλασσινού νερού, ώστε συχνά προκαλείται επιβάρυνση του γλυκού νερού από το θαλασσινό. Η επιβάρυνση αυτή είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη ανάλογα με τον τύπο του καρστ, όπως αυτός καθορίζεται σε σχέση με τη δυνατότητα ελεύθερης επικοινωνίας με τη θάλασσα.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι παράκτιου καρστ είναι:

#### 1. Παράκτιο καρστ ανοικτό στη θάλασσα

Τα ανθρακικά πετρώματα, που φιλοξενούν το καρστικό σύστημα, διαβρέχονται από τη θάλασσα (Σχ.8α). Το χαρακτηριστικό σε αυτό το καρστ είναι ότι η κατασκευή οποιουδήποτε έργου υδροληψίας και η άντληση, έστω και της ελάχιστης παροχής γλυκού νερού, προκαλεί τη δημιουργία νέων συνθηκών ισορροπίας γλυκού – θαλασσινού νερού όπου υποχρεωτικά δηλώνεται

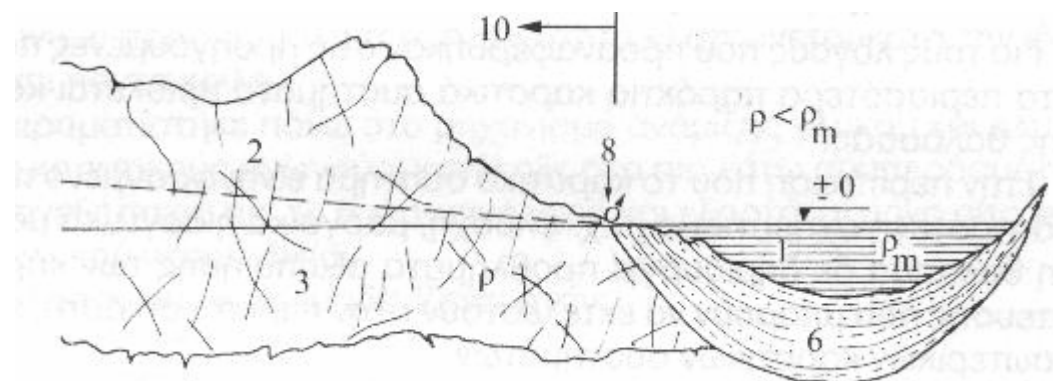




**Σχήμα 8γ :** Παράκτιο καρστ με επικρεμάμενο φραγμό προς τη θάλασσα κατά Mijanovic (Καλλέργης, 2001)

### 3. Παράκτιο καρστ ολοκληρωτικά φραγμένο στη θάλασσα

Είναι η πιο ευνοϊκή περίπτωση του παράκτιου καρστ, όπου η επικοινωνία με τη θάλασσα αποκλείεται πλήρως (Σχ. 8δ) οι δυνατές απολήψεις είναι τα ρυθμιστικά αποθέματα και ο σχεδιασμός των έργων υδροληψίας γίνεται με τεχνοοικονομικά κριτήρια.



**Σχήμα 8δ :** Παράκτιο κάρστ φραγμένο προς τη θάλασσα κατά Mijanovic (Καλλέργης, 2001)

Υπόμνημα σχ. 8-α,β,γ,δ : 1: Θάλασσα, 2: Καρστικό υδροφόρο σύστημα, 3: Ζώνη γλυκού νερού, 4: Μεταβατική ζώνη, 5: Ζώνη αλμυρού νερού, 6: Φλύσχη, 7: Υπόγειο νερό, 8: παράκτια πηγή, 9: Υποθαλάσσια πηγή και 10: Περιοχή που προσφέρεται για την εκτέλεση έργων υδρομάστευσης.

## 2.9 Παράκτιες και Υποθαλάσσιες καρστικές πηγές

Ένα μεγάλο τμήμα ακτών της ελληνικής χερσονήσου, αλλά ακόμη και της Μεσογείου, καλύπτονται από ανθρακικά πετρώματα. Θα περίμενε κανείς, στην περίπτωση του παράκτιου καρστ, ότι η στάθμη της θάλασσα θα ήταν γενικά το επίπεδο αναφοράς των καρστικών συστημάτων, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται στην επιφάνεια του τύπου Ghyden – Herzberg.

Ανεξάρτητα όμως από το γεγονός, ότι η ισχύς του νόμου Ghyden – Herzberg, είναι προβληματική και εν πάση περιπτώσει όχι αυτονόητη σε περίπτωση μη στρωτής ροής, η σημερινή θέση του ενεργού καρστ ή των καρστικών αγωγών είναι συνέπεια του συνδυασμού των τελευταίων τεκτονικών κινήσεων της Αιπτικής ορογένεσης και των κατακόρυφων ευστατικών κινήσεων του Τεταρτογενούς.

Έτσι σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στους προσχωματικούς σχηματισμούς, σπάνιες είναι οι περιπτώσεις που η σημερινή στάθμη της θάλασσας αποτελεί το σημερινό επίπεδο βάσης όπου η εκφόρτιση των καρστικών συστημάτων είναι διάχυτη.

Η πείρα από την έρευνα στον ελληνικό χώρο έχει δείξει ότι το μεγαλύτερο μέρος των καρστικών πηγών εκδηλώνεται πάνω σε τεκτονικές, κυρίως, ασυνέχειες (Καλλέργης, 2001). Το γεγονός αυτό, έχει σαν συνέπεια να δημιουργούνται δρόμοι επικοινωνίας του καρστικού συστήματος με τη θάλασσα και ανάλογα με τη σχετική θέση της συμβολής των αγωγών γλυκού ή αλμυρού νερού είναι δυνατό τελικά το ίδιο καρστικό σύστημα να δίνει πηγές διάφορης ποιότητας νερού, η οποία, ανάλογα με τα φορτία στη συμβολή, είναι δυνατό να κυμαίνεται ευρύτατα π.χ. πηγή Αλμυρός Ηρακλείου Κρήτης.

Δυστυχώς άργησαν πολύ οι ερευνητές του καρστ να συνειδητοποιήσουν το γεγονός ότι οι παράκτιες και υποθαλάσσιες καρστικές πηγές με γλυκό νερό είναι μια μερική περίπτωση των καρστικών πηγών. Παρά το γεγονός ότι οι προσπάθειες ερμηνείας του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 30, ουσιαστική πρόοδος σημειώθηκε μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 40.

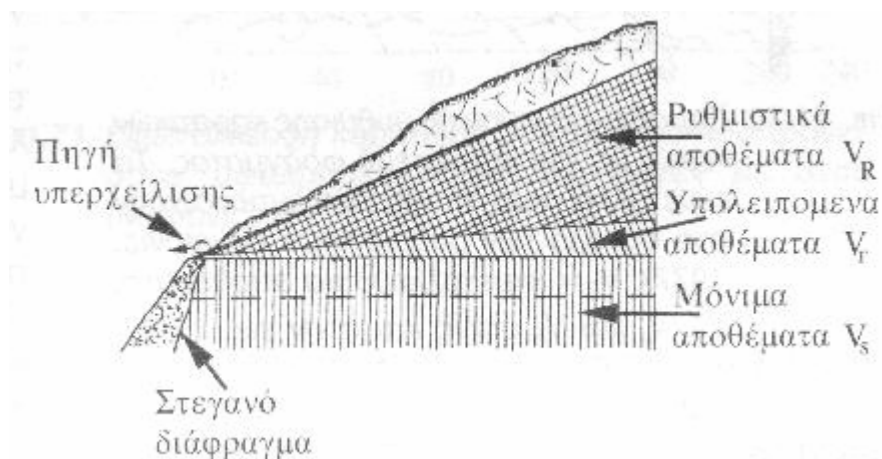
## 2.10 Αξιοποίηση παράκτιου καρστ

Για την αξιοποίηση του παράκτιου καρστικού συστήματος απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός του τύπου – μοντέλου του καρστικού συστήματος, με βάση ουσιώδη υδρολογικά χαρακτηριστικά, ώστε να καταστεί δυνατή η «ντερμινιστική» προσομοίωση (Καλλέργης, 2001):

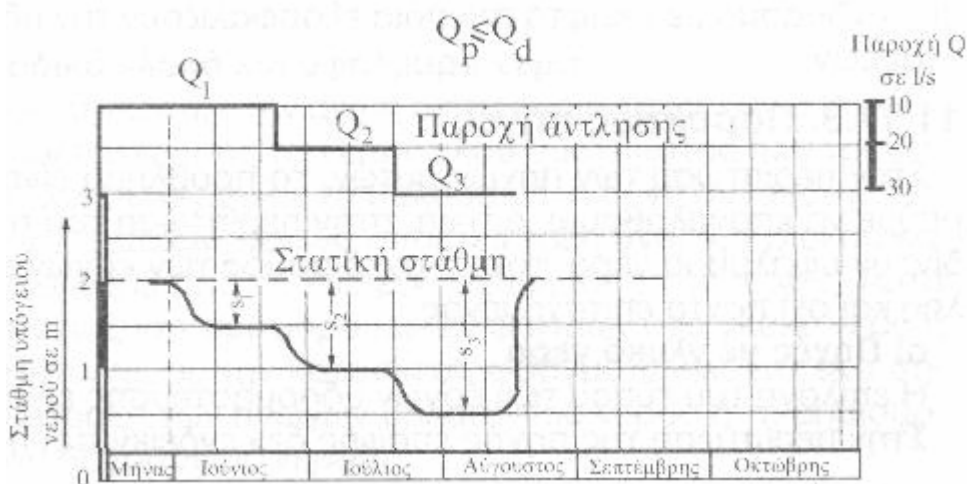
- Των οριακών συνθηκών του συστήματος
- Των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του συστήματος
- Των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών του συστήματος.

Όσον αφορά στον υπολογισμό του αποθηκευμένου όγκου νερού στο καρστικό σύστημα, η εμπειρική μέθοδος των αντλήσεων μακράς διάρκειας (μερικών μηνών) εξακολουθεί να αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι, κατά την άντληση με σταθερή παροχή, η σταθεροποίηση της στάθμης του νερού στα πιεζόμετρα επιτυγχάνεται, όταν η αντλούμενη παροχή είναι ίση ή κατώτερη από την παροχή της υπόγειας ροής προς το σταθμό άντλησης.

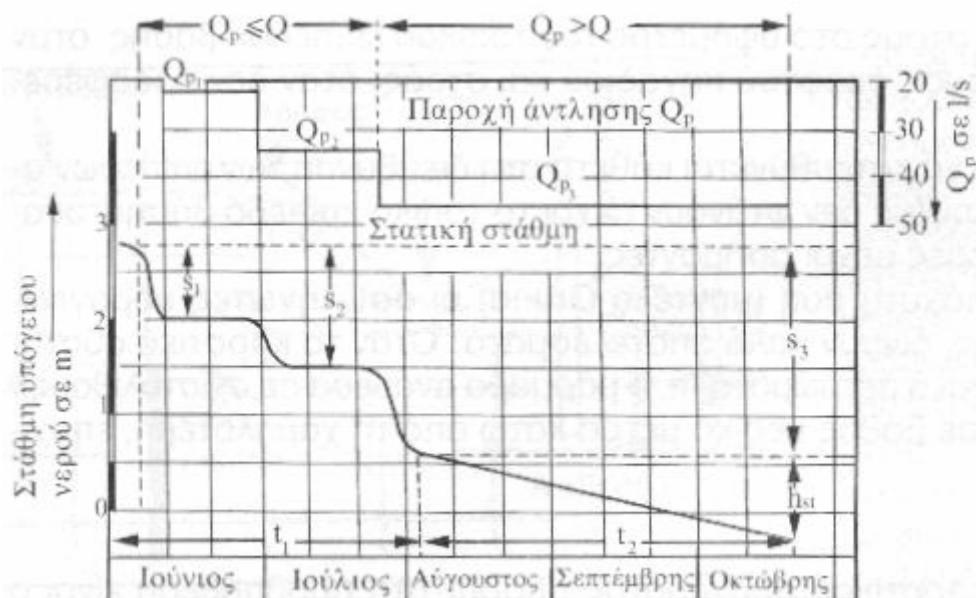
Στην περίπτωση αυτή τα αποθέματα που εκμεταλευόμαστε με την άντληση ( $Q_p$ ) δεν υπερβαίνουν τα ρυθμιστικά αποθέματα ( $Q_d$ ), (Καλλέργης, 2001), (Σχ. 9 και 10). Αν η αντλούμενη παροχή ξεπεράσει την παροχή της υπόγειας ροής προς το σταθμό άντλησης η στάθμη πέφτει, συνεχώς προοδευτικά (Σχ. 11), σε σχέση με το χρόνο άντλησης, κάτω από τα σημεία φυσικής αποχέτευσης του συστήματος (πηγές). Στην περίπτωση αυτή δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της στάθμης και η άντληση γίνεται εν μέρει και στα μόνιμα αποθέματα (Σχ. 9).



**Σχήμα 9:** Τα αποθέματα νερού σε ένα καρστικό σύστημα ( Καλλέργης, 2001)



**Σχήμα 10 :** Γραφική παράσταση άντλησης , όπου η αντλούμενη παροχή δεν ξεπερνά τα ρυθμιστικά αποθέματα ( Καλλέργης, 2001)



**Σχήμα 11 :** Γραφική παράσταση άντλησης, όπου η αντλούμενη παροχή ξεπερνά τα ρυθμιστικά αποθέματα ( Καλλέργης, 2001)

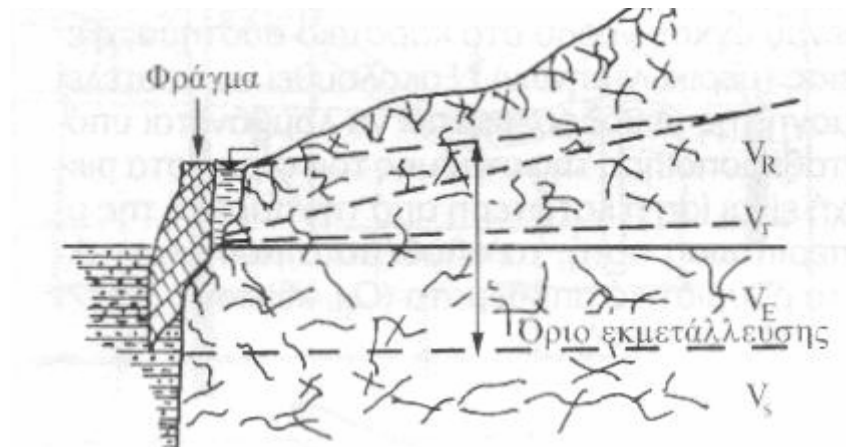
Η παροχή λοιπόν εκείνη, πέρα από την οποία δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της στάθμης άντλησης, αποτελεί την κρίσιμη παροχή, η οποία όταν καθορίζεται στην πιο ξηρά περίοδο του χρόνου, μπορεί να θεωρηθεί η «διαρκής απόδοση» του καρστικού συστήματος.

Τα πιο πάνω ισχύουν στην περίπτωση που το παράκτιο καρστ φράζεται προς τη θάλασσα με στεγανό σχηματισμό. Στην αντίθετη περίπτωση, ο καθορισμός της κρίσιμης παροχής προϋποθέτει τη σταθεροποίηση της στάθμης άντλησης σε θετικά υψόμετρα, χωρίς ποιοτικές μεταβολές του νερού σε σχέση με την αρχική ποιότητα.

Μετά τον καθορισμό της «διαρκούς απόδοσης», κατά τα πιο πάνω, καθορίζεται το πρόγραμμα εκτέλεσης των έργων αξιοποίησης των καρστικών νερών. Αυτά τα έργα μπορεί να είναι :

**Α) Έργα φυσικής ρύθμισης της υπόγειας ροής με :** i) Την κατασκευή ταμιευτήρων, που τα φράγματα αγκυρώνονται σε βάθη σημαντικά μεγαλύτερα κάτω από το επίπεδο τιμών (Σχ.12). Στην περίπτωση εκτέλεσης τέτοιων έργων είναι δυνατόν τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα να αποτελούν μέρος ή σύνολο ρυθμιστικών αποθεμάτων ή και να ξεπερνούν τα ρυθμιστικά αποθέματα, με την αύξηση της τροφοδοσίας (τεχνητός εμπλουτισμός). ii) Την ελεγχόμενη υπερεκμετάλλευση του καρστικού συστήματος (φρέατα, στοές, γεωτρήσεις) για την ολική ή μερική απόληψη των μέσων

ετήσιων ρυθμιστικών αποθεμάτων. Στην πρώτη περίπτωση, οι πηγές που τροφοδοτούνται από το σύστημα εξαφανίζονται.



**Σχήμα 12 :** Παράδειγμα φυσικής ρύθμισης καρστικών νερών με την κατασκευή φράγματος. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα αντιστοιχούν στο σύνολο των ρυθμιστικών ( Καλλέργης, 2001).  $V_E =$  Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα,  $V_R$ ,  $V_T$  και  $V_S$  όπως στην Εικόνα 8.

**Β) Κατακόρυφα μέτρα άντλησης:** δηλαδή γεωτρήσεις (περιοχές με σημαντικό υψόμετρο και χωρίς πρωτογενή προβλήματα ποιότητας του νερού λόγω μόλυνσης από τη θάλασσα) ή πηγάδια (μικρά υψόμετρα, αδυναμία υποβιβασμού της στάθμης λόγω κινδύνου μόλυνσης) στην περίπτωση που το καρστικό σύστημα πλησιάζει το πρότυπό του Grund. Ιδιαίτερα ευνοϊκές είναι οι συνθήκες εκμετάλλευσης με γεωτρήσεις και πηγάδια καρστικών συστημάτων φραγμένων προς τη θάλασσα.

**Γ) Στοές:** στην περίπτωση που το καρστικό σύστημα πλησιάζει το πρότυπο Katzer, δηλαδή η ανισοτροπία είναι μεγάλη και επικρατούν προνομιακές ροές κατά μήκος τεκτονικών ασυνεχειών (Σχ. 13). Ο τύπος των έργων αυτών απαντά στην περιοχή άσπρων Σπιτιών (Βοιωτία), όπου σε συνδυασμό με σκαφτά πηγάδια εξασφαλίζουν την υδροδότηση των εκεί βιομηχανικών καταστάσεων.

## 2.11 Αξιοποίηση παράκτιων πηγών

Στην περίπτωση των πηγών αυτών, το πρόβλημα είναι η σωστή επιλογή έργων και μπορούμε να επαναλάβουμε ότι και στην περίπτωση του παράκτιου καρστ. Βέβαια όταν οι πηγές δίνουν αλμυρό νερό, τότε ο σχεδιασμός των έργων εκμετάλλευσης των πηγών είναι δύσκολος και όχι πάντα επιτυχημένος (Καλλέργης, 2001).

### α) Πηγές με γλυκό νερό

Η επιλογή του τύπου των έργων υδρομάστευσης είναι συνάρτηση του τύπου της πηγής.

Στην περίπτωση της πηγής επαφής δεν ενδείκνυται η κατασκευή οριζόντιου έργου, γιατί αυτό απλώς θα επιταχύνει τη στείρευση και ελάττωση τη φυσική ρύθμιση της πηγής. Ο κανόνας εδώ είναι η κατασκευή κατακόρυφου έργου π.χ. τάφρου, που θα πρέπει να καλύπτει όλο το μέτωπο εκφόρτισης και να εξασφαλίζεται από πιθανές απώλειες λόγω ελαττωματικής κατασκευής.

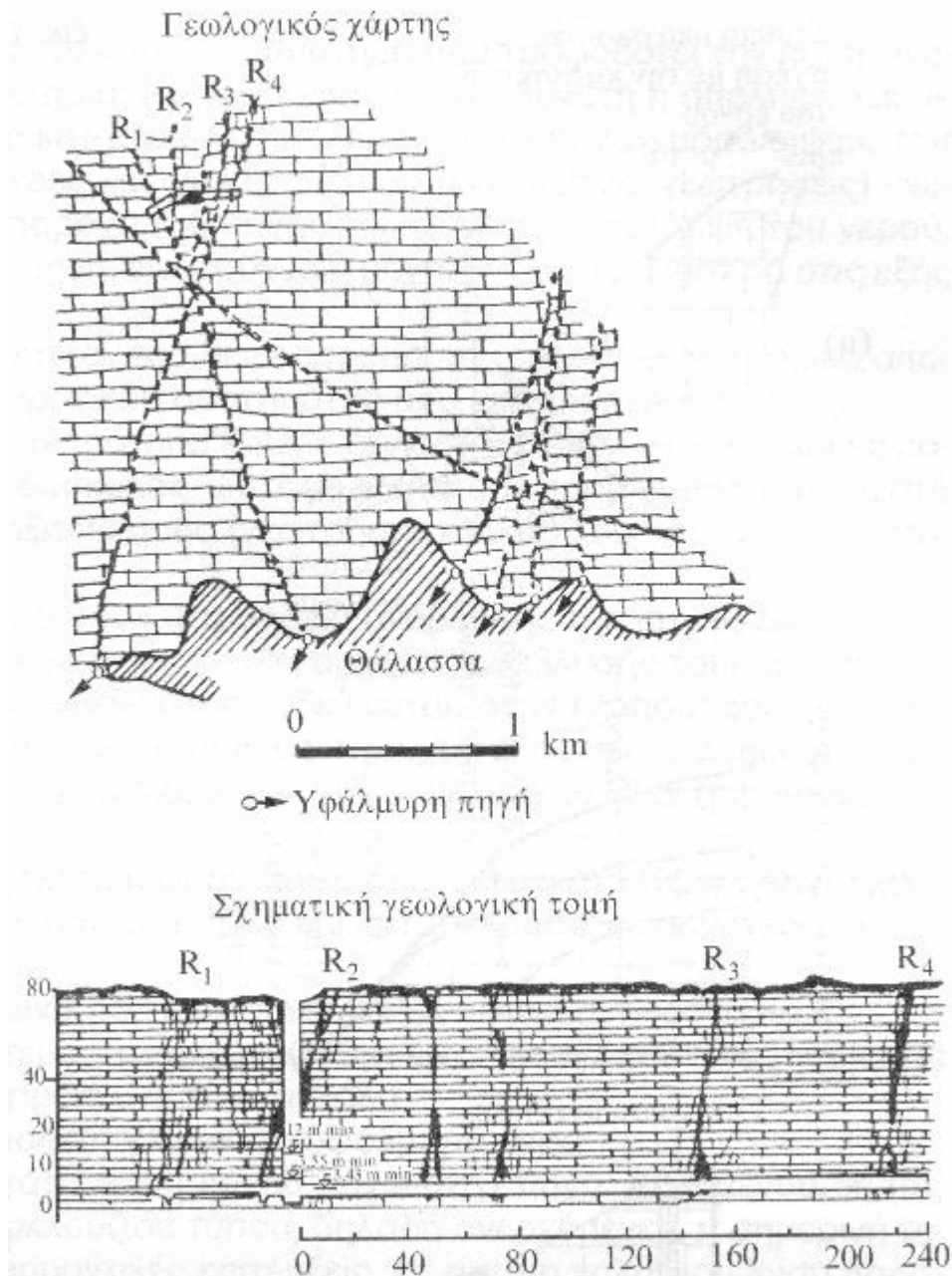
Στις άλλες περιπτώσεις, η επιλογή του έργου υδρομάστευσης υπαγορεύεται από τη δίαυτο της πηγής, τον τύπο της και τη μορφολογία του σημείου ανάβλυσής και γύρω από αυτή.

