



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων και της παράκτιας ζώνης στη περιοχή της Χαλέπας »



ΤΣΕΤΣΩΝΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ

ΧΑΝΙΑ 2014



« Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων και της παράκτιας ζώνης στη περιοχή της Χαλέπας »

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τσετσώνη Μαγδαληνή

Επιβλέπων : Δρ. Σταυρουλάκης Γεώργιος
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης : Παπαδόπουλος Ηλίας, M.Sc
Καθηγητής Εφαρμογών

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη, M.Sc
Εργαστηριακός συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης : 19 / 3 / 2014

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 52

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την ανάθεση και επίβλεψη της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και για την προθυμία του να πραγματοποιήσω παράλληλα και την πρακτική μου άσκηση στον χώρο του εργαστηρίου, δίνοντάς μου έτσι την δυνατότητα να εξοικειωθώ και να αποκτήσω πληρέστερη γνώση των πειραματικών μεθόδων που αφορούν την ποιότητα του νερού.

Επίσης τον κ. Σουπιό Παντελή, που παρά το φορτωμένο πρόγραμμά του, ενδιαφέρθηκε και διέθεσε χρόνο για να με βοηθήσει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου TEM και την κ. Καλησπέρη Δέσποινα για την σημαντική συμβολή της στην διεξαγωγή των μετρήσεων αυτών, χωρίς την προσφορά της οποίας πιθανόν να μην είχαν πραγματοποιηθεί και να μην αποτελούσε μέρος της εργασίας μου ένα εξίσου σημαντικό για μένα, πεδίο έρευνας, που είναι αυτό της εφαρμογής γεωφυσικών μεθόδων στην διερεύνηση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παπαδόπουλο Ηλία, τόσο για την παρότρυνσή του να πραγματοποιηθούν, εκτός των υδροχημικών, και γεωφυσικές μέθοδοι σε ορισμένες θέσεις δειγματοληψίας οι οποίες παρουσίαζαν κάποιες ιδιαιτερότητες όσο και για την προθυμία και διάθεσή του, να με βοηθήσει με την εφαρμογή και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής τομογραφίας αλλά και την δημιουργία χαρτών της περιοχής μελέτης στο GIS.

Την κ. Παπαφιλίππáκη Ανδρονίκη και την κ. Κώττη Μελίνα, για την ενθάρρυνση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας και τέλος τους ανθρώπους που είχαν στην ιδιοκτησία τους τα πηγάδια και μου επέτρεψαν την λήψη δειγμάτων νερού από αυτά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
----------------	---

ABSTRACT	2
----------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

1. Το νερό και η σημασία του	3
1.1 Η κατανομή του νερού στη γη	7
1.2 Ο υδρολογικός κύκλος	8
1.3 Το πρόβλημα του νερού	9
1.3.1 Λειψυδρία	9
1.3.2 Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού	10
1.3.3 Το νερό αιτία διαμάχης και συγκρούσεων	12
1.4 Η κατάσταση στην χώρα μας	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

2. Σχέση υπόγειων και επιφανειακών υδάτων	16
2.1 Υπόγεια νερά - Υδροφορείς	16
2.2 Τύποι υδροφορέων - Υδραυλικά χαρακτηριστικά	20
2.3 Κίνηση του υπόγειου νερού - Νόμος Darcy	23
2.4 Συστήματα υπόγειας ροής	25
2.5 Πηγές	27
2.6 Αντιδράσεις νερού - υπεδάφους	29
2.7 Η έννοια της τρωτότητας	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

3. Ρύπανση - Τύποι και ιδιότητες ρυπαντών	35
3.1 Μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς	39
3.2 Διάδοση των ρύπων	41
3.3 Ρύπανση υπόγειων υδάτων	46
3.3.1 Πηγές ρύπανσης υπόγειων υδάτων	47
3.3.2 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης	52
3.4 Θαλάσσια ρύπανση	56
3.4.1 Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης	59
3.5 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

4. Η έννοια της ποιότητας	69
4.1 Σχετική νομοθεσία	70
4.2 Χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού	71
4.2.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	72
4.2.1.1 Θερμοκρασία	72
4.2.1.2 Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)	72
4.2.1.3 Αγωγιμότητα - TDS - Αλατότητα	73
4.2.1.4 Θολερότητα	74
4.2.1.5 Χρώμα	74
4.2.1.6 Οσμύ - Γεύση	75
4.2.1.7 Ολικά στερεά	76
4.2.1.8 Σκληρότητα	76
4.2.1.9 Διάφορα κατιόντα (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+)	77
4.2.1.10 Διάφορα ανιόντα (NO^{-2} , NO^{-3} , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , Cl^-)	78
4.2.1.11 Ιχνοστοιχεία - Βαρέα μέταλλα	80
4.2.2 Βιοχημικά χαρακτηριστικά	83
4.2.2.1 Διαλυμένο οξυγόνο (DO και DO%)	83
4.2.2.2 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	84
4.2.2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	85
4.2.2.4 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	85
4.2.3 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά	85
4.2.3.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή	86
4.2.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή	86
4.2.3.3 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5. Αναφορά στη περιοχή μελέτης	88
5.1 Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής	88
5.2 Κλιματολογικές συνθήκες	89
5.3 Υδατικό δυναμικό Ν. Χανίων	89
5.4 Η Γεωλογική δομή του Ν. Χανίων	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

6. Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των υπόγειων υδάτων	92
6.1 Βιοχημικές μέθοδοι ελέγχου δειγμάτων νερού	92

6.1.1 pH - θερμοκρασία	92
6.1.2 Αγωγιμότητα - TDS - Αλατότητα	92
6.1.3 Θολότητα	92
6.1.4 Διαλυμένο οξυγόνο (DO και DO%)	93
6.1.5 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	93
6.1.6 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	94
6.1.7 Σκληρότητα	95
6.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO ₃)	96
6.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH ₄)	97
6.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO ₄)	97
6.1.11 Θειικά ιόντα (SO ₄)	97
6.1.12 Χλωριόντα (Cl ⁻)	98
6.1.13 Ολικά στερεά	99
6.1.14 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K - Na - Ca	100
6.1.15 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων - βαρέων μετάλλων	101
6.1.16 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου	103
6.2 Γεωφυσικές μέθοδοι για τον χαρακτηρισμό του υπόγειου νερού	106
6.2.1 Ηλεκτρικές μέθοδοι	106
6.2.1.1 Μέθοδος ηλεκτρικής τομογραφίας	112
6.2.2 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι	113
6.2.2.1 Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM)	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7. Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας	120
7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	128
7.1.1 Αποτελέσματα αναλύσεων στα δείγματα νερού από τα πηγάδια και τη πηγή	129
7.1.2 Αποτελέσματα των γεωφυσικών μετρήσεων	179
7.1.3 Αποτελέσματα των αναλύσεων στα δείγματα νερού από τις παραλίες.....	191
7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των αναλύσεων σε συγκεντρωτικά γραφήματα	203
7.3 Συμπεράσματα	227

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	230
--------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	234
---------------------------	-----

*«Τη γη δεν την κληρονομήσαμε από τους προγόνους μας,
αλλά τη δανειστήκαμε από τους απογόνους μας»*

Ινδιάνικο ρητό

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων νερών υδροφορίας και ο έλεγχος του βαθμού ρύπανσης της παράκτιας ζώνης στη περιοχή της Χαλέπας, μέσω της μελέτης χημικών, φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων σε δείγματα νερού τα οποία συλλέχθηκαν από συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με πληροφορίες των κατοίκων, στη περιοχή μελέτης υπάρχουν οικίες, οι οποίες δεν έχουν συνδεθεί με το σύστημα του βιολογικού καθαρισμού και διατηρούν ακόμη απορροφητικούς βόθρους. Και το χειρότερο, σε κάποιες παλαιότερες οικίες, πηγάδια που κάποτε χρησιμοποιούνταν ως πηγή πόσιμου νερού, τώρα έχουν μετατραπεί σε κανονικούς βόθρους. Όσα πηγάδια είναι σήμερα ενεργά, χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς και σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις αντλούν μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού. Είναι γνωστό ότι στις παράκτιες περιοχές η υπεράντληση του υπόγειου νερού οδηγεί στην πτώση της στάθμης του νερού στον υδροφορέα, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η δυναμική ισορροπία μεταξύ των θαλάσσιων και των υπόγειων νερών, η ροή να κινείται ανάποδα και η θάλασσα να διεισδύει στον υπόγειο υδροφορέα (φαινόμενο της υφαλμύρισης). Επίσης στη παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης υπάρχουν τρία ενεργά βυρσοδεφεία, τα οποία χρησιμοποιούν το νερό των πηγαδιών στην επεξεργασία των δερμάτων, το οποίο όμως μετά τη χρήση του επιστρέφει ποιοτικά υποβαθμισμένο στο περιβάλλον. Τέλος, στην ευρύτερη περιοχή της Χαλέπας υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις ελαιόδεντρων στις οποίες γίνεται χρήση αζωτούχων και νιτρικών λιπασμάτων, υπολείμματα των οποίων, με τις βροχοπτώσεις, πιθανόν να κατεισδύουν και να καταλήγουν στον υπόγειο υδροφορέα.

Για όλους αυτούς τους λόγους, θεωρήθηκε αναγκαίο να γίνει διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων της περιοχής, ώστε να αναδειχθεί ο βαθμός επίδρασης, που έχουν οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην ποιότητα τόσο του υπόγειου νερού όσο και των νερών κολύμβησης. Ο έλεγχος αυτός είναι σημαντικός όχι μόνο για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού αλλά και για την ορθολογική διαχείρισή του.

Για την υλοποίηση του σκοπού αυτού πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού, από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο του 2012, από (7) ενεργά πηγάδια, από (1) πηγή και από (3) θέσεις της παραλιακής ζώνης της περιοχής μελέτης. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν και προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, από τα οποία προέκυψε ότι η περιοχή μελέτης αντιμετωπίζει σημαντικό πρόβλημα υποβάθμισης του υπόγειου νερού (υφαλμύριση, νιτρορρύπανση, μόλυνση από βακτήρια). Όσον αφορά τα νερά κολύμβησης όμως, αυτά χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικής ποιότητας. Η διεξαγωγή των μετρήσεων έγινε στο εργαστήριο «*Ελέγχου ποιότητας υδατικών και εδαφικών πόρων*» του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης (Παράρτημα Χανίων).

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν επίσης και κάποιες γεωφυσικές μετρήσεις, ώστε να ερμηνευτούν οι μεγάλες διαφορές των ποιοτικών χαρακτηριστικών που παρουσίασαν δείγματα νερού τα οποία αντλήθηκαν από πηγάδια που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους (λιγότερο από 40 m). Οι γεωφυσικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για το σκοπό αυτό ήταν : α) η μέθοδος της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και β) η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος παροδικών κυμάτων (TEM) από τα αποτελέσματα των οποίων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ζώνη διάρρηξης, η οποία φαίνεται ότι επηρεάζει την σύσταση του υπόγειου νερού σε μια από τις θέσεις δειγματοληψίας και πιθανόν να συνδέεται με την επέκταση του μετώπου της υφαλμύρισης ακόμη και σε περιοχές που είναι απομακρυσμένες από την παράκτια ζώνη.

Title: « Determination of pollution level of underground water resources and of coastal zone in the region of Chalepa, Chania »

Abstract

The aim of this thesis was the evaluation of the underground water aquifer quality and the control of the degree of pollution of the coastal zone area in the region of Chalepa through the study of chemical, physicochemical and microbiological parameters in water samples which were collected from specific sampling points.

According to information from the residents in the study area there are houses that are not connected to the sewage system (biological cleaning) and still maintain absorbent cesspools. And worst of all, in some older houses, wells once used as a source of drinking water, have now been converted into cesspools. All wells that are now active are used for irrigation purposes and in combination with existing boreholes pump large quantities of underground water. It is well known that in coastal areas the over pumping of underground water leads to the fall of the water level in the aquifer, thus disturbing the dynamic balance between sea and underground water, the flow moves back astern and the sea penetrates the aquifer (phenomenon of salination). Also in the coastal zone of the study area there are 3 active tanneries that use the water of the wells in the processing of leather, which however, after being used returns to the environment qualitatively degraded. Finally, in the wide area of Chalepa exist large areas of olive trees where the use of nitrogen and nitrate fertilizers is made, residues of which, with the rainfall, may be infiltrating water and end up in the aquifer.

For all these reasons, the investigation of the water resources of the region quality characteristics was considered necessary, to highlight the degree of influence that the factors identified above have in both the quality of the underground water as well as the swimming water. This control is important not only to ensure the quality of water but also for its rational management.

For the realization of this objective water was sampled from April to October 2012, from (7) active wells, from (1) source and (3) places of the coastline of the study area. The samples collected were analyzed and their quality characteristics which were determined, suggested that the study area is facing a major problem of underground water degradation (salination, pollution by nitrates, bacteria contamination). As for the swimming waters, they are classified as exceptional quality. The conducting of measurements was carried out in the laboratory « Quality control of water and ground resources » of the Technological Educational Institute of Crete.

In the study area some geophysical measurements were also carried out to interpret the wide varying differences in quality characteristics that the water samples drawn from wells that are very close together showed (less than 40 m). The geophysical methods applied for this purpose were: a) the method of electrical resistivity tomography and b) the method of transient electromagnetic waves (TEM) from the results of which was found that there is a fracture zone, which appears to affect the composition of the underground water in one of the sampling sites and is possibly associated with the extension of the front of the brackish even in areas that are remote from the coastal zone.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

1. Το νερό και η σημασία του

Η σημασία του νερού στον πλανήτη μας είναι αδιαπραγμάτευτη. Το νερό είναι απόλυτα συνυφασμένο με την ύπαρξη της ζωής σε όλες τις γνωστές μορφές της. Κατά τον Αριστοτέλη είναι ένα από τα τέσσερα στοιχεία τα οποία μαζί με τη φωτιά, τον αέρα και τη γη συνθέτουν τον κόσμο.

Στις μέρες μας, η επιστήμη δέχεται ότι η ζωή γεννήθηκε στο νερό και ότι η ύπαρξη του είναι αναγκαία για την διατήρηση και την ανάπτυξη της. Είναι κύριο συστατικό των έμβιων όντων, αφού το 70 % περίπου του βάρους των οργανισμών οφείλεται στην ποσότητα νερού που περιέχουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι το νερό αποτελεί το 50 - 90 % του βάρους όλων των ζωντανών οργανισμών.

Ενώ υπάρχουν μορφές ζωής που δεν έχουν ανάγκη το οξυγόνο (αναερόβια βακτήρια), δεν υπάρχουν οργανισμοί που μπορούν να ζήσουν χωρίς νερό. Ο άνθρωπος για παράδειγμα μπορεί να ζήσει αρκετές εβδομάδες χωρίς τροφή, χάρη στα αποθέματα λίπους που έχει, δεν αντέχει όμως χωρίς νερό περισσότερο από λίγες μέρες. Η ανεπαρκής ενυδάτωση του οργανισμού και οι αυξημένες



Εικόνα 1: «Αρχή των πάντων απεφείντο ύδωρ» Θαλής ο Μιλήσιος

απώλειες υγρών οδηγούν στην αφυδάτωση και σε πλήθος ασθενειών (πονοκέφαλος, ζαλάδες, κακή λειτουργία των νεφρών κ.α). Αποτελεί τον κυριότερο διαλύτη για τις βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα, γλυκόζη και άλλα θρεπτικά συστατικά.

Το νερό έχει ποικίλη χημική δράση. Σχηματίζει "ενώσεις διά προσθήκης" με πολλά άλατα, καθώς και με πολλά μόρια άλλων ουσιών. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται υδρίτες ή ένυδρες ενώσεις. Το φυσικό νερό είναι διάλυμα το οποίο περιέχει εκτός από τα μόρια του νερού, διάφορα χημικά στοιχεία (ανόργανα ιόντα, διαλυμένα αέρια και οργανικά), στερεή ύλη (κολλοειδή, ιλύες και αιωρούμενα στερεά) και βιολογική ύλη (βακτήρια, ιούς) τα οποία του προσδίδουν βιοχημικά χαρακτηριστικά μεγάλης σπουδαιότητας. Ο τύπος, το μέγεθος και η αλληλεπίδραση των υλικών αυτών προσδιορίζουν διάφορα χαρακτηριστικά του νερού όπως είναι η διαβρωτικότητα, η ποσιμότητα καθώς και η οσμή και η γεύση του.

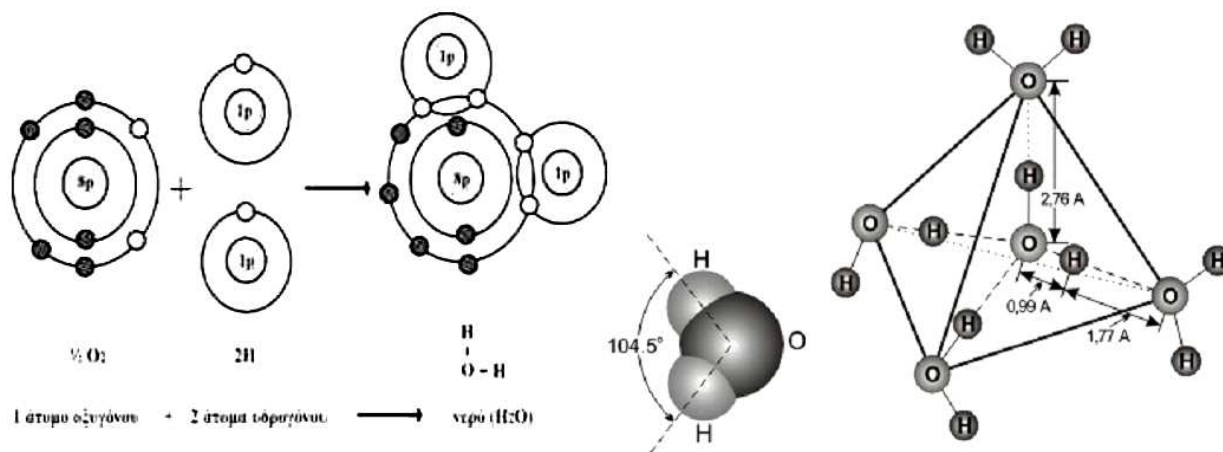
Το νερό δεν είναι απαραίτητο στον άνθρωπο μόνο για πόση, αλλά και για την ατομική του υγιεινή καθώς και για πολλές από τις οικιακές του δραστηριότητες. Το νερό χρησιμοποιείται επίσης για την άρδευση των γεωργικών καλλιεργειών και είναι απαραίτητο στη βιομηχανία. Οι ποσότητες νερού που απαιτούνται για τις υδατοπτώσεις στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια καθώς και για την ψύξη στα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ είναι ιδιαίτερα μεγάλες.

Δομή και ιδιότητες του νερού :

Το νερό μέχρι και τον 18^ο αιώνα θεωρούνταν στοιχείο. Πρώτος ο πατέρας της χημείας Λαβουαζιέ απέδειξε ότι είναι ένωση του υδρογόνου και του οξυγόνου. Είναι αρκετά σταθερή ένωση με ποικίλη χημική δράση. Κάθε μόριο νερού περιέχει δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Ο χημικός τύπος είναι H₂O και το μοριακό του βάρος 18. Συναντάται σε όλα τα τμήματα της βιόσφαιρας (ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα και λιθόσφαιρα) και με τις τρεις μορφές της ύλης (στερεή, υγρή και αέρια). Είναι υγρό στους 20 °C, διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα και κυανό σε μεγάλους όγκους. Το καθαρό νερό είναι άγευστο, ενώ το καλό πόσιμο νερό έχει ευχάριστη γεύση, που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και αέρια. Η πυκνότητα του εξαρτάται από τη θερμοκρασία, με τη μέγιστη στους 4 °C. Το σημείο πήξης του είναι 0 °C, το σημείο βρασμού 100 °C και η πυκνότητά του (στους 4 °C) 1 Kg/L.

Το μόριο του νερού δεν είναι γραμμικό, δηλαδή οι δεσμοί O-H δε βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία, αλλά σχηματίζουν γωνία $104,5^\circ$ και ο χημικός δεσμός που συγκρατεί το μόριο είναι ομοιοπολικός, δηλαδή κάθε άτομο υδρογόνου μοιράζεται το ελεύθερο ηλεκτρόνιο του με τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας σθένους του οξυγόνου. Το μήκος του δεσμού O-H είναι $0,96 \text{ \AA}$ (Αγκοστρεμ, $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$).

Η διάταξη αυτή δημιουργεί μια ασυμμετρία στο μόριο του νερού, το οποίο εμφανίζει μια θετική και μια αρνητική πλευρά. Το άτομο του οξυγόνου είναι ελαφρά θετικά φορτισμένο και τα άτομα του υδρογόνου αρνητικά. Η μοριακή πολικότητα κάνει τα μόρια του νερού να συνδέονται μεταξύ τους χαλαρά, με δεσμούς υδρογόνου και να σχηματίζουν αλυσίδες. Αυτή είναι και η αιτία που το νερό έχει ασυνήθεις ιδιότητες σε σχέση με συγγενείς του χημικές ενώσεις. Οι δεσμοί υδρογόνου εξαρτώνται από τη θερμική κατάσταση και έτσι σε κάθε θερμοκρασία σχηματίζονται και διαφορετικές διατάξεις των μορίων με τάση να σχηματίζουν εξαγωνικές αλυσίδες.



Εικόνα 2: Το μόριο του νερού και σύνδεση μορίων του με δεσμούς υδρογόνου

Η δομή του νερού, αν και είναι εξαιρετικά απλή, του προσδίδει μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες που το καθιστούν μοναδικό για την δημιουργία και τη διατήρηση της ζωής στη γη. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες αυτές είναι οι εξής :

- Μεγάλη συνοχή

Οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού δημιουργούν ένα πλέγμα, που εκτείνεται σ' όλη τη μάζα του. Το πλέγμα αυτό προσδίδει στο νερό συνοχή, με αποτέλεσμα το νερό να διατηρείται σε υγρή κατάσταση, στις συνήθεις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, ενώ παραπλήσια μόρια, όπως το υδρόθειο, είναι αέρια. Η εμφάνιση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη Γη θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί, αν το νερό δε βρισκόταν σε υγρή φάση. Οι δυνάμεις συνοχής του νερού συμβάλλουν πάρα πολύ στην ικανότητά του, να κινείται μέσα σε τριχοειδείς σωλήνες, ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας. Για παράδειγμα, το νερό μπορεί να κινηθεί κατακόρυφα μέσα στους ξυλώδεις σωλήνες των φυτών.

- Συνάφεια με άλλα σώματα

Το νερό μπορεί να αναπτύξει δυνάμεις συνάφειας με τα περισσότερα υλικά σώματα. Γι' αυτό και ορισμένα σώματα διαβρέχονται, όταν βυθιστούν στο νερό, γιατί αποτελούνται από πολικά μόρια, ενώ άλλα, που αποτελούνται από μη πολικά μόρια, όχι. Οι δυνάμεις συνάφειας, που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του νερού και των τοιχωμάτων των τριχοειδών σωλήνων, των διαφόρων οργανισμών, συμβάλλουν, μαζί με τις δυνάμεις συνοχής, στην κίνηση του νερού μέσα στους τριχοειδείς αυτούς σωλήνες. Οι δυνάμεις μάλιστα είναι τόσο ισχυρές, ώστε να μην παρατηρείται διακοπή στη στήλη του νερού, ακόμη και στην περίπτωση, κάθετης ανόδου του νερού.

- Χαμηλό ιξώδες

Η ύπαρξη πάρα πολλών δεσμών υδρογόνου, μεταξύ των μορίων του νερού, δεν τα εμποδίζει από το να γλιστρούν, σχετικά εύκολα, το ένα προς το άλλο και έτσι να προσδίδουν στο νερό χαμηλό ιξώδες. Η γρήγορη κίνηση του νερού μέσα σε στενούς σωλήνες και αγγεία των οργανισμών οφείλεται στο χαμηλό ιξώδες που παρουσιάζει.

- Μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα

Αύξηση της θερμοκρασίας μιας ποσότητας νερού προϋποθέτει αύξηση της κινητικής κατάστασης των μορίων του. Αυτό μπορεί να γίνει με τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου, που υπάρχουν μεταξύ των μορίων του νερού και τα μόρια αρχίζουν να κινούνται πιο ελεύθερα. Η διάσπαση των δεσμών υδρογόνου όμως, απαιτεί μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας και γι' αυτό το νερό έχει μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα. Έτσι η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται αργά, όταν βρίσκεται σε θερμότερο περιβάλλον, ενώ αντίθετα, διατηρείται σταθερή, για μεγάλο χρονικό διάστημα, όταν βρίσκεται σε ψυχρότερο. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική για πολλούς οργανισμούς με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, γιατί τους καθιστά ικανούς να διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος τους σταθερή μέσα στα επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας, για τη ζωή, όταν οι διακυμάνσεις στις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι μεγάλες. Στο κυτταρικό επίπεδο, η θερμότητα, που εκλύεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις του μεταβολισμού, απορροφάται από το νερό, χωρίς να παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση της θερμοκρασίας του κυττάρου, που θα οδηγούσε στη καταστροφή του. Στο επίπεδο της βιόσφαιρας ο ρόλος της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού είναι ακόμα πιο εμφανής, αφού οι υδάτινες μάζες, που καλύπτουν τη Γη διατηρούν τις διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του πλανήτη, μέσα στα επιτρεπτά όρια για τη ζωή.

- Μεγάλη ειδική θερμότητα εξαέρωσης

Το νερό εξαερώνεται, όταν τα μόρια του αποκτήσουν ικανή κινητική ενέργεια, ώστε να σπάσουν τους δεσμούς υδρογόνου, που έχουν μεταξύ τους και να αρχίσει η απόσπασή τους από την υπόλοιπη μάζα του νερού. Η εξάτμιση επιτυγχάνεται με τη προσφορά μεγάλων ποσών θερμότητας στο νερό ή με την απόκτηση της απαιτούμενης ενέργειας, από άλλα γειτονικά μόρια. Γι' αυτό, η εξάτμιση του νερού από μια επιφάνεια προκαλεί ψύξη σ' αυτή, αφού μέρος της κινητικής ενέργειας των μορίων της, μεταφέρεται στα μόρια του νερού, για να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου και να αυξηθεί η κινητική τους ενέργεια για τη διαφυγή τους από την μάζα του νερού. Το γεγονός αυτό εκμεταλλεύονται πολλοί οργανισμοί, που πρέπει να διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος τους σταθερή (ενδόθερμοι οργανισμοί) και εφιδρώνουν, με τρόπο ώστε η περίσσεια της θερμότητας του σώματος τους να χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού του ιδρώτα και να προκαλείται ψύξη στην επιφάνεια του σώματός τους.

- Μεγάλη επιφανειακή τάση

Στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού, τα μόρια διατάσσονται με τρόπο που οι δεσμοί υδρογόνου προσανατολίζονται προς το εσωτερικό της μάζας του. Το γεγονός αυτό προσδίδει στο νερό μεγάλη επιφανειακή τάση, τη μεγαλύτερη απ' όλα τα υγρά εκτός του υδραργύρου. Έτσι διάφορα έντομα, μπορούν ελεύθερα να περπατήσουν και να στηριχθούν στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Επιφανειακή τάση είναι η τάση που έχουν τα υγρά να ελαττώνουν την επιφάνειά τους και οφείλεται στις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων των υγρών, που τείνουν να αναγκάσουν τα μόρια να πλησιάσουν όσο το δυνατό περισσότερο μεταξύ τους.

- Ανώμαλη θερμική διαστολή

Τα περισσότερα υγρά παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πυκνότητα τους στο σημείο πήξεώς τους. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με το νερό, που παρουσιάζει μια ανωμαλία στη θερμική του διαστολή, με αποτέλεσμα να φθάνει στη μεγαλύτερη πυκνότητα του σε θερμοκρασία 4 °C. Όταν το νερό πήζει στους ποταμούς, στις λίμνες και τις θάλασσες, σχηματίζει μια κανονική κρυσταλλική δομή, που οφείλεται στους δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των μορίων του. Η κανονική κρυσταλλική αυτή δομή κάνει το πάγο να έχει μικρότερη πυκνότητα από το υπόλοιπο νερό, που βρίσκεται σε υγρή φάση, με αποτέλεσμα ο πάγος να επιπλέει στο νερό. Έτσι το στρώμα του πάγου, που δημιουργείται στις υδάτινες εκτάσεις του πλανήτη, κατά τους χειμερινούς μήνες, θερμομονώνει τα κατώτερα στρώματα του νερού και γι' αυτό διατηρούνται σε υγρή κατάσταση. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη βιολογική σημασία, γιατί κάτω από τους πάγους, μέσα στο νερό, επιβιώνει η υδρόβια ζωή.

- Μεγάλη διαλυτική ικανότητα

Το νερό είναι ένα αποτελεσματικό διαλυτικό μέσο. Αυτό οφείλεται στην ικανότητά του να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με όσες χημικές ουσίες διαθέτουν πολικότητα στα μόριά τους ή βρίσκονται σε

μορφή ιόντων. Έτσι, στο νερό μπορεί να διαλυθεί ένα ευρύ φάσμα χημικών ουσιών, όπως για παράδειγμα, άλατα, αέρια, σάκχαρα, αμινοξέα, μικρά νουκλεϊνικά οξέα και πρωτεΐνες, πράγμα αδύνατο για άλλα συνηθισμένα υγρά. Η μεγάλη διαλυτική ικανότητα του νερού έχει μεγάλη σημασία, για το πρωτόπλασμα και για τους οργανισμούς γενικά, γιατί με το νερό διασφαλίζεται η μεταφορά των διάφορων χημικών ουσιών και η πραγματοποίηση των διάφορων βιοχημικών αντιδράσεων, οι οποίες γίνονται συνήθως υπό μορφή διαλυμάτων.

- Χημική αδράνεια

Το νερό είναι σχετικά χημικά αδρανές, δηλαδή δεν αντιδρά με τις ουσίες που διαλύει. Έτσι οι ιδιότητες των ουσιών αυτών δεν αλλάζουν, με αποτέλεσμα να είναι πλήρως αξιοποιήσιμες από το πρωτόπλασμα. Παρ' όλα αυτά το νερό λαμβάνει μέρος σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις αυτούσιο, ιδίως αν υπάρχουν τα κατάλληλα ένζυμα.

- Σχετικά καλός αγωγός της θερμότητας

Η πιο πάνω ιδιότητα του νερού εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο πρωτόπλασμα.

- Διαύγεια

Το νερό είναι διαυγές υγρό, με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η λειτουργία της φωτοσύνθεσης, σε αρκετό βάθος, μέσα στις υδάτινες εκτάσεις και το φως να μπορεί να διεισδύσει βαθιά, μέσα στους ιστούς των οργανισμών.

Οι ιδιότητες του θαλασσινού νερού είναι παρόμοιες με εκείνες του γλυκού νερού. Το νερό των θαλασσών είναι ένα πολύπλοκο διάλυμα που περιέχει, έστω και σε ίχνη, όλα τα στοιχεία που συναντώνται στη γη. Παρόλα αυτά μόνο έξι στοιχεία συνιστούν το 99 % όλων των διαλυμένων ουσιών. Τα στοιχεία αυτά είναι το χλώριο, το νάτριο, το θείο (στην μορφή SO_4), το μαγνήσιο, το ασβέστιο και το κάλιο. Τα υπόλοιπα στοιχεία που βρίσκονται σε μικρότερες αναλογίες είναι τα δισανθρακικά, βρωμίδια, βορικό οξύ, στρόντιο και φθόριο.



Εικόνα 3: Χημική σύσταση του θαλασσινού νερού [64]

Από την πρώτη συστηματική ανάλυση δειγμάτων νερού από διάφορες περιοχές της γης, με το πρώτο συστηματικό ωκεανογραφικό ταξίδι του πλοίου Challenger (1872-1876) έγινε φανερό ότι υπήρχε εκπληκτική ομοιομορφία στη σύσταση του θαλασσινού νερού. Έτσι ο William Dittmar, αναλύοντας τα δείγματα αυτά, διετύπωσε τον κανόνα των σταθερών αναλογιών, ο οποίος δεν άλλαξε μέχρι σήμερα.

Με βάση αυτόν τον κανόνα, τα κύρια στοιχεία που είναι διαλυμένα στο νερό βρίσκονται σε σταθερή αναλογία μεταξύ τους ανεξάρτητα από τη συνολική ποσότητα στην οποία περιέχονται στη θάλασσα. Δηλαδή μπορεί η συνολική ποσότητα των διαλυμένων ουσιών να μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο και από εποχή σε εποχή, η σχέση όμως των ουσιών μεταξύ τους παραμένει εκπληκτικά σταθερή. Οι μόνες μεταβολές που παρατηρούνται, είναι στην επιφάνεια κλειστών κόλπων με σημαντική

επίδραση από εκβολές ποταμών που μεταφέρουν τα διαλυμένα προϊόντα της χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και στο βάθος περιορισμένων λεκανών με σημαντική υποθαλάσσια ηφαιστειακή ή υδροθερμική δραστηριότητα, όπως η Ερυθρά Θάλασσα. Η σύσταση της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα λόγω βιολογικών διεργασιών και θερμοκρασιακών αλλαγών, αλλά κυρίως επηρεάζεται από την εισροή αποβλήτων και τοξικών ουσιών.

Το θαλασσινό νερό, σε αντίθεση με το νερό των ποταμών, εμφανίζει χαρακτηριστική σταθερότητα ως προς την οξύτητά του, η οποία κυμαίνεται από pH 7,5 μέχρι 8,3. Η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε γραμμάρια που περιέχονται σε ένα κιλό θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά ιόντα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα και τα ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί με χλωριούχα και τα οργανικά έχουν οξειδωθεί, ονομάζεται αλατότητα. Η συνολική ποσότητα αλογόνων (χλωρίου, βρωμίου, ιωδίου) σε γραμμάρια ανά κιλό θαλασσινού νερού ορίζεται ως χλωριότητα. Και οι δυο αυτές ιδιότητες εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος, το βάθος και τη γεωμορφολογία του πυθμένα.

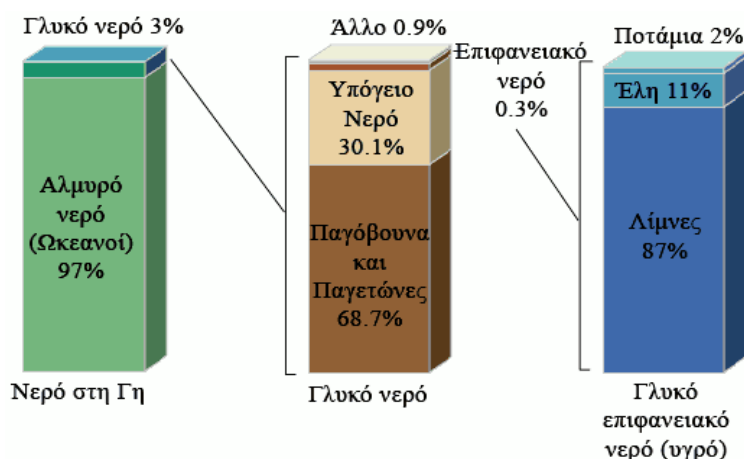
Από άποψη θερμοκρασίας, λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού, οι θάλασσες παρουσιάζουν (κυρίως στα επιφανειακά στρώματα) διακυμάνσεις, που όμως είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες στο έδαφος.

Η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας και της πίεσης, ενώ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μεταξύ δύο θαλάσσιων στρωμάτων με διαφορετική πυκνότητα εμφανίζεται μία μεταβατική ζώνη απότομης μεταβολής της πυκνότητας που λέγεται **πυκνοκλινές**. Ενώ το καθαρό νερό αποκτά την μέγιστη πυκνότητα στους 4 βαθμούς Κελσίου, το θαλάσσιο νερό αποκτά την μέγιστη πυκνότητα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, που εξαρτάται από την αλατότητα.

1.1 Η κατανομή του νερού στη γη

Η κυριαρχία του υδάτινου στοιχείου καθιστά τον πλανήτη μας τόσο ξεχωριστό. Οι πρώτοι αστροναύτες κοιτάζοντας τη γη από το διάστημα την αποκάλεσαν **“μπλέ μαργαριτάρι”** καθώς το 70 % της επιφάνειάς της καλύπτεται από θάλασσα ενώ μόλις το 26 % από ξηρά.

Αν και το νερό, όμως, φαίνεται να υπάρχει σε αφθονία στη γη, η τελικά διαθέσιμη και κατάλληλη για χρήση ποσότητα είναι πολύ μικρή. Και αυτό γιατί το 98 % του νερού της γης βρίσκεται στις θάλασσες, στους ωκεανούς και στα μεγάλα παγόβουνα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής ενώ από το υπόλοιπο το μεγαλύτερο μέρος είναι τεχνικά μη εκμεταλλεύσιμο (π.χ. βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 800 m ή είναι υφάλμυρο και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Μόνο το 0,6 % του νερού σε παγκόσμια κλίμακα θεωρείται κατάλληλο και διατίθεται για χρήση.



Εικόνα 4 : Παγκόσμια κατανομή του νερού [47]

Αυτή η ήδη περιορισμένη ποσότητα των διαθέσιμων υδατικών πόρων είναι ανομοιόμορφα κατανομημένη στο χώρο. Υπάρχουν χώρες οι οποίες έχουν αφθονία νερού και άλλες που έχουν μεγάλες ελλείψεις ή είναι έρημοι. Ακόμα και στο εσωτερικό των χωρών οι υδατικοί πόροι δε διατίθενται ομοιόμορφα, γεγονός που προκαλεί σοβαρές τοπικές διενέξεις μεταξύ των χρηστών. Η διαθεσιμότητα στο χρόνο είναι επίσης άνιση αφού το νερό του χειμώνα (που συχνά είναι πλημμυρικό) χρειάζεται περισσότερο το καλοκαίρι για συγκεκριμένες χρήσεις (άρδευση, τουρισμός, κλπ). Η εξαιρετικά περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού, η άνιση χωροχρονική κατανομή του, αλλά και η συνεχώς επιδεινούμενη ποιότητα του, καθιστούν τους υδατικούς πόρους αγαθό σε ανεπάρκεια.

1.2 Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς την ατμόσφαιρα και την ξηρά, που συνοδεύεται και από αλλαγές ανάμεσα στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φάση του νερού (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Ο υδρολογικός κύκλος [64]

Η αρχή του υδρολογικού κύκλου μπορεί θεωρητικά να τοποθετηθεί στην ατμόσφαιρα στην οποία συγκεντρώνονται οι υδρατμοί που προκύπτουν από την εξάτμιση του νερού από τη θάλασσα και την ξηρά, καθώς και από τη διαπνοή από τα δένδρα και τη βλάστηση. Οι υδρατμοί αυτοί μεταφέρονται υπό την επίδραση των ανέμων και κάτω από κατάλληλες συνθήκες συμπυκνώνονται σε νέφη και στη συνέχεια υπό την μορφή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι) επανέρχονται στην επιφάνεια της γης. Από το νερό που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά, ένα άλλο μέρος διηθείται εντός του εδάφους και τέλος ένα τρίτο μέρος απορρέει επιφανειακό προς τα ρεύματα και τους ποταμούς καταλήγοντας στις λίμνες ή τις θάλασσες. Από το νερό που διηθείται, ένα μέρος εξατμίζεται ή διαπνέεται μέσω των φυτών και το υπόλοιπο διηθείται σε βαθύτερα στρώματα επαναφορτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς, βρίσκοντας αργότερα διέξοδο προς την επιφάνεια της γης σε χαμηλότερα υψόμετρα και καταλήγοντας τελικό στη θάλασσα. Από τη θάλασσα, μέσω της εξάτμισης το νερό επανέρχεται στην ατμόσφαιρα συμπληρώνοντας τον υδρολογικό κύκλο. Στον κύκλο του ακολουθεί διαδρομές που καθορίζονται αποκλειστικά από το ανάγλυφο του εδάφους και τους υδροκρίτες, τις νοητές γραμμές που διαχωρίζουν την μία κοιλάδα από μια άλλη. Κάθε σταγόνα νερού που πέφτει στην νοητή γραμμή του υδροκρίτη έχει ίση πιθανότητα να κυλήσει προς την μία ή την άλλη πλευρά, ανεξάρτητα από τα εθνικά, τα περιφερειακά ή τοπικά διοικητικά όρια. Τα φυσικά όρια του νερού είναι τα όρια των λεκανών απορροής που συγκεντρώνουν το νερό της βροχής και το διοχετεύουν στην θάλασσα. Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο. Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση :

$$P = R + E + I$$

Όπου, P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, E = η εξατμισοδιαπνοή, R = η επιφανειακή απορροή και I = η κατείδυση.

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m³) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

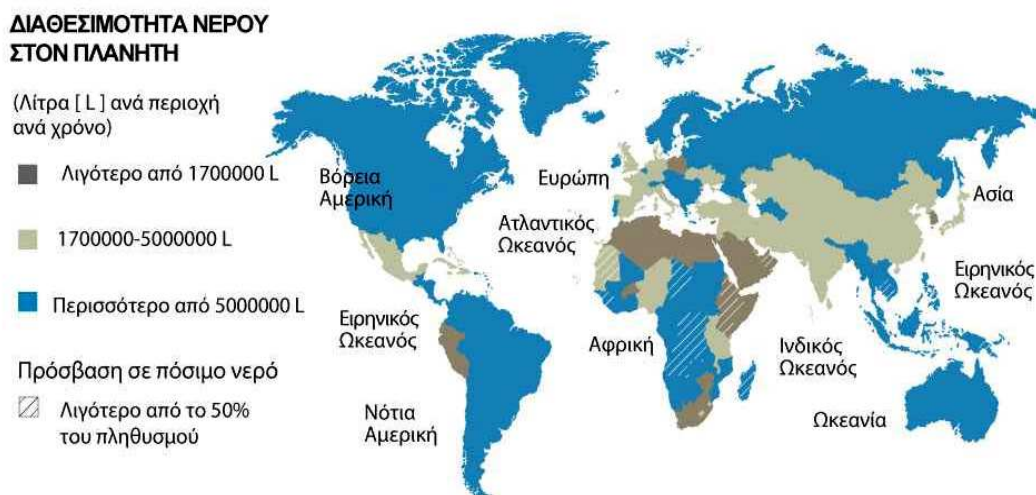
1.3 Το πρόβλημα του νερού

Το νερό αποτελεί "πηγή ζωής" για τον πλανήτη και τους κατοίκους του. Ωστόσο, σήμερα το νερό από φυσικό αγαθό σε αφθονία έφθασε να γίνει εμπορικό προϊόν σε ανεπάρκεια και ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του 21^{ου} αιώνα.

Τις τελευταίες δεκαετίες ο ρυθμός με τον οποίο η ανθρωπότητα ξοδεύει τα διαθέσιμα αποθέματα νερού έχει σχεδόν διπλασιαστεί. Οι ανάγκες για νερό (για αγροτικές, βιομηχανικές ή άλλες δραστηριότητες) αυξάνονται συνεχώς, ενώ οι ποσότητες που αντλούνται από τις υπόγειες δεξαμενές της γης είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ποσότητες που επιστρέφουν σε αυτές μέσω φυσικών διεργασιών. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι η κατάσταση είναι αναστρέψιμη, αρκεί να υπάρξει σωστή διαχείριση και να αλλάξουν οι «ισορροπίες» ζήτησης και προσφοράς νερού παγκοσμίως.

Επίσημα στοιχεία του ΟΗΕ αναφέρουν ότι η κρίση του πόσιμου νερού χαρακτηρίζεται τόσο από την συνεχιζόμενη μείωση της ποσότητας που διατίθεται, όσο και από την υποβάθμιση της ποιότητας του, καθώς πολλά από τα διαθέσιμα ύδατα είναι ρυπασμένα με χημικές ουσίες, αλάτι και βακτήρια. Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της Γης, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων και της μόλυνσης του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται.

Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30 %. Το 40 % από τους ανθρώπους που ζουν στη γη δεν έχουν επαρκές νερό ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή.



Εικόνα 6: Χάρτης με τα αποθέματα νερού σε παγκόσμια κλίμακα [49]

Περίπου 232.000.000 άνθρωποι σε 26 χώρες του τρίτου κόσμου πλήττονται από λειψυδρία και αδυνατούν να καλύψουν βασικές καθημερινές ανάγκες σε νερό, ενώ 18 χώρες στην Αφρική και στην Ασία απειλούνται άμεσα, διότι βρίσκονται σε κατάσταση οριακή από άποψη υδατικών αποθεμάτων. Το 2025 ο πληθυσμός της Γης αναμένεται να είναι γύρω στα δέκα δισεκατομμύρια και ένας στους τρεις κατοίκους του πλανήτη, δηλαδή 3,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι, σε 52 χώρες της Γης, αναμένεται ότι είτε θα ζουν σε καθεστώς λειψυδρίας είτε θα κινδυνεύουν άμεσα από αυτήν. Σήμερα περίπου δέκα εκατομμύρια άνθρωποι στον κόσμο πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες που έχουν σχέση με τη ρύπανση του νερού. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, που συντονίζει το δίκτυο πληροφοριών για το νερό (WISE), "η υγεία και η ανάπτυξη στην Ευρώπη απειλούνται λόγω της χαμηλής ποιότητας των νερών, ενώ οι πλημμύρες αποτελούν σοβαρό πρόβλημα που θα οδηγήσει στη μείωση της βιοποικιλότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση".

1.3.1 Λειψυδρία

Το πλέον επιτακτικό πρόβλημα την επόμενη δεκαετία, το οποίο θα διογκώνεται από την αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη, θα είναι η λειψυδρία, δηλαδή η μείωση της διαθεσιμότητας του γλυκού νερού. Λειψυδρία σημειώνεται, όταν οι ποσότητες του νερού που αφαιρούνται από τις λίμνες, τα ποτάμια ή το υπέδαφος, είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι προμήθειες νερού δεν επαρκούν πλέον για την ικανοποίηση όλων των ανθρωπίνων αναγκών ή των αναγκών του οικοσυστήματος.

Η χώρα μας, όπως και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μεγάλο αυτό περιβαλλοντικό πρόβλημα της απειλούμενης λειψυδρίας. Σύμφωνα με την *Greenpeace* το πρόβλημα αυτό οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως η έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Ανάμεσα στις περιοχές που θεωρούνται ότι κινδυνεύουν από λειψυδρία περιλαμβάνονται τμήματα της Αφρικής, της Νότιας Ασίας και της Κεντρικής Αμερικής. Όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν, η καθημερινότητα των ανθρώπων που ζουν στις περιοχές αυτές, είναι αγώνας επιβίωσης, αφού αναγκάζονται να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις για να βρουν καθαρό νερό και να το μεταφέρουν στις εστίες τους, σηκώνοντας μεγάλο βάρος.



Εικόνα 7: Κοπιαστική πορεία για λίγο νερό



Εικόνα 8: Συλλογή του νερού σε πλαστικά δοχεία

1.3.2 Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού

Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και της UNICEF, περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν καμιά πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό, ένας αριθμός που μπορεί να ξεπεράσει τα 3 δισεκατομμύρια σε 20 έτη. Το μολυσμένο πόσιμο νερό συνιστά σοβαρότατο πρόβλημα για τους κατοίκους πλήθους περιοχών του πλανήτη. Στις αναπτυσσόμενες χώρες το 80 % των ασθενειών συνδέονται άμεσα με την κατανάλωση νερού κακής ποιότητας, ενώ τα περισσότερα θύματα είναι παιδιά. Η UNICEF τονίζει ότι περίπου 2.000 παιδιά κάτω των πέντε ετών πεθαίνουν καθημερινά σε όλο τον κόσμο από διαρροϊκές ασθένειες, με το 90 % των θανάτων να οφείλεται στο μολυσμένο νερό, στην έλλειψη αποχέτευσης ή στην ανεπαρκή υγιεινή.



Εικόνα 9: Νερό μολυσμένο με παθογόνους μικροοργανισμούς [53]

Όπως έχει πει ο επικεφαλής του τομέα Νερού και Υγιεινής της UNICEF Sanjay Wijesekera «Μερικές φορές επικεντρωνόμαστε στους αριθμούς και αποτυγχάνουμε να δούμε τις ανθρώπινες τραγωδίες που κρύβονται πίσω από τα στατιστικά στοιχεία. Αν 90 σχολικά λεωφορεία γεμάτα με παιδιά νηπιαγωγείου συγκρούονταν κάθε πρωί μεταξύ τους, χωρίς επιζώντες, ο κόσμος θα το πρόσεχε. Αυτό ακριβώς όμως συμβαίνει καθημερινά, σε παγκόσμιο επίπεδο, εξαιτίας του ακάθαρτου νερού και των κακών συνθηκών υγιεινής και αποχέτευσης».

Από τους περίπου 720.000 θανάτους παιδιών κάτω των πέντε ετών ετησίως οι μισοί καταγράφονται στην Ινδία, στη Νιγηρία, στο Κονγκό, στο Πακιστάν και στην Κίνα. Υπολογίζεται ότι περίπου 119.000.000 Κινέζοι, 97.000.000 Ινδοί και 66.000.000 Νιγηριανοί δεν έχουν επαρκή πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ενώ τα στοιχεία για την έλλειψη αποχέτευσης είναι ακόμα πιο τρομακτικά (περίπου 2,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως και περισσότεροι από 1 δισεκατομμύριο στις συγκεκριμένες χώρες). «Οι αριθμοί μπορεί να μας παγώνουν, αλλά δυστυχώς αντιστοιχούν σε πραγματικές ζωές. Κάθε άνθρωπος είναι σημαντικός, κάθε παιδί έχει δικαίωμα στην υγεία, στην πρόσβαση σε πόσιμο νερό και σε επαρκείς εγκαταστάσεις υγιεινής. Κάθε παιδί έχει δικαίωμα στην επιβίωση και σε ένα καλύτερο μέλλον» αναφέρεται σε ανακοίνωση που εξέδωσε η UNICEF με αφορμή την Παγκόσμια Ημέρα Νερού (22 Μαρτίου).

Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί, αν η διεθνής κοινότητα διέθετε τους οικονομικούς πόρους αλλά και την πολιτική βούληση να δημιουργήσει τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία του νερού, ώστε να είναι πόσιμο. Επειδή όμως τέτοιες ενέργειες δεν πραγματοποιούνται, η επιστημονική κοινότητα προσπαθεί να βρει λύσεις, έστω και αν αυτές αντιμετωπίζουν μερικώς το πρόβλημα. Στα πλαίσια αυτών των προσπαθειών ο Τορμπέν Βέστεργκαρντ Φράντσεν κατασκεύασε το «Καλαμάκι της Ζωής».



Εικόνα 10: Το καλαμάκι της ζωής [35]

Με 1,1 δισεκατομμύρια ανθρώπους στον πλανήτη να μην έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό, το «Καλαμάκι της Ζωής» είναι ίσως η ευφυέστερη κατασκευή. Το 2008, που ήταν το Διεθνές Έτος Υγιεινής, η κατασκευή αυτή βραβεύτηκε με το βραβείο Saatchi & Saatchi ως μια ιδέα που μπορεί να αλλάξει τον κόσμο, αφού μπορεί στη στιγμή να μετατρέπει σε πόσιμο ακόμη και το πιο βρώμικο νερό επιφάνειας, που περιέχει μικροοργανισμούς που προκαλούν τύφο, χολέρα και διάρροια.

Με μήκος μόλις 30 εκατοστών και βάρος που δεν ξεπερνά τα 140 γραμμάρια, το Καλαμάκι της Ζωής είναι ατομικό, φορητό και μπορεί να προλάβει όχι μόνο τους 60.000 σχετικούς θανάτους που σημειώνονται καθημερινά αλλά και να απαλλάξει εκατομμύρια γυναίκες και κορίτσια από την κοπιαστική διαδρομή που διανύουν καθημερινά για να βρουν πόσιμο νερό ξοδεύοντας χρόνο και ενέργεια. Μια πολύωρη και επικίνδυνη αποστολή, κατά τη διάρκεια της οποίας πολλές χάνουν και την αξιοπρέπειά τους πέφτοντας θύματα βιασμού.

Την ίδια στιγμή που κάποιος ρουφάει νερό από το Καλαμάκι της Ζωής, η ρητίνη με βάση το αλογόνο που περιέχει σκοτώνει το 99,9 % των βακτηρίων και το 98,7 % των ιών που προκαλούν θανατηφόρες ασθένειες. Ένα τέτοιο καλαμάκι έχει μέγιστη διάρκεια ενός χρόνου, καθώς μπορεί να φιλτράρει έως και 700 λίτρα νερού, που αντιστοιχούν περίπου στις ανάγκες ενός έτους. Το ατομικό φίλτρο έχει ως στόχο να βοηθήσει τον κόσμο στην επίτευξη των *Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας* σχετικά με την υγιεινή, που περιλαμβάνει τη μείωση στο μισό του αριθμού των ανθρώπων που δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό και εγκαταστάσεις υγιεινής.

1.3.3 Το νερό αιτία διαμάχης και συγκρούσεων

Τόσο η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού όσο και ο περιορισμός των υδατικών αποθεμάτων έχει και κοινωνικοπολιτικές επιδράσεις. Για τον λόγο αυτό το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό. Στο κοντινό μέλλον προβλέπεται ότι το νερό θα αποτελέσει αιτία διαμάχης και συγκρούσεων μεταξύ γειτονικών χωρών που μοιράζονται τις ίδιες υδρολογικές λεκάνες, με αρκετούς ερευνητές να μιλούν ακόμα και για Γ' Παγκόσμιο Πόλεμο στο όνομα του νερού.

Οι περισσότερες διασυνοριακές λεκάνες ποταμών μοιράζονται μεταξύ ακριβώς δύο χωρών, υπάρχουν όμως και πολλές όπου αυτός ο αριθμός χωρών είναι πολύ υψηλότερος. Υπάρχουν 13 λεκάνες παγκοσμίως που 5 έως 8 χώρες μοιράζονται μεταξύ τους. Πέντε λεκάνες ποταμών, του Κονγκό, του Νίγηρα, του Νείλου, του Ρήνου και του Ζαμβέζη είναι μοιρασμένες μεταξύ 9 έως 11 χωρών. Ο ποταμός που διατρέχει τις περισσότερες χώρες είναι ο Δούναβης, ο οποίος περνά μέσω του εδάφους 18 χωρών. Πάνω από το 40 % του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί μέσα στις διεθνείς κοινές λεκάνες ποταμών. Μέχρι σήμερα, έχουν προσδιοριστεί 274 διασυνοριακά υδροφόρα στρώματα που βρίσκονται κάτω από το 15 % της επιφάνειας της Γης. Σε ό,τι αφορά τις συνθήκες που έχουν επιτευχθεί σχετικά με τους διασυνοριακούς υδάτινους πόρους, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών έχει καταγράψει περισσότερες από 3.600 που χρονολογούνται από το έτος 805 έως το 1984. Η πλειοψηφία αυτών των συνθηκών αφορά τον τομέα της ναυσιπλοΐας. Πάντως, η πρώτη γνωστή διεθνής συνθήκη που υπογράφηκε για το νερό χρονολογείται περίπου το 2500 π.Χ. μεταξύ δύο Σουμεριακών πόλεων - κρατών, της Λαγκάς και της Ούμα, μια συμφωνία που έκλεισε μια διένεξη για το νερό κατά μήκος του ποταμού Τίγρη. Στον τελευταίο αιώνα, περισσότερες από 200 σχετικές με το νερό συνθήκες έχουν συζητηθεί και έχουν υπογραφεί. Ο συνολικός αριθμός των σχετικών με το νερό συγκρούσεων είναι μικρότερος από τον αριθμό των περιπτώσεων όπου επιτεύχθηκε συνεργασία. Οι προστριβές για το νερό έχουν οδηγήσει σε 507 συγκρούσεις σε αντιδιαστολή με 1.228 περιπτώσεις όπου επιτεύχθηκε συνεργασία. Και κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών έχουν υπάρξει μόνο 37 περιπτώσεις βίαιων αναμετρήσεων μεταξύ κρατών για το νερό, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι συγκρούσεις για το νερό δεν είναι μια στρατηγικά λογική, αποτελεσματική ή οικονομικά βιώσιμη επιλογή.



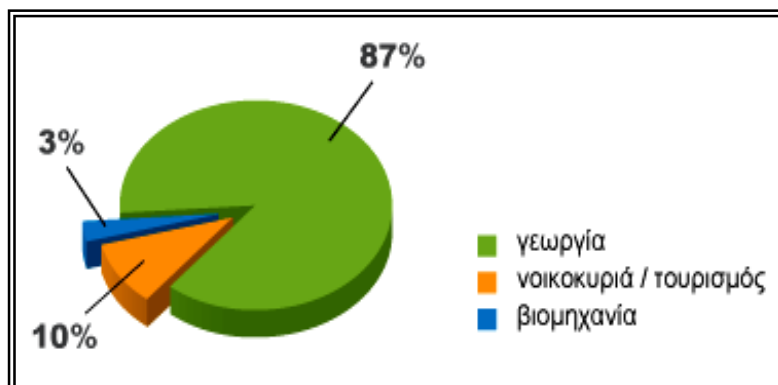
Εικόνα 11: Η έλλειψη νερού πυροδοτεί ένοπλες συγκρούσεις [36]

1.4 Η κατάσταση στη χώρα μας

Η χώρα μας, όπως και ο υπόλοιπος πλανήτης, βρίσκεται και αυτή αντιμέτωπη με τα παραπάνω προβλήματα. Στο σύνολο της χώρας τα διαθέσιμα επιφανειακά νερά είναι 57.729.280.000 m³, ενώ τα υπόγεια διαθέσιμα νερά είναι 13.007.798 m³. Η αναλογία τους είναι 4:1, τιμή η οποία μπορεί να θεωρηθεί επαρκής σε νερό, εφόσον υπάρξει ορθολογική διαχείρισή του, που να βασίζεται σε αναπτυξιακό σχεδιασμό εφαρμογών και καλή ανάπτυξη έργων, κυρίως υδρομάστευσης των επιφανειακών υδάτων.

Μπορεί στην παρούσα φάση η χώρα μας να μην έχει πρόβλημα νερού, κανείς όμως δεν γνωρίζει για πόσο καιρό θα έχουμε επάρκεια. Οι ειδικοί τονίζουν ότι οι χιονοπτώσεις στην Ελλάδα μειώνονται, οι βροχοπτώσεις γίνονται πιο ισχυρές, με αποτέλεσμα να μην τροφοδοτείται σωστά ο υδροφόρος ορίζοντας, η ζήτηση νερού για οικιακή χρήση και κυρίως για άρδευση αυξάνεται συνεχώς, ενώ μεγάλες ποσότητες νερού χάνονται λόγω εκτεταμένων διαρροών και παλαιότητας του δικτύου της ΕΥΔΑΠ στα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με μελέτες του Ι.Γ.Μ.Ε., οι σημερινές ετήσιες ανάγκες σε νερό κυμαίνονται σε περίπου 9 δις. κυβικά μέτρα νερού.

Σύμφωνα με επίσημη δήλωση της υπουργού ΠΕΚΑ, στις 22 Μαρτίου 2011, στα πλαίσια της Παγκόσμιας Ημέρας Νερού, η Ελλάδα είναι η δεύτερη πιο σπάταλη χώρα στον κόσμο στη χρήση νερού μετά τις ΗΠΑ. Στη χώρα μας, η γεωργία καταναλώνει το 87 %, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10 % και η βιομηχανία το 3 %. Οι υψηλές αρδευτικές ανάγκες, ο τουρισμός που αυξάνεται την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο, και οι οικιακές ανάγκες ασκούν σημαντική πίεση στα αποθέματα γλυκού νερού. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το σημερινό μοντέλο γεωργίας στην Ελλάδα, κατασπαταλά τεράστιες ποσότητες υδάτων, όταν ο ευρωπαϊκός μέσος όρος χρήσης νερού στη γεωργία κινείται περίπου στο 24 %.



Εικόνα 12 : Κατανομή της χρήσης νερού στην Ελλάδα [50]

Η περίοδος 1980 - 2000 ήταν και η πλέον επώδυνη, αφού τα έργα υδρομάστευσης υπολείπονται της αύξησης των αναγκών σε νερό άρδευσης, με αποτέλεσμα οι αγρότες να στραφούν σε υπερεκμετάλλευση του υπεδαφικού νερού. Οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31 % περισσότερες από αυτές που το δυναμικό του υπεδαφικού νερού επιτρέπει. Αυτό σημαίνει ότι για τρία χρόνια περίπου αφαιρείται και ένας χρόνος, δηλαδή μετά από χρόνια άντλησης ο υπεδαφικός υδροφορέας για να επανέλθει θα χρειαστεί 3 τουλάχιστον συνεχή χρόνια χωρίς καμία άντληση. Μεγάλες υπερβάσεις σε αριθμό γεωτρήσεων, σε σχέση με αυτές που μπορεί να αντέξει η περιοχή, έχουν γίνει στη Θεσσαλία με 320 % περισσότερες γεωτρήσεις, στην Αττική με 260 %, στην Πελοπόννησο και στα νησιά του Αιγαίου με 200 %.

Η εξοικονόμηση νερού γίνεται ακόμη πιο επιτακτική στη χώρα μας, καθώς η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων, με μεγάλες ξηρασίες και αυξημένες πλημμύρες. Όχι μόνο η διαθεσιμότητα του νερού γίνεται μικρότερη, αλλά και η κατανάλωση αυξάνει λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας το καλοκαίρι, η ημερήσια κατανάλωση νερού αυξάνει κατά 2 %. Οι επιστήμονες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για την ανομβρία στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών, η υδροδοτική ικανότητα των υπόγειων νερών στη χώρα μας έχει μειωθεί κατά 60 % σε σχέση με πέρσι. Επίσης κατά το ήμισυ έχει μειωθεί η παροχή του νερού σε λίμνες και ποτάμια. Σταδιακά, μέχρι το έτος 2100, η μείωση των βροχοπτώσεων στη χώρα μας θα φτάσει μέχρι και 40 %. Με απλά λόγια, είναι πιθανό να αποκτήσουμε το κλίμα της Αιγύπτου. Μάλιστα, οι επιστήμονες επισημαίνουν τους κινδύνους του μέλλοντος, λέγοντας πως μόνο το 16 % των εδαφών της χώρας μας δεν διατρέχει κίνδυνο ερημοποίησης, ενώ το υπόλοιπο 84 % απειλείται είτε άμεσα, είτε έμμεσα.

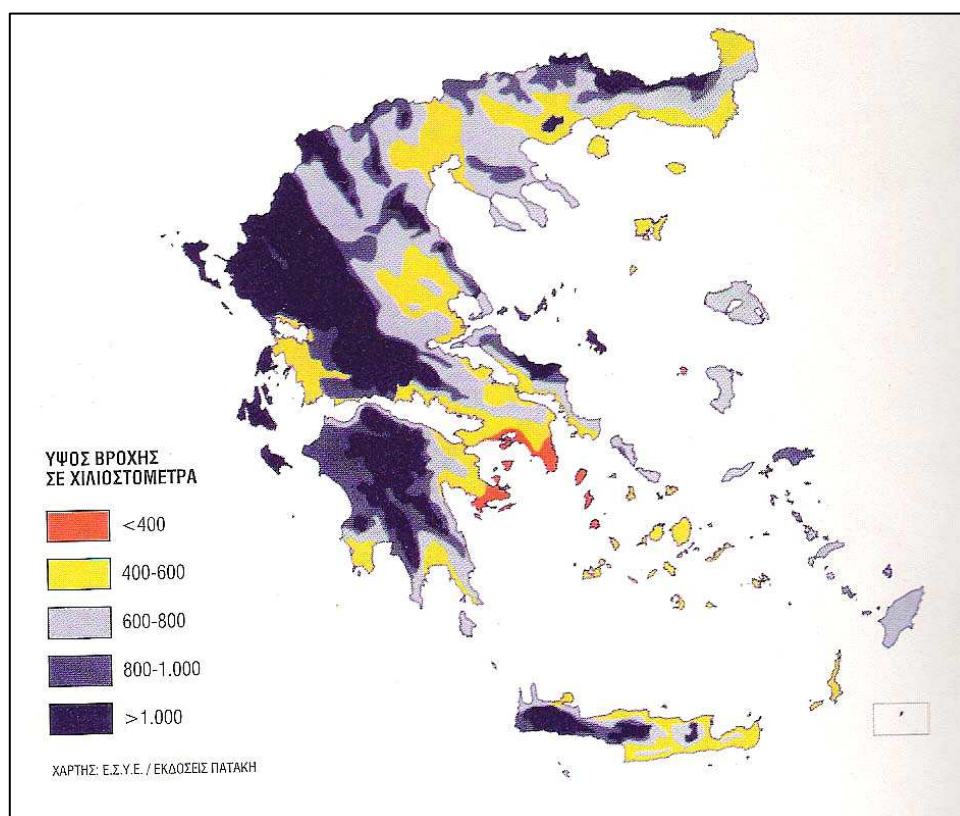
Ο Υδρογεωλόγος του Ι.Γ.Μ.Ε., Π. Σαμπατακάκης, ανέφερε ότι την τελευταία 30ετία στη χώρα μας καταγράφηκαν 6 έτη ανομβρίας, συχνότητα η οποία εμφανίζεται για πρώτη φορά σε διάστημα 80 ετών και οπωσδήποτε προβληματίζει. Με βάση τα στοιχεία του Ι.Γ.Μ.Ε., το διάστημα 1989 - 90 παρατηρείται η πιο έντονη μείωση βροχοπτώσεων στη χώρα. Το σύνολο των υπόγειων νερών μειώθηκε κατά 38 % σε σχέση με το μέσο ετήσιο όγκο. Το 1993 (1/10) τα αποθέματα νερού στην Ελλάδα κατέβηκαν στα 120 εκατ. κυβικά νερού, που δεν επαρκούσαν ούτε για ένα εξάμηνο. Ευτυχώς, τους επόμενους μήνες έβρεξε!

Η πιο πρόσφατη σημαντική μείωση των αποθεμάτων νερού σημειώθηκε το 2007, όταν αυτά έπεσαν στα 480 εκατ. κυβικά μέτρα, ενώ το 2006 ήταν υπερδιπλάσια (1.140 εκατ. κυβικά μέτρα).

Πέρα και πάνω από τα στοιχεία, είναι οι ίδιες οι μαρτυρίες των τοπικών φορέων και των πολιτών των περιοχών που υποφέρουν από την έλλειψη νερού. Όπως χαρακτηριστικά υπογραμμίζεται και από τα αποτελέσματα της πρόσφατης έρευνας του Ευρωβαρομέτρου για το νερό (Flash Eurobarometer on Water, European Commission, 2009), περισσότεροι από το 50 % των Ελλήνων ανησυχούν ιδιαίτερα

για τη διαθεσιμότητα του νερού, ενώ το 71 % των Ελλήνων αισθάνονται ότι η ποιότητα του νερού έχει χειροτερέψει. Τα υψηλά ποσοστά ανησυχίας και ευαισθητοποίησης των Ελλήνων πολιτών συνδέονται, επίσης, με την έλλειψη έργων αντιμετώπισης των ποιοτικών αλλά και ποσοτικών προβλημάτων που αντιμετωπίζονται σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας (έλλειψη νερού στα νησιά του Αιγαίου, ρύπανση του νερού με φυτοφάρμακα και νιτρικά στην περιοχή της Θεσσαλίας, βαρέα μέταλλα και υφαλμύριση στα νερά της Χαλκιδικής, διασυνοριακή ρύπανση των επιφανειακών νερών στη Βόρεια Ελλάδα, κτλ).

Σύμφωνα με τη γενική διευθύντρια του Εργαστηρίου Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων και καθηγήτρια στο ΕΜΠ, Μαρία Μιμίκου, στην Ελλάδα υπάρχει ένα ιδιόμορφο υδρολογικό καθεστώς. Η Δυτική Ελλάδα δέχεται το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων, ενώ στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη παρατηρούνται σημαντικά μικρότερες βροχοπτώσεις. Τα μεγαλύτερα (ετήσια) ύψη βροχής σημειώνονται πάνω από τις ορεινές και τις δυτικές περιοχές, λόγω της επίδραση του αναγλύφου. Το αυξημένο ύψος βροχής, που παρατηρείται στις δυτικές περιοχές της Ελλάδας, αποδίδεται στις κινούμενες υφέσεις από τα δυτικά προς τα ανατολικά, οι οποίες συναντούν πρώτα αυτές τις περιοχές όπου και εναποθέτουν τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, αφού οι αέριες μάζες εγκλωβίζονται από το ανάγλυφο, το οποίο με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο τις εμποδίζει να υπερπηδήσουν την οροσειρά της Πίνδου.



Εικόνα 13: Η γεωγραφική κατανομή του ετήσιου ύψους βροχής στην Ελλάδα [54]

Στην υπήνεμη ηπειρωτική Ελλάδα εμφανίζονται μικρότερα ύψη βροχής από τη δυτική προσηνεμη εξαιτίας της ελάττωσης σε υδρατμούς των αέριων μαζών λόγω των καθοδικών κινήσεων που προκαλούνται. Τα μικρότερα ύψη βροχής σημειώνονται πάνω από τις ανατολικές ακτές της Ελλάδας και στα νησιά του κεντρικού και νότιου Αιγαίου καθώς οι οροσειρές της Κρήτης και της ΝΑ Πελοποννήσου αποτελούν φραγμό για τους νότιους υγρούς ανέμους, αφού κατακρατούν μεγάλο μέρος των υδρατμών που αυτοί περιέχουν. Έτσι, οι νότιες και ανατολικές περιοχές της χώρας παρουσιάζουν σοβαρή έλλειψη φυσικών διαθεσίμων νερού. Παράλληλα, η ζήτηση σε νερό είναι αντιστρόφως ανάλογη. Στις περιοχές με έντονες βροχές, η ζήτηση για νερό είναι μειωμένη, ενώ στην ανατολική Ελλάδα, όπου οι βροχοπτώσεις είναι σπανιότερες, η ζήτηση σχεδόν τριπλασιάζεται.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το κύριο χαρακτηριστικό των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα είναι η άνιση κατανομή τους στο χώρο και το χρόνο. Το έντονο ανάγλυφο, οι πολλές και σχετικά μικρές λεκάνες απορροής, η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με τη

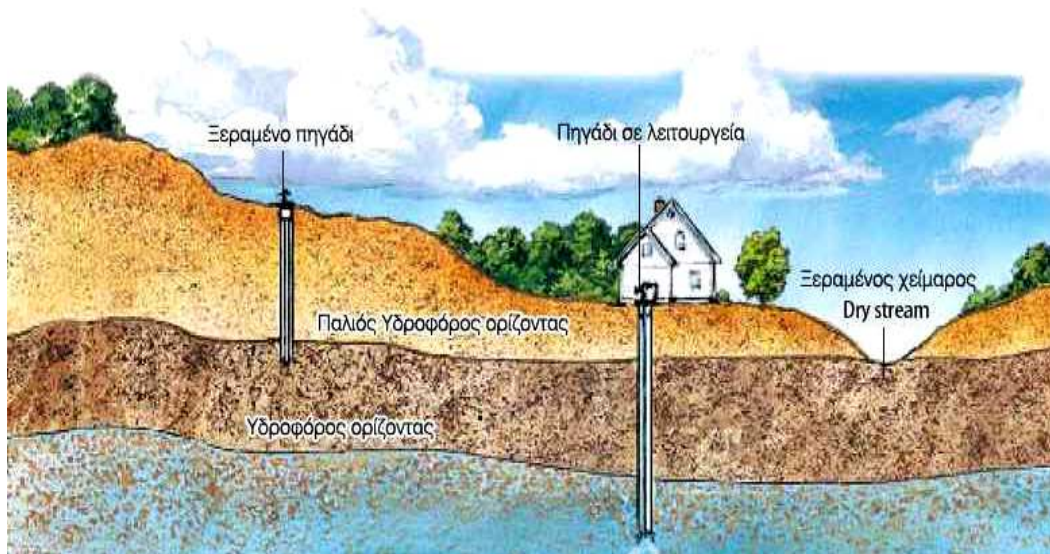
συγκέντρωση του πληθυσμού και των κυριότερων δραστηριοτήτων (μεγάλες πόλεις, γεωργία, τουρισμός) στα ξηρότερα μέρη της χώρας, προκαλούν τελικά προβλήματα διαθεσιμότητας και κάνουν δύσκολη τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Σε πολλές περιοχές της Ελλάδας δεν αποκλείεται να δημιουργηθούν σχεδόν μόνιμες συνθήκες λειψυδρίας, δηλαδή διαρκούς επικινδυνότητας έλλειψης νερού και μη κάλυψης της ζήτησης με παράλληλη υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων.

Ο χρόνος πλέον είναι πολύτιμος και απαιτείται στρατηγικό σχέδιο αξιοποίησης των φυσικών διαθέσιμων του νερού. Χρειαζόμαστε τη χάραξη Εθνικής Υδατικής Πολιτικής, ενώ αναγκαία είναι η άμεση εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας Πλαίσιο 2000/60 (για την προστασία των υδάτων) με τη δημιουργία ειδικού Ινστιτούτου, αρμόδιου για σύνταξη μελετών.

Στη χώρα μας τα προβλήματα του νερού σήμερα συνοψίζονται :

- Στην πτώση της στάθμης των υδροφόρων οριζώντων και στη λειψυδρία, σύμφωνα με στοιχεία του Εθνικού Κέντρου Πρόληψης Καταστροφών. (Εικόνα 14)
- Στην εντατική και μη ορθολογική εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων, π.χ το πλήθος των ανεξέλεγκτων γεωτρήσεων.
- Στην εκτεταμένη ρύπανση των υπόγειων νερών από τη γεωργία και την ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.
- Στην έλλειψη επαρκών δεδομένων σχετικά με την ποσότητα και την ποιότητα των νερών.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ότι υπάρχει μείωση στα αποθέματα του υπόγειου νερού, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα. Έτσι πηγάδι που στο παρελθόν ήταν ενεργό, τώρα δεν τροφοδοτείται με νερό, ενώ πηγάδι με μεγαλύτερο βάθος είναι ακόμη σε λειτουργία.



Εικόνα 14: Πτώση της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα [64]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

2. Σχέση υπόγειων και επιφανειακών υδάτων

Στη φύση το νερό συναντάται ως επιφανειακό και υπόγειο. Τα επιφανειακά νερά είναι εκείνες οι ποσότητες των νερών που προέρχονται από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις και δεν εισχωρούν στο υπέδαφος, αλλά παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους και είτε συγκεντρώνονται σε φυσικές δεξαμενές (λίμνες), είτε ρέουν από υψηλότερες προς χαμηλότερες περιοχές μέσω πολύπλοκων ή όχι διαδρομών (π.χ ποτάμια). Τα υπόγεια νερά προέρχονται από τα νερά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τα οποία διαπερνούν το έδαφος και γεμίζουν τους πόρους των υδροπερατών πετρωμάτων.

Ο διαχωρισμός των υδατικών πόρων σε υπόγειους και επιφανειακούς είναι ένας διαχωρισμός τεχνητός και ορισμένες φορές, τουλάχιστον από άποψη διαχείρισης, αποπροσανατολιστικός, αφού υπάρχει μια δυναμική σχέση που τους συνδέει, όταν υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Έτσι η μεταβολή στις υδραυλικές συνθήκες, που ορίζουν τη λειτουργία επιφανειακών υδατικών πόρων, έχει άμεσες επιπτώσεις στις συνθήκες λειτουργίας υπόγειων υδατικών πόρων, όταν βέβαια υπάρχει μεταξύ τους υδραυλική επικοινωνία, και αντιστρόφως.



Εικόνα 15: Οι χείμαρροι και οι λιμνούλες σχηματίζονται εκεί που ο υδροφόρος ορίζοντας συναντάει την επιφάνεια της Γης

Οι λεκάνες απορροής (ή αποστράγγισης) των επιφανειακών υδάτων συνοδεύονται από ένα δίκτυο υπόγειων νερών, το οποίο, όμως, δεν ακολουθεί πάντα την ίδια πορεία με τα επιφανειακά ύδατα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα υπόγεια ύδατα συχνά να υπάγονται σε διαφορετική λεκάνη απορροής από τα επιφανειακά. Παρόλα αυτά, τα υπόγεια νερά δεν μπορούν να διαχωριστούν από τα επιφανειακά νερά, επειδή επηρεάζουν και επηρεάζονται τόσο από την ποιότητα όσο και από την ποσότητα αυτών. Ως παραδείγματα μπορούν να αναφερθούν τα εξής :

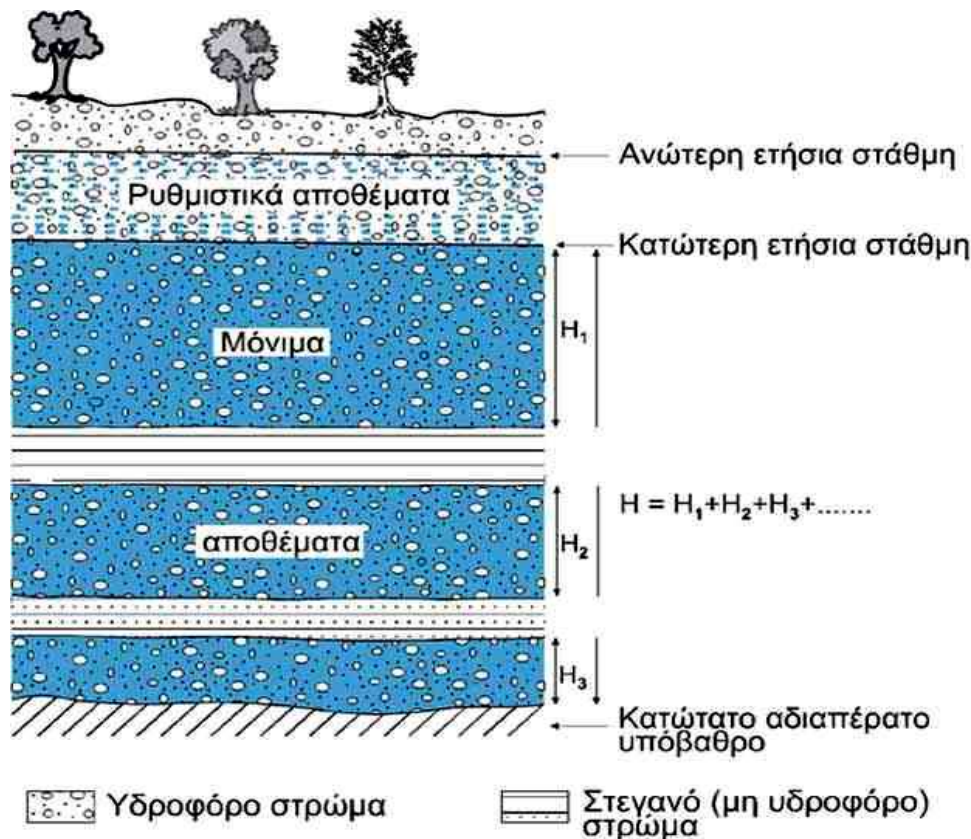
- Η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ λίμνης ή ποταμού με υποκείμενο υδροφορέα, που έχει σαν συνέπεια ροή από ή προς τον υδροφορέα. Με ανθρώπινες επεμβάσεις μπορεί να ελεγχθεί και να αξιοποιηθεί η ροή αυτή για διάφορους σκοπούς.
- Τα νερά των πηγών, τα οποία αναβλύζουν από το έδαφος αλλά κατόπιν ρέουν επιφανειακά. Οποιαδήποτε μεταβολή στη στάθμη των υπόγειων νερών επηρεάζει άμεσα και την παροχή των πηγών.

2.1 Υπόγεια νερά - Υδροφορείς

Ένας από τους μεγάλους θησαυρούς που ο γαλάζιος μας πλανήτης κρύβει μέσα του, είναι τα **υπόγεια νερά**. Είναι τα αποθέματα του γλυκού νερού που υπάρχουν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανεξαρτήτως προέλευσης, βάθους και κατάστασης και αποτελούν το 0,61 % του συνολικού νερού της γης. Η κυριότερη πηγή τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα θα μπορούσαν αναλογικά να ονομαστούν και «υδροφόρα κοιτάσματα» αφού έχουν και αυτά ορισμένα αποθέματα.

Όμως στα «υδροφόρα κοιτάσματα», και μόνο σε αυτά, υπάρχει μία χαρακτηριστική διαφορά σε σχέση με όλα τα άλλα κοιτάσματα (π.χ. του βωξίτη): στα άλλα κοιτάσματα εφόσον γνωρίζουμε τις ποσότητές τους είναι αυτές και μόνο. Δεν ανανεώνονται, ούτε αυξάνονται, ούτε μειώνονται χωρίς επέμβαση του ανθρώπου. Π.χ. αν ένα κοιτάσμα βωξίτη έχει 1.000.000 τόνους, η ποσότητα αυτή ούτε ανανεώνεται ούτε μειώνεται ούτε αυξάνεται από μόνη της.

Αν εξορύξουμε 500.000 τόνους, απομένει υπόλοιπο 500.000 τόνοι που δεν μεταβάλλεται σε ιστορικό χρόνο: ούτε αυξάνεται, ούτε μειώνεται. Με τα «υδροφόρα κοιτάσματα» όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Αν αντλήσουμε από ένα υδροφόρο στρώμα, άρα από τα αποθέματά του, ορισμένη ποσότητα, αυτή είναι δυνατό, με φυσικές διαδικασίες (π.χ. με κατείδυση του νερού της βροχής) να αναπληρωθεί στο ακέραιο. Ακόμα μέσα στον ετήσιο υδρολογικό κύκλο, ορισμένες κατηγορίες αποθεμάτων υπόγειου νερού αυξομειώνονται. Τα πιο πάνω είχαν δημιουργήσει σύγχυση σε σχέση με τις κατηγορίες αποθεμάτων υπόγειου νερού και τις μεταβολές του.



Εικόνα 16: Αποθέματα υπόγειου νερού [75]

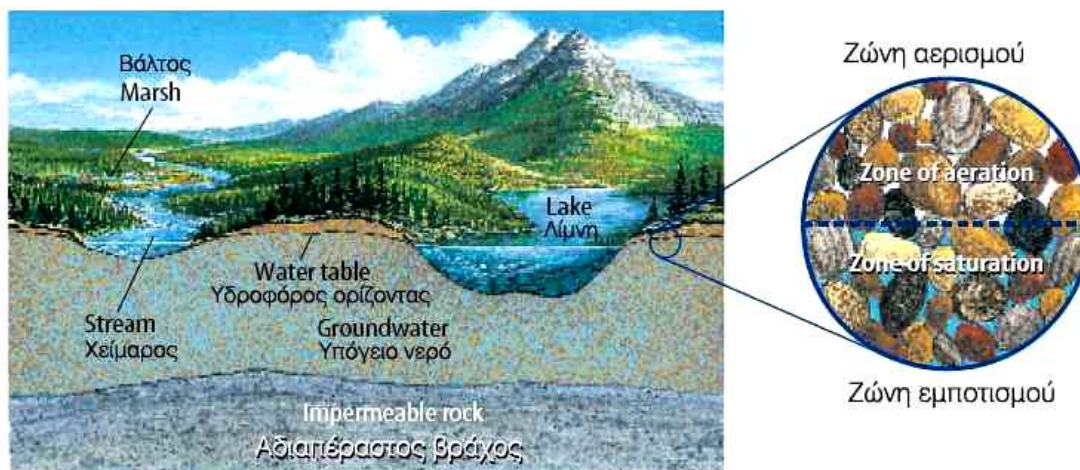
Εκτός από την έννοια «αποθέματα», χρησιμοποιήθηκαν οι έννοιες «υδατικοί πόροι», «υδατικό δυναμικό», «απόδοση» (με διάφορους επιθετικούς προσδιορισμούς) κ.λπ. Έτσι επικράτησε, και σε κάποιο μέτρο επικρατεί ακόμη και σήμερα, κάποια σύγχυση που εκτός των άλλων δημιουργείται και από τη μη καθιέρωση μιας αποδεκτής και χρησιμοποιούμενης από όλους ορολογίας. Το πρόβλημα της ορολογίας επιτείνεται περισσότερο όταν οι διάφορες σχολές Υδρογεωλογίας (π.χ. η Αμερικανική, η Γαλλική, η Γερμανική κ.λπ.) χρησιμοποιούν διαφορετικούς όρους και διαφορετικές προσεγγίσεις.