Ενδεικτικά, και όχι περιοριστικά μπορούμε να αναφέρουμε :

- Έργα **φυσικής ρύθμισης της πηγής** είτε με την **κατασκευή ταμιευτήρων**, είτε με την ελεγχόμενη υπερεκμετάλλευση του καρστικού συστήματος, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση του παράκτιου καρστ.
- Συμβατικά έργα υδρομάστευσης. Κατασκευή κατά περίπτωση **φρεάτων ή στοών**, ώστε να αξιοποιείται, ιδιαίτερα στην ξηρά περίοδο, μόνο το επιφανειακό στρώμα γλυκού νερού. Θα

πρέπει να αποφεύγεται όχι μόνο η δημιουργία κώνων πτώσης στάθμης σε αρνητικά υψόμετρα, αλλά ακόμη και το ποτήρι της αντλίας θα πρέπει να βρίσκεται σε θετικά υψόμετρα.

- **Ζεύγη άντλησης.** Προκειμένου να αποφευχθεί, κατά την άντληση, η επιβάρυνση του γλυκού νερού από το θαλασσινό, κατασκευάζεται γεώτρηση που φτάνει κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Μέσα σε αυτή τοποθετούνται δύο αντλητικά συγκροτήματα. Το ένα αντλεί θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κώνος στη διεπιφάνεια, και το άλλο γλυκό νερό, χωρίς τον κίνδυνο να βρεθεί η διεπιφάνεια στο ποτήρι του αντλητικού συγκροτήματος που αντλεί το γλυκό νερό, όπως συμβαίνει κατά κανόνα στην περίπτωση εκτέλεσης κατακόρυφων έργων σε παράκτιους υδροφόρους.



**Σχήμα 13 :** Εκμετάλλευση καρστικού συστήματος που τροφοδοτεί υφάλμυρες πηγές με στοά, (Καλλέργης, 2001).

### β) Πηγές με μόνιμο υφάλμυρο ή περιοδικά γλυκό και υφάλμυρο νερό

Τα έργα αποβλέπουν στην απόληψη γλυκού νερού, στην αιχμή κατά κύριο λόγο, των αναγκών.

Έτσι αν εξαιρέσουμε την περίοδο εκμετάλλευσης του καρστικού συστήματος που τροφοδοτεί την πηγή, πριν από την ανάμιξη του γλυκού νερού με το θαλασσινό, η μόνη δυνατότητα είναι η δημιουργία υδροδυναμικών συνθηκών, τέτοιων που να αποκλείεται η ανάμιξη γλυκού και αλμυρού νερού ή να ωθούν τη διεπιφάνεια κάτω από το επίπεδο ανάβλυσης της πηγής και με την απόφραξη των αγωγών θαλασσινού νερού ή τη δημιουργία υποπίεσεων σε αυτούς με την άντληση θαλασσινού νερού.

Όλες οι προσπάθειες όμως προς την κατεύθυνση αυτή έχουν αποτύχει ( π.χ. Αλμυρός Ηρακλείου Κρήτης, Port – Μίου Γαλλίας, Fitrofitrelo Ιταλίας κ.α.).

Έτσι η μόνη δυνατή λύση είναι ο καθορισμός της θέσης συμβολής των αγωγών γλυκού και αλμυρού νερού και η εκτέλεση των συμβατικών υδρομαστευτικών έργων ανάντι αυτής ή η εκτέλεση υδρογεωτρήσεων ανάντι και η παρακολούθηση του φαινομένου υφαλμύρινσης.

Ο καθορισμός του μηχανισμού λειτουργίας, του τύπου και της διαίτας της πηγής είναι κατά κανόνα προβληματικός αν όχι αδύνατος. Έτσι η επιλογή του τύπου των έργων υδρομάστευσης δεν μπορεί να βασιστεί παρά στη μορφολογία των σημείων ανάβλυσης της πηγής και στις μετρήσεις ποιότητας και ποσότητας νερού, που και αυτών η αξιοπιστία είναι κατά κανόνα συζητήσιμη μια και προϋποθέτει υψηλή τεχνολογία και συχνά εξαιρετικά τολμηρές «επιχειρήσεις» που ίσως ξεπερνούν τα όρια της επαγγελματικής ευσυνειδησίας. Οι υποθαλάσσιες πηγές είναι, κατά κανόνα, Βωκλούζιου τύπου, γι' αυτό και τα έργα αξιοποίησης τους πρέπει να προσαρμοστούν σε αυτόν.

### α) Πηγές με γλυκό νερό

Το πρόβλημα στην περίπτωση των υποθαλάσσιων καρστικών πηγών, που δίνουν σε όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους γλυκό νερό, εντοπίζεται απομόνωση του γλυκού νερού μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον. Αν και θεωρητικά θα μπορούσε να δεχτεί κανείς ότι είναι δυνατό να σχεδιαστούν έργα υδρομάστευσης, τέτοια που να δώσουν παροχή μεγαλύτερη από εκείνη της φυσικής ροής, στην πράξη αυτό δεν έχει γίνει δυνατό. Έτσι, η συνολική απολήψιμη παροχή είναι ίδια κάτω από τις υφιστάμενες συνθήκες.

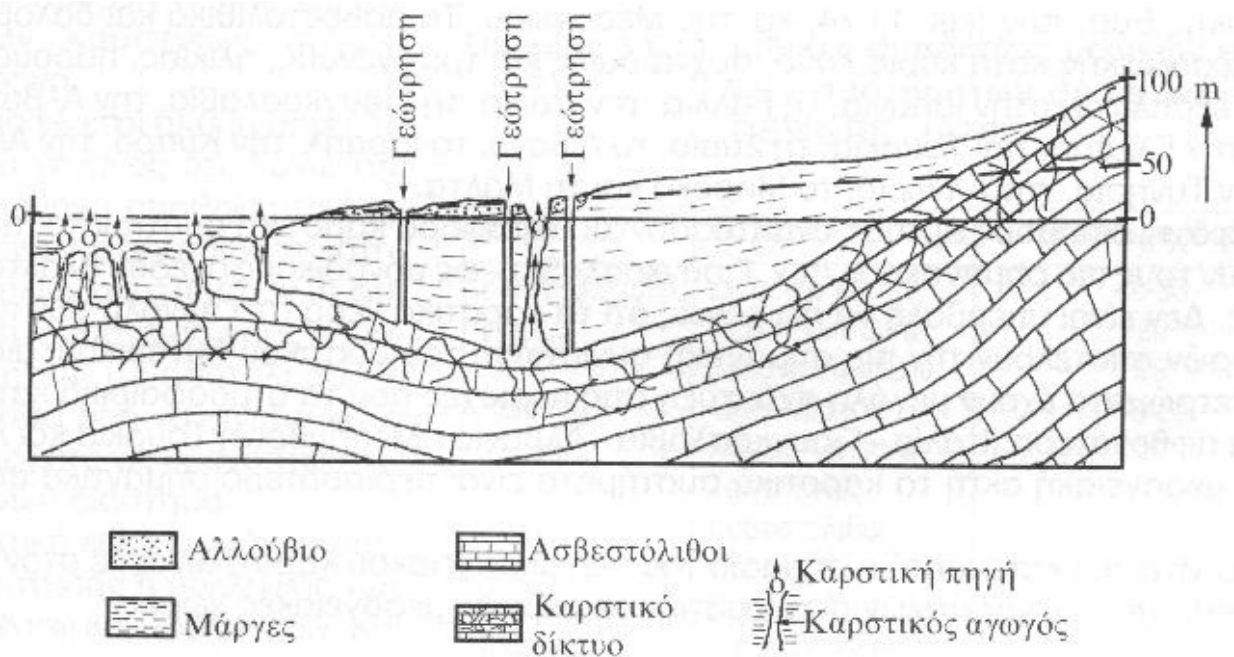
Βέβαια, αυτά ισχύουν πάντα με την προϋπόθεση ότι αναφερόμαστε στην εκτέλεση έργου στο σημείο ανάβλυσης της πηγής. Γιατί, όταν το καρστικό σύστημα που τροφοδοτεί την πηγή είναι προσπελάσιμο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του γνωστά, είναι δυνατή η απόληψη και με στείρευση ακόμα της πηγής – μέσω της κατασκευής των συμβατικών έργων εκμετάλλευσης του καρστικού συστήματος που τροφοδοτεί τις πηγές (Σχ. 14). Η σύλληψη του νερού που αναβλύζει με φυσικό τρόπο από την πηγή, είναι συχνά η μοναδική λύση, ιδιαίτερα στις εξής περιπτώσεις:

- Όταν η μορφολογία στην ξηρά είναι τέτοια, που δεν επιτρέπει την εκτέλεση οικονομικά αποδοτικών έργων εκμετάλλευσης του καρστικού συστήματος που τροφοδοτεί τις πηγές.
- Όταν το καρστικό σύστημα πλησιάζει το πρότυπο Katzer, δηλαδή υπάρχουν προνομιακές ροές, που ο εντοπισμός τους είναι τόσο δύσκολος, ώστε να καθιστούν προβληματική τη σωστή τοποθέτηση των συμβατικών έργων αξιοποίησης (γεωτρήσεων κ.λ.π.) του καρστικού συστήματος στην ξηρά.

Τα έργα που είναι δυνατό να κατασκευαστούν στα σημεία ανάβλυσης της πηγής είναι:

- **Φράγμα** περιμετρικά των πηγών, ώστε να απομονωθεί ο χώρος ανάβλυσης του από το λοιπό θαλάσσιο χώρο. Η κατασκευή του φράγματος ενδείκνυται, όταν η απόσταση των αναβλύσεων από την ξηρά είναι μικρή – ώστε το φράγμα να στηριχτεί σε αυτή – το βάθος που βρίσκονται οι αναβλύσεις δεν είναι μεγάλο ενώ ο αριθμός των αναβλύσεων είναι σημαντικός σε διασπορά.
- Περίπτωση επιτυχημένης κατασκευής τέτοιου φράγματος είναι εκείνη στο Κιβέρι Αργολίδας, που η κατασκευή που προτάθηκε το 1966 από το τ.ΙΓΕΥ και κατασκευάστηκε αργότερα από το Υπουργείο Δημοσίων Έργων.
- Απομόνωση της ανάβλυσης με κώδωνα που έχει συνδεθεί με πλωτό αντλιοστάσιο.
- Η λύση του κώδωνα ενδείκνυται, ιδιαίτερα, όταν η ανάβλυση είναι μία ή έστω λίγες και κοντά η μία στη άλλη ενώ το βάθος τους δεν πρέπει να είναι μεγάλο.





**Σχήμα 14 :** Εκμετάλλευση καρστικού συστήματος που τροφοδοτεί υποθαλάσσιες πηγές, με γεωτρήσεις ανάντη ( Καλλέργης, 2001).

## β) Πηγές με μόνιμα υφάλμυρο νερό ή περιοδικά γλυκό και υφάλμυρο νερό.

Δεν έχει γίνει δυνατή η επιτυχημένη κατασκευή έργου πάνω στην πηγή. Δεδομένου δε ότι, σχεδόν πάντοτε, οι πηγές αυτές είναι Βωκλούζιου τύπου, δηλαδή ανερχόμενες, η σημερινή τεχνολογία στον τομέα δεν έχει να επιδείξει σημαντικές επιτεύξεις. Γι αυτό η καλύτερη λύση παραμένει ο εντοπισμός της θέσης της συμβολής των αγωγών, όπου γίνεται η ανάμιξη, και της θέσης των αγωγών του καρστικού συστήματος και, ακολούθως, η εκτέλεση των συμβατικών κατακόρυφων (φρέατα – γεωτρήσεις) ή οριζόντιων (γαλαρίες) έργων εκμετάλλευσης των καρστικών νερών ( Σχ. 12 και 14).

Τέτοια είναι η περίπτωση του συγκροτήματος παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, όπου έγινε δυνατή, μετά από μελέτη που έκανε το ΙΓΜΕ η αξιοποίηση μέρους της παροχής τους με την εκτέλεση, στην ανάντι περιοχή, γεωτρήσεων. Στην Γαλλία έγινε προσπάθεια αύξησης του φορτίου ανάντι της πηγής με την κατασκευή διαφράγματος στην υποθαλάσσια πηγή Port – Μίου. Τα αποτελέσματα απέχουν πολύ από το να θεωρηθούν επιτυχημένα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ

#### 3.1 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης – αίτια υφαλμύρισης

Όπως ήδη αναφέρθηκε με τον όρο διείσδυση του αλμυρού νερού ή υφαλμύριση εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού για δεδομένη τοποθεσία και δεδομένο βάθος. Το φαινόμενο αυτό, ιδιαίτερα έντονο σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες, προκαλεί σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά την ποιότητα του υπόγειου νερού.

Η διερεύνηση του φαινομένου αυτού είναι εξαιρετικά σημαντική αφού αποτελεί ίσως τη συνηθέστερη πηγή μόλυνσης του γλυκού νερού.

Γενικά το αλμυρό νερό που παρατηρείται σε υδροφορείς μπορεί να προέλθει από τις παρακάτω πηγές (Bowen,1986):

- Θαλασσινό νερό σε παράκτιες περιοχές
- Θαλασσινό νερό που διείσδυσε σε υδροφορείς κατά το παρελθόν
- Αλάτι από δόμους αλατιού ή λεπτές στρώσεις αλατιού ή από διασπορά σε γεωλογικούς σχηματισμούς
- Υπολείμματα εξάτμισης νερού σε παλιρροιακές λίμνες, κοιλάδες κ.α.
- Νερό από αρδευόμενη γη που καταλήγει σε ρυάκια
- Λύματα υψηλής αλατότητας ανθρώπινης προέλευσης.

Η υφαλμύριση των υδάτων των υπόγειων υδροφορέων σε περιοχές που γειτνιάζουν με τη θάλασσα οφείλεται κυρίως σε πρωτογενείς και δευτερογενείς παράγοντες:

- Οι πρωτογενείς παράγοντες σχετίζονται με τη μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και συνήθως συνδέεται με την παροδική ελάττωση των ποσοτήτων υδάτων που φθάνουν στους υδροφορείς και πρόκειται για μια περιοδική αλμυρότητα που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις.
- Οι δευτερογενείς παράγοντες είναι αυτοί που συνδέονται με την υπερβολική άντληση. Τέτοια φαινόμενα είναι συνήθη στη χώρα μας, κυρίως στις εντατικά καλλιεργούμενες παράκτιες πεδινές εκτάσεις και λαμβάνουν χώρα τόσο στους ελεύθερους όσο και στους περιορισμένους (υπό πίεση) υδροφόρους ορίζοντες.

Στην περίπτωση της εντατικής εκμετάλλευσης παρατηρείται επίσης το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής όπου κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου η υγρασία της ανώτερης εδαφικής ζώνης, που αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό, παρασύρει το αλάτι το οποίο δεν αποπλένεται επαρκώς κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου. Με την πάροδο των ετών το αλάτι συσσωρεύεται με διάφορους ρυθμούς που εξαρτώνται από το έδαφος και το κλίμα προκαλώντας έτσι υποβάθμιση του εδάφους.

Η συσσώρευση αλατιού στα ανώτερα τμήματα του εδάφους παρατηρείται σε ξηρές και σε ημίξηρες περιοχές. Το φαινόμενο αυτό όμως είναι πιθανό στο μέλλον να επεκταθεί και σε άλλες παράκτιες περιοχές αν το πρόβλημα της διείσδυσης αλμυρού νερού επιδεινωθεί και δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα. Αυτό συμβαίνει επειδή η κατείσδυση κατά τη βροχερή περίοδο δεν είναι ικανή να διαλύσει και να παρασύρει όλη την ποσότητα αλατιού κάτω από τη ζώνη τριχοειδών φαινομένων.

#### 3.2 Σενάρια υφαλμύρισης παράκτιων καρστικών υδροφορέων στην Ελλάδα

Εξαιτίας του μεγάλου μήκους των ακτών της η Ελλάδα παρουσιάζει εξαιρετική ευαισθησία στην θαλάσσια διείσδυση που προκύπτει το φαινόμενο της υφαλμύρισης παρουσιάζεται:

1. Λόγω της διαμόρφωσης επιφανειακών και υπόγειων καρστικών συστημάτων σε επαφή με το θαλάσσιο περιβάλλον.

2. Λόγω διαταραχών στην ισορροπία του συστήματος γλυκού – θαλασσινού νερού, που οφείλονται σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις σε λεκάνες κοκκωδών κυρίως ή καρστικών παράκτιων σχηματισμών

3. Λόγω ιδιαιτεροτήτων της γεωλογικής δομής (καρστική διεργασία – επίπεδο βάσης του καρστ).

Ειδικότερα η αλμύριση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων είναι δυνατό να λάβει χώρα υπό τα εξής σενάρια:

➔ Όταν καρστικοί αγωγοί βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε όλο τους το μήκος

➔ Όταν το στεγανό διάφραγμα ανάμεσα στο καρστικό σύστημα και τη θάλασσα διαταραχθεί κατά θέσεις από τη διάβρωση ή τον τεκτονισμό

➔ Όταν το στεγανό διάφραγμα είναι πολύ ρηχό, οπότε η κυκλοφορία γίνεται κάτω από αυτό

Οι παραπάνω σχηματισμοί μπορούν να οδηγήσουν και σε αυτογενή υφαλμύρωση χωρίς την ύπαρξη ανθρωπίνης δραστηριότητας.

### 3.3 Γενικά για τη διαχείριση υπόγειων υδροφορέων με φαινόμενα υφαλμύρισης

#### 3.3.1 Υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας σε αυτούς, δηλαδή της εισροής 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 υπόγειων υδροφορέων» εννοείται ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρωσης μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ. ανύψωση της στάθμης της θάλασσας), όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές συνδυασμό των δύο. Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και αφορά συγκεκριμένους υδροφορείς, με γνωστά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρέατα κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε θαλάσσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού. Πρέπει να τονισθεί 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 αποκαθίστανται εύκολα. Επιπλέον τις 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 ανθρωπίνες δραστηριότητες όπως πχ. από εγγειοβελτιωτικά έργα. Λέγοντας μικρής κλίμακας προβλήματα, εννοείται η επίδραση που παρατηρείται στην διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού στην περιοχή γύρω και κάτω από ένα φρέαρ άντλησης (upconing).

Τα προβλήματα αυτά είναι ιδιαίτερα σύνθετα και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής τους. Μία τεχνική η οποία ακολουθείται είναι η εφαρμογή κατά τη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης. Επομένως για την αντιμετώπισή τους απαιτούνται αφενός εξειδικευμένες γνώσεις ενός ιδιαίτερα δυσχερούς φαινομένου, όπως είναι η υφαλμύρωση και αφετέρου δυνατότητα χρήσης μεθόδων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

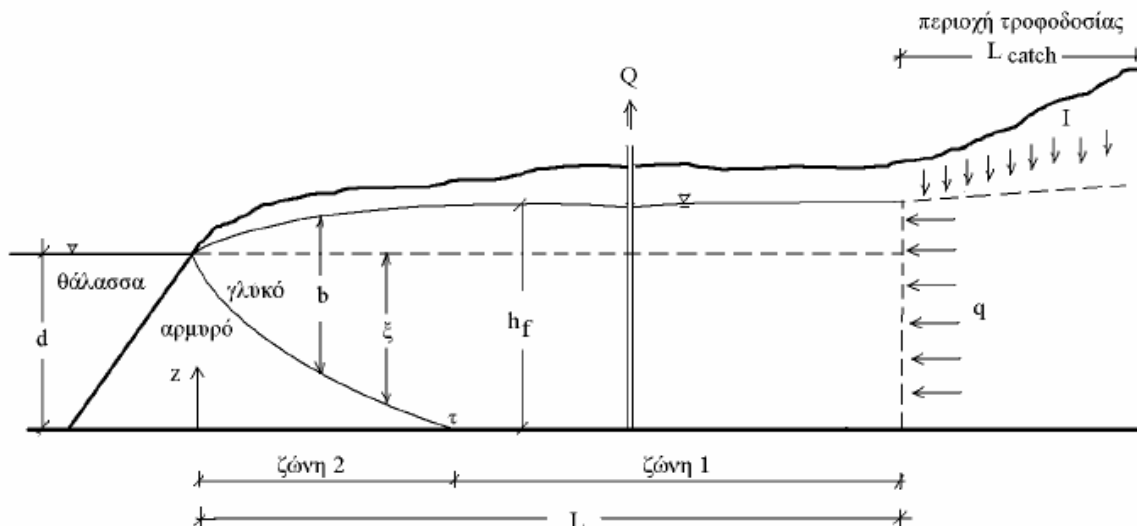
Η μαθηματική προσομοίωση αποτελεί για τον μελετητή ένα δυναμικό εργαλείο που διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση υπόγειων υδροφορέων και επιτρέπει την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι εφαρμοσμένες αυτές μαθηματικές προσομοιώσεις 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. Ιδιαίτερη σημασία στις εφαρμοσμένες μαθηματικές προσομοιώσεις έχουν οι μετρήσεις πεδίου, οι οποίες έχουν διπλό ρόλο, επιτρέπουν την βαθμονόμηση του μοντέλου και χρησιμεύουν για την επαλήθευσή του και συνεπώς την αύξηση της αξιοπιστίας του. Σε συνδυασμό με την οικονομική δαπάνη που συνεπάγεται η πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου, είναι αντιληπτή η σημασία που έχει ο σωστός σχεδιασμός τους.

### 3.3.2 Περιγραφή του μοντέλου κίνησης υδάτων σε παράκτιους υδροφορείς

Το γενικό πρόβλημα της κίνησης υπογείων υδάτων σε παράκτιους υδροφορείς είναι πολύπλοκο και απαιτεί πάρα πολλές παραμέτρους που δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν λόγω της ανομοιογένειας των παραμέτρων στο χώρο. Επομένως υπάρχει ανάγκη κατάλληλης απλοποίησης του προβλήματος ώστε να βγουν ορθά συμπεράσματα με βάση τα υπάρχοντα κάθε φορά δεδομένα. Έχουν προταθεί διαφόρων ειδών προσεγγίσεις στην βιβλιογραφία για την απλοποίηση του προβλήματος και η συνηθέστερη παραδοχή, είναι παραδοχή του ευδιάκριτου ορίου (sharp interface) μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού θεωρώντας ότι το μέτωπο του αλμυρού νερού έχει πρακτικά σταθεροποιηθεί και δεν μετακινείται. Η προσέγγιση αυτή ισχύει σε συνθήκες που προσεγγίζουν συνθήκες μόνιμης ροής ή μετά από μεγάλους χρόνους από την έναρξη μιας μεταβολής. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την σχέση των Ghyben-Herzberg. Θεωρούμε επίσης ότι ο υδροφορέας έχει μια απλή και γνωστή γεωμετρία και γνωστές παραμέτρους και ότι η υδραυλική αγωγιμότητα είναι ισοτροπική και ομοιογενής. Θεωρούμε τον φρεάτιο υδροφορέα με ελεύθερη επιφάνεια όπως του Σχ. 15 και έστω ότι η ροή είναι μόνιμη. Λόγω της κίνησης του νερού από τα ορεινά προς την θάλασσα, το γλυκό νερό πιέζει το θαλασσινό και δεν του επιτρέπει την δίοδο σε μεγάλη απόσταση εντός του υδροφορέα. Θεωρούμε ότι υπάρχει μια διακριτή οριακή επιφάνεια που διαχωρίζει το γλυκό από το θαλασσινό νερό όπως φαίνεται στην κάθετη τομή του σχήματος και έστω  $x$  το σημείο όπου η επιφάνεια αυτή τέμνει τον αδιαπέρατο πυθμένα του υδροφορέα. Ακολουθώντας την ανάλυση των Stark (1976) και Cheng and Ouazar (1999) έστω  $b(x, y)$  το συνολικό βάθος του γλυκού νερού,  $\xi(x, y)$  το βάθος του γλυκού νερού ως προς τη στάθμη της θάλασσας, και  $h_f(x, y)$  το πιεζομετρικό φορτίο στη θέση  $(x, y)$ . Οι μεταβλητές  $b, \xi, h_f$  είναι εν γένει συναρτήσεις της θέσης  $(x, y)$ .