Με κριτήριο την κυκλοφορία του στο υπέδαφος το υπόγειο νερό διακρίνεται σε :

- **Νερό βαρύτητας :** είναι το νερό που υπακούει στους νόμους της βαρύτητας, συμμετέχει στην υπόγεια κυκλοφορία και μπορεί εύκολα να αντληθεί ή να επανέλθει στην επιφάνεια.
- **Νερό συγκράτησης :** είναι το νερό που δεν υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και συνεπώς δεν παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία (υμενώδες, υγροσκοπικό και τριχοειδές νερό). Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις συνάφειας υπερνικούν τις δυνάμεις βαρύτητας και το νερό δεν μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση.

Θεωρώντας το έδαφος ομογενές η κίνηση του νερού γίνεται ως εξής :

Επιφανειακό νερό π.χ. από βροχοπτώσεις ή αρδεύσεις διηθείται από την επιφάνεια του εδάφους και κινείται κυρίως εξαιτίας της βαρύτητας προς τα κάτω. Βρίσκοντας ένα αδιαπέρατο πέτρωμα σε κάποιο βάθος συσσωρεύεται γεμίζοντας όλα τα διάκενα του γεωλογικού σχηματισμού μέχρι μια ανώτατη επιφάνεια που αποτελεί το πάνω όριο της ζώνης κορεσμού και που ονομάζεται *ελεύθερη επιφάνεια ή υδροφόρος ορίζοντας*. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, σχηματίζοντας μέσα σε αυτούς υπόγειες δεξαμενές ώστε να μπορούν να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις ή πηγές, επιτρέποντας όμως και την κίνηση του νερού μέσα σε αυτούς ονομάζονται **υδροφορείς**.



Ο υδροφόρος ορίζοντας ακολουθεί το ανάγλυφο του εδάφους όσο παράξενο κι αν ακούγεται αυτό

Το νερό φτάνει στους υδροφορείς μέσα από πορώδη, κυρίως αμμώδη, εδάφη. Μεταξύ των μικρών σωματιδίων που συνθέτουν τα πορώδη εδάφη υπάρχουν κενά τα οποία επιτρέπουν την αποστράγγιση του νερού.

Το πορώδες (n) ή ολικό πορώδες είναι ένα μέτρο των διακένων (πόρων, κενών, ρωγμών) που υπάρχουν σε ένα πέτρωμα ή έδαφος και εκφράζεται με το λόγο του συνολικού όγκου των διακένων (V_k) προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος εδάφους ($V_{ολ}$) : $n = V_k / V_{ολ}$

Το **ενεργό πορώδες** αναφέρεται στο ποσό των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν τη ροή του υπόγειου νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Τα διάκενα που δεν συνεισφέρουν στη ροή αυτή καταλαμβάνονται από νερό συγκράτησης. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς το ενεργό πορώδες κυμαίνεται από 0 - 3 % (άργιλος) έως 20 % (χαλίκια).

Το πορώδες χαρακτηρίζεται σαν **πρωτογενές**, δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια σχηματισμού του πετρώματος και σαν **δευτερογενές**, δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης του έμβιου κόσμου κ.ά. Το πρωτογενές πορώδες εξαρτάται από τη διάταξη, το μέγεθος και τη μορφή των κόκκων.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται ανάλογα με τη δυνατότητα που παρέχουν στο νερό να διεισδύσει και να κινηθεί μέσα στη μάζα τους με την επίδραση της βαρύτητας σε τρεις κατηγορίες : τους υδροπερατούς, τους αδιαπέρατους και τους ημιπερατούς σχηματισμούς.

Υδροπερατοί σχηματισμοί : Ονομάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επιτρέπουν τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού διαμέσου της μάζας τους και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

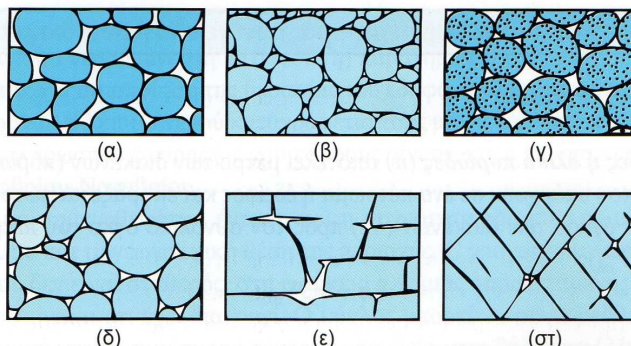
- Μικροδιαπερατά : πρόκειται για χαλαρά υλικά (άμμοι, χάλικες, κροκάλες) ή συμπαγή πετρώματα που η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο πρωτογενές πορώδες.

- Μακροδιαπερατά : πρόκειται για πετρώματα που η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες.

Είναι σύνηθες οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί να είναι μικρο - και μακρο - διαπερατοί.

Αδιαπέρατοι σχηματισμοί : είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρόλο που ορισμένες φορές έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης του νερού, δεν επιτρέπουν την κίνηση του όμως διαμέσου της μάζας τους, υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. (π.χ. άργιλος)

Ημιπερατοί σχηματισμοί : Ενδιάμεση κατηγορία γεωλογικών σχηματισμών που επιτρέπουν σε κάποιο βαθμό την κίνηση νερού σε αυτούς, η οποία όμως γίνεται με πολύ μικρές ταχύτητες (π.χ. φακοί αργίλου σε εναλλαγή με αμμώδη εδάφη).



Εικόνα 17: Παραδείγματα διακένων: α) καλή διαβάθμιση υλικού με υψηλό πορώδες, β) φτωχή διαβάθμιση με μικρό πορώδες, γ) καλή διαβάθμιση σε πορώδη χαλίκια με υψηλό πορώδες, δ) καλή διαβάθμιση με παρουσία ορυκτής ύλης και μειωμένο πορώδες, ε) πορώδες από διάλυση, στ) πορώδες από ρηγμάτωση (Meinzer, 1923). [2]

Η παρουσία του υπόγειου νερού στο υπέδαφος μπορεί να διακριθεί σε δύο ζώνες :

1. Ζώνη αερισμού : Η ζώνη αυτή αποτελείται από διακένα, που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα (διφασική ροή). Υποδιαιρείται σε :

- Υποζώνη εδαφικού νερού μικρού πάχους, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τη βλάστηση, όπου η υγρασία μεταβάλλεται ανάλογα με τους κλιματικούς παράγοντες.
- Ενδιάμεση ζώνη όπου το νερό συγκρατείται με υγροσκοπικές και τριχοειδείς δυνάμεις και από την οποία το νερό πρέπει να περάσει κινούμενο προς τη ζώνη κορεσμού.
- Τριχοειδή υποζώνη με ύψος που μεταβάλλεται, αντιστρόφως ανάλογα, με το μέγεθος των διακένων (20 -πλάσια στη λεπτόκοκκη άμμο από τους χάλικες). Στα αργιλώδη εδάφη το αναπτυσσόμενο δυναμικό από τριχοειδή φαινόμενα είναι μεγάλο, σε αντίθεση με τα αμμώδη εδάφη στα οποία είναι ασήμαντο.

2. Ζώνη κορεσμού : Όλα τα διακένα της ζώνης αυτής είναι γεμάτα με νερό κάτω από υδροστατική πίεση (μονοφασική ροή). Αντιπροσωπεύει ουσιαστικά το υδροφόρο στρώμα και η επάνω επιφάνεια της ζώνης αυτής είναι η ελεύθερη (φρεατία) επιφάνεια. Η ζώνη αυτή μπορεί να μας τροφοδοτήσει με νερό και ως εκ τούτου έχει ιδιαίτερη σημασία. Το επιφανειακό νερό με την επίδραση της βαρύτητας, της υδροστατικής πίεσης, των τριχοειδών δυνάμεων κ.λπ. διεισδύει στο έδαφος διαμέσου των διακένων και κινείται προς την κορεσμένη ζώνη, εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς. Η κατείδυση δηλαδή αναφέρεται στην κατακόρυφη κίνηση του νερού στη ζώνη αερισμού και η διήθηση στην κίνηση του νερού στην κορεσμένη ζώνη.



Εικόνα 18: ζώνες του υπόγειου νερού κατανομή στο υπέδαφος [56]

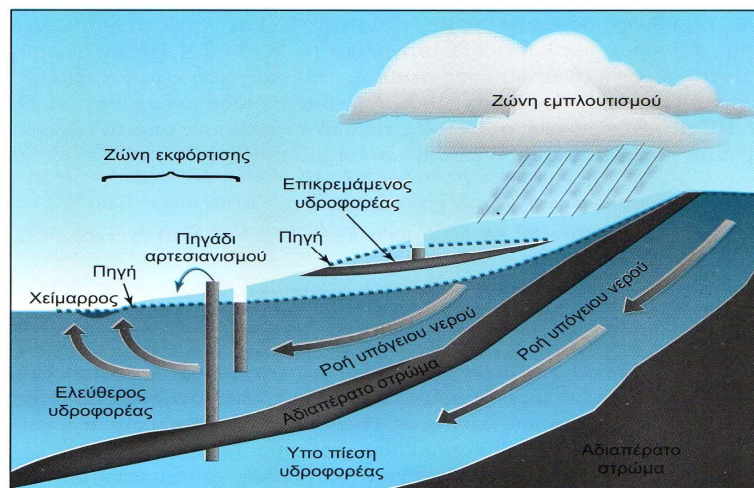
2.2 Τύποι υδροφορέων - Υδραυλικά χαρακτηριστικά

Ο βασικός διαχωρισμός των υπόγειων υδροφορέων γίνεται σε συνάρτηση με το αν υπάρχει στον υδροφορέα ελεύθερη επιφάνεια νερού ή όχι. Με αυτό το κριτήριο διακρίνονται σε :

α) Ελεύθερους ή Φρεάτιους : λέγονται οι υδροφορείς που ενώ το κάτω όριό τους συμπίπτει με αδιαπέρατο σχηματισμό, το πάνω όριό τους είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι τροφοδοτούνται απευθείας με διηθούμενο από την επιφάνεια νερό εκτός αν περιορίζονται και από πάνω με αδιαπέρατη στρώση, η οποία βέβαια βρίσκεται ψηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

β) Περιορισμένους ή Υπό πίεση : λέγονται οι υδροφορείς που περιορίζονται από πάνω και από κάτω από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς. Χαρακτηριστικό ενός υπό πίεση υδροφορέα είναι ότι αν ανοιχτεί ένα πηγάδι μέσα σ' αυτόν τότε η στάθμη του νερού θα ανέβει ψηλότερα από το αδιαπέρατο στρώμα και ίσως φτάσει ως την επιφάνεια του εδάφους. Αν τοποθετηθεί σωστά ένα φρέαρ παρατήρησης ή πιεζόμετρο, όπως λέγεται, η στάθμη του νερού σ' αυτό θα δείχνει το πιεζομετρικό φορτίο στη συγκεκριμένη θέση. Επομένως, πιεζομετρική επιφάνεια είναι η ιδεατή εκείνη επιφάνεια που θα ορίζονταν από τις στάθμες πιεζομέτρων σε διάφορα σημεία κατά την οριζόντια έκταση του υπόγειου υδροφορέα. Ένας περιορισμένος υδροφορέας λέγεται αρτεσιανός όταν η στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειάς του βρίσκεται ψηλότερα από τη στάθμη εδάφους. Αν ανοιχτεί φρέαρ σε τέτοιο υδροφορέα, το νερό θα παρουσιάζει ελεύθερη ροή χωρίς να χρειάζεται άντληση. Περιοχή επανατροφοδότησης περιορισμένου υδροφορέα λέγεται η περιοχή, συνήθως κοντά στα όρια, η οποία παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια και δέχεται τα νερά της βροχής ή υπερκείμενων στρώσεων.

γ) Ημίαρτεσιανούς ή Υπό μερική πίεση : Είναι περιπτώσεις υδροφορέων (υπό πίεση ή ελεύθεροι) στους οποίους τα τυχόν αδιαπέρατα στρώματα δεν είναι τελείως αδιαπέρατα αλλά παρόλη τη μεγάλη αντίσταση που προβάλλουν στην κίνηση του νερού, όταν πρόκειται για μεγάλης έκτασης υδροφορείς, η ποσότητα νερού που μπορεί να μπει στον υδροφορέα είναι σημαντική. Σ' αυτή την περίπτωση οι υδροφορείς λέγονται υπό πίεση με διαρροή υδροφορείς ή φρεάτιοι με διαρροή υδροφορείς (ανάλογα αν είναι φρεάτιοι ή υπό πίεση).



Εικόνα 19: Τύποι υδροφορέων [2]

Εκτός από το να αποτελεί μια πηγή παροχής νερού, ένας υδροφορέας εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς. Οι πολλαπλές λειτουργίες ενός υδροφορέα είναι οι εξής :

1. Πηγή παροχής νερού : Είναι η πιο βασική λειτουργία. Τα υπόγεια νερά μπορούν να θεωρηθούν ανανεώσιμοι πόροι, λόγω της επαναπλήρωσης των αποθεμάτων με τις κατακρημνίσεις. Η επαναπλήρωση μπορεί να γίνει και από γειτονικά επιφανειακά νερά ποταμών ή λιμνών.
2. Δεξαμενή αποθήκευσης : Οι φρεάτιοι υδροφορείς, λόγω της μεγάλης τους έκτασης και των τεράστιων όγκων τους, μπορούν να αποθηκεύσουν πολύ μεγάλες ποσότητες νερού. Η αποθηκευτική ικανότητα των υδροφορέων αυξάνεται ακόμα περισσότερο με την τεχνική του τεχνητού εμπλουτισμού.

3. Ο υδροφορέας ως αγωγός μεταφοράς : Η λειτουργία αυτή είναι δυνατή μόνο με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα αφού προϋποθέτει τον έλεγχο της κίνησης του νερού με μεταβολή των υδραυλικών κλίσεων στον υδροφορέα. (π.χ. εισαγωγή νερού με φρέατα φόρτισης).

4. Ο υδροφορέας ως φίλτρο καθαρισμού : Με διάφορες τεχνικές τεχνητού εμπλουτισμού, ακάθαρτα επιφανειακά νερά μπορούν να διηθηθούν στο έδαφος για μερικό ή πλήρη καθαρισμό τους. Το κοινό στοιχείο κάθε χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας είναι ότι χρησιμοποιούνται οι σχετικές ιδιότητες καθαρισμού που έχουν οι υδροφορείς και που οφείλονται τόσο στη στερεά φάση (προσρόφηση κλπ.) όσο και στις πολύ μικρές ταχύτητες ροής των μολυσμένων νερών.

5. Έλεγχος ροής υδατορευμάτων : Η λειτουργία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στα ποτάμια όσο και στις πηγές, με τη ρύθμιση της στάθμης των υπόγειων νερών στους υδροφορείς που επικοινωνούν υδραυλικά μαζί τους.

Ο μηχανισμός φόρτισης των υπόγειων υδροφορέων έχει να κάνει με την κίνηση των νερών που συσσωρεύονται στο έδαφος και εφόσον τα ανώτερα στρώματά του είναι διαπερατά, το νερό κινείται, κίνηση που όμως εξαρτάται από τρεις παράγοντες :

- την ικανότητα απορρόφησης νερού από το έδαφος,
- την ικανότητα κατακόρυφης διήθησης νερού στο έδαφος και
- την ικανότητα οριζόντιας κίνησης του νερού στη ζώνη κορεσμού.

Η ικανότητα κατακόρυφης διήθησης του νερού είναι η διηθητικότητα και αφορά στο ρυθμό με τον οποίο το νερό απορροφάται από το έδαφος. Η τιμή της είναι σταθερή για κάθε έδαφος και ίση με τη μέγιστη ροή που μπορεί να απορροφηθεί από το εδαφικό προφίλ όταν στην επιφάνεια το νερό βρίσκεται σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

Η ικανότητα του εδάφους για κατακόρυφη διήθηση χαρακτηρίζεται από τη διαπερατότητά του. Ο ρυθμός απορρόφησης νερού από την επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το χρόνο της διήθησης και μειώνεται με το χρόνο.

Η ένταση της φόρτισης (όταν γίνεται μεγάλη), η απόθεση στο έδαφος αιωρούμενων υλικών και η διόγκωση του εδάφους είναι ορισμένοι παράγοντες που συντελούν στη μείωση του ρυθμού απορρόφησης νερού από το έδαφος. Η ικανότητα οριζόντιας κίνησης του εδάφους εξαρτάται από τη διαπερατότητά του, από το πάχος του υδροφορέα αλλά και από το ισχύον πεδίο ροής.

Υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων

Τα σημαντικότερα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφορέων είναι :

A) Το υδραυλικό φορτίο

Τα υπόγεια νερά κινούνται με την επίδραση της συνολικής ενέργειας που φέρουν και η οποία ανά μονάδα όγκου ισούται με το άθροισμα της κινητικής, της δυναμικής και της υδροστατικής. Πρακτικά η ενέργεια αυτή (H) ανά μονάδα βάρους (ή υδραυλικό φορτίο) είναι ίση με το άθροισμα του **φορτίου πίεσης** P/γ (pressure head) και του **φορτίου ύψους** (ή υψομετρικό ή θέσης) της απόστασης δηλαδή από το επίπεδο αναφοράς z (elevation head) :

$$H = (P/\gamma) + z$$

Όπου P = η υδροστατική πίεση και γ = το ειδικό βάρος του νερού ίσο με την πυκνότητά του επί την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Το φορτίο H αναφέρεται και ως πιεζομετρικό φορτίο ή πιεζομετρικό δυναμικό και ταυτίζεται με το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού σε μια γεώτρηση ανορυγμένη σε ελεύθερο υδροφορέα. Στους υπό πίεση υδροφορείς το φορτίο είναι το απόλυτο υψόμετρο που θα έφτανε το νερό, αν ο σωλήνας της γεώτρησης επεκτεινόταν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι η κίνηση του υπόγειου νερού σε ένα πορώδες μέσο οφείλεται στην υδροστατική πίεση και στη θέση του ως προς το επίπεδο αναφοράς. Οι γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου (ισοδυναμικές γραμμές) μπορεί να απεικονισθούν με τη βοήθεια χαρτών. Οι γραμμές ροής είναι κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές.

Η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ανά μονάδα μήκους κατά τη διεύθυνση της υπόγειας ροής ονομάζεται **υδραυλική κλίση** και δίνεται από τη σχέση :

$$i = dH/dl$$

Το υδραυλικό φορτίο H σε ένα σημείο του πορώδους μέσου πολλαπλασιασμένο με την επιτάχυνση της βαρύτητας g , δίνει το δυναμικό ροής Φ στο σημείο αυτό : $\Phi = Hg$

Με άλλα λόγια το Φ είναι η ενέργεια ανά μονάδα μάζας και το H η ενέργεια ανά μονάδα βάρους. Το υδραυλικό φορτίο δεν μένει σταθερό, αλλά μειώνεται κατά την κίνηση του υπόγειου νερού, λόγω απωλειών (τριβές).

B) Διαπερατότητα - Υδροπερατότητα

Η **διαπερατότητα** είναι μια σταθερά, που εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (το σχήμα, το μέγεθος, τη διάταξη των κόκκων) με διαστάσεις L^2 .

Η **υδροπερατότητα** ή **υδραυλική αγωγιμότητα** (k) χρησιμοποιείται στην Υδρογεωλογία γιατί το ρευστό είναι το νερό. Ένα μέσο έχει υδραυλική αγωγιμότητα ίση με τη μονάδα, όταν μεταβιβάζει στη μονάδα του χρόνου κάθετα στη διεύθυνση της υπόγειας ροής, τη μονάδα του όγκου νερού από μοναδιαία διατομή με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους. Το κινηματικό ιξώδες σχετίζεται με την εσωτερική τριβή, την αντίσταση δηλαδή του υγρού στη ροή. Η υδραυλική αγωγιμότητα έχει διαστάσεις ταχύτητας LT^{-1} και υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy.

Γενικά οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως :

- Πολύ υδροπερατοί όταν $k \geq 10^{-1}$ m/s
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} < k < 10^{-1}$ m/s
- Λίγο υδροπερατοί όταν $10^{-9} < k < 10^{-6}$ m/s
- Πρακτικά στεγανοί όταν $k \leq 10^{-9}$ m/s

Πίνακας 1: Τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας (Καλλέργης, 1999)

Υλικό	k (m/s)
Μεγάλα χαλίκια	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Χαλίκια μεσαίου μεγέθους	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Χαλίκια μικρού μεγέθους	$5,2 \cdot 10^{-3}$
Χονδρόκοκκη άμμος	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Μεσόκοκκη άμμος	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Λεπτόκοκκη άμμος	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Ιλύς	$9,2 \cdot 10^{-7}$
Άργιλος	$2,3 \cdot 10^{-9}$

Η διαπερατότητα (K_s) συνδέεται με την υδραυλική αγωγιμότητα (k) με τη σχέση :

$$K_s = k\mu / \gamma$$

όπου, μ = το δυναμικό ιξώδες (μονάδες $ML^{-1}T^{-1}$ δηλ. $N \cdot s/m^2$ ή poise $P = dyn \cdot s/cm^2$) γ = το ειδικό βάρος του ρευστού (N/m^3).

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από επιτόπου πειραματικές μετρήσεις, από δοκιμαστικές αντλήσεις, από την κοκκομετρία με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων, με εργαστηριακές μεθόδους και με ιχνηθετήσεις. Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, ως μέτρο κίνησης του νερού σε ακόρεστο μέσο, είναι μικρότερη από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας σε κορεσμένο μέσο. Με βάση την περιεκτικότητα του νερού, η υδραυλική αγωγιμότητα ενός ακόρεστου μέσου (k_{unsat}) σε σχέση με την κορεσμένη τιμή (k) δίνεται από τη σχέση :

$$k_{unsat} = k [(S_s - S_o) / (1 - S_o)]^3$$

Όπου: $S_s=0$ βαθμός κορεσμού και $S_o=0$ υπολειμματικός κορεσμός που αντιπροσωπεύει το νερό των πόρων που δεν κινείται και δεσμεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις (Καλλέργης κ.ά, 2004).

Γ) Μεταβιβαστικότητα (Transmissivity)

Είναι το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος (D) :

$$T=kD$$

Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει τον όγκο νερού που περνά από μια μοναδιαία διατομή του υδροφόρου στρώματος με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους.

Δ) Αποθηκευτικότητα (Storativity)

Ο συντελεστής εναποθήκευσης ή αποθηκευτικότητας ή υδροχωρητικότητας (S) είναι ο όγκος νερού που μπορεί να ληφθεί ή αποθηκευθεί από ένα κατακόρυφο πρίσμα ενός υδροφόρου στρώματος με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου. Έτσι η αποθηκευτικότητα ορίζεται από τη σχέση :

$$S = \Delta V / (A \cdot \Delta h)$$

Όπου ΔV είναι ο όγκος νερού που απελευθερώνεται (ή προστίθεται) από τη μονάδα οριζόντιας επιφάνειας A, εξαιτίας μοναδιαίας πτώσης (ή αύξησης) του φορτίου Δh .

Από τον ανωτέρω ορισμό προκύπτει ότι ο **ρυθμός ταπεινώσης της στάθμης** ($\Delta h / \Delta t$) σε έναν υδροφορέα επιφάνειας A και συντελεστή αποθηκευτικότητας S, για άντληση με παροχή Q, χωρίς να συμβαίνει εμπλουτισμός, δίνεται από τη σχέση :

$$\Delta h / \Delta t = Q / (S \cdot A)$$

Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας είναι καθαρός αριθμός και στους ελεύθερους υδροφορείς παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 1 % - 30 %, ενώ στους υπό πίεση από 0,0001 % - 0,5 %. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον διαφορετικό μηχανισμό απελευθέρωσης νερού από τα ανωτέρω είδη υδροφορέων. Στους υπό πίεση υδροφορείς η αφαίρεση ή η προσθήκη νερού οφείλεται σε διόγκωση του νερού και συμπίεση του υδροφορέα και συνεπώς η αποθηκευτικότητα είναι συνάρτηση της ελαστικότητας του υδροφορέα και της συμπίεσής του περιεχομένου σε αυτόν υλόγειο νερού. Πρακτικά σημαίνει ότι για να πάρουμε αξιόλογες ποσότητες από τα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα απαιτούνται μεγάλες πτώσεις της πιεζομετρικής στάθμης και σε μεγάλη έκταση υδροφορέα. Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας S στους ελεύθερους υδροφορείς συμπίπτει με το ενεργό πορώδες, ενώ στους υπό πίεση υδροφορείς ισχύει:

$$S = \gamma D (\alpha + \beta S_y)$$

όπου γ = το ειδικό βάρος του νερού, D = το πάχος του υδροφορέα, S_y = το ενεργό πορώδες, α = ο συντελεστής συμπίεσής του υδροφορέα και β = ο συντελεστής συμπίεσής του νερού.

2.3 Κίνηση του υπόγειου νερού - Νόμος Darcy

Η κίνηση των υπόγειων νερών ακολουθεί τους νόμους των Νευτώνων ρευστών. Το νερό είναι *Νευτώνειο ρευστό* και αυτό σημαίνει ότι η διατμητική τάση (τ = δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας) είναι ανάλογη της βαθμίδας (du/dy) και του **δυναμικού ιξώδους** (μ):

$$\tau = \mu (du / dy)$$

Η σχέση αυτή αποτελεί το νόμο της εσωτερικής τριβής (ιξώδες) του Νεύτωνα. Ιξώδες είναι η αντίσταση ενός υγρού στη ροή και συσχετίζεται με τους διαμοριακούς δεσμούς. Η εσωτερική τριβή κατά την κίνηση του νερού, παράγει έργο το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού. Σε προβλήματα ροής, όπου αντεπιδρούν δυνάμεις αδράνειας και δυνάμεις τριβής εμφανίζεται ο λόγος του δυναμικού ιξώδους (μ) προς την πυκνότητα (ρ). Ο λόγος αυτός ονομάζεται **κινηματικό ιξώδες**:

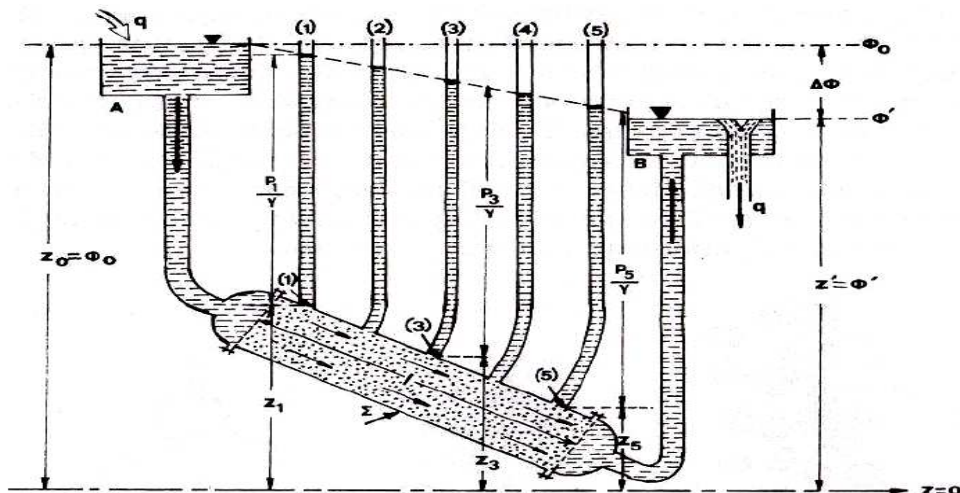
$$\nu = \mu / \rho$$

Οι συντελεστές μ και ν μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ένα υγρό είναι ιδανικό, όταν $\mu=0$ (δεν εμφανίζει εσωτερική τριβή). Το νερό και τα υγρά γενικότερα εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση σε κάθε μεταβολή του όγκου τους και γι' αυτό πρακτικά χαρακτηρίζονται σαν **ασυμπίεστα**.

Οι δυνάμεις **συναχής** (δυνάμεις μεταξύ ομοειδών μορίων) δίνουν στο νερό χαρακτηριστική επιφανειακή τάση, σχηματίζοντας σφαιρικές σταγόνες κατά την πτώση του. Οι δυνάμεις **συνάφειας** εμφανίζονται μεταξύ ετεροειδών μορίων, δηλαδή μεταξύ του νερού και των στερεών σωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή.

Νόμος Darcy

Ο Henry Darcy, Γάλλος υδραυλικός μηχανικός, διερεύνησε το 1856 τη ροή μέσα από στρώματα άμμου που χρησιμοποιούνταν για φίλτρα νερού. Για να μελετήσει τις σχέσεις υδραυλικής κλίσης i και ταχύτητας V κατά τις ροές διήθησης, ο Darcy επινόησε και χρησιμοποίησε τη συσκευή του παρακάτω σχήματος που λέγεται και περατόμετρο του Darcy. Αυτή αποτελείται από έναν κύλινδρο Σ μέσα στον οποίο τοποθέτησε ένα δείγμα υλικού το οποίο ήθελε να μελετήσει και δύο λεκάνες A και B που συνδέονται με τον κύλινδρο σε διαμέσου σωλήνων.



Εικόνα 20: Συσκευή και πείραμα του Darcy [21]

Ο κύλινδρος φέρει κατακόρυφους σωλήνες (πιεζόμετρα) που μπορούμε να παρατηρήσουμε το πιεζομετρικό ύψος h . Ο Darcy μετακίνησε τις λεκάνες A και B ώστε να μεταβληθεί η απώλεια φορτίου $\Delta\Phi$ και κατά συνέπεια οι υδραυλική κλίση i αφού το μήκος l του κυλίνδρου Σ παρέμεινε σταθερό και επανέλαβε πολλές φορές το πείραμα με διαφορετικά δείγματα πορώδους μέσου αλλά και με διαφορετικές υδραυλικές κλίσεις για κάθε δείγμα.

Τελικά, διατύπωσε μια σχέση, που επρόκειτο να αποτελέσει θεμελιώδη νόμο της υδραυλικής υπόγειων ροών. Ο νόμος αυτός διατυπώνεται ως εξής :

« Η παροχή της ροής που περνάει από μια διατομή ενός πορώδους μέσου είναι ανάλογη του εμβαδού της διατομής αυτής, ανάλογη της διαφοράς πίεσης μεταξύ δύο θέσεων που ελέγχεται η ροή και αντίστροφα ανάλογη της απόστασης μεταξύ αυτών των δύο θέσεων ».

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

Η μαθηματική διατύπωση αυτού είναι :

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

Όπου, E = το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου Σ , $\Delta\Phi/l = i = \eta$ υδραυλική κλίση, k = ο συντελεστής αναλογίας που εκφράζει τη διαπερατότητα του πορώδους μέσου, μια σταθερά που εξαρτάται μόνο από την φύση του χρησιμοποιηθέντος δείγματος, l = το μήκος του κυλίνδρου Σ

Η σχέση (1) μπορεί να γραφεί :

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

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

$$V = k \frac{\Delta \Phi}{l} \quad \text{ή} \quad V = k i$$

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

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

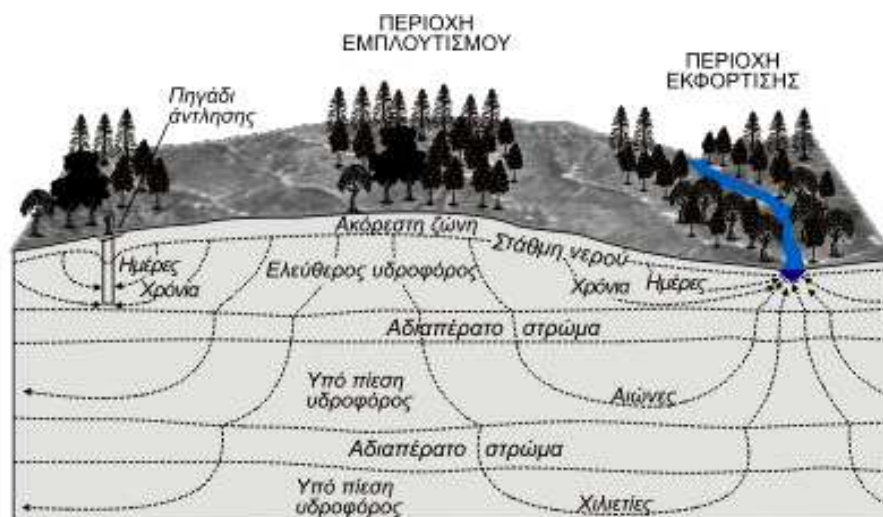
Ο νόμος του Darcy, ως εμπειρικός νόμος, δεν έχει απεριόριστα όρια εφαρμογής. Ισχύει μόνο, όταν ο αριθμός Reynolds στις ροές σε πορώδες υλικό που ορίζεται από τη σχέση: $Re = qd / \nu$, είναι ιδιαίτερα μικρός, της τάξης $1 \div 10$, όπου q = ταχύτητα Darcy, d μια αντιπροσωπευτική διάσταση των κόκκων του εδάφους. Συνήθως παίρνουμε $d = d_{10}$, όπου d_{10} είναι η διάμετρος εκείνη των κόκκων, όπου το 10 % σε βάρος του πορώδους υλικού αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μικρότερη του d_{10} ενώ το υπόλοιπο 90 % αποτελείται από κόκκους μεγαλύτερης διαμέτρου. Η χαρακτηριστική αυτή διάμετρος κόκκου υπολογίζεται από την κοκκομετρική καμπύλη του υλικού.

2.4 Συστήματα υπόγειας ροής

Ένα σύστημα υπόγειας ροής ορίζεται ως μια συνεχής τρισδιάστατη μονάδα υπόγειας ροής με μία περιοχή τροφοδοσίας (εμπλουτισμού) και μία ή περισσότερες περιοχές εκφόρτισης ή εκροής (Toth, 1963).

Εμπλουτισμός συμβαίνει σε περιοχές όπου το νερό της βροχόπτωσης πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, κινείται στην ακόρεστη ζώνη και εισέρχεται στην κορεσμένη, καθώς και σε περιοχές όπου επιφανειακά στρώματα νερού τροφοδοτούν υπόγεια υδροφόρα στρώματα. (Εικόνα 21).

Εκφόρτιση συμβαίνει σε πηγές, υδρορεύματα, λίμνες, θάλασσα στις παράκτιες περιοχές, καθώς και ως διαπνοή των φυτών, όπου οι ρίζες των φυτών είναι κοντά στη στάθμη του υπόγειου νερού. Η σταθερότητα του συστήματος ροής είναι συνάρτηση του βάθους και της θέσης. Οι αλλαγές προσαρμόζονται πιο γρήγορα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε συνθήκες ελεύθερης ροής, παρά σε μεγάλα βάθη και υπό πίεση συνθήκες.



Εικόνα 21: Περιοχές εμπλουτισμού και εκφόρτισης [2]

Εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων :

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων γίνεται και με φυσικό και με τεχνητό τρόπο. Ο φυσικός εμπλουτισμός επιτυγχάνεται:

- Με απευθείας κατείδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων
- Διήθηση από τα επιφανειακά νερά
- Υπόγεια τροφοδοσία από γειτονική λεκάνη

Στους ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες η περιοχή εμπλουτισμού μπορεί να καλύπτει όλη την περιοχή, που εκτείνονται. Στους υπό πίεση οι περιοχές εμπλουτισμού περιορίζονται εκεί όπου ο υδροφόρος εμφανίζεται στην επιφάνεια, εκτός αν έχουν υδραυλική επικοινωνία με άλλους υδροφόρους ή υδρορεύματα. Επίσης η ποσότητα εμπλουτισμού δεν μένει σταθερή με το χρόνο, αλλά μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή.

Ο συνολικός εμπλουτισμός ενός υδροφορέα ισούται με το ποσοστό του νερού της βροχόπτωσης, το οποίο κατείδυει και διηθείται στην κορεσμένη ζώνη, επιπλέον τον όγκο νερού της εξωτερικής τροφοδοσίας. Μαθηματικά ο συνολικός εμπλουτισμός (Q_T) μπορεί να εκφρασθεί με αυτή τη σχέση (Birkle et al., 1998)

$$Q_T = P - E - R + Q_{in} - Q_{out} \pm \Delta S$$

όπου: P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, R = η επιφανειακή απορροή, Q_{in} = η εξωτερική τροφοδοσία, Q_{out} = οι εκροές και ΔS = η μεταβολή των αποθεμάτων.

Σε περιπτώσεις αυτοτελών συστημάτων, η εξωτερική τροφοδοσία από γειτονικές λεκάνες θεωρείται μηδενική και οι μεταβολές στα υπόγεια αποθέματα είναι αμελητέες και συνεπώς οι παράγοντες, Q_{in} , Q_{out} , ΔS της ανωτέρω εξίσωσης παραλείπονται. Η ανωτέρω εξίσωση προκύπτει από τη γενική εξίσωση υδρολογικής ισορροπίας :

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \pm \text{Μεταβολή αποθεμάτων}$$

Εκτός από τη φυσική τροφοδοσία για την ενίσχυση του υδατικού ισοζυγίου των υπόγειων νερών εφαρμόζεται ο **τεχνητός εμπλουτισμός**. Ο τεχνητός εμπλουτισμός συνίσταται στην αύξηση του ρυθμού ανανέωσης του υπόγειου νερού των υδροφόρων οριζόντων με χρησιμοποίηση περίσσειας φυσικού ή επεξεργασμένου νερού με κατασκευή κατάλληλων διατάξεων (π.χ. κατάκλυση κ.λπ.).

Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού μέσω πηγαδιών και γεωτρήσεων έχει εφαρμοσθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα (Bouwer, 1996, Κουμαντάκης κ.ά, 1999, Βουδούρης κ.ά, 2002, Πουλοβασίλης κ.ά, 2002). Η μέθοδος είναι απλή και η τροφοδοσία γίνεται ταχύτερα, αλλά απαιτεί καλής ποιότητας νερό, γιατί διαφορετικά εγκυμονούνται κίνδυνοι αποκροκίδωσης του εδάφους αν το νερό εμπλουτισμού περιέχει πολύ νάτριο, λόγω ανταλλαγής με ιόντα ασβεστίου. Επίσης αν το νερό περιέχει βακτήρια μπορεί να δημιουργηθούν εστίες μόλυνσης.

Εκροή είναι η ανάδυση νερού από το υπέδαφος. Το μεγαλύτερο ποσοστό της φυσικής εκροής γίνεται με τη μορφή εκφόρτισης στη θάλασσα, στις λίμνες ή στα υδρορεύματα. Όταν το υπόγειο νερό εκφορτίζεται στην επιφάνεια του εδάφους με φυσικό τρόπο, τότε εμφανίζονται οι πηγές. Τεχνητές εκροές υπόγειου νερού θεωρούνται οι απολήψεις από τα υδρομαστευτικά έργα. Τα έργα με τα οποία γίνεται απόληψη υπόγειου νερού από τους υδροφόρους ορίζοντες ή τις πηγές λέγονται *υδρομαστευτικά* και διακρίνονται σε κατακόρυφα (γεωτρήσεις, πηγάδια) και οριζόντια (γαλαρίες ή στοές).

Η **ακτίνα επίδρασης R** είναι η απόσταση εκείνη από τη γεώτρηση, πέραν της οποίας δεν γίνονται αισθητά τα αποτελέσματα της άντλησης, δηλ. η πτώση στάθμης είναι μηδέν. Η απόσταση αυτή, σύμφωνα με το πρότυπο Jacob υπολογίζεται από τη σχέση :

$$R = 1,5 (\alpha t)^{1/2}$$

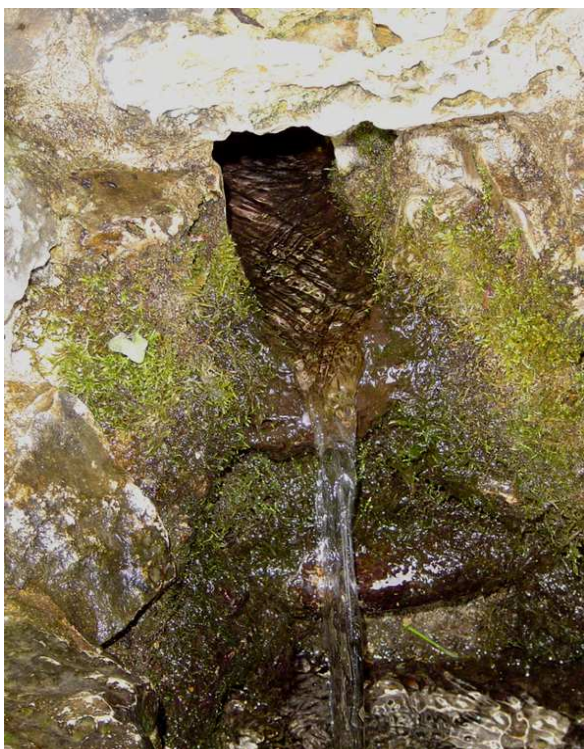
όπου: α = διαχυτικότητα ή μεταδοτικότητα που είναι ίση με το πηλίκο T/S (T_α = η μεταβιβαστικότητα, S = η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα) και t = χρόνος.

Από την ανωτέρω σχέση προκύπτει ότι η ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης αυξάνει με την πάροδο του χρόνου και δεν εξαρτάται από την παροχή άντλησης. Ο ρυθμός όμως αύξησης (dR/dt) αποδεικνύεται ότι είναι αντιστρόφως ανάλογος της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, που σημαίνει ότι ο ρυθμός αύξησης της ακτίνας επίδρασης μειώνεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου.

2.5 Πηγές

Οι πηγές και οι αναβλύσεις συνδέονται στενά με τον κύκλο του νερού στη φύση, την υδρολογική ισορροπία και το υδρολογικό ισοζύγιο του υπόγειου νερού. Αποτελούν επίσης μία σημαντική ένδειξη για το είδος της υδροφορίας μιας περιοχής. Κατά το ιστορικό παρελθόν η παρουσία τους ήταν σημαντική για τη δημιουργία οικισμών ή την ανάπτυξη στρατιωτικών δυνάμεων.

Ο TODD, K. (1980) δίνει για τις πηγές τον εξής ορισμό: «είναι μία συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα». Η πηγή διαστέλλεται από τη διαρροή νερού που είναι μία πιο αργή κίνηση υπόγειου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους συνήθως μη σημειακή, αλλά εκτενής (γραμμικά ή δισδιάστατα). Οι διαρροές νερού μπορούν να σχηματίζουν τοπικά μικρά τέλματα ή ροές ή να εξατμίζονται, ανάλογα με την παροχή της διαρροής, την τοπογραφία και το κλίμα.



Εικόνα 22: Πηγή που αναβλύζει από βράχο

Ως ανάβλυση εννοούμε κάθε εμφάνιση υπόγειου νερού στην επιφάνεια του εδάφους ή στον πυθμένα μάζας νερού (ποταμού, λίμνης, θάλασσας).

Υδρογεωλογικά οι πηγές και γενικά οι αναβλύσεις είναι στην πραγματικότητα «υπερχείλιση» υδροφόρων στρωμάτων. Εκφορτίζουν τα υδροφόρα στρώματα. Αυτά τροφοδοτούνται με την κατείδουση ή τη διήθηση από τα κατακρημνίσματα και ανεβαίνει η στάθμη τους. Οι πηγές εμφανίζονται εκεί που η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Είναι ο γεωμετρικός τόπος της τομής του υδροφόρου ορίζοντα με τη στάθμη του εδάφους. Γι' αυτό εμφανίζονται γεωμορφολογικά στα χαμηλότερα σημεία, στο επίπεδο βάσης, εκτός από τις πηγές που συνδέονται με επικρεμάμενους υδροφορείς.

Οι πηγές πάντως αποτελούν σημαντική ένδειξη της υδροφορίας μιας περιοχής. Μεγάλος αριθμός μικρών πηγών στις παρυφές κοιλάδων ή στα κράσπεδα λόφων είναι ένδειξη ρηχού υδροφόρου ορίζοντα με μικρή περατότητα. Αντίθετα μεγάλες πηγές στον πυθμένα κοιλάδων, στο βασικό γεωμορφολογικό επίπεδο, είναι ένδειξη ύπαρξης μεγάλου υδροφόρου με σημαντική περατότητα. Μία πηγή μπορεί να εκτινάσσει νερό με

μεγάλη πίεση σχηματίζοντας πίδακα ή να αναβλύζει νερό από υπόμετρο σχηματίζοντας καταρράκτη.

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

Ο Bryan διέκρινε τις πηγές στις προερχόμενες :

- από τις δυνάμεις βαρύτητας (βαρυτικές πηγές)
- από άλλες δυνάμεις εκτός βαρύτητας (μη βαρυτικές πηγές)

Βαρυτικές πηγές: προέρχονται από νερό που ρέει κάτω από υδροστατική πίεση.

Ο Bryan διέκρινε τους παρακάτω τύπους :

Πηγές ταπεινώσεων: σχηματίζονται εκεί που η επιφάνεια του εδάφους τέμνει την υδροστατική ή πιεζομετρική επιφάνεια.

Πηγές επαφής: δημιουργούνται στην επαφή ενός υπερκείμενου υδροφόρου με ένα υποκείμενο, λιγότερο περατό σχηματισμό.

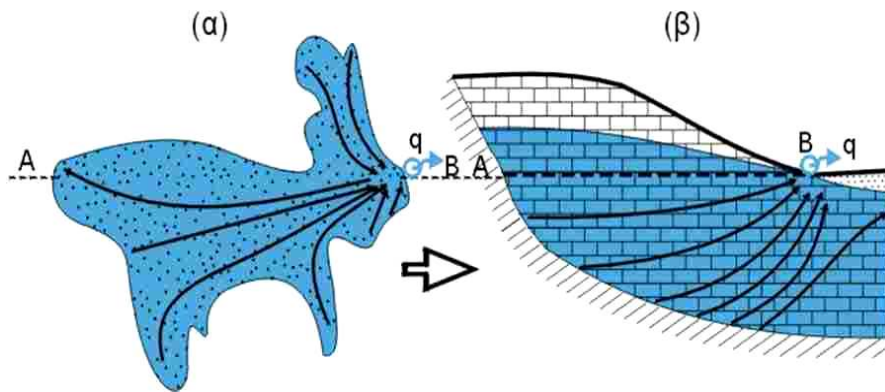
Πίνακας 2: Ταξινόμηση πηγών ανάλογα με την παροχή τους κατά Meinzer

Μέγεθος πηγής	Μέση παροχή
1	> 10 m ³ /sec
2	1 – 10 m ³ /sec
3	0.1 – 1 m ³ /sec
4	10 – 100 L/sec
5	1 – 10 L/sec
6	0.1 – 1 L/sec
7	10 – 100 ml/sec
8	< 10 ml/sec

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

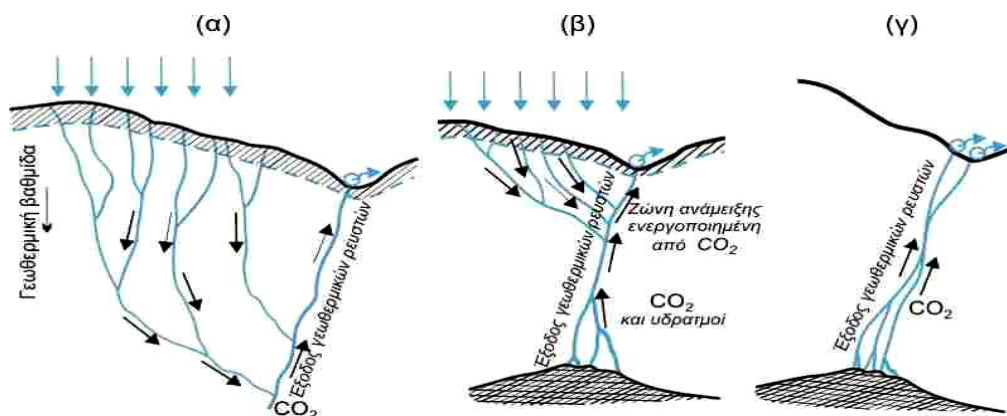
Πηγές στεγανών πετρωμάτων: δημιουργούνται από επίπεδους αγωγούς ή ρωγμές στα στεγανά συμπαγή πετρώματα.

Ρωγμογενείς πηγές: προέρχονται από στρογγυλωμένους αγωγούς ή από αγωγούς που σχηματίστηκαν από τη διάλυση των πετρωμάτων (καρστικοί αγωγοί) ή από ρωγμές σε στεγανό πέτρωμα που επικοινωνούν με υπόγειο νερό.

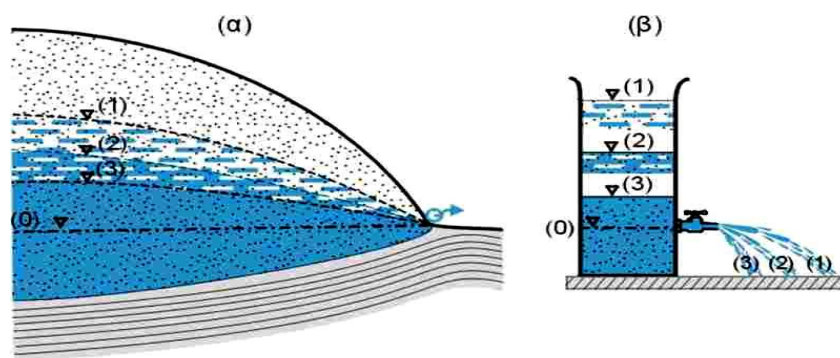


Εικόνα 23: Ζώνη τροφοδοσίας πηγής α) σε κάτοψη και β) σε τομή

Μη βαρυτικές πηγές: πρόκειται, κατά κύριο λόγο, για θερμές και μεταλλικές πηγές που το νερό τους προέρχεται από μεγάλο βάθος.



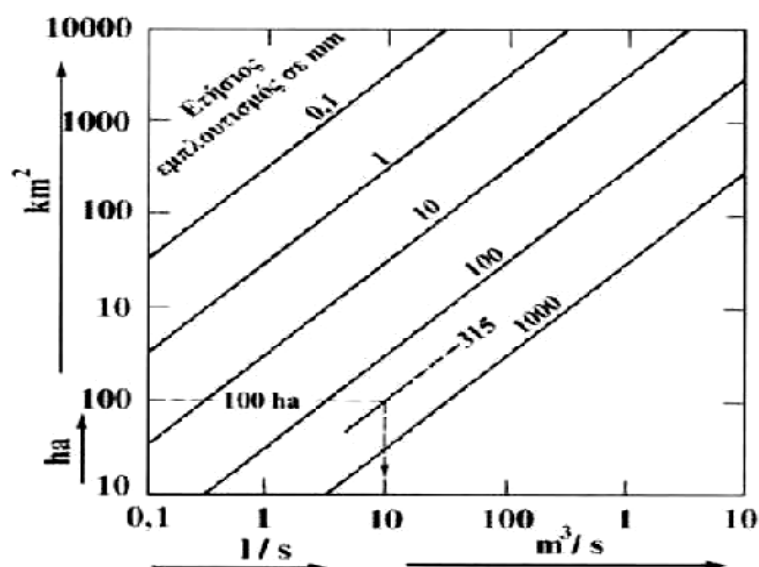
Εικόνα 24: Θερμή πηγή με μετεωρικό νερό (α), με μετεωρικό και «νεαρό» νερό (β) και με «νεαρό» νερό (γ) (κατά Castany G., 1968, ανασχεδιασμένο από το συγγραφέα)



Εικόνα 25: Πρότυπο για την εξίσωση του Mailliet (α) φυσικό σύστημα, (β) προσομοίωση με δοχείο

Για τον καθορισμό του μεγέθους των πηγών ο Meinzer πρότεινε την ταξινόμηση, που δίνεται στον πίνακα. Συνήθως πηγές μεγάλου μεγέθους απαντούν στις ηφαιστειακές και στις καρστικές περιοχές.

Η παροχή μιας πηγής εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής τροφοδοσίας του υδροφόρου που εκφορτίζεται από την πηγή και την ένταση της τροφοδοσίας. Η εικόνα εκφράζει γραφικά τη σχέση ανάμεσα στα μεγέθη αυτά.



Εικόνα 26: Σχέση της έκτασης της λεκάνης απορροής, πηγής και παροχής [21]

Οι περισσότερες πηγές παρουσιάζουν διακύμανση της παροχής τους. Οι διακυμάνσεις αυτές αντανακλούν τις μεταβολές στην ένταση του εμπλουτισμού, με διάρκεια εμπλουτισμού που κυμαίνεται από λεπτά της ώρας μέχρι χρόνια και βρίσκονται σε στενή σχέση με τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες. Οι μόνιμες πηγές αποστραγγίζουν συνήθως εκτεταμένους υδροφόρους και δίνουν νερό όλο το χρόνο, ενώ διαλείπουσες δίνουν νερό μόνο για χρονικά διαστήματα μηνών. Μόνιμες πηγές, σχετικά σταθερής παροχής, δίνουν τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι αμμόλοφοι. Οι περιοδικές πηγές παρουσιάζουν κανονικές, κατά το μάλλον ή ήττον, χρονικές διακυμάνσεις της παροχής τους που δεν έχουν σχέση με τις βροχοπτώσεις ή με εποχιακά γεγονότα.

Τέτοιες διακυμάνσεις μπορούν να προκληθούν από μεταβολές στην διαπνοή, στην ατμοσφαιρική πίεση, από την επίδραση παλιρροιακών φαινομένων πάνω σε αρτεσιανούς υδροφόρους και από φυσικούς σίφωνες που δρουν σε υπόγειους ταμιευτήρες. Στους παράκτιους καρστικούς σχηματισμούς είναι συχνές οι εμφανίσεις παράκτιων και υποθαλάσσιων καρστικών πηγών. Τέτοιες πηγές εμφανίζονται στις Μεσογειακές ακτές και στη Χαβάη (ηφαιστειακά πετρώματα).

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

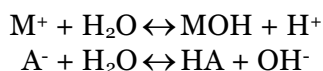
2.6 Αντιδράσεις νερού - υπεδάφους

Η χημική σύσταση, οι φυσικοχημικές ιδιότητες και η ποιότητα του υπόγειου νερού επηρεάζονται από τα γεωλογικά στρώματα μέσα από τα οποία διέρχεται. Ο βαθμός επίδρασης είναι ανάλογος του χρόνου παραμονής και της ταχύτητας ροής του. Φυσικά κάθε γεωλογικός σχηματισμός προσδίδει κάποια ιδιαίτερα στοιχεία στο νερό που περιέχει, πέρα από την αρχική σύσταση που είχε αυτό όταν έπεφτε στην επιφάνεια της γης. Καθώς κατεισδύει στο υπέδαφος αντιδρά με τα πετρώματα τα οποία διαρρέει, φορτίζεται με ιόντα, ανταλλάσσει με αυτά ιόντα και έτσι διαφοροποιείται συνεχώς τόσο ως προς την αρχική σύστασή του όσο και ως προς αυτήν στον αμέσως προηγούμενο σχηματισμό από τον οποίο διήλθε. Έτσι μελετώντας την χημική σύσταση ενός δείγματος υπόγειου νερού είναι δυνατόν να συμπεράνουμε ή να υποθέσουμε από τι είδους γεωλογικούς σχηματισμούς γενικά ή και συγκεκριμένα έχει περάσει. Αντιστρόφως όταν γνωρίζουμε την ορυκτολογική και πετρολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών αναμένουμε κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στο υπόγειο νερό που περιέχουν. Για παράδειγμα τα νερά από ασβεστολιθικό σχηματισμό θα είναι πλούσια σε ιόντα ασβεστίου ενώ νερά από φυλλίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους θα έχουν υψηλή ποσότητα θεικών αλάτων (SO_4), σιδήρου (Fe) και μαγγανίου (Mn).

Οι διαδικασίες στις οποίες υπόκειται ή συντείνει το νερό στο υπέδαφος είναι οι παρακάτω :

Διάλυση : είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές διαδικασίες στη χημεία των υπόγειων νερών και μπορεί να θεωρηθεί το πρώτο βήμα στη χημική εξέλιξη του νερού. Επηρεάζει και τα αέρια και τα στερεά. Τυπικές περιοχές διάλυσης αερίων στα υπόγεια νερά είναι η εδαφική ζώνη, η ακόρεστη ζώνη και η ζώνη συσσώρευσης πετρελαίου και αερίων. Αέρια που αλληλεπιδρούν με το υπόγειο νερό είναι: N_2 , O_2 , H_2 , He , Ar , CO_2 , NH_3 , CH_4 και H_2S . Η διάλυση των αερίων καθιστά το νερό ασθενές όξινο δηλαδή χημικά δραστικό. Ο βαθμός διάλυσης εξαρτάται από τη διαλυτότητα των ορυκτών, τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, την ποσότητα του νερού, τις αρχικές συγκεντρώσεις του νερού κ.ά. Τα πλέον διαλυτά πετρώματα είναι: ασβεστόλιθος, γύψος, δολομίτης, αλίτης, συλβίνης και θεωρούνται βασική πηγή των ιόντων Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} στο υπόγειο νερό. Τα πυριτικά και άλλα αδιάλυτα πετρώματα είναι διαλυτά σε κάποιο βαθμό κάτω από ειδικές συνθήκες και απελευθερώνουν δευτερεύοντα ιόντα ή ιχνοστοιχεία στο νερό. Η διάλυση έχει μεγάλη σημασία στα ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω της μεγάλης εξάπλωσής τους και των μορφών που εμφανίζουν (καρστικές μορφές).

Υδρόλυση : είναι η αντίδραση ενός ιόντος με το νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία OH^- και H^+ , σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Ο βαθμός υδρόλυσης είναι ανάλογος του σθένους (Z) και αντιστρόφως ανάλογος της ακτίνας (r) του ιόντος. Ο λόγος Z/r ονομάζεται **ιοντικό δυναμικό**.

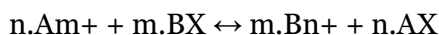
Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εξαλλοιώσεις των πυριτικών ορυκτών κατά την υδρόλυσή τους (καοлинίωση, σερικιτίωση κ.ά). Τα ορυκτά που προκύπτουν εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Τα προϊόντα εξαλλοίωσης στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές είναι πλουσιότερα σε οξείδια και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου, καθώς και σε διοξείδιο του πυριτίου (Τσιραμπίδης, 2002). Η υδρόλυση γίνεται κατά μήκος λεπτών σχισμών του πετρώματος ή παράλληλα με τα επίπεδα σχισμού των κρυστάλλων του ορυκτού.

Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής : είναι χημικές αντιδράσεις στις οποίες μεταφέρονται ηλεκτρόνια από ένα άτομο σε ένα άλλο. Η οξείδωση επιτυγχάνεται με αποβολή e^- και η αναγωγή με πρόσληψη e^- . Η οξείδωση είναι πιο σημαντική στην ακόρεστη ζώνη, όπου υπάρχει σε αφθονία το οξυγόνο από τον ατμοσφαιρικό αέρα και το διοξείδιο του άνθρακα. Η σημασία της οξείδωσης μειώνεται γρήγορα με το βάθος. Τυπικές και σημαντικές διαδικασίες οξείδωσης είναι η οξείδωση των μισουλφιδίων, κατά την οποία παράγονται ιόντα Fe^{+3} και SO_4^{-2} . Η αναγωγή είναι σημαντική σε οργανικές αποθέσεις, που αποτελούν χημικά αναγωγικά περιβάλλοντα. Στις περιπτώσεις αυτές απομακρύνεται όλο ή μέρος του οξυγόνου από οξείδια, νιτρικά και νιτρώδη. Μπορεί να παραχθούν H_2 , H_2S , CH_4 και άλλοι υδρογονάνθρακες, S^{-2} , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{+2} και Mn^{+2} . Η γύψος ανάγεται από άλλες ουσίες με την επίδραση θειοβακτηρίων για το σχηματισμό θείου, ενώ το ασβέστιο της γύψου σχηματίζει άλας του ασβεστίου. Έτσι δικαιολογείται η παρουσία θείου στο θαλασσινό νερό, που προέρχεται από τη διάσπαση της γύψου. Η απόθεση διαλυμένης ορυκτής ύλης στο νερό συμβαίνει για πολλούς λόγους, όπως :

- Αντίδραση με ιόντα του υδροφορέα για τον σχηματισμό αδιάλυτων αποθέσεων (σχηματισμός φθοριτη λόγω της αντίδρασης φθορίου του νερού με πετρώματα πλούσια σε ασβέστιο).
- Αλλαγές στην πίεση και τη θερμοκρασία επηρεάζοντας τη διαλυτότητα των χημικών συστατικών του νερού, όπως η απόθεση ασβεστιτικής τούφας ($CaCO_3$) γύρω από το στόμιο πηγών που οφείλεται στην απελευθέρωση διαλυμένου CO_2 , λόγω ελάττωσης της πίεσης και η απόθεση SiO_2 από θερμές πηγές, λόγω ελάττωσης της θερμοκρασίας.
- Οξείδωση διαλυμένων υλικών εκτεθειμένων στον ατμοσφαιρικό αέρα, συμβάλλοντας στη μείωση της διαλυτότητας όπως, η απόθεση $Fe(OH)_3$ από νερά που περιέχουν ιόντα σιδήρου σε διάλυση.

Ιοντοανταλλαγή : είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ ρυπαντών και εδάφους, λόγω των αρνητικών επιφανειακών φορτίων που προέρχονται από τη δομή των αργιλοπυριτικών ορυκτών που υπάρχουν στο έδαφος (ηλεκτροστατική προσρόφηση). Οι πλέον σημαντικές ουσίες ικανές για ιοντοανταλλαγή είναι τα αργιλικά ορυκτά όπως: καοлинίτης, μοντμοριλονίτης, ιλλίτης, χλωρίτης, ζεόλιθοι. Παράδειγμα ιοντοανταλλαγής είναι η αντικατάσταση

Na⁺ από Ca⁺² και/ή Mg⁺² στον μπεντονίτη, συμβάλλοντας στη φυσική αποσκλήρυνση του νερού. Γενικά ιόντα με μεγαλύτερο σθένος αντικαθιστούν ιόντα με μικρότερο σθένος (Al⁺³>Ca⁺²>Na⁺). Για τα ιόντα με ίδιο σθένος σημαντικό ρόλο παίζει η ενυδατωμένη ακτίνα (Νικολαΐδης, 2005). Γενικά αν θεωρήσουμε δύο τυχαία στοιχεία A και B και X αντιστοιχεί στη στερεά φάση, τότε η αντίδραση της κατιοανταλλαγής περιγράφεται από την εξίσωση :



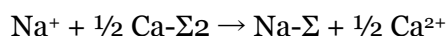
όπου m, n είναι τα σθένη των στοιχείων A και B.

Η σταθερά ισορροπίας της ανωτέρω αντίδρασης ισούται με:

$$K = \frac{[B]^m [AX]^n}{[A]^n [BX]^m}$$

όπου [A] είναι η ενεργότητα ή ενεργή συγκέντρωση της ουσίας A.

Η ανωτέρω σταθερά K είναι γνωστή και ως **συντελεστής εκλεκτικότητας** και χαρακτηρίζει την ικανότητα των ορυκτών να ανταλλάσσουν ιόντα με το υπόγειο νερό. Ο ρόλος της ιοντοανταλλαγής είναι σημαντικός στη διαμόρφωση της ποιότητας των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων. Το γλυκό νερό είναι κατά κανόνα οξυανθρακικό ασβεστούχο (Ca²⁺-HCO₃⁻) και το θαλασσινό χλωριονατριούχο (Na⁺- Cl⁻). Όταν διεισδύσει θαλασσινό νερό στην ενδοχώρα λαμβάνει χώρα ιοντοανταλλαγή (Apello & Postma, 1994) :



όπου, Σ είναι η στερεά φάση στην οποία λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή (ιοντοανταλλάκτης). Η ιοντοανταλλαγή οδηγεί σε απελευθέρωση Ca²⁺ και δέσμευση του Na⁺. Το υπόγειο νερό μετατρέπεται από Ca-HCO₃ σε Na-Cl υδροχημικό τύπο. Το αντίθετο συμβαίνει κατά τη διάρκεια τεχνητού εμπλουτισμού με γλυκό νερό σε υφάλμυρο υδροφόρο ορίζοντα, όπου μετατρέπεται σε Na-HCO₃ τύπο. Στους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους γίνεται δολομιτίωση (αντικατάσταση Ca²⁺ από Mg⁺²). Η προσρόφηση και η ιοντοανταλλαγή είναι δύο σημαντικές διαδικασίες φυσικής απορρύπανσης του υπόγειου νερού, ελέγχοντας την κινητικότητα των ιόντων και βαρέων μετάλλων στο υπέδαφος (προσρόφηση) και την έκπλυση των κατιόντων Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ από το έδαφος (ιοντοανταλλαγή).

Προσρόφηση : είναι η διαδικασία κατά την οποία μια ουσία προσκολλάται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων ή στη διεπιφάνεια στερεών και νερού. Η έλξη οφείλεται σε ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Η ικανότητα προσρόφησης των στερεών σωματιδίων των υδροφορέων αυξάνεται με την ειδική επιφάνεια. Τα σωματίδια της αργίλου, τα αδρομερέστερα σωματίδια με επικάλυψη από οργανικό υλικό και τα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Συνεπώς η ικανότητα προσρόφησης σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικά υλικά και σε οξειδία και υδροξειδία

Ενυδάτωση : είναι η είσοδος νερού στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών ή η προσκόλληση μορίων νερού στα ιόντα διαλυμένων αλάτων. Η διεργασία αυτή οδηγεί στη δημιουργία νέων ορυκτών, περισσότερο σύνθετων π.χ αιματίτη σε λειμωνίτη, ανυδρίτη σε γύψο. Παρατηρείται σε θειϊκά, ανθρακικά και πυριτικά άλατα, καθώς και σε μερικά οξειδία. Παίζει δε σημαντικό ρόλο σαν πρώτο βήμα της αποσάθρωσης των ορυκτών. Ωστόσο, η επίδραση νερού - υπεδάφους είναι αμφίδρομη. Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού φέρει τα αποτυπώματα του σχηματισμού που διήλθε αλλά αφήνει και τα δικά του αποτυπώματα σε αυτόν. Το σύνολο των μηχανισμών με τους οποίους το υπόγειο νερό αντιδρά αμοιβαία με τη στερεά φάση, δημιουργούν συχνά μια "επιθετικότητα" που προκαλεί χημικές αλλοιώσεις και μεταβολές σε διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.

2.7 Η έννοια της Τρωτότητας

Οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν διαφορετικού βαθμού άμυνα - αντίσταση απέναντι στην προσβολή από ρύπους. Μερικοί είναι πολύ ευαίσθητοι. Δεν παρουσιάζουν φυσική προστασία. Δεν κατακρατούν τους ρύπους, δεν τους φιλτράρουν. Μέσα από αυτούς οι διάφοροι

ρύποι φθάνουν εύκολα στους υδροφορείς. Μέσα σε αυτούς οι ρύποι μεταδίδονται εύκολα σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή βαθμίδα ρύπανσης, δηλαδή με μικρή εξασθένηση της ρύπανσης. Κάποιοι άλλοι σχηματισμοί έχουν ακριβώς αντίθετη συμπεριφορά. Η επιδεκτικότητα, η ευαισθησία, η ευαλωσιμότητα, η ευπάθεια ενός σχηματισμού ή ενός υδροφόρου στρώματος απέναντι στη ρύπανση λέγεται **τρωτότητα**. Είναι ο βαθμός φυσικής προστασίας απέναντι στην ρύπανση. Τρωτοί σχηματισμοί είναι αυτοί που έχουν μικρή φυσική προστασία απέναντι στην ρύπανση. Είναι επιδεκτικοί, είναι ευαίσθητοι, είναι εύαλωτοι, είναι ευπαθείς στην ρύπανση. Άτρωτοι είναι ακριβώς αυτοί που έχουν την αντίθετη ιδιότητα. Υπάρχουν φυσικά όλες οι ενδιάμεσες βαθμίδες.

Ο DIENEMANN, (1956) έκανε την πρώτη αξιολόγηση των διαφόρων σχηματισμών απέναντι στην τρωτότητα. Ο MARGAT J. (1968) τη χρησιμοποίησε πρώτη φορά για να εκφράσει το βαθμό προστασίας που προσφέρει το φυσικό περιβάλλον στη ρύπανση των υπόγειων νερών και έθεσε ορισμένα κριτήρια (βάθος στάθμης, ταχύτητα ροής κλπ). Οι VILLUMSEN, A. JACOBSEN, O.S.SONDERSKOY, C. (1983) θεωρούν την ποιότητα των υπόγειων νερών ως δείκτη τρωτότητας, αλλά αυτό δεν παίρνει υπόψη την ανθρωπογενή δράση. Αντίθετα οι BACHMAT, Y. COLLIN, M. (1987) θεωρούν την τρωτότητα ως την ευαισθησία της ποιότητας των υπόγειων νερών σε επιπτώσεις από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες όπως καταδεικνύεται από τις αλλαγές της ποιότητας. Μερικοί συγγραφείς χρησιμοποιούν το συναφή όρο ευαισθησία ή επιδεκτικότητα του υδροφόρου απέναντι στη ρύπανση.

Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό. Συνεπώς κάποιες περιοχές είναι πιο εύαλωτες από κάποιες άλλες. **Η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφορέα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφορέα.** Έτσι η τρωτότητα του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί πιθανά να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή. Αντίθετα ευαισθησία του υδροφορέα είναι η ευκολία με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα και είναι χαρακτηριστικό των γεωλογικών συνθηκών, της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης και ανεξάρτητη των χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών του ρύπου. Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς προκύπτει ότι, η τρωτότητα δεν ταυτίζεται με την ευαισθησία (τρωτότητα \neq ευαισθησία). Η τρωτότητα διακρίνεται σε: *ειδική* που αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών και σε *γενική ή ιδιοτρωτότητα* που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή. Σύμφωνα με τους Rao and Alley (1996) η ευαισθησία του υδροφορέα ταυτίζεται με τη γενική τρωτότητα.

Πρέπει να τονισθεί ότι η έννοια της τρωτότητας δεν συνδέεται αποκλειστικά μόνο με τη ρύπανση ή τη μόλυνση των υπόγειων νερών, αλλά και με την ποσότητα αυτών, καθώς και με την επίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων π.χ. ξηρασιών στη δίαιτα των υδροφόρων. Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της βραδείας κίνησης του νερού και λόγω διαφόρων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν, όπως: προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων, χημικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικρο-οργανισμών κ.ά.

Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου και τη συγκέντρωσή του κ.λπ. Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών μεγάλες ποσότητες χημικών στοιχείων εξασθενούν και αποδομούνται από μικροοργανισμούς. Οι επιπτώσεις επομένως ενός ρύπου σε ορισμένο υδροφόρο είναι συνέπεια τόσο της τρωτότητας, όσο και της απόστασης του υδροφόρου από την πηγή του ρύπου, αλλά και της δραστηριότητας και της ποσότητας του εκπεμπόμενου ρύπου.

Οι χονδρόκοκκοι σχηματισμοί (αμμοχαλικώδεις, αμμοκροκαλοπαγείς, ψηφιδοπαγείς κτλ χωρίς παρουσία αργίλου), όπως και οι καρστικοί σχηματισμοί κυρίως αυτοί που είναι πολύ καρστικοποιημένοι, είναι τρωτοί. Έχουν μικρή έως ελάχιστη άμυνα στη διάδοση των ρύπων. Προκαλούν μικρή έως ελάχιστη μείωση των ρύπων κατά την ροή τους μέσα σε αυτούς. Αντίθετα σχηματισμοί λεπτόκοκκοι και ιδίως αργιλοί ή με μεγάλο ποσοστό αργίλου, δηλαδή αργιλούχοι σχηματισμοί κατακρατούν τους ρύπους, έχουν μικρή έως ελάχιστη τρωτότητα. Επίσης μάργες, αργιλοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες, σχιστοκερατόλιθοι κτλ έχουν μικρή τρωτότητα. Διάφοροι ρωγμώδεις σχηματισμοί (γενέσιοι, οφιόλιθοι, όξινα πυριγενή, διάφοροι μη αργιλοί, χαλαζιακοί σχηματισμοί, χαλαζίτες κτλ) έχουν μέτρια τρωτότητα εξαρτώμενοι από το άνοιγμα των ρωγμών και γενικά την περατότητα κατά αντίστροφο λόγο. Μέσα σε άτρωτους σχηματισμούς (αργιλούχους κτλ) αρκεί και πολύ μικρή διαδρομή των ρύπων για να κατακρατηθεί το μέγιστο ποσοστό τους. Αντίθετα μέσα σε τρωτούς σχηματισμούς (αμμοχαλικώδεις κτλ) ακόμα και αν οι ρύποι κάνουν μεγάλη διαδρομή υφίστανται μικρή κατακράτηση.

Η σπουδαιότητα της ακόρεστης ζώνης κρίνεται ανάλογα με το πάχος, τη λιθολογική σύσταση, την πλευρική εξάπλωση και την υδροπερατότητα των υλικών της.

Με βάση τα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης διακρίνονται :

α) **ευνοϊκές συνθήκες προστασίας**, όταν επικρατούν υλικά με μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και πλευρική εξάπλωση, όπως: άργιλοι, πηλοί, λεπτόκοκκοι άμμοι, ελάχιστου πάχους 2,5 m, με συντελεστή υδροπερατότητας μικρότερο από αυτόν της λεπτόκοκκης άμμου, καθώς επίσης μεσόκοκκοι και χονδρόκοκκοι άμμοι και αμμοχάλικες ελάχιστου πάχους 4 m με συντελεστή υδροπερατότητας μικρότερο από αυτό της μεσόκοκκης άμμου (DVGW, Arbeitsblatt W 101, 1995, Καλλέργης, 2000).

β) **μέτριες συνθήκες προστασίας**, όταν τα υλικά της προαναφερόμενης περίπτωσης εμφανίζονται στην ακόρεστη ζώνη με μικρότερα πάχη και ο υδροφορέας παρουσιάζει καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού, δηλαδή το ενεργό μέγεθος των κόκκων είναι < 0,4 mm, η ταχύτητα ροής < 3 m/d και ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφόρο > 30 ημέρες.

γ) **δυσμενείς συνθήκες προστασίας**, όταν δεν πληρούνται οι προδιαγραφές των δύο παραπάνω περιπτώσεων, όπως αυτό συμβαίνει σε υδροφόρους με δευτερογενές πορώδες, καρστικοί και μη υδροφορείς, καθώς επίσης και σε χαλαρούς αδρομερείς υδροφόρους σχηματισμούς, έστω και αν υπάρχουν εμφανίσεις αργιλικών φακών.

Το πρότυπο του **Dienemann** (1956) στηρίζεται κυρίως στην **ικανότητα αυτοκαθαρισμού** της ακόρεστης ζώνης και λαμβάνει υπόψη το πάχος, τη λιθολογία και την κοκκομετρική της σύσταση. Μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχουν τα λεπτόκοκκα υλικά (ενεργό μέγεθος κόκκων < 0,4 mm) μεγάλου πάχους (> 6 m). Αντίθετα ασήμαντη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχουν τα υλικά με ενεργό μέγεθος κόκκων > 0,4 mm και ταχύτητα του νερού > 3 m/d (καρστικοί υδροφόροι, ελεύθεροι υδροφόροι αδρομερών υλικών κ.λπ.).

Κατά **Rehse** (1977) το δυναμικό αυτοκαθαρισμού της ακόρεστης ζώνης στους αλλουβιακούς σχηματισμούς εκτιμάται με βάση το δείκτη καθαρισμού, ο οποίος προκύπτει από το πάχος των διαφόρων οριζόντων. Βασική προϋπόθεση είναι η παρουσία αργιλικών οριζόντων ή λεπτόκοκκων σχηματισμών με έντονη συμμετοχή του αργιλικού υλικού. Εναλλαγές υδροπερατών και υδατοστεγανών στρωμάτων ακόμα και μικρού πάχους, αυξάνουν το βαθμό ικανότητας αυτοκαθαρισμού. Έτσι ο δείκτης αυτοκαθαρισμού (MI) προκύπτει από τη σχέση :

$$MI = D_1 \cdot I_1 + D_2 \cdot I_2 + D_3 \cdot I_3 + \dots + D_n \cdot I_n$$

όπου D_1, D_2, \dots, D_n τα πάχη των διαφόρων οριζόντων της ακόρεστης ζώνης και I_1, I_2, \dots, I_n ο αντίστοιχος δείκτης, που ισούται με $1/D$ (Πίνακας 3). Αν $MI \geq 1,0$ ο αυτοκαθαρισμός στην ακόρεστη ζώνη είναι πλήρης και ταυτίζεται με αυτόν που γίνεται στον υδροφόρο ορίζοντα εντός 50 ημερών. Όταν $MI < 1,0$ τότε ο καθαρισμός δεν έχει ολοκληρωθεί και απαιτείται επιπλέον χρόνος παραμονής στον υδροφόρο ορίζοντα ίσος με: T (ημέρες) = $50(1 - MI)$. Στους υπολογισμούς συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη οι ανώτεροι οριζόντες από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 5 m.

Πίνακας 3: Δείκτες αυτοκαθαρισμού διαφόρων σχηματισμών (Σταμάτης, 2001) [2]

Είδος σχηματισμού	Πάχος D (m)	Δείκτης $I=1/D$
Εδαφικός ορίζοντας με 5 - 10 % humus και 5 - 10 % άργιλο	1,2	0,8
Άργιλος, άμμος με υψηλό ποσοστό αργίλου	2	0,5
Αργιλώδης πηλός, πηλός	2,5	0,4
Πηλώδης άμμος, άμμος με χαμηλό ποσοστό αργίλου	3 - 4,5	0,33 - 0,22
Άμμος λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη	6	0,17
Άμμος μεσόκοκκη έως χονδρόκοκκη	10	0,1
Άμμος χονδρόκοκκη	15	0,07
Χαλίκια με συμμετοχή άμμου και αργίλου	8	0,13
Χαλίκια με υψηλή περιεκτικότητα άμμου	12	0,08
Χαλίκια λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα και πολύ άμμο	25	0,04
Χαλίκια μεσόκοκκα έως χονδρόκοκκα και χαμηλή περιεκτικότητα άμμου	35	0,03
Κροκάλες, λίγα χαλίκια και άμμος	50	0,02

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

3. Ρύπανση - Τύποι και ιδιότητες ρυπαντών

Η ρύπανση των υδάτων και γενικότερα των φυσικών πόρων, εμφανίζεται με ιδιαίτερη ένταση στα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Γιατί σε αυτά η οικονομική δραστηριότητα και η υπερπληθυσμιακή συγκέντρωση οδήγησαν σε σημαντική αύξηση των ρυπαντών του αέρα, των υδάτων και του εδάφους. Προέρχεται κυρίως από την ελλιπή διαχείριση των αστικών, βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων με αποτέλεσμα την παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων οργανικών και παθογόνων μικροοργανισμών στους υπόγειους και επιφανειακούς αποδέκτες. Επίσης, η αλόγιστη χρήση απορρυπαντικών, φυτό-προστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων, τα οποία εφαρμόζονται για τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγής, έχουν ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση των υδάτων με σύνθετες οργανικές ενώσεις και ανόργανες φωσφορικές και νιτρικές ενώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδατικών αποδεκτών.

Η ρύπανση των υδάτων αποτελεί στις μέρες μας ένα διαρκώς οξυνόμενο πρόβλημα, αποτέλεσμα πολλαπλών δραστηριοτήτων και συσσώρευσης λαθών, που έχουν γίνει είτε από άγνοια είτε από αμέλεια είτε από αναζήτηση παράνομου κέρδους. Οι δυσμενείς επιπτώσεις κάθε μορφής ρύπανσης των υδατικών πόρων ενός οικοσυστήματος επηρεάζουν όχι μόνο την ανθρώπινη υγεία αλλά είναι δυνατόν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες οικολογικές καταστροφές σε αυτό. Ωστόσο, όσο και αν φαίνεται παράδοξο, δεν είναι καθόλου εύκολο να οριστεί με ακρίβεια και πληρότητα η πολύπλοκη έννοια της ρύπανσης, γιατί θα πρέπει να προσδιοριστεί το πλαίσιο αναφοράς των αιτίων και των συνεπειών της, είτε αναφερόμαστε στη γενικότερη φυσική ισορροπία, είτε στην ανθρώπινη υγεία. Ένας σχετικά παραδεκτός ορισμός δέχεται ότι,

Ρύπανση υδάτων, ορίζεται η κάθε μορφής ανεπιθύμητη αλλοίωση της σύστασης ή/και της μορφής των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών τους από την παρουσία σε αυτά ουσιών σε ποσότητα που υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Οι αλλοιώσεις αυτές είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απότομες και πολλές φορές σημαντικές διαταραχές της γενικής ισορροπίας της φύσης, οι οποίες με τη σειρά τους έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο.

Μόλυνση, είναι εκείνη η μορφή ρύπανσης, που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η μόλυνση έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ρυπαντής ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία είναι κάθε διαλυτή (υδρόφιλη π.χ. ανόργανα άλατα) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη, π.χ. υδρογονάνθρακες, PCBs, διαλύτες κ.λπ.) στο νερό, ουσία, η οποία όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι :

- 1) Βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cr, Ni κ.α)
- 2) Τοξικά στοιχεία και ενώσεις (As, Se, CN⁻ κ.ά.)
- 3) Ανόργανες ενώσεις (NO₃⁻, PO₄⁻³, NO₂⁻ κ.ά.)
- 4) Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.).
- 5) Ραδιενεργές ουσίες
- 6) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί)

Οι κυριότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων είναι οι ακόλουθες :

Διαλυτότητα: Είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα μεταφέρονται πιο εύκολα από τα επιφανειακά νερά.

Πτητικότητα: Είναι η ικανότητα που έχουν τα μόριά τους να διαφεύγουν από την επιφάνεια του υγρού και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση.

Προσορητικότητα: Εκφράζει την ικανότητα προσρόφησης μιας ουσίας από τα σωματίδια του εδάφους.

Βαθμός αποσύνθεσης: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί μια ουσία (παρασιτοκτόνο) σε άλλες ενώσεις.

Ο συντελεστής κατανομής: Περιγράφει τον τρόπο κατανομής ενός ρύπου μεταξύ δύο μέσων, π.χ. στερεού - υγρού, ατμών - υγρού.