Στο Σχ.15 διακρίνουμε τρεις ζώνες με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στη ζώνη 1 ο υδροφορέας συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ένας φρεάτιος υδροφορέας με αδιαπέρατο υπόβαθρο. Στη ζώνη 2 θεωρούμε ότι το γλυκό νερό επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό λόγω διαφοράς βάρους. Η ζώνη 3 περιλαμβάνει τις περιοχές τροφοδοσίας του υδροφορέα στα ορεινά πετρώματα που θεωρούνται ότι έχουν μεγάλη διαπερατότητα (καρστικά πετρώματα). Έστω  $E$  το εμβαδόν της ζώνης 3 και  $I$  η βαθιά διήθηση ανά μονάδα επιφάνειας στην ζώνη αυτή. Η οριζόντια παροχή  $q$  ανά μονάδα πλάτους του υδροφορέα που προέρχεται από την τροφοδοσία της ζώνης 3 και κατευθύνεται προς τη θάλασσα είναι  $q = IL_{catch}$ .



**Σχήμα 15 :** Σχηματική παράσταση του φρεατίου υδροφορέα για υπολογισμό των παραμέτρων. (Γιανουλόπουλος Π. – Μαντόγλου Α., (2001)

Στο Σχ.15 διακρίνουμε τρεις ζώνες με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στη ζώνη 1 ο υδροφορέας συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ένας φρεάτιος υδροφορέας με αδιαπέρατο υπόβαθρο. Στη ζώνη 2 θεωρούμε ότι το γλυκό νερό επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό λόγω διαφοράς βάρους. Η ζώνη 3 περιλαμβάνει τις περιοχές τροφοδοσίας του υδροφορέα στα ορεινά πετρώματα που θεωρούνται ότι έχουν μεγάλη διαπερατότητα (καρστικά πετρώματα). Έστω  $E$  το εμβαδόν της ζώνης 3 και  $I$  η βαθιά διήθηση ανά μονάδα επιφάνειας στην ζώνη αυτή. Η οριζόντια παροχή  $q$  ανά μονάδα πλάτους του υδροφορέα που προέρχεται από την τροφοδοσία της ζώνης 3 και κατευθύνεται προς τη θάλασσα είναι  $q = I L_{catch}$ . Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει ανάμιξη μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού στη ζώνη 2, δηλαδή ότι υπάρχει μια διακριτή διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού η οποία περιγράφεται από την εξίσωση Ghyben-Herzberg δηλαδή :

$$h_f - d = \delta \cdot \xi$$

Όπου :

$$\delta = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} = \frac{\Delta\rho}{\rho_f} \approx 0.025 ,$$

και  $\rho_s$  είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού και  $\rho_f$  η πυκνότητα του γλυκού νερού.

Εξετάζουμε αρχικά την περίπτωση που δεν υπάρχουν αντλήσεις του υδροφορέα. Εφαρμόζοντας την υπόθεση Dupuit, η διαφορική εξίσωση ροής στον φρεάτιο υδροφορέα της ζώνης 1 γράφεται:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h_f \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h_f \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) = 0$$

ενώ στη ζώνη 2 η εξίσωση ροής γράφεται :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( b \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( b \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) = 0$$

όπου  $b$  είναι το βάθος ροής και ισχύει :

$$\left. \begin{aligned} b &= h_f ; & \zeta \omega \nu \eta 1 \\ b &= h_f - d + \xi ; & \zeta \omega \nu \eta 2 \end{aligned} \right\}$$

οι εξισώσεις (1.2) και (1.3) μπορούν να περιγραφούν από τη γενική εξίσωση :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( b \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( b \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) = 0 \quad (1.5)$$

και για τις δύο ζώνες 1 και 2. Ακολουθώντας τις εργασίες των Strack (1976) και Cheng and Ouazar (1999) ορίζουμε νέο δυναμικό ροής ως εξής :

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2} [h_f^2 - (1 + \Delta s) d^2] ; & \zeta \omega \nu \eta 1 \\ \phi &= \frac{(1 + \Delta s)}{2 \Delta s} (h_f - d)^2 ; & \zeta \omega \nu \eta 2 \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Στη θέση του σημείου επαφής  $\tau$  όπου η διαχωριστική επιφάνεια γλυκού-θαλασσινού νερού συναντά το αδιαπέρατο υπόβαθρο του υδροφορέα ισχύει  $\xi=d$  οπότε η (1.1) δίνει  $h_f=(\Delta s+1)d$  και οι εξισώσεις (1.6) γράφονται :

$$\left. \begin{aligned} \phi_{\alpha\phi} &= \frac{1 + \Delta s}{2 \Delta s} \Delta s^2 d^2 = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2 \\ \phi_{\delta \epsilon \xi} &= \frac{1}{2} [(1 + \Delta s)^2 d^2 - (1 + \Delta s) d^2] = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

Επομένως στη θέση  $\tau$  ισχύει  $\phi_{\alpha\phi} = \phi_{\delta \epsilon \xi} = \phi_{\tau}$  οπότε η νέα συνάρτηση δυναμικού που ορίζεται από τις εξισώσεις (1.6) είναι συνεχής στο όριο μεταξύ των ζωνών 1 και 2. Από τις εξισώσεις (1.2), (1.3) και (1.6) προκύπτει ότι η συνάρτηση δυναμικού  $\phi$  ικανοποιεί την εξίσωση Laplace :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) = 0 \quad (1.8)$$

Στο όριο για  $x=0$  ισχύει  $\xi=0$ , οπότε  $\phi=0$ . Η εξίσωση (1.8) μπορεί να επιλυθεί αν γνωρίζουμε τις οριακές συνθήκες του προβλήματος με αναλυτικές ή αριθμητικές μεθόδους. Το δυναμικό στο σημείο επαφής  $\tau$  προκύπτει εύκολα από τη σχέση (1.7), δηλαδή :

$$\phi_{\tau} = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2 \quad (1.9)$$

και η θέση του σημείου επαφής τ υπολογίζεται σαν ο γεωμετρικός τόπος των σημείων (x, y) :

$$\text{όπου } \phi(x, y) = \phi_{\tau} = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2.$$

Στην περίπτωση που ο υδροφορέας περιορίζεται στην μια πλευρά του από την θάλασσα, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ότι στις άλλες κατευθύνσεις είναι απείρων διαστάσεων, και αντλείται από μια μόνο γεώτρηση με σταθερή παροχή  $Q_w$  η οποία βρίσκεται σε απόσταση  $x_w$  από την ακτή, προκύπτει σύμφωνα με τον Strack (1976) και Cheng and Ouazar (1999) το δυναμικό  $\phi(x, y)$  δίνεται από τη σχέση :

$$\phi(x, y) = \frac{q}{K} x + \frac{Q_w}{2\pi K} \ln \left[ \frac{(x - x_w)^2 + y^2}{(x + x_w)^2 + y^2} \right] \quad (1.10)$$

όπου K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα. Θέτοντας :

$$\phi(x, y) = \phi_{\tau} = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2$$

προκύπτει ο γεωμετρικός τόπος των σημείων επαφής από τη σχέση :

Η εξίσωση (1.11) μπορεί να επιλυθεί ως προς  $x_{\tau}$  συναρτήσει του  $y_{\tau}$  με αριθμητικές μεθόδους.

Για μηδενική παροχή άντλησης :

$$Q_w = 0 \text{ η (1.11) δίνει } x_{\tau} = x_{\min} = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s d^2 K}{2q}$$

καθώς η παροχή άντλησης αυξάνει έχουμε μετατόπιση των σημείων επαφής προς τη θέση του πηγαδιού. Σύμφωνα με τον Cheng and Ouazar (1999), υπάρχει μια κρίσιμη τιμή της παροχής άντλησης  $Q_w = Q_c$  για την οποία δημιουργείται μια ασταθής κατάσταση των σημείων επαφής και για μια ελαχίστη αύξηση της παροχής άντλησης  $w > Q_c$ , προκύπτει πολύ γρήγορη μετακίνηση της θέσης του σημείου επαφής σε σημεία γύρω από το πηγάδι, δηλαδή για  $w > Q_c$  επέρχεται γρήγορη υφαλμύρωση του πηγαδιού και καταστροφή του. Η κρίσιμη τιμή της παροχής αυτής είναι και η μέγιστη δυνατή χωρίς να υφαλμυρωθεί το πηγάδι και δίνεται από τον Strack (1976) και Cheng and Ouazar (1999) από τη σχέση :

$$\phi_{\tau} = \frac{q x_w}{K} \sqrt{1 - \frac{Q_c}{\pi q x_w}} + \frac{Q_c}{2\pi K} \ln \left( \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{Q_c}{\pi q x_w}}}{1 + \sqrt{1 - \frac{Q_c}{\pi q x_w}}} \right) \quad (1.12)$$

όπου το  $\phi_{\tau}$  δίνεται από τη σχέση (1.9). Η (1.12) μπορεί να επιλυθεί ως προς  $Q_c$  με αριθμητικές μεθόδους και κατόπιν η κρίσιμη απόσταση  $x_{\max}$  που αντιστοιχεί στην  $Q_c$  δίνεται από την σχέση :

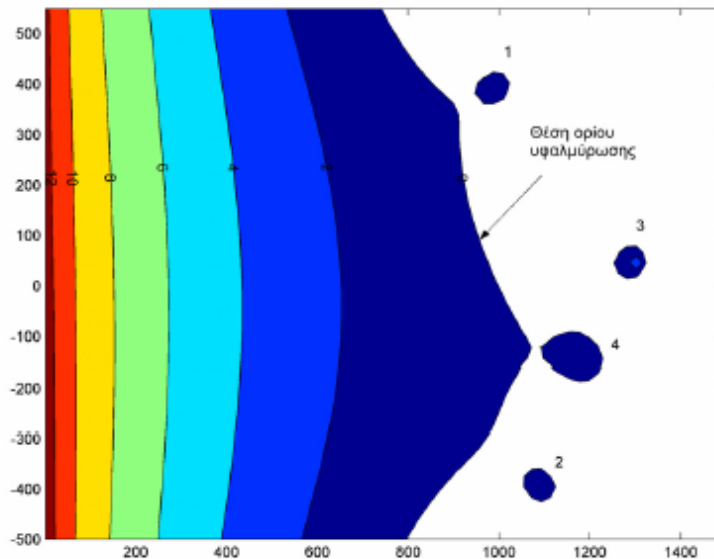
$$x_{\tau, \max} = x_w \sqrt{1 - \frac{Q_c}{\pi q x_w}} \quad (1.13)$$

Όταν τα πηγάδια άντλησης είναι περισσότερα του ενός και αντλούν ταυτόχρονα η λύση προκύπτει σύμφωνα με τους Cheng and Ouazar (1999) από την αρχή επαλληλίας :

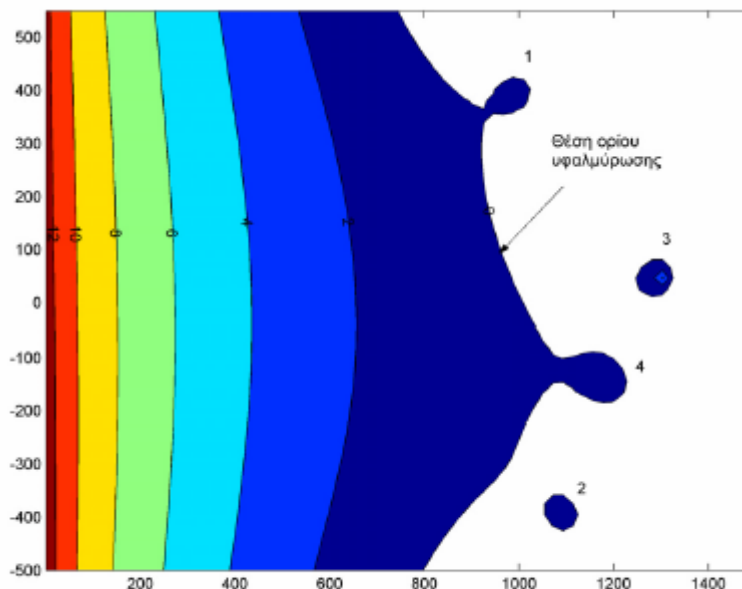
$$\phi(x, y) = \frac{q}{K}x + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi K} \ln \left[ \frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{(x+x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (1.14)$$

όπου  $1, \dots, i, n$  = είναι τα πηγάδια στις θέσεις  $(x_i, y_i)$  τα οποία αντλούν με παροχές  $Q_i$  αντίστοιχα. Αν οι παροχές άντλησης  $Q_i$  είναι γνωστές μπορούμε να υπολογίσουμε με αριθμητικές μεθόδους τον γεωμετρικό τόπο των σημείων επαφής  $(x$  συναρτήσει  $y)$ , θέτοντας στην (1.14) :

$$\phi(x, y) = \phi_\tau = \frac{(1 + \Delta s) \Delta s}{2} d^2.$$



**Σχήμα 16 :** Θέση των σημείων επαφής για παροχές αντλήσεων υδροφορέα :  $Q_1 = 205.00$ ,  $Q_2 = 252.18$ ,  $Q_3 = 440.00$ ,  $Q_4 = 253.43$   $m^3$ /ημέρα και συνολική παροχή  $Q_{total} = 1150.61$   $m^3$ /ημέρα λίγο πριν την έναρξη υπαλμύρινσης των πηγαδιών.



**Σχήμα 17 :** Θέση σημείων επαφής για παροχές αντλήσεων υδροφορέα :  $Q_1 = 205.00$ ,  $Q_2 = 252.18$ ,  $Q_3 = 452.00$ ,  $Q_4 = 246.00$   $m^3$ /ημέρα και  $Q_{total} = 1155.18$   $m^3$ /ημέρα, αμέσως μετά την υπαλμύρωση των πηγαδιών (Γιανουλόπουλος Π. – Μαντόγλου Α., 2001)



Οι παραπάνω σχέσεις των Cheng and Quasar έχουν ισχύ όταν ο υδροφορέας είναι ημι-απειρών διαστάσεων και το μόνο όριο του υδροφορέα είναι το όριο της θάλασσας. Επειδή στον Ελληνικό χώρο και ιδιαίτερα στα νησιά οι διαστάσεις των υδροφορέων είναι περιορισμένες, έγινε επέκταση του παραπάνω μοντέλου ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις όπου οι διαστάσεις του υδροφορέα είναι περιορισμένες. Στα Σχ.16 και 17 φαίνεται ένα παράδειγμα της θέσης του ορίου υφαλμύρωσης όπως προκύπτει από το μοντέλο καθώς και οι ισουψείς του διαχωριστικού ορίου γλυκού-αλμυρού νερού την οριακή στιγμή λίγο πριν και αμέσως μετά την υφαλμύρωση των πηγαδιών ενός υδροφορέα όταν ο υδροφορέας αντλείται από 4 πηγάδια. Παρατηρούμε ότι για μικρή αύξηση της συνολικής ποσότητας άντλησης επέρχεται γρήγορη υφαλμύρωση των πηγαδιών 1 και 4.

### 3.4 Τρόποι προσομοίωσης διεπιφάνειας αλμυρού – γλυκού νερού

Δύο είναι οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων:

- Θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους, λόγω υδροδυναμικής διασποράς
- Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας, εάν το πάχος της διεπιφάνειας είναι μικρό σε

σχέση με το πάχος του υδροφορέα.

### 3.5 Διεπιφάνεια πεπερασμένου πάχους

Η διεξίδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς αντιμετωπίζεται σαν ένα είδος ρύπανσης περιβαλλοντικής προέλευσης. Υπάρχουν δύο αναμίξιμα υγρά. Επομένως, επιλύεται πρόβλημα υδροδυναμικής διασποράς με συγκέντρωση  $c$  εξαρτώμενη από την πυκνότητα  $\rho$  (για κορεσμένη ροή). Οι άγνωστοι του προβλήματος στις διάφορες θέσεις  $r!$  του πεδίου ροής και για διάφορους χρόνους  $t$ , είναι: συγκέντρωση  $c(r!, t)$ , ταχύτητα  $V(r!, t)$ , πίεση  $p(r!, t)$  και πυκνότητα  $\rho(r!, t)$ .

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι:

- Εξίσωση διατήρησης μάζας
- Εξίσωση υδροδυναμικής διασποράς
- Εξισώσεις κίνησης (Νόμος του Darcy)
- $\rho = \rho(c)$  (συνήθως γραμμική σχέση)

### 3.6 Απότομη διεπιφάνεια

- *Περίπτωση 1η:* Για αδιατάρακτες συνθήκες ροής θεωρούνται:
    - κατάσταση ισορροπίας, μόνιμη ροή
    - ακίνητη διεπιφάνεια, με ταυτόχρονη εκροή γλυκού νερού προς τη θάλασσα πάνω από αυτήν
  - *Περίπτωση 2η:* Λόγω άντλησης θεωρούνται:
    - κινούμενη διεπιφάνεια, μη μόνιμη ροή
  - Υπό προϋποθέσεις γίνεται η παραδοχή της οριζόντιας ροής
- Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι:
- Εξισώσεις για το γλυκό νερό

- Εξίσωση συνέχειας
- Εξισώσεις κίνησης (Νόμος Darcy)
- Εξισώσεις για το θαλάσσιο νερό
- Εξίσωση συνέχειας
- Εξισώσεις κίνησης (Νόμος Darcy) Άγνωστοι του προβλήματος είναι η πίεση  $p$ , το βάθος  $z$  της διεπιφάνειας από την επιφάνεια της θάλασσας και οι ταχύτητες  $V$  για το γλυκό και θαλάσσιο νερό.

### 3.7 Αναλυτικές σχέσεις

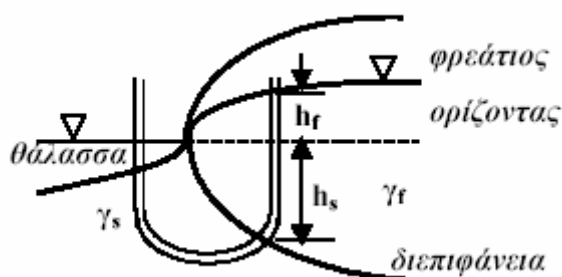
Λόγω των απλοποιημένων φυσικών παραδοχών και της γεωμετρίας, οι αναλυτικές λύσεις δεν μπορούν να επιλύσουν πραγματικά προβλήματα. Εν τούτοις είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και απαραίτητο εργαλείο σε πολλές περιπτώσεις:

- ❖ Για εκπαιδευτικούς σκοπούς οι αναλυτικές λύσεις επιτρέπουν την καλύτερη φυσική κατανόηση του προβλήματος.
- ❖ Στις μελέτες σκοπιμότητας οι αναλυτικές σχέσεις αποτελούν πολλές φορές ένα πρώτο εργαλείο. Τα πιο πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα απαιτούν υδρολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία που ή δεν διατίθενται ή δεν υπάρχουν σε αυτή την αρχική φάση.
- ❖ Ένα μαθηματικό μοντέλο χρειάζεται αξιόπιστα εισαγωγικά στοιχεία, για να εξάγει ορθά αποτελέσματα. Σκόπιμο είναι πριν από μια σημαντική ή μεγάλης κλίμακας έρευνα, η πραγματοποίηση στοιχειωδών υπολογισμών και η εξαγωγή πρώτων συμπερασμάτων.
- ❖ Τέλος, αναλυτικές σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και την επαλήθευση μαθηματικών μοντέλων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές απλές αναλυτικές σχέσεις με ιστορική ή πρακτική σημασία, που βοηθούν στην κατανόηση του προβλήματος. Πρέπει να τονισθεί ότι η ανάλυση που ακολουθεί αφορά υδροφορείς στους οποίους ισχύει η αρχή του συνεχούς μέσου (δεν ισχύει συνήθως σε καρστικούς ή ρωγματομένους υδροφορείς). Τα πιο σύνθετα προβλήματα πρέπει πάντα να επιλύονται με κατάλληλες μαθηματικές προσομοιώσεις.

### 3.8 Προσέγγιση GHYBEN – HERZBERG

Περισσότερο από έναν αιώνα πριν, οι Badon-Ghyben (1888) και Herzberg (1901) ανεξάρτητα βρήκαν ότι η στάθμη του θαλάσσιου νερού στο έδαφος δεν βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας, αλλά κάτω από αυτό, 40 περίπου φορές τη διαφορά στάθμης του γλυκού νερού από το επίπεδο της θάλασσας (Σχ. 18).



**Σχήμα 18 :** Σχηματική αναπαράσταση της προσέγγισης Ghyben – Herzberg. (Νάνου- Γιάνναρου, 2001)

Η σχέση αυτή, γνωστή με το όνομα Ghyben-Herzberg, προκύπτει από την υδροστατική ισορροπία μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού. Η αλάτινη σφήνα θεωρείται ακίνητη, η πίεση στη διεπιφάνεια είναι κοινή και για τις δύο περιοχές και θεωρείται ότι ισχύει η γνωστή παραδοχή

Dupuit. Ορίζοντας  $h_f$  το ύψος γλυκού νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και  $h_s$  τη θέση της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού κάτω από αυτήν και  $\gamma_f$ ,  $\gamma_s$  τα ειδικά βάρη γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα και  $\delta$  το λόγο  $\gamma_f/(\gamma_s-\gamma_f)$ , ισχύει:

$$h_s \gamma_s = (h_f + h_s) \gamma_f \Rightarrow h_s = \frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f} h_f \equiv \delta h_f$$

Η σχέση αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης της διεπιφάνειας μόνο από τη στάθμη του γλυκού νερού στα φρέατα παρατήρησης. Για  $\rho_f=1,000 \text{ gr/cm}^3$  και  $\rho_s=1,025 \text{ gr/cm}^3$ , υπολογίζεται ότι:  $h_s=40h_f$ .