Πίεση των ατμών: Είναι η πίεση που ασκούν οι ατμοί ενός υγρού, όταν το υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του και εκφράζεται με το νόμο του Raoult. Η σταθερά Henry (H) συνδέει τη μερική πίεση (P_m) μιας πτητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της (C) στο διάλυμα: $P_m = H \cdot C$ (νόμος Henry). Από αυτήν προκύπτει ότι η διαλυτότητα αερίου εντός υγρού (gr/L) υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη με την πίεση του αερίου σε ισορροπία με το υγρό.

Δείκτης βιοσυγκέντρωσης: Εκφράζει την ποσότητα μιας ουσίας που μπορεί να συσσωρευτεί στους υδρόβιους μηχανισμούς.

Τοξικότητα: Είναι η πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, όταν εκτεθούν στους ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας. Η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρα δόση (LD_{50}), που είναι η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) στην οποία επιβιώνει μόνο το 50 % των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν η έκθεση γίνεται με την αναπνοή, η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρο συγκέντρωση (LC_{50}), που είναι η συγκέντρωση του ρύπου σε ορισμένο όγκο αέρα που εισπνέεται, στην οποία επιβιώνει μόνο το 50 % των οργανισμών. Τοξικοί ρύποι στα επιφανειακά νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg , Cd , Pb , Cr κ.ά), οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, απορρυπαντικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, διοξίνες), τοξικά αέρια (Cl_2 , NH_3), τοξικά ανιόντα (CN^-), οξέα και αλκάλια. Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω της πεπτικής οδού, με την αναπνοή και μέσω του δέρματος. Συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος (PCBs), τα οστά (Pb , F), τα νεφρά (Cd) και το πλάσμα του αίματος.

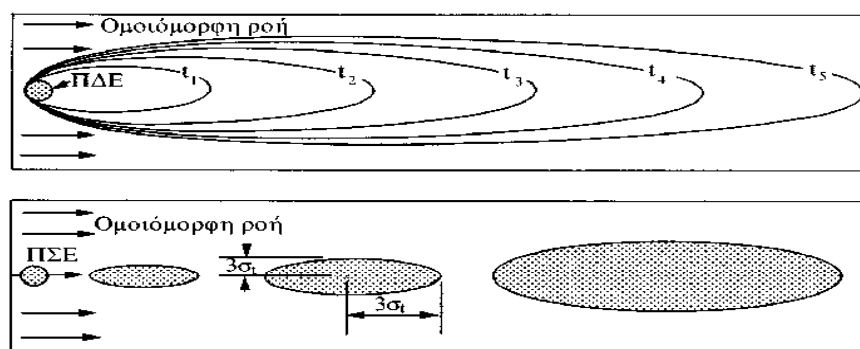
Οι πηγές της ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος διακρίνονται ανάλογα με την προέλευση τους, σε ανθρωπογενείς πηγές, εάν προέρχονται από οποιαδήποτε μορφή ανθρώπινης δραστηριότητας και σε φυσικές πηγές, εάν είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών μέσα στο περιβάλλον (π.χ. Ηφαιστεια, σεισμοί, πλημμύρες). Όταν προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες τότε,

Η ρύπανση του νερού μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κύριες κατηγορίες :

- Αστική Ρύπανση
- Βιομηχανική Ρύπανση
- Γεωργική Ρύπανση

Οι πηγές ρύπανσης ταξινομούνται ανάλογα με :

- 1) Την γεωμετρία:** σε α) σημειακές (ΧΥΤΑ, χωματερές, βόθροι, υπόγειες δεξαμενές), β) γραμμικές (δρόμοι, αύλακες) και γ) διάχυτες (νιτρορρύπανση, όξινη βροχή)
 - 2) Τον ρυθμό εκπομπής:** σε α) συνεχούς εκπομπής, β) στιγμιαίας εκπομπής
- Το γεωμετρικό σχήμα της ρύπανσης ονομάζεται *πλούμιο* ή *θύσανος*.



Εικόνα 28: Πλούμιο ρύπανσης σε ισότροπο υδροφορέα από σημειακή πηγή συνεχούς (επάνω) και στιγμιαίας (κάτω) εκπομπής ρυπαντή (Freeze-Cherry, 1979, από Καλλέργη, 2000). [2]

Οι σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες επιβαρύνουν κατ' αρχήν τα επιφανειακά νερά και στη συνέχεια τους υπόγειους υδροφορείς, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες :

Αστικά απορρίμματα:

Αποτελούνται από τρόφιμα, χαρτί, γυαλί, πλαστικά, φυτικές ύλες, υφάσματα, ξύλο, ελαστικά κ.ά. Πιθανόν πολλές φορές να περιέχουν και μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων, όπως : χρώματα, ορυκτέλαια, απορρυπαντικά κ.λπ. Τα απορρίμματα περιέχουν και ποσότητα νερού, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 25 - 60 %. Τα στραγγίσματα ή διασταλάζοντα από χώρους διάθεσης ή ταφής στερεών αποβλήτων είναι πλούσια σε ενώσεις του αζώτου, χλωριόντα, μόλυβδο, σίδηρο κ.ά. και μπορεί να αποτελέσουν σημαντική αιτία ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων νερών.

Οικιακά λύματα:

Ονομάζονται γενικά τα υγρά απόβλητα των κατοικιών, ιδρυμάτων ή άλλων εγκαταστάσεων μιας περιοχής, που είναι συνδεδεμένες με τις λειτουργίες της πόλης (ζαχαροπλαστεία, μαγειρεία, πλυντήρια). Αποτελούνται κατά μεγάλο ποσοστό από νερό, που περιέχει οργανικά και ανόργανα προϊόντα. Η δυσάρεστη οσμή τους οφείλεται στο οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή δράση. Το χρώμα των αποβλήτων είναι ενδεικτικό της ηλικίας και της προέλευσής τους. Τα *οργανικά υλικά* στα λύματα είναι συνήθως : χαρτιά, ούρα, κόπρανα, σαπούνια, απορρυπαντικά, υπολείμματα τροφών, έλαια, λίπη. Τα *ανόργανα συστατικά* είναι: αμμωνία, άλατα του αμμωνίου, άργιλος κ.ά. Η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα κυμαίνεται από 150 - 500 L/άτομο.

Βιομηχανικά απόβλητα:

Ονομάζονται τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών που είναι αποτέλεσμα της χρήσης νερού στη παραγωγική διαδικασία, το οποίο έχει εμπλουτισθεί με διάφορα συστατικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις και διακρίνονται σε βιολογικά και μη βιολογικά.

- Τα βιολογικά περιλαμβάνουν τα απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής τροφίμων, παραγωγής χαρτιού και επεξεργασίας υφαντικών ινών.
- Τα μη βιολογικά είναι απόβλητα χημικών βιομηχανιών και περιέχουν ρυπαντές όπως : οξέα, βάσεις, χλώριο, κυανιούχα, μέταλλα, άλατα, υδρογονάνθρακες, φωσφορικά.

Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε σύγκριση με τα αστικά λύματα παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά: Περιέχουν τοξικά στοιχεία, εμφανίζουν δυσκολία επεξεργασίας και μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποβλήτων διαφόρων βιομηχανιών.

Ένα μέρος των βιομηχανικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως **επικίνδυνα** και απαιτούνται αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί για τη διάθεσή τους στο γεωπεριβάλλον. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και άλλα απόβλητα, όπως τα νοσοκομειακά. Ο όρος **τοξικά** χρησιμοποιείται για απόβλητα που περιέχουν ουσίες που προκαλούν σοβαρές βλάβες ή και θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Γενικά, τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις κάτωθι τέσσερις κατηγορίες (Καββαδάς, 1996) :

1. Ανόργανα απόβλητα σε διάλυση ή αιώρηση που περιέχουν βαρέα μέταλλα (μόλυβδο, υδράργυρο), αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια.
2. Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (Aqueous Phase Liquids - APLs). Ανήκουν τα απόβλητα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, διαλύτες, χρώματα.
3. Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non - Aqueous Phase Liquids - NAPLs). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λιπαντικά, ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες, προϊόντα πετρελαίου. Τα μη αναμίξιμα εξ' αυτών με πυκνότητα μικρότερη του νερού **LNAPLs** (βενζίνη, πετρέλαιο κ.ά) επιπλέουν στο νερό και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, διαχεόμενα μόνον οριζόντια. Οι υδρογονάνθρακες έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν επί πολύ χρόνο στην επιφάνεια των υπόγειων νερών, προσδίνοντας δυσάρεστη οσμή.
Τα βαρύτερα **DNAPLs** (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη

και κορεσμένη ζώνη και εγκαθίστανται πάνω στο αδιαπέρατο υπόβαθρο, ρυπαίνοντας έτσι τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες σε βάθος.

4. Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα απόβλητα των διυλιστηρίων και τα απόβλητα από τον καθαρισμό των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών.

Τα βιομηχανικά απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία για να απαλλαγούν από τους ρυπαντές και να διατεθούν εν συνεχεία στο περιβάλλον ή να επαναχρησιμοποιηθούν.

Γεωργικά απόβλητα :

Η ρύπανση που προκαλείται στα νερά από τις γεωργικές δραστηριότητες αφορά την χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα), που χρησιμοποιούνται εντατικά στη γεωργία τις τελευταίες δεκαετίες και αποτελούν σημαντικούς ρύπους για τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Οι ρύποι φτάνουν στα επιφανειακά νερά μέσω της επιφανειακής απορροής με τα νερά της βροχής ή με την επικοινωνία με τα υπόγεια νερά που εν τω μεταξύ έχουν ρυπανθεί από τη στράγγιση των νερών άρδευσης των αγρών. Το νερό που επιστρέφει από τις αρδεύσεις διηθείται παρασέρνοντας διαλυμένες ουσίες στα υπόγεια νερά. Έτσι στοιχεία που περιέχονται στα λιπάσματα και στα φυτοφάρμακα οδηγούνται στο υπόγειο νερό, ειδικά σε περιπτώσεις διαπερατών εδαφικών σχηματισμών. Οι πλέον επικίνδυνοι ρύποι είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία έχουν μεγάλη ευκινησία και μετακινούνται εύκολα από την ακόρεστη ζώνη στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Στην ακόρεστη ζώνη οι διαλυμένες ουσίες κινούνται κατακόρυφα προς την υπόγεια στάθμη και στην κορεσμένη ζώνη η υδραυλική κλίση προκαλεί την οριζόντια κίνηση του υπόγειου νερού και των ρύπων που περιέχονται σε αυτό. Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση κυρίως των νιτρικών ιόντων έχει οδηγήσει σε πλήρη υποβάθμιση πολλούς υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως φρεάτιους σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

Κτηνοτροφικά απόβλητα :

α) Ρύπανση από στάβλους

Σε κτηνοτροφικές μονάδες (στάβλους), ιδίως με μεγάλο αριθμό ζώων, παράγονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Π.χ ένα μοσχάρι μέσα σε ένα εξάμηνο που απαιτείται για την εκτροφή του, παράγει πάνω από μισό τόνο κοπριάς (συν τα ούρα). Επομένως με την συγκέντρωση πολλών ζώων σε περιορισμένο χώρο ξεπερνιέται η φυσική ικανότητα του εδάφους να δεχθεί να «αφομοιώσει» και να εξουδετερώσει το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων χωρίς συνέπειες για το υποκείμενο υπόγειο νερό. Έτσι μπορούν από την μονάδα να μεταφερθούν μεγάλα ρυπαντικά φορτία στα υποκείμενα υδροφόρα στρώματα. Οι κοπριές περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων σε οργανικές ουσίες, σε άλατα και μέταλλα (ανάλογα με την διατροφή των ζώων) σε ενώσεις και ιόντα του αζώτου, των νιτρικών, των θεικών, του φωσφόρου και επίσης διάφορους μικροοργανισμούς (μικρόβια κλπ). Η τακτική αφαίρεση της κοπριάς διευκολύνει την νιτρορρύπανση, γιατί έτσι βρίσκεται το οξυγόνο που απαιτείται για αντιδράσεις με το άζωτο. Αντίθετα η συσσώρευση της μειώνει τη νιτρορρύπανση, όμως μπορεί να διευκολύνει άλλες ρυπάνσεις και μολύνσεις. Στις κτηνοτροφικές μονάδες μπορούμε να αναφέρουμε τα βουστάσια, τα χοιροτροφία, τις αιγο - προβατοτροφικές μονάδες, τις πτηνοτροφικές μονάδες κλπ.

β) Ρύπανση από σφαγεία

Τα παραπροϊόντα από τα σφαγεία (αίματα, άχρηστα τεμάχια κ.α) τόσο τα ίδια, όσο και κυρίως ό,τι προκύψει με τις ζυμώσεις που θα ακολουθήσουν κατά την σήψη τους, δημιουργούν μια έντονη εστία ρύπανσης. Γι' αυτό πρέπει να υπάρχουν ειδικές εγκαταστάσεις σε κατάλληλο έδαφος - υπέδαφος για την συσσώρευση τους. Ακόμη και τα νερά απόπλυσης πρέπει να διοχετεύονται σε εγκαταστάσεις καθαρισμού.

Στις περιπτώσεις που η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια, αυτό αποδίδεται :

Στην επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.ά), στην έντονη εξάτμιση, που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων, στην οξειδωση των πετρωμάτων, τη διείσδυση αλμυρού νερού λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της αλλαγής του

παγκόσμιου κλίματος (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και λόγω υπεράντλησης και όξινη βροχή εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Άλλες πιθανές αιτίες ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι: τα νερά ψύξης των βιομηχανιών (θερμική ρύπανση), τα ρευστά από τα νεκροταφεία, ο εμπλουτισμός από ρυπασμένα επιφανειακά νερά, η ρίψη NaCl για την αποπαγοποίηση των δρόμων (2 μέχρι 10 tn ανά km), τα διασταλάζοντα υγρά από τις χωματερές κ.ά.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κυριότερες πηγές ρύπανσης, τα είδη των ρύπων που αντιστοιχούν σε κάθε μία από αυτές και η επίδραση που έχουν στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Πίνακας 4: Πηγές ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών [2]

Πηγή	Είδος Ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες, Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Co, Cr, Ag, As, CN	Συσσωρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων, Φαρμακευτικές βιομηχανίες, Χαρτοποιεία	Φαινόλες, Αμμωνία. Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο, Φαινόμενα ευτροφισμού, Τοξικά προϊόντα (αμμωνία, φαινόλες)
Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	Βαρέα μέταλλα, Αέρια, Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις	Ρύπανση υπόγειων υδροφορέων
Αγροτικές δραστηριότητες	Λιπάσματα, Εντομοκτόνα, Παρασιτοκτόνα	Αύξηση νιτρικών ιόντων, Καρκινογένεσεις
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες, Σφαγεία	Αζωτο, Φώσφορος, Βακτήρια Μύκητες	Ρύπανση και μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών νερών
Όξινη βροχή	Οξειδία S και N	Καταστροφή καλλιεργειών, Δασών κ.λ.π
Πυρηνικοί σταθμοί	Ραδιενέργεια στο νερό	Γενετικές αλλοιώσεις, Συσσωρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διυλιστήρια, Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες, Πετρέλαιο, Άσφαλτος	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας, Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις, Όξινα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών, Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακή σταθμοί, Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών, Ελάττωση του O ₂ , Αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Άλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφορέων

3.1 Μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς

Οι ρυπαντικές ουσίες ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά με διάφορους τρόπους όπως :

- Με απευθείας κατείδυση στους υπόγειους υδροφορείς από ρυπαντές που αποτίθενται επιφανειακά ή ενταφιάζονται σε μικρό βάθος.
- Με διήθηση στο υπέδαφος από ρυπαντές που απορρίπτονται στα επιφανειακά νερά (ποτάμια, χείμαρροι)

Οι ρυπαντές μεταφέρονται στο σύστημα ροής των υπόγειων νερών με την επίδραση της υδραυλικής κλίσης και της υδροδυναμικής διασποράς. Η διάδοση των ρύπων επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες (πυκνότητα, ιξώδες, θερμοκρασία κ.λ.π), που καθορίζουν την κινητικότητα και τη διάχυσή τους. Οι ρυπαντές κινούμενοι στην ακόρεστη ζώνη, υφίστανται την διαδικασία του αυτοκαθαρισμού με αποτέλεσμα τη μείωση ή την εξουδετέρωση του ρυπαντικού

τους φορτίου. Η φυσική αυτή διαδικασία απορρόπησης είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των ρυπαντών με το έδαφος και περιλαμβάνει τους εξής μηχανισμούς :

1) Προσρόφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια χημική ουσία προσκολλάται (δεσμεύεται) στην επιφάνεια των στερεών σωμάτων (αργιλικά ορυκτά).

2) Απορρόφηση είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία η χημική ουσία περνάει στο εσωτερικό των στερεών σωμάτων (Appelo & Postma, 1996).

Η προσρόφηση και η απορρόφηση είναι οι δύο μορφές της ρόφησης. Με την προσρόφηση μπορούν να δεσμευθούν βαρέα μέταλλα (Ag, Pb, Hg), ιχνοστοιχεία (Se, Ni, Al), μέταλλα (Cr, Cu), χημικές ενώσεις (οργανικοί διαλύτες, κυανίδια), ιόντα (NH_4^+). Η προσρόφηση των μετάλλων και των ιόντων γίνεται με την επίδραση ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των κατιόντων και των αρνητικά φορτισμένων αργιλικών στρώσεων. Μπορεί επίσης να επιτευχθεί προσρόφηση με καθίζηση του ιόντος μετάλλου ή των κυανιδίων με μορφή αλάτων π.χ το Cr μπορεί να προσροφηθεί από υδροξείδιο του σιδήρου και να καθιζάνει ως αδιάλυτη ένωση σιδήρου.



Εικόνα 29: Διαδικασίες ρόφησης (Appelo & Postma, 1996) [3]

3) Ιοντοανταλλαγή είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ των ρυπαντών και του εδαφικού υλικού . Έτσι ιχνοστοιχεία όπως π.χ το As μπορεί να δεσμευθεί στην επιφάνεια του ιλλίτη ή του μοντμοριλονίτη, αντικαθιστώντας ιόντα Ca^{+2} . Οι βάσεις ως πρωτονιοδέκτες (H^+) μπορούν να μετατραπούν σε θετικά φορτισμένα ιόντα (NH_4^+) και να αντικαταστήσουν άλλα ιόντα στην επιφάνεια των αργιλικών φύλλων. Τα οξέα μπορούν να ανταλλάξουν πρωτόνια (H^+) με τα κατιόντα της επιφάνειας των διπλών στρώσεων ή με το Al^{+3} , Mg^{+2} και Si^{+4} του αργιλικού πλέγματος και να αδρανοποιηθούν (Appelo & Postma, 1966).

Η ικανότητα των αργιλικών υλικών να δεσμεύουν κατιόντα ονομάζεται ικανότητα κατιονικής ανταλλαγής (Cation Exchange Capacity, CEC) και ισούται :

$$\text{CEC (meq/100 g)} = 0,7 (\% \text{ \u00c4ργιλος}) + 3,5 (\% \text{ C})$$

όπου, C = η περιεκτικότητα (%) σε οργανικό άνθρακα. Η ικανότητα προσδιορίζεται εργαστηριακά και εκφράζεται με τον αριθμό των χιλιοστοισοδύναμων (meq) των κατιόντων που μπορούν να ανταλλαχτούν σε δείγμα ξηρής μάζας 100 g. Μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες συγκέντρωσης (meq/L νερού πόρων) χρησιμοποιώντας την κάτωθι εξίσωση (Appelo & Postma, 1966) :

$$\text{CEC (meq/L)} = \text{CEC (mg/100g)} \times 10 \times w_s/n$$

όπου, w_s = το ειδικό βάρος και n = το πορώδες του ιζήματος. Σχετικά με τις ανωτέρω διαδικασίες πρέπει να σημειωθούν οι εξής παρατηρήσεις :

- 1) Οι μηχανισμοί της προσρόφησης και της ιοντοανταλλαγής δεν είναι ευδιάκριτοι και πολλές συμβαίνουν ταυτόχρονα. Γενικά στους εδαφικούς οριζόντες λαμβάνει χώρα η ιοντοανταλλαγή ενώ στα βαθύτερα γεωλογικά στρώματα υπερισχύει η προσρόφηση.
- 2) Η προσρόφηση γίνεται λόγω της ύπαρξης μόνιμων επιφανειακών φορτίων, ενώ η ιοντοανταλλαγή λόγω της ύπαρξης μόνιμων επιφανειακών φορτίων (Νικολαΐδης, 2005).
- 3) Κατά την προσρόφηση προκαλείται μείωση των συνολικών διαλυμένων στερεών (T.D.S), ενώ αυτό δεν συμβαίνει κατά την ιοντοανταλλαγή (Καββαδάς, 1996).

- 4) Οι ανωτέρω μηχανισμοί επηρεάζονται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Θερμοκρασία, υγρασία, pH, πίεση, παρουσία καταλυτών κ.α), την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους και την χημική σύσταση των ρυπαντών. Σε χαμηλό pH επικρατούν θετικά ηλεκτρισμένες επιφάνειες στις στρώσεις των αργιλικών ορυκτών, ενώ σε υψηλό pH επικρατούν οι αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες. Σε ενδιάμεσες τιμές pH δημιουργούνται συνθήκες γνωστές ως "σημείο μηδενικού ηλεκτρικού φορτίου".
- 5) Δεν έχουν απεριόριστες δυνατότητες μείωσης του ρυπαντικού φορτίου, γιατί υπόκεινται σε κορεσμό με συνέπεια την εξασθένηση της δράσης τους.

Παράλληλα με τους ανωτέρω δύο μηχανισμούς φυσικής απορρύπανσης λαμβάνουν χώρα, ανεξάρτητα της παρουσίας εδαφικών κόκκων και άλλες βιολογικές και χημικές διεργασίες (υδρόλυση, νιτροποίηση, βιοχημική οξείδωση κ.α) με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Οι διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται και στα επιφανειακά νερά.

3.2 Διάδοση των ρύπων

Οι ρύποι στο περιβάλλον διαδίδονται και διασπείρονται σε μεγάλη απόσταση και έκταση με τον αέρα και σε μικρότερη απόσταση με τα επιφανειακά νερά. Όμως οι ρύποι που πέφτουν στο έδαφος και φθάνουν στο υπέδαφος καταλήγουν τελικά στο υπόγειο νερό με το οποίο διαδίδονται και διασπείρονται, όχι όμως σε τεράστιες, αλλά συνήθως σε περιορισμένες εκτάσεις.

Πολλές και διάσπαρτες εστίες ρύπανσης προκαλούν τελικά ρύπανση του υπόγειου νερού σε εκτενείς περιοχές. Η ρύπανση των υπόγειων νερών, σε αντίθεση με αυτή των επιφανειακών, μεταδίδεται και εντοπίζεται δύσκολα και αντιμετωπίζεται ακόμα πιο δύσκολα. Ένας ρύπος που εισέρχεται στο υπόγειο νερό ακολουθεί την ροή του και έτσι διασπάται, διακλαδίζεται και διασπείρεται σε ορισμένη έκταση λόγω ροής και διαχέεται λόγω μοριακής θερμοδυναμικής διάχυσης. Η διασπορά επομένως των ρύπων στο υπέδαφος γίνεται :

- Με μηχανική ανάμιξη λόγω ροής
- Με μοριακή (και ιοντική) διάχυση λόγω θερμοκινητικής ενέργειας της διαλυμένης ουσίας

Για την διάδοση του ρύπου στο υπέδαφος, όταν αυτός είναι υγρός έχει σημασία, αν ο ρύπος αναμιγνύεται ή όχι με το νερό (υδρόφιλος ή υδρόφοβος) και αν έχει ειδικό βάρος μεγαλύτερο ή μικρότερο σε σχέση με αυτό του υπόγειου νερού (βαρύτερος ή ελαφρύτερος). Επίσης έχει σημασία αν η πηγή, ή η εστία ρύπανσης, είναι σημειακή ή γραμμική ή εκτενής. Ακόμη αν η εκπομπή του ρύπου γίνεται στιγμιαία εφάπαξ ή με διαλείποντα τρόπο, ή συνεχώς (για σχετικά μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα). Τέλος έχει επίσης σημασία η σύσταση (από λιθολογική άποψη) και η δομή (από άποψη εναλλαγής, αλληλουχίας και γεωμετρίας) του υπεδάφους, δηλαδή η γεωλογία του. Γενικά, διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες διαλυμένων ουσιών - ρύπων :

- α) συντηρητικές ή αδρανείς και
- β) ενεργές ή δραστικές.

Συντηρητικές είναι αυτές που δεν αντιδρούν με το έδαφος και/ή με το γειτονικό υπόγειο νερό ή δεν υφίστανται βιολογικές ή ραδιενεργές διασπάσεις. Περιλαμβάνουν τους υδρόφοβους ρύπους (NAPL). Το ιόν του χλωρίου είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα συντηρητικού ιόντος. Στην περίπτωση συντηρητικού ρυπαντή, αυτός ακολουθεί την κίνηση του υπόγειου νερού και μεταφέρεται κατάντη επεκτείνοντας τη ρύπανση.

Οι βασικές διαδικασίες για τη διάδοση των αδρανών ρύπων στο χώρο είναι:

- Μεταφορά
- Διασπορά
- Μοριακή Διάχυση.

Μεταφορά (ή ρεύματα μεταφοράς) είναι η διαδικασία κατά την οποία το κινούμενο νερό μεταφέρει τους διαλυμένους ρύπους. Ο όρος διάχυση χρησιμοποιείται για την εξάπλωση του ρύπου σε στάσιμα νερά, ενώ ο όρος διασπορά χρησιμοποιείται για κινούμενα νερά.

Στην περίπτωση των δραστικών ουσιών, υπάρχουν φυσικές και χημικές διαδικασίες (προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή, χημικές αντιδράσεις κ.ά.), που προκαλούν μια επιβράδυνση της κίνησης του ρύπου, έτσι ώστε δεν μετακινείται όπως προβλέπει ο ρυθμός μεταφοράς του. Οι ανωτέρω διαδικασίες μπορεί να συμβαίνουν ταυτόχρονα στο πορώδες μέσο.

Κατά τη **μεταφορά** ο ρυπαντής ακολουθεί την κίνηση του υπόγειου νερού στις ίδιες τροχιές, η οποία ως γνωστόν υπακούει στο νόμο του Darcy δηλαδή κίνηση από θέσεις υψηλού σε θέσεις χαμηλού υδραυλικού φορτίου:

$$v_x = ki/n_e$$

όπου, v_x = μέση γραμμική ταχύτητα, k = υδραυλική αγωγιμότητα, i = υδραυλική κλίση και n_e = ενεργό πορώδες. Σε περιπτώσεις ρυπαντών μεγάλου ειδικού βάρους, τότε παρατηρείται απόκλιση στη ροή του υπόγειου νερού από εκείνη του ρυπαντή. Αρνητικά φορτισμένα ιόντα μπορούν να κινούνται ταχύτερα από το νερό, στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα. Η μάζα του ρύπου (m) που μεταφέρεται από μια επιφάνεια κάθετα στη διεύθυνση ροής με διατομή A , δίνεται από τη σχέση :

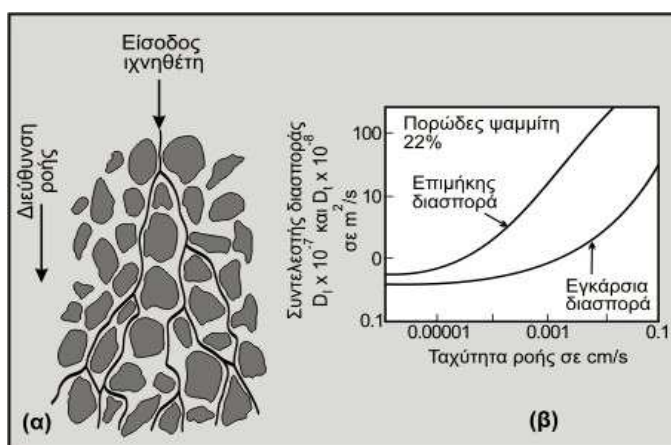
$$m = v_x ACn_e$$

όπου C = η συγκέντρωση του ρύπου, v_x = η μέση γραμμική ταχύτητα και n_e = το ενεργό πορώδες. Κατά τη μεταφορά η συγκέντρωση του ρυπαντή μένει σταθερή σε ένα συγκεκριμένο όγκο νερού, λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας. Κατά τη **διασπορά** οι ταχύτητες του νερού, κατά την κίνησή του στους πόρους του εδαφικού σχηματισμού, ποικίλλουν αποκλίνοντας σημαντικά από τη μέση μακροσκοπική ταχύτητα. Η διασπορά διακρίνεται σε μηχανική και υδροδυναμική.

Η επιμήκης μηχανική διασπορά οφείλεται στο ότι :

- η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη στο κέντρο των πόρων, όπως συμβαίνει στο κινούμενο νερό των ποταμών
- οι πόροι δεν έχουν όλοι την ίδια διάμετρο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων και
- κάποια ποσότητα του κινούμενου υγρού κάνει μεγαλύτερες αποστάσεις. Έτσι οι ρύποι διασπείρονται τόσο κατά μήκος της κίνησης του υπόγειου νερού, όσο και εγκάρσια προς αυτήν.

Η εγκάρσια (πλευρική) μηχανική διασπορά προκαλείται από το γεγονός ότι, καθώς κινείται το υγρό σε ένα πορώδες μέσο, η ροή του διακόπτεται από την παρουσία των κόκκων και διακλαδίζεται, επεκτεινόμενη πλευρικά (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Διασπορά ρύπου σε υδροφορέα : (α) πλευρική διασπορά από ένα σημείο έκχυσης (Todd, 1980), (β) συντελεστής επιμήκους και εγκάρσιας διασποράς σε ψαμμίτες για διάφορες ταχύτητες ροής (Crane - Gardner, 1961, από Καλλέργη, 2000). [2]

Η μηχανική διασπορά (D') είναι ίση με το γινόμενο της μέσης γραμμικής ταχύτητας ροής (v_x) επί έναν παράγοντα που καλείται δυναμική διασπορικότητα και έχει διαστάσεις μήκους (dynamic dispersivity, α_L):

$$D' = v_x \cdot \alpha_L$$

Ο Neuman (1990) μελετώντας τη συσχέτιση μεταξύ της φαινομενικής επιμήκους δυναμικής διασπο-

ρικότητας (α_L) και του μήκους του δρόμου ροής (L), διατύπωσε την κάτωθι σχέση, που ισχύει για αποστάσεις μικρότερες των 3.500 m :

$$\alpha_L = 0,0175 L^{1,46}$$

Η **μοριακή διάχυση** συμβαίνει στη μικροκλίμακα των πόρων και οφείλεται στη διαφορά συγκέντρωσης του ρύπου από θέση σε θέση (χημικό δυναμικό). Η διάχυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ιοντικά ή μοριακά συστατικά διαλυμένα στο νερό κινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης. Η διάχυση μιας διαλυμένης ουσίας (ρύπου) περιγράφεται από τον πρώτο νόμο του **Fick**. Ο νόμος αυτός περιγράφει τη ροή μάζας (F) λόγω διάχυσης δηλαδή την ποσότητα του ρύπου που περνά από τη μοναδιαία διατομή ενός πορώδους μέσου, στη μονάδα του χρόνου :

$$F = -D \frac{dC}{dx}$$

όπου, F = η ποσότητα του ρύπου (kg) ανά μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου, D = ο συντελεστής διάχυσης (επιφάνεια /χρόνος), C = η συγκέντρωση των ρύπων (μάζα /όγκος), dC/dx = η βαθμίδα συγκέντρωσης δηλαδή η μεταβολή της συγκέντρωσης (dC) δια της αντίστοιχης μεταβολής της απόστασης (dx). Ο συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το ιξώδες του υγρού και τη μέση ακτίνα των μορίων που διαχέονται. Με εξαίρεση το ιόν H⁺ (D=93,1x10⁻⁶ cm²/s) και το ανιόν OH⁻ (D=52,7x10⁻⁶ cm²/s), ο συντελεστής D για τα υπόλοιπα ιόντα στο νερό κυμαίνεται από 5x10⁻⁶ έως 20x10⁻⁶ cm²/s. Οι τιμές αυτές ισχύουν για διαλύματα σε ανοικτούς αγωγούς.

Στην περίπτωση πορωδών μέσων, όπου οι ουσίες διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις οι συντελεστές χρειάζονται διόρθωση και για το λόγο αυτόν πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή λ (D* = λD), ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0,5 και 0,01. Για συστήματα στα οποία η συγκέντρωση αλλάζει με τον χρόνο, μπορεί να εφαρμοσθεί ο δεύτερος νόμος του Fick (συνδυασμός α' νόμου Fick και της εξίσωσης συνέχειας) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

όπου, $\partial C/\partial t$ είναι η μεταβολή της συγκέντρωσης με τον χρόνο. Σύμφωνα με την ανωτέρα εξίσωση αν θεωρήσουμε ότι σε ένα σημείο ενός πορώδους μέσου έχουμε σταθερή παροχή μιας ουσίας με συγκέντρωση C₀, τότε η συγκέντρωση C της ουσίας σε απόσταση L μετά από χρόνο t, παρέχεται από την εξίσωση:

$$C(x,t) = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{L}{2} \sqrt{Dt} \right)$$

όπου, erfc = η συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος και D = ο συντελεστής διάχυσης. Ο αριθμός *Pecllet* (Pe) εκφράζει το λόγο της μεταφοράς μάζας από τη ροή προς τη μεταφορά μάζας με διάχυση. Ο αριθμός αυτός δίνεται από τη σχέση :

$$Pe = vd/D$$

όπου, v = η ταχύτητα ροής, d = η μέση διάμετρος κόκκων και D = ο συντελεστής διάχυσης. Η **υδροδυναμική διασπορά** είναι το αποτέλεσμα της μηχανικής διασποράς και της μοριακής διάχυσης. Η υδροδυναμική διασπορά προκαλεί αραίωση της διαλυμένης ουσίας λόγω μηχανικής ανάμειξης, καθώς και λόγω μοριακής διάχυσης που οφείλεται στη θερμοκινητική ενέργεια των σωματιδίων του ρύπου. Ο κύριος άξονας ανάμειξης συμπίπτει με τη διεύθυνση της ροής του υπόγειου νερού, καθόσον η επιμήκης συνιστώσα είναι μεγαλύτερη από την εγκάρσια (πλευρική). Σε μονοδιάστατες ροές υδροδυναμικής διασποράς (D_L - m²/s) ισούται με :

$$D_L = D' + D^* = (v_x \cdot \alpha_L) + D^*$$

Οι παράμετροι v_x, D' και α_L αναλύθηκαν προηγουμένως και D* είναι η ενεργή μοριακή διάχυση. Η παράμετρος D* είναι συνάρτηση του συντελεστή μοριακής διάχυσης D :

$$D^* = \lambda D$$

Όπου, λ είναι ένας εμπειρικός συντελεστής, που καθορίζεται με εργαστηριακές μετρήσεις. Ο Beer

(1971) υπολόγισε μια μη εμπειρική σχέση που συνδέει το D^* και το D , η οποία δείχνει ότι το D^* είναι ίσο με D φορές το πορώδες (n) διαιρεμένο με το τετράγωνο της πολυπλοκότητας της ροής :

$$(D^*=Dn/\tau^2)$$

Η πολυπλοκότητα (τ) είναι το πραγματικό μήκος της ροής, που είναι ελικοειδής στη μορφή, διαιρεμένο με την ευθεία απόσταση μεταξύ των άκρων της ροής. Ο συντελεστής D_L παίρνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 10^{-9} - 10^{-8} m²/s στα λεπτόκοκκα υλικά και μεταξύ 10^{-8} - 10^{-6} m²/s στα χονδρόκοκκα υλικά.

Η υδροδυναμική διασπορά και η μεταφορά είναι οι κυρίαρχες διαδικασίες διάδοσης των ρύπων στα πορώδη μέσα, όπως οι υδροφόροι. Σε συνηθισμένες συνθήκες ροής καθορίζουν το σχήμα και την εξάπλωση του πλούμιου (θυσάνου) ρύπανσης. Η επίδραση της υδροδυναμικής διασποράς γίνεται μελετώντας τη συμπεριφορά του Cl^- , που είναι συντηρητικό (αδρανές) ιόν. Στην περίπτωση πολύ μικρών ταχυτήτων ροής (λεπτόκοκκους προσχωματικούς υδροφορείς) η υδροδυναμική διασπορά είναι πρακτικά ίση με τη μοριακή διάχυση. Σε συνθήκες πλήρους ακινησίας του υπόγειου νερού επικρατεί η μοριακή διάχυση. Αντίθετα, σε αδρομερείς προσχωματικούς υδροφορείς, όπου επικρατούν μεγάλες ταχύτητες ροής, η μηχανική διασπορά είναι σημαντική. Η μονοδιάστατη εξίσωση για υδροδυναμική διασπορά σε ισότροπο πορώδες μέσο από πηγή ρύπανσης σταθερής συγκέντρωσης, δίνεται από την κάτωθι σχέση :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x}$$

Από την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει ότι, η συγκέντρωση C (mg/L) σε απόσταση L (m) από την πηγή ρύπανσης με αρχική συγκέντρωση C_0 (mg/L) μετά από χρόνο t (s), δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$C = \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{L - v_x t}{D_L} \right) + \exp \left(\frac{v_x L}{D_L} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{L + v_x t}{2\sqrt{D_L t}} \right) \right]$$

όπου, v_x είναι η μέση γραμμική ταχύτητα του υπόγειου νερού (m/s), D_L είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς (m²/s) και erfc είναι η συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος (complementary error function). Η ανωτέρω εξίσωση ισχύει στην περίπτωση μεταφοράς συντηρητικών ρύπων (δεν αντιδρούν με το νερό, NAPL) από μια πηγή με σταθερή συγκέντρωση σε ισότροπα πορώδη μέσα και είναι γνωστή σαν λύση Ogata - Banks (1961). Ισχύουν επιπλέον οι σχέσεις :

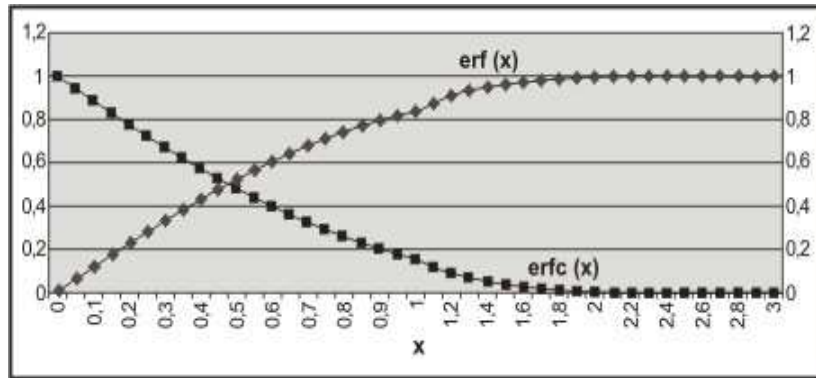
$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x), \quad \operatorname{erf}(-x) = -\operatorname{erf}(x) \quad \text{και} \quad \operatorname{erfc}(-x) = 1 + \operatorname{erf}(x)$$

Η τιμή της συνάρτησης σφάλματος **erf(x)** για τις διάφορες τιμές του x προκύπτει από τον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω.

Πίνακας 5: Τιμές της συνάρτησης σφάλματος (error function) erf(x) [2]

X	Erf(x)	X	erf(x)	X	erf(x)	x	erf(x)
0	0,0	0,55	0,563323	1,1	0,880205	2,1	0,997021
0,05	0,056372	0,6	0,603856	1,2	0,910314	2,2	0,998137
0,1	0,112463	0,65	0,642029	1,3	0,934008	2,3	0,998857
0,15	0,167996	0,7	0,677801	1,4	0,952285	2,4	0,999311
0,2	0,222703	0,75	0,711156	1,5	0,966105	2,5	0,999593
0,25	0,276326	0,8	0,742101	1,6	0,976348	2,6	0,999764
0,3	0,328627	0,85	0,770668	1,7	0,983790	2,7	0,999866
0,35	0,379382	0,9	0,796908	1,8	0,989091	2,8	0,999925
0,4	0,428392	0,95	0,820891	1,9	0,992790	2,9	0,999959
0,45	0,475482	1,0	0,842701	2,0	0,995322	3,0	0,999978
0,5	0,520500					∞	1,00000

Στη εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα μεταβολής των συναρτήσεων erf(x) και erfc(x).



Εικόνα 31: Διάγραμμα μεταβολής των συναρτήσεων erf(x) και erfc(x) [2]

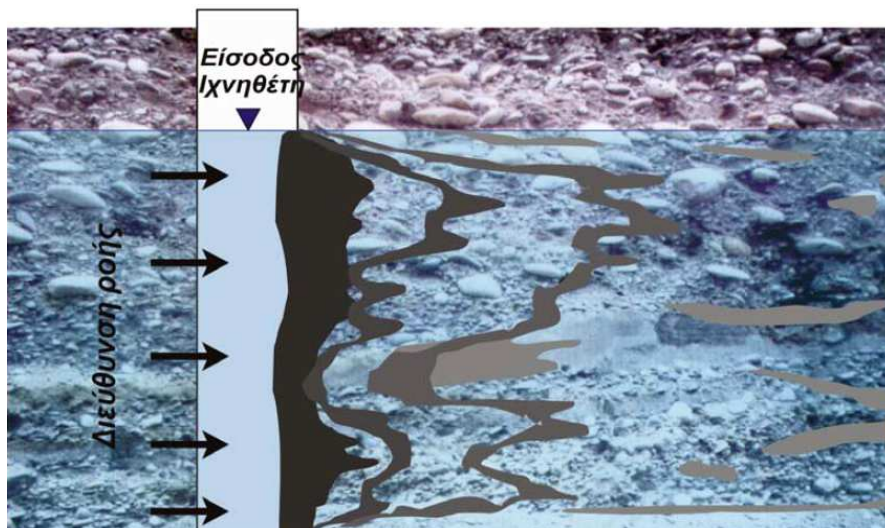
Προσεγγιστικά η erf(x) μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση :

$$erf(x) = \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-4x^2}{\pi}\right) \right\}^{1/2}$$

Σε μεγάλη απόσταση από την πηγή ρύπανσης ο δεύτερος όρος της αγκύλης στην ανωτέρω εξίσωση μεταφοράς των ρύπων των Ogata-Banks είναι πρακτικά μηδέν και παραλείπεται. Έτσι η εξίσωση παίρνει την παρακάτω απλούστερη μορφή :

$$C = \frac{C_o}{2} \left[erfc\left(\frac{L - v_x t}{2\sqrt{D_L t}}\right) \right]$$

Στην περίπτωση πηγής ρύπανσης με μεταβαλλόμενη συγκέντρωση η αναλυτική επίλυση γίνεται από πιο πολύπλοκες εξισώσεις (Marino, 1974). Να σημειωθεί ότι η επίλυση των ανωτέρω εξισώσεων γίνεται από ειδικά προγράμματα σε Η/Υ, όπως το PHREEQM (Appelo & Willemssen, 1987). Στην Εικόνα 32 φαίνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα διασποράς ενός ρύπου σε ένα ετερογενές πορώδες μέσο.

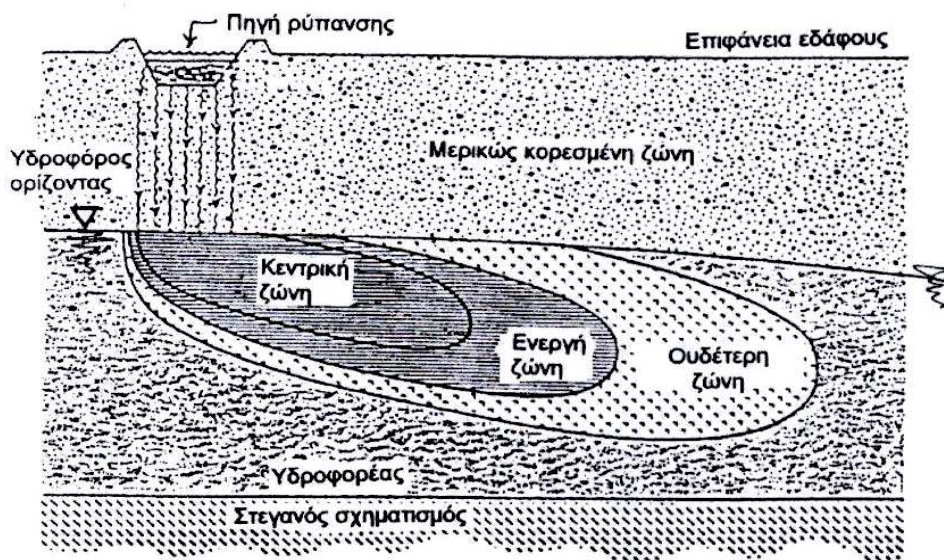


Εικόνα 32: Διασπορά ρύπου σε ετερογενές πορώδες μέσο. (Από Wohnlich, 2005) [2]

Εξασθένηση της ρύπανσης :

Λόγω της μεγάλης ικανότητας αυτοκαθαρισμού του εδάφους και λόγω μιας σειράς διαδικασιών στην ακόρεστη ζώνη παρατηρείται μείωση του ρυπαντικού φορτίου και αναγέννηση του ρυπασμένου νερού.

Το σύνολο των διαδικασιών αυτών, οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, συνιστά την ικανότητα εξασθένησης του ρυπαντικού φορτίου. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει περίσσεια οργανικής ύλης και οξυγόνου και παρατηρούνται κυρίως αερόβιες αντιδράσεις με αποτέλεσμα την μείωση του BOD, την μετατροπή του αζώτου και της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα με την δράση βακτηρίων. Η ακόρεστη ζώνη φιλτράρει επίσης το νερό, λόγω της βραδείας κίνησης που έχει στη ζώνη αυτή απομακρύνει τα βακτήρια και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα μικρά σε μέγεθος βακτήρια προσροφώνται σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικές ουσίες και σε ιόντα του εδάφους. Ο χρόνος επιβίωσης των βακτηρίων στο έδαφος κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες, ενώ οι ιοί του εντέρου ζουν από 1-6 μήνες. Το έδαφος που αποτελεί το ανώτερο στρώμα της ακόρεστης ζώνης εμφανίζει αυξημένη βιολογική δραστηριότητα που συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης. Ο ρυθμός εξασθένησης της ρύπανσης κατά την μετανάστευση αυτής στην κορεσμένη ζώνη εκφράζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου στη μονάδα του χρόνου (Εικόνα 33) και εξαρτάται από το είδος του ρύπου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.



Εικόνα 33: Επέκταση του πλούμιου ρύπανσης στην κορεσμένη ζώνη [17]

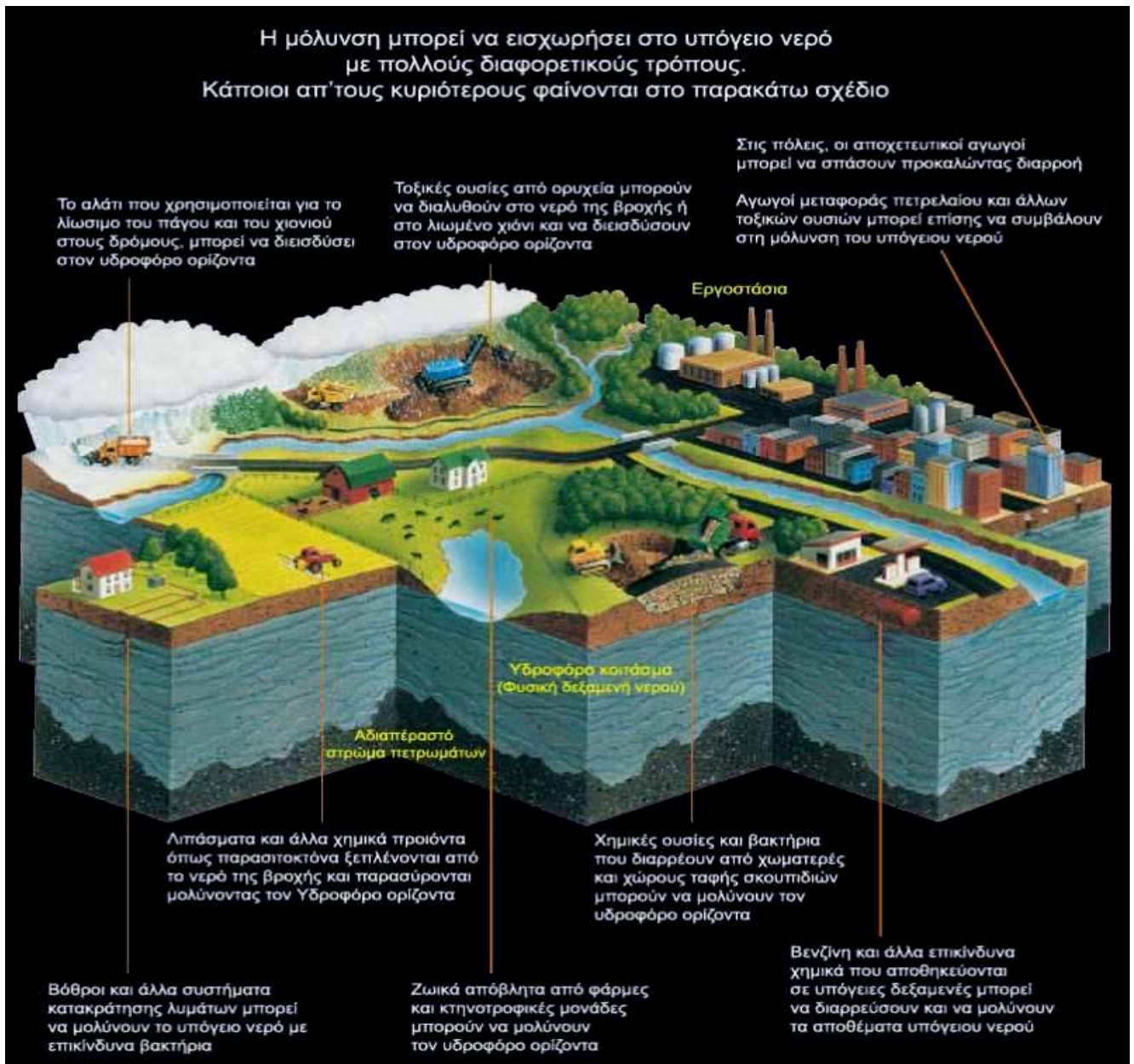
Τα νιτρικά όταν φθάσουν στην κορεσμένη ζώνη κινούνται με το υπόγειο νερό, χωρίς να υφίστανται εξασθένηση. Τα κυανίδια μπορεί να αποδομηθούν υπό αερόβιες συνθήκες σε αμμωνία, άζωτο ή νιτρικά άλατα. Τα φωσφορικά προσροφώνται και κατακρημνίζονται κατά την κίνησή τους στην ακόρεστη ζώνη μαζί με ιόντα Ca, Fe, Al. Τα μεταλλικά ιόντα δεσμεύονται στα αργιλικά ορυκτά, τα υδροξείδια και το οργανικό υλικό. Αποδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται σε αερόβιες συνθήκες στα όρια των πλούμιων ρύπανσης. Επίσης οι μικροβιακοί οργανισμοί των υπόγειων νερών έχουν την δυνατότητα δέσμευσης ανόργανων στοιχείων (N, C, P, S) και ορισμένων ιχνοστοιχείων για την σύνθεση των κυττάρων τους (Αντωνόπουλος, 2001). Η ύπαρξη ακόρεστης ζώνης, πάχους μερικών μέτρων, αποτελούμενη από λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα υλικά προστατεύει ικανοποιητικά τους υδροφορείς από την μόλυνση, εφόσον υπάρχει.

3.3 Ρύπανση υπόγειων υδάτων

Τα υπόγεια ύδατα είναι “κρυφοί” πόροι που υπερτερούν ποσοτικά των επιφανειακών, γι’ αυτό και είναι πολύ δυσκολότερη η πρόληψη της ρύπανσης καθώς και η παρακολούθηση και αποκατάσταση της ποιότητάς τους. Ο λεπτομερής εντοπισμός και χαρακτηρισμός τους δεν είναι εύκολη υπόθεση, ενώ συχνά δεν υπάρχει συνειδητοποίηση ή/και ενδείξεις κινδύνων ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.

Πρόσφατες εκθέσεις δείχνουν ότι η ρύπανση από οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυξάνεται, είτε άμεσα, λόγω των απορρίψεων λυμάτων, είτε έμμεσα με τη χρήση λιπασμάτων ή εξαιτίας των στραγγισμάτων από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης που εντοπιζόταν έως σήμερα προερχόταν από σημειακές πηγές, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι διάχυτες πηγές επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο τα υπόγεια ύδατα. Τα υπόγεια νερά είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση και έχουν περιορισμένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Είναι εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό να καθαρίσουμε τα υπόγεια νερά από επικίνδυνες και τοξικές ουσίες.

3.3.1 Πηγές ρύπανσης υπόγειων υδάτων



Η ποιότητα των υπόγειων νερών, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ των οποίων είναι :

- Η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων
- Η απόθεση ορυκτών
- Η οργανική ύλη (έκλυση CO_2 , αναγωγή οξειδίων Fe , NO_3 , SO_4 , μεθανογένεση)
- Η παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα)
- Οι παράμετροι του υδρολογικού κύκλου (μεγάλη εξάτμιση στους αβαθείς υδροφορείς αυξάνει την συγκέντρωση αλάτων)
- Οι αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής
- Οι ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων) στη γεωργία, διάθεση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος, διαρροές από χωματερές

Στις περιπτώσεις που η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια, αυτό αποδίδεται: στην επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.α), στην έντονη εξάτμιση που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων, στην οξειδωση των πετρωμάτων και στη διείσδυση της θάλασσας.

Ρύπανση από διαρροή υπονόμων

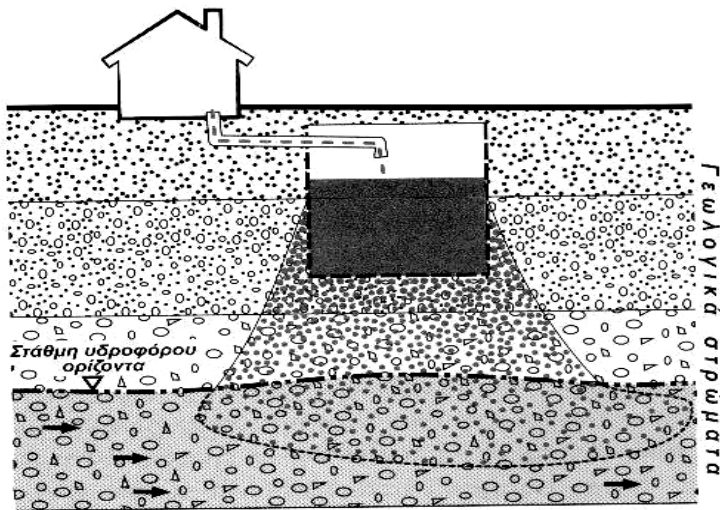
Σε όλες τις πόλεις το αποχετευτικό δίκτυο παρουσιάζει διαρροές. Αυτές οφείλονται είτε σε αστοχίες (ενίοτε σκόπιμες) από την αρχική κατασκευή ή στο υλικό, είτε από ρωγμές που προκλήθηκαν λόγω ερπυσμού - κατολισθήσεων - υποχωρήσεων του εδάφους, είτε από μεταγενέστερες εκσκαφές, είτε από υπερβολικές φορτίσεις, είτε από ρίζες δέντρων, είτε από κάποια άλλη αιτία. Συνήθως τα στερεά αιωρούμενα σωματίδια μέσα στα λύματα του δικτύου των υπονόμων τείνουν με τον χρόνο να φράξουν τις διάφορες ρωγμές των υπονόμων και τους πόρους του εδάφους – υπεδάφους γύρω από αυτές λόγω αναερόβιων συνθηκών. Αν όμως πλησίον του δικτύου των υπονόμων υπάρχουν εγκαταλειμμένα ή πολύ χειρότερα ενεργά πηγάδια ή γεωτρήσεις ή πηγές τότε δημιουργείται επικοινωνία με το υπόγειο νερό (ή χειρότερα με το δίκτυο ύδρευσης, όπως στην περίπτωση της Καστοριάς το 1998 που πήγαν στο νοσοκομείο χιλιάδες κάτοικοι). Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται τεράστια αύξηση του BOD, του COD και επομένως αύξηση των αναγωγικών βακτηριδίων και άλλων πιθανώς παθογόνων μικροοργανισμών και προϊόντων αναγωγής. Είναι σαφές ότι προκαλείται τοπική, και αν τέτοιες περιπτώσεις είναι πολλές, εκτενής ρύπανση - μόλυνση των υπόγειων νερών.

Ρύπανση από βόθρους

Οι βόθροι δέχονται τα οικιακά λύματα όταν δεν υπάρχει αποχετευτικό δίκτυο. Οι βόθροι είναι :

- Είτε σηπτικοί : πανταχόθεν στεγανοί που όταν γεμίζουν ή υπερχειλίζουν σε μια ειδική υπόγεια λεκάνη καθίζησης ή εκκενώνονται από ειδικά βυτιοφόρα.
- Είτε απορροφητικοί : μεγάλοι πορώδεις υπόγειοι θάλαμοι από όπου τα λύματα διαρρέουν στο υπέδαφος.

Και στις δύο περιπτώσεις τα λύματα, περισσότερο ή λιγότερο ή καθόλου επεξεργασμένα, καταλήγουν στο υπέδαφος και είναι δυνατόν να ρυπαίνουν τοπικά το υπόγειο νερό, ενώ αν υπάρχει πυκνότητα τέτοιων βόθρων προκαλείται ευρύτερη ρύπανση - μόλυνση του υδροφορέα.



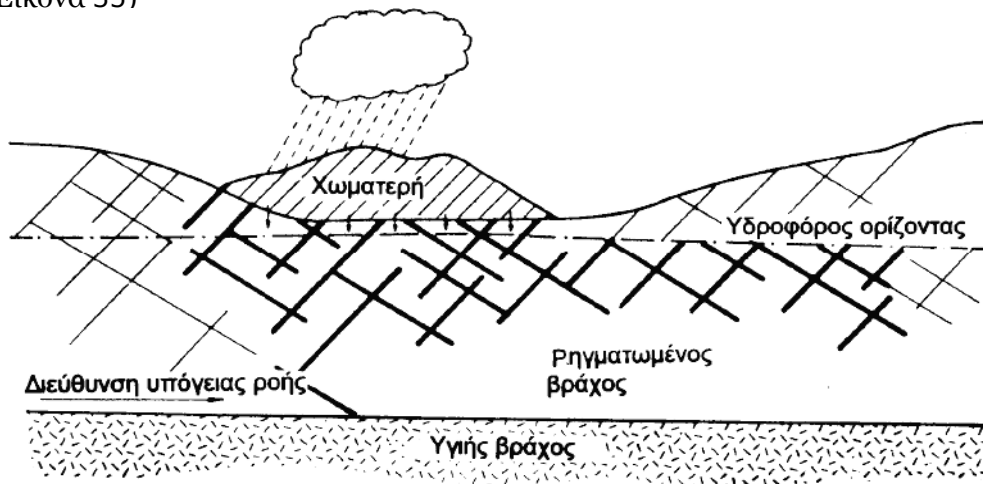
Εικόνα 34: Ρύπανση υπόγειου νερού από απορροφητικό βόθρο [3]

Στην Εικόνα 34 βλέπουμε έναν απορροφητικό βόθρο και παραστατικά τη ζώνη ρύπανσης του υδροφορέα και του υπόγειου νερού.

Ρύπανση από χωματερές (Χ.Υ.Τ.Α κ.λ.π)

Σε κάθε χωματερή από τις ζυμώσεις και γενικά από τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στα απορρίμματα, παράγεται βιοαέριο και ένα έκκριμα, το στραγγίσμα. Τα στραγγίσματα είναι περίπου 1 m³ ανά στρέμμα της χωματερής και ανά έτος. Όμως με το νερό της βροχής που κατεισδύει μέσα στα απορρίμματα ο όγκος του στραγγίσματος πολλαπλασιάζεται. Το στραγγίσμα είναι ένας δραστικός και τοξικός ρυπαντής. Στις ανοργάνωτες χωματερές το στραγγίσμα περνάει στο άμεσο υπόβαθρο τους. Στους οργανωμένους ΧΥΤΑ κατά ένα ποσοστό (μεγαλύτερο ή μικρότερο)

περισυλλέγεται με αδιαπέρατο υπόστρωμα από αργιλικό υλικό και διάφορες συνθετικές μεμβράνες και οδηγείται σε εγκαταστάσεις όπου γίνεται χημική επεξεργασία (με αντίστροφη ώσμωση κλπ). Όμως ποτέ δεν μπορεί να συλλεχθεί το σύνολο του στραγγίσματος για διάφορους λόγους. Έτσι τουλάχιστο ένα μέρος του στραγγίσματος κατεισδύει στο υπέδαφος και σχηματίζει το πλούμιο ρύπανσης (Εικόνα 35)

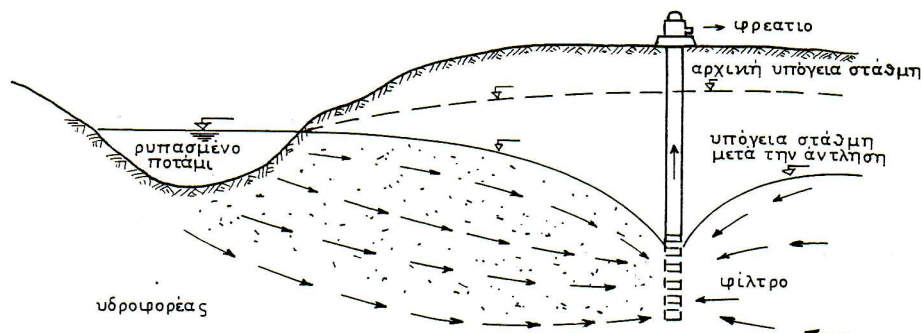


Εικόνα 35: Ρύπανση υπόγειου νερού από χωματερή [17]

Η διάδοση του στραγγίσματος δηλαδή η αύξηση του όγκου του θυσάνου, η ταχύτητα αύξησης του όπως και οι ρυπαντικές συνέπειες του εξαρτώνται από τη γεωλογική σύσταση του υποβάθρου της χωματερής. Γι αυτό η επιλογή της γεωλογικά κατάλληλης θέσης είναι κυρίαρχο θέμα στην επιλογή της θέσης της χωματερής (ΧΥΤΑ). Οι διάφορες χωματερές πρέπει να γίνονται εκεί που το υπόβαθρο είναι αδιαπέρατο, κατά προτίμηση αργιλικό και η στάθμη του υδροφόρου στρώματος βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο βάθος. Πάντως από τον θύσανο των στραγγισμάτων προκαλείται υποβάθμιση-ρύπανση του υπόγειου νερού που είναι τυπική: Προσωρινή με αύξηση των οργανικών υλών, BOD, COD, TOC. Μόνιμη με αύξηση του TDS των χλωριόντων των θειικών ιόντων των οξυανθρακικών ιόντων του CO₂ της σκληρότητας κλπ. Η επιλογή της γεωλογικά κατάλληλης θέσης, η κάλυψη ώστε να μειώνεται η κατεϊσδυση του βρόχινου νερού. Η στεγανοποίηση της βάσης μιας χωματερής και η συλλογή και χημική επεξεργασία του στραγγίσματος περιορίζουν δραστικά την ρύπανση του υπόγειου νερού. Για διάφορους λόγους όμως δεν τις εκμηδενίζουν.

Ρυπασμένα επιφανειακά ύδατα :

Τα επιφανειακά νερά των ποταμών, λιμνών, ελών ή στραγγιστικών τάφρων είναι επίσης μια άλλη πιθανή πηγή ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Ακόμα τα νερά των ποταμών και των λιμνών που κατακλύζουν την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια πλημμύρων και καταιγίδων είναι επίσης πιθανές πηγές ρύπανσης. Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων από τις πηγές αυτές μπορεί να γίνει με βαθιά διήθηση μέσα από διαπερατά υλικά όπως είναι η άμμος και τα χαλίκια ή με ροή του νερού δια μέσω των ρωγμών των ασβεστόλιθων και δολομιτών.

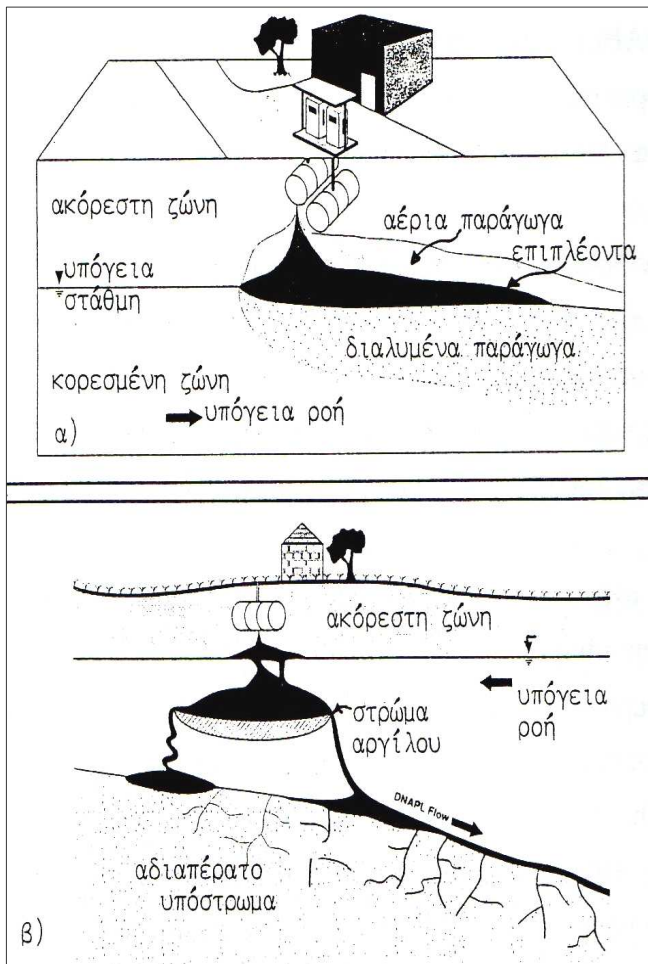


Εικόνα 36: Ρύπανση φρεατίου άντλησης νερού από την εισροή ρυπασμένου επιφανειακού νερού [4]

Ο μεγαλύτερος όμως κίνδυνος ρύπανσης των υδροφορέων από τα επιφανειακά νερά είναι από τη διήθηση τους κοντά σε φρεάτια άντλησης όπου δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ταχύτερης κίνησης του υπόγειου νερού (Εικόνα 36).

Υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης

Οι υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης διαφόρων προϊόντων (π.χ βενζίνης) αποτελούν μια από τις πλέον χαρακτηριστικές πηγές ρύπανσης. Τόσο στη βιομηχανία (π.χ. σε διυλιστήρια πετρελαίου, εργοστάσια παραγωγής βαφών, χημικών διαλυτών και φυτοφαρμάκων, κ.α), όσο και στις ιδιωτικές μικρές επιχειρήσεις (π.χ βενζινάδικα) χρησιμοποιούνται ευρέως δεξαμενές αποθήκευσης προϊόντων, οι οποίες είναι δύσκολο να ελεγχθούν ως προς κάποια πιθανή αστοχία. Χαρακτηριστικά,



Εικόνα 37: Διαγράμματα μετακίνησης α) ελαφρότερων και β) πυκνότερων από το νερό μη αναμειγνυόμενων με το νερό υγρών (Nielsen, 1991) [4]

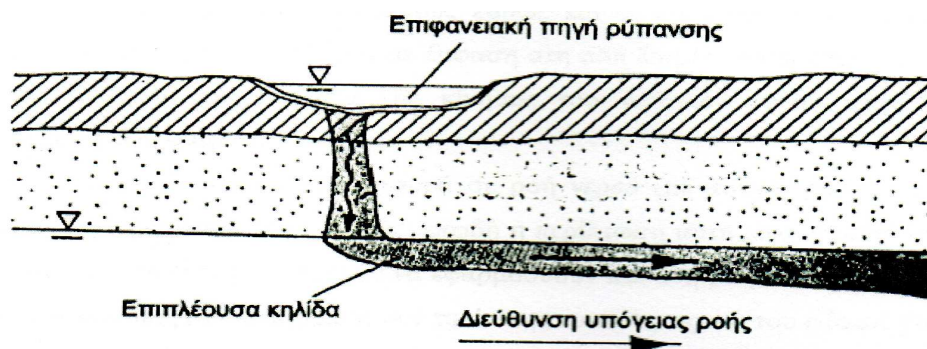
υδροφορείς Οι βαθείς αλυμροί υδροφορείς χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση χημικών ουσιών με τη διάνοιξη φρεατίων βάθους αρκετών εκατοντάδων μέτρων. Οι υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς αυτούς πρέπει να καλύπτονται από πάνω με ένα αδιαπέρατο στρώμα που να αποκλείει την ανοδική κίνηση του νερού. Οι τεχνητές λίμνες (τάφροι, δεξαμενές και λιμνούλες) είναι μια σοβαρή πηγή ρύπανσης λόγω πιθανής διαρροής των επικίνδυνων ουσιών. Επειδή τα λύματα που είναι αποθηκευμένα τείνουν να διηθηθούν βαθιά προς τον υποκείμενο υδροφορέα, οι ευκίνητες ουσίες μεταφέρονται στο υπόγειο νερό είτε τυχαία ή επειδή η κατασκευή έχει σχεδιαστεί έτσι που να μειώνονται τα αποθηκευμένα υγρά. Τα στερεά απόβλητα και η λάσπη των βιομηχανιών συχνά θάβονται μαζί με τα αστικά απόβλητα σε χωματερές, ενώ σε βιομηχανικές περιοχές δημιουργούνται χωματερές βιομηχανικών αποβλήτων που έχουν σκοπό την συγκέντρωση όλων των διαφορετικών αποβλήτων των βιομηχανιών.

Όλες οι μορφές μεταλλείων δημιουργούν απόβλητα και μεταβολές στις υδρογεωλογικές συνθήκες που συντελούν στην υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Οι κυριότεροι ρύποι από αυτού του είδους τις δραστηριότητες είναι ότι η οξύτητα, τα διαλυμένα στερεά, τα μέταλλα, τα ραδιοακτινοβολούντα υλικά, τα χρώματα και η θολότητα. Εκτός από τους ρύπους που δημιουργούν αυτές οι διαδικασίες, με τις εργασίες αποκάλυψης των μεταλλευμάτων αφαιρείται το στρώμα του εδαφικού υλικού ή των επιφανειακών ιζηματογενών αποθέσεων, που έχουν προσροφητικές, διηθητικές και αραιωτικές

ιδιότητες, επιτρέποντας την απευθείας κατείδυση των ρύπων στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι οι επιφανειακές εκσκαφές μετά τη λήξη της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται σαν τόπος απόρριψης απορριμμάτων με αποτέλεσμα την άμεση ρύπανση των υποκείμενων υδροφορέων. Η μεταβολή της υπόγειας στάθμης στις περιοχές εκσκαφών ή λόγω της εντατικής άντλησης για την απομάκρυνση του νερού από τις περιοχές των εργασιών μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της κλίσης φορτίου των υπόγειων νερών και μεγαλύτερες ταχύτητες ροής που θα προκαλέσουν κίνηση ρύπων και επέκταση της ρύπανσης σε μεγαλύτερες περιοχές.

Οι τυχαίες εγχύσεις υγρών αποβλήτων, τοξικών υγρών, βενζίνης και πετρελαίου δημιουργούν κινδύνους να μετακινηθούν δια μέσου της ακόρεστης ζώνης στα υπόγεια νερά. Οι υδρογονάνθρακες είναι από τους πιο κοινούς ρύπους που καταγράφονται σε εκχύσεις και διαρροές ή από τη θραύση των υπόγειων αγωγών μεταφοράς και αποθήκευσής τους.

Επειδή η διαλυτότητα αυτών των ουσιών στο νερό είναι πολύ μικρή, όταν μια μεγάλη ποσότητα πετρελαίου ή βενζίνης κινηθεί βαθιά προς την υπόγεια στάθμη, το πλούμιο που δημιουργείται θα κινηθεί επιπλέοντας στο υπόγειο νερό όπως φαίνεται στην Εικόνα 38.

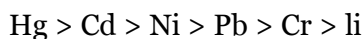


Εικόνα 38: Ρύπανση υπόγειων νερών με ελαφρά πετρελαιοειδή [17]

Οι υδρογονάνθρακες στα υπόγεια νερά παραμένουν για δεκαετίες δίνοντας δυσάρεστη οσμή στο νερό που αντλείται από τους ρυπασμένους υδροφορείς. Οι περισσότερες περιπτώσεις τυχαίων μολύνσεων θα μπορούσαν να αποφευχθούν με την καλή διαχείριση, μέσα από τη δημιουργία κατάλληλων φραγμάτων, την αποφυγή χωρίς διάκριση εκχύσεων και τον ταχύτατο καθαρισμό αυτών.

Ρύπανση από βαρέα μέταλλα :

Τα βαριά μέταλλα είναι στοιχεία που εύκολα χάνουν ηλεκτρόνια για να σχηματιστούν φορτισμένα ιόντα. Τα βαριά μέταλλα συνήθως είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και αποτελούν στοιχεία με υψηλή τοξικότητα και μεγάλη πυκνότητα ($Pb > 5 \text{ g/cm}^3$). Παράγονται ως παραπροϊόντα των μεταλλείων και των βιομηχανιών επεξεργασίας μετάλλων. Τα κυριότερα στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι : το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni) και ο ψευδάργυρος (Zn). Η τοξικότητά τους ποικίλει από στοιχείο σε στοιχείο και μια γενική κατάταξη μειωμένης τοξικότητας των παραπάνω μετάλλων είναι η εξής :



Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βαρέων μετάλλων είναι η τάση τους να συσσωρεύονται στο εδαφικό σύστημα σε υψηλά pH και η μειωμένη δυνατότητα απομάκρυνσής τους από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκονται με την μορφή ενώσεων με οργανικές ουσίες, αιωρούμενα και με την διαλυτή τους μορφή των ενώσεων που σχηματίζουν.

Ρύπανση από τη Γεωργία :

Στη γεωργία όπως ασκείται σήμερα, στη σύγχρονη γεωργία, χρησιμοποιούνται πολλά βιομηχανικά προϊόντα για να αυξηθεί η παραγωγή : ανεξέλεγκτη διάθεση κοπριάς, λιπάσματα, βελτιωτικά εδάφους, φυτοφάρμακα (ζιζανιοκτόνα, φυτο - ορμόνες κλπ). Τα περισσότερα από αυτά αφήνουν υπολείμματα στο έδαφος και στο υπόγειο νερό. Πολλά από τα φυτοφάρμακα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στο χρόνο και γι' αυτό εξαιρετικά επικίνδυνα, όταν καταλήγουν στο νερό. Από τα λιπάσματα πολύ συνηθισμένα είναι τα αζωτούχα, όπως επίσης τα κάλιο-νατριούχα και τα φωσφορικά. Τα φυτοφάρμακα ανιχνεύτηκαν στα υπόγεια ύδατα περίπου πριν 20 χρόνια, κρούοντας τον κώδωνα του κινδύνου για την υπερβολική χρήση τους, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την διείδυσή τους στο υπέδαφος και τους

υπόγειους υδροφορείς. Η ευρεία χρήση τους και η μεγάλη ποικιλία τους κατέστησε ιδιαίτερα έντονο το πρόβλημα της ρύπανσης του υπεδάφους και των υπόγειων υδροφορέων. Το όριο που έχει υιοθετηθεί για την περιεκτικότητα σε φυτοφάρμακα είναι 0,5 μικρογραμμάρια (εκατομμυριοστό του γραμμαρίου) ανά λίτρο συνολικά, και ειδικά για ορισμένα οργανο-χημικά (τα ίδια ή τα προϊόντα αποικοδόμησής τους είναι ιδιαίτερα τοξικά) το όριο είναι το 0,1 μικρογραμμάρια ανά λίτρο.



Εικόνα 39 : Φυτοφάρμακα.. με το τσουβάλι!



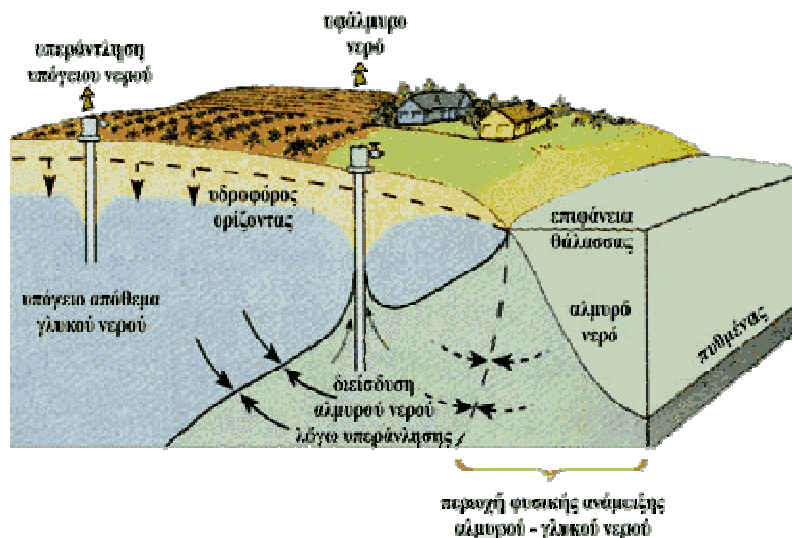
Εικόνα 40 : Χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες

Ρύπανση από άρδευση :

Το αρδευτικό νερό, ανάλογα με την εποχή, την κατάσταση και το είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας κατά 60 - 85 % επανεξατμίζεται. Επομένως τα άλατά του, και σχεδόν στο σύνολό τους όλα τα διαλυμένα και αιωρούμενα συστατικά παραμένουν στο έδαφος. Αυτά κατά την επόμενη υγρή περίοδο κατεισδύουν και φορτίζουν πρόσθετα το υπόγειο νερό σε χημικό φορτίο. Αυτό βέβαια δεν ισχύει, όταν το αρδευτικό νερό αντλείται από τους υπόγειους υδροφόρους της αντλούμενης περιοχής γιατί γίνεται «ανακύκλωση». Ισχύει μόνο όταν το νερό προέρχεται από άλλη περιοχή, ιδίως μάλιστα αν είναι επιφανειακής προέλευσης και μάλιστα φορτισμένο με πολλά άλατα και ρύπους.

3.3.2 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης

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 στους υδροφορείς. Η εισροή αυτή μπορεί να είναι μόνιμη ή συνηθέστερα μη μόνιμη ροή με αποτέλεσμα το αλμυρό νερό να αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού. Αποτέλεσμα της διείσδυσης της θάλασσας είναι η υφαλμύριση των υδροφορέων αυτών.

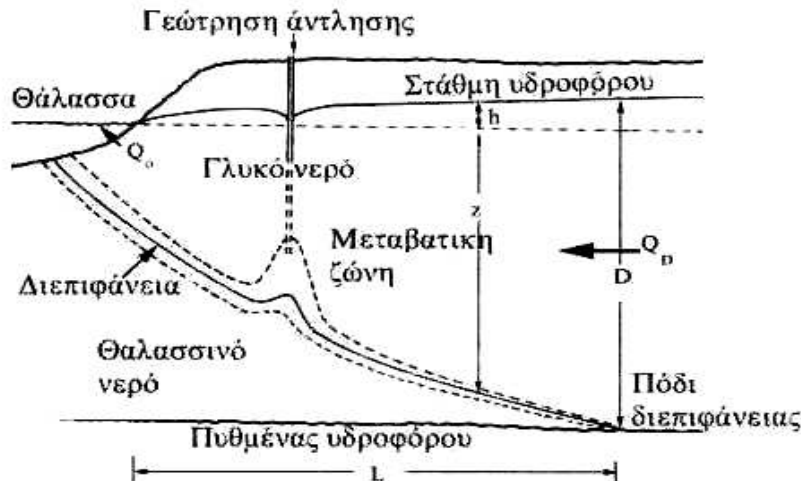


Εικόνα 41: Διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιο υδροφορέα [45]

Με τον όρο υφαλμύριση εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού για δεδομένη τοποθεσία και δεδομένο βάθος. Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρισης μπορεί να είναι και γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Αυτή η διείσδυση του αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να

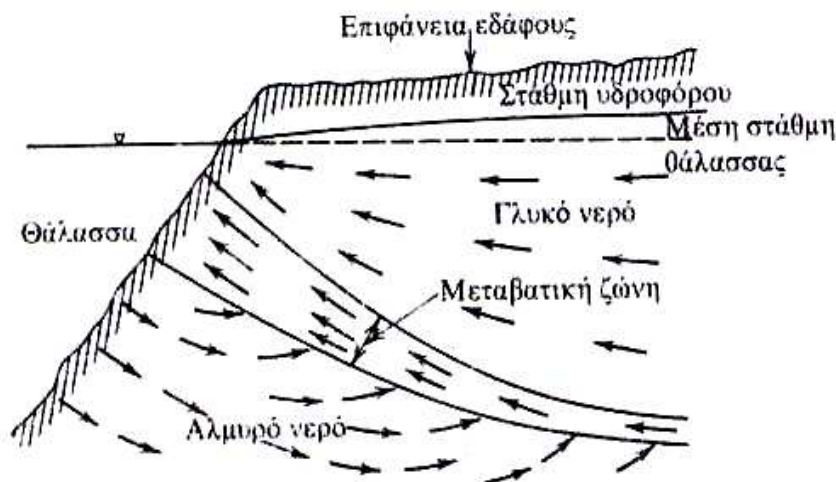
οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ. ανύψωση της στάθμης της θάλασσας), όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές συνδυασμό των δύο.

Η υφαλμύριση 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 θαλασσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού. Σε αυτούς το υπόγειο γλυκό νερό έρχεται σε επαφή με το αλμυρό θαλασσινό νερό. Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ των δύο υδατικών μαζών έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο επάλληλων υδατικών στρωμάτων, όπου το αλμυρό νερό ως πυκνότερο διεισδύει κάτω από το γλυκό νερό, ενώ ανάμεσα στις δύο ακραίες συνθήκες δημιουργείται μια μεταβατική (υφάλμυρη) ζώνη ενδιάμεσης πυκνότητας (διεπιφάνεια).