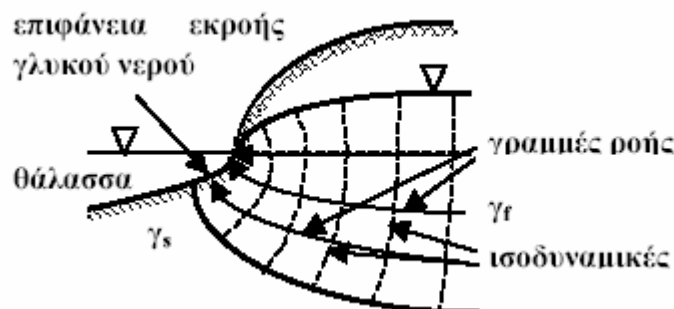
Στην βιβλιογραφία έχουν διατυπωθεί αντίστοιχες γενικότερες εκφράσεις για δυναμική και όχι υδροστατική ισορροπία, δεν αναφέρονται όμως στην παρούσα ανάπτυξη επειδή έχουν μικρότερο πρακτικό ενδιαφέρον. Η χρήση της εξίσωσης Ghyben- Herzberg επιτρέπει την εύρεση της θέσης της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού, ως εξής:

- ❖ Με βάση παρατηρήσεις από φρέατα της περιοχής, κατασκευάζεται ο πιεζομετρικός χάρτης του υδροφορέα για το γλυκό νερό.
- ❖ Τα πιθανά βάθη της διεπιφάνειας υπολογίζονται από την προαναφερθείσα εξίσωση, άρα ισχύει ο ίδιος πιεζομετρικός χάρτης πολλαπλασιασμένος με διαφορετικό συντελεστή.
- ❖ Από τη γεωλογική μελέτη είναι γνωστή η θέση του πυθμένα του υδροφορέα.
- ❖ Η τομή των δύο επιφανειών, της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού και της βάσης του υδροφορέα, αποτελεί τον πόδα της αλάτινης σφήνας.
- ❖ Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί για περιορισμένους και φρεάτιους υδροφορείς.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετά υπολογιστικά σχήματα που βοηθούν στη μαθηματική προσομοίωση της υπαλμύρωσης υπόγειων υδροφορέων. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν την παραδοχή της διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους και επιλύουν πρόβλημα υδροδυναμικής διασποράς και κάποια λαμβάνουν υπ' όψιν θερμοκρασιακές διαφορές. Τα πιο γνωστά είναι: SUTRA, SHARP, FEFLOW, SWIP, MOCDENSE, HST3D. Επειδή το πρόβλημα της υπαλμύρωσης είναι ιδιαίτερα σύνθετο, απαιτείται προσοχή όχι μόνο στην επιλογή ενός μοντέλου, αλλά και στην επαλήθευση και βαθμονόμησή του με δεδομένα πεδίου.

### 3.9 Πραγματική εικόνα της διεπιφάνειας

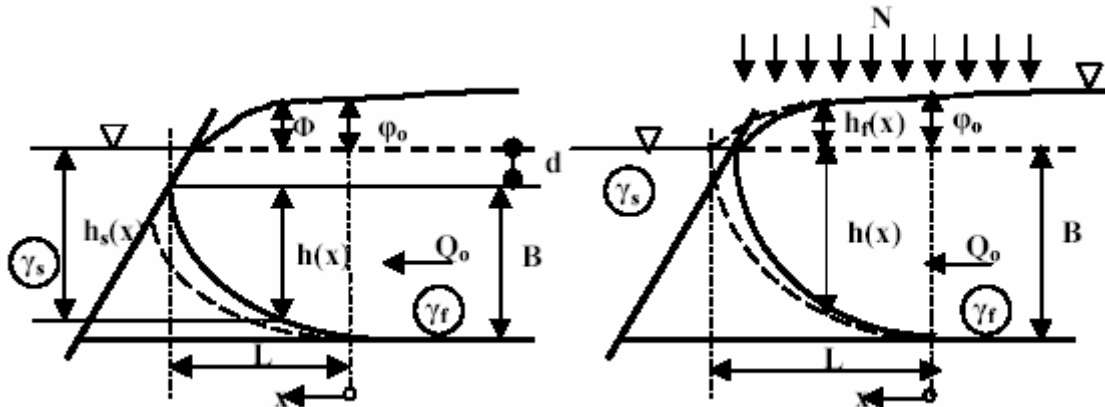
- ❑ Δεν ισχύει η παραδοχή της οριζόντιας ροής. Υπάρχουν σημαντικές κατακόρυφες συνιστώσες ταχυτήτων.
- ❑ Η προσέγγιση Ghyben-Herzberg δεν επιτρέπει τον υπολογισμό επιφάνειας από την οποία πραγματοποιείται διέξοδος γλυκού νερού προς τη θάλασσα.
- ❑ Η διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού συνήθως δεν είναι ακίνητη, αλλά κινείται προς το εσωτερικό του υδροφορέα.
- ❑ Η προσέγγιση Ghyben-Herzberg δεν μπορεί να προβλέψει στην περίπτωση φρεατίων υδροφορέων την επιφάνεια διήθησης.



**Σχήμα 19** : Πραγματική εικόνα της διεπιφάνειας (Νάνου- Γιάνναρου, 2001)

### 3.10 Ακίνητη διεπιφάνεια σε κατακόρυφο επίπεδο

Ένας απλός τρόπος υπολογισμού της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού, χωρίς την παρουσία φρεάτων, είναι με τη βοήθεια της μονοδιάστατης ανάλυσης. Τα αποτελέσματα επιτρέπουν τη ποιοτική μελέτη του φαινομένου. Οι παραδοχές που ισχύουν είναι: μόνιμη ροή γλυκού νερού, ακίνητη στρώση θαλάσσιου νερού, ομογενής υδροφορέας με υδραυλική αγωγιμότητα  $K$ , οριζόντια ροή και προσέγγιση Ghyben- Herzberg. Παρακάτω απεικονίζονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια (Σχ. 20).



Σχήμα 20 : Αναπαράσταση συμβόλων διεπιφάνειας (Νάνου- Γιάνναρου , 2001).

### 3.11 Σχέση γλυκού – αλμυρού νερού στα νησιά – αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση όπου παρατηρείται το φαινόμενο διείσδυσης θαλασσινού νερού, είναι η σχέση γλυκού- αλμυρού νερού στα νησιά. Στην περίπτωση που αυτά αποτελούνται από υδροπερατούς σχηματισμούς καθ' όλη τους της έκταση τότε σε όλες τις πλευρές τους έρχεται σε επαφή το γλυκό με το αλμυρό νερό. Οι ποσότητες όμως του υπόγειου νερού είναι εντελώς περιορισμένες μια και αυτές προέρχονται εξ ολοκλήρου από τη βροχή.

Έτσι το βάθος του αλμυρού νερού, σε οποιοδήποτε σημείο του νησιού είναι συνάρτηση της τροφοδοσίας του υδροφόρου από τη βροχή, του μεγέθους του νησιού και της υδραυλικής αγωγιμότητας. Τα παλιρροιακά φαινόμενα και οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και της βροχόπτωσης, σε συνδυασμό με τη διασπορά, δημιουργούν μία μεταβατική ζώνη κατά μήκος της διεπιφάνειας. Επειδή αυτή η μεταβατική ζώνη βρίσκεται πολύ κοντά στην υδροστατική επιφάνεια του υδροφόρου, μπορεί να φέρει το αλμυρό νερό μέσα στις υδρογεωτρήσεις άντλησης με τη διαδικασία του φαινομένου ανύψωσης.

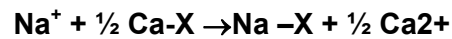
Για την αντιμετώπιση της μόλυνσης των υδροφόρων από τη θάλασσα υπάρχει δυνατότητα επιλογής μιας από τις παρακάτω μεθόδους.

- ❖ Τροποποίηση του «γενικού σχεδίου άντλησης»
- ❖ Τεχνητός εμπλουτισμός
- ❖ Δημιουργία υπόγειου φραγμού
- ❖ Φραγμός από υπεράντληση στην ακτή
- ❖ Φραγμός από τεχνητό εμπλουτισμό

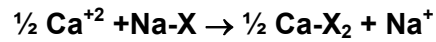
### 3.12 Κατιοντική ανταλλαγή στη διεπιφάνεια αλμυρού – γλυκού νερού

Το γλυκό νερό στις παράκτιες περιοχές είναι οξυανθρακικό ασβεστούχο λόγω διάλυσης ασβεστίτη. Έτσι οι κατιοντικοί «ανταλλάκτες» στον υδροφόρο περιέχουν κυρίως  $Ca^{2+}$  που

προσροφήθηκε στις επιφάνειες των σωματιδίων τους. Στο θαλασσινό νερό τα επικρατούντα ιόντα είναι  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ . Τα ιζήματα που βρίσκονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό προσροφούν σημαντικές ποσότητες νατρίου. Κατά τη διεξόδωση του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα λαμβάνει χώρα η εξής κατιοντική ανταλλαγή:



Όπου X ο «ανταλλάκτης». Ο «ανταλλάκτης» προσροφά  $\text{Na}^+$  και απελευθερώνει  $\text{Ca}^{2+}$ . Το μετατρέπεται έτσι από τον τύπο  $\text{NaCl}$  σε τύπο  $\text{CaCl}_2$ . Το αντίστροφο λαμβάνει χώρα κατά τον εμπλουτισμό, φυσικό ή τεχνητό, του υφάλμυρου υδροφόρου:



οπότε ο τύπος του νερού που προκύπτει είναι  $\text{NaHCO}_3$ .

Η ανύψωση της διεπιφάνειας κατά συνέπεια αντιμετωπίζεται με τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 4.1 Γεωγραφία της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης (Εικόνα 2) βρίσκεται Βόρειο Ανατολικά του Νομού Χανίων. Ανήκει διοικητικά στην επαρχία Αποκορώνου. Με βάση το σχέδιο Καποδίστριας ανήκει στο Δήμο Βάμου. Βόρεια της περιοχής μελέτης βρίσκεται ο όρμος της Σούδας, Νότια ο Δήμος Βρυσών, Ανατολικά ο Δήμος Γεωργιουπόλεως και ο όρμος Αλμυρού και Δυτικά ο Δήμος Αρμένων.

Βόρεια, Δυτικά και Ανατολικά της περιοχής μελέτης επικρατεί ημιορεινή και πεδινή ζώνη με ψηλότερη κορυφή τα Δραπανοκέφαλα που βαθμιαία μεταβαίνει μέσω των απόκρημνων ακτών στην παραθαλάσσια ζώνη του Κρητικού Πελάγους ενώ Νότια επικρατεί ο μεγάλος ορεινός όγκος των Λευκών Ορέων.



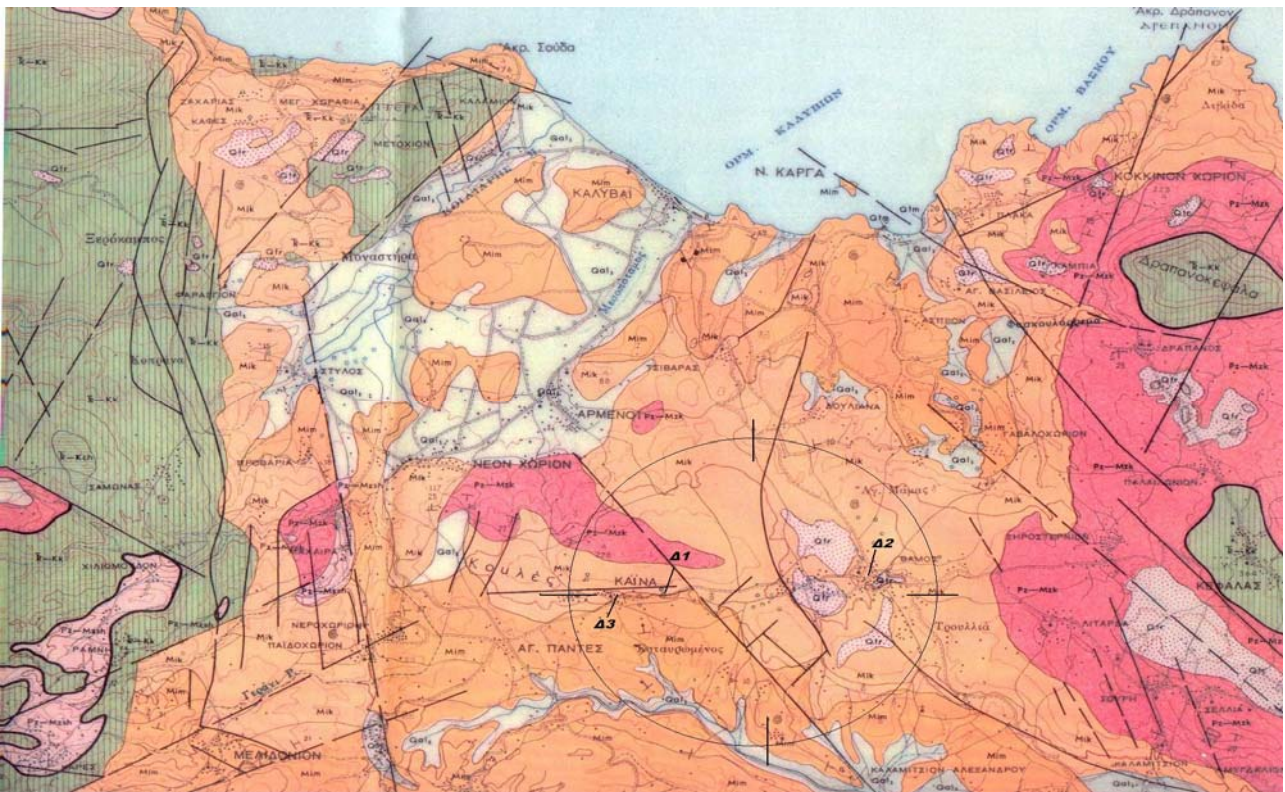
Εικόνα 2 : Περιοχή μελέτης (Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων 2003-2004)

## 4.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης

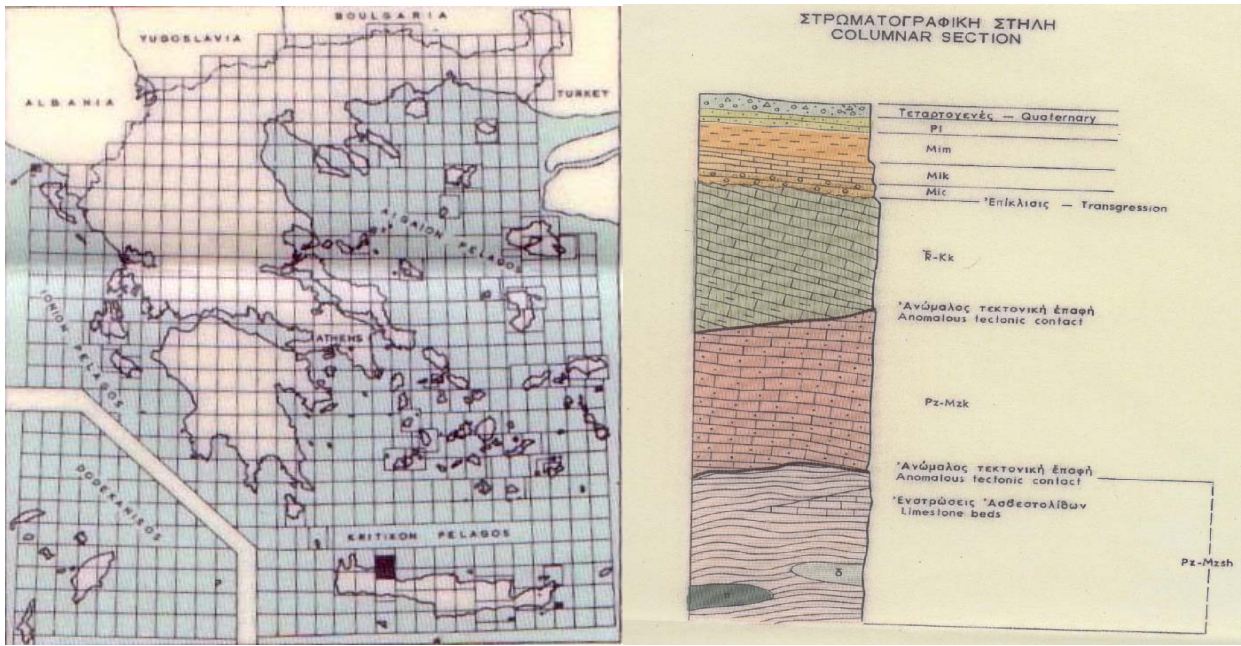
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν της περιοχή μελέτης με βάση το Γεωλογικό Χάρτη της Ελλάδας Ι. Γ. Ε. Υ. 1971 (Εικόνα 3) με σειρά από τα ανώτερα προς τα κατώτερα μέλη είναι:

- I. Qtr, προσχωματικές αποθέσεις ερυθρογής, εντός καρστικών εγκοίλων (τεταρτογενές)
- II. Qal1, Αλλουβιακές προσχώσεις
- III. Mik, Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι συμπαγής λευκοκίτρινοι έως λευκότεφροι εγκλείωντες θαλάσσια απολιθώματα (Νεογενές – Μειόκενο)
- IV. K –KK, Ασβεστόλιθοι ζώνης Τριπόλεως, συμπαγείς λευκόφαιοι έως υποκύανοι μικροκρυσταλλικοί συνήθως με θραύσματα Ρουδιστών ενίοτε λατυποπαγείς και κατά τόπους δολομιτωμένοι (Τριαδικό – Κριτιδικό).
- V. Pz – Mzk, Ασβεστόλιθοι συμπαγείς, κρυσταλλικοί, λευκοί ως λευκόφαιοι κατά τόπους κυανόφαιοι λεπτοπλακώδεις ενίοτε δολομιτικοί του αυτόχθονου συστήματος της Νήσου Κρήτης μη προσδιορισθείσας ηλικίας πιθανόν Παλαιοζωικής η έως και Μεσοζωικής.

Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να πούμε ότι στη γεώτρηση για τα πρώτα περίπου 60μέτρα συναντάμε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και μετά μέχρι τα 250 μέτρα περίπου μεσοζωικούς ασβεστόλιθους (Παυλάκης, 1997).



**Εικόνα 3 :** Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης. Με τα σύμβολα Δ1, Δ2 και Δ3 χαρακτηρίζονται τα σημεία δειγματοληψίας ( Ι.Γ.Ε.Υ. 1971)



### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Γεωλογικόν όριον όρατόν		Geological boundary visible
Ρήγμα όρατόν		Fault visible
Ρήγμα πιθανόν		Fault probable
'Ανώμαλος τεκτονική έπαφή		Anomalous tectonic contact
Μέτωπον άποσπάσεως κατολισθήσεως		Landslide scarp
Θέσις άπολιθωμάτων		Fossil location
Μεταλλείον άργουδν		Idle mine
Παράταξις στρωμάτων		Strike and dip of beds
Παράταξις στρωμάτων κατ' έκτίμησην		Strike and dip of beds estimated
Διεθύνσεις και κλίσις έπιφανειών διακλάσεων		Strike and dip of diaclases

Εικόνα 4 : Στρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης και το υπόμνημα.

### 4.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης

Η ανθρακική σειρά της ζώνης Τριπόλεως καταλαμβάνει μικρό μέρος Ανατολικά της μελετούμενης περιοχής. Παρουσιάζει υδρογεωλογικό ενδιαφέρον γιατί σε αυτήν αναπτύσσονται σημαντικά υδροφόρα στρώματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην υψηλή υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών της, στην έντονη καρστικοποίηση τους και στη ρηξιγενή τεκτονική της περιοχής.

Όπως βλέπουμε και στον γεωλογικό χάρτη στην περιοχή μελέτης υπάρχουν ρήγματα πολλά εκ των οποίων τέμνονται. Τα ρήγματα που τέμνονται άλλοτε λειτουργούν ως αγωγοί και άλλοτε ως φράγματα. Στην περίπτωση που αποτελούν αγωγούς έχουμε κίνηση των υπόγειων υδάτων στον υδροφόρο και εκροή τους στη θάλασσα. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε εμφάνιση επιφανειακών



πηγών. Τα σημεία δειγματοληψίας Δ1 και Δ3 βρίσκονται πάνω σε ρήγμα το οποίο έχει προσανατολισμό από Δύση προς Ανατολή. Η περιοχή μελέτης (κύκλος στον παραπάνω χάρτη) τέμνεται και από ένα μεγάλο πιθανό ρήγμα που έχει προσανατολισμό από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά. Η παρουσία ρηγμάτων στην περιοχή μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε συνδυασμό με τους μαργαϊκούς σχηματισμούς δημιουργεί και ευνοεί την ύπαρξη πλούσιου υδροφόρου ορίζοντα και για το λόγο αυτό περιοχή είναι πλούσια και σε επιφανειακά νερά.

Αυτό φαίνεται και από το χάρτη του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής όπου κάνουν την εμφάνιση τους πολλά ποτάμια και επιφανειακές πηγές όπως αυτές του Στύλου, των Αρμένων και των Βρυσών καθώς και ποτάμια όπως ο Κοιλιάρης ο οποίος εκβάλλει στον όρμο της Σούδας όπως και ο Μεσοπόταμος και ο Αλμυρός που εκβάλλει στη Γεωργιούπολη.

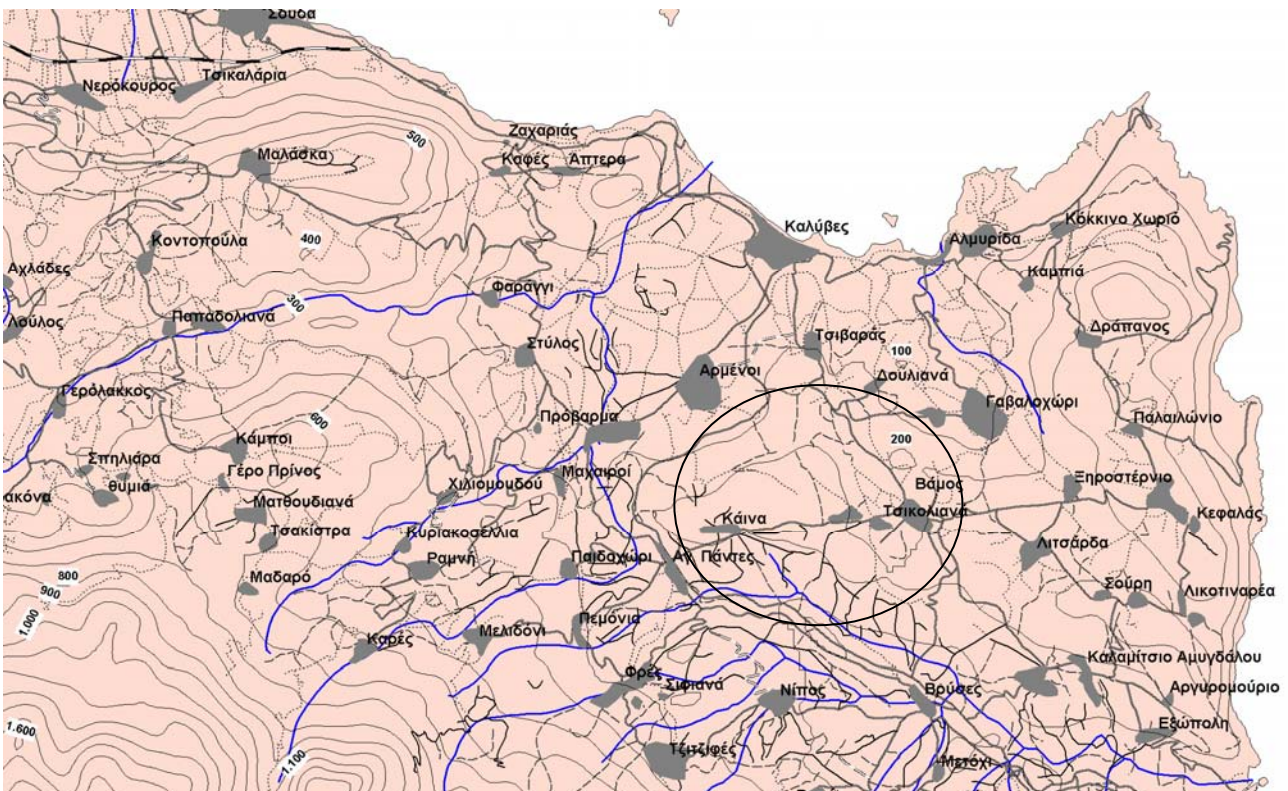
#### 4.4 Κλιματολογικές συνθήκες

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.

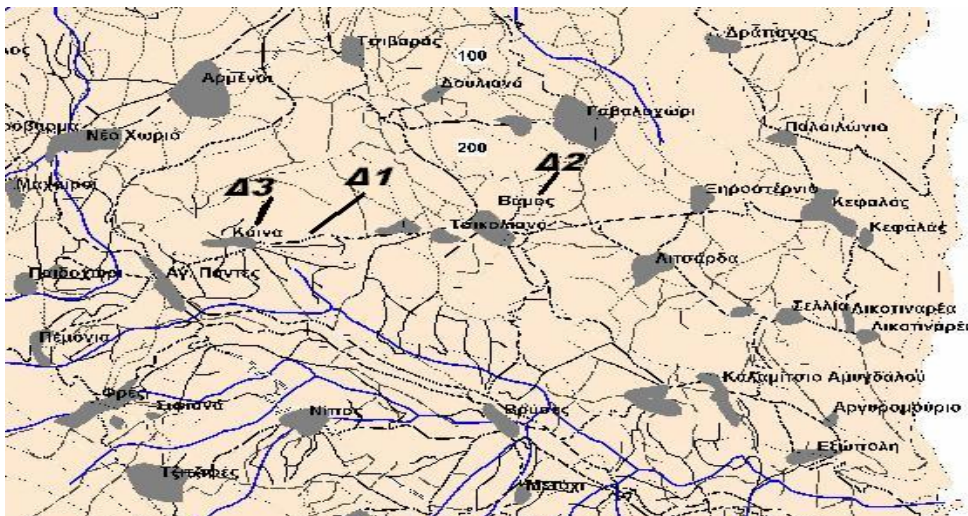
#### 4.5 Υδρολογικές συνθήκες περιοχής

Το υδατικό δυναμικό της περιοχής μελέτης αποτελείται από τα επιφανειακά νερά και τα υπόγεια. Τα υπόγεια νερά κατά ένα μικρό ποσοστό εμφανίζονται υπό τη μορφή πηγών συνεχούς ή διαλύπτουσας παροχής και κατά το υπόλοιπο κινούνται υπόγεια μέσω υδροπερατών σχηματισμών και εκφορτίζονται στη θάλασσα (Εικόνα 5 και 6).

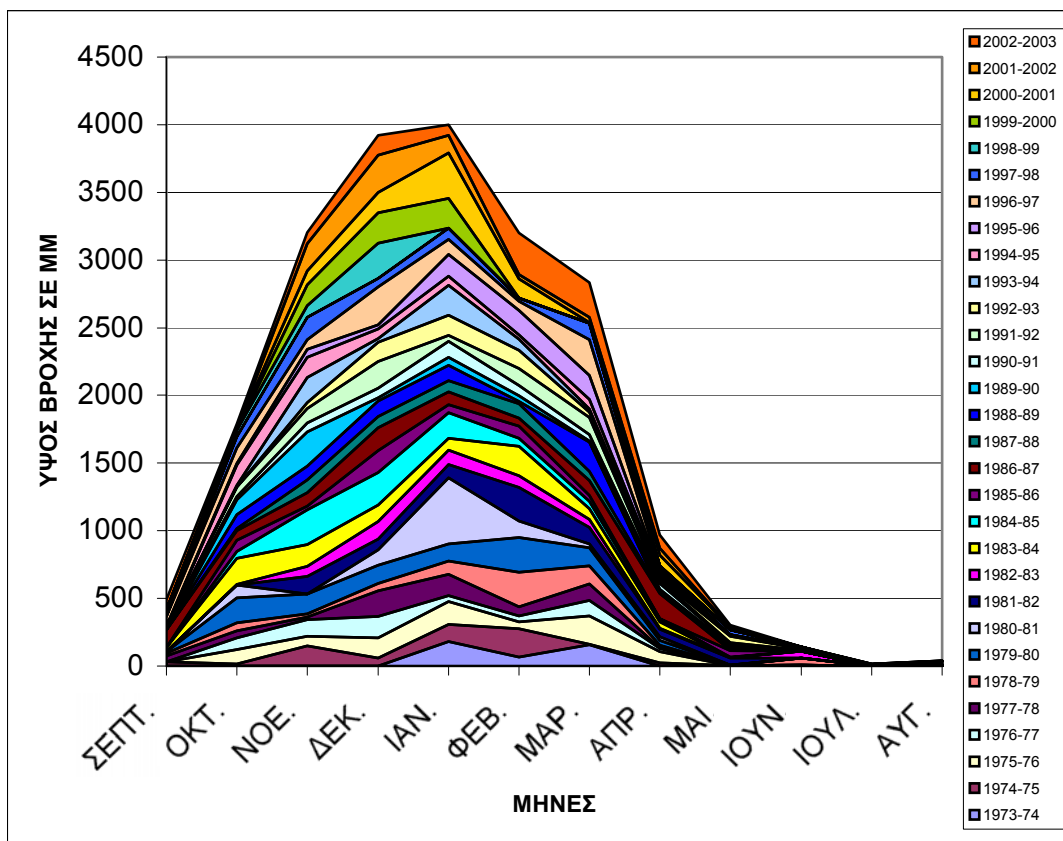


Εικόνα 5 : Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης (μέσα στον κύκλο, Ο.Α.Δ.Υ.Κ, 2004)

Από τα βροχομετρικά δεδομένα της Διεύθυνσης Δημοσίων Έργων και Εγγείων Βελτιώσεων, που προέρχονται από τους σταθμούς που βρίσκονται στα χωριά Μουρί, Ασκύφου και Καλύβες προκύπτει ότι η περιοχή δε στερείται ύδατος·καίτι που τεκμηριώνεται και με τη βοήθεια του Σχήματος 21 φαίνεται το ύψος των κατακρημνισμάτων της γύρω περιοχής κατά την τελευταία 30ετία (1973 -2003).



**Εικόνα 6 :** Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης (όπου Δ1, Δ2 και Δ3 τα σημεία δειγματοληψιών, Ο.Α.ΔΥ.Κ, 2004)



**Σχήμα 21 :** Ύψος κατακρημνισμάτων την χρονική περίοδο από 1973 έως 2003 από στοιχεία βροχομετρικών σταθμών κοντά στην περιοχή μελέτης.

Από το Σχήμα 21 βλέπουμε ότι υψηλότερες ετήσιες βροχοπτώσεις είχαμε κατά τα έτη 1979 – 80, 1996- 97 και 2002- 2003 με υψηλότερη βέβαια αυτή του έτους 1979-80. Χαμηλότερες

βροχοπτώσεις είχαμε κατά τα έτη 1998-99, 1973-74, 1987-88 και 1990-91. Το γεγονός ότι κατά το υδρολογικό έτος 2002-2003 είχαμε πολλές βροχοπτώσεις βοηθά να συμπεράνουμε ίσως ότι η στάθμη της γεώτρησης την περίοδο υλοποίησης της παρούσης εργασίας ήταν σε υψηλότερο επίπεδο από ότι θα ήταν σε άνωδρες περιόδους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 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 Διάταξη, “πόσιμο νερό” νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του.

#### 5.1 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.

## **5.2 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 τους 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 Οδηγίας 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 θεσπίσθηκαν 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.λπ) 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 αντιμετώπισή του. Διότι τέτοιου είδους πολύπλοκα προβλήματα απαιτούν ολοκληρωμένες λύσεις που συνίστανται σε συνολική και ενιαία επέμβαση σε όλα τα μέτωπα και τους εμπλεκόμενους τομείς.

### **5.3 ΝΟΜΟΣ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 3199/ ΑΡ. Φ. 280 / 9 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 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.

#### **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 διαταξεις του 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000 ( επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων L327/22.12.2000)

#### **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 περισσότερων υδροφόρων οριζώντων.

Κατάσταση υπογείων υδάτων : είναι η συνολική αποτύπωση της καταστασης 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.

## **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 Σχάδια 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ

Για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού μετρούνται κάποια οι φυσικοχημικές παράμετροι, τα ανόργανα συστατικά και οι δείκτες οργανικού φορτίου.

#### 6.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

##### 6.1.1 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Ο όρος pH, (Ζανάκη, 2001), εκφράζει την συγκέντρωση υδρογονιόντων, που περιέχει ένα δείγμα και ορίζεται ως την αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονιόντων, που περιέχει ένα διάλυμα ( $-\log [H^+]$ ) ή ως η αρνητική δύναμη, στην οποία πρέπει να υψωθεί ο αριθμός 10 για να ληφθεί η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, εκφρασμένη σε γραμμάρια ή γραμμοίοντα ανά λίτρο διαλύματος.

Το καθαρό νερό είναι ελάχιστα ιονισμένο και σε κατάσταση ισορροπίας η συγκέντρωση υδρογονιόντων και υδροξυλιόντων διέπεται από τη σχέση:

$$[H^+] + [OH^-] = 10^{-14}, \text{ στους } 25^\circ \text{C}$$

και

$$[H^+] = \text{συγκέντρωση υδρογονιόντων, σε moles/ L}$$

$$[OH^-] = \text{συγκέντρωση υδροξυλιόντων, σε moles/ L}$$

Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από 0 ως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε  $pH = 7,0$ . Τιμές μικρότερες δείχνουν όξινο περιβάλλον (υπεροχή υδρογονιόντων) ενώ τιμές μεγαλύτερες δείχνουν αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλιόντων).

Η μέτρηση του pH είναι μία από τις σημαντικότερες και βασικότερες μετρήσεις κατά την εξέταση των υδάτων. Σε δεδομένη θερμοκρασία το pH δείχνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι ένα διάλυμα ή τον βαθμό του ιονισμού του διαλύματος. Με το pH δεν μετράται η οξύτητα ή αλκαλικότητα του δείγματος, όμως τιμές pH μικρότερες από 7, δείχνουν μία τάση του δείγματος προς την οξύτητα και τιμές pH μεγαλύτερες από 7 δείχνουν μία τάση προς την αλκαλικότητα.

Στα νερά φυσικής προέλευσης το pH κυμαίνεται συνήθως από 6,5 ως 8,5.

##### 6.1.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού εξαρτάται, κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ιονιζόμενων ουσιών, που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία, στην οποία έγινε η μέτρηση.

Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα (HCl, NaCl κ.λ.π.) που διίστανται στο νερό έχουν μεγάλη αγωγιμότητα ενώ αντίθετα τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή αγωγιμότητα.

Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το  $\mu\text{mhos / cm}$  ή  $\text{mS / m}$  ( $1 \text{ mS / m} = 10 \mu\text{mhos / cm}$ ).

Στα πόσιμα νερά, η αγωγιμότητα κυμαίνεται συνήθως από  $2500 \mu\text{S / cm}$  στους  $20^\circ\text{C}$ .

Η μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την επίδραση των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες ( Ζανάκη, 2001).

##### 6.1.3 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.



Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ακόμα απαραίτητη στη διαδικασία μέτρησης ορισμένων χαρακτηριστικών νερού όπως η αλκαλικότητα, αλατότητα, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, κλπ.

Η θερμοκρασία των αποβλήτων που αποχετεύονται προς τη θάλασσα ή άλλα επιφανειακά νερά επίσης πρέπει να βρίσκεται σε ορισμένα όρια (συνήθως 25-40 °C) και πρέπει να ελέγχεται συχνά, σύμφωνα με τη νομοθεσία μας (Ζανάκη, 2001).

## 6.2 Ανόργανα συστατικά

### 6.2.1 Άζωτο και νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Στα επιφανειακά νερά και απόβλητα, το άζωτο δεν απαντάται στην αέρια μορφή (ως N<sub>2</sub>) αλλά βρίσκεται δεσμευμένο ως οργανικό άζωτο σε υπολείμματα ή προϊόντα φυτών και ζώων υπό τη μορφή πρωτεϊνών, πεπτιδίων κ.λ.π. ή υπό τη μορφή ανόργανων ενώσεων όπως αμμωνία, νιτρικά και νιτρώδη ιόντα. Οι ανόργανες μορφές του αζώτου, προέρχονται από την οξείδωση του οργανικού αζώτου, εκπτώσεις γεωργικών εκτάσεων επιβαρημένων με λιπάσματα ή από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα. Ως ολικό οξειδωμένο άζωτο, ορίζεται το άζωτο που βρίσκεται δεσμευμένο στα νιτρικά και νιτρώδη ιόντα. Τα νιτρικά απαντώνται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά αλλά μπορεί να υπάρχουν σε πολύ υψηλές τιμές στα υπόγεια νερά.

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων:



Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα.

Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση των νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 50mg/L (σύμφωνα με το ΦΕΚ 892/2001).

### 6.2.2 Άζωτο και αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό τη μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ή ελεύθερης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας:



Σε αλκαλικό περιβάλλον, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά ενώ σε αλκαλικό προς τα αριστερά. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά και αντίστροφα.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία στη χώρα μας, η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ιόντων αμμωνίου στο πόσιμο νερό (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), είναι 0,5mg/L ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο στα γλυκά νερά για τη διαβίωση της πέστροφας και ειδών της οικογένειας των Σαλμονίδων και Κυπρινίδων, είναι 0,025mg/L. Στα απόβλητα που εκβάλλουν στα επιφανειακά νερά, η τιμή της ολικής αμμωνίας, δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 15mg/L.

### 6.2.3 Φώσφορος

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 επιβαρυμένα 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 5000mg/L.

#### **6.2.4 Χλώριο – χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)**

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανόργανα ανιόντα των υδάτων. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό. Στη χώρα μας σε πολλές περιοχές παρατηρούνται υψηλές τιμές στα υπόγεια νερά. Οι υψηλές τιμές των χλωριόντων παρατηρούνται σε όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά των παράκτιων περιοχών, λόγω των υπεραντλήσεων και της προέλασης του θαλασσινού μετώπου.

Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών.

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο χλωριόντων στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με τη νομοθεσία μας είναι 250mg/L.

#### **6.2.5 Θειικά ιόντα (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

Η παρουσία των θειικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, μπορεί να προέρχεται από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ο έλεγχος των θειικών αλάτων στο πόσιμο νερό έχει σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρτική δράση στον άνθρωπο, γι αυτό το ανώτατο επιτρεπτό όριο θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/L.

### **6.3 Δείκτες οργανικού φορτίου**

#### **6.3.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)**

Ο προσδιορισμός του Βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου χρησιμοποιείται ως μέτρο εκτίμησης του ρυπαντικού φορτίου που διαθέτουν τα λύματα, τα απόβλητα και τα ρυπασμένα ύδατα. Κατά τη δοκιμασία αυτή μετράται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχει το εξεταζόμενο δείγμα και η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξειδωση ανόργανων ουσιών όπως τα θειούχα, ο σίδηρος κ.λ.π.

Ο προσδιορισμός του BOD (αρχικά του αγγλοσαξονικού όρου Biochemical Oxygen Demand) είναι μια από τις παλαιότερες και συχνά εφαρμοζόμενη ως σήμερα μέθοδος για την εκτίμηση της οργανικής ρύπανσης από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα σε φυσικούς αποδέκτες.

Ως BOD μπορεί να οριστεί η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια σε διάστημα πέντε ημερών, για την χημική και βιολογική οξείδωση των οργανικών κυρίως ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος δείγματος ακάθαρτων νερών που επωάζεται σε σκοτεινό θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 20°C.

Το BOD, εκφράζεται σε mg/L και συμβολίζεται ως BOD<sub>5</sub>, όταν ο χρόνος επώασης είναι πέντε μέρες και BOD<sub>20</sub> όταν ο χρόνος επώασης είναι είκοσι μέρες.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία που ισχύει στη χώρα μας, τα απόβλητα που διοχετεύονται σε επιφανειακούς αποδέκτες πρέπει να έχουν BOD<sub>5</sub> μικρότερο από 40 mg/L.

### **6.3.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)**

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση – σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον- των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε δείγμα υδάτων ή αποβλήτων. Είναι μία ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία μας στα επιφανειακά ρεύματα η στη θάλασσα η τιμή του COD πρέπει να είναι μικρότερη από 120mg/L ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν οριστεί αυστηρότερα όρια.

## **6.4 Μικροβιολογικές παράμετροι**

### **6.4.1 Ολικά και Κοπρανώδη Κολοβακτήρια**

Τα βακτήρια είναι ομοταξία κατώτερων μικροοργανισμών. Είναι μονοκύτταρα και ζουν μεμονωμένα ή κοινοβιακά.

Τα βακτήρια είναι πλατιά διαδεδομένα στη φύση και βρίσκονται στον αέρα στο νερό στο έδαφος και σε κάθε μορφή χλωρίδας και πανίδας. Ο ρόλος των βακτηρίων είναι πολύ σημαντικός στη φύση γιατί συντελούν μαζί με τους μύκητες στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών.

Υπάρχουν όμως και βακτήρια που προκαλούν ασθένειες.

Τα βακτήρια πολλαπλασιάζονται με σχάση ενός μητρικού κυττάρου από το οποίο προκύπτουν δύο όμοια θυγατρικά βακτήρια. Κάθε βακτήριο διπλασιάζεται κάθε 20-30min. Στην επιφάνεια ενός θρεπτικού υποστρώματος τα θυγατρικά κύτταρα παραμένουν ενωμένα και δημιουργούν αποικίες. Ο τύπος και το χρώμα της αποικίας είναι συνήθως τα χαρακτηριστικά αναγνώρισης. Πιθανή παρουσία αποικιών στα δείγματα μας δηλώνει μόλυνση του νερού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Οι παράμετροι ποιότητας που μετρήθηκαν στα δείγματα του νερού ήταν :

- pH
- Αγωγιμότητα
- Συγκέντρωση νιτρικών ιόντων  $\text{NO}_3^-$
- Συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων  $\text{NH}_4^-$
- Συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων  $\text{PO}_4^-$
- Συγκέντρωση χλωριόντων  $\text{Cl}^-$
- $\text{BOD}_5$  και  $\text{BOD}_{20}$
- COD
- Αριθμός αποικιών ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων
- Συγκέντρωση θειικών ιόντων  $\text{SO}_4^-$

#### 7.1 Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας

Τα σημεία δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν ήταν:

- Η γεώτρηση στο χωριό Κάινα
- Μια βρύση στο καφενείο του κυρίου Σταυρουλάκη Αντώνη στο χωριό Κάινα

και

- Μια βρύση έξω από το Δημαρχείο του Βάμου.

Τα σημεία, πέρα από την γεώτρηση που εκεί γίνεται ο βασικός έλεγχος, είχαν επιλεγεί γιατί το χωριό Κάινα υδρεύεται από τη δεξαμενή του χωριού Αρμένιοι που βρίσκεται Βόρειο – Βορειοδυτικά του σημείου γεώτρησης ενώ ο Δήμος Βάμου υδρεύεται από μίγμα νερού της γεώτρησης και της δεξαμενής του χωριού Αρμένιοι.

Η δειγματοληψία στην γεώτρηση έγινε σε τέσσερις φάσεις συνολικής διάρκειας 3 ωρών :

- λήψη του 1<sup>ου</sup> δείγματος 10 λεπτά μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης
- λήψη του 2<sup>ου</sup> δείγματος μία ώρα αργότερα
- λήψη του 3<sup>ου</sup> δείγματος δύο ώρες αργότερα
- λήψη του 4<sup>ου</sup> δείγματος τρεις ώρες αργότερα

Η περίοδος επανάληψης της δειγματοληψίας ανά μία ώρα σχεδιάστηκε προκειμένου να αξιολογηθεί η μεταβολή των παραμέτρων ποιότητας του νερού της γεώτρησης σε σχέση με τον χρόνο άντλησης.

Κατά την λήψη δειγμάτων στην γεώτρηση, αφήνουμε τη βρύση να τρέξει 5 λεπτά έτσι ώστε να φύγουν πιθανά υπολείμματα από τις σωληνώσεις. Ξεπλύνουμε καλά τη φιάλη, την γεμίζουμε με δείγμα **μέχρι πλήρωσης** και την σφραγίζουμε καλά έτσι ώστε να μην υπάρξει απώλεια δείγματος και επαφή με τον αέρα που θα επηρεάσει τις μετρήσεις. Κλείνουμε τη βρύση και χρονομετρούμε 60 λεπτά για να πάρουμε το επόμενο δείγμα. Το αμέσως επόμενο βήμα είναι να βάλουμε το δείγμα σε φορητό ψυγείο. Πρέπει να τονίσουμε ότι είναι εξίσου σημαντικό η λήψη όλων των δειγμάτων να γίνεται με σταθερή παροχή.

Η ανάλυση των δειγμάτων στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων είχε ολοκληρωθεί εντός 3-4 ωρών από την δειγματοληψία.

## 7.2 Φυσικοχημικές παράμετροι

### 7.2.1 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Στην παρούσα εργασία η μέτρηση του pH γίνεται με την ηλεκτρομετρική μέθοδο με τη βοήθεια του πεχαμέτρου. 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. Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο της εταιρίας HACH (sension™ 156).

**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 ξεπλύνουμε 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 ξεπλύνουμε 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.

### 7.2.2 Ηλεκτρική 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 1278μS για τη βαθμονόμηση του αγωγιμόμετρου. Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε αγωγιμόμετρο της εταιρίας HACH (sension™ 156).

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

## 7.3 Ανόργανα συστατικά

### 7.3.1 Νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Τα νιτρικά ιόντα τα προσδιορίσαμε με την ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο με kit – test *Nitrate 09713 reagent test NO<sub>3</sub>-N* της εταιρίας Merck. Το εύρος του test ήταν 1.0 – 25.0 mg/L NO<sub>3</sub>-N.

**Αρχή της μεθόδου:** Σε ένα διάλειμμα που έχει οξινοστεί 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.

### 7.3.2 Αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>-</sup>)

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 NH<sub>4</sub>-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 NH<sub>4</sub> – 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 NH<sub>4</sub> – 1B και ανακατεύουμε με προσοχή γιατί το διάλυμα θερμαίνεται. Στη συνέχεια προσθέτουμε και δυο μικροκουταλιές από το αντιδραστήριο NH<sub>4</sub> – 2B και ανακατεύουμε στον αναδευτήρα. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 5min. Ύστερα προσθέτουμε οχτώ σταγόνες NH<sub>4</sub> – 3B και αφήνουμε πάλι το διάλυμα να ηρεμήσει για 10min. Ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60).