Εικόνα 42: Η απόσταση L του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή [21]

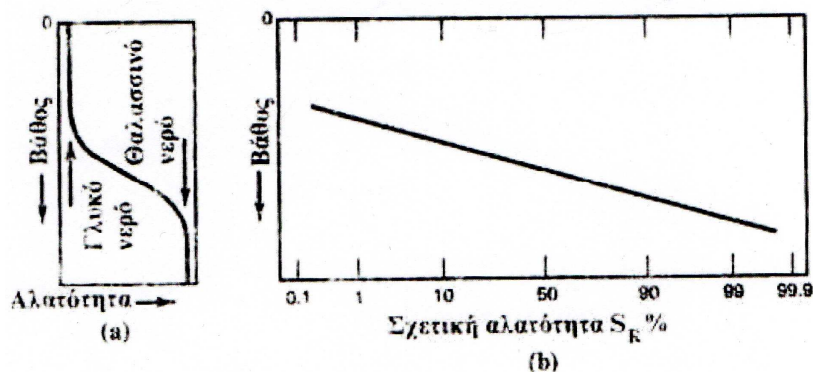
Το πάχος και η θέση αυτής της ζώνης ανάμειξης εξαρτάται από την υδραυλική ισορροπία μεταξύ του γλυκού και του αλμυρού νερού. Εάν κάποιες από τις παραμέτρους αλλάξουν (π.χ. άνοδος της στάθμης της θάλασσας ή μείωση της παροχής του γλυκού νερού), τότε το θαλασσινό νερό μπορεί να διεισδύσει βαθύτερα προς τη ενδοχώρα οδηγώντας σε υφαλμύριση των γλυκών υπόγειων υδάτων σε κάποια απόσταση από την ακτή. Το σημείο, στο οποίο η διεπιφάνεια συναντά το στεγανό πυθμένα του παράκτιου υδροφόρου, αποτελεί το «πόδι» της διεπιφάνειας, όπως δείχνει η εικόνα. Το «πόδι» δηλαδή βρίσκεται εκεί, που το z , στο οποίο βρίσκεται η διεπιφάνεια, είναι ίσο με το βάθος D του στεγανού υπόβαθρου του υδροφόρου.



Εικόνα 43: Διάγραμμα ροής γλυκού και αλμυρού νερού σε ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο [21]

Στην Εικόνα 43, φαίνεται η κίνηση του αλμυρού νερού προς στη στεριά, το πάχος της μεταβατικής ζώνης γλυκού - αλμυρού νερού και η ροή στις τρεις υπόγειες ζώνες (γλυκού - αλμυρού και ενδιάμεσης ποιότητας νερού). Το πάχος της μεταβατικής ζώνης (διεπιφάνειας) γίνεται μεγαλύτερο κοντά στην ακτή, εκεί όπου τα παλιρροϊκά φαινόμενα είναι έντονα.

Μέσα στη διεπιφάνεια, η αλατότητα αυξάνει προοδευτικά με το βάθος από το γλυκό στο αλμυρό νερό. Έτσι, είναι προτιμότερο να υπολογίζεται η σχετική αλατότητα S_R , σαν ποσοστό από τη σχέση :



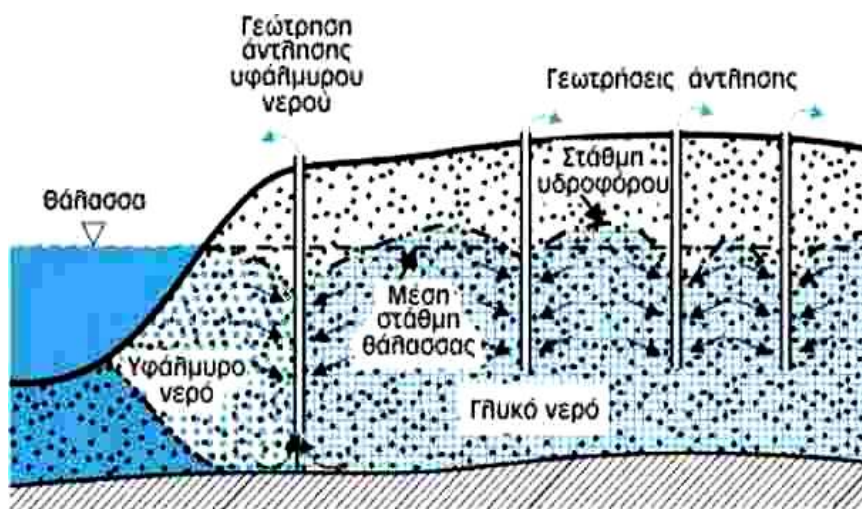
Εικόνα 44: Αύξηση της αλατότητας με το βάθος, στη μεταβατική ζώνη (α) γραμμική κλίμακα (β) κλίμακα πιθανοτήτων [21]

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

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

Αν προβληθούν οι τιμές S_R συναρτήσει του βάθους σε χαρτί πιθανοτήτων, θα προκύψει ευθεία γραμμή (Εικόνα 44). Δεδομένου ότι είναι δύσκολη η συλλογή λεπτομερών στοιχείων στο επίπεδο, για τη μορφή της διεπιφάνειας από δύο τυχαία σημεία μέτρησης της αλμυρότητας. Η τιμή 50 % της S_R , που αντιστοιχεί στη μέση θέση της διεπιφάνειας καθορίζει τη θέση της χωρίς ανάμιξη. Όταν υπάρχει ανομοιογένεια σε παράκτιους υδροφόρους, τότε παρατηρούνται στρωσιγενείς διατάξεις και ανωμαλίες στην κατανομή του γλυκού και του αλμυρού νερού.

Η ισορροπία του συστήματος γλυκού/αλμυρού νερού, διαταράσσεται κυρίως σε συνθήκες άντλησης μεγάλων ποσοτήτων υπόγειου νερού για άρδευση, καθώς και σαν αποτέλεσμα έργων αποστράγγισης υγροτόπων για τη δημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Οι αντλήσεις των υδροφορέων κατά τους θερινούς μήνες είναι εντατικές, πολλές φορές πάνω από τα όρια βιωσιμότητας. Επίσης η τροφοδοσία των υδροφορέων μεταβάλλεται ανάλογα με τις βροχοπτώσεις και σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας δεν επαρκεί για την επαναπλήρωσή τους.



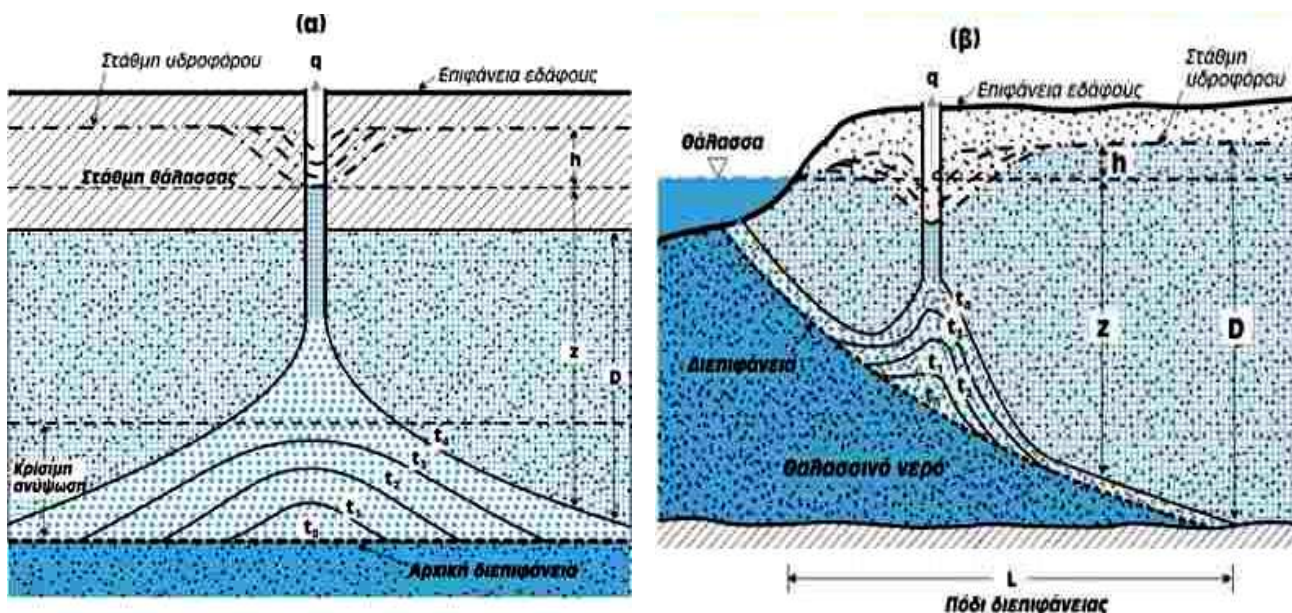
Εικόνα 45: Υπεράντληση υπόγειου νερού σε παράκτιο υδροφόρα [75]

Αποτέλεσμα αυτών των πρακτικών είναι η μείωση της ροής γλυκού νερού, η πτώση της στάθμης και κατά συνέπεια η υφαλυμύριση των υπόγειων νερών.

Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου έχει δύο συνέπειες :

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

Αν τώρα ένας παράκτιος υδροφόρος ορίζοντας περιέχει ένα στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από υδρομαστευτικό έργο (πηγάδι - γεώτρηση) που φθάνει μόνο στο ανώτερο τμήμα του που περιέχει γλυκό νερό, τότε παρατηρείται μία τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας κάτω από υδρομαστευτικό έργο.



Εικόνα 46: Ανύψωση της διεπιφάνειας (α): σε υπό πίεση και (β): σε ελεύθερο υδροφόρο στρώμα [75]

Εφ' όσον δηλαδή ελαττώνεται η στάθμη του υδροφόρου με την άντληση και συνεπώς το h , ελαττώνεται και το Z με αποτέλεσμα την ανύψωση της διεπιφάνειας προς το υδρομαστευτικό έργο με μορφή ενός ανεστραμμένου κώνου κατάπτωσης που υφίσταται άντλησεις (Εικόνα 46). Η ανύψωση της διεπιφάνειας σε μία νέα θέση ισορροπίας είναι ευθέως ανάλογη προς την παροχή άντλησης υδρομαστευτικού έργου σε σχέση πάντα με την δυναμικότητα υδροφορέα. Όταν όμως το υδρομαστευτικό μας έργο αντλεί νερό από την διεπιφάνεια αυτή, λογικό είναι να αντλούμε υφάλμυρο νερό. Στα ομογενή πορώδη μέσα (κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες) η ανύψωση της διεπιφάνειας αντιμετωπίζεται με την κατασκευή υδροληπτικών έργων, που να απέχουν κατακόρυφα όσο το δυνατόν περισσότερο από την ζώνη του αλμυρού νερού, να βρίσκονται διάσπαρτα στο πεδίο και όχι το ένα πλησίον του άλλου, με τον περιορισμό των παροχών άντλησης, ώστε να επιτυγχάνεται η μικρότερη δυνατή πτώση στάθμης και με την ταυτόχρονη άντληση γλυκού και αλμυρού νερού αφ' ενός μεν από τον υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει γλυκό νερό και αφ' ετέρου από την ζώνη του αλμυρού νερού που βρίσκεται κάτω από το γλυκό νερό.

Πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο της υφαλμύρισης δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση. Από πολλούς η υφαλμύριση θεωρείται η σύγχρονη «ασθένεια» των υπόγειων νερών.

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων από την εισροή θαλασσινού νερού 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

Ο έλεγχος της θαλάσσιας διείσδυσης απαιτεί ικανοποιητική γνώση των υδραυλικών συνθηκών του υδροφόρου και της πηγής του αλμυρού νερού. Η γνώση της έκτασης ενός προβλήματος υφαλμύρισης και η εκτίμηση της συμπεριφοράς του αλμυρού νερού κάτω από διαφορετικές συνθήκες εμπλουτισμού και εκφόρτισης είναι αναγκαία έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση του προβλήματος.

3.4 Θαλάσσια ρύπανση

Η ρύπανση των θαλασσών και η υποβάθμιση των παράκτιων περιοχών είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη μας. Ιδιαίτερα σε κλειστές θάλασσες, όπως η Μεσόγειος, τμήμα της οποίας αποτελούν και οι Ελληνικές θάλασσες, η θαλάσσια ρύπανση είναι εντονότερη λόγω της περιορισμένης ανάμειξης των θαλάσσιων υδάτων με αυτά των ωκεανών.



Εικόνα 47: Θαλάσσια ρύπανση

Η ομάδα ειδικών του ΟΗΕ (GESAMP) ορίζει τη θαλάσσια ρύπανση ως την :

"εισαγωγή από τον άνθρωπο στο θαλάσσιο περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων και των εκβολών των ποταμών) ουσιών ή ενέργειας, άμεσα ή έμμεσα, με αποτέλεσμα δηλητηριώδεις συνέπειες, όπως βλάβες σε έμβιους οργανισμούς, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση θαλάσσιων δραστηριοτήτων συμπεριλαμβανομένης της αλιείας, μείωση της ποιότητας για τη χρήση του θαλασσινού νερού και ελάττωση της θελκτικότητας των υδάτων".

Στον παραπάνω ορισμό πρέπει να τονισθεί η ευθύνη του ανθρώπου για την προκαλούμενη ρύπανση, ενώ τυχόν φυσικές εισροές στη θάλασσα, που πηγάζουν από τεκτονική δραστηριότητα, ηφαίστεια ή καταγίδες εξαιρούνται.

Τα κυριότερα προβλήματα ρύπανσης παρουσιάζονται κατά μήκος των ακτών της θάλασσας, γύρω από μεγάλες πόλεις και βιομηχανικά συγκροτήματα, καθώς και στις περιοχές που γειτνιάζουν με εκβολές μεγάλων ποταμών, οι οποίοι δέχονται τα νερά πυκνοκατοικημένων ή έντονα καλλιεργημένων περιοχών. Η συνεχιζόμενη αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη μας και η αυξανόμενη συγκέντρωση ανθρώπινων πληθυσμών στις παραθαλάσσιες περιοχές επιτείνουν τα σημαντικά προβλήματα της αστικοποίησης και της βιομηχανοποίησης της παράκτιας ζώνης. Τουλάχιστον το 50 % των μεγαλουπόλεων της υδρογείου - με πληθυσμό πάνω από 3.000.000 κατοίκους - βρίσκονται συγκεντρωμένες κατά μήκος των ακτών.

Πίνακας 6: Παραθαλάσσιες Μεγαλουπόλεις (πληθυσμός > 3 εκ. κάτοικοι) [48]

ΠΟΛΗ	ΧΩΡΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (x 1000)	ΠΟΛΗ	ΧΩΡΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (x 1000)
Αλεξάνδρεια	Αίγυπτος	3380	Κίνγκντο	Κίνα	5125
Βομβάη	Ινδία	9926	Ρίο	Βραζιλία	5547
Καλκούτα	Ινδία	4400	Σάο Πάολο	Βραζιλία	942
Χονγκ-Κονγκ	Χονγκ-Κονγκ	6190	Σανγκάι	Κίνα	8206
Κωνσταντινούπολη	Τουρκία	7774	Αγία Πετρούπολη	Ρωσία	4273
Τζακάρτα	Ινδονησία	9161	Σίδνευ	Αυστραλία	3714
Λος Άντζελες	ΗΠΑ	3449	Τιανγίν	Κίνα	5804
Νέα Υόρκη	ΗΠΑ	7333	Τόκιο	Ιαπωνία	8129
Νίνγκμπο	Κίνα	3351	Γιαντάι	Κίνα	3205
Καράτσι	Πακιστάν	5181	Γιοκοχάμα	Ιαπωνία	3301

Παράλληλα, η έντονη οικονομική και παραγωγική δραστηριότητα (κατασκευή λιμανιών, εμπορικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, ξενοδοχείων, χώρων αναψυχής κ.λπ.) έχει επιβαρύνει σε σημαντικό βαθμό τα παράκτια οικοσυστήματα.

Πίνακας: Κυριότερες αιτίες ρύπανσης της θάλασσας [48]

α/α	Αιτίες Ρύπανσης	Που εντοπίζονται κυρίως
1	Μεταφορά επικίνδυνων φορτίων	Ανοικτή θάλασσα και παράκτιες περιοχές
2	Υποθαλάσσιες πυρηνικές δοκιμές και εναπόθεση Ραδιενεργών καταλοίπων	Ανοικτή θάλασσα
3	Διακίνηση πετρελαιοειδών	Ανοικτή θάλασσα και παράκτιες περιοχές
4	Καθαρισμός πετρελαιοκηλίδων	Ανοικτή θάλασσα και παράκτιες περιοχές
5	Τουριστική και εμπορική Δραστηριότητα	Παράκτιες περιοχές
6	Εκβολή δικτύων αποχέτευσης και βιομηχανικών Αποβλήτων	Παράκτιες περιοχές
7	Κατάληψη σημαντικών θαλάσσιων εκτάσεων για άλλες δραστηριότητες	Παράκτιες περιοχές
8	Απόρριψη στερεών απορριμμάτων – καταλοίπων από βιομηχανική και κατασκευαστική δραστηριότητα	Παράκτιες περιοχές
9	Κατασκευαστική δραστηριότητα στη θάλασσα (tunnels, γέφυρες)	Ανοικτή θάλασσα και παράκτιες περιοχές
10	Ιχθυοκαλλιέργειες –Υπερβολική αλιεία	Παράκτιες περιοχές
11	Θερμική ρύπανση	Ανοικτή θάλασσα και παράκτιες περιοχές
12	Εκμετάλλευση φυσικών πόρων (π.χ άντληση πετρελαίου)	Ανοικτή θάλασσα
13	Από την ατμόσφαιρα - από φυσικά αίτια (π.χ έκρηξη ηφαιστείου)	Ανοικτή θάλασσα

Συγκεκριμένα, μια από τις πηγές ρύπανσης των παράκτιων υδάτων αποτελεί η απόρριψη υγρών αποβλήτων είτε άμεσα είτε μέσω των ποταμών. Τα απόβλητα αυτά περιλαμβάνουν τις οικιακές αποχετεύσεις και τα βιομηχανικά απόβλητα, που αναμιγνύονται στο δίκτυο αποχετεύσεως και αποβάλλονται στη θάλασσα. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν μικροοργανισμούς, οργανική ύλη, θρεπτικά στοιχεία, μέταλλα, συνθετικές οργανικές ουσίες και πετρελαιοειδή. Τέτοια υγρά απόβλητα απειλούν τη δημόσια υγεία και επηρεάζουν το σύνολο των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Συχνά σε αυτά περιλαμβάνονται απόβλητα από χημικές, πετροχημικές και φαρμακευτικές βιομηχανίες, παραγωγή χαρτοπολτού και χαρτιού, επεξεργασία μετάλλων, βιομηχανίες τροφίμων και γενικότερα από οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα, που η παραγωγική της διαδικασία δημιουργεί υγρά απόβλητα. Τα τελευταία χρόνια οι ποσότητες των βιομηχανικών αποβλήτων που αποβάλλονται στη θάλασσα ετησίως υπερβαίνουν τα 25 εκατομμύρια τόνους. Να τονισθεί στο σημείο αυτό ότι, αν και τα βιομηχανικά απόβλητα που αποβάλλονται στη θάλασσα είναι πολύ λιγότερα σε ποσότητα από άλλα υγρά απόβλητα, ωστόσο προκαλούν σαφώς μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα εξαιτίας της τοξικότητας και της ποικιλίας των περιεχομένων ουσιών.

Μια άλλη πηγή θαλάσσιας ρύπανσης είναι η απόθεση λάσπης που δημιουργείται από την επεξεργασία καθαρισμού των αστικών λυμάτων. Η λάσπη αυτή, εάν δεν ξηραθεί, περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικής ύλης, η οποία έχει σημαντική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD), με αποτέλεσμα να διαταράσσει την ισορροπία των θαλάσσιων αποδεκτών, στους οποίους τελικά αποτίθεται. Τα πλαστικά επίσης είναι εκείνη η κατηγορία υλικών που προκαλεί διαρκώς αυξανόμενη ανησυχία για την όξυνση του προβλήματος της θαλάσσιας ρύπανσης. Τα τελευταία χρόνια οι συνθετικές ουσίες αντικατέστησαν σχεδόν πλήρως τα φυσικά υλικά, επειδή τα χαρακτηριστικά τους τις καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικές. Όμως ορισμένα από τα κατά τεκμήριο ωφέλιμα χαρακτηριστικά τους, όπως η αντοχή τους και η ελαφρότητά τους καθιστούν τα συνθετικά αυτά υλικά ταυτόχρονα ιδιαίτερα

επιβλαβή για το θαλάσσιο περιβάλλον. Πράγματι, επειδή τα πλαστικά είναι μη-βιοδιασπώμενες και σχετικά ελαφρές ουσίες, οι οποίες αντέχουν για μεγάλες χρονικές περιόδους στη θάλασσα, από τη στιγμή που θα βρεθούν σε θαλάσσιο περιβάλλον επιπλέουν και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τα αποτελέσματα της παρουσίας των πλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, πέραν της αισθητικής ρύπανσης που προκαλούν, είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τα τοπικά οικοσυστήματα.

Στον Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, ανάμεσα στην Ιαπωνία και τη Χαβάη, βρίσκεται η μεγαλύτερη θαλάσσια χωματερή του κόσμου. Εξαιτίας των θαλασσιών ρευμάτων που κινούνται κυκλικά με τη φορά του ρολογιού, συσσωρεύεται εκεί ο μεγαλύτερος όγκος σκουπιδιών που ρίχνονται στις θάλασσες παγκοσμίως και αποτελούνται σε ποσοστό 90 % από πλαστικά αντικείμενα. Πριν από μερικά χρόνια, επιστήμονες του UNEP, του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ, σε έρευνά τους υπολόγισαν ότι σε κάθε τετραγωνικό μίλι αυτής της θαλάσσιας χωματερής επιπλέουν περίπου 46.000 κομμάτια πλαστικών αντικειμένων. Αυτά τα υπολείμματα σκουπιδιών, που εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους βρίσκονται ακόμη και κάτω από την επιφάνεια του νερού, δεν αποτελούν μόνο δυνητικό κίνδυνο για τις θαλάσσιες συγκοινωνίες, αλλά κυρίως για τα θαλασσοπούλια και όλους τους θαλάσσιους οργανισμούς. Η χωματερή, μια πλωτή μάζα από σκουπίδια με μέγεθος δυο φορές αυτό της πολιτείας του Τέξας, εντοπίστηκε στον Ειρηνικό το 1995. Οι επιστήμονες την ονόμασαν The Great Pacific Garbage Patch και υπολόγισαν ότι ζυγίζει πάνω από 3,5 εκατομμύρια τόνους!

Επιστήμονες του Ερευνητικού Ινστιτούτου της Βόρειας Καρολίνας, οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα από 2 εκατομμύρια πουλιά άλμπατρος που βρίσκουν εκεί καταφύγιο έχουν καταβροχθίσει ποσότητα πλαστικού. Περαιτέρω έρευνες απέδειξαν ότι μέχρι και το 50 % του στομαχικού περιεχομένου των άλμπατρος, ενήλικων και νεοσσών, είναι πλαστικά κομμάτια που βρίσκουν οι γονείς να επιπλέουν στη θάλασσα, νομίζοντας ότι είναι τροφή. Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι το 1/3 των νεοσσών που γεννιούνται κάθε χρόνο στα νησιά δεν καταφέρνει να επιβιώσει επειδή οι γονείς, χωρίς να το γνωρίζουν, τα ταΐζουν με κομμάτια πλαστικού. Πολλοί νεοσσοί δεν αποκτούν ποτέ αρκετές δυνάμεις για να μπορέσουν να πετάξουν και να αναζητήσουν τροφή, επειδή το στομάχι τους είναι γεμάτο πλαστικό. Το αποτέλεσμα είναι φρικτός θάνατος αφού τα πουλιά οδηγούνται αργά και βασανιστικά σε αστία και τελικά στον αφανισμό. Οι φωτογραφίες που ελήφθησαν τον Οκτώβριο του 2009 αποτυπώνουν αυτή την κατάσταση. Στην εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα ότι καθώς το κουφάρι των πτηνών αποσυντίθεται, το μόνο που μένει αναλλοίωτο είναι τα σκουπίδια που έχουν καταναλώσει.



Εικόνα 48: Σκελετός από νεκρό Άλμπατρος



Εικόνα 49: Χρόνος διάσπασης πλαστικών και μη στερεών απορριμμάτων στη θάλασσα (HELMERA)

3.4.1 Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης

Αν και στις προηγούμενες παραγράφους επισημάνθηκαν οι κύριες πηγές ρύπανσης, κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό να μελετηθούν συστηματικά οι κύριοι θαλάσσιοι ρυπαντές καθώς και οι επιπτώσεις τους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Εκροές Αποχετεύσεων

Όπως αναφέρθηκε ήδη οι αποχετεύσεις, εφόσον διατεθούν χωρίς επεξεργασία στο περιβάλλον, περιέχουν ένα μίγμα από διάφορα συστατικά (όπως νερό, αιωρούμενα σωματίδια, διαλυμένα



Εικόνα 50 : Εκροή αποχετεύσεων

συστατικά, μικροοργανισμούς), ενώ το περιεχόμενό τους, που περιλαμβάνει σε μεγάλο ποσοστό οργανικές και θρεπτικές ουσίες, αναστατώνει σημαντικά την υπάρχουσα οικολογική ισορροπία. Οι γνωστότερες επιπτώσεις των εκροών των αποχετεύσεων είναι αφενός η μόλυνση των θαλάσσιων οργανισμών, που χρησιμοποιούνται σαν τροφή, αφετέρου η μόλυνση των ακτών στις οποίες κολυμπούν οι λουόμενοι. Ειδικότερα, η μόλυνση του θαλάσσιου νερού από τις αποχετεύσεις στα παραλιακά θέρετρα μπορεί να έχει επιπτώσεις μέχρι και στην υγεία των ανθρώπων, που χρησιμοποιούν τις παραλίες για αναψυχή. Η προστασία των παράκτιων νερών απαιτεί να μην καταλήγουν χωρίς επεξεργασία οι αποχετεύσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον, περιορίζοντας έτσι τις πιθανότητες να απλωθούν στις παραλίες ή να μολύνουν τις καλλιέργειες των οστρακοειδών ή τις αλιευτικές περιοχές. Η επεξεργασία (κατά κανόνα βιολογική) των λυμάτων βοηθά σημαντικά προς την κατεύθυνση αυτή. Το φιλτράρισμα, η καθίζηση και η χλωρίωση αφαιρούν προοδευτικά τα παθογόνα συστατικά, ωστόσο οι ιοί που έχουν απορροφηθεί στα σωματίδια, που τελικά οδηγούνται στη θάλασσα, μπορεί να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί, και να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας. Συνεπώς, ο μικροβιολογικός έλεγχος των νερών των ακτών αναψυχής πρέπει να

γίνεται προσεκτικά, τηρώντας τις καθιερωμένες (κοινώς αποδεκτές) προδιαγραφές και πρότυπα, βάσει και των αντίστοιχων οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης π.χ. αρχική (οδηγία 76/160/ΕΟΚ και σχετική πρόσφατη πρόταση αναθεώρησης COM (2002) 581, Επίσημη Εφημερίδα C45-E, 25-02-2003).

Λιπάσματα - Γεωργικά Απόβλητα

Τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα, που αποτελούν τα κύρια συστατικά των γεωργικών λιπασμάτων, δρουν στο θαλάσσιο περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο που δρουν και στη ξηρά, ενισχύοντας συνεπώς και την ανάπτυξη της θαλάσσιας χλωρίδας και κυρίως των φυκιών. Η προσθήκη σε μικρή κλίμακα των θρεπτικών αυτών ουσιών θα μπορούσε οριακά να χαρακτηριστεί και ωφέλιμη. Όμως η διαρροή μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων στη θάλασσα ενισχύει την ανεξέλεγκτη παραγωγή φυκιών, η οποία και διαταράσσει την ισχύουσα οικολογική ισορροπία των θαλάσσιων κοινοτήτων, οδηγώντας σε υπερβολική ανάπτυξη μακροφύτων στις ακτές και ένα μη συνηθισμένο στρώμα πλαγκτόν στα ρηχά νερά, φαινόμενο γνωστό σαν ευτροφισμός. Μέχρι πρόσφατα το θέμα αυτό θεωρείτο τοπικό πρόβλημα. Ωστόσο η συνεχώς αυξανόμενη εισροή θρεπτικών ουσιών στη θάλασσα, απόρροια των ανά τον κόσμο εντατικών καλλιεργειών, μεγαλώνει τον κίνδυνο ο ευτροφισμός να καταστεί πλανητικό πρόβλημα. Πράγματι, οποιαδήποτε παράκτια περιοχή μπορεί να βρεθεί σε κίνδυνο όταν εμφανίζει φτωχή ανταλλαγή νερών με την ανοικτή θάλασσα και γίνεται συγχρόνως αποδέκτης εκροών από αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες και από εντατικά καλλιεργούμενες γεωργικές εκτάσεις. Τα παραδείγματα φαινομένων ευτροφισμού αυξάνονται σε όλη την υδρόγειο.

Για παράδειγμα, το 1988, τα μεγάλα στρώματα φυκιών που αναπτύχθηκαν την άνοιξη έξω από τη Σουηδία και τη Νορβηγία προκάλεσαν μαζικούς θανάτους θαλασσίων φυτών και ζώων κατά μήκος των ακτών, οδηγώντας σε ζημιές δεκάδων εκατομμυρίων δολαρίων από καταστροφή ιχθυοκαλλιεργειών πέστροφας και σολομού. Αντίστοιχη απειλή εμφανίζεται και στη Μεσόγειο,

κύρια στη βόρεια Αδριατική, ενώ στην Ιαπωνία απειλείται άμεσα η σημαντική βιομηχανία υδατο - καλλιεργειών.

Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες

Περίπου 5 με 6 εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου (οι εκτιμήσεις ποικίλουν μεταξύ των 1,7 - 8,8) καταλήγουν ετησίως στη θάλασσα σε πλανητικό επίπεδο ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Από αυτούς το 47 % περίπου προέρχεται από τις θαλάσσιες μεταφορές, ενώ το 31 % από αστικές και βιομηχανικές εκροές. Οι πλέον δραματικές εισροές προκύπτουν από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων, ενώ εξίσου συχνά επώδυνες οικολογικά είναι και οι διαδικασίες καθαρισμού των πετρελαιοκηλίδων με τη χρήση τοξικών ουσιών. Για λόγους ιστορικούς αναφέρεται ότι η μεγαλύτερη μέχρι σήμερα εισροή αργού πετρελαίου στη θάλασσα έγινε το 1978, έξω από τις Γαλλικές ακτές με τη διαρροή 220.000 τόνων πετρελαίου από το πετρελαιο φόρο "Amoco Cadiz".

Σε περιπτώσεις ατυχημάτων πλησίον των ακτών, οι υδρογονάνθρακες οι οποίοι θάβονται στην άμμο- υπόκεινται σε πολύ αργή απόπλυση και ανιχνεύονται ακόμα και μετά από πάροδο δεκαετίας. Παράλληλα σε περιοχές όπου υπάρχει άντληση πετρελαίου, όπως η Ερυθρά θάλασσα ή ο Περσικός κόλπος, συμπυκνωμένα πισσώδη υλικά (φθάνουν μέχρι και 30 κιλά πίσσα ανά μέτρο πλάτους των ακτών) καλύπτουν τις παραλίες καθιστώντας τις ουσιαστικά άχρηστες για οποιοδήποτε σκοπό.



Εικόνες 51, 52: Ρύπανση της θάλασσας με πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες

Το 1967 το πετρελαιοφόρο Torey Canyon εξόκειλε στα ανοικτά των Αγγλικών ακτών με αποτέλεσμα να χυθούν στη θάλασσα γύρω στους 100.000 τόνους πετρελαίου. Η κηλίδα που εξαπλώθηκε με μεγάλη ταχύτητα λόγω των ανέμων σε μεγάλη έκταση, δεν έβλαψε μόνο τις ακτές της Ν. Αγγλίας αλλά έγινε αιτία να βρουν το θάνατο θαλάσσιοι οργανισμοί (ψάρια, καβούρια, στρείδια) καθώς και θαλασσοπούλια. Τα θαλασσοπούλια μάλιστα χάνουν την πτητική και θερμομονωτική τους ικανότητα και δηλητηριάζονται από το πετρέλαιο. Τα πετρελαιοειδή διασπείρονται και εξαπλώνονται σε τεράστιες εκτάσεις, σχηματίζοντας μονομοριακές στρώσεις που εμποδίζουν την ανταλλαγή των αερίων μεταξύ ατμοσφαιρικού αέρα και νερού. Έτσι επιδρούν καταστροφικά στο φυτοπλαγκτόν και στους άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Επίσης το πετρέλαιο επιδρά στις τροφικές αλυσίδες, ρυπαίνει τις βασικές πηγές τροφής που βρίσκονται στην αρχή της τροφικής αλυσίδας, εμποδίζει την αναπαραγωγή της θαλάσσιας ζωής και μειώνει τη φυσική αντίσταση των οργανισμών. Ωστόσο πολλά βακτήρια που ζουν στο πετρέλαιο έχουν την ικανότητα να το διασπούν και να εξυγιαίνουν τις ρυπασμένες περιοχές. Και η μηχανική επίσης κίνηση του κυματισμού και της παλίρροιας μπορεί να διασπάσει το πετρέλαιο και έτσι η ρυπασμένη περιοχή να καθαριστεί μακροπρόθεσμα, αλλά με φυσικό τρόπο.

Συνήθως για την διάσπαση των πετρελαιοκηλίδων χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά και γαλακτοποιητικές ουσίες. Αυτές απομακρύνουν τις κηλίδες από την επιφάνεια, αλλά καθιζάνουν στο πυθμένα τα προϊόντα διάσπασής τους, με αποτέλεσμα να βλάπτονται οι οργανισμοί του πυθμένα. Στην περίπτωση αυτή η απορρύπανση είναι μια άλλη ρύπανση, για πολλούς ερευνητές, αρκετά σοβαρότερη. Σε πολλές χώρες έχουν επικρατήσει οι μέθοδοι της τεχνητής μετακίνησης των κηλίδων που τελικά δεν βλάπτουν το θαλάσσιο περιβάλλον.

Η χώρα μας διατρέχει μεγάλο κίνδυνο από τα πετρελαιοειδή, γιατί η διακίνησή τους γίνεται σε κλειστούς κόλπους με ιδιαίτερη ναυτιλιακή κίνηση. Επίσης η ανάπτυξη και τοποθέτηση των βιομηχανικών περιοχών κατά μήκος του άξονα Θεσσαλονίκης - Βόλου - Αθήνας - Πάτρας μπορεί να δημιουργήσει ρύπανση στις γειτονικές θαλάσσιες περιοχές. Γενικά η ρύπανση από πετρελαιοειδή αποτελεί μια σοβαρή απειλή για τα οικοσυστήματα. Πέρα από τα ναυάγια των πετρελαιοφόρων,

ρύπανση μπορεί να προκληθεί από διαρροές σε πετρελαιοπηγές, πετρελαιοαγωγούς και διυλιστήρια. Αλλά και από το πλύσιμο των δεξαμενών πετρελαίου και ασφαλώς από σκόπιμες ενέργειες απόρριψης των πετρελαιοειδών και των προϊόντων τους στη θάλασσα. Η ναυτιλία είναι ένας σπουδαίος τομέας της ελληνικής οικονομίας, που συχνά όμως απειλεί την ποιότητα των νερών των θαλασσών μας.

Συνθετικές Οργανικές Ενώσεις

Η ικανότητα της χημικής βιομηχανίας να δημιουργεί συνεχώς καινούργιες ενώσεις για συγκεκριμένες βιομηχανικές και οικιακές χρήσεις έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή, συχνά σε μεγάλη κλίμακα, εντελώς νέων ουσιών, πολλές από τις οποίες είναι αφενός πολύ τοξικές, αφετέρου είναι σταθερές και δεν βιοδιασπώνται άμεσα, με αποτέλεσμα να παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αντίστοιχων χημικών ενώσεων αποτελούν οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, όπως :

- Οι ουσίες χημικού καθαρισμού (тетраχλωροαιθυλένιο, τετρα-χλωράνθρακας, τριχλωροαιθυλένιο)
- Τα διαλυτικά (μεθυλενοχλωρίδιο, διχλωροπροπάνιο, χλωροφόρμιο, διχλωροαιθάνιο)
- Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's)
- Οι πρώτες ύλες για συνθετικές ενώσεις (βινυλοχλωρίδια, αλκυλοχλωρίδια)
- Τα συντηρητικά ξυλείας (πενταχλωροφαινόλη)
- Τα παρασιτοκτόνα (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα κ.α.)

Βέβαια η γενική αποδοχή των καταστροφικών επιδράσεων ορισμένων από τις προαναφερθείσες χημικές ενώσεις, όπως τα οργανοχλωριωμένα παρασιτοκτόνα (DDT), τα PCBs, οι διοξίνες και οι χλωροφαινόλες οδήγησαν σε σοβαρούς περιορισμούς στη χρήση τους σε πολλές βιομηχανικές χώρες του βορρά, ενώ μερικές ενώσεις απαγορεύθηκαν εντελώς. Δυστυχώς, λόγω του χαμηλού τους κόστους, αρκετές από τις παραπάνω ενώσεις εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στις φτωχές χώρες του τρίτου κόσμου, επιβαρύνοντας σημαντικά τα τοπικά οικοσυστήματα. Αντίθετα, στις περιοχές των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών τα πρώτα αποτελέσματα των περιορισμών αυτών είναι ήδη ορατά, καθώς έχουν μειωθεί οι συγκεντρώσεις του DDT και των PCBs (χλωριωμένα διφαινύλια) σε ψάρια και οστρακόδερμα. Τέλος, στον Ελλαδικό χώρο από τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία για τη χρήση φυτοφαρμάκων προκύπτει ότι κάθε χρόνο χρησιμοποιούνται περίπου 3500 τόνοι δραστικής ουσίας εντομοκτόνων, 3400 τόνοι ζιζανιοκτόνων και 2800 τόνοι μηκυτοκτόνων. Οι μεγαλύτερες ποσότητες από τις παραπάνω ιδιαίτερα τοξικές ουσίες καταλήγουν στις απορροές των γεωργικών καλλιεργειών και τελικά στους παρακείμενους θαλάσσιους αποδέκτες.

Βαρέα Μέταλλα

Παρότι κάποιες ποσότητες μετάλλων που απελευθερώνονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες καταλήγουν τελικά στη θάλασσα, αυτές είναι μάλλον μικρότερες από τις φυσικές εισροές από διαβρώσεις βράχων και ηφαιστειακές αναταράξεις. Ειδικότερα, στη Μεσόγειο έχουν ανιχνευτεί σχετικά υψηλά επίπεδα υδραργύρου από την επεξεργασία των κοιτασμάτων κινναβάρεως (ορυκτό θειούχου υδραργύρου), ενώ στη Σκοτία έχουν αντίστοιχα καταγραφεί αυξημένα ποσοστά καδμίου, μάλλον γεωχημικής προέλευσης. Εξαιτίας της σχετικά υψηλής συγκέντρωσης μετάλλων σε σειρά προϊόντων, είναι απαραίτητο να γίνεται τακτική παρακολούθηση των θαλασσινών τροφών για ανίχνευση της ύπαρξης συγκεκριμένων συγκεντρώσεων μετάλλων σε αυτά. Αξίζει να τονισθεί ότι σε αρκετές μεμονωμένες δειγματοληψίες αναφέρονται (έστω και τοπικά) υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Ραδιενεργές Ουσίες

Οι ραδιενεργές ουσίες υπάρχουν στη φύση υπό μορφή ραδιενεργών στοιχείων, με αποτέλεσμα να καταγράφονται σε μικρές ποσότητες παντού στο περιβάλλον και να παρουσιάζονται στο νερό, στο χώμα και στους οργανισμούς των ωκεανών. Οι φυσικές εισροές ραδιενέργειας γίνονται από το φλοιό της γης και από την κοσμική ακτινοβολία. Αντίστοιχα, από τη δεκαετία του 40 και μετέπειτα έχουν ανιχνευθεί σημαντικές ανθρωπογενείς ραδιενεργές ουσίες στα νερά των θαλασσών, ως αποτέλεσμα των δοκιμών των πυρηνικών όπλων στην ατμόσφαιρα και υποθαλάσσια, καθώς και από σειρά ατυχημάτων πυρηνικών υποβρυχίων και άλλων στρατιωτικών πλοίων, κυρίως ανάμεσα στο 1954 και το 1962 (περίοδος ψυχρού πολέμου). Οι ανθρωπίνες αυτές δραστηριότητες οδήγησαν σε

συνολική ραδιενεργή μόλυνση των ωκεανών από ξηρή και ιδιαίτερα από υγρή απόθεση. Τα κυριότερα ραδιενεργά υλικά είναι ο άνθρακας - 14, το καίσιο - 137, το υδρογόνο - 3 (τρίτιο), το στρόντιο - 90, καθώς και το πλουτόνιο. Σήμερα, οι σπουδαιότερες καταγεγραμμένες ανθρωπογενείς εισροές ραδιενεργών υλικών στη θάλασσα προέρχονται από πυρηνικούς αντιδραστήρες και εργοστάσια επανεπεξεργασίας ραδιενεργού υλικού, όπως επίσης και από απόρριψη χαμηλού περιεχομένου ραδιενεργών υλικών από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένης και της έρευνας και της ιατρικής.

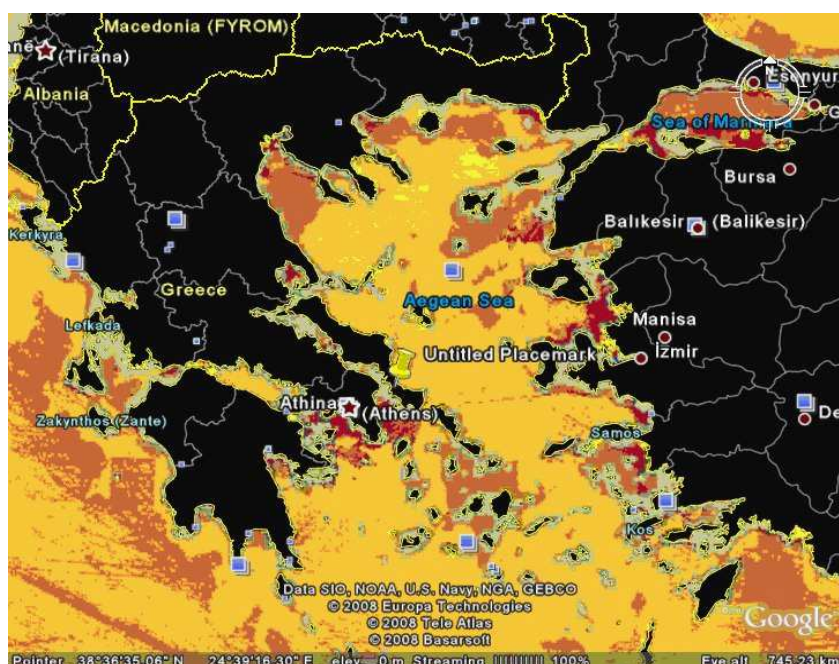
Βέβαια όλες αυτές οι απορρίψεις τελούν κατά τεκμήριο υπό διεθνή έλεγχο και συνεπώς υπόκεινται σε επίμονη και λεπτομερή παρακολούθηση. Βέβαια οι εκτιμώμενες ποσότητες ραδιενεργών ουσιών που καταλήγουν στη θάλασσα δεν έχουν καταγραφεί με ακρίβεια και δεν έχουν αναφερθεί συστηματικές επιδράσεις από τα ατυχήματα αυτά σε θαλάσσιους οργανισμούς. Επίσης στο παρελθόν μερικά "χαμηλού" (νόμιμα) αλλά και "υψηλού" (παράνομα) επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα διοχετεύθηκαν στη θάλασσα σε συσκευασμένη μορφή, κυρίως σε περιοχές του Ειρηνικού και του Ατλαντικού Ωκεανού με μεγάλο βάθος.



Εικόνα 53, 54: Ραδιενεργά απόβλητα

Τα αποτελέσματα της ανεξέλεγκτης διάθεσης πυρηνικών αποβλήτων σε θαλάσσιους αποδέκτες δεν είναι ακόμα γνωστά, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των υλικών συσκευασίας (χάλυβας, τσιμέντο κ.λπ.) μετά από μακροχρόνια παραμονή στο διαβρωτικό περιβάλλον και στις υψηλές υδροστατικές πιέσεις των βυθών των ωκεανών

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ρύπανση του Αιγαίου πελάγους. Όσο πιο κόκκινο είναι το χρώμα τόσο πιο ρυπασμένη είναι η περιοχή. B.S. Halpern *et al.* (2008) *Science*, 319, 948.



Εικόνα 55: Η ρύπανση του Αιγαίου πελάγους [62]

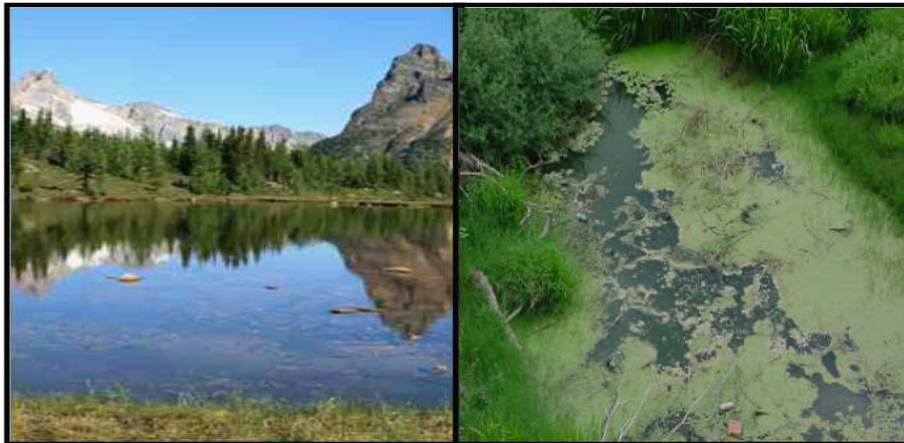
3.5 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον

Η ρύπανση των υδάτων έχει μεγάλες επιπτώσεις στη ζωή του ανθρώπου και των υπόλοιπων ζωικών και φυτικών οργανισμών αφού η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού υπονομεύει την υγεία τους αλλά και γίνεται ακατάλληλο για άλλες γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις. Γενικά, οι επιπτώσεις της ρύπανσης μπορεί να έχουν πολλές μορφές και να λαμβάνουν διαφορετική έκταση. Οι κυριότερες επιπτώσεις της ρύπανσης των υδάτων είναι οι εξής :

Η περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά άλατα :

Η επιβάρυνση του νερού με θρεπτικά άλατα του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά NO_3^-) και του φωσφόρου (φωσφορικά PO_4^{-3}), έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών των φυσικών αποδεκτών. Τέτοιου είδους ρυπαντικά φορτία οφείλονται κυρίως σε αστικά λύματα (περιττώματα, απορρυπαντικά κ.λ.π.), κτηνοτροφικά απόβλητα και γεωργικές απορροές (από την έκλυση καλλιεργούμενων εκτάσεων - λιπάσματα). Τα περισσότερα αζωτούχα υλικά στα φυσικά ύδατα τείνουν να μετατραπούν σε νιτρικά άλατα. Στα υπόγεια ύδατα, η **νιτρορρύπανση** εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνουν σε επίπεδα που είναι απαγορευτικά για τη χρήση του νερού για σκοπούς ύδρευσης αφού είναι δυνατό να βλάψουν την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Τα υπερβολικά επίπεδα νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες και μερικές φορές ακόμη και τον θάνατο. Στις όξινες συνθήκες του στομαχιού, τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρώδη και επηρεάζουν την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια οξεία κατάσταση, στην οποία η υγεία επιδεινώνεται ταχύτατα μέσα σε μια περίοδο λίγων ημερών. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν δυσκολία στην αναπνοή και κυανό χρώμα στο δέρμα. Τα νιτρικά και τα νιτρώδη, από μια χρόνια έκθεση σε επίπεδα πάνω από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν αύξηση αμυλωδών αποθέσεων και αιμορραγία της σπλήνας.

Το σημαντικότερο πρόβλημα, που δημιουργεί το άζωτο σε συνδυασμό με τον φώσφορο είναι ο **ευτροφισμός**. Στα επιφανειακά νερά και ιδίως στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων αζωτούχων αλλά και φωσφορικών ενώσεων, με την συνδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενισχύει συχνά σε υπερβολικό βαθμό την ανάπτυξη της υδρόβιας βλάστησης και των φυτικών μικροοργανισμών στο νερό (φύκη, φυτοπλαγκτόν), δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το φαινόμενο του ευτροφισμού χαρακτηριστικό του οποίου είναι η σταδιακή άνθηση του νερού.



Εικόνα 56: Το φαινόμενο του ευτροφισμού

Το φαινόμενο αυτό αποτελεί πολύ σοβαρή διαταραχή του υδατικού οικοσυστήματος με πολλές δυσμενείς συνέπειες όπως η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, η δημιουργία τοξινών που σκοτώνουν τα ψάρια, η παραγωγή ενώσεων που προσδίδουν δυσάρεστη οσμή στο νερό, η μείωση της διαφάνειας του και η γενικότερη διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος.

Η περιεκτικότητα του νερού σε αιωρούμενα στερεά :

Τα αιωρούμενα και κolloειδή στερεά υλικά μειώνουν τη διέλευση του ηλιακού φωτός, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία

επιβίωσης της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας. Τα αιωρούμενα στερεά υλικά προκαλούν επίσης και σημαντικά προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς του νερού και στις δεξαμενές.

Η περιεκτικότητα του νερού σε παθογόνους μικροοργανισμούς :

Τα απόβλητα, κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης, είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση ασθενειών και επικίνδυνων λοιμώξεων όταν βρεθούν στον ανθρώπινο οργανισμό. Στους παθογόνους μικροοργανισμούς, περιλαμβάνονται είδη που προκαλούν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο όπως ο τύφος από *Salmonella typhosa*, η χολέρα από *Vibrio comma*, η δυσεντερία από *Entamoeba histolytica* και η διάρροια κτλ. Σε μικροοργανισμούς οφείλονται και ιώσεις όπως η ηπατίτιδα, η πολυεμελίτιδα, καθώς και μυκητιάσεις όπως οι κολπίτιδες, οι δερματίτιδες κτλ.

Πίνακας 7: Κατηγορίες μικροοργανισμών και ασθένειες μεταδιδόμενες με το νερό [11]

Μικροοργανισμός	Κατηγορία	Κύριες ασθένειες
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Πρωτόζωα	Οξεία εντεροκολίτιδα
<i>Legionella pneumophila</i>	Βακτήρια	Νόσος των Λεγεωναρίων
<i>Campylobacter jejunii</i>	Βακτήρια	Γαστρεντερίτιδα
<i>Escherichia coli O157:H7</i>	Βακτήρια	Αιμορραγική κολίτιδα
<i>Helicobacter pylori</i>	Βακτήρια	Γαστρικά έλκη
<i>Vibrio cholerae O139</i>	Βακτήρια	Χολέρα
<i>Hepatitis E virus</i>	Ιοί	Ηπατίτιδα
<i>Cyclospora</i>	Πρωτόζωα	Οξεία εντεροκολίτιδα
<i>Toxoplasma gondii</i>	Πρωτόζωα	Τοξοπλάσμωση
<i>Norovirus and Sapovirus</i>	Ιοί	Οξεία γαστρεντερίτιδα

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και κατ' επέκταση στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, προέρχονται από απεκκρίσεις ανθρώπων ή ζώων που έχουν προσβληθεί από μολυσματική ασθένεια ή είναι φορείς αυτής. Κυριότερη πηγή μικροβιακής μόλυνσης των υπόγειων νερών είναι η εκτεταμένη χρήση βόθρων για την διάθεση των οικιακών λυμάτων. Η χρήση νερού μολυσμένου με παθογόνους μικροοργανισμούς για ύδρευση, άρδευση, κολύμβηση, προκαλεί μετάδοση ασθενειών που είναι δυνατό να πάρουν την έκταση της επιδημίας. Ο σημαντικότερος όμως κίνδυνος από τη μόλυνση της θάλασσας είναι τα μύδια, στρείδια, κυδώνια και άλλα θαλασσινά. Αυτά διηθούν μεγάλες ποσότητες νερού και συγκρατούν παθογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι και πολλαπλασιάζονται στο σώμα τους. Αν καταναλωθούν τέτοια θαλασσινά, θα προκαλέσουν τροφικές δηλητηριάσεις, όπως έγινε το 1964 στην Αθήνα με 200 κρούσματα τυφοειδούς πυρετού.

Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί στους επιστήμονες το γεγονός ότι σε πόσιμα αλλά και σε επιφανειακά νερά της Ηλείου απομονώθηκαν στελέχη βακτηριδίων, τα οποία είναι ανθεκτικά στα αντιβιοτικά. Αυτά τα σημαντικά ευρήματα προέκυψαν από έρευνα των επιστημόνων της Μονάδας Μικροβιολογίας Τροφίμων, Υδάτων, Περιβάλλοντος και του Εργαστηρίου Μικροβιολογίας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, σε συνεργασία με ειδικούς του Μικροβιολογικού Εργαστηρίου του Περιφερειακού Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Ιωαννίνων. Τα στελέχη των κολοβακτηριδίων (*E-Coli*), που απομονώθηκαν από το σύνολο των νερών, παρουσίαζαν αντοχή στην αντιβιοτική ουσία ampicilline (37,33 %), αλλά και στελέχη σταφυλόκοκκου (*S. Aureus*) δεν ήταν ευαίσθητα στα αντιβιοτικά vancomycine και teicoplanine. Από το γένος των εντεροκόκκων συχνότερα απομονώθηκαν στελέχη *E. faecium*, ανθεκτικά στην ampicillin.

Για τους κινδύνους που απειλούν τους κολυμβητές στις μολυσμένες περιοχές από την ρίψη ανεπεξέργαστων λυμάτων απευθείας στην θάλασσα, έρευνες επιδημιολογικά τεκμηριωμένες έδειξαν ότι πολλά ενοχλήματα στο δέρμα, στα μάτια και στους βλεννογόνους σχετίζονται συνήθως με τη μόλυνση του νερού. Τα παθογόνα μικρόβια και οι ιοί βρίσκουν αφιλόξενο περιβάλλον στο θαλασσινό νερό και αδρανοποιούνται. Ο μεγάλος όμως αριθμός τους στα λύματα και ο έστω και μικρός χρόνος επιβίωσής τους μέσα στο νερό, επιτρέπουν τη μόλυνση του περιβάλλοντος.

Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο :

Σε αντίθεση με την ατμόσφαιρα, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι σχεδόν πάντα σταθερή και ανεξάρτητη από τη ρύπανση, τα νερά απειλούνται συχνά με πλήρη ή μερική αποξυγόνωση (αναερόβιες συνθήκες). Η σόρευση θρεπτικών συστατικών, όπως άζωτο και φωσφόρο, σε ορισμένες θαλάσσιες περιοχές, από την διαρκή ροή ποταμών μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων, λυμάτων και βιομηχανικών ρύπων, έχει οδηγήσει σε υπερβολική ανάπτυξη των φυτών και φυκιών, τα οποία καταναλώνουν το οξυγόνο το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση των ζωικών υδρόβιων οργανισμών, σκοτώνοντας έτσι κάθε άλλη θαλάσσια ζωή. Όσο αυξάνεται η ρύπανση των νερών, κυρίως με οργανικές ύλες και αυξάνεται η θερμοκρασία τους, τόσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο το οποίο καταναλώνεται λόγω της αερόβιας αναπνοής από τους μικροοργανισμούς που κάνουν αποσύνθεση και δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο "νεκρές ζώνες". Οι υδρόβιες "νεκρές ζώνες" δεν είναι παρά περιοχές τόσο υπερφορτωμένες με ρύπους, στις οποίες η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι τόσο χαμηλή που αδυνατούν να διατηρήσουν οποιαδήποτε ζωή. Μελέτες έδειξαν ότι η έκταση των παράκτιων περιοχών στις οποίες το νερό έχει εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, ώστε να είναι αδύνατον να διατηρηθεί η θαλάσσια ζωή, αναπτύσσεται με ανησυχητικό ρυθμό. Έτσι, η ρύπανση με αστικά λύματα ή άλλα απόβλητα, που περιέχουν οργανικό φορτίο, μπορεί να απειλήσει με καταστροφή ένα ολόκληρο υδατικό οικοσύστημα.



Εικόνα 57: Θαλάσσιες περιοχές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως "νεκρές ζώνες" [78]

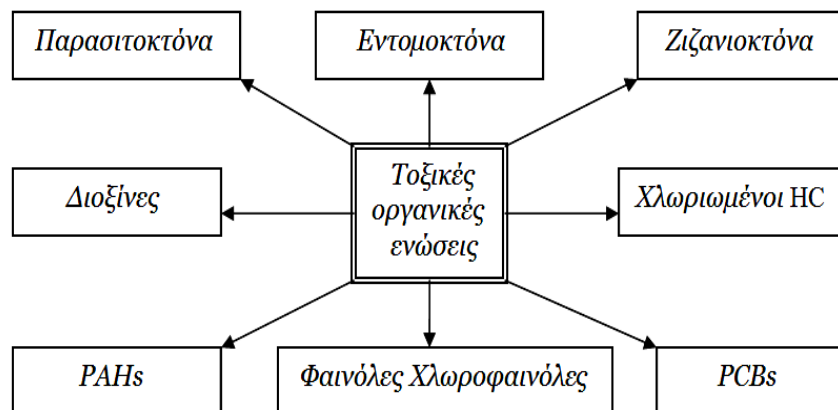
Η μεγαλύτερη «νεκρή ζώνη» σήμερα υπάρχει στη Θάλασσα της Βαλτικής, ενώ η δεύτερη σε μέγεθος βρίσκεται στον Μισισιπή, στην περιοχή κοντά στον κόλπο του Μεξικού. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 400 χαρακτηρισμένες «Νεκρές Ζώνες» ανά τον κόσμο, όταν το 1990 ήταν 305, το 1980 ήταν 162 και το 1960 μόλις 42.

Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα :

Η εντατική άντληση των υπόγειων νερών με ρυθμό, που δεν επιτρέπει την ανανέωση τους, προκαλεί την εισβολή αλμυρού νερού από τη θάλασσα στους υδροφορείς. Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού υποχωρήσει κάτω από την στάθμη του θαλάσσιου νερού με το οποίο συνδέεται, τότε αντί να έχουμε ροή από τον υπόγειο υδροφορέα στη θάλασσα, έχουμε αντιστροφή του φαινομένου και νερό από την θάλασσα εισέρχεται στο υπόγειο νερό. Αλμυρό νερό αναμένεται να εισβάλλει σε μεγαλύτερη έκταση σε παράκτιες περιοχές, εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (έως και εβδομήντα εκατοστά μέσα στις επόμενες δεκαετίες) λόγω της κλιματικής αλλαγής ή της μείωσης των βροχοπτώσεων. Μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων δημιουργούν προβλήματα στους χρήστες (αλλοίωση της γεύσης, αύξηση της διαβρωτικότητας, δυσμενείς επιπτώσεις στις καλλιέργειες κ.α).

Η περιεκτικότητα του νερού σε τοξικές οργανικές ενώσεις :

Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Σπουδαιότερες απ' αυτές είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, οι διοξίνες, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διαφαινύλια (PCB), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) κ.λ.π. Οι τοξικές αυτές ουσίες καταλήγουν στο νερό λόγω της ευρείας χρήσης τους στη γεωργία και στη βιομηχανία.



Εικόνα 58: Παράδειγμα τοξικών οργανικών ενώσεων [11]

Οι διοξίνες παράγονται όπου υπάρχουν καύσεις ή διεργασίες με χλώριο και μεταφέρονται στη συνέχεια στο νερό. Οι διαρροές πετρελαίου αποτελούν επίσης έναν πολύ σπουδαίο ρύπο για τα φυσικά νερά προκαλώντας ρύπανση με χλωριωμένους υδρογονάνθρακες. Οι ενώσεις αυτές χαρακτηρίζονται από σημαντική βιολογική δράση και λόγω της ισχυρής τοξικότητάς τους (καρκινογόνες, τερατογόνες κ.λ.π.) αποτελούν τεράστιο κίνδυνο για το περιβάλλον (αέρα, νερό, έδαφος) και την ανθρώπινη υγεία. Το τοξικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση της ουσίας, τη φύση της και τη χημική σύσταση του περιβάλλοντός της (την παρουσία δηλαδή άλλων χημικών ουσιών στο εσωτερικό του οργανισμού) καθώς και από τα γενετικά χαρακτηριστικά, το στάδιο ανάπτυξης και τη φυσιολογία του ατόμου.

Η περιεκτικότητα του νερού σε ραδιενεργές ουσίες :

Η ραδιενέργεια είναι δυνατό να προξενήσει βλάβες στους θαλάσσιους οργανισμούς, ακόμη και σε πολύ μικρές δόσεις. Επιδρά τοξικά στους οργανισμούς αλλά και προσβάλλει γονίδια, προκαλώντας έτσι χρωματοσωμικές ανωμαλίες. Η ραδιενέργεια στα νερά συνήθως προέρχεται από ατυχήματα ή βλάβες στους πυρηνικούς σταθμούς, αλλά και από πυρηνικές δοκιμές ή εκρήξεις. Οι πυρηνικές δοκιμές, οι εναέριες δοκιμές και χρήσεις ατομικών όπλων, οι πυρηνικές εφαρμογές στη βιομηχανία και την ιατρική αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές απελευθέρωσης ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον.

Η περιεκτικότητα του νερού σε βαρέα μέταλλα :

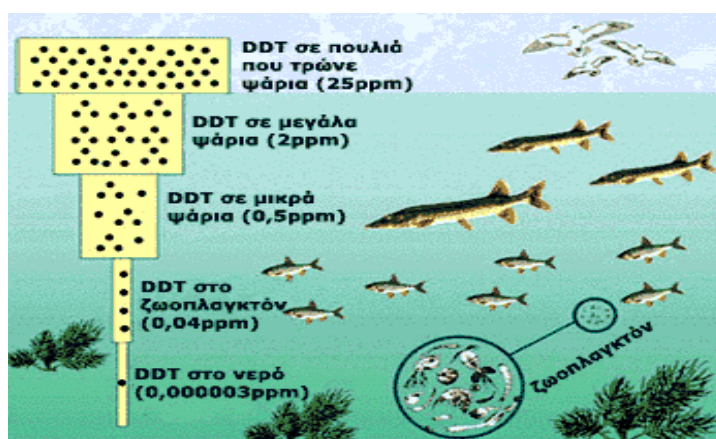
Τα μέταλλα εισέρχονται στα υδάτινα οικοσύστημα τόσο από φυσικές όσο και από τεχνητές (ανθρωπογενείς) πηγές και διαδικασίες. Στις φυσικές πηγές ανήκει η διάβρωση των πετρωμάτων και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Στις ανθρωπογενείς πηγές ανήκει η εξόρυξη ορυκτών και η βιομηχανία (δυσλιστήρια πετρελαίου, χαλυβουργία, παραγωγή λιπασμάτων, πετροχημικά εργοστάσια, παραγωγή χημικών, χρωμάτων κ.λ.π.). Σημαντική είναι επίσης η συνεισφορά των αστικών απορροών που επιβαρύνονται με μέταλλα μέσω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και της χρήσης απορρυπαντικών και χρωμάτων, καθώς και των εμπορικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται εντός των ορίων των οικισμών (συνεργεία και πλυντήρια αυτοκινήτων, φωτογραφεία κ.λ.π.). Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα κυριότερα μέταλλα και οι αντίστοιχες βιομηχανικές δραστηριότητες μέσω των οποίων αυτά καταλήγουν στο περιβάλλον. Τέλος, στη ρύπανση των θαλασσών με βαριά μέταλλα, συνεισφέρουν οι ναυπηγικές δραστηριότητες και η χρήση μετάλλων στα υφαλοχρώματα. Στη θάλασσα τα βαριά μέταλλα είτε καθιζάνουν ως δυσδιάλυτα άλατα ή σύμπλοκα, είτε προσροφώνται στην επιφάνεια του φυτοπλαγκτόν ή ενώσεων με σωματιδιακή μορφή, όπως ένυδρα οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου και τελικά καθιζάνουν, είτε απορροφώνται από διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς.

Τα βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνα επειδή συσσωρεύονται στα έμβια όντα οποτεδήποτε λαμβάνονται και δεν διασπώνται αλλά αποθηκεύονται αυξάνοντας έτσι την συγκέντρωσή τους με την πάροδο του χρόνου. Το φαινόμενο αυτό κατά το οποίο αυξάνεται η συγκέντρωση τοξικών ουσιών στους ιστούς των οργανισμών καθώς προχωρούμε κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας ονομάζεται **βιοσυσσώρευση**. Η συσσώρευση των μη βιοδιασπώμενων ουσιών αφορά και τον ίδιο τον άνθρωπο, για τον απλό λόγο ότι συνήθως αποτελεί τον τελευταίο κρίκο σε πολλές διατροφικές αλυσίδες.

Πίνακας 8: Παρουσία μετάλλων στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς πηγές

Βιομηχανική δραστηριότητα	Hg	Pb	Cd	As	Cr	Cu	Fe	Zn
Μεταλλουργία	×	×	×	×	×	×	×	×
Ηλεκτραπόθεση - φινίρισμα μετάλλων	-	-	-	-	×	×	-	×
Ορυκτά, καύσιμα, διύλιση πετρελαίου	-	-	-	×	-	-	×	-
Χημική βιομηχανία	×	-	×	-	×	×	-	×
Μηχανολογικός εξοπλισμός	-	-	×	-	×	×	×	×
Ηλεκτρονικά - ηλεκτρικά εξαρτήματα	×	×	-	-	-	×	-	-
Χρώματα & βαφές	×	×	×	×	×	×	-	-
Φυτοφάρμακα	×	×	-	×	-	-	-	×
Εκρηκτικά - Πυρομαχικά	×	×	-	×	-	×	-	-
Ελαστικά και πλαστικά	×	-	-	-	-	-	-	×
Συσσωρευτές	×	×	×	-	-	-	-	×
Υφαντουργία	-	-	×	-	×	-	-	×
Χαρτοποιία	×	-	-	-	-	-	×	-
Βυρσοδεψία	-	×	×	-	×	×	×	×

Περιεκτικότητες των στοιχείων αυτών άνω των επιτρεπτών ορίων προκαλούν χρόνιες βλάβες ή ακόμη και τον θάνατο. Τα βαρέα μέταλλα έχουν επίδραση στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, στην αναπαραγωγή και σε άλλες βασικές λειτουργίες του οργανισμού, δημιουργούν νευροφυσιολογικές διαταραχές και μεταλλάξεις και είναι υπεύθυνα για καρκινογένεσεις και τερατογένεσεις.



Εικόνα 59: Βιοσυσσώρευση και βιομεγέθυνση. Το DDT είναι μια λιποδιαλυτή χημική ουσία που μπορεί να συσσωρευτεί στους λιπώδεις ιστούς των ζωικών οργανισμών. Η συγκέντρωση του DDT αυξάνεται στα άτομα των ανώτερων τροφικών επιπέδων.

Θυμηθείτε τι έγινε στην Μίναματα. Σε ένα μικρό χωριό της Ιαπωνίας στο κόλπο της Μίναματα, παρατηρήθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1950 δηλητηριάσεις γατιών στην αρχή και ανθρώπων στη συνέχεια, που είχαν σαν αποτέλεσμα δεκάδες θανάτους ανθρώπων, παραμορφώσεις και διαταραχές του νευρολογικού συστήματος, κυρίως των ψαράδων της περιοχής. Αιτία ήταν

οι ποσότητες μιας τοξικής ουσίας, του υδραργύρου, που κατέληγε από ένα εργοστάσιο παραγωγής πλαστικού PVC στο ποτάμι, μαζί με άλλα υγρά και στερεά απόβλητα. Από το ποτάμι, οι τοξικές ουσίες κατέληγαν στον κόλπο της Minamata κι εκεί περνούσαν στα ψάρια και τα οστρακοειδή. Οι δηλητηριώδεις ενώσεις έφθαναν στους ψαράδες και τους ντόπιους, που καταναλώναν θαλασσινά, αλλά και στις γάτες, με αποτέλεσμα να προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία τους. Αν και οι ποσότητες των διαφόρων ενώσεων του υδραργύρου που έπεφταν στο ποτάμι ήταν σχετικά μικρές, μέσω της τροφικής αλυσίδας - από το θαλασσινό νερό, στο πλαγκτόν και από εκεί στα ψάρια, για να καταλήξει τελικά στους ανθρώπους - οι ποσότητες που έφταναν στους ανθρώπους ήταν αυξημένες (το φαινόμενο αυτό λέγεται βιομεγέθυνση). Σε μια τέτοια διαδικασία, οι συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών σε οργανισμούς μπορεί να είναι 100 - 30.000 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με τις συγκεντρώσεις στο νερό, όπως έχει αποδειχτεί από πολλές επιστημονικές έρευνες.

Η θερμική αλλοίωση :

Μεγάλες ποσότητες φυσικών νερών χρησιμοποιούνται ως ψυκτικό μέσο στη βιομηχανία (θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια) και αποβάλλονται μετά τη χρήση τους στους ποταμούς ή την θάλασσα θερμότερα. Αυτό προκαλεί αρνητικές επιδράσεις όπως :

- μείωση του διαλυμένου οξυγόνου
- αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων
- υπέρμετρο πολλαπλασιασμό των βακτηρίων και
- μείωση της ικανότητας αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών

Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της θερμικής επίδρασης μπορούν να χωριστούν σε εξωτερικά και εσωτερικά. Ως εξωτερικά αποτελέσματα θεωρούνται όλες οι αλλαγές που προκαλούνται στο εξωτερικό περιβάλλον ενός βιολογικού οργανισμού και περιλαμβάνουν αλλαγές σε φυσικές, χημικές, βιοχημικές και φυσικοχημικές παραμέτρους του θαλασσινού νερού. Με τον όρο εσωτερικά αποτελέσματα εννοούμε τις αλλαγές που προκαλούνται στο βιολογικό κύκλο της ζωής, όπως επίδραση στον κύκλο αναπαραγωγής, μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, βιολογικές μεταλλάξεις κ.λπ.

Η έκταση της περιοχής που επηρεάζεται καθώς και ο χρόνος επίδρασης εξαρτώνται από ένα σημαντικό αριθμό χαρακτηριστικών. Ένα πρώτο εξωτερικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, η οποία αλλάζει το ρυθμό του μεταβολισμού σε όλη την υδρόβια ζωή. Γενικά εκτιμάται ότι ο ρυθμός του μεταβολισμού διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C. Η επιτάχυνση αυτή προκαλεί στους ζωντανούς οργανισμούς αυξημένες απαιτήσεις για οξυγόνο (O₂).

Παράλληλα, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, ενώ πρόσθετη αλλαγή στην περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε οξυγόνο προκαλείται και λόγω του υπέρμετρου πολλαπλασιασμού των βακτηρίων που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου. Επιπλέον, καταγράφεται και ο σχηματισμός ενός θερμού στρώματος που παραμένει στην επιφάνεια σαν ειδικώς ελαφρύτερο με μικρότερη ικανότητα διάλυσης ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Έτσι καθώς οι απαιτήσεις των οργανισμών σε οξυγόνο αυξάνουν η διαθέσιμη ποσότητα του οξυγόνου στο νερό ελαττώνεται, με αρνητικά αποτελέσματα στην υφιστάμενη χλωρίδα και πανίδα. Επιπλέον, η αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει μια μετατόπιση στη χημική ισορροπία πολλών από τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση από τα συνήθη φυσικά φαινόμενα είναι ότι, σε μερικές περιπτώσεις προκαλούνται μη αντιστρεπτές μεταβολές. Επίσης ελαττώνεται και η ικανότητα αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών και των ιχθύων στις ασθένειες και στις τοξικές ουσίες. Έτσι επηρεάζονται διάφορες σημαντικές βιολογικές λειτουργίες τους, όπως για παράδειγμα η ελάττωση του χρόνου επώασης των αυγών τους.

Η σχετική νομοθεσία στις Η.Π.Α είναι αρκετά αυστηρή, όπου σαν ανώτατη θερμοκρασία του νερού λαμβάνονται οι 32,2°C, με ανώτατη επιτρεπόμενη αύξηση σε λιμνοθάλασσες και τη θάλασσα 2,2°C από το Σεπτέμβριο ως το Μάιο, και 0,83°C από τον Ιανουάριο ως τον Αύγουστο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

4. Η έννοια της ποιότητας

Το πόσιμο νερό, είναι και πρέπει να είναι, το καλύτερα ελεγχόμενο μέσο διατροφής και το πιο σφαιρικά νομοθετημένο αντικείμενο στον τομέα της νομοθεσίας του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την Υγειονομική Διάταξη, **πόσιμο νερό** νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία είτε όχι. Ανάλογα με την προέλευσή του το πόσιμο νερό διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες :

Επιτραπέζιο νερό. Είναι το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, είτε ύστερα από επεξεργασία είτε όχι. Μπορεί να έχει βρεθεί στην επιφάνεια ή να έχει υπόγεια προέλευση και επιτρέπεται να υποβληθεί σε διάφορες διεργασίες απολύμανσης, ώστε να είναι μικροβιολογικά αποδεκτό. Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος απολύμανσης πρέπει να αναγράφεται στη ετικέτα.

Φυσικό μεταλλικό νερό. Πρόκειται για το νερό που είναι μικροβιολογικά κατάλληλο προς πόση, έχει υποχρεωτικά υπόγεια προέλευση και αντλείται από μία ή περισσότερες φυσικές πηγές ή τεχνητές εξόδους μιας πηγής. Διακρίνεται από το κοινό πόσιμο νερό από : α) τη φυσιολογική του σύσταση, αφού περιέχει περισσότερα ανόργανα άλατα, ιχνοστοιχεία ή άλλα συστατικά (π.χ., είναι πλούσιο σε μαγνήσιο, φτωχό σε νάτριο, φθοριούχο), και β) από την αρχική του κατάσταση που διατηρείται άθικτη λόγω της υπόγειας προέλευσής του. Στα φυσικά μεταλλικά νερά δεν επιτρέπεται καμία επεξεργασία απολύμανσης, που έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του μικροβιακού φορτίου.

Νερό πηγής. Είναι το νερό υπόγειας προέλευσης, που αντλείται από μία ή περισσότερες φυσικές ή τεχνητές εξόδους μιας πηγής. Εμφιαλώνεται επιτόπου (στο χώρο προέλευσής του), δεν υπόκειται σε καμία επεξεργασία απολύμανσης και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά συμφωνούν με εκείνα του κοινού πόσιμου νερού.

Ως **εμφιαλωμένο** ορίζεται το νερό, οποιασδήποτε από τις παραπάνω κατηγορίες, που πωλείται σε σφραγισμένες φιάλες (πόσιμο συσκευασμένο νερό).

Το νερό, που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία. Δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην υγεία. Σύμφωνα με το προοίμιο του Καταστατικού της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ) :

«Υγεία είναι η κατάσταση της πλήρους σωματικής ψυχικής και κοινωνικής ευεξίας. Η επίδραση της ρύπανσης του περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία είναι σημαντική και εξαρτάται από τη συγκέντρωση του κάθε ρύπου, τη διάρκεια της έκθεσης σε αυτόν και την ύπαρξη καρδιαναπνευστικής νόσου στον κάθε άνθρωπο».

Με βασικό στόχο την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας, την αποφυγή της ρύπανσης και τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας, θεσπίστηκαν νόμοι και προδιαγραφές για την προστασία της ποιότητας των φυσικών νερών. Η νομοθεσία προσδιορίζει τις συγκεντρώσεις διαφόρων ουσιών, που επιτρέπεται να υπάρχουν μέσα στο πόσιμο νερό, ώστε να ανταποκρίνεται στις υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές, που απαιτούνται σε σχέση με το σημαντικό για τη ζωή μας αγαθό. Η τεχνολογία που διατίθεται σε αρκετές χώρες είναι σε θέση να ανιχνεύει στο νερό ιχνοστοιχεία, που βρίσκονται σε συγκεντρώσεις του δισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου ανά λίτρο. 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 του νερού. 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.

Ο όρος **ποιότητα του νερού** δεν συνιστά από μόνος του μία συγκεκριμένη αξία, διότι υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές και συνεπώς πρέπει να θεωρείται και να μελετάται σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις του νερού. Μόνο μία λεπτομερής ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών απαιτήσεων των διαφορετικών χρήσεων

του νερού, μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας ή της ανεπάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

4.1 Σχετική νομοθεσία

Η Οδηγία πλαίσιο για το νερό 2000/60/EC (WRRL) αναφέρει ξεκάθαρα ότι «το νερό δεν είναι ένα κοινό εμπορεύσιμο είδος, αλλά ένα αγαθό κληρονομιάς που πρέπει να προστατευτεί και να τύχει κατάλληλης μεταχείρισης»

Η πιο πρόσφατη κοινή υπουργική απόφαση, ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892 /11.07.2001 τεύχος Β) αναφέρεται στην «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3/11/98. Η συγκεκριμένη Κοινή Υπουργική Απόφαση έχει στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή στη μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης διασφαλίζοντας ότι αυτό είναι υγιεινό και καθαρό.

Ως «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης» νοείται το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία. Το νερό, επίσης, που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Οι παραμετρικές τιμές για τον έλεγχο του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO) και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατίθενται στο Παράρτημα Ι.

Η αδειοδότηση κάθε μορφής παροχής νερού έχει δεσμεύσεις σε ό,τι αφορά την ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται, καθώς και το υψόμετρο ασφαλείας κάτω από το οποίο δεν πρέπει να κατέβει η στάθμη του επιφανειακού ή του υπεδαφικού ταμιευτήρα νερού. Είναι σημαντικό επίσης ότι η αναλογία του όγκου επιφανειακού ως προς το υπεδαφικό νερό, σε μέσες ετήσιες τιμές, προσδιορίζει και τον τρόπο εκμετάλλευσής του και ιδιαίτερα τη ζήτησή του για άρδευση, που αποτελεί και τον μεγαλύτερο καταναλωτή. Μεγάλες υπερβάσεις σε αριθμό γεωτρήσεων, σε σχέση με αυτές που μπορεί να αντέξει η περιοχή, έχουν γίνει στη Θεσσαλία με 320 % περισσότερες γεωτρήσεις, στην Αττική με 260 %, στην Πελοπόννησο και στα νησιά του Αιγαίου με 200 %. Επισημαίνεται ότι στη Θεσσαλία και την Πελοπόννησο οι υπερβάσεις έχουν γίνει για να καλύψουν ανάγκες άρδευσης, ενώ στην Αττική και στα νησιά του Αιγαίου για να καλύψουν ανάγκες ύδρευσης και άλλες χρήσεις.

Η ποιότητα του νερού για άρδευση καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητά του σε άλατα. Το πόσα και ποια άλατα μπορούμε να ανεχθούμε, εξαρτώνται από το είδος του καλλιεργούμενου φυτού, τον τύπο του εδάφους, την μέθοδο άρδευσης κλπ. Σήμερα όμως λόγω της ελαχιστοποίησης των αποστάσεων των γεωργικών περιοχών από τις οικιστικές και βιομηχανικές, μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε και την περιεκτικότητα του αρδευτικού νερού σε διάφορες ουσίες που υπάρχουν στα στερεά και υγρά απόβλητα π.χ βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί κλπ. Γι αυτό είναι σημαντικό να τηρείται η νομοθεσία περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.

Όσον αφορά την ποιότητα των νερών κολύμβησης, οι παράμετροι και οι τιμές της Οδηγίας 2006/7/ΕΚ σχετικά με την διαχείριση των υδάτων που προορίζονται για τον σκοπό αυτό, βασίζονται σε πρόσφατα επιστημονικά και ερευνητικά δεδομένα, ιδίως τα παρεχόμενα από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO). Οι παράμετροι παρακολούθησης περιορίζονται από 19, που ίσχυαν στην Οδηγία 76/160/ΕΟΚ, σε δύο σημαντικές βακτηριολογικές παραμέτρους: τους εντερόκοκκους (enterococci) και τα κολοβακτηρίδια (*Escherichia coli*)

Η αξιολόγηση της ποιότητας των νερών κολύμβησης μιας περιοχής, η οποία γίνεται μετά το τέλος κάθε κολυμβητικής περιόδου, βασίζεται στο σύνολο των ποιοτικών δεδομένων της τρέχουσας και των προηγούμενων τριών κολυμβητικών περιόδων. Με βάση την αξιολόγηση τα νερά κολύμβησης ταξινομούνται σε τέσσερα επίπεδα ποιότητας :

- Εξαιρετική ποιότητα
- Καλή ποιότητα
- Επαρκής ποιότητα
- Ανεπαρκής ποιότητα

Οι παραμετρικές τιμές για τον έλεγχο των νερών κολύμβησης, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO) και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ.

Ταυτότητα Ακτών Κολύμβησης

Στην Οδηγία καθιερώνεται επίσης η έννοια της « Ταυτότητας των ακτών κολύμβησης » (*Beach profile*).

Η ταυτότητα των ακτών κολύμβησης περιλαμβάνει :

- A) Περιγραφή των φυσικών, γεωγραφικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών των νερών κολύμβησης καθώς και άλλων επιφανειακών νερών στη λεκάνη απορροής των εν λόγω νερών, που μπορούν ενδεχομένως να προκαλέσουν ρύπανση.
- B) Εντοπισμό και αξιολόγηση των αιτιών ρύπανσης, που ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα των νερών κολύμβησης και να βλάψουν την υγεία των λουόμενων.

Σε περίπτωση που υπάρχει κίνδυνος βραχυπρόθεσμης ρύπανσης, παρέχονται οι ακόλουθες πληροφορίες :

- Αναμενόμενη φύση, συχνότητα και διάρκεια της αναμενόμενης βραχυπρόθεσμης ρύπανσης
- Λεπτομέρειες για τις τυχόν άλλες αιτίες ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένου των διαχειριστικών μέτρων που λαμβάνονται και του χρονοδιαγράμματος για την εξάλειψή τους.
- Τα μέτρα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια βραχυπρόθεσμης ρύπανσης και τα στοιχεία ταυτότητας και επικοινωνίας των φορέων που είναι υπεύθυνοι για την ανάληψη τέτοιας δράσης.
- Αξιολόγηση της δυνατότητας ανάπτυξης κυανοβακτηρίων
- Αξιολόγηση της δυνατότητας ανάπτυξης μακροφυκών ή/και φυτοπλαγκτόν
- Την τοποθεσία του σημείου παρακολούθησης, το οποίο θα πρέπει να βρίσκεται στον τόπο των νερών κολύμβησης που αναμένεται το μεγαλύτερο πλήθος λουόμενων ή ο μεγαλύτερος κίνδυνος ρύπανσης.

4.2 Χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού

Το **χημικώς καθαρό** νερό, το οξείδιο του υδρογόνου H₂O, δεν υπάρχει στη φύση και έχει ορισμένες ιδιότητες που το καθιστούν ακατάλληλο για πλείστες συνήθεις χρήσεις. Το **φυσικό** νερό περιέχει σε διάλυση διάφορα ιόντα και σε αιώρηση στοιχεία, ενώσεις και σωματίδια. Το είδος και η περιεκτικότητα σε αυτά του προσδίδουν ορισμένες φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητά του. Περιεκτικότητες σε ορισμένα από αυτά πάνω από ορισμένη οριακή τιμή είναι δυνατό να το καθιστούν ακατάλληλο για κάποια(ες) συγκεκριμένη(ες) χρήση(εις). Η συνολική περιεκτικότητα σε διαλυμένες ή και αιωρούμενες ουσίες, όπως και η σύσταση της περιεκτικότητας αυτής, δίνουν τα χαρακτηριστικά, την ποιότητα του νερού. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε : φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά.