### 7.3.3 Φώσφορος

Για την μέτρηση των φωσφορικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με Phosphate -14848 reagent test 0.05 – 5.00 mg/l PO<sub>4</sub>-P. της εταιρίας MERCK.

**Αρχή μεθόδου :** Σε ένα διάλυμα που έχει οξεινωθεί 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 κουτάλακι 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 (MERCK Spectroquant® NOVA 60) αφού προηγουμένως έχουμε βάλει την κυψελίδα αναγνώρισης.

### 7.3.4 Χλωρίοντα (Cl<sup>-</sup>)

Για τον προσδιορισμό των ιόντων χλωρίου χρησιμοποιούμε τη μέθοδο Mohr.

**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 κάνουμε τρεις ογκομετρήσεις. Σε κωνική φιάλη βάζουμε 25ml απιονισμένο νερό και 25ml από το αντίστοιχο δείγμα. Προσθέτουμε 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. Στην προχοϊδα βάζουμε πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO<sub>3</sub>) 0,01N. Παίρνουμε αρχική τιμή και προσθέτουμε νιτρικό άργυρο μέχρι να αλλάξει χρώμα το διάλυμα. Με την πρώτη αλλαγή χρώματος παίρνουμε τελική τιμή και από τη διαφορά τους βρίσκουμε 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  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκαν για το μάρτυρα

N = η κανονικότητα του διαλύματος  $\text{AgNO}_3$

C = ο όγκος του δείγματος σε mL

Είναι σωστό για κάθε δείγμα να γεμίζουμε την προχοΐδα με  $\text{AgNO}_3$  γιατί κάτι τέτοιο θα μας βοηθήσει να πετύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις μας.

### 7.3.5 Θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4$ )

Για την μέτρηση των θειικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιοσοτική φωτομετρική μέθοδος με το Sulfate Cell Test MERCK 14411 της εταιρίας Merck Γερμανίας. Το εύρος του test είναι 20 – 300 mg/L  $\text{SO}_4$ -S

**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  $40^\circ\text{C}$  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  $40^\circ\text{C}$ . Στη συνέχεια μετράμε στο φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60) στα 515 nm.

## 7.4 Δείκτες οργανικού φοτίου

### 7.4.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD- Biochemical Oxygen Demand)

Το BOD το προσδιορίζουμε άμεσα μανομετρικά με την ειδικά συσκευή BOD ( Lovibond).

**Αρχή μεθόδου :** Η αρχή μέτρησης βασίζεται σε ένα κλειστό σύστημα στο οποίο το οξυγόνο που καταναλώνουν τα βακτήρια στο δείγμα αναπληρώνεται από το οξυγόνο που βρίσκεται επάνω από το δείγμα. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τα βακτήρια απομακρύνεται από το σύστημα με την προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου του καλίου που περιέχεται σε θήκη από καουτσούκ. Το αποτέλεσμα είναι μια πτώση πίεσης στη φιάλη που μετρείται από την κεφαλή, που είναι ψηφιακός αισθητήρας και εμφανίζει της ένδειξη στην οθόνη σαν mg/ L BOD.

**Διαδικασία μέτρησης:** Το BOD το προσδιορίζουμε όπως ήδη αναφέρθηκε άμεσα. Αρχικά μετράμε το pH του. Το όριο του pH για τη μέτρηση του BOD πρέπει να είναι μεταξύ 6,5 και 7,5. Στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερο το διορθώνουμε προσθέτοντας σταγόνες  $\text{H}_2\text{SO}_4$  έτσι ώστε να φτάσει στο επιθυμητό όριο αν είναι μικρότερο προσθέτουμε  $\text{NaOH}$ .

Αφού ρυθμίσουμε το pH του διαλύματος γεμίζουμε με δείγμα τον υπερχειλιστή των 428ml. Αδειάζουμε το δείγμα στη σκουρόχρωμη φιάλη επώασης εφόσον έχουμε σιγουρευτεί ότι η φιάλη είναι καθαρή. Βάζουμε στη φιάλη επώασης ένα μαγνητάκι ανάδευσης. Στη συνέχεια τοποθετούμε στο πώμα της φιάλης ένα μαύρο καπάκι στο οποίο βάζουμε μια μικροκουταλιά αντιδραστήριου Β-αναστολέα νιτροποίησης και μερικές σταγόνες από διάλυμα  $\text{KOH}$  (45%). Τέλος κλείνουμε καλά τη φιάλη με την κεφαλή και την βάζουμε στο θάλαμο επώασης στους  $20^\circ\text{C}$  για 20 μέρες. Μετά το πέρας του εικοσαήμερου βγάζουμε τη φιάλη από το θάλαμο και από τη οθόνη της κεφαλής παίρνουμε τιμές για την τιμή του BOD τις 5 πρώτες αλλά και την τελευταία μέρα της επώασης στις 20 ημέρες και αξιολογούμε την σχέση των τιμών.

### 7.4.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD – Chemical Oxygen Demand)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο το προσδιορίζουμε με ημιοσοτική 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 στην οξειδωση δείγματος νερού με θερμό διάλυμα διχρωμικού καλίου και θειικό 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 πέρας 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.

## 7.5 Μικροβιολογικές παράμετροι

### 7.5.1 Ολικά Κοπρανώδη Κολοβακτήρια

**Διαδικασία μέτρησης:** Μετά τη διήθηση του δείγματος υπό κενό το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στη διήθηση εμποτίζεται σε θρεπτικό υλικό τύπου Endo και επώάζεται σε θάλαμο επώασης ρυθμισμένης θερμοκρασίας για 22 – 24 ώρες.

Αρχικά γεμίζουμε με θρεπτικό υλικό τα τρύβλια. Αποστειρώνουμε τη λαβίδα με οινόπνευμα και βάζουμε το φίλτρο με τη λαβίδα κάτω από το ποτήρι στη συνέχεια βάζουμε το δείγμα και ανοίγουμε την αντλία. Μετά το τέλος της διήθησης του δείγματος με ανοιχτή την αντλία ξεπλένουμε τα τοιχώματά της με 20-30 ml απιονισμένο νερό. Κλείνουμε την αντλία. Ξαναποστειρώνουμε την λαβίδα, βγάζουμε το φίλτρο και το τοποθετούμε στο τρύβλιο.

Οι ποσότητες δειγμάτων που χρησιμοποιούμε είναι :

- Μάρτυρας, 30 ml
- Total : 10 ml δείγμα + 10 ml απιονισμένο (αραίωση 1:1, συντελεστής αραίωσης 2)
- Faecal : 200 ml δείγμα

Επώαση :

- Total : 22-24 h, 35 °C
- Faecal : 22-24 h, 44,5 °C

Υπολογισμός : το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αποικίες / 100 ml και δίνεται από τον τύπο :

$$\text{Αριθμός αποικιών} / 100 \text{ mL} = \text{αριθμός αποικιών} * \text{συντελεστής αραίωσης} * 100$$

-----  
όγκος διηθούμενου δείγματος



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

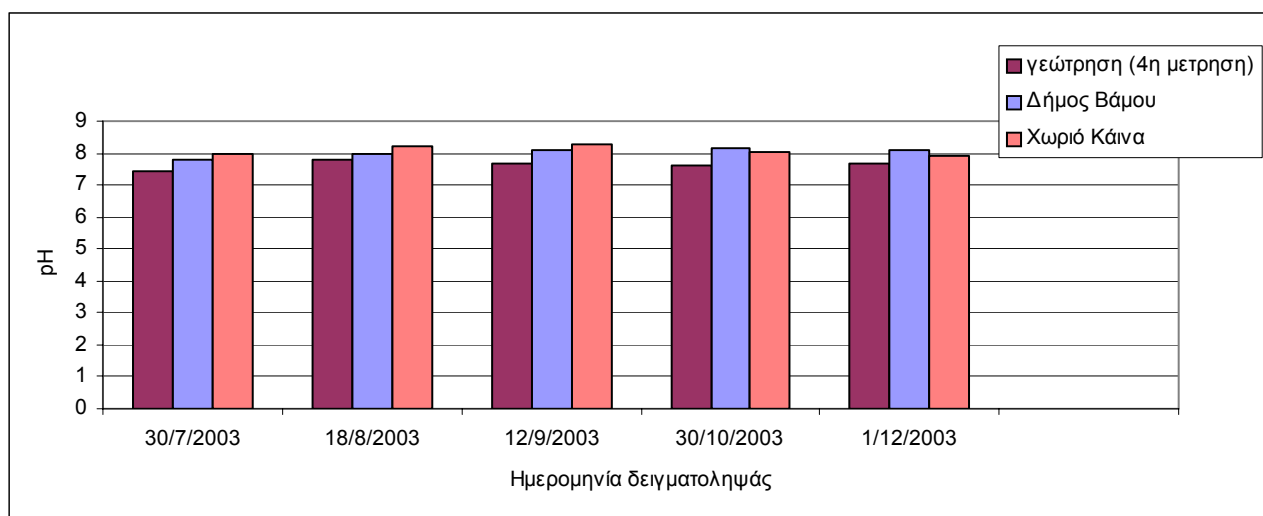
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων των αναλύσεων του 4<sup>ου</sup> δείγματος της γεώτρησης και των δειγμάτων Βάμου και Κάινας. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των αναλύσεων των τεσσάρων δειγμάτων (ανα μία ώρα) από την γεώτρηση προκειμένου να παρουσιαστούν οι μεταβολές των παραμέτρων σε σχέση με τον ποσότητα αντλούμενου νερού.

Κατά την ανάλυση των δεδομένων θα πρέπει να μην διαφεύγει της προσοχής η προέλευση του νερού σε κάθε σημείο δειγματοληψίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ανάλυση των δειγμάτων από την γεώτρηση δεικνύει την ποιότητα του νερού του αντίστοιχου υδροφόρου, η ανάλυση των δειγμάτων Κάινας δεικνύει την ποιότητα νερού που προέρχεται από το δίκτυο Αρμένων, ενώ η ανάλυση των δειγμάτων Βάμου δεικνύει την ποιότητα του νερού ύδρευσης του Δήμου το οποίο όμως αποτελεί μείγμα νερού από το δίκτυο Αρμένων και την γεώτρηση χωρίς σταθερή ποσοτική σχέση. Είναι επομένως αναμενόμενο να παρατηρείται διαφοροποίηση των παραμέτρων ποιότητας στο τελικό μείγμα του Βάμου η οποία θα οφείλεται στην σχέση των ποσοτήτων νερών που αναμειγνύονται.

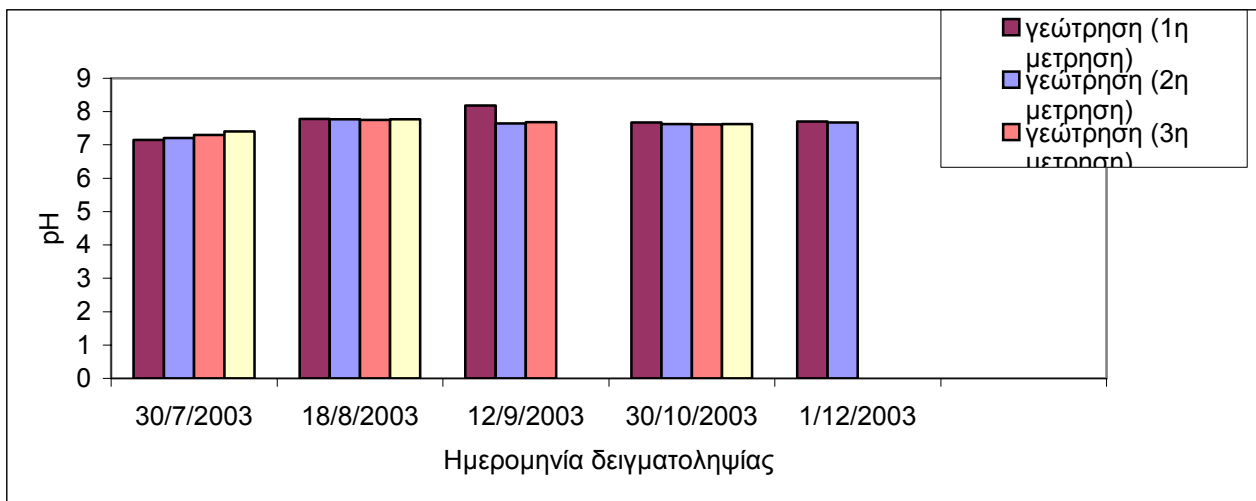
#### 8.1 Τιμές pH.

Στο Σχήμα 22 φαίνεται ότι η διακύμανση των τιμών του pH, από 7,4 έως 8,3 περίπου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων (6,5 έως 8,5). Η τιμή του pH στα δείγματα νερού από τη γεώτρηση είναι σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερη ενώ η διαφορά του pH μεταξύ Βάμου και Κάινας εναλλάσσεται οριακά με συχνότερη εμφάνιση της υψηλότερης τιμής στα δείγματα από το χωριό Κάινα.



**Σχήμα 22:** Μεταβολή του pH δειγμάτων νερού γεώτρησης, Βάμου και Κάινας

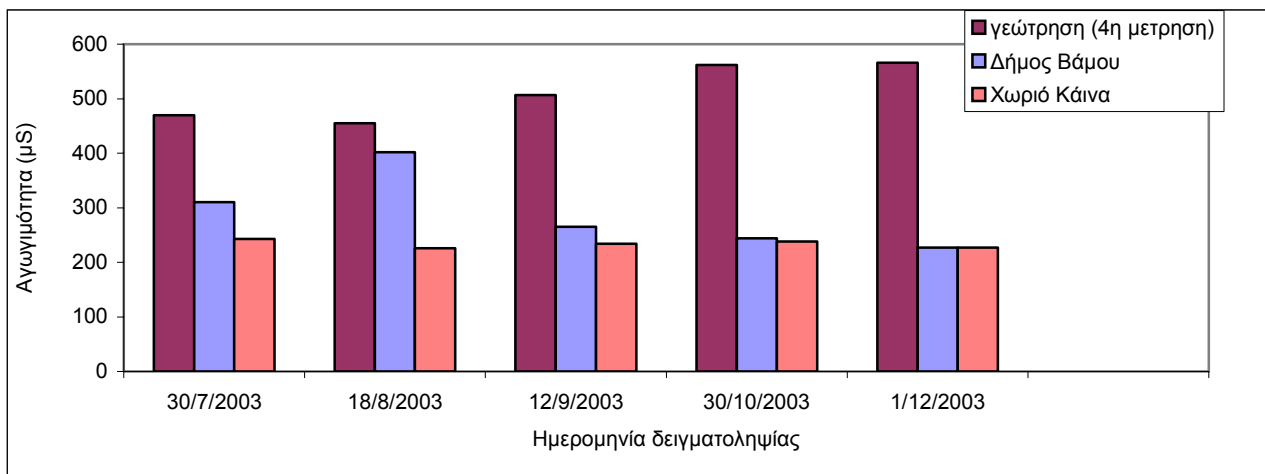
Η μεταβολή του pH μεταξύ των δειγμάτων της γεώτρησης, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους (Σχ. 23). Χαμηλότερη τιμή παρατήθηκε στις 30/07/2003 και η ψηλότερη στις 12/09/2003. Οι τιμές όμως βρίσκονται στα επιτρεπτά όρια που έχουν οριστεί από την ελληνική νομοθεσία.



**Σχήμα 23:** Μεταβολή pH δειγμάτων νερού που ελήφθησαν 10min, 1h, 2h 3h μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης.

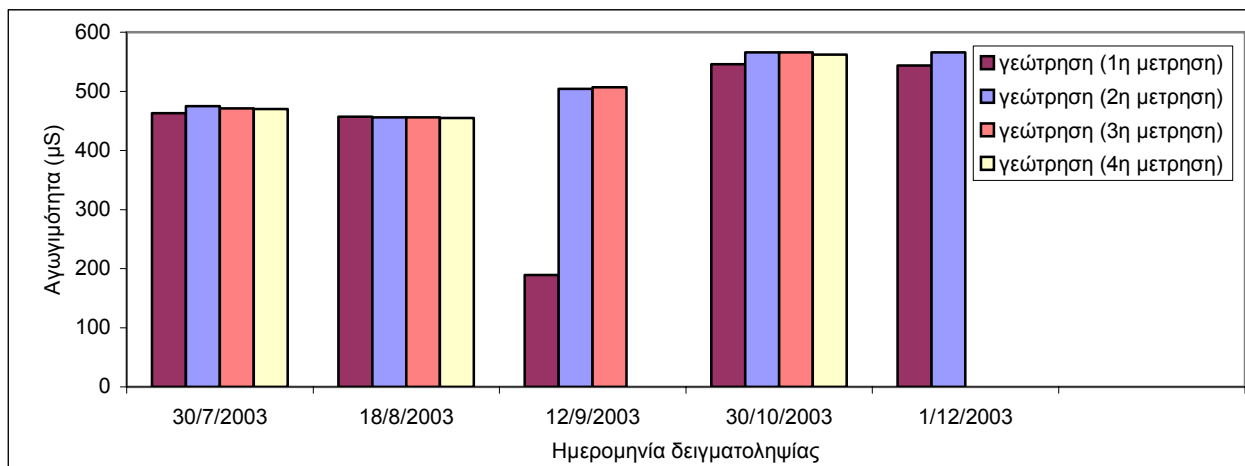
## 8.2 Αγωγιμότητα

Οι τιμές της αγωγιμότητας των δειγμάτων νερού γεώτρησης (4<sup>η</sup> μέτρηση) παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση κατά την θερινή περίοδο (Σχ. 24). Την ίδια περίοδο η αγωγιμότητα στα δείγματα νερού από Κάινα παρουσιάζει σχετικά σταθερή τιμή ενώ στα δείγματα του Βάμου παρατηρείται αυξομειώσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαφοροποίηση της ποσότητας νερού της γεώτρησης που συμμετέχουν στην ύδρευση του Δήμου Βάμου. Υποθέτουμε ότι στις 18/8 η συμμετοχή του νερού της γεώτρησης ήταν μεγαλύτερη με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας του νερού (402 mS) στο δίκτυο Βάμου. Στις επόμενες δειγματοληψίες οι τιμές αγωγιμότητας στην Κάινα και τον Βάμο σχεδόν συμπίπτουν σε χαμηλά επίπεδα (227 mS).



**Σχήμα 24 :** Μεταβολή αγωγιμότητας δειγμάτων νερού στη γεώτρηση, στο Βάμο και στην Κάινα για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας.

Η ωριαία δειγματοληψία από την γεώτρηση έδειξε ότι δεν παρατηρούνται μεταβολές στην αγωγιμότητα του νερού εντός 3 ωρών λειτουργίας και επομένως οι δειγματοληψίες μπορούν να πραγματοποιούνται άμεσα (Σχ. 25).



**Σχήμα 25 :** Μεταβολή αγωγιμότητας των δειγμάτων του νερού που ελήφθησαν 10min, 1h, 2h 3h μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις 12/9 δεν πάρθηκε το 4<sup>ο</sup> δείγμα από τη γεώτρηση γιατί σταμάτησε αυτόματα η λειτουργία της λόγω πλήρωσης της δεξαμενής. Το ίδιο ισχύει και για τη δειγματοληψία που έγινε στις 1/12 από όπου απουσιάζουν αποτελέσματα της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> μέτρησης. Χαρακτηριστική είναι η αντιστοιχία που υπάρχει μεταξύ των τιμών της αγωγιμότητας και των χλωρίων γεγονός που επιβεβαιώνει την συμμετοχή της υπαλμύρωσης στην αύξηση της αγωγιμότητας.

Οι τιμές της αγωγιμότητας στην διάρκεια της μελέτης δεν ξεπέρασαν τα όρια της νομοθεσίας (πόσιμα νερά 50 – 1500 μmhos/cm).

### 8.3 Χλωρίοντα (Cl<sup>-</sup>)

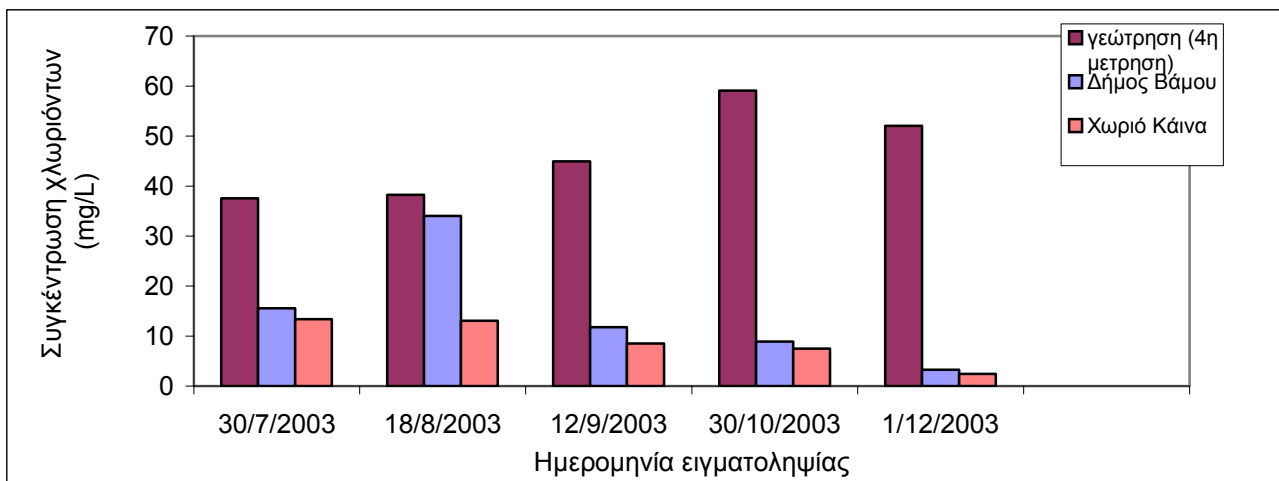
Η συγκέντρωση χλωριόντων στα δείγματα που αναλύθηκαν (4<sup>ο</sup> δείγμα γεώτρησης, δείγμα από Βάμο και Κάινα) φαίνεται στο Σχήμα 26.

Η συγκέντρωση χλωρίων στη γεώτρηση έχει ανοδική πορεία. Στις 30/7 και 18/8 οι τιμές της συγκέντρωσης είναι σχεδόν ίδιες με μια μικρή διάφορα της τάξης των 0,72 mg/lit. Λίγο μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται στις 12/9 με μέγιστη τιμή συγκέντρωσης 59,13 mg/lit στις 30/10/2003. Από κει και πέρα μειώνεται η συγκέντρωση χλωριόντων στο 52,04 mg/lit. Η σταδιακή όμως αύξηση της συγκέντρωσης οφείλεται στο γεγονός ότι τους καλοκαιρινούς μήνες οι απαιτήσεις σε νερό είναι πολύ μεγαλύτερες. Η εμφάνιση μεγάλης συγκέντρωσης στις 30/10 οφείλεται στην υπεράντληση της γεώτρησης τους μήνες αιχμής, την εξάντληση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα και κατά συνέπεια την διείσδυση του αλμυρού νερού στον υδροφόρο και την **εμφάνισή** του στο υδρευτικό σύστημα της περιοχής μελέτης.