Πίνακας 9: Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού

Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού	Παράμετρος
Φυσικοχημικά	Θερμοκρασία
	Ενεργός Οξύτητα (pH)
	Αγωγιμότητα – TDS – Αλατότητα
	Θολερότητα
	Χρώμα
	Οσμή – Γεύση
	Ολικά στερεά
	Σκληρότητα
	Διάφορα κατιόντα (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺)
	Διάφορα ανιόντα (NO ⁻² , NO ⁻³ , PO ₄ ⁻³ , SO ₄ ⁻² , Cl ⁻)
	Ιχνοστοιχεία – Βαρέα μέταλλα
Βιοχημικά	Διαλυμένο οξυγόνο (DO)
	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)
	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)
Μικροβιολογικά	Ολικά κολοβακτηριοειδή
	Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή
	Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι

4.2.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

4.2.1.1 Θερμοκρασία

Η **θερμοκρασία**, μαζί με το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό, αποτελούν τις βασικότερες ίσως παραμέτρους που επηρεάζουν τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν σε πολύ συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το ξεπέρασμα του οποίου επιφέρει αρχικά «στρες» και στη συνέχεια θάνατο. Γι αυτό η μέτρηση της θερμοκρασίας πρέπει να συνοδεύει κάθε δειγματοληψία. Η μέτρησή της είναι επίσης απαραίτητη στη διαδικασία μέτρησης και ορισμένων άλλων χαρακτηριστικών του νερού, όπως η αλκαλικότητα, η αλατότητα, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, κ.α. Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις και συντελούν στην αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών.

Οι θερμοκρασίες των υπόγειων νερών καθορίζονται κυρίως από την θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν και τείνουν να παραμείνουν σταθερές, σε αντίθεση με τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Γενικά, το νερό των βαθιών γεωτρήσεων είναι πιο ζεστό από το νερό των αβαθών γεωτρήσεων. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται επίσης και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα.

Η πλέον επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 και 12 °C. Πάνω από τους 12 °C, πέρα από την αισθητική και γευστική επίδραση, το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.

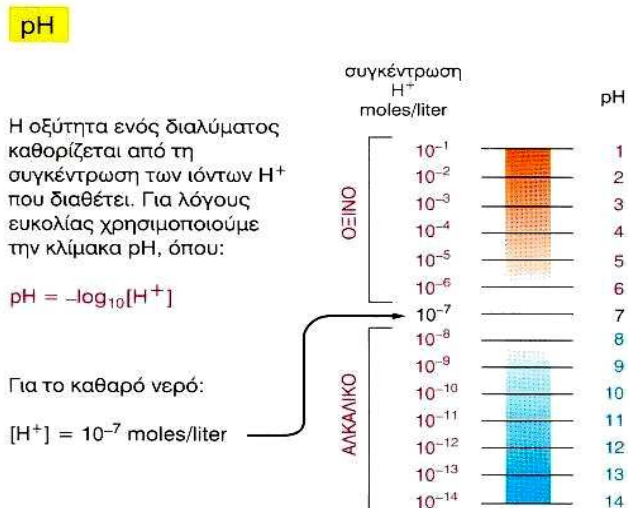
4.2.1.2 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Η μέτρηση του **pH**, είναι μία από τις σημαντικότερες και βασικότερες μετρήσεις κατά την εξέταση των υδάτων και αποβλήτων. Το καθαρό νερό ιονίζεται σε κατιόντα υδρογόνου (H⁺) και ανιόντα υδροξυλίου (OH⁻) σύμφωνα με την εξίσωση :



Ο όρος pH, εκφράζει την συγκέντρωση υδρογονοκατιόντων σε ένα δείγμα και ορίζεται ως «ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου» ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$). Η κλίμακα μέτρησης του pH εκτείνεται από το 0 έως το 14. Η τιμή 7 αντιστοιχεί σε ουδέτερα δείγματα ($\text{C}_{\text{H}^+} = 10^{-7} \text{ mol/L}$). Τιμές μικρότερες υποδεικνύουν όξινο περιβάλλον (υπεροχή υδρογονοκατιόντων), ενώ τιμές μεγαλύτερες αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλίων).

Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά, κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (π.χ φωτοσύνθεση αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η όξινη βροχή, που οφείλεται στην έκλυση οξειδίων του θείου και του αζώτου (SO_x, NO_x) από την καύση υδρογονανθράκων και τη μετατροπή τους σε οξέα στην ατμόσφαιρα (H₂SO₃, HNO₃), συμβάλει στη μείωση του pH (< 4,5 και στην δημιουργία όξινων υπόγειων νερών. Το pH του υπεδαφικού νερού είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης. Το όξινο περιβάλλον ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO₂. Το pH επίσης μπορεί να μειωθεί από την οξείδωση της αμμωνίας που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα, καθώς και την οξείδωση των πυριτών (FeS₂). Σε δεδομένη θερμοκρασία, το pH δείχνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι ένα διάλυμα ή τον βαθμό ιονισμού του διαλύματος. Με το pH δεν μετράται η οξύτητα ή η 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 του δείγματος προς την **αλκαλικότητα**. Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει πολλές



βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα δυσχεραίνουν την πορεία των αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους. Στα νερά φυσικής προέλευσης, το pH κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4 και 9, ενώ τιμές 6 - 8 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για την διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική (pH>7) και σιγά - σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη (pH<7). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO₂, όταν αποσυντίθεται. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να είναι μεταξύ 6,5 και 8,5 πριν τη διάθεσή τους στη θάλασσα, τα ρέματα και τους υπονόμους, ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών και διαταράσσονται τα υδάτινα οικοσυστήματα που γίνονται δέκτες τους. Επιθυμητά όρια για το πόσιμο νερό είναι οι τιμές μεταξύ 6,5 και 9,5 και για το νερό άρδευσης οι τιμές 6,5 με 8,5.

4.2.1.3 Αγωγιμότητα - Αλατότητα - TDS

Η ηλεκτρική **αγωγιμότητα** είναι εξ ορισμού η ικανότητα ενός υλικού να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει (άγει) ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων (κατ' επέκταση των αλάτων), τη συγκέντρωσή τους, την ευκινησία τους, το σθένος τους και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 °C). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην υγεία.

Η αγωγιμότητα διευκολύνει την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, στην ανάπτυξη των φυτών και ζώων κ.λ.π. Οι τιμές της είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών και μια απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Απόβλητα και ρύποι που εισέρχονται στους υδάτινους αποδέκτες τροποποιούν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλωρίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και φωσφόρου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το mho/cm, δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/cm (S/cm) και οι υποδιαίρεσής του. Ισχύει ότι (1 mS / cm = 10 μmhos /cm).

Η αγωγιμότητά, συνήθως, κυμαίνεται :

- στα πόσιμα νερά από 50 - 1500 μmhos/cm
- στο νερό της βροχής 20 - 50 μmhos/cm,
- στα νερά λασποβροχής περίπου 500 μmhos/cm,
- σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα πάνω από 10.000 μmhos/cm.
- σε νερό πρόσφατα απεσταγμένο 0,5 - 2 μmhos/cm (συνήθως 1,2 μmhos/cm), ενώ μετά από μερικές εβδομάδες παραμονής, λόγω απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, η αγωγιμότητά του φθάνει τα 2 - 4 μmhos/cm.

Με την αγωγιμότητα συνδέεται και η **αλατότητα**, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τις χιλίους (Sal ‰). Η αλατότητα είναι η περιεκτικότητα του νερού σε αλάτι (NaCl) και ορίζεται ως η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε γραμμάρια που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινό νερό, όταν όλα τα ανθρακικά (CO₃⁻²) έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα (Br⁻) και ιωδιούχα (I⁻) έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα (Cl⁻) ιόντα και έχει οξειδωθεί όλη η οργανική ύλη. Η αλατότητα των θαλασσών κυμαίνεται μεταξύ 32 - 37,5 ‰ με χαμηλές τιμές στους πόλους της γης και πολύ υψηλές στις τροπικές ζώνες. Αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων στις βροχοπτώσεις και στα ποσοστά εξάτμισης του νερού. Μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση. Να σημειωθεί ότι η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις περιοχές στην ενδοχώρα, γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν και σταγονίδια πλούσια σε άλατα. Η απόθεση αυτών των αλάτων με την βροχόπτωση επιδρά σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών των νησιών (Dazy et al., 1997, Lambrakis et al., 2000). Εγκλωβισμένα αλμυρά νερά εντοπίζονται σε

περιοχές ιζηματογενών αποθέσεων. Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά, λόγω φόρτισης με άλατα από τη διάλυση των πετρωμάτων. Η αλατότητα είναι μεγαλύτερη σε περιοχές, όπου η κίνηση του νερού είναι μικρότερη και σε ξηρές περιοχές με ασήμαντη έκπλυση από τη βροχή. Γενικά, η αλατότητα αυξάνει με το βάθος.

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ. Το **T.D.S** εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις :

$$T.D.S \text{ (ppm)} \sim 0.65 \text{ (EC)} \text{ (}\mu\text{S/cm)} \text{ και } T.D.S \text{ (meq/L)} \sim 0.01 \text{ (EC)} \text{ (}\mu\text{S/cm)}$$

Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που διηθείται στον υδροφόρα αυξάνει την συγκέντρωση των T.D.S. Αν οι τιμές του T.D.S κυμαίνονται μεταξύ 0 - 1.000 mg/L το νερό είναι γλυκό, μεταξύ 1.000 - 10.000 mg/L θεωρείται υφάλμυρο, μεταξύ 10.000 - 100.000 mg/L αλμυρό και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L υπεραλμυρό.

4.2.1.4 Θολρότητα

Με τον όρο **θολρότητα** εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, η θολρότητα είναι μία έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει και να απορροφά το φως που διέρχεται από αυτό και να μην το μεταδίδει σε ευθεία γραμμή. Οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη λεπτόκοκκων σωματιδίων ανόργανων και οργανικών υλικών (όπως χόμα, πηλός, φύκη, βακτήρια, κλπ.) τα οποία αιωρούνται ή βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή και είναι διάσπαρτα στην υγρή φάση. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία.

Η θολρότητα είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος της ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό που φτάνει στον καταναλωτή πρέπει να είναι διαυγές και όχι θολό. Η θολρότητα προκαλεί εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης και μετρείται σε μονάδες θολότητας (NTU) (Nephelometric Turbidity Units) ή σε mg/l (ppm) διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂), δηλαδή θολότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα 1 mg SiO₂ σε 1 L νερού. Η θολρότητα στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με την ισχύουσα στη χώρα μας νομοθεσία, δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 10 mg/L SiO₂ ή τις 4 μονάδες Jackson. Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της θολρότητας σε λίμνες και τη θάλασσα, είναι η μέτρηση της διαφάνειας με τη μέθοδο που είναι γνωστή ως «*Μέτρηση με το δίσκο του Secchi*». Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην μέτρηση του βάθους στο οποίο εξαφανίζεται από το οπτικό πεδίο του παρατηρητή, λευκός μεταλλικός ή πλαστικός δίσκος, που βυθίζεται κάθετα στην επιφάνεια του νερού. Στη θάλασσα η διαφάνεια κυμαίνεται συνήθως από 15 έως 20 m, ενώ στις λίμνες μπορεί να φθάνει μόλις το 1,5 m.

4.2.1.5 Χρώμα

Το **χρώμα** που βλέπουμε σε έναν υδάτινο αποδέκτη καθορίζεται από το μήκος κύματος της μονοχρωματικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νερό, από το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται, από το χρώμα του ιζήματος, από την παρουσία ανόργανων ή οργανικών ουσιών, από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών και τη βιολογική τους δραστηριότητα, ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την απορρόφηση του φωτός στο νερό και του προσδίδουν συγκεκριμένο χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο - γαλάζιο έως σκούρο καφετί. Η απορρόφηση του φωτός υπολογίζεται με το συντελεστή απορρόφησης, ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε είδος φυσικού νερού αλλά και για κάθε μήκος κύματος του φωτός. Έτσι οι διαφανείς λίμνες έχουν μικρό συντελεστή απορρόφησης, ενώ οι εύτροφες και θολές μεγάλο.

Το χρώμα του νερού ενός φυσικού αποδέκτη μπορεί ν' αλλάζει εποχιακά, όταν εξαιτίας της διάχυσης του ιζήματος κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή αναστροφή αναπτύσσεται υπερβολικά το φυτοπλαγκτόν εντείνοντας το πράσινο χρώμα ή με τη μεταφορά φερτών υλών από τη λεκάνη απορροής που προσδίδουν φαιό χρώμα στο νερό. Φυσικά νερά με έντονη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο, ενώ αυτά με ασθενέστερη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο - γαλάζιο.

Το χρώμα στο πόσιμο νερό είναι αισθητικά ανεπιθύμητο. Νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και έχει χρώμα πρέπει να εξεταστεί χημικά για να αναζητηθεί η προέλευσή του. Το καθαρό φυσικό νερό είναι διαυγές και άχρωμο σε μικρές μάζες. Όμως η παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων, όπως σιδήρου (Fe^{2+}) και μαγγανίου (Mn^{2+}) που βρίσκονται στη φύση, προσδίδουν στο νερό κάποιο χρώμα. Ακόμα το χρώμα στο φυσικό νερό μπορεί να οφείλεται σε άλλες χημικές ενώσεις, στο πλαγκτόν και σε βιομηχανικά απόβλητα (π.χ. απόβλητα βαφείων κ.α.).

Πολλές φορές το χρώμα χρησιμεύει και σαν ιχνηλάτης για τον προσδιορισμό του τόπου προέλευσης του νερού και έτσι μπορεί να θεωρηθεί και έμμεσος δείκτης μόλυνσης. Για παράδειγμα, το κοκκινωπό χρώμα είναι ενδεικτικό ύπαρξης ενώσεων σιδήρου, ενώ το γαλάζιο οφείλεται σε ύπαρξη χαλκού ή των ενώσεών του. Το μελανό χρώμα μπορεί να οφείλεται σε ύπαρξη οργανικών οξέων και τανίνης.

Η παρουσία χρώματος στα επιφανειακά νερά :

- επηρεάζει τις συνθήκες διαβίωσης των υδρόβιων οργανισμών
- περιορίζει τη φωτοσύνθεση
- περιορίζει το διαθέσιμο οξυγόνο στο νερό και
- περιορίζει τη δυνατότητα χρήσης των υδάτων από τον άνθρωπο

4.2.1.6 Οσμή - Γεύση

Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να προέρχονται από διάφορες χημικές ουσίες, από διαλυμένες ή από εν αιώρηση οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση, ή τέλος από μικροοργανισμούς και από διαλυμένα στο νερό αέρια. Το προς πόση νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης **οσμής ή γεύσης**. Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn). Τέλος, ουσίες όπως οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες δημιουργούν σοβαρά προβλήματα γεύσης στο νερό ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το υπολειμματικό χλώριο των δικτύων ύδρευσης είναι αυτό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και το συσχετίζει με την οσμή και τη γεύση του νερού. Το όριο γεύσης του χλωρίου σε ουδέτερο pH είναι 0.2 mg/l, το οποίο αυξάνει σε 0.5 mg/l για τιμή pH = 9. Επίσης, το όριο γεύσης της μονοχλωραμίνης, μιας ουσίας η οποία δημιουργείται στο νερό κατά την χλωρίωση, εκτιμάται σε 0.48 mg/l. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα με τη χλωρίωση του νερού είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Τέτοιες ενώσεις είναι το διχλωρομεθάνιο, το χλωροφόρμιο, το τριχλωροαιθυλένιο κ.ά. γνωστά ως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες ή τριαλογονομένα μεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM).

Η αποικοδόμηση φυτικών υλικών και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι οι περισσότεροι πιθανές αιτίες δημιουργίας γεύσης και οσμής στα επιφανειακά νερά. Οι μικροοργανισμοί που δημιουργούν συνήθως τέτοια προβλήματα είναι τα νηματοειδή βακτήρια, οι ακτινομύκητες και τα πράσινο-μπλε φύκια, αν και είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων προβλημάτων και από άλλους μικροοργανισμούς. Δύο προϊόντα μεταβολισμού των ακτινομυκήτων και των κυανοπράσινων φυκιών που ταυτοποιήθηκαν είναι η γεωσμίνη και η μεθυλοϊσοβορνεόλη (MIB). Τα συστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα δύσσομα και υπεύθυνα για την οσμή γαιώδους μούχλας που προσδίδουν στο νερό.

Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στο περιεχόμενο υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την αναγωγή των θεικών αλάτων εξαιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Η οσμή αλλοιωμένου αυγού μπορεί να ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.1 mg/L. Άλλες θειούχες ενώσεις, που οφείλονται σε μικροβιολογικές δράσεις και δημιουργούν οσμές και γεύσεις έλους - ιχθύος, είναι τα μεθυλοπολυσουλφίδια και η μεθυλομερκαπτάνη.

Η οσμή είναι ένα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό και γι' αυτό υποκειμενικό, που μπορεί ωστόσο να αποτελέσει κριτήριο για την ταξινόμηση των νερών σε κατηγορίες χρήσεων (πόση, αναψυχή, διαβίωση ψαριών κ.λ.π.). Όταν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, τα προϊόντα της διάσπασης της οργανικής ύλης είναι το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3), το μεθάνιο (CH_4), αέρια δύσσομα, τοξικά και εκρηκτικά. Η ένταση των οσμών δεν εξαρτάται πάντα από τη συγκέντρωση των ουσιών που την προκαλούν. Αν και το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οσμής είναι η ανθρώπινη μύτη, υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζεται ποιοτικά και ποσοτικά. Η ποιοτική κατάταξη γίνεται με βάση κατηγορίες αντιπροσωπευτικών ουσιών με χαρακτηριστική οσμή π.χ. τα βιομηχανικά απόβλητα, το χλώριο, τα απόβλητα διυλιστηρίων, το υδρόθειο, φυτά σε αποσύνθεση στην κατηγορία της οσμής μούχλας κ.λ.π

4.2.1.7 Ολικά στερεά

Γενικά οι ουσίες οι οποίες υπάρχουν στο νερό διακρίνονται σε διαλυμένες, που δεν φαίνονται, σε κολλοειδείς, οι οποίες επίσης δεν φαίνονται λόγω μεγέθους και σε αδιάλυτες, οι οποίες συνήθως φαίνονται δια γυμνού οφθαλμού. Οι αδιάλυτες ουσίες ανάλογα με το ειδικό τους βάρος είτε θα επιπλέουν είτε θα αιωρούνται είτε θα καθιζάνουν. Έτσι τα στερεά ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τα φυσικά, κυρίως, χαρακτηριστικά, όπως το ειδικό βάρος, το μέγεθος κλπ. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες :

- ο **Ολικά στερεά ή ολικό στερεό υπόλειμμα** : όλα τα στερεά που παραμένουν μετά από ξήρανση - εξάτμιση δείγματος νερού, σε θερμοκρασία 105 °C ή 180 °C.
- ο **Καθιζάνοντα στερεά** : τα στερεά που καθιζάνουν, σε μια ώρα, σε συνθήκες ηρεμίας σε βαθμονομημένο κώνο του Imhoff, στον οποίο υπολογίζεται ο όγκος (ml/L) των ουσιών που καθιζάνουν κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρόνου.
- ο **Αιωρούμενα ή επιπλέοντα στερεά** : όλα τα σωματίδια των οποίων το ειδικό βάρος είναι μικρότερο από το ειδικό βάρος του νερού και που κατακρατούνται σε φίλτρο, με διάμετρο πόρων 1 μm και παραμένουν σε αυτό μετά από ξήρανση, στους 103 - 105 °C, για μια ώρα.
- ο **Διαλυμένα στερεά** : είναι μικρά μόρια και ιόντα που έχουν μέγεθος μικρότερο από 1 μm και παραμένουν μετά από εξάτμιση και ξήρανση, στους 180 °C.
- ο **Εξατιμιζόμενα στερεά** : τα στερεά που εξατιμίζονται κατά την αποτέφρωση του δείγματος στους 550 (± 50) °C για 20 λεπτά της ώρας.

Στο πόσιμο νερό η συγκέντρωση των TSS είναι ελάχιστη και κυρίως ενδιαφέρει η συγκέντρωση των κολλοειδών των οποίων η παρουσία αντιπροσωπεύεται από τη θολότητα του νερού. Τα αιωρούμενα στερεά (TSS) είναι το κύριο αίτιο της θολότητας του νερού. Η κύρια πηγή προέλευσής τους είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων και οι βιολογικές διεργασίες. Το κύριο συστατικό των σωματιδίων που προέρχονται από αποσάθρωση είναι τα ορυκτά του αργίλου (Al), ενώ τα μικροφύκια, τα βακτήρια και άλλοι ανώτεροι μικροοργανισμοί είναι τα κύρια είδη των αδιάλυτων στερεών βιολογικής προέλευσης.

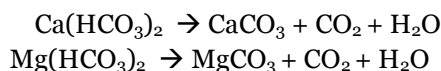
4.2.1.8 Σκληρότητα

Η **σκληρότητα** είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού, που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας τις ενώσεις $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 κλπ. Η σκληρότητα διακρίνεται σε :

- ολική
- προσωρινή (ή ανθρακική)
- μόνιμη (μη ανθρακική)

Η **ολική σκληρότητα** αναφέρεται στα νερά που κατά κανόνα περιέχουν σημαντικές ποσότητες κατιόντων ασβεστίου (Ca^{+2}) και μαγνησίου (Mg^{+2}) με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και ανθρακικού μαγνησίου (MgCO_3). Εάν συνυπάρχουν και άλλα κατιόντα όπως του στροντίου, του βαρίου, του μαγγανίου, του ψευδαργύρου, του σιδήρου και του αργιλίου, τότε συμπεριλαμβάνονται και αυτά. Η ολική σκληρότητα έχει αριθμητική τιμή, ίση με το άθροισμα της προσωρινής και της μόνιμης και οφείλεται σε όλα τα κατιόντα που σχηματίζουν ίζημα με τον σάπωνα.

Η **προσωρινή (ανθρακική) σκληρότητα** οφείλεται στα κατιόντα του νερού που απομακρύνονται με το βρασμό του νερού όπου το μεν CO_2 διαφεύγει, τα δε αδιάλυτα CaCO_3 και MgCO_3 καθιζάνουν σαν ανθρακικά άλατα:



Η **μόνιμη (μη ανθρακική) σκληρότητα** οφείλεται στα ανθρακικά, θειούχα, χλωριούχα και νιτρικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου (CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) και δεν αφαιρείται με βρασμό.

Το σκληρό νερό δεν έχει καλή γεύση, εμποδίζει το καλό βράσιμο των τροφίμων, δεν κάνει αφρό με το σαπούνι και δημιουργεί επικαθίσεις στις σωληνώσεις και στις οικιακές συσκευές. Επίσης, σε ορισμένες βιομηχανίες (βαφεία, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων) το σκληρό νερό είναι επιζήμιο στην κατεργασία και στο τελικό προϊόν. Πολύ σοβαρές βιομηχανικές ενοχλήσεις δημιουργεί το σκληρό νερό στους ατμολέβητες, αφήνοντας μετά την εξάτμιση του σημαντικές ποσότητες στερεών αποθεμάτων (πουρι).



Εικόνα 60: Επικαθίσεις αλάτων - Σχηματισμός πουρι

Η σκληρότητα εκφράζεται με διάφορες μονάδες μέτρησης (Πίνακας 10). Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μονάδες είναι : mg/L CaCO₃, mmole/L και meq/L αλκαλικών ιόντων. Άλλες μονάδες έκφρασης της σκληρότητας είναι ο Γαλλικός (°F), ο Γερμανικός (°D) και Αγγλικός (°E) βαθμός σκληρότητας. Το νερό ανάλογα με την σκληρότητά του διακρίνεται σε :

- μαλακό νερό : 0 -100 mg/L CaCO₃
- μέσης σκληρότητας νερό : 100 - 200 mg/L CaCO₃
- σκληρό νερό : 200 - 300 mg/L CaCO₃
- πολύ σκληρό νερό : > 300 mg/L CaCO₃

Η σκληρότητα των φυσικών νερών, οφείλεται στη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό. Στη χώρα μας, λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης πολλών περιοχών, πολλά νερά παρουσιάζουν υψηλή σκληρότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της Κέρκυρας, που διαθέτει νερό με σκληρότητα περίπου 50 Γερμανικών βαθμών ή 900 mg/L CaCO₃ έναντι 12 Γερμανικών βαθμών ή 210 mg/L CaCO₃ που είναι το νερό που διαθέτει η ΕΥΔΑΠ στην Αθήνα.

Πίνακας 10: Μετατροπές μονάδων σκληρότητας νερού [11]

Σκληρότητα	Ιόντα αλκ. γαιών mmole/l	Ιόντα αλκ. γαιών meq/l	Γερμ. βαθμός °D	CaCO ₃ mg/l	Αγγλ. βαθμός °E	Γαλλ. βαθμός °F
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 mmole/l)	1.00	2.00	5.60	100.0	7.02	10.00
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 meq/l)	0.50	1.00	2.80	50.00	3.51	5.00
1 Γερμ. βαθμός	0.18	0.357	1.00	17.86	1.25	1.786
1 mg/l CaCO ₃	0.01	0.020	0.056	1.00	0.070	0.100
1 Αγγλικός βαθμός	0.14	0.285	0.798	14.30	1.00	1.43
1 Γαλλικός βαθμός	0.10	0.200	0.560	10.00	0.702	1.00

4.2.1.9 Διάφορα κατιόντα (K⁺, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², NH₄⁺)

Κάλιο (K⁺) :

Το κάλιο είναι ένα στοιχείο σε αφθονία στη φύση, βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Η παρουσία του συνδέεται με τους αστρίους (ορθόκλαστο, μικροκλινή) και τους νατριούχους αμφιβόλους, όπως για παράδειγμα τον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα. Σπάνια όμως η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει τα 20 mg/l. Δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Νάτριο (Na⁺) :

Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατά του βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1 - 500 mg/l. Απαντάται σε αστρίους (αλβίτη) και νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή, αλίτη). Η παρουσία του συνδέεται επίσης με τη διείδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς. Στο πόσιμο νερό δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοεναλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Το νάτριο και κυρίως η αναλογία του προς τα άλλα κατιόντα στο νερό, έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν καθώς αυξάνει την αρτηριακή πίεση. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει τη γεύση του νερού.

Ασβέστιο (Ca⁺²) :

Υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Αντιθέτως είναι απαραίτητο στοιχείο για την υγεία του ανθρώπου, γιατί το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην πήξη του αίματος και την προστασία των οστών.

Μαγνήσιο (Mg⁺²) :

Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Απαντάται στον ολιβίνη (Mg,Fe)SiO₄, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο, όταν περιέχουν μαγνησίτη (MgCO₃) και δολομίτη (CaCO₃, MgCO₃). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Τα άλατά του μαζί με του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθίσεις στις σωληνώσεις και τους λέβητες. Το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος. Νερά όμως με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες.

Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺) :

Η αμμωνία με τη μορφή NH₄⁺, NH₄OH και NH₃, βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα επιφανειακά ύδατα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων, ως αποτέλεσμα της υδρόλυσης της ουρίας και της αποδόμησης αζωτούχων ενώσεων. Προέρχονται από την αποσύνθεση νεκρών οργανισμών, τα λιπάσματα, τα απορρίμματα και τους αγωγούς οικιστικών λυμάτων. Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία σε χαμηλές συγκεντρώσεις (περίπου 0,2 mg/l). Σε υπόγεια νερά όμως κάτω από εδάφη δασών παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στο πόσιμο νερό, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.

4.2.1.10 Διάφορα ανιόντα (Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, SO₄⁻², PO₄⁻³)

Χλωρίοντα (Cl⁻)

Τα χλωρίοντα είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, η συγκέντρωση των χλωρίοντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό. Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Μπορεί όμως να προέρχεται και από τη χρήση λιπασμάτων, από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ή διείδυση θαλασσινού νερού.

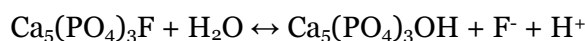
Στη χώρα μας, σε πολλές περιοχές, παρατηρούνται υψηλές τιμές χλωρίοντων στα υπόγεια νερά κυρίως των παράκτιων περιοχών, λόγω των υπεραντλήσεων και της προέλασης του θαλάσσιου

μετώπου. Στα αστικά λύματα, η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι υψηλότερη από εκείνη των πόσιμων υδάτων, γιατί κατά τη χρήση του από τον άνθρωπο, το νερό επιβαρύνεται με άλατα και κυρίως με NaCl, το οποίο προστίθεται ως βελτιωτικό γεύσης σε όλες σχεδόν τις τροφές και καταλήγει αναλλοίωτο στα λύματα. Αλλά και πολλές κατηγορίες βιομηχανιών επιβαρύνουν, με μεγάλες τιμές χλωριόντων, τα απόβλητά τους και στη συνέχεια τους φυσικούς αποδέκτες, στους οποίους καταλήγουν. Μεγάλη είναι επίσης και η επιβάρυνση από τις ποσότητες του NaCl που χρησιμοποιείται για την αποπάγωση των δρόμων. Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού (γλυφή γεύση, θολότητα), αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών, έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι προκαλούνται καρδιαγγειακά προβλήματα.

Επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/L και το ανώτατο 250 mg/L. Η απότομη αύξηση των χλωριούχων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση, η οποία πρέπει να επιβεβαιωθεί και με άλλες μετρήσεις (микροβιολογικές, αμμωνία, νιτρώδη).

Φθοριούχα (F⁻)

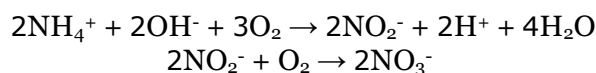
Το φθόριο υπάρχει στα νερά με τη μορφή φθοριούχων αλάτων, που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα και είναι διαβρωτικό και τοξικό. Προέρχεται από τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη :



Συνήθως βρίσκεται στα υπόγεια παρά στα επιφανειακά νερά. Δεν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή στη φύση, επειδή είναι πολύ δραστικό στοιχείο. Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Από έρευνες και επιδημιολογικές μελέτες διαπιστώθηκε ότι το φθόριο σε συγκέντρωση μέχρι 1 mg/L είναι ωφέλιμο, γιατί προλαμβάνει την τερηδόνα των δοντιών και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της αδαμαντίνης. Σε μεγαλύτερη συγκέντρωση όμως αποτίθεται στα δόντια, προκαλώντας κηλίδες και παραμόρφωση ή και βλάβες στα οστά. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμινίου, σε βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, στα λιπάσματα και στα κεραμικά.

Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) :

Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν την ανώτατη οξειδωτική βαθμίδα των ενώσεων του αζώτου, είναι θερμοδυναμικώς σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους στα ύδατα οφείλονται κυρίως σε βιοχημικές δράσεις αφού είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Η οξείδωση του ιόντος NH₄⁺ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:



Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξείδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερης διάρκειας. Μπορεί να προέρχονται από ζωικά περιττώματα, λιπάσματα ή ακόμη και από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, καθώς υπάρχουν και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή και να καταλήγουν στους φυσικούς αποδέκτες. Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμειξη με νερά άρδευσης από λιπαινόμενες γαίες.

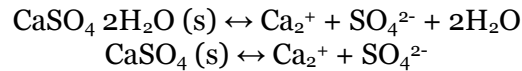
Τα πόσιμα νερά που περιέχουν νιτρικά ιόντα θεωρούνται επικίνδυνα για τον οργανισμό αφού μπορεί να προκαλέσουν την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη (NO₂⁻). Ανάγονται στον οργανισμό σε νιτρώδη και στη συνέχεια απορροφώνται από το αίμα και οξειδώνουν το σίδηρο της αιμογλοβίνης. Αυξημένες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τον κίνδυνο πρόκλησης στα βρέφη της νόσου της κυάνωσης, ενώ στο όξινο περιβάλλον του στομάχου των οργανισμών ενδέχεται να μετατραπούν σε νιτροζαμίνες οι οποίες είναι δυνητικά καρκινογόνες ουσίες.

Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που θα ενταθεί στο μέλλον από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Άμεσα απαιτείται ο έλεγχος και η ορθολογικοποίηση της γεωργίας με εφαρμογή των κανόνων ορθής

γεωργικής πρακτικής, καθώς και η προώθηση εναλλακτικών μορφών καλλιέργειας. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό σε 25 mg/L.

Θειικά ιόντα (SO₄⁻²) :

Κύρια προέλευση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θειικών λιπασμάτων τύπου (NH₄)₂SO₄, καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



Άλλη πιθανή πηγή είναι το νερό της βροχής. Επίσης το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στη βιομηχανία. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παρουσία σημαντικών ποσοτήτων θειούχων και θειικών στα παραγόμενα απόβλητα και στην περίπτωση που δεν λαμβάνει χώρα αποτελεσματική απομάκρυνσή τους, ρυπαίνουν τα φυσικά ύδατα στα οποία καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα. Τονίζεται ότι η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών ευνοεί τη μετατροπή από θειώδη σε θειικά, ενώ η ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών την αντίστροφη αντίδραση (μετατροπή θειικών προς θειώδη).

Ο έλεγχος των θειικών αλάτων στο πόσιμο νερό, έχει σημασία, γιατί έχει βρεθεί ότι μεγάλες περιεκτικότητες θειικών ιόντων έχουν καθαρτική δράση στον άνθρωπο. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό, είναι 250 mg/L. Περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 250 mg/L σε θειικά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση (προσδίδει γεύση) και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Παρουσία οργανικής ύλης τα SO₄²⁻ μπορεί να αναχθούν, κυρίως σε υδρόθειο (H₂S), το οποίο υδρόθειο έχει δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς νερού.

Φωσφορικά ιόντα (PO₄⁻) :

Ο φώσφορος απαντάται σε τρεις μορφές, τα ορθοφωσφορικά, τα συμπυκνωμένα φωσφορικά και τα φωσφορικά που είναι δεσμευμένα με οργανικές ενώσεις και εμφανίζεται στα φυσικά ύδατα και τα απόβλητα σε διάφορες ενώσεις. Βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με την τιμή του pH με διάφορες μορφές : H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻. Προέρχονται από τη διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων, τις βροχές, τη ρίψη κοπριάς, τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απορρυπαντικά και τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης, περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρημένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκκλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου. Καθορισμένες ποσότητες φωσφορικών είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων, σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις και σε συνδυασμό με την παρουσία νιτρικών προκαλείται το φαινόμενο του ευτροφισμού. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο των φωσφορικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 0,4 mg/L.

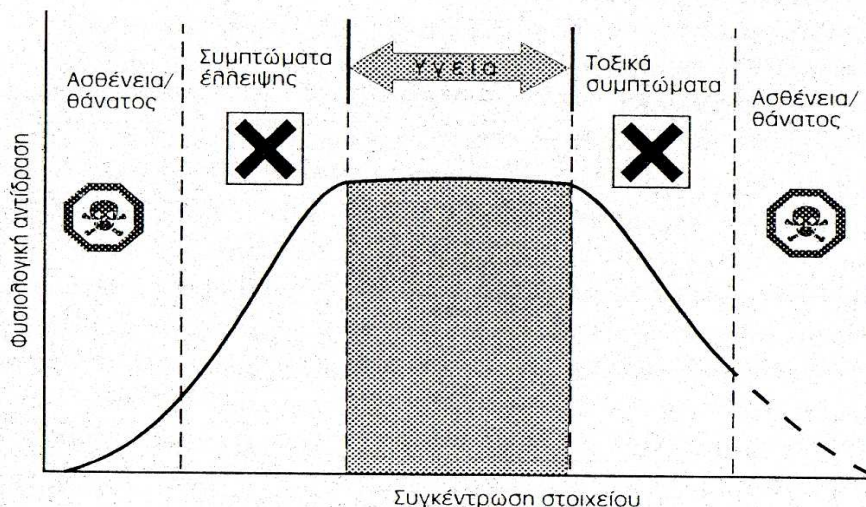
4.2.1.11 Ιχνοστοιχεία - Βαρέα μέταλλα

Τα ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Se, Ag κ.λ.π.) είναι απαραίτητα για όλα τα έμβια όντα, είναι όμως τοξικά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Το αργίλιο για παράδειγμα προκαλεί την ασθένεια Alzheimer ενώ ο άργυρος προκαλεί σε μεγάλες περιεκτικότητες αποχρωματισμό του δέρματος και των μαλλιών. Για τα μέταλλα (Ni, Co, Cr, Hg, Pb, Cd, As) δεν έχει διαπιστωθεί ευεργετική δράση, αντίθετα είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία γιατί προκαλούν σοβαρές βλάβες.

Σελήνιο (Se)

Τα ιχνοστοιχεία σε πολλές περιπτώσεις έχουν διπλή επίδραση. Όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι ουσιώδη και απαραίτητα (Μανουσάκης, 1992). Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται συμπτώματα με αποτέλεσμα την ασθένεια του ανθρώπου (Εικόνα 61). Το περισσότερο εντυπωσιακό παράδειγμα προς την κατεύθυνση αυτή αποτελεί το σελήνιο, του οποίου η απαραίτητη συγκέντρωση διαφέρει από την

αντίστοιχη τοξική μόνο κατά μια τάξη μεγέθους. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί σελήνωση, κατά την οποία έχουμε γαστρεντερικές διαταραχές, νευρικότητα, ψυχική κατάπτωση, ηπατικές και νεφρικές βλάβες, ενώ η στέρησή του προκαλεί συμπτώματα έλλειψης που εμφανίζονται με προβλήματα στο μυοκάρδιο που προκαλούν τελικά τον θάνατο.



Εικόνα 61: Η διπλή επίδραση των ιχνοστοιχείων (Tolq, 1989) [6]

Επομένως είναι λάθος οι αναφορές σήμερα για "τοξικά στοιχεία" όπως ο Hg, το Cd, ο Pb και το As, όταν αυτό που εννοούμε είναι η τοξική συγκέντρωσή τους. Η φοβία γύρω από τα ιχνοστοιχεία κάνει δύσκολη μια αντικειμενική προσέγγιση τόσο των ευεργετικών επιδράσεων, όσο και των κινδύνων που διατρέχει η υγεία μας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο Paracelsus αναγνώρισε πριν 460 χρόνια ότι «Όλες οι ουσίες είναι δηλητήρια, η δόση είναι μόνο αυτή που προσδιορίζει πότε δεν είναι δηλητήρια».

Σίδηρος (Fe) :

Ο σίδηρος συναντάται στα νερά με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξειδία (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, FeS₂), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης, FeCO₃). Υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Τα επιφανειακά νερά έχουν τον σίδηρο με την τρισθενή μορφή, ενώ αντίθετα μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Καλά οξυγονωμένα επιφανειακά νερά σε φυσιολογικές συνθήκες δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο. Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης ολικού σιδήρου είναι τα 20 µg/L και το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο τα 200 µg/L. Όταν η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 100 µg/L γίνεται ίζημα μετά από έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, προκαλώντας θολότητα και δημιουργώντας κηλίδες στα σκεύη. Σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 200 µg/L καθίσταται ακατάλληλο και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Προκαλεί προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια γιατί δημιουργούνται λεκέδες στα υφάσματα και στους αγωγούς διανομής νερού γιατί ευνοείται η ανάπτυξη βακτηρίων και δημιουργούνται αποθέσεις. Αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία και καρδιαγγειακές παθήσεις. Αντίθετα, η πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων σιδήρου προκαλεί βλάβη στους ιστούς εξαιτίας της συσσώρευσής του.

Χαλκός (Cu) :

Ο χαλκός σε μικρές ποσότητες διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον ανθρώπινο μεταβολισμό και ειδικότερα στην παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επίσης συμβάλλει στην απελευθέρωση του σιδήρου που βρίσκεται στους ιστούς, στην ανάπτυξη των οστών και στη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος. Η υπερβολική λήψη χαλκού από τον άνθρωπο εκδηλώνεται με ερεθισμό των βλεννογόνων, αγγειακά προβλήματα και ερεθισμό του νευρικού και γαστρεντερικού συστήματος. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων, σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο για 12 ώρες στις σωληνώσεις, η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί

τα 20 mg/l. Γι' αυτό το λόγο η υγειονομική διάταξη του 1986 αναφέρει δύο ενδεικτικά επίπεδα: στην έξοδο των εγκαταστάσεων και μετά από ηρεμία 12 ωρών στις σωληνώσεις. Ο χαλκός προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Τα άλατα του χαλκού είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά και χρησιμοποιούνται (κυρίως ο θεικός χαλκός CuSO_4) για να ανασταλεί η ανάπτυξη των φυκών. Κύριες πηγές χαλκού είναι τα απόβλητα που προέρχονται από τα επιμεταλλωτήρια, την ηλεκτρονική βιομηχανία και τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών καλωδίων.

Ψευδάργυρος (Zn) :

Σε μικρές ποσότητες αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την αποτελεσματική δράση ορισμένων ενζύμων στον οργανισμό του ανθρώπου και των ζώων. Η μέση ημερήσια κατανάλωση ψευδαργύρου μέσω των τροφών είναι της τάξης των 4 - 15 mg, ενώ ημερήσιες δόσεις μεγαλύτερες των 150 mg προκαλούν απορύθμιση στο μεταβολισμό του σιδήρου και του χαλκού στον ανθρώπινο οργανισμό, χωρίς όμως να έχει επιβεβαιωθεί η πρόκληση κάποιας μόνιμης βλάβης. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 mg/l προσδίδουν χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Πηγές ψευδαργύρου είναι τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες, επιμεταλλωτήρια καθώς και η διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων.

Μαγγάνιο (Mn) :

Δεν έχουν διαπιστωθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο. Θεωρείται από τα λιγότερο τοξικά στοιχεία για τον άνθρωπο. Η απορρόφησή του στον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό προκαλούν δυσάρεστη γεύση. Διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας και τη δημιουργία αποθέσεων και οσμών.

Αργίλιο (Al) :

Είναι σημαντικό στοιχείο γιατί χρησιμοποιείται ευρύτατα ως κροκιδωτικό (AgCl_3) στις εγκαταστάσεις παραγωγής πόσιμου νερού. Στις εγκαταστάσεις αυτές πρέπει να εξασφαλίζεται η μη υπέρβαση όχι μόνο των μέγιστων επιτρεπόμενων συγκεντρώσεων 200 $\mu\text{g/L}$ αλλά και των αυστηρότερων μέγιστων συνιστώμενων τιμών 50 $\mu\text{g/L}$. Έρευνες έχουν συνδέσει το αργίλιο με νευροπαθολογικές ασθένειες όπως η νόσος του Alzheimer.

Κοβάλτιο (Co) :

Το κοβάλτιο δρα συνεργιστικά με άλλα ιχνοστοιχεία προκαλώντας καρδιακές παθήσεις. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό συμβάλλει στην εμφάνιση της αρτηριοσκλήρωσης και της υπερλιποπρωτεϊναιμίας. Αναφέρεται και σαν καρκινογόνο.

Χρώμιο (Cr) :

Το χρώμιο (Cr) υπάρχει στη φύση συνήθως με τη μορφή του τρισθενούς κατιόντος (Cr^{+3}) το οποίο είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για το μεταβολισμό των σακχάρων και των λιπιδίων και συντελεί στην πρόληψη του διαβήτη και της αρτηριοσκλήρυνσης. Στο υδάτινο περιβάλλον όμως επικρατεί με την μορφή του εξασθενούς ιόντος (Cr^{+6}) το οποίο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο, αφού σε συγκεντρώσεις της τάξης των 10 mg/Kg βάρους προκαλεί νέκρωση ιστών και νεφρική ανεπάρκεια, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν ερεθισμό του γαστρικού και εντερικού βλεννογόνου. Τα άλατα του εξασθενούς χρωμίου είναι ευδιάλυτα ενώ αυτά του τρισθενούς είναι αδιάλυτα και καθιζάνουν.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στα νερά οφείλονται σε ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα. Το χρώμιο χρησιμοποιείται κυρίως στην μεταλλουργία ως συστατικό κραμάτων, ως προστατευτικό διάβρωσης μετάλλων και ως μέσο για την προστασία αντλιών και εναλλακτών θερμότητας, σε συντηρητικά ξυλείας και μη θερμαγωγά τούβλα.

Νικέλιο (Ni) :

Το νικέλιο περιέχεται σε απόβλητα επιμεταλλωτηρίων και γενικά βιομηχανιών κατεργασίας μετάλλων. Στον άνθρωπο μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές δερματίτιδες, άσθμα, νεφρικές βλάβες και έμφραγμα του μυοκαρδίου. Έρευνες έδειξαν ότι τα περισσότερα προβλήματα προκαλούνται από

παράγωγα του νικελίου όπως το οξειδίο του νικελίου και τα κρυσταλλικά του σύμπλοκα π.χ. Ni_3S_2 . Λόγω του γεγονότος ότι δεν έχει ακόμη καθορισθεί η σχέση μεταξύ της δόσης του μετάλλου αυτού και της αντίδρασης του ανθρώπινου οργανισμού, τα όρια έκθεσης στο νικέλιο είναι ιδιαίτερα αυστηρά.

Μόλυβδος (Pb) :

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο που χρησιμοποιείται ευρύτατα και είναι συνεπώς ευρέως διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Θεωρείται ένα από τα πιο τοξικά μέταλλα. Είναι δηλητήριο με συσσωρευτική δράση. Προκαλεί βλάβες στο ήπαρ, τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα. Η ρύπανση από μόλυβδο προέρχεται κυρίως από βιομηχανική και τεχνολογική χρήση. Χρησιμοποιείται στους συσσωρευτές, σαν προσθετικό (αντικροτικό) στην βενζίνη, στις χημικές βιομηχανίες, στα πυρομαχικά, σε επικαλωδιώσεις, στα χρώματα, κ.λ.π. Ο στοιχειακός μόλυβδος (Pb) δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα μέχρι τη στιγμή που διαλύεται και προκύπτει η ιονική του μορφή, δηλαδή δισθενή (Pb^{+2}) ή τετρασθενή ιόντα (Pb^{+4}) τα οποία είναι τοξικά και επικίνδυνα. Για τη διάλυση του στοιχειακού μολύβδου και τη δημιουργία ιόντων απαιτείται όξινο pH. Οι ενώσεις του δισθενούς ιόντος του μολύβδου είναι ιονικές και πάρα πολύ επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου ενώ, οι περισσότερες ενώσεις του τετρασθενούς μολύβδου είναι ομοιοπολικά μόρια παρά ιονικές ενώσεις του τύπου Pb^{+4} και ίσως λιγότερο επικίνδυνα. Οι σημαντικότερες ομοιοπολικές ενώσεις του μολύβδου είναι αυτές με την μεθυλομάδα $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ και την αιθυλομάδα $\text{Pb}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$ και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σαν πρόσθετα στη βενζίνη για την αύξηση του αριθμού των οκτανίων. Άλλες μορφές και πηγές μόλυνσης του περιβάλλοντος από το μόλυβδο είναι η χρήση διαφόρων εντομοκτόνων, που περιέχουν μόλυβδο, αλλά και διάφορες χρωστικές ουσίες οι οποίες επίσης περιέχουν μόλυβδο, γιατί δίνουν σταθερά και λαμπερά χρώματα. Οι επιπτώσεις του μολύβδου στην υγεία μελετήθηκαν πριν πολλά χρόνια, γιατί υπήρξαν δηλητηριάσεις από μόλυβδο στο πόσιμο νερό, που προήλθε από διάβρωση των μολύβδινων υδραυλικών εγκαταστάσεων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να εγκαταλειφθούν οι μολύβδিনি σωλήνες για το νερό και να απαγορευθεί η χρήση χρωμάτων με βάση το μόλυβδο.

Κάδμιο (Cd) :

Το κάδμιο είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα μέταλλα και χρησιμοποιείται στην κατασκευή συσσωρευτών, ξηρών μπαταριών, χρωμάτων και πλαστικών. Ο άνθρωπος λαμβάνει το κάδμιο μέσω της αναπνοής και της τροφής και ένα μέρος του αποβάλλεται αλλά η ημιπερίοδος ζωής του στον ανθρώπινο οργανισμό κυμαίνεται από 10 έως 30 έτη. Με υψηλές ποσότητες πρόσληψης, εναποτίθεται στο ήπαρ, τα νεφρά, το θυρεοειδή και άλλα όργανα προκαλώντας σοβαρές παθήσεις.

Υδράργυρος (Hg) :

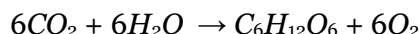
Ο υδράργυρος δημιουργεί σοβαρά έως και θανατηφόρα προβλήματα δηλητηριάσεων. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση του υδραργύρου στο πόσιμο νερό είναι 1 $\mu\text{g}/\text{L}$, αναφερόμενη στον ολικό υδράργυρο. Οι δηλητηριάσεις προέρχονται από τις ενώσεις του υδραργύρου στην αντίδρασή τους με ένα μεγάλο αριθμό ενζύμων. Έτσι σταματά ένας μεγάλος αριθμός ουσιοδών μεταβολικών διεργασιών. Η απορρόφηση των ανόργανων ενώσεων του υδραργύρου από τον οργανισμό ανέρχεται περίπου σε ποσοστό 15 % του προσλαμβανόμενου. Αντίθετα, η απορρόφηση του μεθυλιωμένου υδραργύρου, που είναι εξαιρετικά διαλυτός στο νερό, από το γαστρεντερικό σύστημα ανέρχεται στο 100 %. Οι μεθυλο-ενώσεις του υδραργύρου, που αποτελούν ένα ισχυρότατο δηλητήριο, μπορούν να διέρχονται μέσα από τις μεμβράνες των κυττάρων και έτσι συσσωρεύονται στον εγκέφαλο ή στα έμβρυα με απρόβλεπτες συνέπειες. Γενικά, όλες οι μορφές του υδραργύρου συσσωρεύονται στο συκώτι και τα νεφρά, τα οποία και προσβάλλουν. Οι δηλητηριάσεις από υδράργυρο προκαλούν την ασθένεια Minamata, ανίατη βλάβη στον εγκέφαλο, παθολογικές διαταραχές στα νεφρά, μεταβολές στο δείκτη νοημοσύνης, οπτικές διαταραχές και διαταραχές στο μεταβολισμό της χοληστερίνης. Οι ανόργανες ενώσεις του υδραργύρου θεωρούνται καρκινογόνες, οι αλκυλιωμένες ενώσεις του τοξικές στα έμβρυα, ενώ έχουν προκληθεί ακόμη και θάνατοι από μεθυλιωμένο υδράργυρο.

4.2.2 Βιοχημικά χαρακτηριστικά

4.2.2.1 Διαλυμένο οξυγόνο (DO και DO%)

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας του υδάτινου οικοσυστήματος. Η ανάπτυξη των περισσότερων

μορφών ζωής (ζωικών, φυτικών, μυκήτων, πρωτίστων και βακτηρίων) προϋποθέτει την παρουσία οξυγόνου. Όταν τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου βρίσκονται κάτω από 3 mg/l, προκαλούν στρες στους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, ενώ επίπεδα κάτω από 2 ή 1 mg/l δεν ευνοούν τη ζωή των ψαριών. Το μεγαλύτερο ποσοστό του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα και στο νερό, σχηματίστηκε στο πέρασμα των γεωλογικών αιώνων από τους αυτότροφους οργανισμούς μέσω της φωτοσύνθεσης :



Ο εμπλουτισμός των φυσικών νερών με οξυγόνο γίνεται είτε μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό είτε μέσω της φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου από τα ανώτερα υδρόβια φυτά και το φυτοπλαγκτόν. Το νερό, όπως όλοι οι διαλύτες, έχει την ιδιότητα να διαλύει ατμοσφαιρικά αέρια όπως άζωτο (N₂), οξυγόνο (O₂), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και αδρανή αέρια. Ενώ το CO₂ αντιδρά μερικώς με το νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), το οξυγόνο διαλύεται φυσικά στο νερό.

Η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται κυρίως από :

- την θερμοκρασία
- την αλατότητα και
- την ατμοσφαιρική πίεση

Όσο υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου σε μια υδάτινη μάζα. Αυτοί είναι το κλίμα - μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή, τα ρεύματα αέρα - κυματισμός, η ποσότητα της οργανικής ύλης η οποία αποσυντίθεται στο νερό, η παρουσία ή απουσία φωτοσυνθετικών αερόβιων οργανισμών, ο βαθμός της διείδυσης του φωτός που εξαρτάται από το βάθος, το σχήμα και μέγεθος της λεκάνης απορροής. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Καθώς η θερμοκρασία ενός διαλύματος αυξάνεται, το περιεχόμενο αέριο εκδιώκεται μέχρι να συμβεί πλήρης εξαέρωση του διαλύτη στο σημείο βρασμού. Σε σταθερή θερμοκρασία, η πίεση που ασκεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό. Συνεπώς, αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης αυξάνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντίστροφα.

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ αντίθετα μεγάλες περιεκτικότητες συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφορείς και ανανεώνονται συνεχώς.

Κατά την κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω κατανάλωσης στις οξειδωτικές διεργασίες που συντελούνται εκεί. Η μείωση του οξυγόνου με το βάθος είναι εκθετική και σπάνια περιέχεται διαλυμένο οξυγόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m από την υδροστατική επιφάνεια.

Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία στη χώρα μας, τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν διαλυμένο οξυγόνο με τιμή 75 % τουλάχιστον της τιμής κορεσμού και στα νερά κολύμβησης 80-120 %. Επίπεδα 5 ή 6 mg/l είναι συνήθως τα χαμηλότερα όρια για την ανάπτυξη και τις δραστηριότητες των υδρόβιων οργανισμών.

Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να γίνεται αμέσως. Διατήρηση δείγματος δεν είναι δυνατή. Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει, πάντα, να συνοδεύεται από την ταυτόχρονη μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος νερού ώστε να μπορεί να υπολογιστεί, στη συνέχεια, ο βαθμός κορεσμού του δείγματος στη συγκεκριμένη θερμοκρασία.

4.2.2.2 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Ως Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, γνωστό και ως BOD (αρχικά του Αγγλοσαξονικού όρου Biochemical Oxygen Demand), μπορεί να οριστεί η ποσότητα εκείνη του οξυγόνου που καταναλώνεται από μικροοργανισμούς (αερόβια μεσόφιλα βακτήρια) για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα νερού το οποίο επώάζεται σε σκοτεινό θάλαμο, σταθερής θερμοκρασίας 20 °C. Το BOD, εκφράζεται σε mg/L και συμβολίζεται ως BOD₅, όταν ο χρόνος επώασης του δείγματος είναι πέντε ημέρες. Ο προσδιορισμός του BOD χρησιμοποιείται ως μέτρο για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα σε φυσικούς αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια κτλ.) και τον έλεγχο του ρυπαντικού φορτίου που διαθέτουν τα λύματα και τα απόβλητα σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού.

Στα ανεπεξέργαστα λύματα, το BOD κυμαίνεται από 250 ως 350 mg/L ενώ σε ορισμένες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων π.χ απόβλητα γαλακτοβιομηχανίας, μπορεί να φθάσει ως 20.000 mg/L (όταν δεν γίνεται ανάκτηση του ορού του γάλατος). Σύμφωνα με τη νομοθεσία που ισχύει στη χώρα μας, τα απόβλητα που αποχετεύονται σε επιφανειακούς αποδέκτες (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα) πρέπει να έχουν BOD₅ μικρότερο από 40 mg/L, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις καθορίζονται ακόμα αυστηρότερα όρια.

4.2.2.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Με τον όρο COD (Chemical Oxygen Demand) εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης που υπάρχει στα νερά, σε CO₂ και H₂O. Το δείγμα χωνεύεται παρουσία οξειδωτικού μέσου. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇) σε όξινο περιβάλλον. Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θεικού αργύρου (Ag₂SO₄) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θεικό υδράργυρο (HgSO₄).

Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της, αφού ολοκληρώνεται σε 2 με 3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετράται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιον τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD₅, όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L COD. Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅ και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD / BOD₅ είναι 1,2 - 1,5. Σύμφωνα με τη νομοθεσία μας, τα απόβλητα που αποχετεύονται σε επιφανειακά ρέματα ή τη θάλασσα πρέπει να έχουν COD μικρότερο από 120 mg/L ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν καθοριστεί ακόμα αυστηρότερα όρια.

4.2.2.4 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon - TOC) εκφράζει την ολική φόρτιση των νερών με οργανικές ενώσεις. Οι τιμές TOC μας δίνουν πληροφορίες για το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα ανεξάρτητα από τις βαθμίδες οξείδωσής του. Έτσι οργανικές ενώσεις, οι οποίες δε συμμετέχουν στη διαμόρφωση των τιμών COD και BOD, γίνονται αντιληπτές μόνο με τις τιμές TOC. Με τον προσδιορισμό του TOC σε ένα δείγμα νερού ή αποβλήτου προσδιορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες άνθρακα :

- Η ποσότητα του άνθρακα που οφείλεται στις διαλυμένες οργανικές ενώσεις - DOC (Disolved Organic Carbon)
- Η ποσότητα του άνθρακα των οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στα αιωρούμενα σωματίδια NDOC (Non Disolved Organic Carbon) και
- Η ποσότητα του άνθρακα που προέρχεται από το διαλυμένο CO₂ και τα ιόντα HCO₃⁻ και CO₃⁻ δηλαδή τον ανόργανο άνθρακα IC (inorganic carbon).

Ο προσδιορισμός του TOC βασίζεται στη μετατροπή της ποσότητας του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) μετά την προεπεξεργασία του δείγματος σε ελαφρώς όξινες συνθήκες για να απομακρυνθεί ο ανόργανος άνθρακας. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg C / L νερού.

4.2.3 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Με τον όρο "μικροβιολογική εξέταση νερού" εννοείται ο εντοπισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός των μικροοργανισμών που περιέχονται σε ένα δείγμα νερού και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Η μικροβιολογική εξέταση του νερού συνήθως περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο και τα ζώα. Σκοπός της μικροβιολογικής εξέτασης του νερού, είναι η εξέταση του βαθμού μόλυνσης των υδάτων από λύματα ή κτηνοτροφικά απόβλητα και ο έλεγχος της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις όπως πόση, κολύμβηση, κτλ. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία και τεχνικές που σκοπό έχουν τον εντοπισμό της παρουσίας και προσδιορισμό της πυκνότητας μικροοργανισμών που είναι δείκτες κοπρικής μόλυνσης ή έχουν παθογόνο δυναμικό.

Από το πλήθος μικροοργανισμών που υπάρχουν στη φύση λίγοι είναι εκείνοι που είναι παθογόνοι και μπορούν να μεταδοθούν στον άνθρωπο από το νερό. Στους παθογόνους όμως μικροοργανισμούς, περιλαμβάνονται είδη που προκαλούν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο όπως ο

ύφος από *Salmonella typhosa*, η χολέρα από *Vibrio comma*, η δυσεντερία από *Entamoeba histolytica* κτλ. Σε μικροοργανισμούς οφείλονται και ιώσεις όπως η ηπατίτιδα, η πολυεμελίτιδα, καθώς και μυκητιάσεις όπως οι κολίτιδες, οι δερματίτιδες κτλ.

Τα βακτήρια είναι ομοταξία κατώτερων μικροοργανισμών. Είναι μονοκύτταρα και ζουν μεμονωμένα ή κοινοβιακά. Τα βακτήρια είναι πλατιά διαδομένα 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 - 30 min. 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.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και κατ' επέκταση στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, προέρχονται από απεκκρίσεις ανθρώπων ή ζώων που έχουν προσβληθεί από μολυσματική ασθένεια ή είναι φορείς αυτής. Η χρήση νερού μολυσμένου με παθογόνους μικροοργανισμούς για ύδρευση, άρδευση, κολύμβηση, οστρακοκαλλιέργεια προκαλεί μετάδοση ασθενειών που είναι δυνατό να πάρουν την έκταση της επιδημίας. Συνήθως με τα βακτήρια εκτιμάται η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης του νερού.

Ο μικροβιολογικός έλεγχος των υδάτων γίνεται με την καταμέτρηση δεικτών κοπρικής ρύπανσης, δηλαδή ομάδων μικροοργανισμών που η ανίχνευση τους στα νερά δείχνει την παρουσία στο νερό περιττωμάτων ή λυμάτων από ζώα ή τον άνθρωπο. Οι δείκτες αυτοί είναι αλλόχθονοι μικροοργανισμοί οι οποίοι περνούν παροδικά μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα, προερχόμενοι συνήθως από το γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των ζώων. Οι συχνότεροι χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι.

4.2.3.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms)

Στην ομάδα των κολοβακτηριοειδών περιλαμβάνονται όλα τα αερόβια και προαιρετικώς αναερόβια μη σπορογόνα Gram - αρνητικά βακτήρια, τα οποία ζυμώνουν τη λακτόζη με παραγωγή αερίου σε 48 ώρες στους 36 +/- 1 °C. Τα ολικά κολοβακτηριοειδή δεν προέρχονται μόνο από τα κόπρανα των ανθρώπων και ζώων αλλά και από το χώμα και τα φυτά και επόμενα μόνη η παρουσία τους, εφόσον δεν συνυπάρχουν και άλλες βακτηριολογικές παράμετροι στα αποτελέσματα μιας εξέτασης νερού, θα μπορούσε π.χ να υποσημαίνει ενδεχόμενη περιβαλλοντικής προέλευσης μόλυνση του νερού.

4.2.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Faecal coliforms)

Τα κολοβακτηριοειδή κοπράνων έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα ολικά κολοβακτηριοειδή αλλά μπορούν να πολλαπλασιαστούν στους 44,5 +/- 0,2 °C. Αντίθετα, επειδή έχουν προέλευση τον εντερικό σωλήνα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων, υποδεικνύουν μόλυνση κοπρανώδους προέλευσης του νερού και στην περίπτωση αυτή είναι βέβαια αυτονόητος ο κίνδυνος να υπάρχουν και παθογόνοι μικροοργανισμοί με τις όποιες συνέπειες. Το *Escherichia coli* το οποίο είναι πολύ κοινό, αφού «φιλοξενείται» στο έντερο των ανθρώπων και των ζώων, ανήκει στη φυσιολογική χλωρίδα του εντέρου και θεωρείται ο καλύτερος βιολογικός δείκτης για το πόσιμο νερά και την προστασία της δημόσιας υγείας. Σαν κολοβακτηρίδιο συνιστά ένα τυπικό μέλος της ομάδας αυτής των μικροοργανισμών (Enterobacteriaceae) και κατά συνέπεια η παρουσία έστω και ενός μικροβιακού κυττάρου σε 100 ml χλωριωμένου νερού είναι ενδεικτική μόλυνσης ή κακής απολύμανσής του. Τα περισσότερα στελέχη του βακτηρίου είναι αβλαβή, ωστόσο υπάρχουν και κάποια που παράγουν επικίνδυνες τοξίνες, ικανές να προκαλέσουν συμπτώματα όπως σοβαρές κράμπες στο στομάχι, αιμορραγική κολίτιδα και διάρροια.

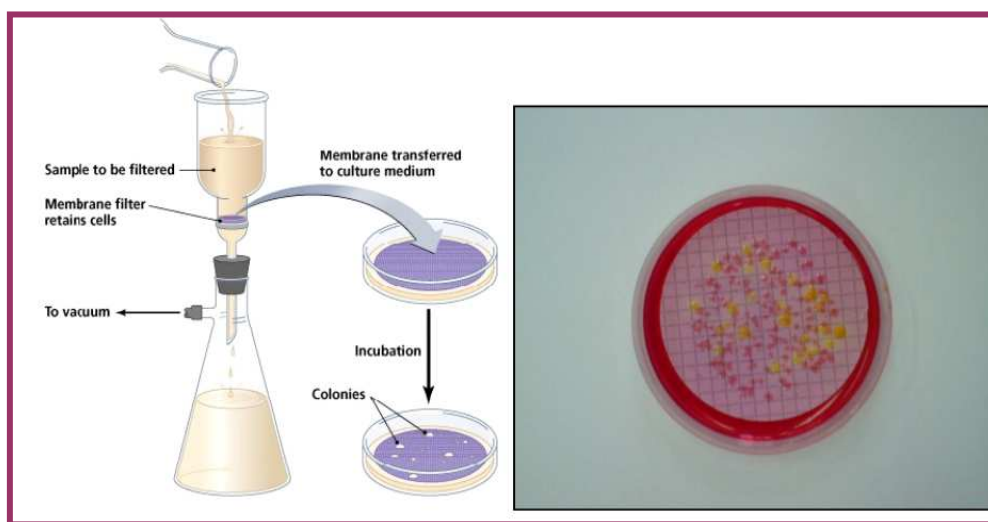
4.2.3.3 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Faecal streptococci)

Οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι είναι μια ομάδα μικροοργανισμών που αποτελείται από είδη που βρίσκονται στον εντερικό σωλήνα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων (ιπποειδή, βοοειδή, χοίρους, πουλικά κλπ) και η παρουσία τους στο νερό είναι σαφής ένδειξη κοπρικής μόλυνσης. Περιλαμβάνουν τα είδη *Streptococcus bovis*, *S. avium*, *S. gallinarum*, *S. equinus*, αλλά και τα είδη *S. faecium* & *S. faecalis*, που συναντώνται συχνότερα στον εντερικό σωλήνα του ανθρώπου. Οι στρεπτόκοκκοι κοπράνων που ανήκουν στα είδη, *S. gallinarum*, *S. equinus*, *S. faecium* και

S. faecalis συνιστούν μια υποομάδα που ονομάζεται εντερόκοκκοι. Στα ανθρώπινα κόπρανα ο αριθμός των εντερόκοκκων σπάνια είναι μεγαλύτερος από 10⁶/gr κοπράνων, ενώ στα περιττώματα των ζώων είναι συχνά περισσότερα των *E. coli*. Οι εντερόκοκκοι, με προέλευση από περιττώματα, σπάνια πολλαπλασιάζονται στο νερό και είναι πιο ανθεκτικοί στις μεταβολές του περιβάλλοντος τους και στην χλωρίωση από τα *E. coli* και τα κολοβακτηρίδια.

Από την σχέση των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων προς τα κολοβακτηριοειδή κοπράνων είναι δυνατόν να ληφθούν πολύτιμες πληροφορίες για την πηγή ρύπανσης. Επειδή όμως ορισμένοι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι προσβάλουν συγκεκριμένους ξενιστές, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ένας μόνο εντερικός δείκτης για τον έλεγχο της ρύπανσης του νερού αλλά τουλάχιστον δύο.

Μετά από μακρόχρονες εργαστηριακές έρευνες και δοκιμασίες έχουν καθοριστεί ανώτατα όρια της πληθυσμιακής πυκνότητας των ολικών κολοβακτηρίων, των κοπρικών κολοβακτηρίων και των κοπρικών στρεπτόκοκκων ως κριτήρια υγειονομικής ασφάλειας των υδάτων για διάφορες χρήσεις. Για τον έλεγχο ρουτίνας των αλλόχθονων μικροοργανισμών - δεικτών χρησιμοποιείται η μέθοδος της διήθησης δια μεμβράνης.



Εικόνα 62: Μικροβιολογική ανάλυση με τη μέθοδο των διηθητικών μεμβρανών [11]

Ο λόγος της συγκέντρωσης των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (FC) ως προς την συγκέντρωση των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων (FS) φανερώνει την πιθανή πηγή μόλυνσης. Έτσι έχουμε για διάφορες πηγές μόλυνσης τους λόγους που αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11).

Πίνακας 11: Λόγοι συγκέντρωσης FC προς FS [6]

FC/FS	Πηγές μόλυνσης
4,4	Άνθρωπος
0,6	Πάπια
0,4	Πρόβατο - κοτόπουλο - χοίρος
0,2	Αγελάδα

Λόγος μεγαλύτερος της τιμής 4,1 φανερώνει μόλυνση που προέρχεται από αστικά λύματα, ενώ λόγος μικρότερος του 0,7 φανερώνει μόλυνση ζωικής προέλευσης. Για την αποφυγή παρερμηνείας αυτού του λόγου πρέπει να λαμβάνονται οι παρακάτω προφυλάξεις :

- Μέτρηση του pH, διότι η πυκνότητα των στρεπτόκοκκων μπορεί να αλλοιωθεί σημαντικά σε τιμές μεγαλύτερες του 9 και μικρότερες του 4.
- Η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στη πηγή της μόλυνσης, αφού οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι έχουν μικρό χρόνο ζωής έξω από τον οργανισμό του ζώου.
- Ο λόγος FC/FS πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφύλαξη σε δείγματα θαλασσινού νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5. Αναφορά στη περιοχή μελέτης



Εικόνα 63: Αεροφωτογραφία της περιοχής μελέτης

Η **Χαλέπα** αποτελεί προάστιο της πόλης των Χανίων. Βρίσκεται στα ΒΑ της πόλης και εκτείνεται στα υψώματα που δεσπόζουν στον ισθμό, ο οποίος ενώνει την χερσόνησο του Ακρωτηρίου με την πεδιάδα των Χανίων. Αρχισε να οικίζεται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα και τις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού παρουσιάζει ανοδική τάση λόγω της αύξησης του ρυθμού δόμησης και της μετατροπής καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε οικόπεδα. Η αύξηση του πληθυσμού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των υδατικών αναγκών. Πολλές κατοικίες συντηρούν κήπους με λαχανικά και γκαζόν αυξάνοντας έτσι τις ανάγκες σε νερό. Παλιότερα, όλα σχεδόν τα σπίτια στη περιοχή της Χαλέπας είχαν το δικό τους πηγάδι - λόγω της πλούσιας υπόγειας υδροφορίας - και κάλυπταν έτσι μεγάλο μέρος των αναγκών τους σε νερό. Σήμερα ελάχιστα πηγάδια είναι ενεργά και το νερό που παρέχουν είναι κατάλληλο μόνο για άρδευση.

Παρά την αύξηση του δομημένου περιβάλλοντος οι καλλιεργούμενες εκτάσεις καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος της συνολικής έκτασης της περιοχής. Κύριες καλλιέργειες είναι τα κηπευτικά και οι δενδρώδεις καλλιέργειες, όπως τα ελαιόδενδρα.

Στο ΒΔ άκρο της παραλίας της Χαλέπας εκτείνεται η περιοχή **Ταμπακαριά**, γνωστή για την ύπαρξη και λειτουργία βυρσοδεφείων από τον 18^ο αιώνα. Τα Ταμπακαριά επλήχθησαν ως το ιδανικό μέρος για την κατεργασία των δερμάτων, πρώτον γιατί βρίσκονταν ταυτόχρονα μακριά αλλά και κοντά στα Χανιά και δεύτερον διότι η συγκεκριμένη τοποθεσία φιλοξενεί υπόγεια υφάλμυρα νερά δίπλα σε αβαθή θάλασσα, που ήταν χρήσιμη για το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των δερμάτων. Η πρώτη εγκατάσταση έγινε στο παραθαλάσσιο τμήμα της οδού Βιβιλάκη και μετά το 1920 επεκτάθηκε ανατολικότερα προς την Αγία Κυριακή. Σήμερα ελάχιστα βυρσοδεφεία είναι ακόμη ενεργά (μόλις 3), άλλα λειτουργούν ως αποθήκες, ανακαινισμένα ξενοδοχεία και ταβέρνες, αλλά τα περισσότερα είναι ερειπωμένα παρότι έχουν χαρακτηριστεί ως παραδοσιακός οικισμός.

5.1 Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής

Στο Ν. Χανίων αναπτύσσεται η οροσειρά των Λευκών Ορέων, που καλύπτει ολόκληρο σχεδόν το κεντρικό και νότιο τμήμα του καταλαμβάνοντας το 40 % της συνολικής έκτασης του νομού. Το

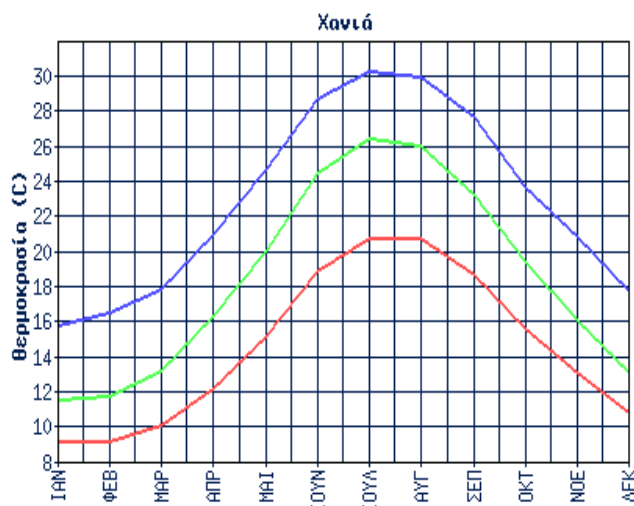
πεδινό τμήμα, που καλύπτει το 18,3 %, απλώνεται στη βόρεια παράκτια περιοχή. Ο ευρύτερος όγκος των Λευκών Ορέων είναι η πλέον ορεινή και άγονη περιοχή της Κρήτης με αβαθή, φτωχά, πετρώδη και με μεγάλες κλίσεις εδάφη. Χαρακτηριστικό του μορφοαναγλυφου είναι ότι έχει 110 βουνοκορφές από τις οποίες 6 υπερβαίνουν τα 2000 m. Τα Λευκά Όρη αποτελούν τον υδροσυλλέκτη του Ν. Χανίων και τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Το ύψος βροχής ξεπερνά τα 2300 mm στις υψηλές κορυφές και η τήξη του χιονιού καθυστερεί, με αποτέλεσμα στα μεγάλα υψόμετρα να υπάρχει χιόνι μέχρι και τον μήνα Μάιο. Τα νερά της βροχής και αυτά που προέρχονται από την τήξη του χιονιού, (πλήν της εξάτμισης) λόγω της έντονης καρστικοποίησης του γεωλογικού υπόβαθρου της περιοχής, διηθούνται υπόγεια και κινούνται και προς τις νότιες ακτές, όπου εμφανίζονται υπό μορφή υποθαλάσσιων πηγών και προς τις βόρειες ακτές, όπου εμφανίζονται υπό μορφή πηγών γλυκού νερού (Αγυιά, Κουρνά, Στύλος κ.α). Για τον λόγο αυτό η περιοχή των Λευκών Ορέων χαρακτηρίζεται ως ο υδροφορέας του Ν. Χανίων. Πράγματι στην περιοχή, λόγω του μεγάλου αριθμού δολινών κατά μήκος των ρεμάτων, δεν υπάρχει έντονη επιφανειακή απορροή των υδάτων. Αντιθέτως, η υπόγεια υδροφορία είναι πλούσια.

5.2 Κλιματολογικές συνθήκες

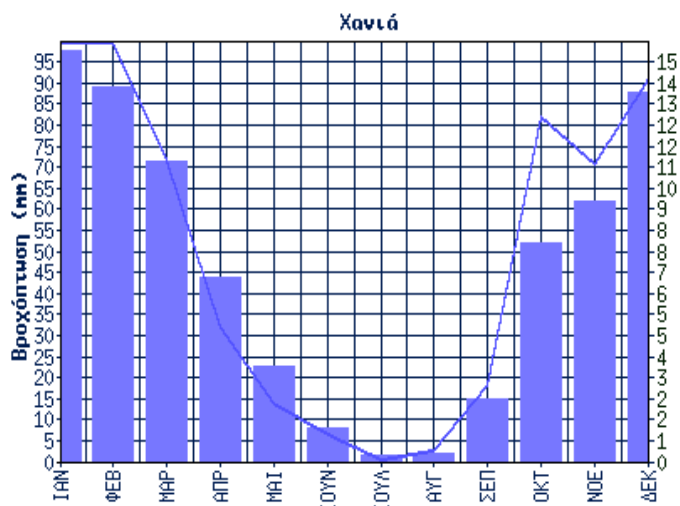
Η μορφολογία του εδάφους και η θέση της Κρήτης στο κέντρο της Μεσογείου έχουν άμεση απήχηση στο κλίμα του Ν. Χανίων, που χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό και ιδιαίτερα ξηροθερμικό, με την ηλιοφάνεια να καλύπτει το 70 % των ημερών του έτους. Ο Χειμώνας είναι ήπιος και ο καιρός από το Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο χαρακτηρίζεται κρύος όχι όμως παγερός. Κατά την διάρκεια του Χειμώνα επικρατούν πολλές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις στις περιοχές υψομέτρου μεγαλύτερου των 1000 m.

Τα Λευκά Όρη ασπρίζουν στις αρχές του Νοέμβρη από χιόνι, που διατηρείται μέχρι το τέλος του Μάη. Οι βροχοπτώσεις στο Ν. Χανίων είναι περισσότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, γιατί τα υγρά ρεύματα που προέρχονται από τα Ιόνιο αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Η Άνοιξη είναι μικρής διάρκειας, αρχίζει τον Απρίλιο και διαρκεί μέχρι τα μέσα του Μαΐου και είναι συνήθως ξηρή με μικρές βροχοπτώσεις. Το Καλοκαίρι είναι αρκετά ζεστό και ξηρό, ενώ οι ασθενείς άνεμοι μετριάζουν την αίσθηση της ζέστης. Το Φθινόπωρο είναι σχετικά υγρό και θερμό με ραγδαίες βροχές κατά τον Οκτώβριο και Νοέμβριο μήνα.

Ακολουθούν γραφήματα, στα οποία απεικονίζεται η διακύμανση α) της θερμοκρασίας και β) των βροχοπτώσεων, όπως καταγράφηκαν από τον Μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας (Γ.Π : 35 - 29 Ν, Γ.Μ : 024 - 07 Ε, Υψόμετρο : 146 m). Περίοδος δεδομένων 1958 - 97. [77]



α) Διακύμανση θερμοκρασίας (°C)



β) Διακύμανση ύψους βροχής (mm)

5.3 Υδατικό δυναμικό Ν. Χανίων

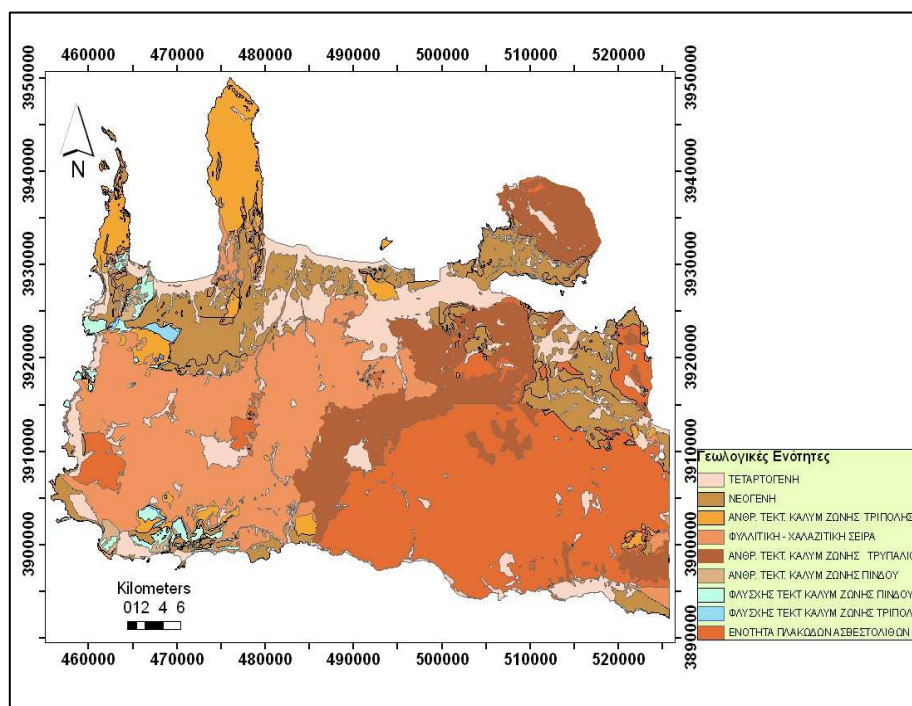
Ο Νομός Χανίων διαθέτει ένα σημαντικό υδατικό δυναμικό που οφείλεται τόσο στο μεγάλο ετήσιο ύψος βροχής του όσο και κυρίως στην ύπαρξη του σημαντικού ορεινού συγκροτήματος των Λευκών Ορέων, που δομούνται κατά κύριο λόγο από ανθρακικούς υδροπερατούς σχηματισμούς. Τα ανθρακικά πετρώματα των Λευκών Ορέων είναι έντονα τεκτονισμένα και καρστικοποιημένα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτει σ' αυτά να

κατεισδύει και στη συνέχεια να κινείται υπόγεια και να εμφανίζεται περιμετρικά σε πηγές γλυκού νερού, ενώ παράλληλα δημιουργεί σημαντικούς υπόγειους υδροφορείς.

Υπολογίζεται ότι στο Ν. Χανίων, μόνο στη Βόρεια παραλία, 600 εκατομμύρια m³ νερού κινούνται ετήσια επιφανειακά προς τη θάλασσα και άλλα 600 εκατομμύρια m³, αφού εισδύσουν στους περατούς γεωλογικούς σχηματισμούς των Λευκών Ορέων στη συνέχεια κινούνται υπόγεια με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα της βόρειας παραλίας. Ο Ν. Χανίων έχει το 65 % του συνολικού νερού της Κρήτης, για αυτό και υπάρχει πλούσια βλάστηση φυτών και καρποφόρων δέντρων (εσπεριδοειδή, ελιές, αμπέλια κ.α.). Παρά το παραπάνω σημαντικό διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, ο Νομός αντιμετωπίζει σε ορισμένες περιοχές του ελλείμματα μικρά ή μεγάλα, τόσο για τις σημερινές του ανάγκες, όσο και τις μελλοντικές, που οφείλονται στην έλλειψη των κατάλληλων ενιαίων έργων που θα το αξιοποιούν και θα αντιμετωπίζουν την άνιση κατανομή του στον χώρο και τον χρόνο.

5.4 Η Γεωλογική δομή του Ν. Χανίων

Η στρωματογραφία της υπό μελέτη περιοχής είναι η εξής (Εικόνα 64):



Εικόνα 64: Χάρτης γεωλογικών ενότητων νομού Χανίων [26]

Τεταρτογενή: Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες - λατύπες ποικίλης σύστασης αναλόγως της προέλευσης τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνισή τους γίνεται κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς τη θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.

Νεογενή: Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων-κιτρινόλευκων μάργων με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς - υφαλογενείς, ομοιομορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ένα-δύο μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμώδεις άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Τα κροκαλοπαγή - λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγυιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις, έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενότητων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική - Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστόλιθων και της Πίνδου.

Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης: Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση στον νομό Χανίων. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο να είναι απωθημένοι είτε στην ενότητα Ταλέα Όρη - Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, είτε στην ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης στην βάση τους έντονα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονισμού. Οι σχηματισμοί της ενότητας που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα συνίστανται από δολομίτες-δολομιτικούς ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και καρστικοποιημένους με σπηλαιώδη υφή. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό έως τεφρόλευκο. Στους σχηματισμούς της ενότητας των υψηλότερων στρωμάτων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι, που το χρώμα τους κυμαίνεται από μαύρο έως τεφρόμαυρο. Το πάχος των σχηματισμών είναι μέσο και συνήθως παρουσιάζουν μικρολατυποπαγή υφή. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το έντονο ανάγλυφο και το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο, που συμπίπτει με τεκτονικές ασυνέχειες. Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο καρστικής διάλυσης που εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μεγέθη και σχήματα. Το πάχος της ζώνης φθάνει τις λίγες εκατοντάδες μέτρα και η ηλικία της κυμαίνεται από το Άνω Τριαδικό έως και το Άνω Κρητιδικό.

Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά: Η ενότητα αυτή καταλαμβάνει σημαντική έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού Χανίων. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο τεκτονικό κάλυμμα είναι κυρίως μαρμαρυγικοί - ανθρακικοί ασβεστόλιθοι, σερικιτικοί - χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται εμφανίσεις χαλαζία σημαντικού πάχους υπό μορφή φλεβών, καθώς και ενστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών κατακερματισμένων ασβεστόλιθων με μικρό πάχος. Η ηλικία της ενότητας εκτείνεται μεταξύ Περμίου και Άνω Τριαδικού, ενώ το πάχος της μπορεί και να ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 1.500 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

Ανθρακικά τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρυπαλίου: Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής βρίσκονται απωθημένοι στην ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Το κάλυμμα Τρυπαλίου αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του απαντάται στην περιοχή του Ομαλού. Τα πετρώματα που εμφανίζονται σε αυτή την σειρά είναι μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Στην βάση του σχηματισμού εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές με σημαντικό πάχος. Στα κατώτερα πετρώματα της ενότητας επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες. Συνήθως, αυτό το κάλυμμα περιέχει λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις ή βολβούς κερατολίθων γεγονός που το καθιστά πετρογραφικά όμοιο με την ενότητα Ταλέα Όρη - Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος του καλύμματος φθάνει τα 400 μέτρα, ενώ η ηλικία του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού.

Φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Πίνδου και φλύσχης τεκτονικού καλύμματος ζώνης Τρίπολης: Κατά λέξη ο φλύσχης είναι ίζημα που ρέπει για ροή. Αποτελείται από χαλαρούς ψαμμίτες, σχιστές αργίλλους, μάργες και ασβεστόλιθους με ρυθμική ή κυκλική απόθεση. Παρουσιάζει κάποια σχιστότητα και μικρή συνοχή των κόκκων του, αν και έχει υποστεί τη διαγένεση. Αποτελεί τυπικό σχηματισμό του ανερχόμενου ή αναδυόμενου όρους, όταν οι σχηματισμοί του βρίσκονται στο στάδιο της πτύχωσης. Τα υλικά του φλύσχη προέρχονται από τα προϊόντα ολίσθησης του ανερχόμενου όρους και τις ποτάμιες προσχώσεις που εκβάλλουν στη θάλασσα. Χαρακτηρίζονται για την απουσία απολιθωμάτων και των τουρβιτικών τους χαρακτήρα. (Χατζηδημητριάδης, 2001)

Πλακώδεις ασβεστόλιθοι: Πρόκειται κυρίως για ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, που σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν υποστεί μεταμόρφωση και έχουν μετατραπεί σε μάρμαρα. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και ένα μέτρο. Στα 26 κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις, ενώ προς τα ανώτερα εξελίσσονται σε μεσοστρωματώδεις και στη συνέχεια σε λεπτοστρωματώδεις. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από τεφρό έως τεφρόμαυρο. Επίσης σημαντικό γεγονός αποτελεί η εμφάνιση πυριτικού υλικού είτε με την μορφή ενστρώσεων, είτε με την μορφή φακών. Η εμφάνιση του πυριτικού υλικού στα μεσαία μέλη του σχηματισμού είναι μεγάλη, σε αντιδιαστολή με τα υπόλοιπα μέλη όπου οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται αισθητά. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι περιορισμένη και ανομοιομορφη. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλουν οι πυριτικές παρεμβολές. Το πάχος της ενότητας φθάνει τα 1200 μέτρα και η ηλικία της προσδιορίζεται στο Μέσο Ιουρασικό - Ηώκαινο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

6.1 Βιοχημικές μέθοδοι ελέγχου δειγμάτων νερού

6.1.1 pH - θερμοκρασία

Ο προσδιορισμός του pH γίνεται ηλεκτρομετρικά με την χρήση ειδικού πολυόργανου (Εικόνα 65) το οποίο είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο ηλεκτρόδιο ειδικά για την μέτρηση του pH που το μετατρέπει αυτόματα σε pH-μετρο. Στο ηλεκτρόδιο υπάρχει επίσης και ενσωματωμένο θερμομότρο με το οποίο γίνεται ταυτόχρονη μέτρηση και της θερμοκρασίας του προς εξέταση δείγματος.



Εικόνα 65: pH-μετρο HACHsensionTM156

Αρχικά βγάζουμε το ειδικό ηλεκτρόδιο να βάλουμε σε ειδικό δοχείο που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα (KCl) για να μην αφυδατώνεται, το ξεπλένουμε καλά με απιονισμένο νερό και το σκουπίζουμε απαλά με απορροφητικό χαρτί. Μετά βυθίζουμε το ηλεκτρόδιο σε ποτήρι ζέσεως που περιέχει το δείγμα νερού που θέλουμε να εξετάσουμε σε ποσότητα τόση ώστε να καλύπτονται τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου. Αρχίζουμε να αναδεύουμε με τέτοιο ρυθμό, ώστε να μην επιτρέπεται η μεταφορά αέρα από την ατμόσφαιρα στο δείγμα (σπηλαιώση), καθώς επίσης και να εξασφαλίζεται αρκετή κίνηση του νερού ανάμεσα από τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου. Οι ικανοποιητικές συνθήκες ανάδευσης φαίνονται από τη σταθερότητα της ένδειξης του οργάνου. Έπειτα καταγράφουμε την ένδειξη του pH και της θερμοκρασίας του δείγματος

όταν αυτή "κλειδώσει". Τέλος ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό, το σκουπίζουμε μαλακά με απορροφητικό χαρτί και το ξανατοποθετούμε στο δοχείο με το ρυθμιστικό διάλυμα (KCL).

6.1.2 Αγωγιμότητα - TDS - Αλατότητα

Η μέτρηση της αγωγιμότητας, των διαλυμένων στερεών (TDS) και της αλατότητας γίνεται ηλεκτρομετρικά, με το ίδιο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιώντας όμως διαφορετικό ηλεκτρόδιο (Εικόνα 66) που το μετατρέπει σε αγωγιμόμετρο. Τα αγωγιμόμετρα μετρούν την αντίσταση του διαλύματος ή την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος με τη βοήθεια της γέφυρας *Wheatstone* που διαθέτουν. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αντίθεση με την αγωγιμότητα των μετάλλων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με ρυθμό περίπου 1,9 % / °C. Γι' αυτό η μέτρηση της αγωγιμότητας πρέπει πάντα να πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία η οποία πρέπει να αναγράφεται δίπλα στο αποτέλεσμα της μέτρησης. Για να μετρήσουμε ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό, το σκουπίζουμε απαλά με απορροφητικό χαρτί και το εμβαπτίζουμε στο προς εξέταση δείγμα, αναδεύοντάς το καλά μέχρι να "κλειδώσει" η ένδειξη στο όργανο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τα TDS και την αλατότητα εμφανίζονται πατώντας το ίδιο πλήκτρο δυο φορές.



Εικόνα 66: Αγωγιμόμετρο HACHsensionTM156

6.1.3 Θολερότητα

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θολερότητας είναι η νεφελομετρία, που ενδείκνυται για χαμηλές τιμές θολερότητας και μπορεί να προσδιοριστεί σε οποιοδήποτε δείγμα, αρκεί να μην περιέχει έγχρωμα συστατικά, φυσαλίδες αερίων και ευμεγέθη στερεά ή σωματίδια που καθιζάνουν γρήγορα. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτήν την μέθοδο γίνεται με ειδικά

όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα (Εικόνα 67) και βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας μέσα από ένα δείγμα νερού με την ένταση του φωτός που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο διάλυμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Το όργανο διαθέτει μια πηγή φωτός και ένα σύστημα ένδειξης της έντασης του διαχεόμενου φωτός σε γωνία 90° ως προς την προσπίπτουσα δέσμη όταν αυτή διέρχεται από το προς εξέταση δείγμα. Σημειώνεται ότι εάν ένα δείγμα περιέχει διαλυμένα υλικά που προσδίδουν χρώμα είναι ενδεχόμενο να προκαλείται απορρόφηση και μείωση της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός με επίπτωση στην τιμή της μετρούμενης θολότητας.

Η διαδικασία είναι η εξής :



Εικόνα 67: Θολερόμετρο Lovibond CR3210

Αρχικά, γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου, με πρότυπα διαλύματα που διατίθενται μαζί με το θολερόμετρο, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στη συνέχεια γεμίζουμε την γυάλινη κυψελίδα με ορισμένη ποσότητα από κάθε δείγμα τη φορά και αφού γίνει οπτική σύγκριση των δειγμάτων νερού με τα πρότυπα διαλύματα, την τοποθετούμε στον υποδοχέα του οργάνου. Έπειτα ρυθμίζουμε το θολερόμετρο πιέζοντας το πλήκτρο "MODE", όσες φορές χρειάζεται ώστε να καλύπτει το επιθυμητό εύρος τιμών και μετά πατάμε το πλήκτρο "ZERO TEST" για να πάρουμε την μέτρηση, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του θολερόμετρου.

Πρέπει να δίνεται προσοχή, κάθε φορά να είναι η κυψελίδα καθαρή, μη σκονισμένη, να ξεπλένεται πρώτα λίγες φορές με το δείγμα και έπειτα να γεμίζεται μέχρι τη χαραγή σιγά - σιγά, ώστε να ρέει κατά μήκος του τοιχώματος της κυψελίδας, αποτρέποντας έτσι την δημιουργία φυσαλίδων που μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα κατά την μέτρηση.

6.1.4 Διαλυμένο οξυγόνο (DO και DO%)

Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου (DO) γίνεται ηλεκτρομετρικά, με το ίδιο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας, με τη χρήση όμως διαφορετικού ηλεκτροδίου (Εικόνα 68) που το μετατρέπει αυτόματα σε οξυγονόμετρο. Η μέθοδος της μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου είναι ηλεκτροχημική μέθοδος και βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού διάχυσης του μοριακού οξυγόνου διαμέσου διαπερατής μεμβράνης. Αρχικά ρυθμίζουμε το όργανο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και συνδέουμε το ηλεκτρόδιο οξυγόνου 30 min πριν από την μέτρηση. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια το καταβυθίζουμε μέσα στο δείγμα νερού που θέλουμε να εξετάσουμε ανακινώντας το ελαφρά ώστε να ληφθεί η μέτρηση. Καταγράφουμε την ένδειξη DO και DO % μαζί με τη θερμοκρασία.



Εικόνα 68: Ηλεκτρόδιο μέτρησης οξυγόνου

6.1.5 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Ο προσδιορισμός του BOD γίνεται μανομετρικά, με την βοήθεια της ειδικής συσκευής μέτρησης BOD (Lovibond). Κατά την διαδικασία αυτή, μετριέται η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια σε διάστημα πέντε ημερών για την βιολογική οξειδωση των οργανικών κυρίως ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος νερού, που επωάζεται σε ειδικές φιάλες τοποθετημένες σε σκοτεινό θάλαμο επώασης σταθερής θερμοκρασίας 20 °C. Ο εξοπλισμός της συσκευής μέτρησης BOD (Εικόνα 69) αποτελείται από την κεφαλή - ψηφιακό αισθητήρα BOD Lovibond που απλά βιδώνει στη σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη στην οποία

μεταφέρεται το δείγμα. Η κατανάλωση του περιεχομένου οξυγόνου στο δοχείο κατά την διάσπαση του οργανικού φορτίου του δείγματος από τους μικροοργανισμούς, υπολογίζεται ως μεταβολή της πίεσης στο δοχείο και μετριέται μανομετρικά από την ψηφιακή κεφαλή, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα στην οθόνη της σε mg/l. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τα βακτήρια απομακρύνεται από το σύστημα με την προσθήκη διαλύματος NaOH (υδροξειδίου του Νατρίου) στην θήκη από καουτσούκ που τοποθετείται στο στόμιο της φιάλης. Αρχικά μεταφέρουμε σε μια κωνική φιάλη των 500 ml το δείγμα νερού που θέλουμε να εξετάσουμε. Προσθέτουμε μια μαγνητική ράβδο και τοποθετούμε την φιάλη στον αναδευτήρα ο οποίος τίθεται σε λειτουργία, ώστε να μετρήσουμε και να ρυθμίσουμε το pH στο επιθυμητό εύρος τιμών (6,5 - 7,5) με την χρήση του πεχάμετρου.



Εικόνα 69: Εξοπλισμός για την μέτρηση του BOD

Αν το pH έχει μεγαλύτερη τιμή από την επιθυμητή, τότε αυτό ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος HCl 0,1 N με σταγονόμετρο. Αν η τιμή του pH είναι μικρότερη τότε ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος NaOH 0,1 N. Αφού ολοκληρωθεί η ρύθμιση του pH, μεταγγίζουμε το δείγμα σε μια γυάλινη σφαιρική φιάλη χωρητικότητας 428 ml, γνωστή ως *υπερχειλιστής*, μέχρι να ξεχειλίσει. Με τη βοήθεια ενός χωνιού διήθησης αδειάζουμε μετά το περιεχόμενο δείγμα στην ειδική σκουρόχρωμη φιάλη, με μία απότομη κίνηση προς αποφυγή απωλειών. Έπειτα προσθέτουμε μια μαγνητική ράβδο ανάδευσης και τοποθετούμε στο στόμιο της σκουρόχρωμης φιάλης BOD την πλαστική θήκη από καουτσούκ, μέσα στην οποία προσθέτουμε 2 σταγόνες διαλύματος NaOH 45 %. Στη συνέχεια, οι φιάλες μεταφέρονται σε σκοτεινό θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας για 30 min χωρίς τις κεφαλές, όπου πραγματοποιείται συνεχής ανάδευση με την βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα. Μετά το πέρας της μισής ώρας, οι κεφαλές κλείνονται ερμητικά, διότι το σύστημα πρέπει να είναι εντελώς αεροστεγές και πατάμε ταυτόχρονα τα 2 κουμπάκια S και M για 2 sec, μέχρι να δείξουν την ένδειξη 00 στην οθόνη. Με αυτόν τον τρόπο σβήνονται οι αποθηκευμένες τιμές από προηγούμενες μετρήσεις. Οι φιάλες αφήνονται στον θάλαμο στους 20 °C όπου γίνεται συνεχής ανάδευση και το δείγμα επωάζεται για 5 ημέρες. Η κεφαλή με τον ψηφιακό αισθητήρα του BOD καταγράφει μια μέτρηση κάθε 24 ώρες, η οποία αποθηκεύεται αυτόματα στη μνήμη και πατώντας το κουμπί M για 1 sec εμφανίζεται η τιμή της τρέχουσας ημέρας. Μετά από 5 μέρες οι τιμές θα έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του αισθητήρα και πατώντας διαδοχικά το κουμπί S αυτές θα εμφανίζονται με χρονολογική σειρά.

6.1.6 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Ο προσδιορισμός του COD γίνεται με ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο, όπου χρησιμοποιείται έτοιμο kit μέτρησης (Cell Test MERCK 14560). Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην οξείδωση του δείγματος με ισχυρό οξειδωτικό (διάλυμα $K_2Cr_2O_7$), σε όξινο περιβάλλον (εξασφαλίζεται με πυκνό H_2SO_4) και υψηλή θερμοκρασία, παρουσία καταλύτη (Ag_2SO_4). Μετά από την χώνευση του μείγματος σε υψηλή θερμοκρασία για 2 ώρες, γίνεται προσδιορισμός της περιέσεως των διχρωμικών ιόντων με φωτομέτρηση στα 593 nm.

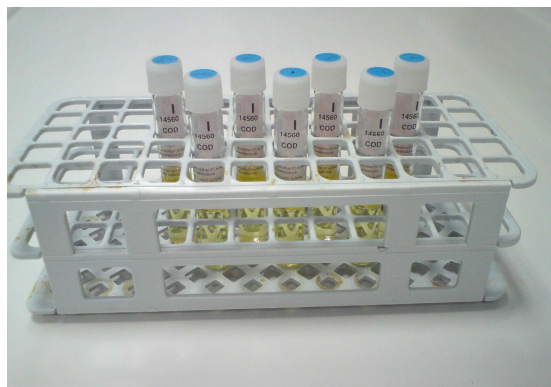
Η διαδικασία είναι η εξής :

Σε κάθε έτοιμο φιαλίδιο του kit-test που περιέχει ήδη μίγμα αντιδραστηρίων, προστίθενται προσεκτικά με σιφώνι 3 ml δείγματος νερού. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ανάδευσή τους

στον παλινδρομικό αναδευτήρα, γιατί τα αντιδραστήρια είναι ισχυρά οξειδωτικά και παράγεται θερμότητα. Στη συνέχεια, τα φιαλίδια τοποθετούνται στον θερμοαντιδραστήρα (Εικόνα 70) για 120 min (χρόνος χώνευσης) στους 148 °C (θερμοκρασία χώνευσης).



Εικόνα 70: Θερμοαντιδραστήρας



Εικόνα 71: Πλέγμα στήριξης με φιαλίδια COD

Αφού περάσουν τα 120 min, ο θερμοαντιδραστήρας με ηχητικό σήμα, μας ειδοποιεί ότι έχει περάσει ο απαιτούμενος χρόνος και τα φιαλίδια τοποθετούνται σε πλέγμα στήριξης (Εικόνα 71), όπου αφήνονται για 10 min περίπου, μέχρι να έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μετά τα φιαλίδια είναι έτοιμα για την μέτρηση του COD στο φωτόμετρο (Εικόνα 72).



Εικόνα 72: Φωτόμετρο MERCK Spectroquant® NOVA 60

Για να μετρήσουμε στο φωτόμετρο ανοίγουμε το καπάκι του, ώστε να τεθεί σε λειτουργία και να διεξάγει αυτόματα έναν αυτοέλεγχο (self-check) του συστήματος επιλέγοντας τον τρόπο μέτρησης concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη insert «Cell or start measurement». Τότε τοποθετείται το φιαλίδιο στον υποδοχέα των κυλινδρικών φιαλιδίων, έως ότου να «κουμπώσει». Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη «measuring» (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Προσοχή! Δείγματα νερού τα οποία περιέχουν $Cl > 2000 \text{ mg/L}$ θα πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό, ενώ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται πριν τη μέτρηση του COD, διότι διαφορετικά δίνουν σφάλματα. Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης τα φιαλίδια δεν πετάγονται, αλλά συλλέγονται για ειδική επεξεργασία, διότι περιέχουν διαβρωτικά και τοξικά συστατικά.

6.1.7 Σκληρότητα

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας γίνεται με ογκομέτρηση, η οποία βασίζεται στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από τη χημική ένωση E.D.T.A (Ethylene-Diamino-Tetraacetic Acid), σε αλκαλικό περιβάλλον ($pH = 10 \pm 0,1$), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος E.D.T.A.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Σε μια κωνική φιάλη των 250 ml μεταφέρονται 25 ml δείγματος νερού με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου. Μετά προστίθεται 1 ml διαλύματος αμμωνίας NH_3 (το pH γίνεται 10) με τη βοήθεια

σιφώνιου σε θάλαμο εξαερισμού και μία ταμπλέτα σκληρότητας με λαβίδα. Αφού διαλυθεί εντελώς η ταμπλέτα με τη βοήθεια της κυκλικής ανάδευσης του χεριού, το διάλυμα χρωματίζεται σκούρο βυσσινί και ξεκινάει η ογκομέτρηση του δείγματος με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01 M. Πρωτίστως, σημειώνεται η αρχική ένδειξη του διαλύματος στην προχοϊδα. Έπειτα, πραγματοποιώντας γρήγορη και έντονη ανάδευση, ογκομετρείται το διάλυμα, προσθέτοντας αργά σε σταγόνες το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A, έως ότου το δείγμα από βυσσινί πάρει ένα σκούρο πράσινο χρώμα.



Εικόνα 73: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της σκληρότητας

Σημειώνεται τότε η τελική τιμή της ποσότητας του E.D.T.A στην προχοϊδα. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα E.D.T.A που έχει καταναλωθεί. Η ολική σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\text{Σκληρότητα (mg CaCO}_3\text{)} = \frac{(V_1 * 1000)}{V_2}$$

όπου, V_1 : ml πρότυπου διαλύματος E.D.T.A 0,01 M που καταναλώθηκαν και V_2 : ml δείγματος νερού

6.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)

Ο προσδιορισμός των νιτρικών ιόντων γίνεται με φωτομέτρηση χρησιμοποιώντας το Spectroquant Nitrate Test (1097130001), kit - test της εταιρίας Merck. Μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,10 - 25,0 mg/l NO₃-N.

Η διαδικασία είναι η εξής :

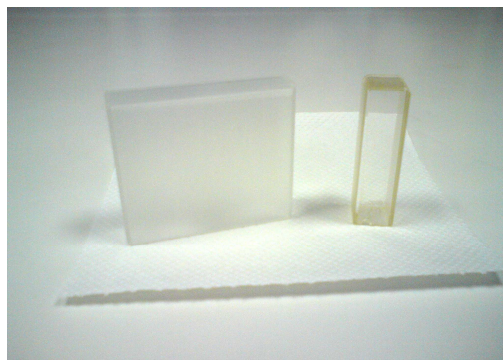
- Αν πρόκειται για γλυκό νερό, παίρνουμε 4 ml από το αντιδραστήριο NO₃ - 1 με σιφώνι και τα μεταφέρουμε σε ένα άδειο δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια με ένα άλλο σιφώνι προσθέτουμε 0,5 ml από το δείγμα, χωρίς να ακολουθήσει ανάδευση και μετά 0,5 ml από το αντιδραστήριο NO₃ - 2. Βάζουμε καπάκι στο δοκιμαστικό σωλήνα και αναμιγνύουμε σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Εικόνα 74). Σε αυτή τη φάση πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί, γιατί ο δοκιμαστικός σωλήνας θερμαίνεται καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη. Έπειτα αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 10 min. Μετά το πέρας του χρόνου μεταφέρουμε το διάλυμα σε ορθογώνια γυάλινη κυψελίδα των 10 mm (Εικόνα 75), την οποία βάζουμε στο φωτόμετρο και παίρνουμε την μέτρηση, αφού πρώτα έχουμε τοποθετήσει την κυψελίδα αναγνώρισης.

- Αν το δείγμα νερού προέρχεται από την θάλασσα, τότε χρησιμοποιούμε άλλο kit - test με διαφορετικά αντιδραστήρια, ειδικά για θαλάσσια δείγματα. Αρχικά παίρνουμε 5 ml από το αντιδραστήριο NO₃ - 1 και τα βάζουμε σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Από το δείγμα παίρνουμε 1 ml και το μεταφέρουμε προσεκτικά στο δοκιμαστικό σωλήνα, γιατί το διάλυμα ζεσταίνεται. Προσθέτουμε 1,5 ml από το αντιδραστήριο NO₃ - 2 προσεκτικά, γιατί το διάλυμα γίνεται καυτό και αναδευούμε πάνοντας τον δοκιμαστικό σωλήνα από το καπάκι. Αφήνουμε το ζεστό διάλυμα στο stand για 15 min (χρόνος αντίδρασης A). Από το αντιδραστήριο NO₃ - 3 προσθέτουμε δύο κουταλιές και ανακατεύουμε έντονα μέχρι να διαλυθεί πλήρως.

Αφήνουμε στο stand το δοκιμαστικό σωλήνα για 60 min (χρόνος αντίδρασης B). Γεμίζουμε την κυψελίδα των 10 mm με το διάλυμα και μετράμε στο φωτόμετρο, αφού πρώτα τοποθετήσουμε σε αυτό την κυψελίδα αναγνώρισης.



Εικόνα 74: Παλινδρομικός αναδευτήρας



Εικόνα 75: Κυψελίδες οπτικής διαδρομής 10 mm και 50 mm

6.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών ιόντων, χρησιμοποιείται το Ammonium reagent test MERCK 14752 (kit - test), μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,01 - 3,00 mg/L NH₄⁺- N και φωτομέτρηση.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Με ένα σιφώνι μεταφέρουμε 5 ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και προσθέτουμε 0,6 ml από το αντιδραστήριο NH₄ - 1. Αν το δείγμα νερού προέρχεται από τη θάλασσα, τότε προσθέτουμε και 0,1 ml NaOH 5 N. Ανακατεύουμε καλά στον αναδευτήρα και στη συνέχεια προσθέτουμε δυο κουταλιές από το αντιδραστήριο NH₄ - 2. Ακολουθεί ανάδευση μέχρι το αντιδραστήριο να διαλυθεί πλήρως και μετά ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται σε stand (πλέγμα στήριξης) σε ηρεμία για 5 min, για να πραγματοποιηθεί η χημική αντίδραση. Στη συνέχεια, προστίθενται οκτώ (8) σταγόνες από το αντιδραστήριο NH₄ - 3 και ακολουθεί πάλι ανάδευση. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για άλλα 5 min και ακολουθεί η μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60) χρησιμοποιώντας την κυψελίδα των 10 mm, αφού πρώτα όμως έχουμε τοποθετήσει στο φωτόμετρο την κυψελίδα αναγνώρισης.

6.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO₄)

Για τη μέτρηση των φωσφορικών ιόντων χρησιμοποιείται το Phosphate Reagent Test MERCK 14848 kit test. Μια ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με εύρος μέτρησης 0,01 - 5,00 mg/L PO₄-P.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Με ένα σιφώνι βάζουμε 5 ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέτουμε πέντε σταγόνες από το αντιδραστήριο PO₄ - 1 και αναδεύουμε στον αναδευτήρα. Στη συνέχεια προσθέτουμε μία κουταλιά από το αντιδραστήριο PO₄ - 2 και αναδεύουμε πάλι μέχρι να διαλυθεί πλήρως. Αφήνουμε το διάλυμα να ηρεμήσει για 5 min στο stand (χρόνος αντίδρασης) και μετά μεταφέρουμε το διάλυμα προσεκτικά στη κυψελίδα των 10 mm. Ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60) αφού προηγουμένως έχουμε βάλει την κυψελίδα αναγνώρισης.

6.1.11 Θειικά ιόντα (SO₄)

Για την μέτρηση των θειικών ιόντων χρησιμοποιείται η ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με το Sulfate Cell Test MERCK 14411 kit test της εταιρίας Merck. Το εύρος μέτρησης είναι 20 - 300 mg/L.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Με σιφώνι των 5 ml λαμβάνονται από το δείγμα νερού 2,5 ml και τοποθετούνται σε δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια, προστίθενται 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο $\text{SO}_4 - 1$ (κατακρημνίζει τα SO_2^-) και αφού αναδευτεί καλά με την βοήθεια του παλινδρομικού αναδευτήρα, προστίθεται 1 κουταλιά από το αντιδραστήριο $\text{SO}_4 - 2$ (ιωδικό βόριο που αντιδρά με τα θειικά που έχουν κατακρημνιστεί). Αναδεύουμε καλά και μετά βάζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα σε υδατόλουτρο (Εικόνα 76) σταθερής θερμοκρασίας 40 °C, όπου αφήνεται για 5 min για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.



Εικόνα 76: Υδατόλουτρο

Αφού περάσουν τα 5 min, προστίθενται 2,5 ml από το αντιδραστήριο $\text{SO}_4 - 3$ (αντιδρά με το αντιδραστήριο 2 προς σχηματισμό θειικού βορίου), αναδεύεται ξανά το μίγμα και έπειτα, φιλτράρεται όλο το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα με απλό ηθμό και μεταφέρεται σε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα. Στο φιλτραρισμένο δείγμα, πλέον, προστίθενται 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο $\text{SO}_4 - 4$ (χρωστική-τανίνη: δίνει ένα μελί χρώμα) και αναδεύεται. Τέλος, ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται για άλλα 7 min στο υδατόλουτρο και μετά το πέρας αυτού του χρόνου, μετράμε τα θειικά ιόντα χρησιμοποιώντας την κυψελίδα των 10 mm στο φωτόμετρο MERCK Spectroquant® NOVA 60 τοποθετώντας πρώτα την κυψελίδα αναγνώρισης. Σε περίπτωση που το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι κάτω από το κατώτερο όριο μέτρησης του οργάνου, για να μετρήσουμε χρησιμοποιούμε την κυψελίδα των 50 mm και διπλασιάζουμε όλες τις ποσότητες των αντιδραστηρίων.

6.1.12 Χλωριόντα (Cl^-)

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων γίνεται με την μέθοδο του νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου, και σαν δείκτης τελικού σημείου χρησιμοποιείται διάλυμα διχρωμικού καλίου.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Σε κωνική φιάλη των 250 ml τοποθετούνται 25 ml δείγματος νερού και στη συνέχεια με ένα σιφώνι προστίθεται 1 ml διχρωμικού καλίου (K_2CrO_4 2 %). Το διάλυμα χρωματίζεται κίτρινο. Έπειτα, το διάλυμα ογκομετρείται με διάλυμα AgNO_3 0,01 N μέχρι τελικού σημείου, όπου παρατηρείται αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε πορτοκαλί. Προτού ξεκινήσει η ογκομέτρηση, σημειώνεται η αρχική τιμή της ποσότητας του AgNO_3 στην προχοΐδα και μόλις γίνει η αλλαγή του χρώματος σημειώνεται και η τελική. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα AgNO_3 που καταναλώθηκε.

$$\text{Χλωριόντα (mg/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 35.450}{C}$$

Όπου, A = ml διαλύματος AgNO_3 που καταναλώθηκαν, B = ml διαλύματος AgNO_3 που καταναλώθηκαν για το λευκό, N = η κανονικότητα του διαλύματος AgNO_3 και C = ml δείγματος

Προσοχή ! Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε νερά και απόβλητα με συγκεντρώσεις χλωριόντων από 1,5 έως 100 mg/L Cl⁻. Το χρώμα και η θολερότητα, αν υπάρχουν, θα πρέπει να απομακρύνονται πριν τον προσδιορισμό των χλωριόντων. Επίσης, ο σίδηρος, σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 10 mg/L, παρεμποδίζει τη σωστή αναγνώριση αλλαγής του χρώματος του δείκτη στο τέλος της ογκομέτρησης.



Εικόνα 77: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των χλωριόντων

6.1.13 Ολικά στερεά

Ο προσδιορισμός των ολικών στερεών πραγματοποιείται έπειτα από εξάτμιση ορισμένης ποσότητας δείγματος, που έχουμε βάλει σε ένα ποτήρι ζέσεως, στο φούρνο ξήρανσης στους 105 °C. Η διαφορά του απόβαρου του ποτηριού ζέσεως από το μικτό βάρος του ποτηριού και του στερεού υπολείμματος, μας δίνουν το βάρος του στερεού υπολείμματος.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Τοποθετούμε ένα ποτήρι ζέσεως στον φούρνο ξήρανσης στους 105 °C για περίπου μια ώρα, προκειμένου να εξατμιστεί η πιθανή υγρασία που μπορεί να έχει το ποτήρι. Στην συνέχεια τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στον ξηραντήρα (Εικόνα 78) στον οποίο υπάρχει silica gel (το μπλέ χρώμα δεικνύει την καλή κατάσταση), έως ότου φτάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έπειτα ζυγίζουμε το ποτήρι ζέσεως στον αναλυτικό ζυγό (Εικόνα 79) και καταγράφουμε το αρχικό βάρος (W_{π}).



Εικόνα 78: Ξηραντήρας



Εικόνα 79: Αναλυτικός ζυγός

Μετά προσθέτουμε 100 ml δείγματος στο προ-ζυγισμένο ποτήρι και το τοποθετούμε στο φούρνο ξήρανσης στους 105 °C για 24 ώρες, έως ότου το περιεχόμενό του να εξατμιστεί και να μείνει το στερεό υπόλειμμα (ίζημα) στον πυθμένα. Αφού περάσουν 24 ώρες, τοποθετούμε το ποτήρι ζέσεως στον ξηραντήρα και το αφήνουμε 15 min, ώστε να αποκτήσει την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος ζυγίζουμε εκ νέου το ποτήρι και καταγράφουμε το βάρος του μετά την ξήρανση (W_{μ}). Το βάρος των ολικών στερεών δίνεται, τελικά, από τη διαφορά των δυο ζυγίσεων, δηλαδή: $W_{TS} = W_{\mu} - W_{\pi}$

6.1.14 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K-Na-Ca

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων ασβεστίου (Ca), νατρίου (Na) και καλίου (K) χρησιμοποιείται η φλογοφωτομετρική μέθοδος και μάλιστα με την χρήση των φασμάτων εκπομπής σε φλόγα, με όργανο το φλογοφωτόμετρο (Εικόνα 80).

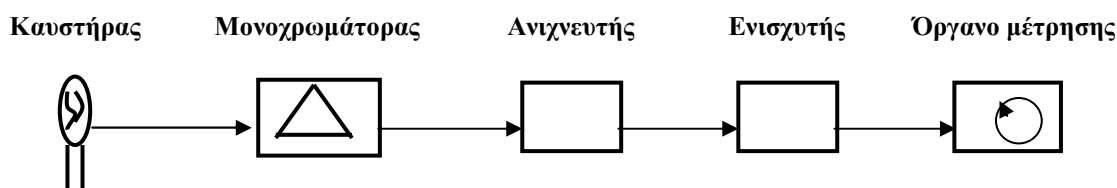
Η διαδικασία είναι η εξής :

Αρχικά συνδέουμε την αντλία και ανοίγουμε την βαλβίδα της φιάλης προπανίου, η οποία είναι συνδεδεμένη με το φλογοφωτόμετρο, ώστε να τροφοδοτήσει με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου το όργανο και πατώντας έναν ειδικό διακόπτη που υπάρχει επάνω στο φλογοφωτόμετρο δημιουργείται η φλόγα. Αφήνεται το όργανο για 30 min, ώστε να σταθεροποιηθεί η φλόγα και έπειτα πραγματοποιείται η βαθμονόμησή του. Η διαδικασία της βαθμονόμησης του οργάνου στηρίζεται στην αρχή του ψεκασμού της φλόγας του οργάνου (η οποία έχει μπλε χρώμα), διαμέσου ενός σωλήνα πάρα πολύ μικρής διαμέτρου, με τα πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων των στοιχείων που επιθυμείται να μετρηθούν. Η φλόγα με αυτόν τον τρόπο, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για κάθε ένωση και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης, η οποία μπαίνει στη φλόγα, διασπώνται σε άτομα.



Εικόνα 80: Φλογοφωτόμετρο (Sherwood flame Photometer 410)

Τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερση τους παρατηρείται εκπομπή ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται (δηλαδή το χρώμα της φλόγας) εξαρτάται από τη φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας. Κάθε στοιχείο έχει διαφορετικά ενεργειακά πεδία, γιατί το καθένα από αυτά έχει διαφορετικό φορτίο, πυρήνα και αριθμό ηλεκτρονίων. Έτσι τα μήκη κύματος που εκπέμπουν είναι διαφορετικά και η μέτρησή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των στοιχείων αυτών. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με τη χρήση κατάλληλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φωτοανιχνευτή. Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα. Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στα φλογοφωτόμετρα αποτελείται από φίλτρα απορρόφησης και ως φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοστοιχεία. Ένα φλογοφωτόμετρο είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να παράγει φλόγες τόσων θερμοκρασιών έτσι ώστε να διεγείρονται όσο δυνατόν περισσότερα στοιχεία, να μπορούν να προσδιοριστούν τα μήκη κύματος και να είναι μετρήσιμη η έντασή τους. Μα τα σημερινά όργανα μπορούν να μετρηθούν 60-70 στοιχεία.



Από έναν διακόπτη, ο οποίος βρίσκεται στο πάνω μέρος του φλογοφωτόμετρου, επιλέγεται το στοιχείο που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση (Ca_2^+ , Na^+ ή K^+). Έπειτα, από μια ροδέλα ρυθμίζεται το εύρος των τιμών της ουσίας που πρόκειται να μετρηθεί και σταθεροποιείται η τιμή μηδέν με τη

χρήση υπερκάθαρου νερού σε ποτηράκι ζέσεως (τυφλό διάλυμα), το οποίο τοποθετείται στην ειδική εσοχή του φλογοφωτόμετρου. Το ειδικό σωληνάκι της συσκευής εμποτίζεται μέσα στο υπερκάθαρο νερό και έτσι «ρουφάει» μια επαρκή ποσότητα νερού (περίπου 3 - 6 ml/min), η οποία ψεκάζει τη φλόγα του οργάνου. Η φλόγα με τη σειρά της, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για το υπερκάθαρο νερό (εδώ απλά γίνεται πιο έντονη μπλε). Με τον ίδιο τρόπο συνεχίζεται η βαθμονόμηση, χρησιμοποιώντας τα πρότυπα διαλύματα του Ca^{+2} διαφορετικών συγκεντρώσεων και καταγράφονται οι ενδείξεις του οργάνου για καθένα από αυτά.

6.1.15 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων - βαρέων μετάλλων

Ο προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων, τα οποία βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε δείγματα νερού, γίνεται με την μέθοδο της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης (ΦΑΑ).

Αρχή της μεθόδου :

Κατά την μέθοδο αυτή, ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος εκπέμπεται από μία πηγή και διανύει μία απόσταση ορισμένου μήκους μέσα από φλόγα. Στην φλόγα εισάγεται με ψεκασμό ένα διάλυμα του δείγματος, εξατμίζεται ο διαλύτης αφήνοντας λεπτά σωματίδια άλατος να αιωρούνται στην φλόγα, τα σωματίδια αεριοποιούνται και μέρος ή όλος ο παραγόμενος ατμός ατομοποιείται, δηλαδή διίσταται σε άτομα. Αυτά τα ελεύθερα ουδέτερα άτομα του στοιχείου βρίσκονται σε θεμελιώδη κατάσταση και απορροφούν ένα μέρος της ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από την φλόγα.



Εικόνα 81: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης

Η **Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης** βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου γίνεται είτε με φλόγα είτε με ηλεκτρικά θερμαινόμενο κλίβανο (φούρνο γραφίτη). Η διέγερση των ατόμων γίνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από μία εξωτερική πηγή και διαβιβάζεται μέσα από το νέφος των ατόμων. Η μέτρηση της απορρόφησης της ακτινοβολίας γίνεται με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Εικόνα 81) και η μετατροπή της σε συγκέντρωση με την βοήθεια καμπύλης αναφοράς. Η απορρόφηση (A) περιγράφεται από τον νόμο του Beer, που την συνδέει με την συγκέντρωση (C) του προσδιοριζόμενου στοιχείου στο διάλυμα που ψεκάζεται στη φλόγα, σύμφωνα με την σχέση:

$$A = \text{σταθερή } C = \epsilon \times C \quad (1)$$

όπου, ϵ : είναι η μοριακή απορροφητικότητα ή μοριακός συντελεστής απόσβεσης ($\text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) και x : το μήκος του καυστήρα (cm).

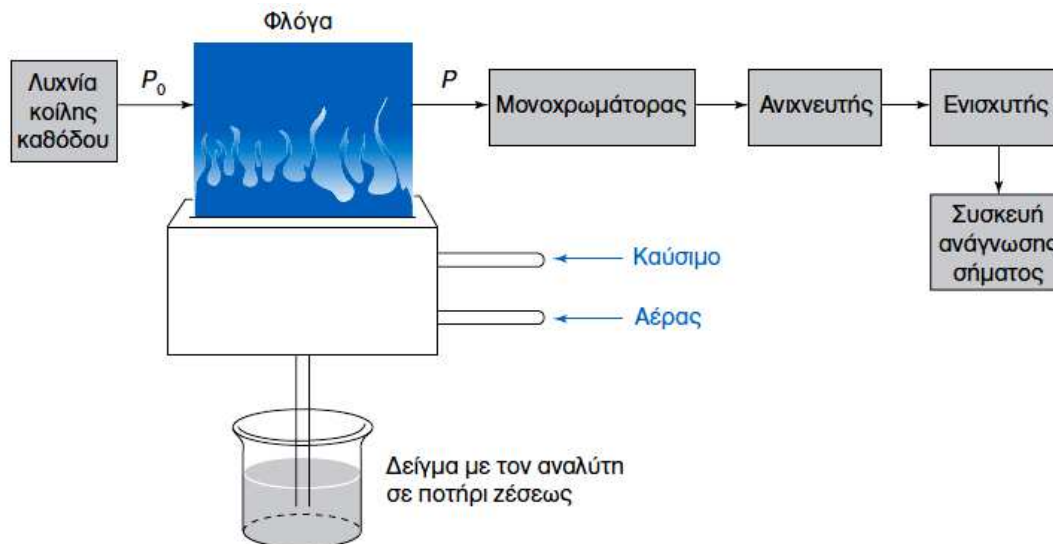
Η ενέργεια που παρέχεται αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση. Η θερμοκρασία της φλόγας πρέπει να διατηρείται κατά το δυνατό χαμηλή σε τέτοιο επίπεδο, ώστε η ενέργεια της φλόγας να επαρκεί για την ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου.

Στην ΦΑΑ ενδιαφέρει ο αριθμός των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των ατόμων μέσα στη φλόγα. Στην τεχνική αυτή ο νόμος του Beer διατυπώνεται με την σχέση :

$$A = \log(P_0/P) = 0.434 k_v L = \lambda_1 N_0 L = \lambda_2 C \quad (2)$$

όπου, A = απορρόφηση, P_0 = η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατόμων, P = η ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας, μετά την διόδο από το νέφος, k_v = συντελεστής ατομικής απορρόφησης, ο οποίος είναι ανάλογος προς τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν την ακτινοβολία συχνότητας ν , άρα και της συγκέντρωσης του διαλύματος, λ_1, λ_2 = σταθερές αναλογίας που σχετίζονται με τον συντελεστή ατομικής απορρόφησης και εξαρτώνται από τις πειραματικές συνθήκες, L = το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε μέσα στο νέφος των ατόμων, N_0 = ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση ανά μονάδα όγκου του νέφους, C = η συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου στο εισαγόμενο διάλυμα.

Επειδή τελικά $A = f(C) = \lambda C$, η χρήση της εξίσωσης στην ανάλυση γίνεται με σχετικές μετρήσεις, με την βοήθεια καμπύλης αναφοράς. Για την δημιουργία καμπύλης αναφοράς μετρείται η απορρόφηση σειράς πρότυπων διαλυμάτων του προσδιοριζόμενου στοιχείου, της ίδιας κατά το δυνατόν συστάσεως προς τα δείγματα και κατασκευάζεται καμπύλη αναφοράς A , ως συνάρτηση της C , είτε γραφικά είτε υπολογιστικά με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και απ' αυτή υπολογίζεται η συγκέντρωση του στοιχείου στα άγνωστα διαλύματα, με βάση τις αντίστοιχες απορροφήσεις. Αν και η αρχή λειτουργίας τους μοιάζει αρκετά, η ΦΑΑ είναι πολύ πιο ευαίσθητη συγκριτικά με την φλογοφωτομετρία εκπομπής. Αυτό, επειδή στη πρώτη, η ακτινοβολία απορροφάται από τα μη διεγερμένα άτομα και στη φλόγα τα μη διεγερμένα άτομα είναι κατά πολύ λιγότερα από τα διεγερμένα άτομα σε κάθε χρονική φάση. Ακόμη επειδή κάθε άτομο απορροφά κάποια χαρακτηριστική ακτινοβολία και αυτήν ακριβώς παρέχει η πηγή, που σημαίνει ότι η τυχόν παρουσία άλλων ατόμων δεν θα επηρεάζει την απορρόφηση. Έτσι η ΦΑΑ είναι απαλλαγμένη παρεμποδίσεων για τον προσδιορισμό των διαφόρων μετάλλων.



Εικόνα 82: Πείραμα ατομικής απορρόφησης. Το P_0 είναι η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει στον ανιχνευτή όταν δεν πηγαίνει δείγμα στην φλόγα και P είναι η μετρούμενη ένταση της ακτινοβολίας όταν υπάρχει δείγμα

Σε ένα όργανο ΦΑΑ διακρίνονται 4 βασικά τμήματα (Εικόνα 82) :

- Διάταξη για την παραγωγή μονοχρωματικής δέσμης φωτός, χαρακτηριστικής για κάθε μέταλλο. Αυτό μπορεί να γίνει με μια καθοδική λυχνία.
- Διάταξη ατομοποίησης του μετάλλου με φλόγα ή με φούρνο γραφίτη
- Διάταξη μέτρησης της έντασης της διερχόμενης δέσμης φωτός με παρεμβολή ενός μονοχρωμάτορα και
- Διάταξη ενισχύσεως του σήματος και καταγραφή

6.1.16 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου

Ο προσδιορισμός του μικροβιολογικού φορτίου πραγματοποιείται με τη μέθοδο των μεμβρανών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κατακράτηση σε μεμβράνη - φίλτρο όλων των μικροοργανισμών, με μέγεθος μεγαλύτερο των 0,45 μm (διάμετρος πόρου της μεμβράνης - φίλτρου), που περιέχονται στο διηθούμενο δείγμα και ανάπτυξη των μικροοργανισμών (βακτηρίων) σε αποικίες, με την χρησιμοποίηση εκλεκτικού υποστρώματος και την επώασή τους σε κατάλληλη θερμοκρασία.

Ο προσδιορισμός γίνεται με απευθείας καταμέτρηση των αναπτυσσόμενων (σε περίπτωση θετικού αποτελέσματος) αποικιών στη μεμβράνη και αναγωγή του αριθμού τους στον όγκο του δείγματος που διηθήθηκε.

Η διαδικασία είναι η εξής :

Με αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εμβαπτίζεται σε οινόπνευμα και μετά καίγεται), τοποθετείται ένα αποστειρωμένο φίλτρο κυτταρίνης (Whatman) πάνω στην πορώδη επιφάνεια της βάσης ενός μαγνητικού φίλτρου (Gelman), το οποίο εφαρμόζεται στην υποδοχή μιας κωνικής φιάλης Büchner (Εικόνα 83).



Φίλτρα κυτταρίνης με μέγεθος πόρων 0,45 μm (Whatman)



Εικόνα 83: Αντλία κενού (Buchi Vac® V-500) και μαγνητική χοάνη διήθησης

Στη συνέχεια, η χοάνη διήθησης προσαρμόζεται μαγνητικά πάνω στη βάση με το φίλτρο και μεταφέρονται σε αυτό 100 ml δείγματος νερού (αραιωμένα ή μη ανάλογα με το δείγμα) με αποστειρωμένο ογκομετρικό κύλινδρο. Μετά συνδέεται η αντλία κενού αέρος και τίθεται σε λειτουργία. Αφού περάσει όλο το δείγμα από το φίλτρο, διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας, απομακρύνεται η χοάνη και έπειτα από νέα αποστείρωση της λαβίδας, το φίλτρο μεταφέρεται και εφαρμόζεται προσεκτικά επάνω στο ανάλογο θρεπτικό υπόστρωμα ενός τριβλίου Petri διαμέτρου 50 mm. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή, ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας μεταξύ του θρεπτικού υποστρώματος και του φίλτρου. Πάντα, κάτω από κάθε τριβλίο, αναγράφουμε το όνομα της περιοχής που συλλέχθηκε το δείγμα, την αραιώση που έχει γίνει (αν έχει χρειαστεί να κάνουμε) και τον μικροβιολογικό δείκτη που εξετάζουμε κάθε φορά. Τέλος, τα τριβλία μεταφέρονται και επωάζονται σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας.

Τα τριβλία των ολικών κολοβακτηρίων (Total Coliforms) τοποθετούνται στο φούρνο επώασης για 24 ώρες στους 37 °C ενώ τα τριβλία των κοπρανωδών κολοβακτηρίων (Faecal coliforms - *Escherichia coli*) για 24 ώρες στους 44 °C. Προτείνεται, πριν από την επώαση στους 44 °C να γίνεται επώαση για 4 ώρες στους 37 °C. Τα τριβλία των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων (Faecal Streptococci - *Enterococcus*) τοποθετούνται για 48 ώρες στους 44 °C.

Το τελικό στάδιο αυτής της πειραματικής διαδικασίας είναι η καταμέτρηση των αποικιών, που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια του φίλτρου κυτταρίνης μετά την επώαση, και η διεξαγωγή συμπερασμάτων. Τα ολικά κολοβακτήρια καθώς και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (*Escherichia coli*) δημιουργούν αποικίες κίτρινου χρώματος, ενώ οι εντερόκοκκοι αποικίες σκούρου κόκκινου χρώματος (Εικόνες 84, 85, 89). Οπότε μετράμε μόνο τις αποικίες με το χρώμα που μας ενδιαφέρει κάθε φορά και το οποίο είναι χαρακτηριστικό για κάθε μικροβιακό δείκτη.

Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αριθμό αποικιών ανά 100 ml (ποσότητα δείγματος που διηθούνταν κάθε φορά). Η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής :

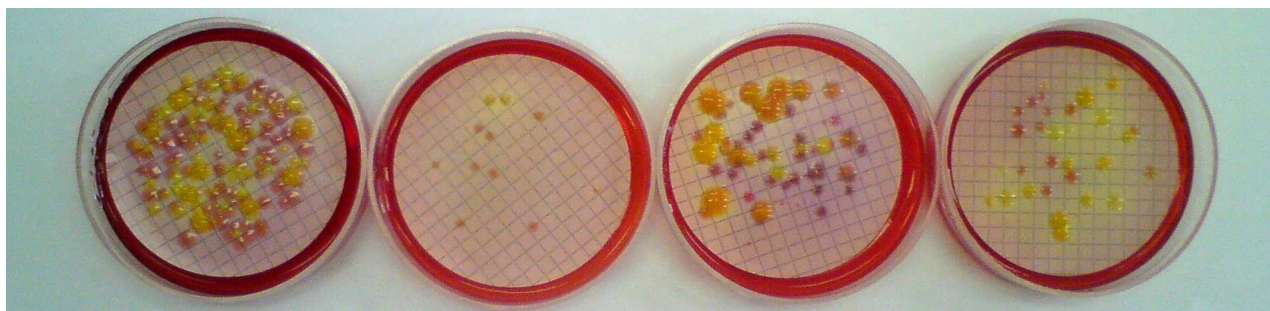
$$\text{Ολικός αριθμός TC/100 ml} = \frac{\text{cfuTC. που. μετρήθηκαν} \times 100}{\text{ml. δείγματος. που. διηθήθηκαν}}$$

Στα δείγματα όμως που έγιναν αραιώσεις, εκφράζουμε το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των αποικιών που μετρήσαμε με την αραιώση που έγινε. Ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά φίλτρο είναι μεταξύ 20 και 80. Αν ο αριθμός αποικιών ανά τριβλίο είναι μεγαλύτερος και οι αποικίες καλύπτουν η μία την άλλη, τότε η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας όμως υψηλότερες αραιώσεις. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον μικροβιολογικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα δείγματα νερού τα οποία συλλέχθηκαν από τη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 84: Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών Total Coliforms

Σε όλα τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τα πηγάδια και την πηγή της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκαν αραιώσεις. Σε δύο από αυτά έγινε αραιώση 1:20 (δηλ. 5 ml δείγματος και 95 ml απιονισμένο νερό), σε ένα 1:4 (δηλ. 25 ml δείγματος και 75 ml απιονισμένο νερό) και σε ένα 1:2 (δηλ. 50 ml δείγματος και 50 ml απιονισμένο νερό). Όπως φαίνεται στις εικόνες σε ένα τριβλίο οι αποικίες αλληλοκαλύπτονται, που σημαίνει ότι θα έπρεπε να έχει γίνει μεγαλύτερη αραιώση ενώ σε δύο άλλα οι αποικίες είναι λιγότερες από 20 άρα θα έπρεπε αυτή τη φορά να έχει γίνει μικρότερη αραιώση.



Εικόνα 85: Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών E - Coli

Τα θρεπτικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των βακτηρίων είναι διαφορετικά για κάθε μικροβιολογικό δείκτη. Για τα ολικά κολοβακτήρια και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια, το θρεπτικό υπόστρωμα είναι το ίδιο και έχει κόκκινο χρώμα (Εικόνες 84,85). Για τους κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους χρησιμοποιείται άλλο θρεπτικό υπόστρωμα κίτρινου χρώματος (Εικόνα 89).

Παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων :

1) Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων των *ολικών κολοβακτηρίων* και των *κοπρανωδών κολοβακτηρίων*, ζυγίζουμε στη ζυγαριά ακριβείας (Εικόνα 86) την απαιτούμενη ποσότητα σκόνης Membrane Lauryl Sulfate Broth (Θεϊκό άλας του λαουρικού οξέος), την οποία βάζουμε σε καθαρό πιατάκι και τη μεταφέρουμε σε αποστειρωμένο γυάλινο δοχείο (Pyrex) προσεκτικά για να μην συγκρατηθεί στα τοιχώματα. Στη συνέχεια, ζυγίζουμε και την απαιτούμενη ποσότητα Agar την οποία μεταφέρουμε και αυτή προσεκτικά στο ίδιο αποστειρωμένο δοχείο. Έπειτα προσθέτουμε

όσο αποιονισμένο νερό χρειάζεται και ρίχνουμε μέσα στο μίγμα ένα καθαρό μαγνητάκι. Πωματίζουμε το δοχείο ελαφρά και το τοποθετούμε για λίγα λεπτά στον μαγνητικό αναδευτήρα (Εικόνα 88). Μετά το δοχείο που περιέχει το μίγμα, εισάγεται για 10 min, στον κλίβανο αποστείρωσης (Εικόνα 87) στους 115 °C. Αφού περάσει ο απαιτούμενος χρόνος, το μίγμα, κόκκινου χρώματος, διαμοιράζεται στα τριβλία διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα) προτού κρυώσει. Πριν γίνει όμως αυτό φοράμε τα ειδικά γάντια γιατί το δοχείο είναι αρκετά ζεστό. Τα αφήνουμε για λίγη ώρα (περίπου 30 min) ώστε να κρυώσει και να σταθεροποιηθεί το θρεπτικό υλικό και μόλις γίνει αυτό, τοποθετούμε τα τριβλία (Petri) στο ψυγείο. Τα θρεπτικά υποστρώματα αυτά, μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο μέχρι και τρεις μήνες από την ημέρα παρασκευής τους.

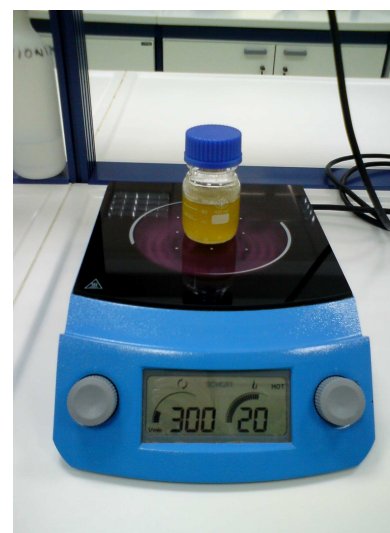


Εικόνα 87: Κλίβανος

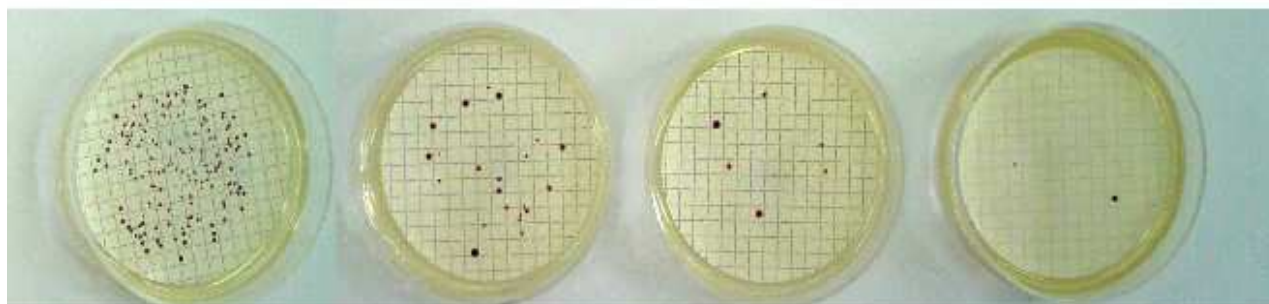
2) Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων του εντερόκοκκου, ζυγίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα σκόνης Slanetz and Bartley Medium στη ζυγαριά ακριβείας, την οποία βάζουμε σε καθαρό πιατάκι και τη μεταφέρουμε σε ένα αποστειρωμένο γυάλινο δοχείο (Pyrex) προσεκτικά για να μην συγκρατηθεί γύρω στα τοιχώματα. Προσθέτουμε όσο νερό χρειάζεται κάθε φορά, το οποίο όμως θα πρέπει να είναι αποστειρωμένο επειδή το μίγμα αυτό δεν μπαίνει στον κλίβανο αποστείρωσης, και ρίχνουμε πολύ προσεκτικά ένα καθαρό μαγνητάκι. Πωματίζουμε το δοχείο ελαφρά και το τοποθετούμε στον μαγνητικό αναδευτήρα. Το μίγμα αναδευτεί ελαφρώς και θερμαίνεται μέχρι έναρξη βρασμού. Μόλις το διάλυμα γίνει διαυγές και αρχίσουν να φαίνονται κάποιες μικρές φυσαλίδες στον πυθμένα, σταματάμε αμέσως την θέρμανση και την ανάδευση και το απομακρύνουμε από την θερμαντική πλάκα. Φοράμε το ειδικό γάντι και αρχίζουμε αμέσως να μοιράζουμε το μίγμα, κίτρινου χρώματος, στα αποστειρωμένα τριβλία. Ύστερα τα αφήνουμε για λίγη ώρα (περίπου 30 min) ώστε να σταθεροποιηθεί το θρεπτικό υλικό και μόλις γίνει αυτό, τοποθετούμε τα τριβλία (Petri) στο ψυγείο. Τα θρεπτικά υποστρώματα αυτά μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο το πολύ μέχρι και μια εβδομάδα από την ημέρα που παρασκευάστηκαν.



Εικόνα 86: Ζυγαριά ακριβείας



Εικόνα 88: Αναδευτήρας



Εικόνα 89: Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών Εντερόκοκκου

6.2 Γεωφυσικές μέθοδοι για τον χαρακτηρισμό του υπόγειου νερού

Πρόσφατα αναπτύχθηκε ένας καινούριος κλάδος της εφαρμοσμένης γεωφυσικής, ο οποίος πραγματεύεται κατά κύριο λόγο περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν την ανίχνευση και χαρτογράφηση ρύπανσης σε εδάφη και υπόγεια νερά. Η **Περιβαλλοντική Γεωφυσική** εμφανίζει αυξημένες δυνατότητες στη γρήγορη, μη καταστρεπτική αξιολόγηση των ορίων μίας ρυπασμένης περιοχής, ενώ μπορεί να βοηθήσει στη χαρτογράφηση της γεωλογικής δομής του υπεδάφους.

Οι γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονται στην ανίχνευση της ρύπανσης του εδάφους και στον έλεγχο της ποιότητας των υπογείων υδάτων ποικίλουν. Η επιλογή τους εξαρτάται κάθε φορά από τον επιθυμητό στόχο και τη φύση του προβλήματος που διερευνάται. Ειδικότερα, οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του γεωραντάρ είναι σε θέση να ανιχνεύσουν άμεσα την παρουσία ρύπανσης στο υπέδαφος, μετρώντας τη μεταβολή στην αγωγιμότητα του, η οποία προκαλείται από τους ρυπογόνους παράγοντες. Κάθε μία από τις γεωφυσικές μεθόδους εφαρμόζεται για συγκεκριμένο σκοπό, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και τον επιθυμητό στόχο της έρευνας. Ιδιαίτερα για τον εντοπισμό ζωνών υφαλμύρινσης χρησιμοποιείται η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η μέθοδος είναι άμεση και προσφέρει σημαντικές πληροφορίες. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής οφείλεται στην επίδραση που έχει ο υδροχημικός χαρακτήρας του νερού των σχηματισμών στην γεωηλεκτρική ανταπόκριση του υπεδάφους. Η ανίχνευση - προσδιορισμός του φαινομένου της υφαλμύρινσης βασίζεται στην επίδραση ανίχνευση του υδροχημικού χαρακτήρα των ιόντων του χλωρίου το οποίο είναι ένα από τα πιο ηλεκτρικά ενεργά ιόντα που εμφανίζονται στη φύση, επιτρέποντας έτσι την ανίχνευση του φαινομένου της διείσδυσης αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Ετερογένεια και ανισοτροπία στις ηλεκτρικές ιδιότητες μπορεί να σχετίζονται με παρόμοιες καταστάσεις στις υδροχημικές ιδιότητες.

Αντίθετα, άλλες γεωφυσικές τεχνικές όπως η σεισμική ανάκλαση - διάθλαση και η μαγνητομετρία μπορούν έμμεσα να βοηθήσουν στην ανίχνευση της ρύπανσης του υπεδάφους. Δίνοντας πληροφορίες για την αναγνώριση λιθολογικών χαρακτηριστικών και συνθηκών του υπεδάφους, οι οποίες συμβάλλουν στην εξάλπωση της ρύπανσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων δεν αποτελεί πάντοτε ένα εύκολο ή απλό εγχείρημα. Για το λόγο αυτό απαιτείται συμβολή περισσότερων από μίας γεωφυσικών μεθόδων σε συνδυασμό με άλλες επιστήμες (υδρογεωλογία, γεωλογία, υδροχημεία, γεωχημεία).

6.2.1 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Με την εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης. Ηλεκτρικό ρεύμα εισάγεται στο έδαφος και η ποσότητα που μετράμε είναι η ηλεκτρική τάση. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Η ηλεκτρική αντίσταση είναι η ποσότητα που παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως, στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία και στην Τεχνική Γεωλογία. Οι σπουδαιότερες ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης, είναι αυτές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κυρίως η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική τομογραφία, έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για τον εντοπισμό και χαρτογράφηση των ζωνών μίξης του θαλασσινού με το γλυκό νερό, καθώς οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων πετρωμάτων επηρεάζονται από την αλατότητα του νερού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα με τις μεθόδους αυτές να μπορεί να γίνει διαχωρισμός των πετρωμάτων που περιέχουν υφάλμυρο νερό από αυτά με γλυκό νερό. Οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

Αυτό γίνεται ως εξής :

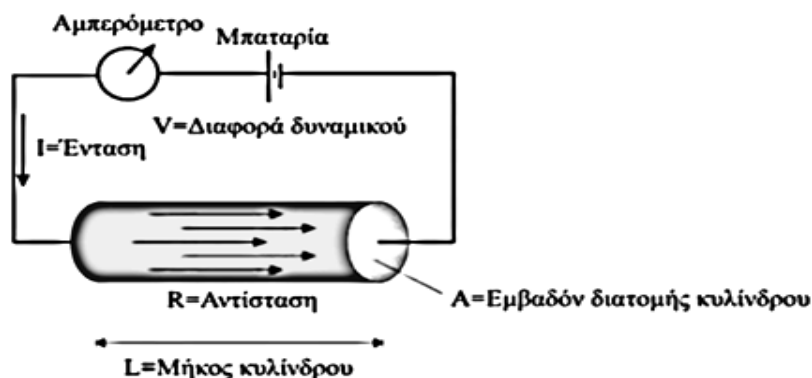
Δημιουργούνται τεχνητά ηλεκτρικά πεδία, από τα οποία καθορίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (γεωηλεκτρική δομή). Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους. Μετρώντας το ηλεκτρικό δυναμικό με συγκεκριμένες διατάξεις σε καθορισμένες θέσεις μπορούμε να προσδιορίσουμε την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους.

Ο Singh et al. (2004) κατάφεραν να χαρτογραφήσουν το μέτωπο γλυκού και θαλασσινού νερού στην περιοχή της Orissa της Ινδίας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης, ενώ ο Abdul et al. (2000) απέδειξαν ότι η ηλεκτρική τομογραφία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την χαρτογράφηση του μετώπου της μίξης αλμυρού και γλυκού νερού, καθώς με αυτήν την μέθοδο μπορεί να απεικονιστεί η πλευρική διαφοροποίηση της αλατότητας των υπογείων νερών μέσα σε περατούς γεωλογικούς σχηματισμούς στην περιοχή Yan της Μαλαισίας. Στην περιοχή Korin του Ιράν, ο Lashkaripour (2003) πραγματοποίησε ένα πυκνό δίκτυο ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων με σκοπό τον προσδιορισμό του πάχους, του βάθους και της θέσης του υδροφόρου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό της υδροφορίας της περιοχής για μελλοντική εκμετάλλευση. Επίσης, εκτιμήθηκε η ποιότητα υπόγειου νερού και εντοπίστηκε και το μέτωπο μίξης του με το θαλασσινό νερό στην παράκτια περιοχή Chennai της Ινδίας από τους Gnanasundar και Iango (1999) χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

Η μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός πετρώματος πραγματοποιείται είτε με την εισαγωγή σε αυτό ηλεκτρικού ρεύματος και τη μέτρηση της κατανομής της διαφοράς δυναμικού στο υπέδαφος, είτε με τη μελέτη του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου όπως αυτό παράγεται από τη διέλευση εναλλασσόμενου ρεύματος από τη Γη.

Βασικές αρχές γεωηλεκτρικών μεθόδων

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που χρησιμοποιείται στις μεθόδους ηλεκτρικής διασκόπησης. Ο υπολογισμός της στηρίζεται στο νόμο του Ohm : $V=IR$ όπου, V η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα κυλινδρικής αντίστασης (Volt), I η ένταση του ρεύματος που την διαρρέει (Ampere) και R η ηλεκτρική της αντίσταση (Ohm).



Εικόνα 90: Ειδική ηλεκτρική αντίσταση για κυλινδρικό αγωγό

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ υπολογίζεται από την σχέση : $\rho = RA/L$ όπου, R = η ηλεκτρική αντίσταση (Ohm), A = το εμβαδό της διατομής του κυλίνδρου (m^2), L = το μήκος του κυλίνδρου (m).

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι το Ohm.m. Το αντίστροφο μέγεθος, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα S.I, το Siemens/m.

Προσοχή

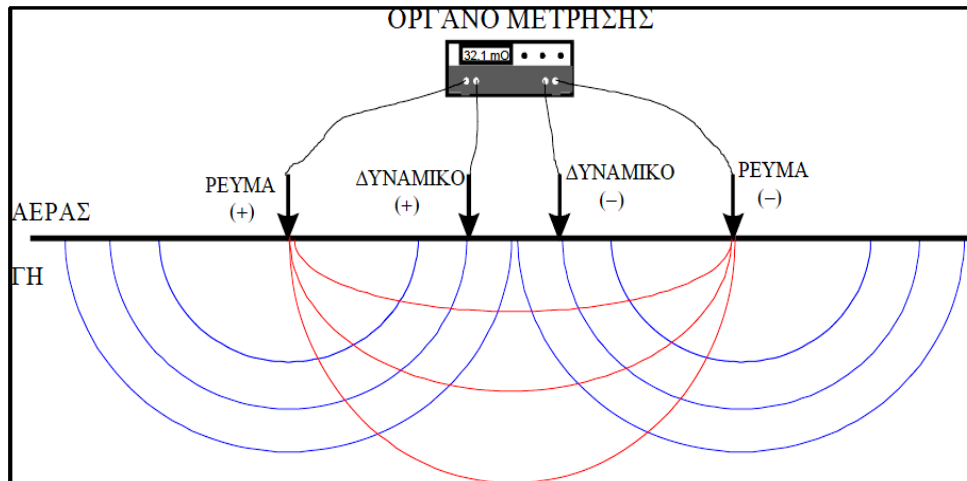
- Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται εύκολα.
- Οι διακυμάνσεις της ειδικής αντίστασης για ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς έχουν μεγάλο εύρος.
- Δυο τελείως διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορεί να έχουν παρόμοιες ειδικές αντιστάσεις.

Επομένως

- Η ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή
- Ασφαλής είναι μόνο η σχετική σύγκριση των ειδικών αντιστάσεων σε μια περιοχή
- Η μελέτη της ειδικής αντίστασης σε μια περιοχή μπορεί να δώσει (έμμεσα) ασφαλή συμπεράσματα για τη λιθολογία μόνο όταν η ερμηνεία γίνεται συνυπολογίζοντας όλες τις υπάρχουσες πληροφορίες για την περιοχή (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις κ.α.)

Η βασική διαδικασία μέτρησης είναι η εξής :

Για κάθε μέτρηση χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια (συνήθως μεταλλικοί πάσσαλοι) τα οποία εισάγονται στο έδαφος σε ένα βάθος μερικών εκατοστών (~10cm) και σε αποστάσεις μεταξύ τους που ποικίλουν από μερικά μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης το οποίο συνδέεται με τα ηλεκτρόδια μέσω καλωδίων. Διαβιβάζεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I (ποικίλλει από μερικά milli - Ampere έως μερικά Ampere) μέσα στη γη με δυο ηλεκτρόδια ρεύματος και μετράται σε διάφορες θέσεις η διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ δυο ηλεκτροδίων δυναμικού (Εικόνα 91).



Εικόνα 91: Βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων [74]

Βρίσκεται έτσι για κάθε μέτρηση η ηλεκτρική αντίσταση R .

$$R = \frac{V_{MN}}{I_{AB}}$$

Επειδή η γη είναι γεωηλεκτρικά ανομοιογενής, η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση :

- της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.
- της γεωμετρίας της μέτρησής μας (θέσεις A, B, M, N).

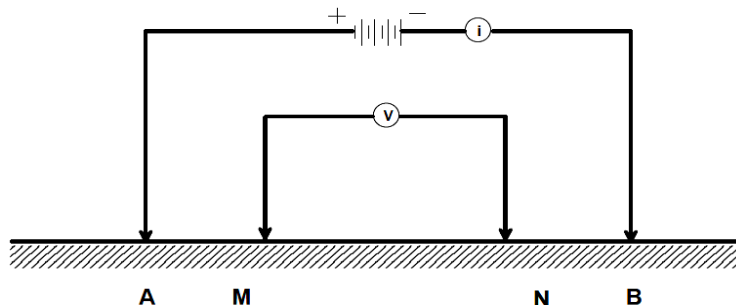
Για να λάβουμε υπόψη την επίδραση της γεωμετρίας εισάγεται ο όρος της **φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ_a**

$$\rho_a = \left(\frac{V_{MN}}{I_{AB}} \right) K$$

όπου, K = ο γεωμετρικός παράγοντας που εξαρτάται από τη διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Στην περίπτωση ομογενούς και ισότροπου εδάφους και για οποιαδήποτε διάταξη ηλεκτροδίων, όταν ο γεωμετρικός παράγοντας πολλαπλασιάζεται με τη μετρούμενη αντίσταση, το αποτέλεσμα είναι η πραγματική αντίσταση του εδάφους. Για τον υπολογισμό της, χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων.

Στην Εικόνα 92, παρουσιάζεται η βασική διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με ένα αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης I του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού (V_{MN}). Έστω ότι AM είναι η απόσταση του M από το θετικό ηλεκτρόδιο A, BM από το αρνητικό B και AN και BN οι αντίστοιχες αποστάσεις του N από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος.



Εικόνα 92: Διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων

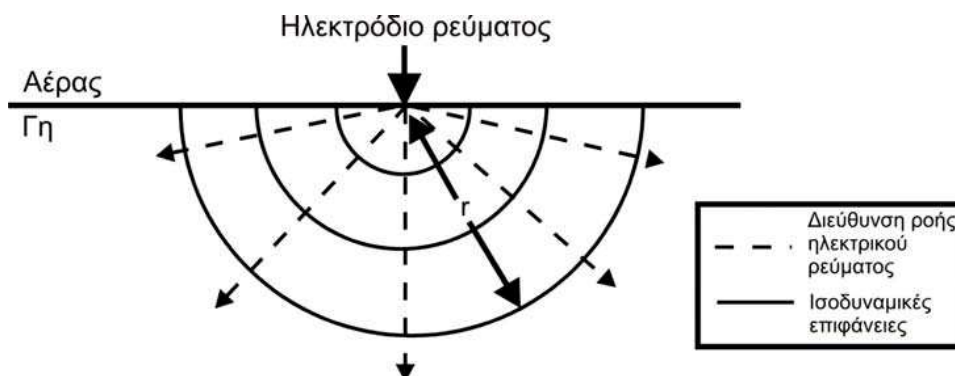
Τότε, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων τάσης για έναν ομογενή ημιχώρο με αντίσταση ρ και για μια διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων, είναι :

$$\Delta V = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται για τη μελέτη των διαφόρων διατάξεων. Επομένως, η αντίσταση του ημιχώρου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{K i}$$

Στην απλή περίπτωση, όπου το έδαφος είναι ομογενές και ισότροπο, το ρεύμα που εισέρχεται σε αυτό μέσω μιας σημειακής πηγής (ηλεκτροδίου), ρέει ακτινικά διερχόμενο από ένα ημισφαίριο εμβαδού $S = 2\pi r^2$, όπου r είναι η απόσταση της περιφέρειας του ημισφαιρίου από το σημείο εισαγωγής του ρεύματος. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες έχουν σχήμα ημισφαιρίου και οι γραμμές του ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες (Εικόνα 93).



Εικόνα 93: Οι ισοδυναμικές γραμμές και η κατεύθυνση του ρεύματος για μια σημειακή πηγή

Σε αυτή την περίπτωση το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{\rho i}{2\pi r}$$

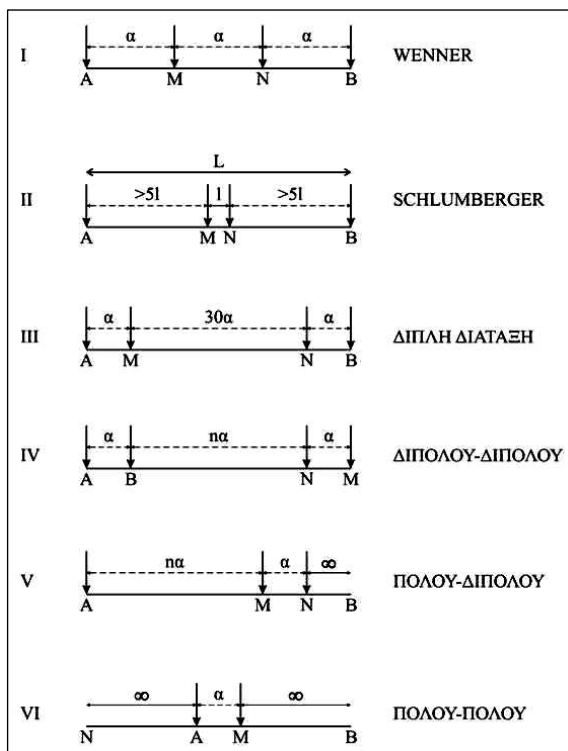
Προσοχή! Στην πράξη η φαινόμενη αντίσταση ρ_a αποτελεί (σε μια πρώτη προσέγγιση) ένα είδος «μέσου όρου» των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Άρα δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια «παραμορφωμένη» εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

- Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη ερμηνεία - επεξεργασία.
- Για αυτόν τον λόγο η απευθείας χρήση των μετρήσεων φαινόμενης αντίστασης για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι παρακινδυνευμένη.
- Πάντα χονδρική ποιοτική ερμηνεία με έμφαση στις σχετικές μεταβολές - ποσοτική ερμηνεία μόνο μετά από επεξεργασία.

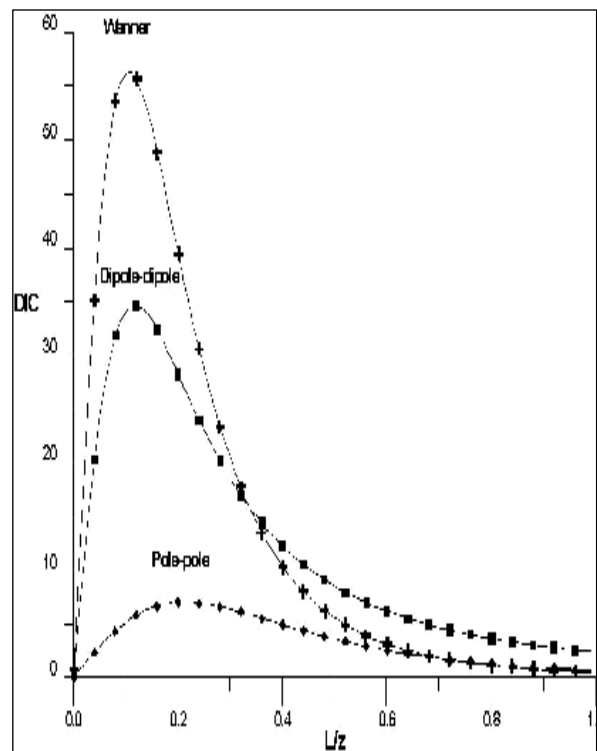
Η δυσκολία στο να καθοριστεί το βάθος διείσδυσης οφείλεται στο ότι οι θεωρητικοί υπολογισμοί που έχουν γίνει υποθέτουν ομογενή γη, πράγμα το οποίο δεν ισχύει στην πραγματικότητα, και στο ότι οι τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που μετρώνται στην επιφάνεια, δεν οφείλονται αποκλειστικά σε κάποιο συγκεκριμένο βάθος. Οι Roy και Apparao (1971), έδειξαν πως η κατανομή του ηλεκτρικού ρεύματος μόνο, δεν είναι ενδεικτική για την εύρεση του βάθους διείσδυσης κατά τη χρήση μιας συγκεκριμένης διάταξης ηλεκτροδίων. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής:

Αν σε ένα σύστημα ηλεκτροδίων τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια δυναμικού στις θέσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος και αντίθετα, παρατηρείται ότι τα βάθη διείσδυσης είναι ίδια ενώ η κατανομή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τελείως διαφορετική (Helmholtz's reciprocity theorem). Αντιστρόφως, δύο συστήματα ηλεκτροδίων είναι δυνατόν να έχουν παρόμοια κατανομή των γραμμών του ρεύματος αλλά τελείως διαφορετικά βάθη διείσδυσης. Ενώ δηλαδή η διείσδυση και η κατανομή του ρεύματος έχει άμεση σχέση μόνο με τη θέση των ηλεκτροδίων του ρεύματος, το βάθος διείσδυσης χρησιμοποιώντας κάποια διάταξη ηλεκτροδίων, εξαρτάται και από τα ηλεκτρόδια του δυναμικού.

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στο ύπαιθρο, ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Στην Εικόνα 94 απεικονίζονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι.



Εικόνα 94: Διατάξεις ηλεκτροδίων (Tsourlos, 1995)

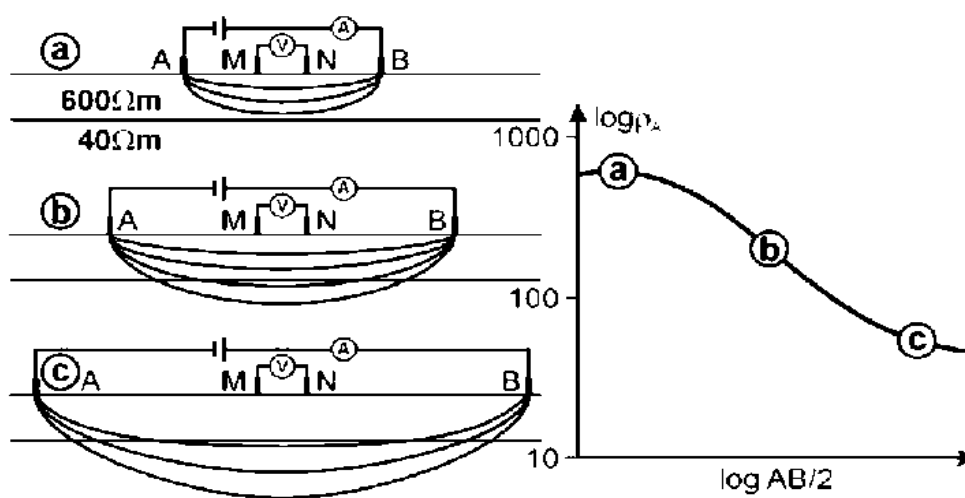


Εικόνα 95: DIC καμπύλες για τις διατάξεις Wenner, διπόλου - διπόλου και πόλου - πόλου

Οι διατάξεις με τέσσερα ηλεκτρόδια είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής, δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου. Τα κυριότερα κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης διάταξης είναι α) το επιθυμητό (μέγιστο) βάθος διασκόπησης, καθώς και β) η διακριτική της ικανότητα.

Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (twin - probe, πόλου - διπόλου) παρέχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner, Schlumberger και διπόλου - διπόλου παρέχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις. Οι παραπάνω ερευνητές (Roy και Apparao), λαμβάνοντας υπ όψιν τη συνεισφορά κάθε απειροστού όγκου στο συνολικό σήμα, δηλαδή στη συνολική διαφορά δυναμικού που μετράται στην επιφάνεια του εδάφους, υπολόγισαν, για τις διάφορες διατάξεις, καμπύλες οι οποίες απεικονίζουν την απόκριση ενός λεπτού οριζόντιου στρώματος με μεταβαλλόμενο βάθος (Εικόνα 95).

Μολονότι αρχικά το βάθος διερεύνησης ήταν σχετικά μικρό (μερικές εκατοντάδες μέτρα) η εξέλιξη των μετρητικών διατάξεων και των γεωηλεκτρικών συσκευών επιτρέπουν την δυνατότητα έρευνας σε βάθη που μπορεί να φτάσουν αρκετά χιλιόμετρα, γεγονός που επιτρέπει την αξιοποίηση των γεωηλεκτρικών μεθόδων τόσο στην έρευνα γεωθερμικών πεδίων όσο και στον εντοπισμό υδρογονανθράκων. Έχει αποδειχθεί ότι το βάθος διείσδυσης του ρεύματος (άρα και το βάθος της διασκόπησης) είναι ανάλογο με την απόσταση των ηλεκτροδίων (Εικόνα 96).



Εικόνα 96: Μετρήσεις ειδικής αντίστασης με αυξανόμενο τρέχον διάστημα ηλεκτροδίων που οδηγεί σε αυξανόμενα βάθη διείσδυσης (Kirsch, 2006)

Σχέση Γεωλογίας και Αντίστασης

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των περισσότερων πετρωμάτων του ανώτερου φλοιού, εξαρτώνται από την περιεκτικότητα αυτών σε νερό, από την αλατότητα ή μη του περιεχόμενου νερού και από την κατανομή του νερού στα πετρώματα. Μολονότι το καθαρό (απιονισμένο) νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, οι διαλυμένες ουσίες που περιέχει το εδαφικό νερό αυξάνουν σημαντικά την ικανότητά του να άγει τον ηλεκτρισμό. Τα κορεσμένα πετρώματα παρουσιάζουν πολύ μικρότερες αντιστάσεις από αυτές των ακόρεστων ή ξηρών πετρωμάτων. Όσο υψηλότερο είναι το πορώδες και η αλατότητα των κορεσμένων πετρωμάτων τόσο χαμηλότερες είναι οι αντιστάσεις αυτών. Η παρουσία της αργίλου και άλλων αγωγίμων υλικών μειώνει την αντίσταση των πετρωμάτων.