Στον Βάμο παρατηρείται απότομη αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων στο νερό στις 18/8 λόγω υπερβολικής άντλησης και χρήσης νερού της γεώτρησης και ανάμιξης με μικρότερη ποσότητα νερού από τις πηγές Αρμένων (η γεώτρηση λειτουργούσε μέχρι αργά το βράδυ της νύχτας πριν την δειγματοληψία). Αλλωστε την περίοδο αυτή παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός τουριστών και η κατανάλωση νερού φτάνει στο μέγιστο.

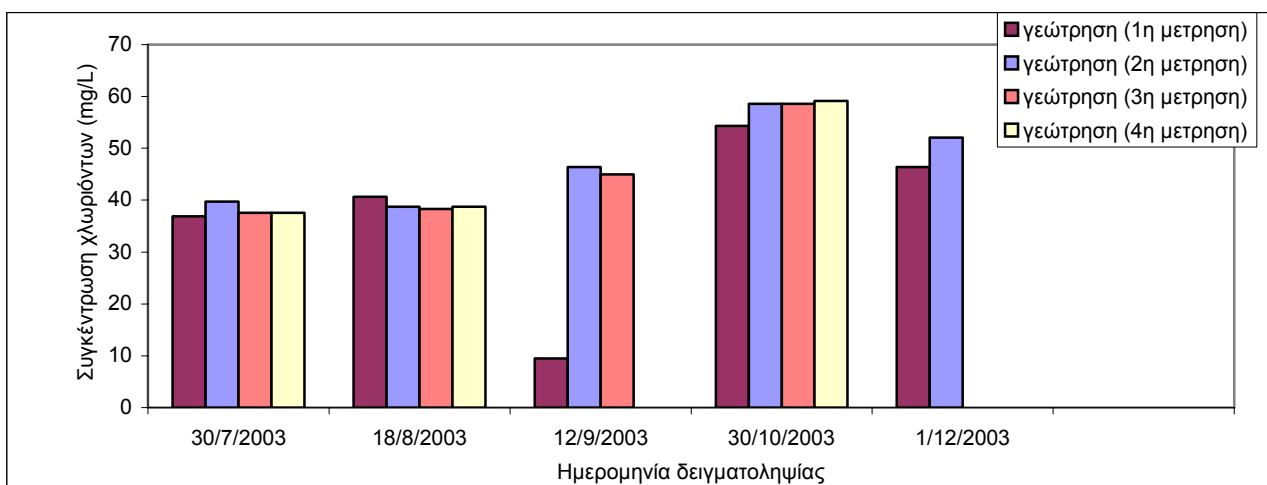
Από τα μέσα Αυγούστου (18/8) επανέρχεται η τιμή στα αρχικά επίπεδα με τάση μείωσης και χαμηλότερη τιμή 3,26 mg/lit τον Δεκέμβριο (1/12). Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο γιατί το χειμώνα οι ανάγκες σε νερό μειώνονται οπότε η περιοχή υδρεύεται κυρίως από τα νερά του χωριού Αρμένοι και η λειτουργία της γεώτρησης είναι περιορισμένη.

Την περίοδο μελέτης η διακύμανση των τιμών συγκεντρώσεων ιόντων χλωρίου δειγμάτων νερού από το χωριό Κάινα ήταν περιορισμένη και έτεινε μειούμενη μετά το πέρας της θερινής περιόδου.



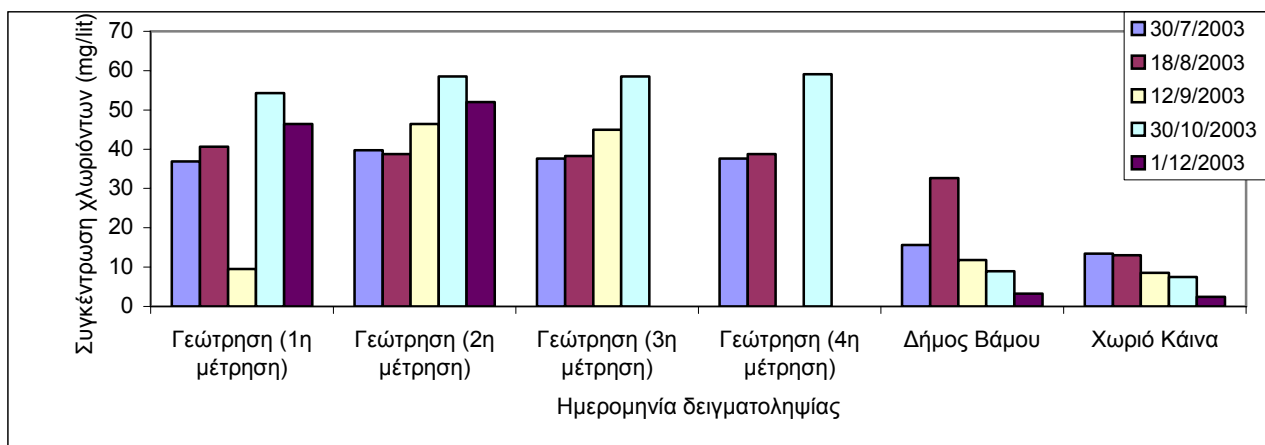
**Σχήμα 26 :** Συγκέντρωση χλωριόντων στα δείγματα νερού της γεώτρησης και στα σημεία δειγματοληψίας Βάμου, Κάινας.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ωριαίων δειγμάτων της γεώτρησης παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές (πλην της τιμής στις 12/9 που πιθανόν να οφείλεται σε σφάλμα δειγματοληψίας καθώς το δείγμα πάρηκε πριν την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης) (Σχ. 27). Παρατηρούμε ότι τον Αύγουστο (30/7 και 18/8) η μεταβολή που παρατηρείται στις τιμές των συγκεντρώσεων ιόντων χλωρίου είναι πολύ μικρή. Από τον Σεπτέμβριο (12/9) η διαφορά και η αύξηση της συγκέντρωσης των χλωρίων όσο πλησιάζουμε τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες οξύνεται. Τον Δεκέμβριο υπάρχει μείωση αλλά η μέση τιμή συνεχίζει να είναι ψηλότερα σε σχέση με τους πρώτους μήνες δειγματοληψίας.



**Σχήμα 27 :** Συγκέντρωσης χλωριόντων δειγμάτων νερού που ελήφθησαν 10min, 1h, 2h 3h μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας.

Στο συγκεντρωτικό Σχήμα 28 παρουσιάζονται όλες οι τιμές της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στα ωριαία δείγματα νερού της γεώτρησης και τα δείγματα Βάμου και Κάινας.



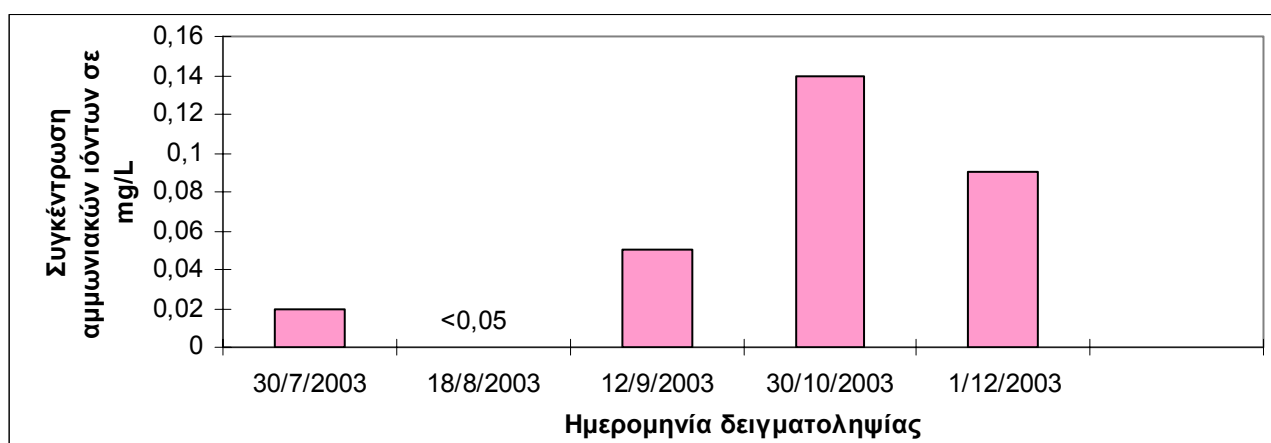
**Σχήμα 28 :** Συγκέντρωση χλωριόντων δειγμάτων νερού που ελήφθησαν 10min, 1h, 2h, 3h μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης καθώς και δείγματα από Βάμο και Κάινα για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας.

Οι τιμές της συγκέντρωσης ιόνων χλωρίου στην διάρκεια της μελέτης δεν ξεπέρασαν τα όρια της νομοθεσίας 200mg/L.

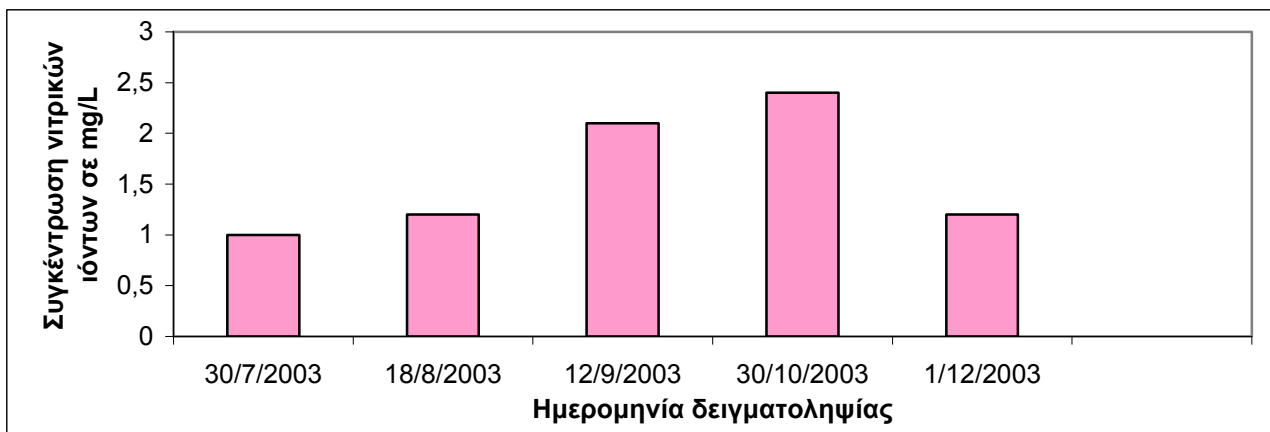
#### 8.4 Συγκέντρωση NH<sub>4</sub>-N & NO<sub>3</sub>-N

Η συγκέντρωση αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων προσδιορίστηκε μόνο στο 4<sup>ο</sup> δείγμα από το νερό της γεώτρησης ως πλέον αντιπροσωπευτικό της κατάστασης της γεώτρησης.

Οι τιμές αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων (Σχ. 29, Σχ. 30) που βρέθηκαν δεν ξεπερνούν τα όρια της νομοθεσίας (< 50mg/l NO<sub>3</sub> , <15 mg/l NH<sub>4</sub>) παρουσιάζοντας χαρακτηριστική έξαρση την περίοδο έναρξης των βροχών. Η σταδιακή αύξηση που παρατηρείται είναι πιθανόν να οφείλεται σε εκπλύσεις γεωργικών λιπασμάτων από γεωργικά εδάφη με τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές και ζωικών αποβλήτων από τις κτηνοτροφικές μονάδες της περιοχής και μεταφοράς στον υδροφόρο της γεώτρησης. Η τιμή των αμμωνιακών ιόντων στις 18/8 ήταν χαμηλότερη του εύρους ανίχνευσης του kit test <0,05 γι αυτό και δεν εμφανίζεται τιμή στη γραφική παράσταση.



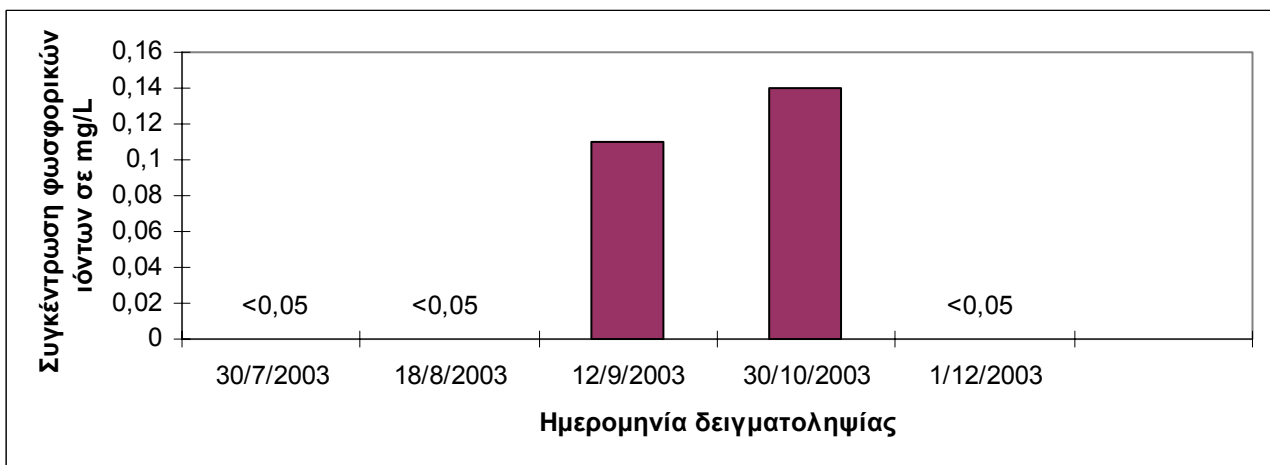
**Σχήμα 29 :** Μεταβολή συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας



**Σχήμα 30 :** Μεταβολή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

### 8.5 PO<sub>4</sub><sup>-</sup>

Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά νερά οφείλεται σε πηγές φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Ιόντα φωσφόρου περιέχονται και στα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά οικιακής και βιομηχανικής χρήσης ή από περιπτώματα και υπολείμματα τροφών. Ωστόσο τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου βρίσκεται εντός ορίων της Ελληνικής και Διεθνούς νομοθεσίας για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις 30/7, 18/8 και 1/12 ήταν χαμηλότερα από το εύρος ανάλυσης του kit-test (<0,05) και δεν ήταν δυνατό να καθοριστούν με ακρίβεια (Σχ. 31).



**Σχήμα 31 :** Μεταβολή συγκέντρωσης ιόντων φωσφόρου στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

### 8.6 Συγκέντρωση θειικών ιόντων (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)

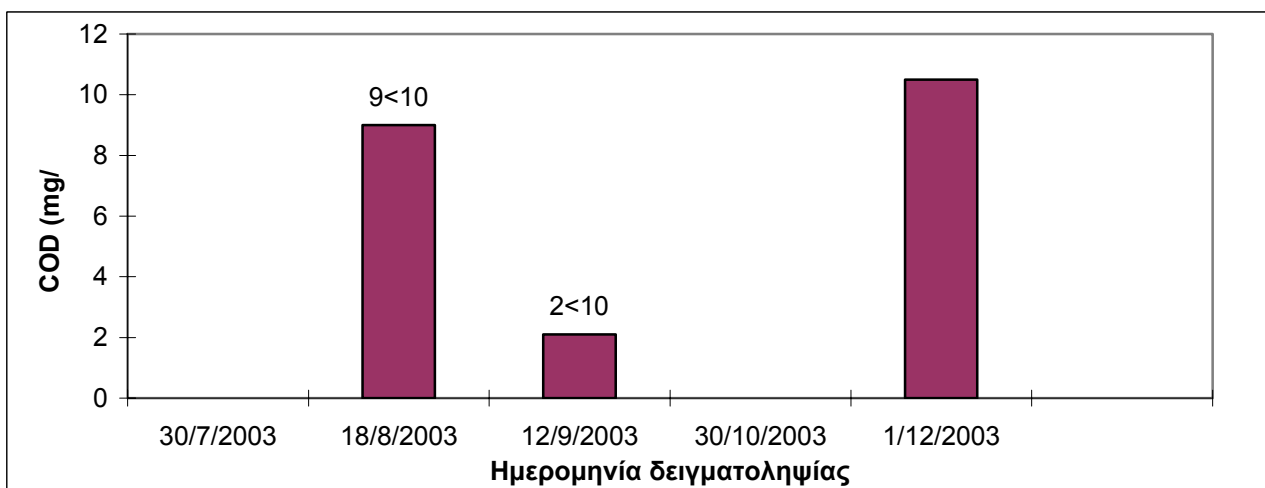
Η συγκέντρωση των ιόντων και στις δύο περιπτώσεις βρέθηκε πολύ κάτω από το επιτρεπτό όριο οπότε δεν μας προκαλεί κάποια ανησυχία (Σχ. 32). Η παρουσία των θειικών ιόντων οφείλεται στη σύσταση των πετρωμάτων. Το Νοέμβριο δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση της συγκεκριμένης παραμέτρου.



**Σχήμα 32 :** Συγκέντρωση θειικών ιόντων στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

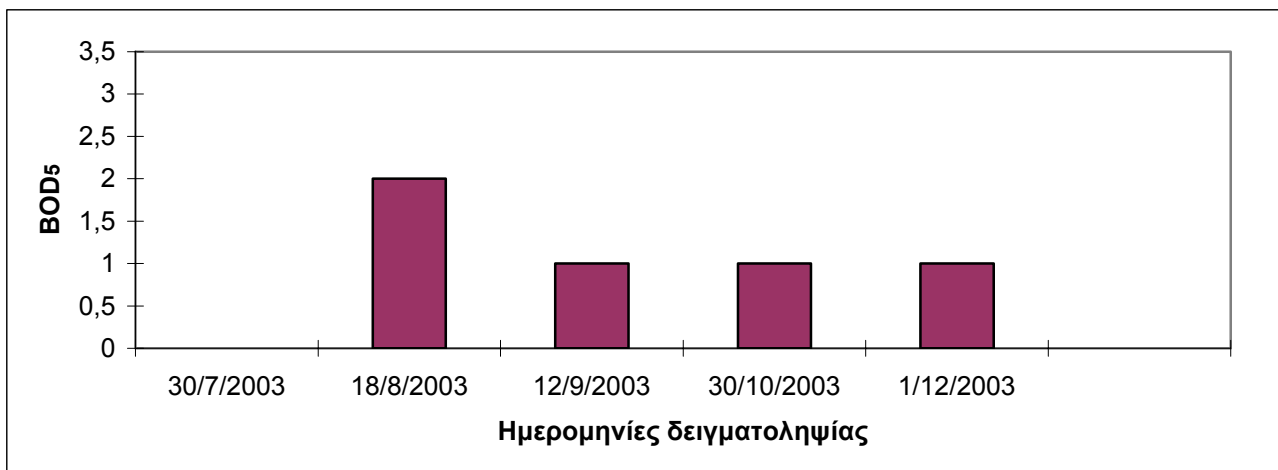
### 8.7 COD – BOD<sub>5</sub> – BOD<sub>20</sub>

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του COD φαίνονται στο Σχήμα 33 και στις περισσότερες δειγματοληψίες ήταν χαμηλότερες από το ελάχιστο επίπεδο ανίχνευσης 10-150 mg/l του kit test που χρησιμοποιήθηκε.

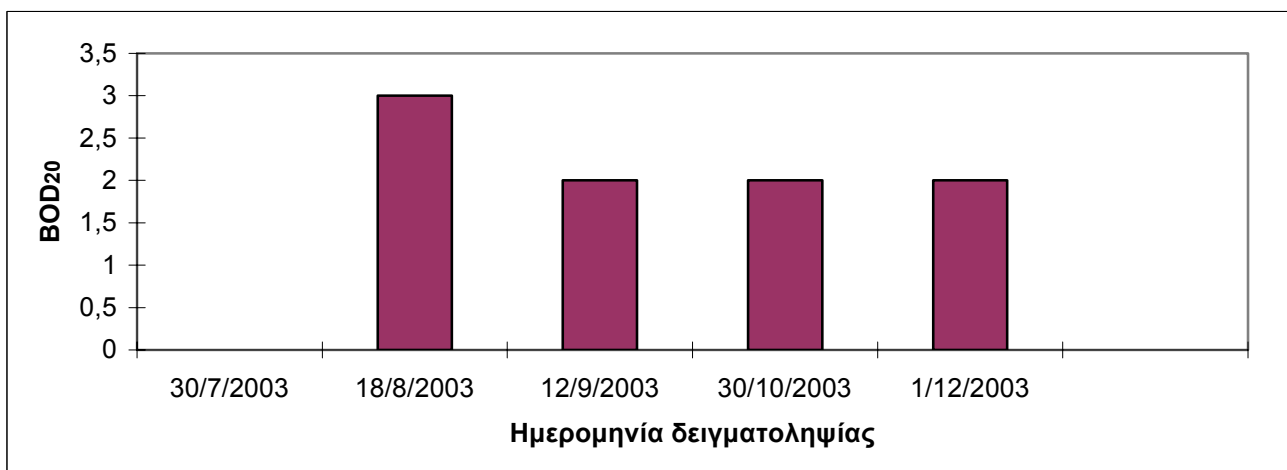


**Σχήμα 33 :** Μεταβολή COD στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

Οι τιμές των BOD<sub>5</sub> και BOD<sub>20</sub> βρίσκονται εντός επιτρεπτών ορίων οπότε τα επίπεδα μόλυνσης δεν θεωρούνται σημαντικά. Στις 30/7 οι τιμές για το BOD<sub>5</sub> και BOD<sub>20</sub> είναι μηδέν. Παρατηρούμε ότι υπάρχει αναλογία στις τιμές BOD<sub>5</sub> και BOD<sub>20</sub>. Μεγαλύτερη τιμή και στις δυο παραμέτρους παρατηρείται στις 18/8 ενώ μετά μειώνεται κατά μία μονάδα και παραμένει σταθερή μέχρι την τελευταία μέτρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πρώτη μέτρηση που πραγματοποιήσαμε η τιμή και των δύο παραμέτρων ήταν μηδέν. Στις 30/7/2003 δεν έγινε μέτρηση (Σχ. 34, Σχ.35).



**Σχήμα 34 :** Μεταβολή BOD<sub>5</sub> στο στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας



**Σχήμα 35 :** Μεταβολή BOD<sub>20</sub> στο δείγμα νερού της γεώτρησης 3h μετά την έναρξη λειτουργίας για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

### 8.8 Κολοβακτήρια Ολικά- Κοπρανώδη

Σε όλες τις μετρήσεις που έγιναν δεν βρέθηκαν αποικίες και γι αυτό το λόγο δεν παρουσιάζεται σχετικό γράφημα.