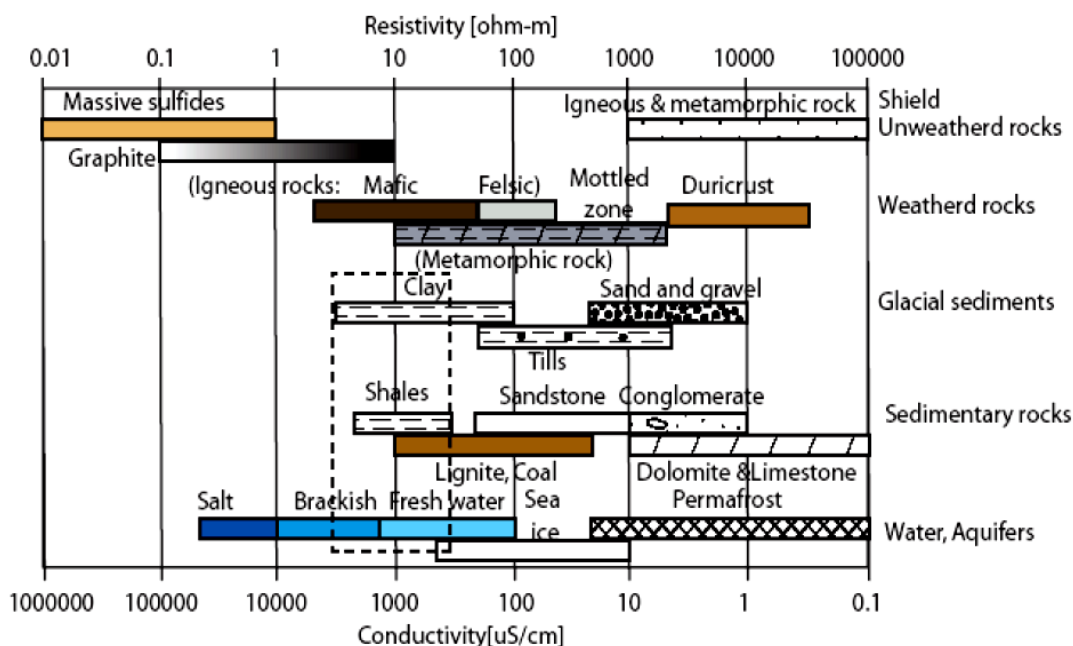
Με βάση λοιπόν τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η ορυκτολογική σύσταση, το πορώδες και η γεωμετρία του, το υγρό στο πορώδες, η θερμοκρασία καθώς και η γεωλογική ηλικία του πετρώματος. Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων δύο είναι οι ιδιότητες που μελετώνται, α) η ηλεκτρική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και β) η πόλωση που δημιουργείται με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από αυτά (επαγόμενη πολικότητα).

Στις διασκοπήσεις μικρού βάθους, η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος επιτυγχάνεται κυρίως από διαλυμένα άλατα όπως το ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό νάτριο που υπάρχουν στο ίδιο το έδαφος κυρίως για αργιλώδη εδάφη ή προέρχονται από τα υποκείμενα γεωλογικά στρώματα, βροχοπτώσεις, σύγχρονα γεωργικά λιπάσματα ή άλλες ανθρωπογενείς διαδικασίες. Επίσης συγκεντρώσεις ριζών και κολλοειδών στο νερό επηρεάζουν την αγωγιμότητα. Εδώ θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι σε περίπτωση κορεσμού του εδάφους με νερό η ειδική ηλεκτρική αντίσταση επηρεάζεται από τη σύνδεση μεταξύ των πόρων. Διακρίνοντας τα εδάφη σε κοκκώδη, και συμπαγή παρατηρήθηκε διαφορετική μεταβολή στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ περιόδων διαφορετικής υγρασίας.

Επομένως το πορώδες, πρωτογενές και δευτερογενές (ρήγματα, διακλάσεις, ασυνέχειες), ο κορεσμός του σε ρευστά και οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων ενώσεων συμβάλουν στην διαφοροποίηση της ειδικής αντίστασης.

Τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα έχουν υψηλές τιμές αντίστασης. Η αντίσταση αυτών των πετρωμάτων εξαρτάται από το βαθμό ρωγμάτωσής τους και από το ποσοστό του νερού που περιέχουν στους πόρους τους. Τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία είναι συνήθως περισσότερο πορώδη και περιέχουν υψηλότερο ποσοστό νερού, έχουν χαμηλότερες αντιστάσεις. Η αντίσταση του νερού ποικίλει από 10 έως 100 Ohm-m, πράγμα που εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε διαλυμένα άλατα.

Στην Εικόνα 97 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα όρια μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της αγωγιμότητας για διάφορα πετρώματα.



Εικόνα 97: Χαρακτηριστικές σειρές των ηλεκτρικών ειδικών αντιστάσεων των γήινων υλικών

Λόγω του ότι οι τιμές της ειδικής αντίστασης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που μεταβάλλονται εύκολα, οι διακυμάνσεις των τιμών της έχουν μεγάλο εύρος ακόμη και για τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Είναι όμως πιθανό δύο διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί να έχουν παρόμοιες τιμές ειδικής αντίστασης. Επομένως ασφαλής είναι η σχετική σύγκριση των ειδικών αντιστάσεων στην ίδια περιοχή. Για τους παραπάνω λόγους, είναι απαραίτητο, η ερμηνεία των μετρήσεων να γίνεται με προσοχή και για τη λήψη ασφαλών συμπερασμάτων για τη λιθολογία, θα πρέπει να συνυπολογίζονται όλες οι υπάρχουσες πληροφορίες για την κάθε περιοχή (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις κ.α.)

Μια εμπειρική σχέση η οποία παρέχει αρκετά ικανοποιητικά την εξάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός πετρώματος σε συνάρτηση με τις παραπάνω παραμέτρους είναι ο νόμος του Archie

$$\rho = \rho_w a \phi^{-m} S^{-n}$$

όπου, ρ = η ειδική αντίσταση του πετρώματος, ρ_w = η ηλεκτρική αντίσταση του ρευστού (συνήθως νερό) στο πορώδες του πετρώματος, ϕ = πορώδες, S = βαθμός κορεσμού με ρευστό και a και m σταθερές. Για τα περισσότερα πετρώματα τα a και m είναι περίπου 1 και 2 αντίστοιχα. Το n = συντελεστής που συνήθως έχει την τιμή 2 για τα περισσότερα πετρώματα και για βαθμούς κορεσμού 20 % - 100 %. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο νόμος του Archie δεν ισχύει στην περίπτωση των αργιλικών πετρωμάτων.

6.2.1.1 Μέθοδος ηλεκτρικής τομογραφίας

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (HT) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο “παραδοσιακών” τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί

να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη εικόνα του υπεδάφους. Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της “ψευδοτομής” που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές). Στην διαδικασία της “ψευδοτομής” μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπλού-διπλού, Wenner, πόλου-διπλού). Η HT όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της HT είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμη πληροφορία). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις δεν μπορούν να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων αλλά μόνο με συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί από το 1990 και μετά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της HT αλλά και του αναπόφευκτου κόστους εφαρμογής της μεθόδου.

6.2.2 Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης βασίζονται σε ορισμένες αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Οι δυο βασικότεροι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού είναι ο νόμος του Faraday σύμφωνα με τον οποίο η χρονική μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο έχει ως συνέπεια τη γένεση στο χώρο αυτό ηλεκτρικού πεδίου, τέτοιου ώστε η παραγόμενη ηλεκτρερρετική δύναμη να είναι ανάλογη αλλά αντίθετη προς το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής. Ο δεύτερος βασικός νόμος του ηλεκτρομαγνητισμού είναι του Ampere σύμφωνα με τον οποίο όταν ένας χώρος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι ανάλογη του ολικού ρεύματος που διαρρέει το χώρο και έχει διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ροής του ρεύματος. Υπάρχει διαχωρισμός των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων, χωρίζοντάς τις σε παθητικές και ενεργητικές. Οι παθητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία της Γης (π.χ. Magneto Telluric (MT)). Οι ενεργητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μία ελεγχόμενη τεχνητή ηλεκτρομαγνητική πηγή ως πρωτογενές πεδίο, το οποίο στη συνέχεια επάγει ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (π.χ. Transient - EM (TEM), Controlled Source Audio - frequency Magneto Tellurics (CSAMT), Frequency Domain EM (FDEM), Ground Penetrating Radar (GPR)).

Βασικές αρχές ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων

Η αρχή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής έρευνας βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.

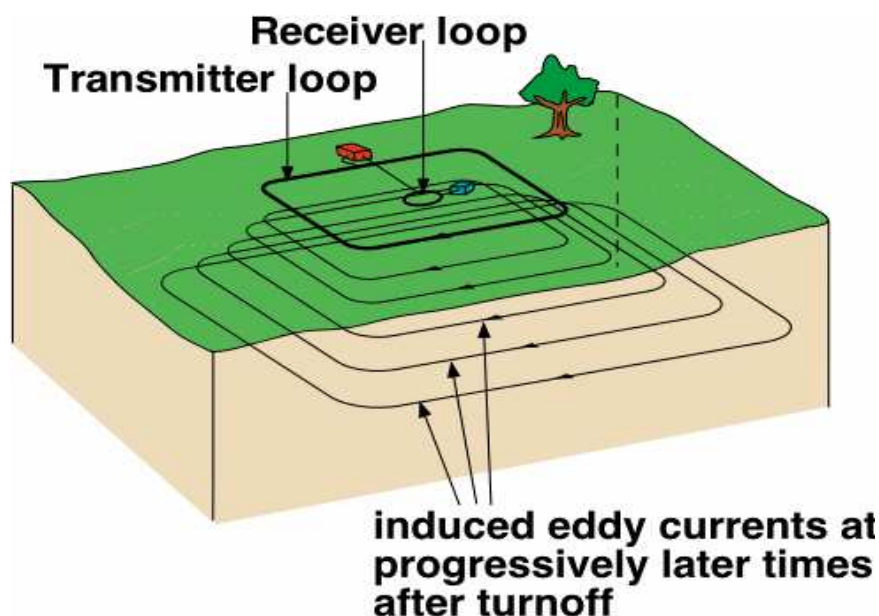
Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται φυσικά ή τεχνητά στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο φθάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης το οποίο διαδίδεται και επάγει ηλεκτρικά ρεύματα στους υπεδάφειους αγωγούς με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο επίσης ανιχνεύεται και καταγράφεται από τον δέκτη. Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, έχει συνήθως πλάτος πολύ μικρότερο από το πρωτεύον, φθάνει στον δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον. Μεταβολή στις συχνότητες του αρχικού παλμού δίνει τη δυνατότητα έρευνας σε μεγαλύτερα βάθη. Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τους υπεδάφειους αγωγούς και τον δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα θεωρούμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση στη θέση του πομπού έχει μια ορισμένη τιμή, ενώ στο πηνίο που παριστάνει ένα αγωγίμο σώμα μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα με συνέπεια τη γένεση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου κάποιας έντασης. Η μέθοδος χαμηλών συχνοτήτων (Very Low Frequency) κάνει χρήση διαφόρων στρατιωτικών αναμεταδοτών που εκπέμπουν στις χαμηλές συχνότητες. Η μέθοδος στηρίζεται στη καταγραφή του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου

που επάγεται λόγω της διέγερσης των υπεδάφινων αγωγίμων ζωνών με τη διέλευση του πρωτογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και σε βαθύτερους ορίζοντες. Τα δευτερογενή παραγόμενα κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα αλλά οι άλλες ιδιότητές τους (διεύθυνση, πλάτος και φάση) είναι διαφορετικές καθώς αυτές εξαρτώνται από τη γεωηλεκτρική δομή των επιφανειακών στρωμάτων. Περιορισμός στην εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων για την ανίχνευση αγωγίμων ζωνών είναι η παρουσία υψηλά αγωγίμων επιφανειακών στρωμάτων.

6.2.2.1 Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM)

Γενικά, η μέθοδος TEM (γνωστή και ως Time - Domain Electromagnetic, TDEM μέθοδος) είναι σχετικά νέα μέθοδος δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές μελέτες τα τελευταία 15 - 20 χρόνια. Έχει εφαρμοστεί πάνω σε μεταλλευτική έρευνα, γεωθερμικά πεδία, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων εναλλακτικά ή συμπληρωματικά με τις ηλεκτρικές DC βυθοσκοπήσεις.

Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, υλοποιώντας έναν ορθογώνιο βρόχο στην επιφάνεια του εδάφους, ο οποίος συνδέεται με την κεντρική μονάδα ενός Η/Μ συστήματος (Εικόνα 98) δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

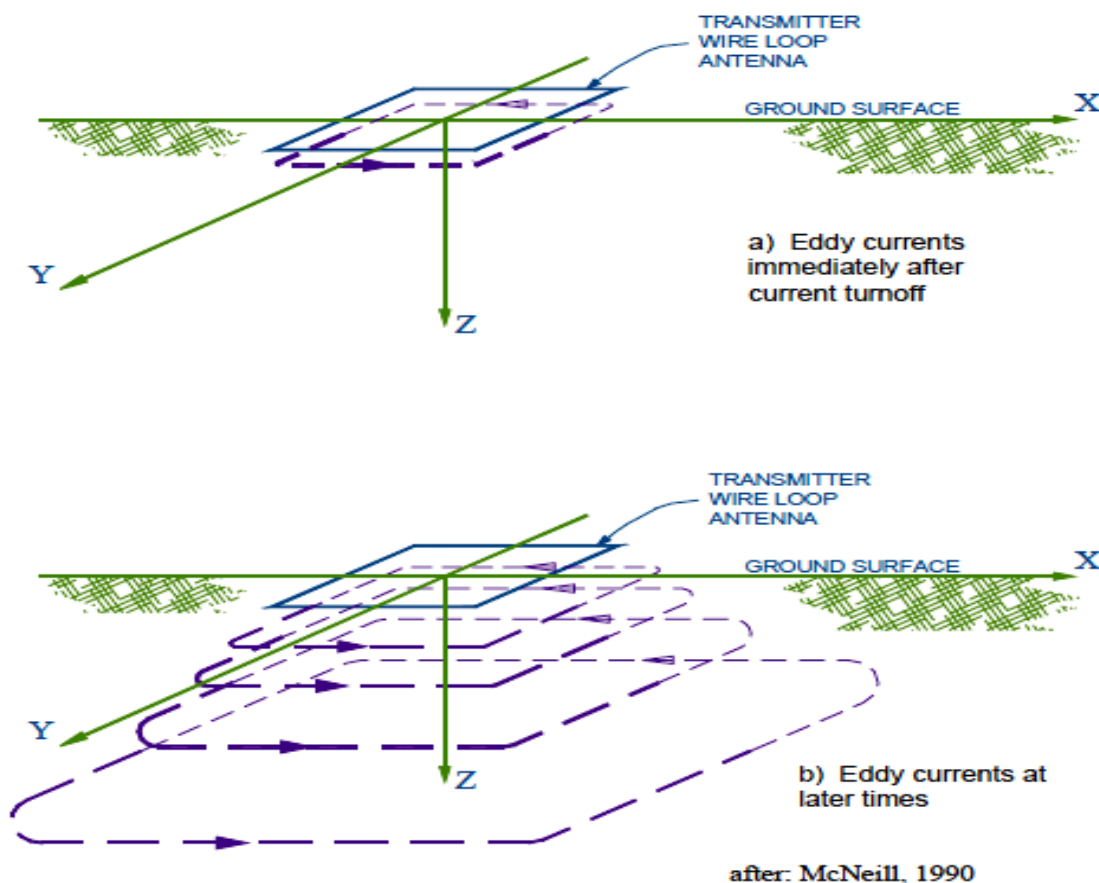


Εικόνα 98: Διάταξη της μεθόδου TEM (Kalisperi, 2009)

Ο βρόχος εκπομπής διαρρέεται από σταθερό ρεύμα και δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο. Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα το συνεχές ρεύμα διακόπτεται με ταχύ ρυθμό και ελεγχόμενο τρόπο που έχει τη μορφή ράμπας, διακόπτοντας έτσι το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον Faraday, δημιουργείται με αυτό τον τρόπο ένα σύστημα στροβιλοειδών ρευμάτων στο υπέδαφος. Λόγω της ωμικής αντίστασης του υπεδάφους, το τρέχον σύστημα αποσυντίθεται και προκαλεί στη συνέχεια ένα δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που μετράται σε μια σπείρα επαγωγής (σπείρα δεκτών). Μεταβολές της τιμής του μαγνητικού πεδίου επάγουν δυναμικό στο πηνίο του δέκτη που βρίσκεται είτε στο κέντρο του βρόχου εκπομπής είτε είναι ο ίδιος βρόχος εκπομπής. Η κατανομή και η ένταση των ρευμάτων του υπεδάφους εξαρτάται από την τιμή της ειδικής αντίστασης και σαν αποτέλεσμα οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού δίδουν πληροφορίες για την κατανομή και τιμή της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου (οι αποσυνθέσεις είναι πιο αργές σε ένα αγωγίμο από ότι σε ένα πιο σκληρό μέσο) και τη γεωμετρία των αγωγίμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου - περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι ένας δυνατός παλμός, ή παροδικό σήμα.

Με τη χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου.

Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα απευθείας κάτω από το βρόχο συσκευής αποστολής σημάτων. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 99a. Με την πάροδο του χρόνου, τα ρεύματα διαχέονται προς το βάθος και διασκορπίζονται κάτω και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων όπως επίσης φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 99b, με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος (Nabighian 1979). Μια αναλογία με καπνό από δαχτυλίδια χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη συμπεριφορά των ρευμάτων στο έδαφος.



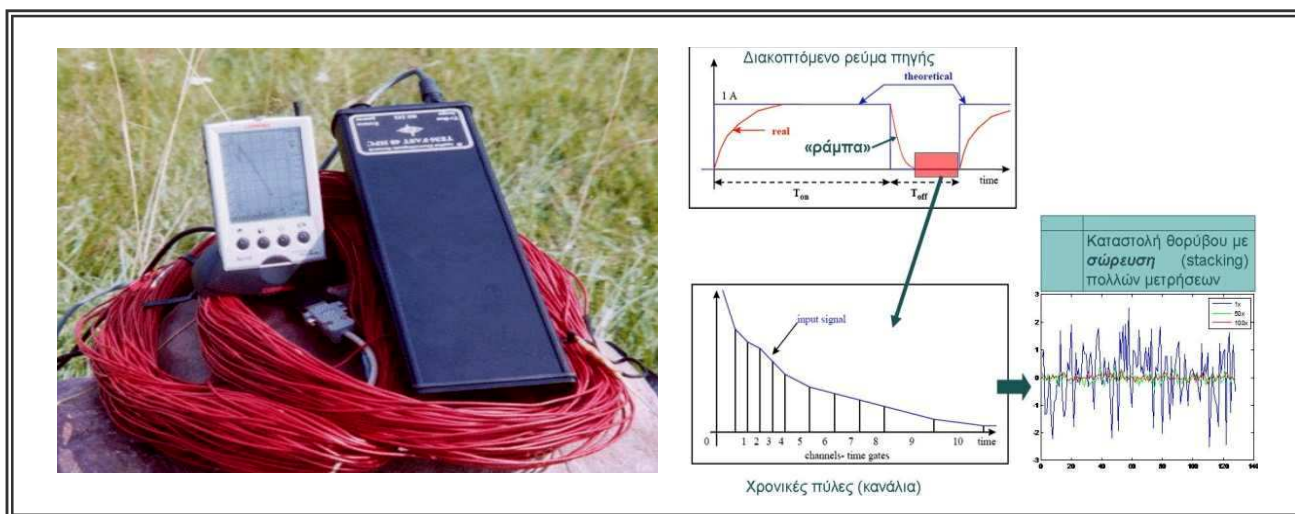
Εικόνα 99: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002 after McNeill)

Αρχικά ισχυρή μορφή ρευμάτων στο έδαφος διαβιβάζεται δίπλα στο βρόχο. Το “δαχτυλίδι καπνού” κατόπιν επεκτείνεται, αποδυναμώνει, και ταξιδεύει κατακόρυφα μέσω της γης. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από τη γήινη αγωγιμότητα. Στα ανθεκτικά μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονται πολύ γρήγορα. Στα αγωγίμα μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονται πιο αργά. Ένα αγωγίμο στρώμα μπορεί σε βάθος να παγιδέψει ρεύματα σε εκείνο το στρώμα, ενώ τα ρεύματα αποσυντίθενται αλλού γρηγορότερα. Στην περίπτωση διαστρωματωμένου ημιχώρου, αρχικά τα επαγωγικά ρεύματα είναι συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια και το επαγόμενο δυναμικό, μένει σταθερό με το χρόνο και είναι ανάλογο της ειδικής αντίστασης του πρώτου επιφανειακού στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη πρώιμη κατάσταση (early stage) και αντιστοιχεί στην κατάσταση αντιστατικού ορίου, που είναι γνωστή στο πεδίο συχνοτήτων σαν επαγωγική ζώνη (inductive zone) ή εγγύς ζώνη (near zone). Αυτή στα συστήματα πεδίου συχνοτήτων ορίζεται σαν η περιοχή όπου η απόσταση πομπού - δέκτη είναι κατά πολύ μικρότερη του επιδερμικού βάθους και ο επαγωγικός αριθμός είναι μικρός. Στην περιοχή αυτή η φανταστική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου είναι πολύ μεγαλύτερη της πραγματικής και εμφανίζει γραμμική εξάρτηση με τον επαγωγικό αριθμό. Χρήση αυτού του χαρακτηριστικού κάνουν τα φορητά H.M συστήματα που λειτουργούν στο πεδίο συχνοτήτων και τα οποία μετρούν την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος (Geonics EM 31), καθώς επίσης στους μεταλλικούς ανιχνευτές και είναι γνωστά σαν συστήματα μικρού επαγωγικού αριθμού (low induction number).

Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η μέθοδος TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγωγή στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διεύθυνση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.

Όργανα μετρήσεων TEM

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις με την μέθοδο των TDEM (Εικόνα 100), αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 12 A, χρησιμοποιώντας δωδεκάβολτους συσσωρευτές ή γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος. Το καταγραφικό του δέκτη βρίσκεται στο ίδιο όργανο με τον πομπό, και χρησιμοποιεί την ίδια έξοδο με αυτόν. Με ηλεκτρονικό κύκλωμα (στην περίπτωση της διάταξης μονού βρόχου) συνδέεται με τον βρόχο κατά την διακοπή του κυκλώματος.



Εικόνα 100: Αριστερά παρουσιάζεται το TEM fast 48 HPC, του οίκου AEMR. Το όργανο αποτελείται από τους βρόγχους (κόκκινα καλώδια υψηλής αγωγιμότητας), τη κεντρική μονάδα παραγωγής και διάθεσης των παλμών (συσκευή σε μαύρο χρώμα) και τη μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (Palmtop - υπολογιστής χειρός). Δεξιά παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα κυματομορφής του πομπού. Κατά το διάστημα παύσης του πομπού υπάρχει βαθμιαία μείωση η οποία φαίνεται στο διάγραμμα για τις διάφορες χρονικές πύλες. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης της μέτρησης η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με σκοπό την άθροιση του σήματος και την μείωση του θορύβου

Ο βρόχος διαρρέεται από συνεχές ρεύμα εντάσεως I_0 και τη στιγμή $t=0$ διακόπτεται απότομα η λειτουργία του κυκλώματος. Σύμφωνα με τον νόμο της αυτεπαγωγής, η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από την αρχική τιμή I_0 στην τιμή μηδέν δεν είναι ακαριαία, αλλά διαρκεί χρόνο t και είναι εκθετική. Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο επαγωγικά ρεύματα σε κοντινούς αγωγίμους στόχους που βρίσκονται στο υπέδαφος, και η δημιουργία δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο ανιχνεύεται από το δέκτη. Στην Εικόνα 96 δεξιά φαίνεται ενδεικτικά η διπολική κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον πομπό, κατά τον χρόνο t . Το τμήμα της διέγερσης της κυματομορφής είναι εκθετικής μορφής ανάλογο της σταθεράς χρόνου t του κυκλώματος, και εξαρτάται από την εμπέδηση του (μέγεθος βρόχου, αντίσταση καλωδίου, αντίσταση εδάφους) και τον σχεδιασμό του οργάνου. Η τιμή του t κινείται μεταξύ 0,3 και 0,6 μικρών του δευτερολέπτου. Το τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί στην μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από I_0 σε μηδέν, είναι περίπου γραμμικής μορφής και αντιστοιχεί σε χρόνο t_r . Η τιμή του t_r κινείται μεταξύ των 30 και 350 μικρών του δευτερολέπτου, και εξαρτάται από το μέγεθος του βρόχου και το ρεύμα του πομπού. Η παροδική εξασθένιση που μετράται στον δέκτη γίνεται με πυκνή δειγματοληψία στο χρονικό παράθυρο μεταξύ t_r και $T/4$. Η Ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στον βρόχο κατά τον χρόνο t_r μπορεί γενικά να περιγραφεί από την εξίσωση :

$$E(p, h) = \frac{\rho \mu_0 \alpha I}{2} \int_0^{\infty} \left[\frac{\lambda - s}{\lambda + s} e^{-2\lambda h} + 1 \right] J_1^2(\lambda a) d\lambda$$

για την περίπτωση κυκλικού βρόχου ακτίνας a , όπου :

h = το ύψος πάνω από το υπέδαφος που βρίσκεται ο βρόχος, p = η μεταβλητή του μετασχηματισμού Laplace που αντιστοιχεί στον παράγοντα, I = το ρεύμα του πομπού, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό, λ = η μεταβλητή του μετασχηματισμού, $J_1(\lambda a)$ = συνάρτηση Bessel πρώτης τάξης και

$$s = \sqrt{\lambda^2 + \mu_0 \rho}$$

Η γενική αυτή εξίσωση αποδεικνύεται πως ισχύει και για την περίπτωση που ο βρόχος είναι τετραγωνικής μορφής, πλευράς a (Raiche και Spies 1981).

Λόγω της μεγάλης ακρίβειας στον χρόνο καταγραφής που απαιτείται, τα όργανα των TDEM διαθέτουν πολλά ακόμα ηλεκτρονικά όργανα, γεγονός που τα καθιστά και σχετικά ακριβότερα από άλλα γεωφυσικά όργανα μέτρησης. Τα περισσότερα όργανα μετρούν με ακρίβεια 0.1 μικρών του δευτερολέπτου (10^{-6}) και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο χρονικό παράθυρο από 4 μικρά μέχρι και 164 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Τα πλέον σύγχρονα όργανα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να προγραμματίσει τη διάρκεια κατά την οποία παίρνονται οι μετρήσεις.

Η ανάπτυξη όλο και ακριβέστερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, οδηγεί στην συνεχή εξέλιξη των οργάνων μέτρησης και στην μείωση του όγκου τους. Τα σημερινά όργανα είναι συμπαγή, εύχρηστα και διαθέτουν μικροεπεξεργαστές για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων. (1984, McCracken et al. 1986, Spies 1988).

Ένας κοινός παράγοντας όλων των επαγωγικών παροδικά μεταβαλλόμενων τεχνικών είναι ότι για τη διασκόπηση χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί ή ορθογώνιοι βρόχοι ως πομποί και δέκτες. Ανάλογα με τη διάταξη πομπού - δέκτη οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενες διατάξεις είναι (Εικόνα 101) :

Διάταξη ενός βρόχου (Single - Loop or Coincident Loop Configuration)

Αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός. Το μέγεθος της πλευράς του βρόχου ποικίλει από 5 μέχρι και 200 μέτρα και είναι συνήθως τετραγωνικός ή ορθογώνιος.

Διάταξη κεντρικού βρόχου (In-Loop or Central Loop Configuration)

Αυτή η διάταξη είναι παραλλαγή της προηγούμενης, με την διαφορά ότι ο βρόχος του δέκτη είναι πολύσπειρος, ισοδύναμης επιφάνειας με τον πομπό, και τοποθετείται στο κέντρο του βρόχου που συνδέεται με τον πομπό.

Ξεχωριστοί βρόχοι πομπού-δέκτη (Separated Transmitter-Receiver Loop Configuration)

Η διάταξη αυτή μοιάζει με την διάταξη Slingram, όπου πομπός και δέκτης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Οι βρόχοι έχουν διαστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων. Μια παραλλαγή αυτής της διάταξης είναι ο δέκτης να είναι πολύ μικρότερος από τον πομπό.

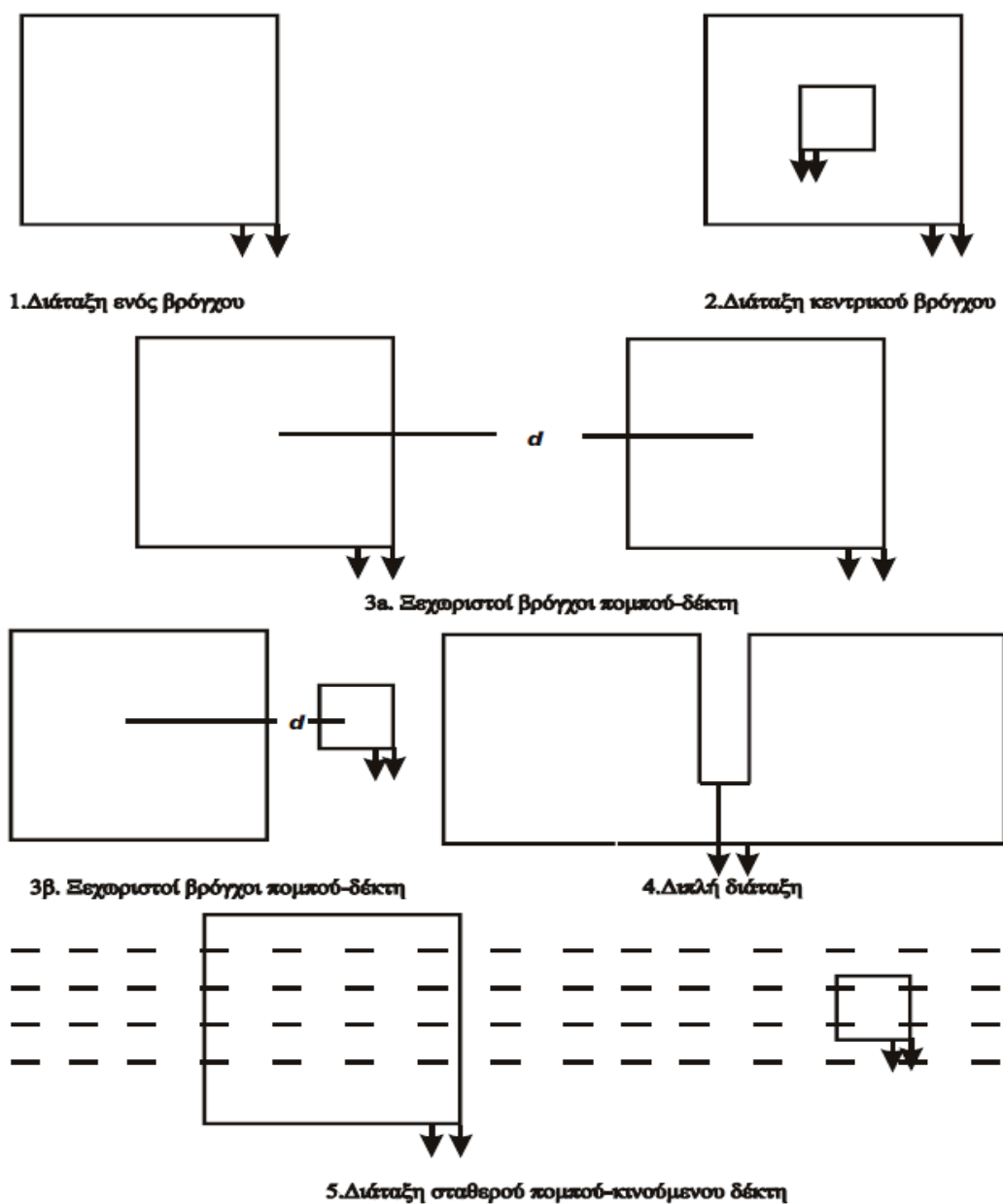
Διπλή διάταξη (Dual-Loop Configuration)

Σε αυτή τη διάταξη, διαμορφώνονται δύο παρακείμενοι βρόχοι που συνδέονται παράλληλα για καλύτερη σύζευξη με κάθετους αγωγούς (Spies 1975). Επιπλέον, επειδή ο θόρυβος που επάγεται λόγω κινούμενων πηγών που προκαλούν παράσιτα στο σήμα είναι αντίθετος στους δύο βρόχους στην διάταξη αυτή, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο του.

Μεγάλος σταθερός βρόχος πομπού-κινούμενος δέκτης (Large Fixed Transmitter, Roving Receiver)

Σε αυτή την διάταξη, υλοποιείται ένας πολύ μεγάλος βρόχος-πομπός που παραμένει σταθερός και ένας πολύ μικρότερος βρόχος-δέκτης χρησιμοποιείται κατά μήκος οδούσεων που είναι παράλληλες προς μια πλευρά του πομπού. Το μήκος της πλευράς του πομπού είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων (σε πολλές περιπτώσεις φτάνει μέχρι και πέντε χιλιόμετρα). Εναέριες διατάξεις (Airborne TDEM).

Η μέθοδος των TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από αέρος για έρευνα και μάλιστα καλύπτοντας πολύ μεγάλη έκταση σε μικρό χρονικό διάστημα (Smith και Keating 1996).



Εικόνα 101: Διατάξεις μετρήσεων TEM (Παπαδόπουλος, 2000)

Πηγές σφαλμάτων στις μετρήσεις

Τα σφάλματα που μπορεί να υπεισέλθουν στις μετρήσεις TDEM μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως είναι ο γεωλογικός θόρυβος, η ημερήσια μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης κ.α. Οι σημαντικότεροι λόγοι είναι :

α) Γεωμετρικός θόρυβος : Σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πηγές θορύβου που πηγάζουν εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους που λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων, όπου είναι δύσκολο να απομονωθεί η συμφασική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου από το γεωμετρικά εξαρτώμενο πρωτεύον πεδίο, τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα σε μέγεθος γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις. Και αυτή όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά το πρώιμο στάδιο η διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά ως να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.

β) Ανθρωπογενής θόρυβος : Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να ελάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράχτες κλπ. Εξαιτίας όμως της μικρής διατομής που έχουν συνήθως, οι σταθερές χρόνου τ για την απευθείας επαγωγή τους είναι συνήθως αμελητέες. Η κύρια συνεισφορά τους στα σφάλματα προέρχεται από την ικανότητα τους να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.

γ) Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος : Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TDEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως από μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα. Πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, που είναι όλες οι φυσικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που δημιουργούνται από εκκενώσεις κεραυνών. Ο ανθρωπογενής θόρυβος αυτής της κατηγορίας προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 ή 60 Hz), ενώ οι σταθμοί πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας θόρυβο (10 με 25 kHz). Είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων, όμως είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή από όπου προέρχεται είναι εμφανής. Ο επαγωγικός θόρυβος λόγω της κίνησης της Γης μπορεί να είναι πολύ σημαντικός, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός. Προβλήματα από τέτοιου είδους θόρυβο αντιμετωπίζονται όταν οι μετρήσεις απαιτούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, και η διόρθωση των μετρήσεων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις μαγνητικές μεθόδους.

Η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Συνήθως περιλαμβάνει αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, την αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και (αν είναι απαραίτητο) αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης (Keller 1997, MacNae et al. 1984, McCracken et al. 1986, Spies 1988)

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δυο αυτών γεωφυσικών μεθόδων

Το πλεονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων σε σχέση με τις ηλεκτρικές μεθόδους είναι ότι αυτές μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δε μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος επειδή αυτό έχει μεγάλη ειδική αντίσταση (παγωμένο σε σημαντικό βάθος, κλπ) οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Το μειονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων είναι ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγωγίμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγωγίμο.

Με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει διασκόπηση σε βάθη μεγαλύτερα από ότι με τις ηλεκτρικές. Όμως και με τις μεθόδους αυτές, με εξαίρεση τη μαγνητοτελλουρική, τα βάθη αυτά είναι μικρά και για το λόγο αυτό οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται στη διασκόπηση των μεταλλευμάτων και όχι στη διασκόπηση πετρελαίου.

Πλεονεκτήματα της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου TEM είναι η ευαισθησία της σε αγωγούς σε μεγάλα βάθη και ο ελαφρής εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων. Μειονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7. Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας

Ως **δειγματοληψία** νοούνται όλες οι διαδικασίες επιλογής, συλλογής, διατήρησης και μεταφοράς στο εργαστήριο, ενός δείγματος προς ανάλυση. Η λήψη δειγμάτων για τη διενέργεια μετρήσεων και αναλύσεων πρέπει να γίνεται με βάση πρότυπες μεθόδους, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η συλλογή τμήματος από το προς εξέταση απόβλητο ή υδάτινο αποδέκτη, σε ποσότητα που να μη δυσχεραίνει τη μεταφορά του και επιπλέον να επαρκεί για όλες τις μετρήσεις και αναλύσεις που θα διεξαχθούν. Ο όγκος του δείγματος που συλλέγεται πρέπει να είναι επαρκής για τη διενέργεια των χημικών αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη και την ποσότητα που θα απαιτηθεί για τις επαναλήψεις κάθε μέτρησης (εξασφάλιση επαναληψιμότητας των μετρήσεων). Για τις φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις είναι απαραίτητο δείγμα όγκου 2 λίτρων. Τα δείγματα μπορεί να συλλέγονται δια χειρός ή με αυτόματους δειγματολήπτες.

Ο τύπος του δοχείου που φέρει το δείγμα είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Γενικά χρησιμοποιούνται είτε γυάλινα, είτε πλαστικά δοχεία, ανά περίπτωση. Η επιλογή του υλικού από το οποίο κατασκευάζονται τα δοχεία δειγματοληψίας, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δείγματος, και τις παραμέτρους που θέλουμε να προσδιορίσουμε. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή αυτή είναι οι προσροφητικές ιδιότητες των επιφανειών των δοχείων και οι προσμίξεις που ενδέχεται να περιέχονται στο υλικό κατασκευής.

Τα δοχεία από γυαλί έχουν τα παρακάτω μειονεκτήματα :

- Εμφανίζουν ιονανταλλακτικές ιδιότητες. Έτσι είναι δυνατόν να μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις ορισμένων κατιόντων του δείγματος.
- Αυξάνουν τη συγκέντρωση των πυριτικών και ελαττώνουν τη συγκέντρωση των φθοριούχων
- Προκαλούν μικρή αύξηση του pH.
- Είναι εύθραυστα.

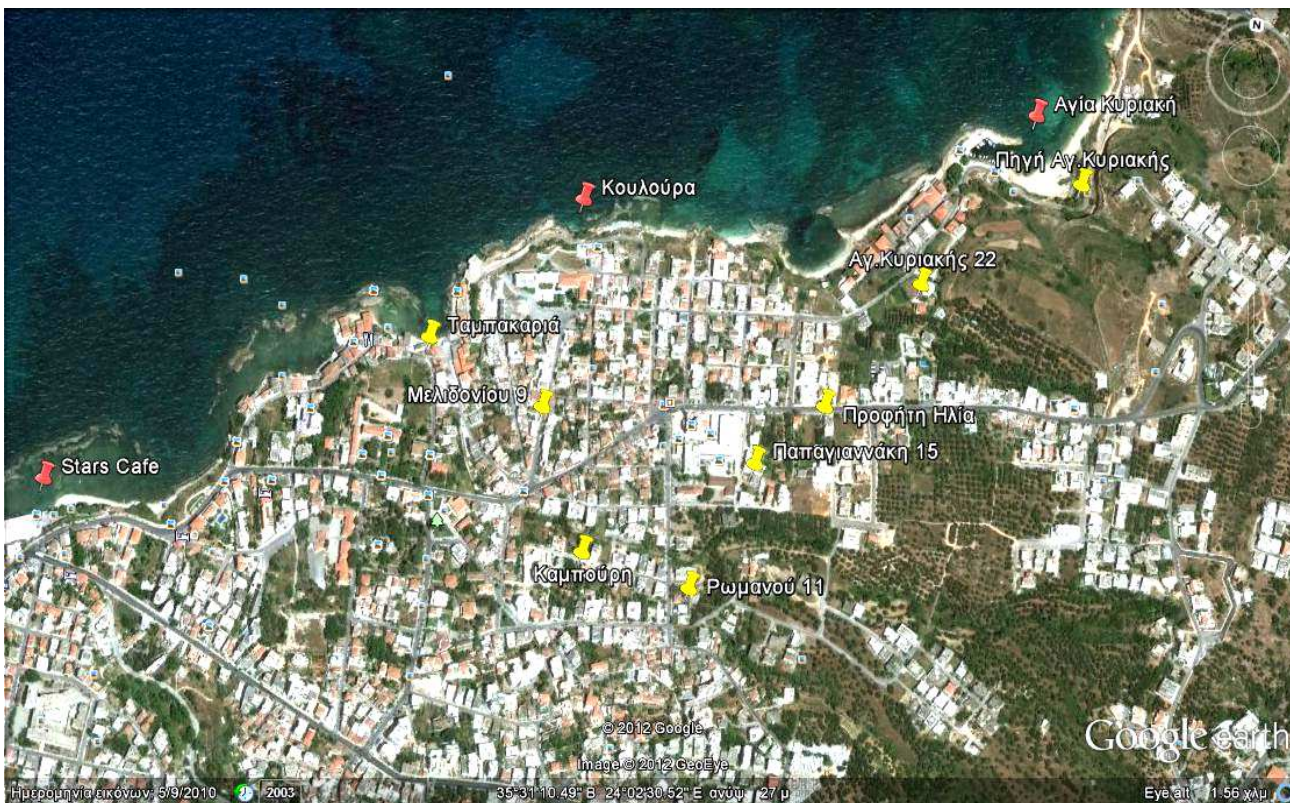
Για τον λόγο αυτό προτιμώνται οι υποδοχείς από σκληρό γυαλί (Pyrex) και όχι από μαλακό. Από την άλλη πλευρά, τα δοχεία από πολυαιθυλένιο βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στη μεταφορά δειγμάτων μια και είναι πιο εύκολα στο χειρισμό από τα γυάλινα. Αντενδείκνυνται όμως για την μεταφορά δειγμάτων στα οποία πρόκειται να προσδιοριστούν φυτοφάρμακα, πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, λίπη - έλαια, φωσφορικά, φθοριούχα και βορικά. Ανεξάρτητα από το τύπο του δοχείου, αυτό πριν την συλλογή του δείγματος πρέπει να ξεπλυθεί καλά με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Όσον αφορά το σχήμα των δοχείων συλλογής, ενδείκνυνται φιάλες με ευρύ στόμιο, δεδομένου ότι διευκολύνεται τόσο το γέμισμα όσο και το άδειασμα του δείγματος από τη φιάλη. Ωστόσο στην περίπτωση δειγμάτων που συλλέγονται για ανάλυση μετάλλων, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή γιατί τα μεταλλικά καλύμματα στα πώματα μπορεί να επιβαρύνουν το δείγμα με μέταλλα ή να αναπτυχθούν αντιδράσεις ανάμεσα στο μεταλλικό υλικό του καλύμματος και το διάλυμα του δείγματος εάν αυτό είναι όξινο ή αλκαλικό.

Μετά τη συλλογή των δειγμάτων, ακολουθεί άμεση μεταφορά τους στο εργαστήριο όπου θα διεξαχθούν οι αναλύσεις. Επειδή συνήθως δεν είναι δυνατόν χρονικά, η ανάλυση να γίνει αμέσως μετά τη δειγματοληψία και παρεμβάλλεται κάποιο διάστημα από τη στιγμή της δειγματοληψίας μέχρι την ανάλυση, πρέπει με κάποιο τρόπο να διατηρηθεί το δείγμα στην αρχική του κατάσταση (θερμοκρασία, σύσταση). Γι' αυτό, ο συνηθέστερος τρόπος διατήρησης των δειγμάτων μέχρι την ανάλυση, είναι η αποθήκευσή τους σε φορητό ψυγείο θερμοκρασίας 4 °C (νερό με πάγο) αμέσως μετά τη συλλογή τους. Έτσι επιτυγχάνεται η αναστολή ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων.

Για πολλές παραμέτρους είναι απαραίτητος ο άμεσος προσδιορισμός τους, ενώ για άλλες μπορεί να γίνει κατάλληλη αποθήκευση - συντήρηση του δείγματος και προσδιορισμός τους σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με τη φύση του δείγματος, εφαρμόζονται τεχνικές συντήρησης που σκοπεύουν κυρίως στην επιβράδυνση των βιολογικών δράσεων, της υδρόλυσης των χημικών ενώσεων και συμπλόκων καθώς και στη μείωση της πτητικότητας ορισμένων συστατικών που υφίσταται το δείγμα από τη χρονική στιγμή της συλλογής του, εμποδίζοντας έτσι την αλλοίωση της σύστασής του.

Αν πρόκειται να εξετάσουμε ένα δείγμα νερού ως προς την παρουσία μετάλλων, πρέπει να προηγηθεί διήθηση από ηθμό 0,45 μm και να οξυνίζεται μέρος του δείγματος με νιτρικό οξύ (HNO₃). Με τη διήθηση απομακρύνονται τα αιωρούμενα συστατικά ενώ η οξύνηση γίνεται για να κρατηθούν τα μέταλλα σε διάλυση.

Οι θέσεις δειγματοληψίας (πηγάδια, πηγή, παραλίες) βρίσκονται στην περιοχή της Χαλέπας, προάστιο των Χανίων. Συγκεκριμένα ελήφθησαν δείγματα νερού από τα εξής σημεία, όπως φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 102: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, με τις θέσεις δειγματοληψίας (πηγάδια - παραλίες)

Οι δειγματοληψίες για τον ποιοτικό έλεγχο τόσο του υπόγειου νερού όσο και του νερού κλύμησης στην περιοχή της Χαλέπας πραγματοποιήθηκαν ανά μήνα, από τον Απρίλιο μέχρι και τον Οκτώβριο του 2012. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν στο εργαστήριο “**Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων**” του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του ΤΕΙ Κρήτης και προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η συλλογή των δειγμάτων δεν άρχισε τον ίδιο μήνα σε όλα τα σημεία. Σε δύο από τα επτά συνολικά πηγάδια άρχισε αργότερα, επειδή οι ιδιοκτήτες κατοικούν σε άλλη περιοχή και δεν ήταν εύκολος ο εντοπισμός τους ώστε να ενημερωθούν και να επιτρέψουν την λήψη δείγματος νερού από τα πηγάδια τους. Στο ένα από αυτά (Ρωμανού) άρχισε τον Ιούνιο και στο άλλο (Μελιδονίου) τον Ιούλιο. Όσον αφορά την άντληση του νερού από τα πηγάδια, χρησιμοποιήθηκαν τα αντλητικά συστήματα που έχουν τοποθετηθεί στα περισσότερα ενώ σε ένα η άντληση γινόταν με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή με την ρίψη μεταλλικού δοχείου (κουβά).

Η συλλογή των δειγμάτων από τα πηγάδια και την πηγή έγινε απευθείας με πλαστικό δοχείο από πολυαιθυλένιο (Εικόνα 103), ενώ στις παραλίες η συλλογή των δειγμάτων έγινε με την βοήθεια κατάλληλου δειγματολήπτη με πτυσσόμενο κοντάρι (Εικόνα 104).



Εικόνα 103: Δοχείο συλλογής νερού



Εικόνα 104: Δειγματολήπτης συλλογής νερού

Αναλυτικά τα σημεία δειγματοληψίας είναι τα εξής :

1) Ταμπακαριά

Η συλλογή των δειγμάτων νερού έγινε από πηγάδι το οποίο βρίσκεται επί της οδού Λάκκων σε ενεργό βυρσοδεφείο που βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα. Στο πηγάδι έχει τοποθετηθεί αντλία και το νερό που αντλείται χρησιμοποιείται στην πρώτη φάση επεξεργασίας των δερμάτων (πρώτο μαλάκωμα). Στη γύρω περιοχή βρίσκονται κατοικίες και άλλα ερειπωμένα βυρσοδεφεία.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35 ° 31 ' 11,52 ' ' Β 24°02 ' 17,77 ' ' Ε

Υψόμετρο : 1 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 10 m

Βάθος πηγαδιού : 6 m



Εικόνα 105: Άποψη της περιοχής Ταμπακαριά



Εικόνα 106: Εσωτερικός χώρος βυρσοδεφείου

2) Μελιδονίου

Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν από πηγάδι που βρίσκεται σε αυλή κατοικίας στην οδό Μελιδονίου. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πυκνή δόμηση και σε απόσταση 20 m, στα κατάντη του πηγαδιού, λειτουργεί πρατήριο υγρών καυσίμων.



Εικόνα 107: Άποψη του πηγαδιού

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 09,30 ' ' Β 24°02 ' 24,48 ' ' Ε

Υψόμετρο : 19 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 165 m

Βάθος πηγαδιού : 30 m

Σε χαμηλότερο υψόμετρο επίσης και σε πολύ κοντινή απόσταση υπάρχει κοίτη ξηραμένου ποταμού. Οι δειγματοληψίες νερού από αυτό το πηγάδι άρχισαν τρεις μήνες αργότερα από ότι στα υπόλοιπα.

3) Γ.Καμπούρη

Η άντληση των δειγμάτων νερού έγινε από πηγάδι το οποίο βρίσκεται στην αυλή ερειπωμένου σπιτιού που υπάρχει στην οδό Γεωργίου Καμπούρη. Χρησιμοποιείται σήμερα για την άρδευση περιβολιών, που υπάρχουν σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτό. Η περιοχή γύρω από το πηγάδι παρουσιάζει ιδιαίτερα πυκνή δόμηση.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 03,39 ' ' Β 24° 02 ' 27,64 ' ' Ε

Υψόμετρο : 20 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 327 m

Βάθος πηγαδιού : 22 m



Εικόνα 108: Το ερειπωμένο σπίτι σήμερα



Εικόνα 109: Άποψη του πηγαδιού

4) Ρωμανού

Τα δείγματα νερού αντλήθηκαν από πηγάδι που βρίσκεται στην αυλή εγκαταλελειμμένου σπιτιού που υπάρχει στην οδό Ρωμανού και χρησιμοποιείται για την άρδευση λαχανόκηπου. Το πηγάδι αυτό περιβάλλεται από οικίες και στα ΒΔ του υπάρχει μεγάλης έκτασης ελαιώνας.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 02,60 ' ' Β 24° 02 ' 33,64 ' ' Ε

Υψόμετρο : 26 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 394 m

Βάθος πηγαδιού : 25 m



Εικόνα 110: Άποψη του πηγαδιού



Εικόνα 111: Είσοδος για το προαύλιο του σπιτιού

Οι δειγματοληψίες νερού από αυτό το πηγάδι άρχισαν δύο μήνες αργότερα από ότι στα άλλα πηγάδια.

5) Παπαγιαννάκη

Η συλλογή των δειγμάτων νερού έγινε από πηγάδι το οποίο βρίσκεται πλησίον του ΤΕΙ, επί της οδού Παπαγιαννάκη, σε αυλή εγκαταλελειμμένου σπιτιού. Στο πηγάδι αυτό έχει τοποθετηθεί αντλία και χρησιμοποιείται για την άρδευση περιβολιού από ιδιοκτήτες γειτονικής οικίας. Περιβάλλεται από οικίες, ενώ στα Α - ΝΑ εκτείνονται μεγάλες εκτάσεις με ελαιόδεντρα.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 08,34 ' ' Β 24° 02 ' 36,30 ' ' Ε

Υψόμετρο : 29 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 320 m

Βάθος πηγαδιού : 28 m



Εικόνα 112: Το εγκαταλελειμμένο σπίτι σήμερα



Εικόνα 113: Άποψη του πηγαδιού

6) Προφήτη Ηλία

Τα δείγματα νερού αντλήθηκαν από πηγάδι που βρίσκεται σε αγροτεμάχιο επί της οδού Προφήτη Ηλία και χρησιμοποιείται για την άρδευση περιβολιού. Βόρεια και δυτικά του πηγαδιού η δόμηση είναι ιδιαίτερα πυκνή ενώ στα Β - ΒΑ υπάρχουν μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 10,83 ' ' Β 24° 02 ' 37,39 ' ' Ε

Υψόμετρο : 30 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 192 m

Βάθος πηγαδιού : 29 m



Εικόνα 114: Άποψη του πηγαδιού

Σύμφωνα με πληροφορίες του ιδιοκτήτη, στο σημείο αυτό, δεν υπάρχει "φλέβα" νερού αλλά το πηγάδι γεμίζει με σταλάγματα από τα λιθόχτιστα τοιχώματά του τα οποία προέρχονται από τα περιβάλλοντα γεωλογικά στρώματα. Για να γεμίσει χρειάζεται 5 με 6 ώρες και η στήλη του νερού φτάνει τα 7 m.

7) Αγίας Κυριακής

Η άντληση των δειγμάτων νερού έγινε από πηγάδι το οποίο βρίσκεται σε αυλή οικίας επί της οδού Αγίας Κυριακής και χρησιμοποιείται για την άρδευση περιβολιού. Στην βόρεια πλευρά του γειτνιάζει με ενεργό βυρσοδεφείο και σε μεγαλύτερο υψόμετρο, στα Α - ΝΑ, υπάρχουν εκτάσεις με ελαιόδεντρα.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 16,74 ' ' Β 24° 02 ' 43,98 ' ' Ε

Υψόμετρο : 15 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 117 m

Βάθος πηγαδιού : 18 m



Εικόνα 115: Άποψη του πηγαδιού



Εικόνα 116: Βυρσοδεφείο πλησίον του πηγαδιού

8) Πηγή Αγίας Κυριακής

Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν από την πηγή που βρίσκεται κοντά στη παραλία της Αγίας Κυριακής. Στα νότια του σημείου, σε μεγαλύτερο υψόμετρο, υπάρχουν οικίες και καλλιεργήσιμες εκτάσεις με μεγάλη κλίση.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο

Συντεταγμένες : 35° 31 ' 21,80 ' ' Β 24° 02 ' 51,84 ' ' Ε

Υψόμετρο : 0 m

Απόσταση από τη θάλασσα : 20 m



Εικόνα 117: Άποψη πηγής Αγ.Κυριακής



Εικόνα 118: Άποψη πηγής Αγ.Κυριακής

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ροή του νερού στη πηγή τον μήνα Ιούνιο ήταν αρκετά μειωμένη. Ο χρόνος που απαιτήθηκε για να γεμίσει το δοχείο συλλογής 2 λίτρων ήταν διπλάσιος αυτού που απαιτήθηκε τον

προηγούμενο μήνα. Τον επόμενο μήνα όμως η ροή του νερού αυξήθηκε πάλι. Στον πίνακα 12 αποτυπώνονται οι τιμές της παροχής του νερού καθ'όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Το γεγονός ότι η τιμή της παροχής παρουσιάζει τόσο μεγάλη μείωση μόνο τον έναν από τους θερινούς μήνες, υποδηλώνει την επίδραση ανθρωπογενούς παρέμβασης και όχι την επίδραση φυσικών παραγόντων (π.χ μείωση βροχοπτώσεων). Για να ερμηνευτεί όμως το φαινόμενο αυτό, χρειάζεται ειδική διερεύνηση των πηγών τροφοδοσίας της συγκεκριμένης πηγής με νερό. Τον μήνα Μάιο τοποθετήθηκε στην πηγή ταμπέλα με την επισήμανση που φαίνεται στην εικόνα 120.



Εικόνα 119: Άποψη πηγής Αγ.Κυριακής



Εικόνα 120: Σήμανση ακαταλληλότητας του νερού

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 122, τον Ιούλιο μήνα στην πηγή παρατηρείται πλούσια άνθηση του φυτοπλαγκτού συγκριτικά με τον Μάιο όπου το φυτοπλαγκτόν δεν υπάρχει στο νερό. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου



Εικόνα 121: Πηγή Αγ.Κυριακής (3/5/2012)



Εικόνα 122: Πηγή Αγ. Κυριακής (2/7/2012)

καθώς και φωσφορικών ιόντων στη κλειστή αυτή υδάτινη μάζα, τα οποία αποτελούν δείκτη ρύπανσης των υδάτων και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών στους υδάτινους αποδέκτες, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Πίνακας 12: Τιμές της παροχής του νερού ανά μήνα

Μήνες δειγματοληψίας	Όγκος δοχείου συλλογής νερού	Χρόνος που χρειάστηκε για να γεμίσει το δοχείο (min)	Παροχή (L/min)
Απρίλιος	2 L	-	-
Μάιος		0,75	2,67
Ιούνιος		1,20	1,67
Ιούλιος		0,88	2,27
Αύγουστος		0,90	2,22
Σεπτέμβριος		0,85	2,35
Οκτώβριος		0,80	2,50

A) Παραλία Αγίας Κυριακής

Η ονομασία της οφείλεται στον ομώνυμο ναό της Αγίας Κυριακής. Στο δυτικό άκρο της παραλίας υπάρχει μικρό λιμάνι - αλιευτικό καταφύγιο. Στην ίδια κατεύθυνση εκτείνεται επίσης ένα τμήμα της συνοικίας των Ταμπακαριών με 2 ενεργά βυρσοδεψεία και μια ταβέρνα



Εικόνα 123: Παραλία Αγίας Κυριακής



Εικόνα 124: Αλιευτικό καταφύγιο Αγ.Κυριακής

B) Παραλία Κουλούρα

Η ομώνυμη παραλία βρίσκεται στη μέση περίπου της ακτογραμμής της περιοχής της Χαλέπας. Η πρόσβαση στη παραλία γίνεται με σκάλα λόγω της απόκρημνης βραχώδους ακτής ύψους περίπου 12 m. Η περιοχή κοντά στην παραλία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πυκνή δόμηση.



Εικόνα 125: Η παραλία της Κουλούρας



Εικόνα 126: Σκάλα που οδηγεί στην παραλία

Γ) Παραλία "Stars Cafe"

Η παραλία που υπάρχει μπροστά από τον επαγγελματικό χώρο Stars Cafe είναι η πλησιέστερη στην πόλη των Χανίων. Στο ύψος του κεντρικού δρόμου υπάρχει και μια ψαροταβέρνα. Η περιοχή κοντά στην παραλία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πυκνή δόμηση.



Εικόνα 127: Άποψη της παραλίας



Εικόνα 128: Επαγγελματικός χώρος Stars Cafe

7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Απο τις δειγματοληψίες νερού που πραγματοποιήθηκαν σε 11 θέσεις στην περιοχή της Χαλέπας μετρήθηκαν 28 παράμετροι (φυσικοχημικές, βιοχημικές, μικροβιολογικές), ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα τόσο των υπόγειων νερών όσο και των νερών κολύμβησης σε παραλίες της περιοχής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε δύο από τις θέσεις των δειγματοληψιών η συλλογή δειγμάτων νερού δεν ξεκίνησε τον μήνα Απρίλιο, όπως στις υπόλοιπες θέσεις. Συγκεκριμένα, στη θέση Ρωμανού οι δειγματοληψίες άρχισαν τον μήνα Ιούνιο ενώ στη θέση Μελιδονίου τον μήνα Ιούλιο, λόγω απουσίας των ιδιοκτητών των πηγαδιών και ως εκ τούτου δυσκολίας πρόσβασης στους αντίστοιχους χώρους.

Όσον αφορά τον μικροβιολογικό έλεγχο, πραγματοποιήθηκαν αραιώσεις σε όλα τα δείγματα γλυκού νερού που συλλέχθηκαν από τα πηγάδια και την πηγή.

Πίνακας 13: Βαθμοί αραιώσης στα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν

Θέσεις δειγματοληψίας	Βαθμός αραιώσης για κάθε μικροβιολογικό δείκτη		
	Total Coliforms	E – coli	Enterococcus
Ταμπακαριά	1:20	1:20	1:20
Μελιδονίου	1:20	1:20	1:1
Γ.Καμπούρη	1:100	1:100	1:100
Ρωμανού	1:20	1:20	1:20
Παπαγιαννάκη	1:100	1:100	1:10
Προφήτη Ηλία	1:100	1:20	1:1
Αγίας Κυριακής	1:4	1:4	1:1
Πηγή Αγ.Κυριακής	1:2	1:2	1:1

Οι αραιώσεις στα δείγματα αλμυρού νερού που συλλέχθηκαν από τις παραλίες είναι οι εξής :

Αγίας Κυριακής	1:2	1:2	1:1
Κουλούρα	1:2	1:1	1:1
Stars Cafe	1:1	1:1	1:1

Αναλυτικά οι λόγοι αραιώσης είναι :

(1:1) = 100 ml δείγματος + 0 ml απιονισμένο νερό, (1:2) = 50 ml δείγματος + 50 ml απιονισμένο νερό
 (1:4) = 25 ml δείγματος + 75 ml απιονισμένο νερό, (1:10) = 10 ml δείγματος + 90 ml απιονισμένο νερό
 (1:20) = 5 ml δείγματος + 95 ml απιονισμένο νερό, (1:100) = 1 ml δείγματος + 99 ml απιονισμένο νερό

Τέλος, όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, πρέπει να αναφερθεί ότι τους τρεις τελευταίους μήνες των δειγματοληψιών δεν προσδιορίστηκε η συγκέντρωσή τους λόγω βλάβης του οργάνου μέτρησης.

Επίσης, τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τη θέση Ταμπακαριά, λόγω της υψηλής αλατότητας που παρουσίαζαν, δεν εξετάστηκαν ως προς τα βαρέα μέταλλα, διότι υπήρχε κίνδυνος φθοράς - βλάβης του οργάνου μέτρησης (φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης).

Πίνακας 14: Ελάχιστο όριο ανίχνευσης οργάνου για κάθε μέταλλο

Βαρέα μέταλλα	Ελάχιστο όριο ανίχνευσης
Μαγγάνιο (Mn)	1.0 µg/L
Κοβάλτιο (Co)	0.212 µg/L
Χαλκός (Cu)	0.076 µg/L
Νικέλιο (Ni)	1.506 µg/L
Χρώμιο (Cr)	0.115 µg/L
Κάδμιο (Cd)	0.009 µg/L
Σίδηρος (Fe)	1.0 µg/L
Μόλυβδος (Pb)	1.202 µg/L
Υδράργυρος (Hg)	0.048 µg/L

7.1.1 Αποτελέσματα αναλύσεων στα δείγματα νερού από τα πηγάδια και τη πηγή

1) ΤΑΜΠΑΚΑΡΙΑ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Κυμαίνεται μεταξύ 7,15 και 7,63 παίρνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 9/5/2012 και την μέγιστη τον αμέσως επόμενο μήνα στις 3/4/2012 που αποτελεί και την πιο σημαντική μεταβολή. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων (6,5 - 8,5) που προβλέπονται από τη νομοθεσία. Η μέση τιμή του είναι ίση με 7,4 και υποδηλώνει την αλκαλική συμπεριφορά του υπόγειου νερού. (Σχ. 1)

Η **αγωγιμότητα** με ελάχιστη τιμή 5830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 3/4/2012 εμφανίζει γενικά αυξητική τάση η οποία διαταράσσεται στις 3/7/2012, όταν η τιμή της εκτινάσσεται και φτάνει το ύψος των 13190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που είναι και η μέγιστη. Τον επόμενο μήνα όμως επανέρχεται στο ίδιο σχεδόν επίπεδο που είχε στις 1/6/2012 κάτι που αποτελεί ένδειξη της επίδρασης κάποιου ειδικού παράγοντα σε αυτή τη δειγματοληψία. Η επόμενη υψηλή τιμή είναι 7040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και σημειώνεται στις 3/9/2012. Οι τιμές αυτές της αγωγιμότητας υπερβαίνουν το προβλεπόμενο από την νομοθεσία ανώτερο όριο των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για το πόσιμο νερό. (Σχ. 1)

Την ίδια διακύμανση τιμών παρουσιάζουν και όλες οι παράμετροι οι οποίες έχουν άμεση σύνδεση με την αγωγιμότητα, παίρνοντας την ελάχιστη τιμή τους στις 3/4/2012 και την μέγιστη στις 3/7/2012, με τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 3080 - 3740 mg/L
- Η **αλατότητα** από 3,2 - 3,9 $\text{sal} (\%)$
- Η **σκληρότητα** από 3320 - 4200 mg/L
- Τα **χλωριόντα** από 1605,5 - 2345,3 mg/L
- Το **νάτριο** από 809,5 - 1088,9 mg/L

Το ίδιο ισχύει επίσης και για το κάλιο και το μαγνήσιο. Και αυτές οι παράμετροι εμφανίζουν επίσης μια μεγάλη μεταβολή στις 3/7/2012 παίρνοντας την υψηλότερη τιμή τους που επανέρχονται όμως τον επόμενο μήνα στα επίπεδα που είχαν πριν την απότομη αυτή μεταβολή. Έτσι, το **κάλιο** κυμαίνεται από 33,8 έως 45,2 mg/L και το **μαγνήσιο** από 132 mg/L έως 150,5 mg/L . (Σχ. 1/2/3)

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω υπερβαίνουν κατά πολύ τα ανώτερα επιτρεπτά όρια καθιστώντας το νερό ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο.

Αυτή η μεγάλη μεταβολή που σημειώνεται στις 3/7/2012 και δίνει τόσο υψηλές τιμές, πιθανόν να οφείλεται στην άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από το πηγάδι κάποιες ώρες πριν από την δειγματοληψία, με αποτέλεσμα την εισροή θαλασσινού νερού στο παράκτιο υδροφορέα, γεγονός που επηρεάζει τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων.

Η **θολερότητα** παρουσιάζει γενικά διακύμανση στις τιμές της. Κυμαίνεται μεταξύ 1,7 και 3 NTU σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της στις 1/6/2012 και την μέγιστη στις 3/7/2012 και στις 9/10/2012. (Σχ. 1)

Τα **νιτρικά ιόντα** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους και κυμαίνονται μεταξύ 26,1 mg/L και 34,1 mg/L . Η μεγαλύτερη τιμή τους εμφανίζεται στις 3/4/2012 και η μικρότερη στις 3/7/2012. Αν και οι τιμές αυτές βρίσκονται πάνω από το επιθυμητό όριο των 25 mg/L δεν υπερβαίνουν τα 50 mg/L που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό. (Σχ. 2)

Τα **αμμωνιακά ιόντα** τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών (3/4/2012) δεν ξεπερνούν το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. Η ελάχιστη τιμή τους, 0,028 mg/L καταγράφεται στις 1/6/2012 και η μέγιστη, 0,068 mg/L , στις 3/7/2012. Γενικά τα αμμωνιακά ιόντα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, αν λάβουμε υπόψιν ότι το όριό τους για το πόσιμο νερό είναι τα 0,5 mg/L . (Σχ. 2)

Τα **φωσφορικά ιόντα** έχουν γενικά αυξημένη συγκέντρωση και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή τους, 0,052 mg/L , στις 2/8/2012 και τη μέγιστη, 0,264 mg/L , στις 9/10/2012. Το ανώτερο επιτρεπτό όριο σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία είναι τα 0,4 mg/L . (Σχ. 2)

Όσον αφορά τα **θειικά ιόντα** παρουσιάζουν υψηλές γενικά συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν το προβλεπόμενο ανώτερο όριο των 250 mg/L όλους τους μήνες των δειγματοληψιών εκτός από τον τελευταίο στις 9/10/2012 που εμφανίζουν την ελάχιστη τιμή των 146 mg/L . Στις 3/7/2012 παρατηρείται η ίδια επίσης μεταβολή με αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω στη παράμετρο της αγωγιμότητας και η συγκέντρωση των θειικών ιόντων παίρνουν την μέγιστη τιμή των 792 mg/L . Η παρουσία των θειικών ιόντων στο νερό συνδέεται με λιπάσματα ή βιομηχανικά απόβλητα. (Σχ. 2)

Η συγκέντρωση του **ασβεστίου** εμφανίζει αυξητική τάση από τις 3/4/2012 που καταγράφεται η ελάχιστη τιμή των 108,1 mg/L μέχρι και τις 3/7/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 158 mg/L . Τους επόμενους μήνες των δειγματοληψιών σημειώνεται πτωτική τάση. (Σχ. 3)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** εκτός από τον τελευταίο μήνα που μειώνεται πάνω από μισή μονάδα και παίρνει την ελάχιστη τιμή του, $7,26 \text{ mg/L}$, δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές και διατηρείται κοντά στο επίπεδο των 8 mg/L . Η μέγιστη τιμή του, $8,23 \text{ mg/L}$, σημειώνεται στις 2/8/2012. Σύμφωνα με την νομοθεσία τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν D.O σε ποσοστό 75 % τουλάχιστον του βαθμού κορεσμού τους. Δηλαδή δεν πρέπει να πέφτει κάτω από τα 7 mg/L . (Σχ. 1)

Το **BOD** κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 mg/L . Η ανώτερη τιμή των 2 mg/L εμφανίζεται στις 9/5/2012 και παραμένει σταθερή και στις δυο επόμενες δειγματοληψίες (1/6/2012 και 3/7/2012). Τους δύο μήνες που ακολουθούν μειώνεται και παίρνει την τιμή του 1 mg/L αλλά στη τελευταία δειγματοληψία επανέρχεται στην υψηλότερη τιμή του. (Σχ. 1)

Το **COD** κυμαίνεται μεταξύ $4,2 \text{ mg/L}$ και $6,9 \text{ mg/L}$ σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 3/4/2012 και την μέγιστη στις 9/10/2012. Αξιοσημείωτο είναι ότι τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών στις 9/10/2012, η τιμή του COD υπερβαίνει τη μέση τιμή των προηγούμενων μετρήσεων και σχεδόν διπλασιάζεται. (Σχ. 2)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτήρια (Total Coliforms)** εμφανίζουν μια αύξηση του πληθυσμού τους μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης δειγματοληψίας ενώ στη συνέχεια παρατηρείται σταδιακή μείωση η οποία στις 3/9/2012 γίνεται εντονότερη και σταθεροποιείται. Η μέγιστη τιμή των TC που καταμετρήθηκε παρουσιάζεται στις 9/5/2012 και ανέρχεται στις 680 αποικίες/100ml δείγματος νερού και η ελάχιστη στις 3/9/2012 και 9/10/2012 με 240 αποικίες/100 ml. (Σχ. 2)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms/E-coli)** σημειώνουν την μέγιστη τιμή τους τον ίδιο μήνα με αυτή των TC στις 9/5/2012 με 500 αποικίες/100 ml. Τον επόμενο μήνα ο αριθμός αποικιών τους μειώνεται αισθητά αλλά στις επόμενες δειγματοληψίες αυξάνεται πάλι μέχρι και τις 2/8/2012 οπότε αρχίζει να ξαναμειώνεται σταδιακά παίρνοντας την ελάχιστη τιμή τον τελευταίο μήνα στις 9/10/2012 με 160 αποικίες/100 ml. (Σχ. 2)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Ο υψηλότερος αριθμός αποικιών σημειώνεται στις 3/4/2012 με 320 αποικίες/100 ml και ο μικρότερος στις 9/5/2012 και 2/8/2012 με 20 αποικίες/100 ml. (Σχ. 3)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Δεν μετρήθηκαν επειδή το νερό στη συγκεκριμένη θέση, η οποία γειτνιάζει με τη θάλασσα, εμφανίζει υψηλή αλατότητα και υπήρχε κίνδυνος να προκληθεί κάποια βλάβη/φθορά στο όργανο μέτρησης (φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης).

Συμπερασματικά από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υφαλμύριση του υπόγειου νερού
- 2) Υψηλή συγκέντρωση θεϊκών ιόντων που υπερβαίνει το προβλεπόμενο από την νομοθεσία ανώτερο όριο των 250 mg/L για το πόσιμο νερό
- 3) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο

Επομένως το νερό χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο. Επίσης λόγω της υψηλής του αλατότητας θεωρείται ακατάλληλο και για την άρδευση ορισμένων τύπων καλλιεργειών.

2) ΜΕΛΙΔΟΝΙΟΥ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** έχει μέση τιμή ίση με 6,92 υποδηλώνοντας την ελαφρώς όξινη συμπεριφορά του υπόγειου νερού. Η ελάχιστη τιμή του καταγράφεται τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 18/7/2012 και είναι 6,73 και η μέγιστη στις 26/9/2012 με τιμή 7,12. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων (6,5 - 8,5) που προβλέπονται από τη νομοθεσία. (Σχ. 4)

Η **αγωγιμότητα** δεν ξεπερνά το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και εμφανίζει αυξητική τάση από τις 18/7/2012 που σημειώνει την ελάχιστη τιμή των 720 $\mu\text{S}/\text{cm}$ μέχρι τις 26/9/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 806 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τον επόμενο και τελευταίο μήνα η τιμή της παρουσιάζει μικρή μείωση. (Σχ. 4)

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όλες οι παράμετροι οι οποίες συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα και έχουν τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 351 - 394 mg/L
- Η **σκληρότητα** από 252 - 256 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,3 - 0,4 sal (‰)
- Τα **χλωριόντα** από 60,98 - 79,98 mg/L
- Το **νάτριο** από 40,1 - 85,5 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται κάτω από τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 4/5/6)

Η **θολερότητα** κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,9 NTU. Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 24/8/2012 και η μέγιστη στις 26/9/2012 (Σχ. 4). Οι μεγαλύτερες τιμές της θολερότητας, μπορούν να συσχετιστούν εκτός των άλλων και με το υψηλό φορτίο που εμφανίζουν οι μικροβιολογικοί δείκτες.

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** με μέση τιμή 78,04 mg/L βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα υπερβαίνοντας κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L καθ'όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Από τις 18/7/2012 που σημειώνεται η ελάχιστη τιμή των 60,66 mg/L , παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσής τους παίρνοντας στις 26/9/2012 την μέγιστη τιμή των 87,23 mg/L (Σχ. 5). Η επιβάρυνση του υπόγειου νερού με νιτρικά ιόντα συν τοις άλλοις μπορεί να συνδέεται και με την θέση του, αφού σε πολύ κοντινή απόσταση και σε χαμηλότερο υψόμετρο υπάρχει κοίτη ξηραμένου ποταμού που πιθανόν να συγκεντρώνει τις εκκλύσεις των εκτάσεων στις οποίες έχει γίνει χρήση λιπασμάτων. Δεδομένου ότι το βάθος του πηγαδιού είναι 30 m είναι πιθανόν το υπόγειο νερό του υδροφορέα να τροφοδοτείται και με τις απορροές αυτές. Επίσης μπορεί να σχετίζεται και με την διαδικασία της νιτροποίησης. Δηλαδή την μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους. Η ελάχιστη τιμή τους, 0,034 mg/L , καταγράφεται στις 24/8/2012 με απόκλιση 29 % από τη μέση τιμή η οποία είναι 0,048 mg/L και η μέγιστη, 0,072 mg/L , στις 26/9/2012 με απόκλιση 50 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 5)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** με μικρές διακυμάνσεις στις τιμές τους κυμαίνονται μεταξύ 0,11 και 0,15 mg/L σημειώνοντας την μέγιστη τιμή τους στις 26/9/2012 και την ελάχιστη στις 18/10/2012.

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** ακολουθούν αυξητική πορεία από τις 18/7/2012 που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 58 mg/L , και έχουν απόκλιση 22 % από τη μέση τιμή (74,25 mg/L), μέχρι τις 26/9/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 81 mg/L . Η μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσής τους (κατά 20 mg/L) παρατηρείται μεταξύ πρώτης και δεύτερης δειγματοληψίας. (Σχ. 5)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και παρουσιάζει φθίνουσα πορεία από τις 18/7/2012 που καταγράφεται η μέγιστη τιμή του, 7,32 mg/L , μέχρι τις 18/10/2012 που παίρνει την ελάχιστη τιμή των 4,43 mg/L . Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται μεταξύ πρώτης και δεύτερης δειγματοληψίας και είναι της τάξης των 2,06 mg/L (Σχ. 4). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν D.O σε ποσοστό 75 % τουλάχιστον του βαθμού κορεσμού τους. Δηλαδή η τιμή του D.O δεν πρέπει να πέφτει κάτω από τα 7 mg/L σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η τόσο χαμηλή περιεκτικότητα του νερού σε D.O και η συνεχής μείωσή του πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Το **BOD** είναι δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης του νερού από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα. Αν εξαιρέσουμε τον τρίτο μήνα των δειγματοληψιών στις 26/9/2012 που σημειώνει πτώση και παίρνει την τιμή των 2 mg/L όλους τους υπόλοιπους μήνες διατηρείται σταθερό με τιμή 3 mg/L . (Σχ. 4)

Το **COD** κυμαίνεται μεταξύ 5,2 και 7,4 mg/L . Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στις 26/9/2012 και η ελάχιστη τον τελευταίο μήνα στις 18/10/2012 (Σχ. 5). Το COD είναι ένας σημαντικός δείκτης

της εκτίμησης της ρύπανσης του νερού όχι μόνο με οργανική ύλη αλλά και με χημικές ουσίες. Έτσι οι τιμές που παίρνει καθ'όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών και ειδικά τον Σεπτέμβρη, δείχνουν ότι υπάρχει επιβάρυνση του νερού με ρυπαντικές ουσίες. Η ρύπανση αυτή φαίνεται ότι οφείλεται κυρίως σε χημικές ουσίες αν λάβουμε υπόψιν μας τις τιμές του BOD που παρουσιάζουν αντίστροφη διακύμανση και δεν μας υποψιάζουν για ρύπανση από οργανική ύλη (μικροοργανισμούς - βακτήρια). Να σημειωθεί ότι στα κατάντη του πηγαδιού και σε κοντινή απόσταση λειτουργεί πρατήριο υγρών καυσίμων που πιθανόν να συμβάλλει στη ρύπανση (π.χ διαρροή υπόγειων δεξαμενών) κάτι που όμως δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί χωρίς περαιτέρω έλεγχο.

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις του πληθυσμού τους. Ο μέγιστος αριθμός τους καταγράφεται τον πρώτο μήνα στις 18/7/2012 με *280 αποικίες/100 ml* και ο ελάχιστος τον τελευταίο μήνα στις 18/10/2012 με *140 αποικίες/100 ml*. (Σχ. 5)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms/E-coli)** εμφανίζουν φθίνουσα πορεία από τις 18/7/2012 που σημειώνεται ο μέγιστος αριθμός τους με *240 αποικίες/100 ml* μέχρι τις 18/10/2012 που έχουν ελάχιστο αριθμό τις *80 αποικίες/100 ml*. (Σχ. 5)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** επίσης ακολουθούν φθίνουσα πορεία από τις 18/7/2012 που παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους με *60 αποικίες/100 ml*, μέχρι και τις 18/10/2012 που παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό τους με *4 αποικίες/100 ml*. (Σχ. 6)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** έχει γενικά αυξημένες τιμές χωρίς όμως να ξεπερνά τα *12 mg/L* που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό. Κυμαίνεται μεταξύ *4,9* και *6,1 mg/L* σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 18/7/2012 και την μέγιστη στις 26/9/2012 (Σχ. 6). Η παρουσία του καλίου συνδέεται με την χρήση λιπασμάτων και την διείσδυση θαλασσινού νερού στον υδροφόρο.

Το **ασβέστιο (Ca)** αν εξαιρέσουμε τον τελευταίο μήνα στις 18/10/2012 που εμφανίζει μείωση και παίρνει την ελάχιστη τιμή του, *44,4 mg/L*, όλους τους υπόλοιπους μήνες βρίσκεται κοντά στα *53,7 mg/L* που είναι η μέγιστη τιμή του. (Σχ. 6)

Το **μαγνήσιο (Mg)** στις 18/7/2012 έχει τιμή *20 mg/L* (Σχ. 6). Η παρουσία του συνδέεται με την ύπαρξη ορυκτών μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό ή με την διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο.

Ο **χαλκός (Cu)** στις 18/7/2012 ανέρχεται στα *9,2 μg/L* τιμή αρκετά χαμηλή αν λάβουμε υπόψιν μας ότι το ανώτερο όριο είναι τα *2 mg/L*. (Σχ. 6)

Το **νικέλιο (Ni)** στις 18/7/2012 παίρνει τιμή των *4,6 μg/L*. Προβλεπόμενο ανώτερο όριο είναι τα *20 μg/L*. (Σχ. 6)

Το **μαγγάνιο (Mn)** δεν ανιχνεύεται στις 18/7/2012. (Σχ. 6)

Το **κοβάλτιο (Co)** επίσης δεν ανιχνεύεται στις 18/7/2012. (Σχ. 7)

Το **χρώμιο (Cr)** στις 18/7/2012 εμφανίζει την τιμή των *0,32 μg/L*. Προβλεπόμενο ανώτερο όριο είναι τα *50 μg/L*. (Σχ. 7)

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** στις 18/7/2012 παίρνει την τιμή των *6,1 μg/L* (Σχ. 7).

Πηγές ψευδαργύρου είναι τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες, επιμεταλλωτήρια καθώς και η διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων. (Ενδεικτική τιμή : *100 μg/L*)

Ο **μόλυβδος (Pb)** δεν ανιχνεύεται στις 18/7/2012. (Σχ. 7)

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το υπόγειο νερό από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-) που υπερβαίνει το προβλεπόμενο από την νομοθεσία ανώτερο όριο των *50 mg/L* για το πόσιμο νερό
- 2) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

3) Γ.ΚΑΜΠΟΥΡΗ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** παρουσιάζει αυξομειώσεις σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 6,87, στις 27/4/2012 και την μέγιστη, 7,37, στις 3/7/2012. Η μέση τιμή του είναι ίση με 7,2 και υποδηλώνει την αλκαλική συμπεριφορά του νερού. Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων (6,5 - 8,5). (Σχ. 8)

Η **αγωγιμότητα** διατηρείται σχεδόν σταθερή τους τέσσερις πρώτους μήνες των δειγματοληψιών και παίρνει την μέγιστη τιμή της, 982 $\mu S/cm$, στις 17/5/2012. Από τις 3/7/2012 εμφανίζει σταδιακή μείωση σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της, 939 $\mu S/cm$, στις 1/9/2012. (Σχ. 8)

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όλες οι παράμετροι οι οποίες συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα και έχουν τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 460 - 482 mg/L
- Η **σκληρότητα** από 312 - 348 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,4 - 0,5 $sal (\%)$
- Τα **χλωριόντα** από 79,98 - 95,98 mg/L
- Το **νάτριο** από 62 - 86,7 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται κάτω από τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 8/9/10)

Η **θολερότητα** κυμαίνεται από 0,9 έως 4,1 NTU , σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή στις 2/8/2012 και την μέγιστη στις 17/5/2012 η οποία αποκλίνει σημαντικά από τη μέση τιμή και πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων ανόργανης ή οργανικής φύσης (χόμα, πηλός, φύκη, βακτήρια) που μπορεί να υπήρχαν στο δείγμα νερού εκείνης της δειγματοληψίας. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της θολερότητας συμπίπτει χρονικά με αυτή των μικροβιολογικών δεικτών. (Σχ. 8)

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** με μέση τιμή 102 mg/L κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα που υπερβαίνουν τα 50 mg/L που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή τους, 112,5 mg/L , καταγράφεται στις 3/7/2012 και η ελάχιστη, 86,4 mg/L , στις 7/6/2012 (Σχ. 9). Προέρχονται από αζωτούχες ενώσεις (λιπάσματα, λύματα ή απόβλητα) που με τις βροχοπτώσεις υπολείμματα τους κατεισδύουν και φτάνουν στο υπόγειο νερό.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές τους και σημειώνουν την μέγιστη τιμή των 0,075 mg/L , στις 17/5/2012 με απόκλιση 53 % από τη μέση τιμή (0,049 mg/L) και την ελάχιστη τιμή των 0,028 mg/L , στις 7/6/2012 με απόκλιση 42 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 9)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** εμφανίζουν αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 0,031 mg/L , καταγράφεται τον πρώτο μήνα στις 27/4/2012 με απόκλιση 50 % από τη μέση τιμή (0,061 mg/L) και η μέγιστη, 0,123 mg/L , στις 1/9/2012. (Σχ. 9)

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** στις 3/7/2012 σημειώνουν μια απότομη αύξηση της συγκέντρωσής τους παίρνοντας την μέγιστη τιμή των 113 mg/L , η οποία έχει σημαντική απόκλιση από τη μέση τιμή που είναι τα 74,86 mg/L . Τον επόμενο μήνα όμως επανέρχονται στα ίδια σχεδόν επίπεδα που είχαν τους προηγούμενους μήνες. Η ελάχιστη τιμή τους, 61 mg/L , εμφανίζεται στις 17/5/2012 (Σχ. 9). Η παρουσία τους σχετίζεται με την διάβρωση πετρωμάτων, με ρύπανση από λιπάσματα ή βιομηχανικά απόβλητα.