### 8.9. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ

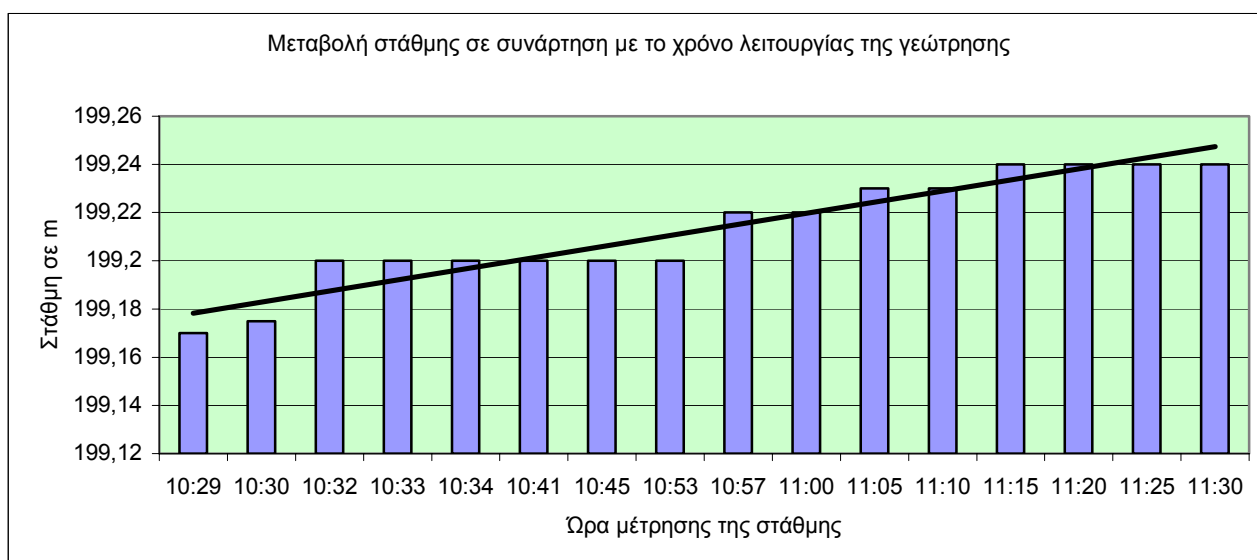
Με τη βοήθεια ενός σταθμήμετρου μετρήσαμε ενδεικτικά τη μεταβολή της στάθμης της γεώτρησης κατά τη διάρκεια μιας ώρας λειτουργίας της. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 1 και στο Σχήμα 36.

Από τα Σχήματα 27 και 36 συμπεραίνουμε ότι η συγκέντρωση ιόντων χλωρίων στα δείγματα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την στάθμη της γεώτρησης. Δηλαδή όσο πέφτει η στάθμη τόσο αυξάνονται τα χλώρια.



**Πίνακας 1: Μέτρηση στάθμης της γεώτρησης σε μια ώρα λειτουργίας**

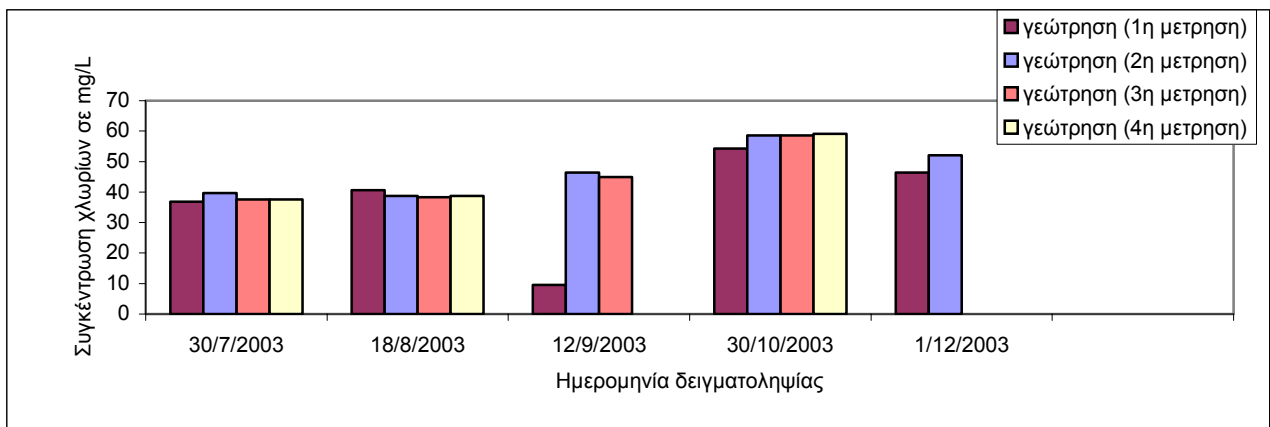
	Ωρα μέτρησης της στάθμης	Στάθμη σε m
Πριν την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης	10:27	199,14
Έναρξη λειτουργίας	10:28	?
	10:29	199,17
	10:30	199,175
	10:32	199,2
	10:33	199,2
	10:34	199,2
	10:41	199,2
	10:45	199,2
	10:53	199,2
	10:57	199,22
	11:00	199,22
	11:05	199,23
	11:10	199,23
	11:15	199,24
	11:20	199,24
	11:25	199,24
	11:30	199,24



**Σχήμα 36 : Μεταβολή στάθμης της γεώτρησης σε μία ώρα λειτουργίας**

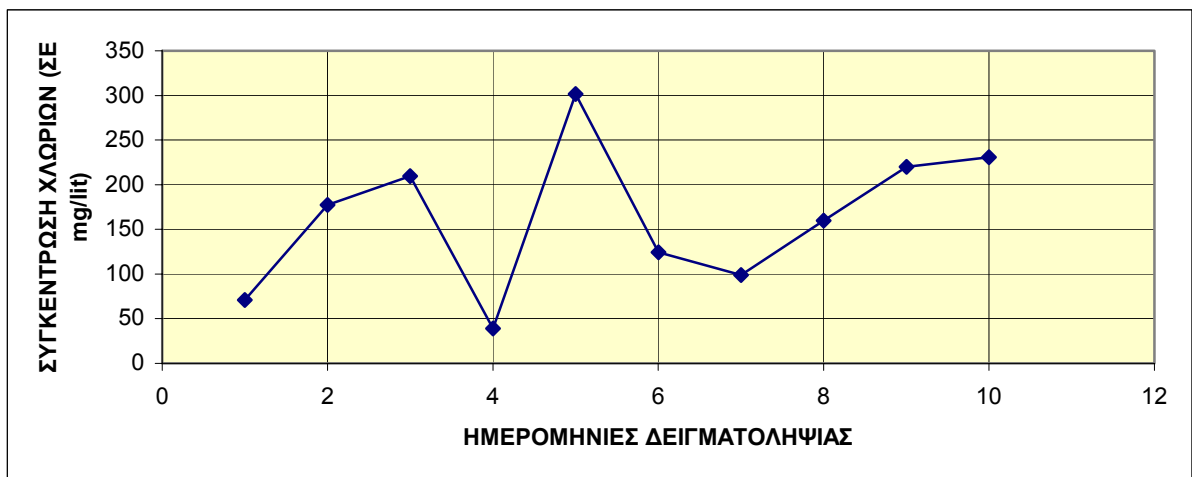
Παρατηρείται ότι η πτώση της στάθμης είναι σημαντική αφού σε διάρκεια μιας ώρας έχουμε μείωση κατά 0,07m. Σε πολύωρη λειτουργία π.χ. 6 ώρες η στάθμη θα μειωθεί κατά 0,42m σχεδόν δηλαδή μισό μέτρο, σε διπλάσιο χρόνο λειτουργίας (12 ώρες) θα έχουμε αντίστοιχο διπλασιασμό της πτώσης στάθμης και τέλος σε ένα 24ωρο θα έχουμε πτώση στάθμης 1,68m!

Η πτώση στάθμης της γεώτρησης έχει μια αντιστοιχία με την αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (Σχ. 27). Δηλαδή η μείωση των αποθεμάτων νερού με την υπεράντληση οδηγεί σε εισβολή υφάλμυρου νερού στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

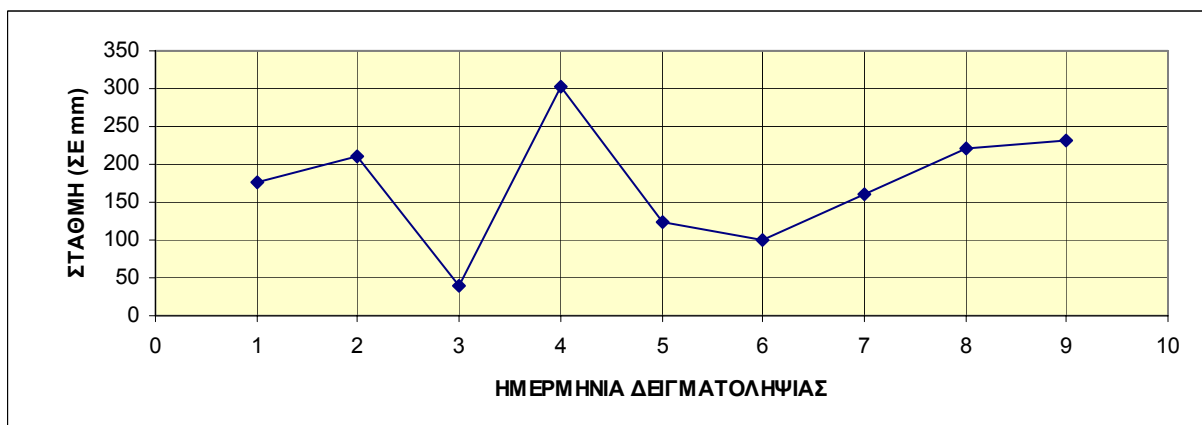


**Σχήμα 27 :** Συγκέντρωσης χλωριόντων δειγμάτων νερού που ελήφθησαν 10min, 1h, 2h 3h μετά την έναρξη λειτουργίας της γεώτρησης για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας.

Ανάλογα συμπεράσματα έχουν προκύψει και από προηγούμενες μετρήσεις που περιλαμβάνονται σε μελέτη που έγινε για λογαριασμό του Τεχνικού Γραφείου Παυλάκη Π. το 1997 (Σχ 37, Σχ 38). Παρατηρώντας προσεκτικά όμως τις τιμές στα παρακάτω Σχήματα φαίνονται ότι τόσο η πτώση στάθμης όσο και η συγκέντρωση των χλωρίων είναι σημαντικά υψηλότερη εκείνης που μετρήθηκε στην περίοδο της παρούσης μελέτης μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό δεικνύει τον έντονο κίνδυνο που διατρέχει η γεώτρηση από την υπαλμύρωση λόγω υπεράντλησης.



**Σχήμα 37 :** Μεταβολή συγκέντρωσης χλωρίων (Παυλάκης, 1997) (οριζόντιος άξονας : μήνες)



**Σχήμα 38 :** Μεταβολή στάθμης (Παυλάκης, 1997) (οριζόντιος άξονας : μήνες)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

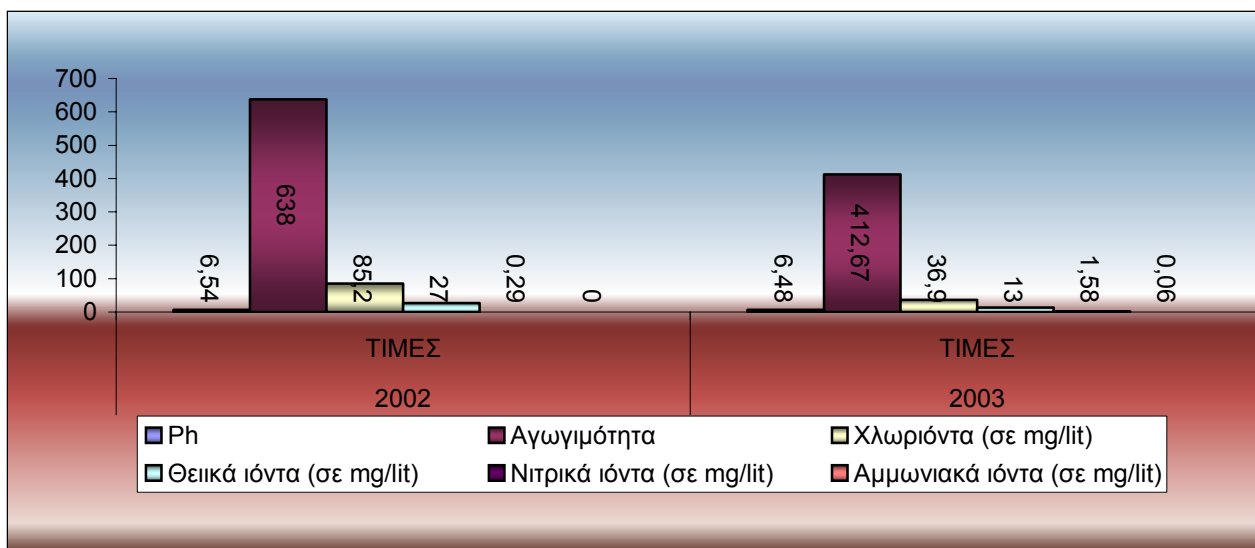
### ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη που έγινε από το Τεχνικό Γραφείο Παυλάκη Π. αξιοποιήθηκαν αποτελέσματα μετρήσεων που έγιναν σε διάφορες παραμέτρους. Τα αποτελέσματα ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων και φαίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2 :** Μετρήσεις παραμέτρων ποιότητας του νερού γεώτρησης Κάϊνας το 2002 (Παυλάκης, 2002)

Μετρήσεις 21/01/2002	
Παράμετρος	Τιμή
pH	6,54
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	638μmhos/cm στους 25C
Χλωριόντα	85,20mg/lit
Θειικά ιόντα	27,38mg/lit
Νιτρικά ιόντα	0,29mg/lit
Αμμωνιακά ιόντα	0,00mg/lit

Οι διαφορές μεταξύ των κοινών παραμέτρων των μετρήσεων του 2002 και 2003 φαίνονται στο Σχήμα 39 από το οποίο προκύπτει ότι οι τιμές των παραμέτρων αγωγιμότητα, συγκέντρωση χλωριόντων και θειικών το 2002 (Παυλάκης) είναι ψηλότερες από αυτές του 2003.



**Σχήμα 39 :** Παράμετροι ποιότητας νερού που μετρήθηκαν το 2002 και 2003

Σε μία επιμέρους σύγκριση που έγινε μεταξύ των τιμών συγκέντρωσης χλωριόντων των ετών 1998-99, 2002, 2003 φαίνεται στον Πίνακα 3 από τον οποίο προκύπτει ότι με το πέρασμα των ετών μειώνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων. Κατά το έτος 1998-99 είχε παρατηρηθεί ιδιαίτερα υψηλή μέση συγκέντρωση σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των ετών 2002 και 2003. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά το έτος 1998-99 η περιοχή μελέτης χρησιμοποιούσε για ύδρευση αποκλειστικά τη γεώτρηση με αποτέλεσμα να υπάρχει υπεράντληση και να διεισδύει το θαλασσίνο

νερό στον υδροφόρο ορίζοντα. Κατά τα έτη 2002 και 2003 που η άντληση ήταν ελεγχόμενη. Οι απαιτήσεις σε νερό καλύπτονταν όχι μόνο από τη γεώτρηση αλλά και από τη δεξαμενή ύδρευσης των Αρμένων ,που σύμφωνα με πληροφορίες που πήραμε από τους υπεύθυνους λειτουργίας της γεώτρησης το μεγαλύτερο ποσοστό ύδρευσης γίνεται από τη δεξαμενή Αρμένων και η λειτουργία της γεώτρησης είναι υποτυπώδης σε περιόδους που δεν υπάρχουν αυξημένες ανάγκες για νερό. Έτσι δικαιολογείται και η αισθητή μείωση της συγκέντρωσης των χλωριόντων.

**Πίνακας 3 :** Μέσες τιμές συγκέντρωσης χλωριόντων στο νερό της γεώτρησης Κάϊνας τα έτη 1998-99, 2002 και 2003.

	1998-99	2002	2003
<b>Χλωριόντα ( mg/lit)</b>	163,199	85,2	36,9

Η υφαλμύρωση των νερών γενικά χαρακτηρίζεται από την αύξηση της περιεκτικότητας σε χλωριούχου νάτριο NaCl στο οποίο οφείλεται και η χαρακτηριστική τους γεύση. Ανάλογα με τις συγκεντρώσεις του χλωριούχου νατρίου τα υφάλμυρα νερά κατατάσσονται σε κατηγορίες που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4).

**Πίνακας 4 :** Χαρακτηρισμός υδάτων ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε NaCl

Χαρακτηρισμός αλατότητας σε NaCl	Συγκέντρωση		NaCl gr%
	NaCl meq/l	NaCl mg/l	
Υπεραλατούχα	> 700	> 41000	>4,1
Θαλάσσια	700	41000-24600	4,1-2,5
Πολύ αλατούχα	420-140	24600-8200	2,5-0,8
Αρκετά αλατούχα	140-40	8200-2340	0,8-0,23
Μέσο αλατούχα	40-10	2340-580	0,23-0,06
Κανονικά αλατούχα	<10	<580	<0,06

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο νερό που ελέγχουμε είναι κανονικό αλατούχο νερό και η κατανάλωσή του δε εγκυμονεί κίνδυνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

### ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Κατά τους χειμερινούς μήνες που οι ανάγκες στο νερό δεν είναι υψηλές λόγω των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων παρουσιάζεται αφθονία επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων και μεγάλες ποσότητες ρέουν ανεκμετάλλευτες στη θάλασσα. Αντίθετα κατά τους θερινούς μήνες που οι υδατικές ανάγκες σε ύδρευση και άρδευση αυξάνονται, δεν υπάρχουν διαθέσιμοι υδατικοί πόροι.

Η βέλτιστη και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής ενδιαφέροντος πηγάζει από την πλήρη μελέτη των ειδικών συνθηκών της και από τον σχεδιασμό των κατάλληλων κατά περίπτωση έργων που επιβάλλεται να είναι περιβαλλοντικά αποδεκτά και τεχνοοικονομικά συμφέροντα.

Ο συνεχής έλεγχος της ποιότητας νερού της πηγής είναι ένας βασικός λόγος που θα συνδράμει στη σωστή χρήση της πηγής. Η εξέταση των παραμέτρων που μετρήθηκαν σε αυτήν την εργασία αλλά και άλλων παραμέτρων θα βοηθήσει στο να έχουμε γνώση των συνθηκών που επικρατούν στην γεώτρηση ανά πάσα στιγμή. Αυτό θα επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός αισθητήρα στην πηγή ο οποίος θα είναι συνδεδεμένος με έναν κεντρικό υπολογιστή και με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος θα μας δίνει όλες τις παραμέτρους της πηγής όποτε αυτές είναι χρήσιμες.

Έτσι θα γνωρίζουμε πιθανή περίπτωση μόλυνσης του νερού προτού αυτή φτάσει σε σημείο που η όποια αντίδραση θα ήταν καθυστερημένη.

Στην περίπτωση της υφαλμύρωσης θα μπορούμε μέσω του υπολογιστή να θέτουμε αυτόματα εκτός λειτουργίας τη γεώτρηση ή ακόμα καλύτερα να κρατάμε σε σταθερή τιμή τη συγκέντρωση των χλωριόντων με ταυτόχρονη λειτουργία της δεξαμενής των Αρμένων έτσι ώστε να μη φτάσουμε σε σημείο αύξησης των ιόντων χλωρίου πάνω από το επιθυμητό όριο και η ύδρευση να γίνεται από μίγμα νερού Αρμένων και γεώτρησης.

Οι ανάγκες σε νερό αυξάνονται ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες ενώ είναι μειωμένες κατά τους χειμερινούς. Επειδή οι ποσότητες ύδατος που απορρέουν στη θάλασσα κατά τους χειμερινούς μήνες είναι τεράστιες και απορρέουν ανεκμετάλλευτες θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα φράγμα αποθήκευσης, μια δεξαμενή συλλογής νερού, έτσι ώστε να μη μένει ανεκμετάλλευτη ούτε σταγόνα και να υπάρχουν μεγάλα αποθέματα όταν οι ανάγκες είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Βασικός τομέας που συμβάλλει σημαντικά στην ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής είναι και η ενημέρωση των εκάστοτε εμπλεκόμενων φορέων, που πολλές φορές προσπαθούν να λύσουν πιθανά προβλήματα σε τοπικό επίπεδο, αλλά και των πολιτών που πολλές φορές αντιτίθεται στη δημιουργία κάποιου έργου η σε κάποιες αλλαγές ενός ήδη υπάρχοντος λόγω κάποιων αντιλήψεων.

Γενικότερα η διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Οι δυνατότητες μελέτης και διαχείρισης υδατικών πόρων είναι προχωρημένες περιλαμβάνουν την πλήρη διερεύνηση των αναγκών και δυνατοτήτων σε υδατικούς πόρους, τον γενικό σχεδιασμό, τι μελέτες των έργων, την κατασκευή και τη λειτουργία τους με τη συνεχή εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος. Η διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής, περιλαμβάνει και αγκαλιάζει ευρύτερους στόχους σχετικούς με την προστασία και ορθολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τις κοινωνικές συνήθειες και αντιλήψεις, τις οικονομικές και τεχνολογικές εξελίξεις και πραγματικότητες.

## 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

↗ Βροντάκη Ευαγγελία, (2001). «Υφαλμύρωση σε παράκτιους υδροφορείς- Τρόποι ανίχνευσης με τη χρήση Γεωφυσικών μεθόδων» (Διπλωματική Εργασία), Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

↗ Γιανουλόπουλος Π. – Μαντόγλου Α., (2001). «Βελτιστοποίηση Αντλήσεων Παράκτιων Υδροφορέων για Πρόληψη Υφαλμύρωσης», Πρακτικά Συμποσίου «Αιγαίο – Νερό- Βιώσιμη Ανάπτυξη», 6 & 7 Ιουλίου, Πάρος 2001.

↗ Ζανάκη Κ., 2001. Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Αθήνα.

↗ Καλλέργης Γ. Α. ,1999. Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Α΄, Β΄ & Γ΄ τόμος, Αθήνα.

↗ Μανασσής Μήτρακας, (2001). «Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Νερού», Εκδόσεις Ίων, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα.

↗ Νάνου- Γιάνναρου Α., (2001). «Υφαλμύρωση Παράκτιων Υδροφορέων», Πρακτικά Συμποσίου «Αιγαίο – Νερό- Βιώσιμη Ανάπτυξη», 6 & 7 Ιουλίου, Πάρος 2001.

↗ Παυλάκης Παύλος (1999), Υδρευτική Γεώτρηση Κάινας.

↗ Τσιραμπίδης Α. Ε. , 1999. Γεωλογία, Θεσσαλονίκη.

↗ Τυροβολά Κωσταντίνα, (2001). «Παραγωγή Βρωμικών Ιόντων κατά τη Οζόνωση Υπόγειων Νερών»(Διπλωματική Εργασία), Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

↗ Milanovic Petar , (1981) «Water Resousces Enginnering in Karst» CRC PRESS

➔ [www.aggie-horticulture/tamu/ed.html](http://www.aggie-horticulture/tamu/ed.html)

➔ [www.geocities.com](http://www.geocities.com)

➔ [www.anatoliki.gr](http://www.anatoliki.gr)

➔ [www.minagric.gr](http://www.minagric.gr)

➔ [www.google.gr](http://www.google.gr)

➔ <http://3tee-rodou.dod.sch.gr/tee3Rodos.htm>

➔ <http://www.astecinternational.com/astecgr/brackish.html>

➔ [http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros\\_papers/pappa\\_g.pdf](http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf)

*«Να αγαπάς την ευθύνη.*

*Να λες: Εγώ μόναχος μου έχω χρέος να σώσω τη γη. Άμα δεν σωθεί εγώ θα φταίω»*

*Νίκος Καζαντζάκης - Ασκητική*