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές και κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα κοντά στα 8 mg/L . Η ελάχιστη τιμή του, 7,64 mg/L , καταγράφεται στις 7/6/2012 και η μέγιστη, 8,39 mg/L , στις 17/5/2012. (Σχ. 8)

Το **BOD** εμφανίζει διακυμάνσεις στις τιμές τους και κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 mg/L . (Σχ. 8)

Το **COD** κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 7,6 mg/L . Η ελάχιστη τιμή καταγράφεται στις 17/5/2012 και η μέγιστη στις 1/9/2012. (Σχ. 9)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις του πληθυσμού τους. Ο μέγιστος αριθμός τους καταγράφεται στις 17/5/2012 και είναι 18300 *αποικίες/100 ml* και ο ελάχιστος στις 3/7/2012 με 320 *αποικίες/100 ml*. Η μεγαλύτερη μεταβολή σημειώνεται τον δεύτερο μήνα που έχει μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή (5742 *αποικίες/100 ml*) και δείχνει ασυνήθιστα μεγάλη εισροή λυμάτων συγκριτικά με τις υπόλοιπες δειγματοληψίες. (Σχ. 9)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal Coliforms/E-coli)** εμφανίζουν την ίδια εικόνα με αυτή των TC με μέγιστο αριθμό τις *13400 αποικίες/100 ml* και ελάχιστο τις *200 αποικίες/100 ml*.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις του πληθυσμού τους. Ο ελάχιστος αριθμός τους, *100 αποικίες/100 ml*, σημειώνεται τόσο στις 7/6/2012 όσο και στις 1/9/2012 και ο μέγιστος, *500 αποικίες/100 ml*, στις 2/8/2012. (Σχ. 10)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του, τους δυο πρώτους και τους δυο τελευταίους μήνες των δειγματοληψιών ενώ τους υπόλοιπους τρεις μήνες η τιμή του υποδιπλασιάζεται. Κυμαίνεται μεταξύ *1,6* και *3,2 mg/L* σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 7/6/2012 και την μέγιστη στις 17/5/2012.

Το **ασβέστιο (Ca)** με μικρές αυξομειώσεις παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του, *70,9 mg/L*, στις 1/9/2012 και την ελάχιστη, *56,6 mg/L*, στις 6/10/2012. (Σχ. 10)

Το **μαγνήσιο (Mg)** δεν παρουσιάζει αξιόλογες μεταβολές και κυμαίνεται μεταξύ *10,3* και *10,6 mg/L*. Η μέγιστη τιμή του σημειώνεται στις 27/4/2012 και η ελάχιστη στις 7/6/2012. (Σχ. 10)

Ο **χαλκός (Cu)** εμφανίζει την ελάχιστη τιμή του, *0,847 μg/L*, στις 17/5/2012 και την μέγιστη, *4,134 μg/L*, στις 3/7/2012 (Σχ. 10). Η παρουσία του σχετίζεται με την διάβρωση οικιακών χάλκινων σωληνώσεων, φυσική διάβρωση, ψεκασμούς με θειικό χαλκό.

Το **νικέλιο (Ni)** βρίσκεται μόνο στις 7/6/2012 πάνω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου με τιμή *1,524 μg/L*. (Σχ. 10)

Το **μαγγάνιο (Mn)** κυμαίνεται μεταξύ *1,169* και *2,128 μg/L*. Η μέγιστη τιμή του καταγράφεται στις 17/5/2012 και η ελάχιστη στις 3/7/2012. (Σχ. 10)

Το **κοβάλτιο (Co)** δεν ξεπέρασε το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. (Σχ. 11)

Το **χρώμιο (Cr)** κυμαίνεται μεταξύ *1,004* και *2,658 μg/L*. Η ελάχιστη τιμή του καταγράφεται στις 27/4/2012 και η μέγιστη στις 7/6/2012. (Σχ. 11)

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** δεν έδωσε κανένα μήνα τιμή πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. (Σχ. 11)

Ο **μόλυβδος (Pb)** βρέθηκε πάνω από το όριο ανίχνευσης μόνο στις 3/7/2012 με τιμή *3,428 μg/L* (Σχ. 11). Προέρχεται από μολυβδοσωλήνες, από υλικά συγκόλλησης χαλκοσωλήνων που περιέχουν μόλυβδο από στεγανωτικές αλοιφές κ.α.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-) που υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό (*50 mg/L*)
- 2) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών που εμφανίζεται με ιδιαίτερη ένταση στις 17/5/2012.
- 3) Οι τιμές του COD καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών και ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες δείχνουν ότι υπάρχει επιβάρυνση του νερού με ρυπαντικές ουσίες. Όσον αφορά τον τύπο της ρύπανσης αν συνεξετάσουμε τις τιμές του BOD που εμφανίζουν αντίστροφη διακύμανση και των μικροβιολογικών δεικτών θεωρούμε ότι οφείλεται κυρίως σε χημικές ουσίες (παρασιτοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, φαινόλες, χρώματα) και σε οργανική ύλη (μικροοργανισμούς)

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

4) ΡΩΜΑΝΟΥ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** παρουσιάζει αυξομειώσεις σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 6,72 , στις 27/9/2012 και την μέγιστη, 6,98 , στις 20/10/2012. Η μέση τιμή του είναι ίση με 6,84 και υποδηλώνει την όξινη συμπεριφορά του νερού. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6,5 - 8,5). (Σχ. 12)

Η **αγωγιμότητα** διατηρείται σχεδόν στα ίδια επίπεδα καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή της καταγράφεται στις 27/6/2012 και είναι 913 $\mu S/cm$ και η ελάχιστη στις 25/8/2012 με τιμή 885 $\mu S/cm$. (Σχ. 12)

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όσες παράμετροι συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα με τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 433 - 447 mg/L
- Η **αλατιότητα** είναι σταθερή με τιμή 0,4 sal (‰)
- Τα **χλωριόντα** από 94 - 102 mg/L
- Το **νάτριο** από 37,8 - 53,1 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται κάτω από τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 12/13/14)

Η **θολερότητα** εμφανίζει μικρή αυξητική τάση από τις 27/6/2012 που έχει την ελάχιστη τιμή των 0,2 *NTU*, μέχρι της 25/8/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 0,7 *NTU*. Στη συνέχεια και μέχρι το τέλος των δειγματοληψιών η τάση είναι πτωτική. (Σχ. 12)

Η **σκληρότητα** σημειώνει την ελάχιστη τιμή της, 316 mg/L , στις 25/8/2012 και την μέγιστη, 332 mg/L , στις 27/9/2012. Το γεγονός ότι παίρνει την μέγιστη τιμή της τον τέταρτο και όχι τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών, όπως η παράμετρος της αγωγιμότητας και όσων συνδέονται με αυτή, δείχνει ότι πιθανόν να σχετίζεται με τις υψηλότερες τιμές των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων οι οποίες εμφανίζονται τον ίδιο μήνα. (Σχ. 12)

Τα **νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)** κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα και υπερβαίνουν το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή τους καταγράφεται στις 27/9/2012 και είναι 93,87 mg/L και η ελάχιστη στις 25/8/2012 με τιμή 88,12 mg/L . Προέρχονται από αζωτούχες ενώσεις (λιπάσματα, λύματα ή απόβλητα) που με τις βροχοπτώσεις υπολείμματα τους κατεισδύουν και φτάνουν στο υπόγειο νερό. (Σχ. 13)

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)** παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβολή μεταξύ της 3^{ης} δειγματοληψίας (25/8/2012) που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0,03 mg/L και της 4^{ης} (27/9/2012) που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 0,16 mg/L έχοντας σημαντική απόκλιση από τη μέση τιμή (0,066 mg/L). Η αύξηση της συγκέντρωσής τους στις 27/9/2012 πιθανόν να σχετίζεται με την εισροή υγρών αποβλήτων ή την χρήση λιπασμάτων. Αν λάβουμε υπόψιν μας τους μικροβιολογικούς δείκτες που ακολουθούν παρακάτω, ενισχύεται η πρώτη εκδοχή. (Σχ. 13)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO₄⁻)** εμφανίζουν αυξητική πορεία από τις 20/7/2012 που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0,036 mg/L μέχρι τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών στις 20/10/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 0,088 mg/L και έχουν απόκλιση 60% από τη μέση τιμή (0,054).

Τα **θειικά ιόντα (SO₄⁻²)** κυμαίνονται μεταξύ 60 και 76 mg/L . Η ελάχιστη τιμή τους καταγράφεται στις 25/8/2012 και η μέγιστη στις 20/10/2012 αντίστοιχα. Η μέγιστη συγκέντρωση τους συμπίπτει χρονικά με την μέγιστη συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων και πιθανόν να οφείλεται σε αποσύνθεση οργανικής ύλης. (Σχ. 13)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις παίρνοντας την μέγιστη τιμή των 8,28 mg/L στις 25/8/2012 και την ελάχιστη των 7,29 mg/L τον αμέσως επόμενο μήνα στις 27/9/2012.

Το **BOD** κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3 mg/L . Τους δυο πρώτους και τον τελευταίο μήνα εμφανίζει την ελάχιστη τιμή του ενώ τους υπόλοιπους μήνες την μέγιστη. (Σχ. 12)

Το **COD** υπερβαίνει το όριο ανίχνευσης του οργάνου (4 mg/L) μόνο στις 27/9/2012 που παίρνει την τιμή των 7,9 mg/L . (Σχ. 13)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στον πληθυσμό τους.

Ο μεγαλύτερος αριθμός αποικιών καταμετρήθηκε στις 27/9/2012 και είναι 8320 αποικίες/100 ml και ο μικρότερος στις 20/7/2012 με 320 αποικίες/100 ml. Η μεγαλύτερη μεταβολή σημειώνεται μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} δειγματοληψίας. (Σχ. 13)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal Coliforms/E-coli)** ακολουθούν την ίδια πορεία με εκείνη των total coliforms σημειώνοντας τον ελάχιστο αριθμό τους, 260 αποικίες/100 ml, στις 20/7/2012 και τον μέγιστο, 5040 αποικίες/100 ml, στις 27/9/2012. (Σχ. 13)

Το ίδιο ισχύει και για τους **εντερόκοκκους (enterococcus)** που εμφανίζουν την ελάχιστη τιμή τους, 40 αποικίες/100 ml, στις 20/7/2012 και την μέγιστη, 480 αποικίες/100 ml, στις 27/9/2012. (Σχ. 14)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα

Το **κάλιο (K)** με μικρές αυξομειώσεις κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,4 mg/L. Η ελάχιστη τιμή καταγράφεται στις 27/6/2012 και η μέγιστη στις 27/9/2012. (Σχ. 14)

Το **ασβέστιο (Ca)** παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του, 126 mg/L, στις 27/6/2012 έχοντας απόκλιση 51% από τη μέση τιμή (83,3 mg/L). Τον επόμενο μήνα στις 25/8/2012 μειώνεται και παίρνει την ελάχιστη τιμή των 63,8 mg/L (Σχ. 14).

Η παρουσία του ασβεστίου συνδέεται με τον τύπο των πετρωμάτων που διέρχεται το υπόγειο νερό (ασβεστολιθικά πετρώματα).

Το **μαγνήσιο (Mg)** κυμαίνεται από 9,4 έως 18,2 mg/L στις 27/6/2012 και 20/7/2012 αντίστοιχα. (Σχ. 14)

Ο **χαλκός (Cu)** σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 2,315 μg/L, στις 27/6/2012 και την μέγιστη, 4,345 μg/L, στις 20/7/2012. (Σχ. 14)

Το **νικέλιο (Ni)** εμφανίζεται μόνο στις 20/7/2012 πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου με τιμή 1,655 μg/L. (Σχ. 14)

Το **μαγγάνιο (Mn)** καταγράφεται και αυτό μόνο στις 20/7/2012 πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου με τιμή 1,864 μg/L. (Σχ. 14)

Το **κοβάλτιο (Co)** και τους δυο μήνες που μετρήθηκε δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης του οργάνου. (Σχ. 15)

Το **χρώμιο (Cr)** κυμαίνεται από 3,893 έως 8,479 μg/L στις 20/7/2012 και στις 27/6/2012 αντίστοιχα. (Σχ. 15)

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** κυμαίνεται από 2,106 έως 5,184 μg/L στις 27/6/2012 και στις 20/7/2012 αντίστοιχα. (Σχ. 15)

Ο **μόλυβδος (Pb)** βρέθηκε πάνω από το όριο ανίχνευσης μόνο στις 20/7/2012 με τιμή 3,263 μg/L. (Σχ. 15)

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO₃⁻) που υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό
- 2) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

5) ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΗ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** εμφανίζει την μέγιστη τιμή του, 6,95, στις 3/4/2012 και την ελάχιστη, 6,65, στις 1/8/2012. Η μέση τιμή του είναι ίση με 6,76 και υποδηλώνει την όξινη συμπεριφορά του υπόγειου νερού. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6,5-8,5). (Σχ. 16)

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα χωρίς όμως να υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Αν εξαιρέσουμε τον τρίτο μήνα των δειγματοληψιών στις 1/6/2012 που παρουσιάζει απόκλιση 14 % από την μέση τιμή (1954 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και παίρνει την μέγιστη τιμή της, 2230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 6/10/2012 και είναι 1844 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Σχ. 16)

Οι τόσο υψηλές τιμές καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών πιθανόν να οφείλονται σε ρύπανση από ανόργανα λιπάσματα (χλωριούχα, νατρίουχα κ.λ.π) ή σε διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όσες παράμετροι συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα με τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 905 - 1125 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,9 - 1,1 sal (‰)
- Τα **χλωριόντα** από 201 - 251 mg/L
- Το **νάτριο** από 63,2 - 135,1 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω ξεπερνούν τα επιθυμητά όρια για το πόσιμο νερό. Τα χλωριόντα μάλιστα υπερβαίνουν ακόμα και το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 16/17/18)

Η **σκληρότητα** κυμαίνεται μεταξύ 715 και 800 mg/L παίρνοντας την ελάχιστη τιμή της στις 3/5/2012 και την μέγιστη στις 1/8/2012. (Σχ. 16)

Το γεγονός ότι η σκληρότητα δεν παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της τον τρίτο μήνα των δειγματοληψιών όπως η αγωγιμότητα και όσες παράμετροι συνδέονται μαζί της αλλά τον πέμπτο μήνα δείχνει ότι επηρεάζεται επιπλέον και από τις συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου που σημειώνουν τη μέγιστη τιμή τους είναι υψηλότερες εκείνο τον μήνα.

Η **θολερότητα** τους τρεις πρώτους μήνες των δειγματοληψιών βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από τους υπόλοιπους μήνες. Η μέγιστη τιμή της καταγράφεται στις 3/5/2012 και είναι 2,5 NTU και η ελάχιστη στις 1/9/2012 και είναι 0,3 NTU . (Σχ. 16)

Οι αυξημένες τιμές της θολερότητας, εκτός και από άλλους παράγοντες, μπορούν να συσχετιστούν με το υψηλό φορτίο που εμφανίζουν οι μικροβιολογικοί δείκτες το διάστημα εκείνο.

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα υπερβαίνοντας κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή τους, 405,6 mg/L , εμφανίζεται στις 3/5/2012 έχοντας απόκλιση 40 % από τη μέση τιμή (289,7 mg/L) και η ελάχιστη, 223,2 mg/L , στις 1/9/2012 με απόκλιση 23 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 17)

Προέρχονται από αζωτούχες ενώσεις (λιπάσματα, λύματα ή απόβλητα) που με τις βροχοπτώσεις υπολείμματα τους κατεισθύνουν και φτάνουν στο υπόγειο νερό.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές τους σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 0,018 mg/L , στις 2/7/2012 και τη μέγιστη, 0,278 mg/L , τον αμέσως επόμενο μήνα στις 1/8/2012 με μεγάλη απόκλιση από την μέση τιμή (0,116 mg/L). Η παρουσία τους συνδέεται με την αποσύνθεση οργανικής ύλης, με ρύπανση από λιπάσματα, μόλυνση ή με αναγωγή των νιτρικών ιόντων. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων μπορεί να συσχετιστεί με την αύξηση του μικροβιολογικού φορτίου τον ίδιο μήνα και την πιθανή πτώση της στάθμης (συμπύκνωση). (Σχ. 17)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** εμφανίζουν αυξητική τάση τους τρεις πρώτους μήνες των δειγματοληψιών παίρνοντας την μέγιστη τιμή τους, 0,193 mg/L , στις 1/6/2012. Τον αμέσως επόμενο μήνα στις 2/7/2012 παρατηρείται σημαντική μείωση της συγκέντρωσής τους οπότε και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή τους, 0,088 mg/L . (Σχ. 17)

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές και κυμαίνονται μεταξύ 147 και 184 mg/L . Η ελάχιστη τιμή τους σημειώνεται στις 3/4/2012 και η μέγιστη στις 6/10/2012. Η επόμενη υψηλή τιμή μετά τη μέγιστη, 175 mg/L , καταγράφεται τον ίδιο μήνα (1/6/2012) που όλες οι παράμετροι που ακολουθούν την αγωγιμότητα και συνδέονται με την διείσδυση της θάλασσας σημειώνουν την μέγιστη τιμή τους. (Σχ. 17)

Το γεγονός ότι τα θειικά ιόντα εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους όχι τον ίδιο αλλά τον τελευταίο μήνα δείχνει ότι εκτός από την διείσδυση της θάλασσας η συγκέντρωσή τους έχει επηρεαστεί και από κάποιον άλλο παράγοντα (π.χ λιπάσματα ή απόβλητα).

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** τους πρώτους τέσσερις μήνες κυμαίνεται σχεδόν στα ίδια επίπεδα κοντά στα 8 mg/L παίρνοντας την μέγιστη τιμή του, 8,3 mg/L, στις 2/7/2012. Τους τρεις τελευταίους μήνες εμφανίζεται μειωμένο σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 5,85 mg/L, στις 1/8/2012 με απόκλιση 13 % από τη μέση τιμή (7,33 mg/L). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν D.O σε ποσοστό 75 % τουλάχιστον του βαθμού κορεσμού τους. Δηλαδή η τιμή του D.O δεν πρέπει να πέφτει κάτω από τα 7 mg/L σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. (Σχ. 16)

Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου ίσως να οφείλεται ως ένα βαθμό στην άνοδο της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και στην πτώση της στάθμης του νερού στο πηγάδι σύμφωνα με τον ιδιοκτήτη κατά τους θερινούς μήνες. Είναι λογικό όταν μειώνεται ο όγκος του νερού που δέχεται τους διάφορους ρύπους (π.χ οργανικό φορτίο, θρεπτικά στοιχεία) χωρίς παράλληλα όμως να μειώνεται και η ποσότητά τους, να αυξάνεται η κατανάλωση του οξυγόνου.

Το **BOD** παρουσιάζει αυξομειώσεις στις τιμές του με ελάχιστη τα 2 mg/L στις 3/4/2012 και 1/6/2012 και μέγιστη τα 8 mg/L στις 1/8/2012 και 9/10/2012 (Σχ. 16). Παρατηρώντας τις υψηλότερες τιμές του μπορούμε να πούμε ότι :

- Η τιμή των 6 mg/L στις 3/5/2012 συσχετίζεται με το υψηλό μικροβιολογικό φορτίο που καταμετρήθηκε στην ίδια δειγματοληψία
- Η τιμή των 8 mg/L στις 1/8/2012 ενώ είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη και αναμένουμε μεγαλύτερο μικροβιολογικό φορτίο τον ίδιο μήνα, αυτό δεν επαληθεύεται από τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών δεικτών. Μπορεί όμως να δικαιολογηθεί αν δεχτούμε ότι είχαμε πτώση της στάθμης του νερού στο πηγάδι εκείνο τον μήνα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στη παράμετρο του διαλυμένου οξυγόνου, οπότε η απαίτηση του οργανικού φορτίου σε οξυγόνο αυξάνεται τόσο για την σταθεροποίηση του όσο και για την πραγματοποίηση κάθε αερόβιας δράσης.

Το **COD** εμφανίζεται πάνω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου (4 mg/L) μόνο τον τελευταίο μήνα στις 8/10/2012 με την τιμή των 4,7 mg/L. (Σχ. 17)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** σημειώνουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους, 11700 αποικίες/100 ml, στις 3/5/2012 παρουσιάζοντας μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή (4728 αποικίες/100 ml) και τον ελάχιστο, 2300 αποικίες/100 ml, στις 1/9/2012. (Σχ. 17)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal Coliforms / E-coli)** εμφανίζουν ακριβώς την ίδια διακύμανση με αυτή των total coliforms, με μέγιστο αριθμό αποικιών τις 4400 αποικίες/100 ml στις 3/5/2012 και ελάχιστο τις 1100 αποικίες/100 ml στις 1/9/2012. (Σχ. 17)

Το τόσο υψηλό φορτίο που καταγράφεται τον μήνα Μάιο στις 3/5/2012 δείχνει ασυνήθιστα μεγάλη εισροή λυμάτων συγκριτικά με τους υπόλοιπους μήνες των δειγματοληψιών.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** έχουν αυξητική πορεία από τις 3/4/2012 που σημειώνουν τον ελάχιστο αριθμό αποικιών τους με 2 αποικίες/100 ml, μέχρι και τις 6/10/2012 που παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους με 140 αποικίες/100 ml. (Σχ. 18)

Αξιοσημείωτη είναι η ομαλή έξαρση που παρατηρείται στον αριθμό αποικιών του εντερόκοκκου. Προβληματισμός δημιουργείται από το γεγονός ότι η έξαρση αυτή δεν συνοδεύεται από ανάλογη έξαρση και των άλλων μικροβιολογικών δεικτών.

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** παίρνει την μέγιστη τιμή του, 2,8 mg/L, στις 3/5/2012 αποκλίνοντας 85 % από τη μέση τιμή (1,5 mg/L) και την ελάχιστη, 0,8 mg/L, στις 2/7/2012 έχοντας απόκλιση 47 % από τη μέση τιμή.

Το **ασβέστιο (Ca)** παρουσιάζει διακυμάνσεις και σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 68,1 mg/L, στις 3/4/2012 με απόκλιση 43 % από τη μέση τιμή (120,6 mg/L) και την μέγιστη, 177,8 mg/L, στις 1/8/2012 με απόκλιση 47 % από τη μέση τιμή. Η παρουσία του ασβεστίου συνδέεται με τον τύπο των πετρωμάτων που διέρχεται το υπόγειο νερό (ασβεστολιθικά πετρώματα). Η αύξηση της συγκέντρωσης του στις 1/8/2012 μπορεί να δικαιολογηθεί αν δεχτούμε ότι έχουμε πτώση της στάθμης του νερού στο πηγάδι εκείνο τον μήνα οπότε επέρχεται συμπύκνωση. (Σχ. 18)

Το **μαγνήσιο (Mg)** εμφανίζει μικρή αυξητική τάση από τις 3/4/2012 που σημειώνει την ελάχιστη τιμή των $25,6 \text{ mg/L}$, μέχρι τις 2/7/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των $26,6 \text{ mg/L}$ (Σχ. 18). Η παρουσία του συνδέεται με την ύπαρξη ορυκτών μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό ή με την διείσδυση της θάλασσας στον υδροφορέα.

Ο **χαλκός (Cu)** παρουσιάζει την μέγιστη τιμή του, $3,984 \text{ } \mu\text{g/L}$, τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 3/4/2012 και την ελάχιστη, $1,592 \text{ } \mu\text{g/L}$, τον αμέσως επόμενο μήνα στις 3/5/2012. (Σχ. 18)

Το **νικέλιο (Ni)** κυμαίνεται από $5,293$ έως $14,04 \text{ } \mu\text{g/L}$ στις 3/5/2012 και στις 3/4/2012 αντίστοιχα. Τους τελευταίους δυο μήνες δεν ξεπέρασε το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. Αν λάβουμε υπόψιν μας ότι το ανώτερο όριο του νικελίου για το πόσιμο νερό είναι $20 \text{ } \mu\text{g/L}$ βλέπουμε ότι η συγκέντρωση του στις 2/7/2012 αν και δεν το υπερβαίνει είναι αρκετά αυξημένη (Σχ. 18). Το νικέλιο περιέχεται σε απόβλητα επιμεταλλωτηρίων και γενικά βιομηχανιών κατεργασίας μετάλλων.

Το **μαγγάνιο (Mn)** κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα με μέγιστη τιμή $1,877 \text{ } \mu\text{g/L}$ στις 3/5/2012 και ελάχιστη $1,448 \text{ } \mu\text{g/L}$ στις 1/6/2012. (Σχ. 18)

Το **κοβάλτιο (Co)** ανιχνεύεται μόνο στις 3/5/2012 με τιμή $0,302 \text{ } \mu\text{g/L}$ (Σχ. 19). Χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων και στις επικοβαλιτώσεις σιδηρών αντικειμένων, στη κατασκευή ισχυρών μόνιμων μαγνητών, στην κεραμοποιία, στην υαλουργία, στην Παρασκευή χρωμάτων και ως καταλύτης.

Το **χρώμιο (Cr)** εμφανίζει μικρή πτωτική τάση και σημειώνει την μέγιστη τιμή του, $2,969 \text{ } \mu\text{g/L}$, στις 3/5/2012 και την ελάχιστη, $0,898 \text{ } \mu\text{g/L}$, στις 2/7/2012. (Σχ. 19)

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα με ελάχιστη τιμή τα $2,01 \text{ } \mu\text{g/L}$ στις 2/7/2012 και μέγιστη τα $4,37 \text{ } \mu\text{g/L}$ στις 3/5/2012. (Σχ. 19)

Ο **μόλυβδος (Pb)** ανιχνεύεται μόνο στις 3/5/2012 με τιμή $4,126 \text{ } \mu\text{g/L}$ (Σχ. 19). Προέρχεται από μολυβδοσωλήνες, από υλικά συγκόλλησης χαλκοσωλήνων που περιέχουν μόλυβδο από στεγανωτικές αλοιφές κ.α. (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: $10 \text{ } \mu\text{g/L}$)

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υφαλμύριση του υπόγειου νερού
- 2) Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-) που υπερβαίνει κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό
- 3) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

6) ΠΡΟΦΗΤΗ ΗΛΙΑ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** παρουσιάζει μικρές αυξομειώσεις στις τιμές του και κυμαίνεται από 6,87 έως 7,15 στις 4/7/2012 και 4/4/2012 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6,5 - 8,5). (Σχ. 20)

Η **αγωγιμότητα** εμφανίζει αυξομειώσεις στις τιμές της σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της, 694 $\mu\text{S/cm}$, στις 9/5/2012 με απόκλιση 8 % από τη μέση τιμή (756 $\mu\text{S/cm}$) και την μέγιστη, 795 $\mu\text{S/cm}$, στις 3/8/2012 με απόκλιση 5 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 20)

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όλες οι παράμετροι οι οποίες συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα και έχουν τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 296 - 388 mg/L
- Η **σκληρότητα** από 256 - 326 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,3 - 0,4 sal (‰)
- Τα **χλωριόντα** από 45 - 70 mg/L
- Το **νάτριο** από 26 - 45,9 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται κάτω από τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 20/21/22)

Η **θολερότητα** με μικρές αυξομειώσεις κυμαίνεται από 1,6 έως 2,2 NTU . Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 3/9/2012 και η μέγιστη εμφανίζεται τόσο στις 9/5/2012 όσο και στις 8/10/2012.

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** εμφανίζουν αυξητική τάση από τις 9/5/2012 που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή τους, 12,4 mg/L , μέχρι και τις 3/8/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 41,6 mg/L . Στη συνέχεια ακολουθεί πτωτική τάση. Τους τέσσερις τελευταίους μήνες η συγκέντρωσή τους βρίσκεται πάνω από το επιθυμητό όριο των 25 mg/L και η μέγιστη τιμή τους πλησιάζει αρκετά το ανώτερο όριο των 50 mg/L . Αυτή η αύξηση των NO_3^- εκείνο το διάστημα πιθανόν να οφείλεται σε νιτροποίηση. Δηλαδή την μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά με την βοήθεια βακτηρίων. (Σχ. 21)

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές τους σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 0,019 mg/L , στις 9/5/2012 έχοντας απόκλιση 64 % από τη μέση τιμή (0,053 mg/L) και τη μέγιστη, 0,095 mg/L , στις 4/7/2012 με απόκλιση 79 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 21)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** παίρνουν την μέγιστη τιμή τους, 0,039 mg/L , στις 1/6/2012. Η επόμενη υψηλή τιμή, 0,037 mg/L , σημειώνεται στις 3/8/2012. Όλους τους υπόλοιπους μήνες βρίσκεται ελάχιστα πάνω από το όριο ανίχνευσης με σταθερή τιμή 0,031 mg/L . (Σχ. 21)

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** εμφανίζουν ανοδική πορεία από τις 9/5/2012 που έχουν την ελάχιστη τιμή των 41 mg/L μέχρι τις 8/10/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 84 mg/L (Σχ. 21). Η αύξηση της συγκέντρωσής τους πιθανόν να σχετίζεται με λιπάσματα ή βιομηχανικά απόβλητα. (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: 250 mg/L)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** εμφανίζει την μέγιστη τιμή του, 7,52 mg/L , τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 1/4/2012. Η ελάχιστη τιμή του, 5,58 mg/L , σημειώνεται τον τελευταίο μήνα στις 8/10/2012 και βρίσκεται κάτω από την ελάχιστη αποδεκτή τιμή των 7 mg/L (75 % του βαθμού κορεσμού). (Σχ. 20)

Το **BOD** παρουσιάζει αυξητική τάση σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 1 mg/L , τους δύο πρώτους μήνες. Τον επόμενο μήνα πήρε την τιμή 2 mg/L και την μέγιστη, 3 mg/L , σταθερά τους τρεις τελευταίους μήνες. (Σχ. 20)

Το **COD** καταγράφεται μόνο στις 4/4/2012 με τιμή 4 mg/L που είναι το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. (Σχ. 21)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** τους τέσσερις πρώτους μήνες παρουσιάζουν συνεχή μείωση του πληθυσμού τους. Ο μέγιστος αριθμός αποικιών καταγράφεται τον πέμπτο μήνα των δειγματοληψιών στις 3/8/2012 με 5700 αποικίες/100 ml και ο ελάχιστος τον αμέσως επόμενο μήνα στις 3/9/2012 με 2300 αποικίες/100 ml . (Σχ. 21)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (E-coli)** εμφανίζουν αυξομειώσεις του πληθυσμού τους. Ο μεγαλύτερος αριθμός αποικιών τους καταγράφεται στις 3/8/2012 με 1720 αποικίες/100 ml και ο μικρότερος τον αμέσως επόμενο μήνα στις 3/9/2012 με 380 αποικίες/100 ml . (Σχ. 21)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις και σημειώνουν τον ελάχιστο αριθμό τους, 3 αποικίες/100 ml, στις 4/4/2012 και 4/7/2012. Ο μέγιστος αριθμός τους καταγράφεται στις 9/5/2012 με 44 αποικίες/100 ml αποκλίνοντας σημαντικά από τη μέση τιμή. (Σχ. 22)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 0,3 mg/L, στις 1/6/2012 έχοντας απόκλιση 50 % από τη μέση τιμή (0,6 mg/L) και την μέγιστη, 0,9 mg/L, στις 3/8/2012 με απόκλιση πάλι 50 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 22)

Το **ασβέστιο (Ca)** εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις και κυμαίνεται από 39,8 έως 71 mg/L στις 4/7/2012 και στις 9/5/2012 αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή έχει απόκλιση 28 % από τη μέση τιμή (55,2 mg/L) και η ελάχιστη 27 %. (Σχ. 22)

Το **μαγνήσιο (Mg)** παρουσιάζει μικρή αυξητική τάση από τις 9/5/2012 που σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 6,25 mg/L, μέχρι και τις 4/7/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 7,45 mg/L.

Ο **χαλκός (Cu)** κυμαίνεται από 1,01 έως 4,59 μg/L στις 9/5/2012 και στις 1/6/2012 αντίστοιχα. Η παρουσία του σχετίζεται με την διάβρωση οικιακών χάλκινων σωληνώσεων, φυσική διάβρωση, πεκασμούς με θεικό χαλκό. (Σχ. 22)

Το **νικέλιο (Ni)** εμφανίζεται πάνω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου μόνο στις 1/6/2012 με τιμή 1,801 μg/L. (Σχ. 22)

Το **μαγγάνιο (Mn)** κυμαίνεται από 2,255 έως 7,056 μg/L στις 4/7/2012 και στις 1/6/2012 αντίστοιχα. Τους δυο πρώτους μήνες δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης του οργάνου (Σχ.22). Η παρουσία του συνδέεται με την διάλυση ορυκτών που το περιέχουν. (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: 50 μg/L)

Το **κοβάλτιο (Co)** ανιχνεύεται μόνο στις 4/7/2012 με τιμή 0,298 μg/L (Σχ. 23). Χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων και στις επικοβαλιτώσεις σιδηρών αντικειμένων, στη κατασκευή ισχυρών μόνιμων μαγνητών, στην κεραμοποιία, στην υαλουργία, στην παρασκευή χρωμάτων και ως καταλύτης.

Το **χρώμιο (Cr)** παρουσιάζει αυξητική τάση από τις 4/4/2012 που σημειώνει την ελάχιστη τιμή των 0,941 μg/L μέχρι τις 1/6/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 4,888 μg/L. (Σχ. 23)

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** εμφανίζει μικρές αυξομειώσεις και σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 1,108 μg/L, τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 4/4/2012 και την μέγιστη, 3,016 μg/L, τον τελευταίο μήνα στις 4/7/2012. (Σχ. 23)

Ο **μόλυβδος (Pb)** καταγράφεται πάνω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου μόνο στις 9/5/2012 με τιμή 3,285 μg/L (Σχ. 23). Προέρχεται από μολυβδοσωλήνες, από υλικά συγκόλλησης χαλκοσωλήνων που περιέχουν μόλυβδο από στεγανωτικές αλοιφές κ.α. (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: 10 μg/L)

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Σχετικά υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO₃⁻), με μέση τιμή που ξεπερνά το επιθυμητό όριο των 25 mg/L και τιμές που τους τελευταίους μήνες, αν και δεν το υπερβαίνουν, πλησιάζουν αρκετά το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό
- 2) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

7) ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το pH παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις και κυμαίνεται μεταξύ 6,94 και 7,31 σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 1/8/2012 και τη μέγιστη στις 4/4/2012. Οι τιμές αυτές είναι εντός των επιθυμητών ορίων (6,5 - 8,5). Η μέση τιμή του pH είναι ίση με 7,1 υποδηλώνοντας την ελαφρώς αλκαλική συμπεριφορά του νερού. (Σχ. 24)

Η **αγωγιμότητα** αν εξαιρέσουμε τον τρίτο μήνα των δειγματοληψιών στις 1/6/2012 που αυξάνεται και παίρνει την μέγιστη τιμή της, 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$, έχοντας απόκλιση 14 % από τη μέση τιμή (1100,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$) γενικά δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Η ελάχιστη τιμή σημειώνεται στις 1/8/2012 με τιμή 1001 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σχ. 24). Η αύξηση της αγωγιμότητας στις 1/6/2012 πιθανόν να οφείλεται στην άντληση μεγάλων ποσοτήτων υπόγειου νερού για άρδευση και την εισροή θαλασσινού νερού στον παράκτιο υδροφόρα.

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν επίσης και όλες οι παράμετροι οι οποίες συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα και έχουν τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 491 - 629 mg/L
- Η **σκληρότητα** από 328 - 392 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,5 - 0,6 sal (‰)

Η **θολρότητα** εμφανίζει διακυμάνσεις στις τιμές της και κυμαίνεται μεταξύ 0,6 και 2,3 NTU σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της στις 8/10/2012 και την μέγιστη τόσο στις 9/5/2012 όσο και στις 4/7/2012. (Σχ. 24)

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα υπερβαίνοντας το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 92,1 mg/L , σημειώνεται στις 1/8/2012 και η μέγιστη, 116,5 mg/L , στις 4/4/2012 (Σχ. 25). Προέρχονται από αζωτούχες ενώσεις (λιπάσματα, λύματα ή απόβλητα) που με τις βροχοπτώσεις υπολείμματα τους κατεισδύουν και φτάνουν στο υπόγειο νερό.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές τους σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 0,014 mg/L , στις 1/8/2012 και τη μέγιστη, 0,057 mg/L , στις 8/10/2012. (Σχ. 25)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** κυμαίνονται με μικρές διακυμάνσεις σε χαμηλά επίπεδα καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή τους, 0,045 mg/L , καταγράφεται τόσο στις 1/6/2012 όσο και στις 1/8/2012 ενώ η ελάχιστη, 0,031 mg/L , τον πρώτο και τους δύο τελευταίους μήνες. (Σχ 25)

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** αν εξαιρέσουμε τον δεύτερο μήνα στις 9/5/2012 που εμφανίζουν 36 % απόκλιση από τη μέση τιμή (102,3 mg/L) και παίρνουν την μέγιστη τιμή τους, 140 mg/L , δεν παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις. Η ελάχιστη τιμή τους, 85 mg/L , σημειώνεται στις 1/8/2012.

Τα **χλωριόντα** κυμαίνονται μεταξύ 138 και 160 mg/L . Η ελάχιστη τιμή τους καταγράφεται στις 1/8/2012 και η μέγιστη στις 8/10/2012. Η επόμενη υψηλή τιμή μετά τη μέγιστη, 147 mg/L , σημειώνεται τον ίδιο μήνα (1/6/2012) που όλες οι παράμετροι οι οποίες ακολουθούν την αγωγιμότητα και συνδέονται με την διεύδυση της θάλασσας σημειώνουν την μέγιστη τιμή τους. Το γεγονός ότι τα χλωριόντα εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους όχι τον ίδιο αλλά τον τελευταίο μήνα δείχνει ότι εκτός από την διεύδυση της θάλασσας η συγκέντρωσή τους έχει επηρεαστεί και από κάποιον άλλο παράγοντα (π.χ λιπάσματα). (Σχ. 25)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές και βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα πάνω από την τιμή των 7 mg/L . Η μέγιστη τιμή του, 7,99 mg/L , καταγράφεται στις 4/7/2012 και η ελάχιστη, 7,46 mg/L , τόσο στις 9/5/2012 όσο και στις 8/10/2012. (Σχ. 24)

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** κυμαίνεται από 1 έως 2 mg/L . Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται τον πρώτο μήνα στις 4/4/2012 και η μέγιστη τον αμέσως επόμενο μήνα στις 9/5/2012 όπου διατηρείται σταθερή μέχρι και το τέλος. (Σχ. 24)

Το **χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)** δεν εμφανίζει τιμές πάνω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. (Σχ. 25)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (Total Coliforms)** παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό αποικιών τους τον πρώτο μήνα τον δειγματοληψιών στις 4/4/2012 με 8 αποικίες/100 ml. Τους επόμενους μήνες

σημειώνεται αύξηση του πληθυσμού τους η οποία γίνεται ιδιαίτερα έντονη στις 3/9/2012 όταν ο αριθμός αποικιών τους ανέρχεται στις 2672 αποικίες/100 ml που είναι και ο μέγιστος. (Σχ. 25)

Τα **κολπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms/E-coli)** εμφανίζουν ακριβώς την ίδια διακύμανση τιμών με αυτή των Total Coliforms. Ο ελάχιστος αριθμός αποικιών τους καταγράφεται στις 4/4/2012 και είναι 2 αποικίες/100 ml και ο μέγιστος στις 3/9/2012 με 1984 αποικίες/100 ml. (Σχ. 25)

Το τόσο υψηλό φορτίο που καταγράφεται τον μήνα Μάιο στις 3/5/2012 δείχνει ασυνήθιστα μεγάλη εισροή λυμάτων συγκριτικά με τους υπόλοιπους μήνες των δειγματοληψιών.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** επίσης έχουν την ίδια διακύμανση τιμών με τους προηγούμενους μικροβιολογικούς δείκτες. Ο ελάχιστος αριθμός αποικιών τους σημειώνεται τον τελευταίο μήνα στις 8/10/2012 με 2 αποικίες/100 ml και ο μέγιστος στις 3/9/2012 με 83 αποικίες/100 ml. Τους πρώτους δύο μήνες των δειγματοληψιών δεν καταμετρήθηκαν αποικίες. (Σχ. 26)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** αν εξαιρέσουμε τον πρώτο μήνα, στις 4/4/2012, που εμφανίζει απόκλιση 55 % από τη μέση τιμή (1,3 mg/L) και παίρνει την μέγιστη τιμή του, 2 mg/L, καθώς και τον τρίτο μήνα, στις 1/6/2012, που έχει απόκλιση 37 % από τη μέση τιμή και σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 0,8 mg/L, τους υπόλοιπους μήνες διατηρείται σχεδόν σταθερό κοντά στα 1,2 mg/L (Σχ. 26). Η παρουσία του καλίου συνδέεται με την χρήση λιπασμάτων και την διείσδυση θαλασσινού νερού στον υδροφορέα.

Το **ασβέστιο (Ca)** κυμαίνεται μεταξύ 55,6 και 83 mg/L. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στις 8/10/2012 και έχει απόκλιση 28 % από τη μέση τιμή (64,8 mg/L) και η μέγιστη στις 1/6/2012 με απόκλιση 14 % από τη μέση τιμή (Σχ. 26). Η αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου τον τρίτο μήνα πιθανόν να οφείλεται στη διείσδυση θαλασσινού νερού στον παράκτιο υδροφορέα.

Το **νάτριο** ακολουθεί την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών με αυτή των χλωριόντων. Η ελάχιστη τιμή του, 82,1 mg/L, σημειώνεται στις 1/8/2012 και η μέγιστη, 88,9 mg/L, στις 8/10/2012. Η επόμενη υψηλή τιμή μετά τη μέγιστη, 86,2 mg/L, σημειώνεται τον ίδιο μήνα (1/6/2012) που όλες οι παράμετροι οι οποίες ακολουθούν την αγωγιμότητα και συνδέονται με την διείσδυση της θάλασσας σημειώνουν την μέγιστη τιμή τους (Σχ. 26). Το γεγονός ότι το νάτριο εμφανίζει την μέγιστη τιμή του όχι τον ίδιο αλλά τον τελευταίο μήνα δείχνει ότι εκτός από την διείσδυση της θάλασσας η συγκέντρωσή τους έχει επηρεαστεί και από κάποιο άλλο παράγοντα (π.χ λιπάσματα).

Το **μαγνήσιο (Mg)** παίρνει την μέγιστη τιμή του, 17,1 mg/L, στις 4/4/2012 και την ελάχιστη, 16,8 mg/L, τόσο στις 9/5/2012 όσο και στις 4/7/2012 (Σχ. 26). Η παρουσία του συνδέεται με την ύπαρξη ορυκτών μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό ή με την διείσδυση της θάλασσας στον υδροφορέα.

Ο **χαλκός (Cu)** παρουσιάζει αυξομειώσεις στις τιμές του με μέγιστη τα 2,332 μg/L στις 9/5/2012 και ελάχιστη τα 0,788 μg/L στις 4/4/2012 (Σχ. 26). Η τιμή του χαλκού στη δεύτερη δειγματοληψία είναι σχεδόν τριπλάσια από εκείνη της πρώτης και πιθανόν να οφείλεται σε ψεκασμούς με θεικό χαλκό στις καλλιέργειες του ιδιοκτήτη του πηγαδιού ο οποίος έχει περιβόλι.

Το **νικέλιο (Ni)** τους δυο πρώτους μήνες των δειγματοληψιών δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης του οργάνου. Η μέγιστη τιμή του 5,025 μg/L σημειώνεται στις 1/6/2012 και η ελάχιστη 3,099 μg/L στις 4/7/2012. (Σχ. 26)

Το **μαγγάνιο (Mn)** ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης του οργάνου μόνο στις 1/6/2012 με τιμή 1,429 μg/L (Σχ. 26). (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: 50 μg/L)

Το **κοβάλτιο (Co)** δεν ανιχνεύεται κανένα μήνα κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. (Σχ. 27)

Το **χρώμιο (Cr)** εμφανίζει την μέγιστη τιμή του, 437,5 μg/L, στις 1/6/2012 υπερβαίνοντας το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 μg/L και την ελάχιστη 1,204 μg/L στις 9/5/2012 (Σχ. 27). Η παρουσία του σχετίζεται με βιομηχανικά απόβλητα και διάβρωση πετρωμάτων.

Η τόσο υψηλή συγκέντρωση τον τρίτο μήνα (1/6/2012) που είναι μάλιστα οκτώ φορές πάνω από το όριο καταλληλότητας πιθανόν να συνδέεται με την ύπαρξη και την λειτουργία βυρσοδεψείου που βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση.

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** εμφανίζει αυξομειώσεις στις τιμές του με μέγιστη τα 5,046 μg/L στις 9/5/2012 και ελάχιστη τα 0,376 μg/L στις 4/7/2012. Η μεγαλύτερη μεταβολή σημειώνεται μεταξύ πρώτης και δεύτερης δειγματοληψίας που η τιμή του ψευδάργυρου σχεδόν διπλασιάζεται. Τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών η τιμή του μειώνεται αισθητά (Σχ. 27). Πηγές ψευδαργύρου είναι τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες, επιμεταλλωτήρια καθώς και η διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων. (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: 10 μg/L)

Ο **μόλυβδος (Pb)** παρουσιάζει την μέγιστη τιμή του $1,579 \mu\text{g/L}$ στις 9/5/2012 και την ελάχιστη $0,886 \mu\text{g/L}$ στις 1/6/2012. Τους υπόλοιπους μήνες βρίσκεται κάτω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου (Σχ. 27). (Προβλεπόμενο ανώτερο όριο: $10 \mu\text{g/L}$)
Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Υφαλμύριση του υπόγειου νερού
- 2) Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-) που υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό
- 3) Ύπαρξη μικροβιολογικού φορτίου. Πρόβλημα που οξύνεται ιδιαίτερα τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβρη.
- 4) Συγκέντρωση χρωμίου που έστω και σε μια δειγματοληψία (1/6/2012), υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο των $50 \mu\text{g/L}$ που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με εκείνα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2008 από τις 26/5/2008 μέχρι και τις 22/10/2008 στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του Ε. Δραγάζη [20] παρατηρούμε ότι,

- ❖ Στις παραμέτρους: αγωγιμότητα, σκληρότητα, χλωριόντα, αλατότητα δεν έχουμε σημαντική μεταβολή της μέσης τιμής τους στο διάστημα 2008 - 2012. Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το φαινόμενο της υφαλμύρισης δεν έχει ενταθεί.
- ❖ Όσον αφορά τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων έχουμε αύξηση της μέσης τιμής τους από 81 mg/L το 2008 στα 104 mg/L το 2012.
- ❖ Τα αμμωνιακά ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα και τα θειικά ιόντα ως προς την μέση τιμή τους παραμένουν στα ίδια επίπεδα. Γεγονός που δείχνει ότι δεν έχουμε επιπλέον επιβάρυνση του υπόγειου νερού.
- ❖ Η παρουσία του μικροβιολογικού φορτίου εξακολουθεί να αποτελεί έναν επιβαρυντικό παράγοντα. Ωστόσο δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα για την διακύμανση της τιμής των αριθμών αποικιών στο διάστημα 2008 - 2012 λόγω του μικρού αριθμού μετρήσεων που έγιναν τότε.

8) ΠΗΓΗ ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του και κυμαίνεται μεταξύ 6,63 και 7,02. Η ελάχιστη τιμή του καταγράφεται στις 3/5/2012 και η μέγιστη στις 2/7/2012. Η μέση τιμή του είναι ίση με 6,82 και υποδηλώνει την όξινη συμπεριφορά του νερού. Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6,5 - 8,5). (Σχ. 28)

Η **αγωγιμότητα** γενικά δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές. Η μεγαλύτερη μεταβολή σημειώνεται μεταξύ 4^{ης} και 5^{ης} δειγματοληψίας (κατά 24 μονάδες). Τους τέσσερις πρώτους μήνες κινείται πάνω από την τιμή των 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ τους τρεις τελευταίους μήνες πέφτει κάτω από αυτή. Η μέγιστη τιμή της, 772 $\mu\text{S}/\text{cm}$, καταγράφεται στις 3/5/2012 και η ελάχιστη, 744 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 1/8/2012.

Την ίδια ακριβώς διακύμανση τιμών παρουσιάζουν και όλες οι παράμετροι οι οποίες συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα και έχουν τις εξής μετρούμενες τιμές :

- Τα **TDS** από 362 - 377 mg/L
- Η **σκληρότητα** από 256 - 264 mg/L
- Η **αλατότητα** από 0,3 - 0,4 $\text{sal} (\%)$
- Τα **χλωριόντα** από 92 - 102 mg/L
- Το **νάτριο** από 38,7 - 49,8 mg/L

Οι τιμές όλων αυτών των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται κάτω από τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. (Σχ. 28/29/30)

Η **θολερότητα** εμφανίζει διακυμάνσεις στις τιμές της και κυμαίνεται από 0,5 έως 2,3 NTU . Η μέγιστη τιμή της σημειώνεται στις 3/5/2012 ενώ η ελάχιστη σε τρεις δειγματοληψίες (1/4, 1/8, 6/10).

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές και κυμαίνονται από 31,43 έως 39,85 mg/L . Η μέγιστη τιμή τους καταγράφεται τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 1/4/2012 και η ελάχιστη στις 1/9/2012. (Σχ. 29)

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 0,015 mg/L , στις 1/8/2012 έχοντας απόκλιση 60 % από τη μέση τιμή (0,038 mg/L) και τη μέγιστη, 0,064 mg/L , στις 6/10/2012 με απόκλιση 68 % από την μέση τιμή. (Σχ. 29)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση τόσο στις 3/5/2012, που έχουν τιμή 0,223 mg/L όσο και στις 2/7/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 0,355 mg/L και αγγίζουν σχεδόν το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 0,4 mg/L . Όλους τους υπόλοιπους μήνες βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα με σταθερή τιμή 0,031 mg/L (Σχ. 29).

Η παρουσία τους συνδέεται με ρύπανση από φωσφορικά λιπάσματα ή αστικά λύματα και την αποσύνθεση οργανικής ύλης. Παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες τιμές των φωσφορικών ιόντων καταγράφονται τους ίδιους μήνες που εμφανίζεται και το υψηλότερο μικροβιολογικό φορτίο. Πιθανόν, λοιπόν, να οφείλεται σε ανθρωπογενείς απορροές (αστικά λύματα), που με κάποιο τρόπο καταλήγουν στον υδροφόρα που τροφοδοτεί την πηγή, ίσως λόγω κάποιας αστοχίας στο αποχετευτικό δίκτυο, και που εκτός των άλλων έχουν απορρυπαντικά. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού.

Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** εμφανίζουν αυξητική τάση από τις 1/4/2012 που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 38 mg/L μέχρι τις 2/7/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 67 mg/L . (Σχ. 29)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα κοντά στα 8 mg/L όλους τους μήνες των δειγματοληψιών. Η μέγιστη τιμή του, 8,77 mg/L , καταγράφεται στις 1/4/2012 και η ελάχιστη, 7,89 mg/L , στις 7/6/2012. (Σχ. 28)

Το **BOD** παρουσιάζει αυξομειώσεις στις τιμές του και κυμαίνεται από 1 έως 3 mg/L . Παρατηρούμε ότι οι μήνες που εμφανίζεται η μέγιστη τιμή του συμπίπτουν με αυτούς που δείχνουν το υψηλότερο μικροβιολογικό φορτίο. (Σχ. 28)

Το **COD** δεν ξεπερνά το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου (4 mg/L) σε καμία δειγματοληψία. (Σχ. 29)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στον πληθυσμό τους. Ο μέγιστος αριθμός τους καταγράφεται στις 3/5/2012 με 1096 αποικίες/100 ml και ο ελάχιστος τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών στις 6/10/2012 με 30 αποικίες/100 ml. (Σχ. 29)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (E-coli)** με αυξομειώσεις παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους, 360 αποικίες/100 ml, στις 2/7/2012 και τον ελάχιστο, 20 αποικίες/100 ml, στις 6/10/2012. (Σχ. 29)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** εμφανίζουν τον μέγιστο αριθμό τους στις 2/7/2012 με 3 αποικίες/100 ml και τον μικρότερο στις 3/5/2012 με 1 αποικία/100 ml. Όλους τους υπόλοιπους μήνες δεν καταμετρήθηκαν αποικίες. (Σχ. 30)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του και κυμαίνεται από 0,8 έως 1,4 mg/L. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στις 7/6/2012 με απόκλιση 32 % από τη μέση τιμή (1,2 mg/L) και η μέγιστη στις 1/8/2012 η οποία διατηρείται σταθερή μέχρι και τον επόμενο μήνα και έχει απόκλιση 18 % από τη μέση τιμή. (Σχ. 30)

Το **ασβέστιο (Ca)** εμφανίζει την ελάχιστη τιμή του, 30,8 mg/L, στις 2/7/2012 με απόκλιση 26 % από τη μέση τιμή (41,7 mg/L) και την μέγιστη, 50,7 mg/L, στις 1/9/2012 με απόκλιση 21 % από τη μέση τιμή (Σχ. 30). Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του ασβεστίου από τις 7/6/2012 μέχρι και τις 2/7/2012 μειώνεται αισθητά. Η μείωση αυτή πιθανόν να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα. Παρατηρούμε ότι και η συγκέντρωση του καλίου είναι μειωμένη στο διάστημα αυτό γεγονός που φανερώνει ότι υπήρξε μια δυσλειτουργία του οργάνου την μέρα που μετρήθηκαν.

Το **μαγνήσιο (Mg)** σημειώνει την μέγιστη τιμή του, 18,8 mg/L, στις 3/5/2012 και την ελάχιστη, 14,5 mg/L, στις 2/7/2012 (Σχ. 30). Η παρουσία του συνδέεται με την ύπαρξη ορυκτών μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό ή με την διείδυση της θάλασσας στον υδροφόρο.

Ο **χαλκός (Cu)** παρουσιάζει αυξητική τάση από τις 1/4/2012 που καταγράφεται η ελάχιστη τιμή των 0,911 μg/L μέχρι τις 7/6/2012 που παίρνει την μέγιστη τιμή των 3,611 μg/L. (Σχ. 30)

Το **νικέλιο (Ni)** εμφανίζει την μέγιστη τιμή του, 6,328 μg/L, στις 7/6/2012 και την ελάχιστη, 1,759 μg/L, στις 3/5/2012. Τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών δεν ανιχνεύεται. (Σχ. 30)

Το **μαγγάνιο (Mn)** δεν βρέθηκε πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου σε καμία δειγματοληψία. (Σχ. 30)

Το **κοβάλτιο (Co)** ανιχνεύεται μόνο τον πρώτο μήνα στις 1/4/2012 με τιμή 0,352 μg/L (Σχ. 31). Χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων και στις επικοβαλιτώσεις σιδηρών αντικειμένων, στη κατασκευή ισχυρών μόνιμων μαγνητών, στην κεραμοποιία, στην υαλουργία, στην παρασκευή χρωμάτων και ως καταλύτης.

Το **χρώμιο (Cr)** σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 0,789 μg/L, στις 7/6/2012 και την μέγιστη, 7,3 μg/L, τον αμέσως επόμενο μήνα στις 2/7/2012 (Σχ. 31). Η παρουσία του σχετίζεται με βιομηχανικά απόβλητα και διάβρωση πετρωμάτων.

Ο **ψευδάργυρος (Zn)** ανιχνεύεται μόνο τους δύο πρώτους μήνες των δειγματοληψιών με ελάχιστη τιμή 0,827 μg/L στις 1/4/2012 και μέγιστη 3,280 μg/L στις 3/5/2012. (Σχ. 31)

Ο **μόλυβδος (Pb)** δεν καταγράφεται κανένα μήνα πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου. (Σχ. 31)

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό που αντλείται από το συγκεκριμένο πηγάδι παρουσιάζει τα εξής προβλήματα :

- 1) Αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-) όλο το διάστημα παρακολούθησης του νερού καθώς η μέση τιμή τους 35,86 mg/L υπερβαίνει το επιθυμητό όριο των 25 mg/L και μάλιστα τους πρώτους μήνες πλησιάζει αρκετά το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.
- 2) Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων, δύο μήνες εμφανίζεται σημαντικά αυξημένη. Τον 4^ο μήνα μάλιστα στις 2/7/2012 η συγκέντρωσή τους με τιμή 0,355 mg/L σχεδόν αγγίζει το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 0,4 mg/L.
- 3) Υψηλό μικροβιολογικό φορτίο που εμφανίζεται με ιδιαίτερη ένταση τον 5^ο και τον 7^ο κυρίως μήνα των δειγματοληψιών.

Επομένως το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

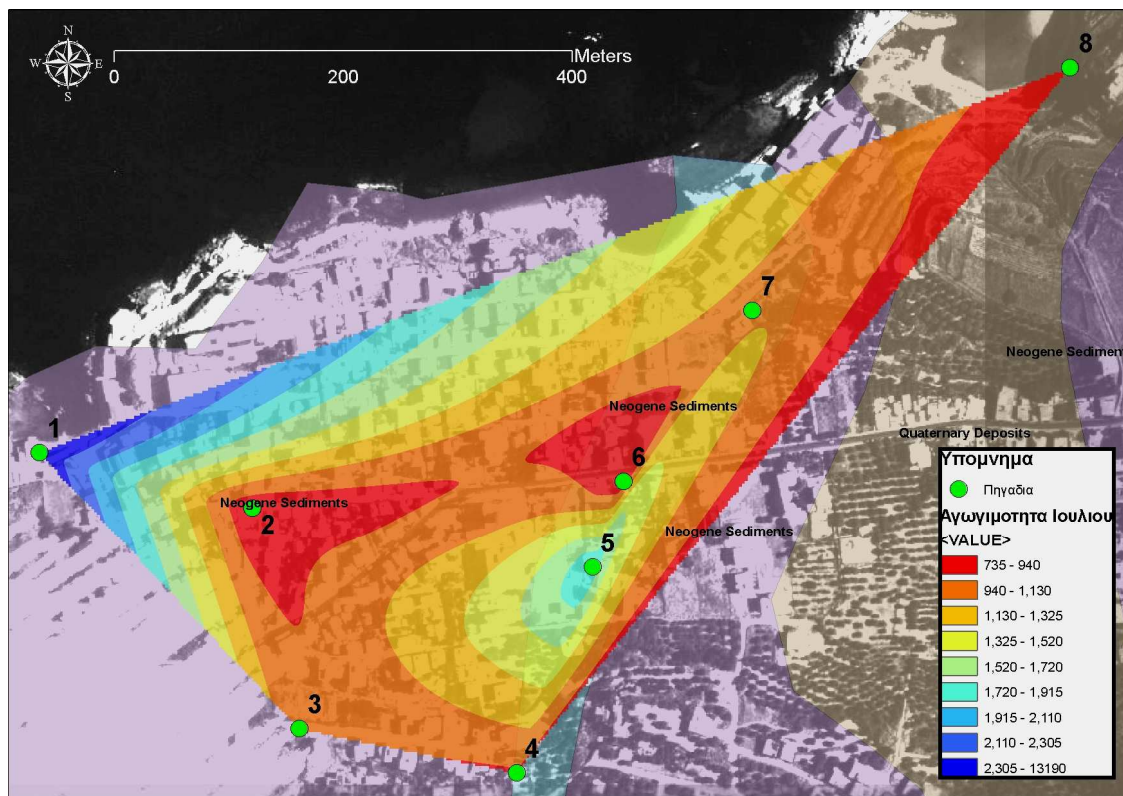
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με εκείνα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2008, από τις 26/5/2008 μέχρι και τις 22/10/2008 στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του Ε. Δραγάζη [20] παρατηρούμε ότι :

- ❖ Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο διάστημα 2008 - 2012 διατηρείται σχεδόν στα ίδια επίπεδα, αφού η μέση τιμή τους το 2008 ήταν ίση με 36,6 mg/L και το 2012 ίση με 35,9 mg/L.
- ❖ Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων επίσης παραμένει στα ίδια επίπεδα, αφού η μέση τιμή τους το 2008 ήταν ίση με 0,064 mg/L και το 2012 ίση με 0,034 mg/L.
- ❖ Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων επίσης παραμένει στα ίδια επίπεδα, αφού η μέση τιμή τους το 2008 ήταν ίση με 0,12 mg/L και το 2012 ίση με 0,16 mg/L.
- ❖ Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων εμφανίζει μείωση της μέσης τιμής της στο διάστημα 2008 - 2012, αφού η μέση τιμή τους το 2008 ήταν ίση με 86 mg/L και το 2012 ίση με 51 mg/L.
- ❖ Η παρουσία του μικροβιολογικού φορτίου εξακολουθεί να αποτελεί έναν επιβαρυντικό παράγοντα. Ωστόσο δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα για την διακύμανση της τιμής του των αριθμών αποικιών στο διάστημα 2008 - 2012 λόγω του μικρού αριθμού μετρήσεων που έγιναν τότε.

7.1.2 Αποτελέσματα γεωφυσικών μετρήσεων

Από τον ποιοτικό έλεγχο που έγινε, διαπιστώθηκε ότι σε δυο θέσεις δειγματοληψίας, οι οποίες βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους, η τιμή της αγωγιμότητας και όλων των παραμέτρων που έχουν άμεση σύνδεση με αυτή παρουσιάζουν αξιοπρόσεκτες διαφορές.

Στον χάρτη χωρικής κατανομής της αγωγιμότητας που ακολουθεί (Εικόνα 129) είναι εμφανές ότι τα σημεία 5 και 6 που αντιστοιχούν στις θέσεις αυτές βρίσκονται σε διαφορετική ζώνη τιμών.



Εικόνα 129: Χάρτης χωρικής κατανομής της αγωγιμότητας για τον μήνα Ιούλιο

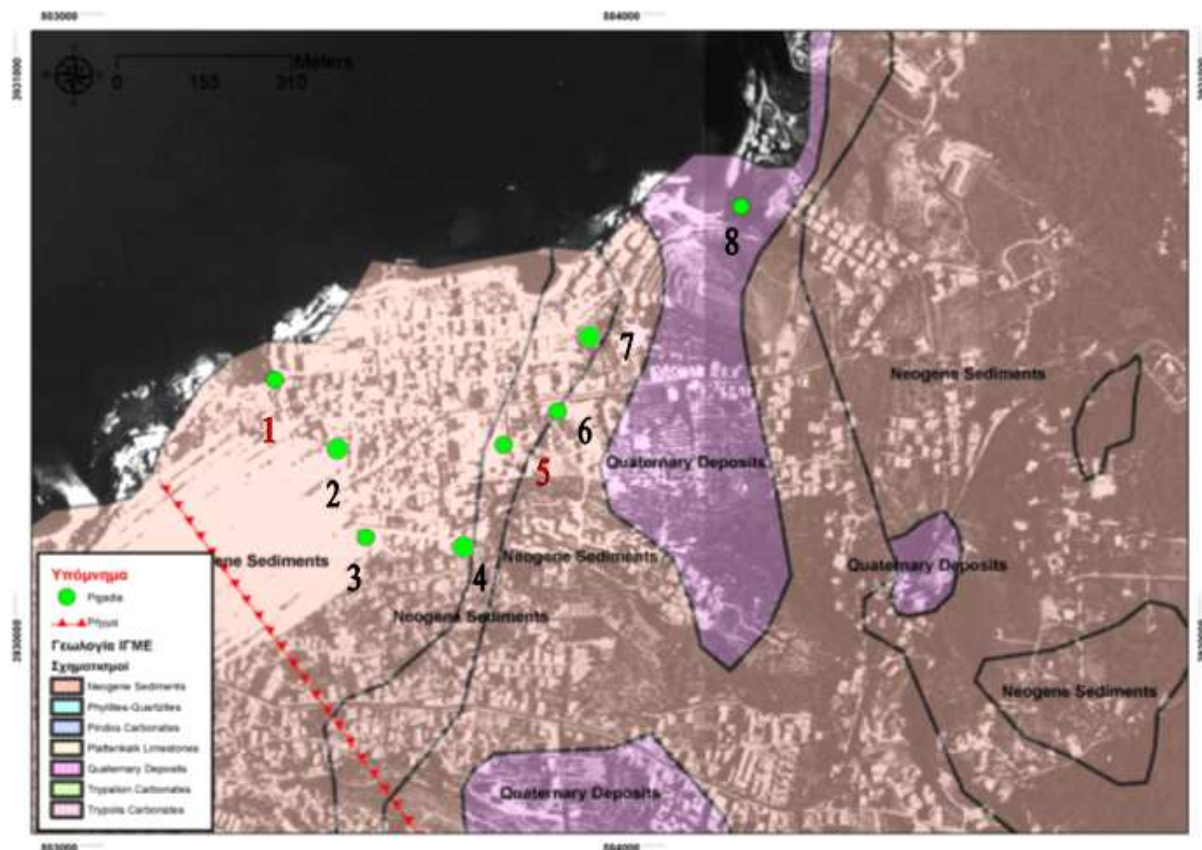
Αναλυτικά, στον χάρτη αυτόν παρατηρούμε ότι στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται :

- Τρεις θέσεις δειγματοληψίας (Σημεία 2, 6, 8) σε ζώνες χαμηλών τιμών αγωγιμότητας (< 940 μS/cm).
- Τρεις θέσεις δειγματοληψίας (Σημεία 3, 4, 7) σε ζώνη ενδιάμεσων τιμών αγωγιμότητας (940 - 1130 μS/cm).
- Δύο θέσεις δειγματοληψίας (Σημεία 1, 5) σε ζώνες υψηλών τιμών αγωγιμότητας (> 1915 μS/cm).

Συγκεκριμένα, οι θέσεις που βρίσκονται σε ζώνες χαμηλών τιμών αγωγιμότητας είναι οι "Μελιδονίου", "Προφήτη Ηλία" και "Πηγή Αγίας Κυριακής". Οι τιμές της αγωγιμότητας κυμαίνονται από 720 έως 806 μS/cm στη πρώτη, από 694 έως 795 μS/cm στη δεύτερη και από 744 έως 772 μS/cm στην τρίτη. Οι θέσεις που βρίσκονται σε ζώνες ενδιάμεσων τιμών αγωγιμότητας είναι οι "Γ.Καμπούρη", "Ρωμανού" και "Αγίας Κυριακής". Οι τιμές της αγωγιμότητας κυμαίνονται από 939 έως 982 μS/cm στη πρώτη, από 885 έως 913 μS/cm στη δεύτερη και από 1001 έως 1255 μS/cm στην τρίτη. Τέλος οι θέσεις που βρίσκονται σε ζώνες υψηλών τιμών αγωγιμότητας είναι οι "Ταμπακαριά" και "Παπαγιαννάκη". Οι τιμές της αγωγιμότητας κυμαίνονται από 5830 έως 13190 μS/cm στη πρώτη και από 1844 έως 2230 μS/cm στη δεύτερη.

Προβληματισμός δημιουργείται από την ύπαρξη ζώνης υψηλών τιμών αγωγιμότητας στο εσωτερικό της περιοχής μελέτης, την στιγμή που σε άλλες θέσεις, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα και θα περιμέναμε να έχουν υψηλότερες τιμές, παρατηρούνται μικρότερες τιμές.

Η τιμή της αγωγιμότητας στις θέσεις αυτές που εντάσσονται στις ζώνες υψηλών τιμών αγωγιμότητας, είναι ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με αυτή των υπόλοιπων θέσεων και μάλιστα στη μια υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο που προβλέπεται από την νομοθεσία για το πόσιμο νερό, ενώ στην άλλη σχεδόν το αγγίζει. Στη θέση **1**: Ταμπακαριά η υψηλή τιμή της αγωγιμότητας (>5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) είναι δικαιολογημένη δεδομένης της θέσης δειγματοληψίας, αφού βρίσκεται μερικά μέτρα από την θάλασσα. Στην άλλη θέση, **5**: Παπαγιαννάκη, αρχικά θεωρήθηκε ότι η υψηλή αγωγιμότητα (>2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τις γεωλογικές και τεκτονικές ιδιαιτερότητες της περιοχής έρευνας. Όπως φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Εικόνα 130) η θέση αυτή βρίσκεται εντός τεκτονισμένης ζώνης, της οποίας τα υδραυλικά χαρακτηριστικά (αυξημένο πορώδες και υδραυλική αγωγιμότητα) διευκολύνουν την διείσδυση του θαλασσινού νερού.



Εικόνα 130: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης

Ωστόσο το γεγονός ότι άλλες θέσεις δειγματοληψίας οι οποίες βρίσκονται εντός της ίδιας ζώνης, όπως το σημείο 6: Προφήτη Ηλία και το 7: Αγίας Κυριακής, δεν εμφανίζουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα τόσο ως προς την αγωγιμότητα όσο και ως προς άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά, αποδυναμώνει την προηγούμενη ερμηνεία που στηρίζεται στον γεωλογικό χάρτη.

Υπό κανονικές συνθήκες, δεν είναι δυνατόν το πηγάδι που είναι πιο απομακρυσμένο από την θάλασσα και απέχει σημαντικά από την ακτογραμμή να έχει υψηλότερη αγωγιμότητα από αυτό που βρίσκεται πλησιέστερα σε αυτή όπου η επιρροή του θαλασσινού νερού είναι μεγαλύτερη. Αυτό όμως δεν επαληθεύεται από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.

Για τον λόγο αυτό, αναζητήθηκαν και άλλες αιτίες που επηρεάζουν την τιμή της αγωγιμότητας στο συγκεκριμένο πηγάδι και κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθούν επίσης και κάποιες γεωφυσικές μετρήσεις. Έτσι στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν οι γεωφυσικές μέθοδοι α) της ηλεκτρικής τομογραφίας και β) της βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM) με σκοπό τη πληρέστερη έρευνα.

Λήψη γεωφυσικών μετρήσεων και ερμηνεία

Πρώτα εφαρμόστηκε η γεωφυσική μέθοδος της Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Η.Τ). Αυτή πραγματοποιήθηκε στον πλησιέστερο προσβάσιμο χώρο (χωράφι) ως προς το σημείο 6: Προφήτη Ηλία, ο οποίος βρίσκεται 40 m περίπου ανατολικότερα από το εν λόγω σημείο και είναι δίπλα στον κεντρικό δρόμο (Εικόνα 131).

Σκοπός της **Ηλεκτρικής Τομογραφίας** ήταν να αναγνωριστούν τα διάφορα γεωλογικά στρώματα του υπεδάφους πλησίον του σημείου 6: Προφήτη Ηλία και να εξεταστούν τα δεδομένα από τα οποία θα μπορούσαν να αντληθούν αξιοποιήσιμες πληροφορίες, οι οποίες να βοηθήσουν στο να δοθεί μια ερμηνεία που να εξηγεί γιατί τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από δύο θέσεις, οι οποίες απέχουν τόσο μικρή απόσταση μεταξύ τους (Παπαγιαννάκη, Προφήτη Ηλία), παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τόσο ως προς την τιμή της αγωγιμότητας όσο και ως προς τις άλλες παραμέτρους που αναλύθηκαν και προσδιορίστηκαν.



Εικόνα 131: Περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η Ηλεκτρική Τομογραφία

Για την υλοποίηση της Ηλεκτρικής Τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός :

- Όργανο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Syscal Pro της εταιρείας IRIS Instruments)
- 2 πολύκλινα καλώδια μεταφοράς του σήματος
- Ατσάλινοι πάσσαλοι και καλώδια σύνδεσης τους με τα καλώδια μεταφοράς του σήματος.
- 1 μπαταρία 12V και 143Ah για μεγάλη αυτονομία στο ύπαιθρο.
- Καλώδιο RS232 για μεταφορά των δεδομένων από το σύστημα καταγραφής στον υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 132 : Όργανο ειδικής ηλ. αντίστασης



Εικόνα 133 : Καλώδια μεταφοράς σήματος

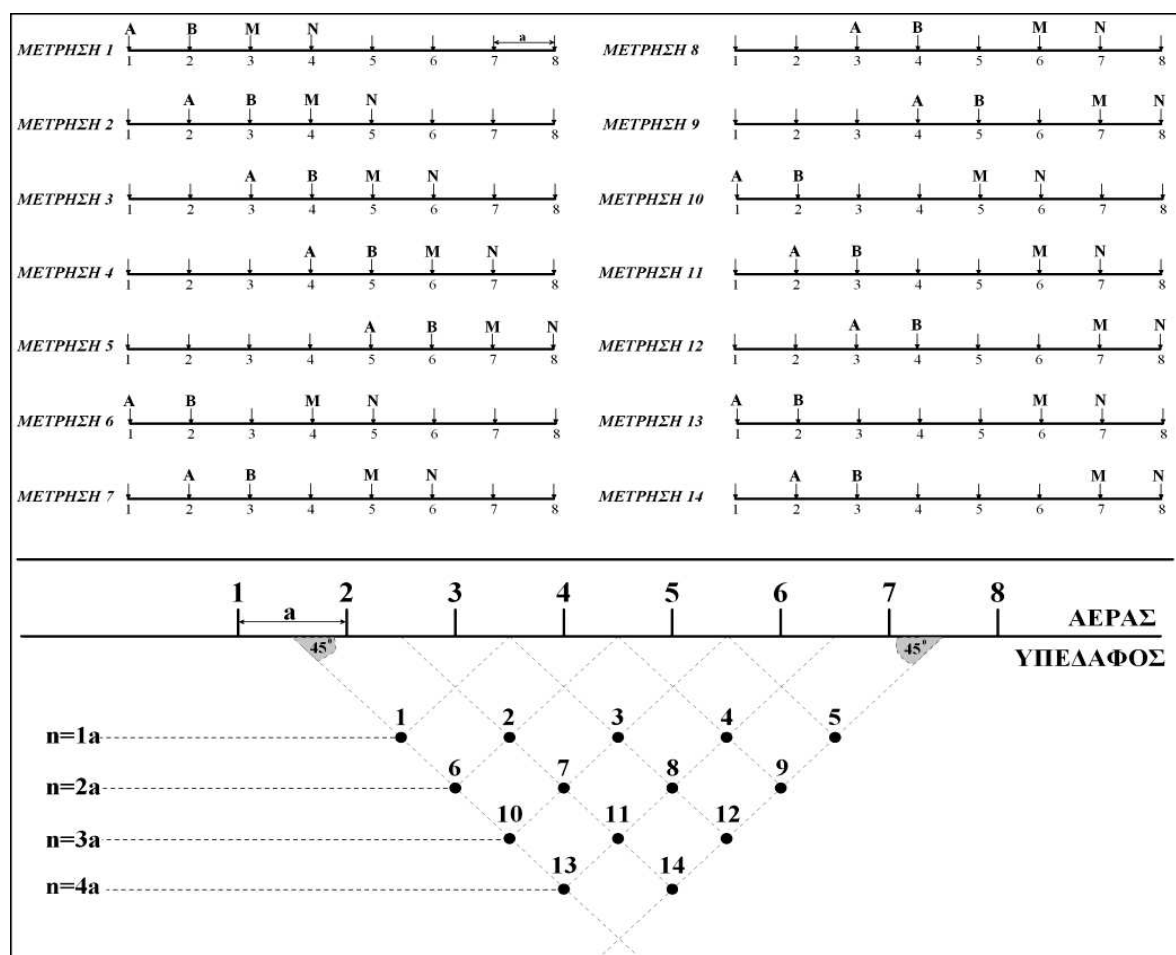
Το όργανο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Εικόνα 132), είναι πλήρως αυτοματοποιημένο με αυτονομία και αρκετή εσωτερική μνήμη, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Στο όργανο αυτό μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα μέχρι και 96 ηλεκτρόδια.

Η αυτόματη πραγματοποίηση των μετρήσεων της αντίστασης του υπεδάφους ελέγχεται από τον πολυπλέκτη, που συνδέεται στο όργανο μέτρησης της αντίστασης μέσω ενός ειδικού αρχείου που εισάγεται στο όργανο και περιλαμβάνει τη γεωμετρία της διάταξης που χρησιμοποιείται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συλλογή πολλών δεδομένων υψηλής ποιότητας και ευκρίνειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον το όργανο έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει και να αποθηκεύσει ταυτόχρονα μέχρι δέκα μετρήσεις, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο περίπου κατά δέκα φορές τον χρόνο συλλογής των δεδομένων.

Βάσει των παραπάνω δεδομένων οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ως εξής :

- ❖ Η συγκέντρωση των δεδομένων έγινε με την διάταξη ηλεκτροδίων **διπόλου - διπόλου**. Η διάταξη αυτή επιλέχθηκε για την υψηλή ανάλυση που προσφέρει τόσο σε οριζόντια όσο και σε κατακόρυφη διεύθυνση σε συνδυασμό με υψηλό σήμα σε σχέση με το θόρυβο.
- ❖ Η γεωμετρία της διάταξης ήταν η ακόλουθη: Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ήταν 1 m και χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 49 ηλεκτρόδια. Το μήκος της γραμμής τομογραφίας ήταν 48 m με διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ επιτυγχάνοντας έτσι ένα βάθος διείσδυσης περίπου 7 m.

Στην Εικόνα 134, φαίνεται σχηματικά ο τρόπος διεξαγωγής της ηλεκτρικής τομογραφίας με την διάταξη διπόλου - διπόλου με 8 ηλεκτρόδια και μέγιστο αριθμό επιπέδων ίσο με 4 και η απεικόνιση των δεδομένων σε δύο διαστάσεις, έτσι ώστε να σχηματιστεί η ψευδοτομή της μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Εικόνα 134: Τρόπος πραγματοποίησης της ηλεκτρικής τομογραφίας με την διάταξη διπόλου - διπόλου (Tsourlos 1995)

Κάθε τιμή της αντίστασης θεωρείται ότι τοποθετείται στο σημείο τομής δύο ευθειών που έχουν ως αρχή το κέντρο των διπώλων AB και MN αντίστοιχα και σχηματίζουν γωνία 45° με το οριζόντιο επίπεδο.

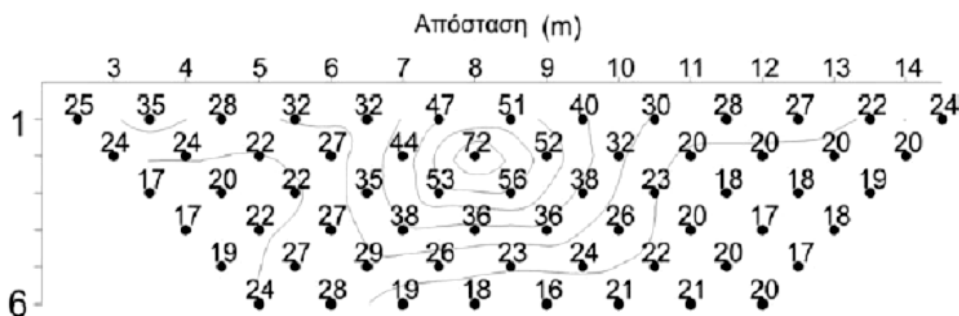
Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων είναι η εξής:

Αρχικά η απόσταση όλων των ηλεκτροδίων είναι ίση με 1a. Για την πρώτη μέτρηση χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρόδια με αριθμό 1, 2, 3, 4 όπου το 1^ο ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται ως το ηλεκτρόδιο ρεύματος A, το 2^ο ως το ηλεκτρόδιο ρεύματος B, το 3^ο ως το ηλεκτρόδιο δυναμικού M και το 4^ο ως το ηλεκτρόδιο δυναμικού N. Στη συνέχεια η διάταξη μεταφέρεται κατά απόσταση a προς τα δεξιά και για την δεύτερη μέτρηση της αντίστασης χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρόδια με αριθμούς 2, 3, 4, 5 ως A, B, M, N αντίστοιχα. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται έως ότου χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρόδια 5, 6, 7, 8 για την τελευταία μέτρηση με απόσταση 1a (μετρήσεις 1-5). Στην συνέχεια, η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων B και M αυξάνεται σε $n=2a$ αλλά η απόσταση μεταξύ των διπλών ρεύματος (AB) και δυναμικού (MN) παραμένει σταθερή και ίση με 1a. Ο παράγοντας n είναι ο λόγος της απόστασης των ηλεκτροδίων B - M προς την απόσταση των ηλεκτροδίων A - B. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρόδια 1, 2, 4, 5 ως A, B, M, N για την πρώτη μέτρηση με $n=2a$. Η διάταξη εν συνεχεία μεταφέρεται κατά 1a προς τα δεξιά μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι μετρήσεις (μετρήσεις 6-9).

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για μεγαλύτερα n. Συνήθως στην πράξη ο μέγιστος αριθμός n ο οποίος χρησιμοποιείται είναι 6-8, καθώς για μεγαλύτερα n το σήμα της μεθόδου ασθενεί σημαντικά. Για τον λόγο αυτό, αν υπάρχει επιθυμία η διασκόπηση να κυμανθεί σε ακόμα μεγαλύτερα βάρη, αυτό το οποίο γίνεται είναι να αυξηθεί η απόσταση των διπλών ρεύματος (AB) και δυναμικού (MN) σε 2a ή/και 3a και να πραγματοποιηθούν μετρήσεις για διάφορα πάλι n. Η συλλογή παράλληλων και πυκνών δισδιάστατων τομογραφιών δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη κατανομή των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους.

Οι τιμές των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στο ύπαιθρο με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας αντιστοιχούν σε τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Η Εικόνα 135 αποδίδει την διάταξη των μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε τομή του υπεδάφους (ψευδοτομή).

Το επόμενο στάδιο των εργασιών είναι ο υπολογισμός των τιμών της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, από τις τιμές της φαινόμενης και ο προσδιορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.



Εικόνα 135: Ψευδοτομή δεδομένων από τον αρχαιολογικό χώρο της Ευρωπού (Tsourlos 1995)

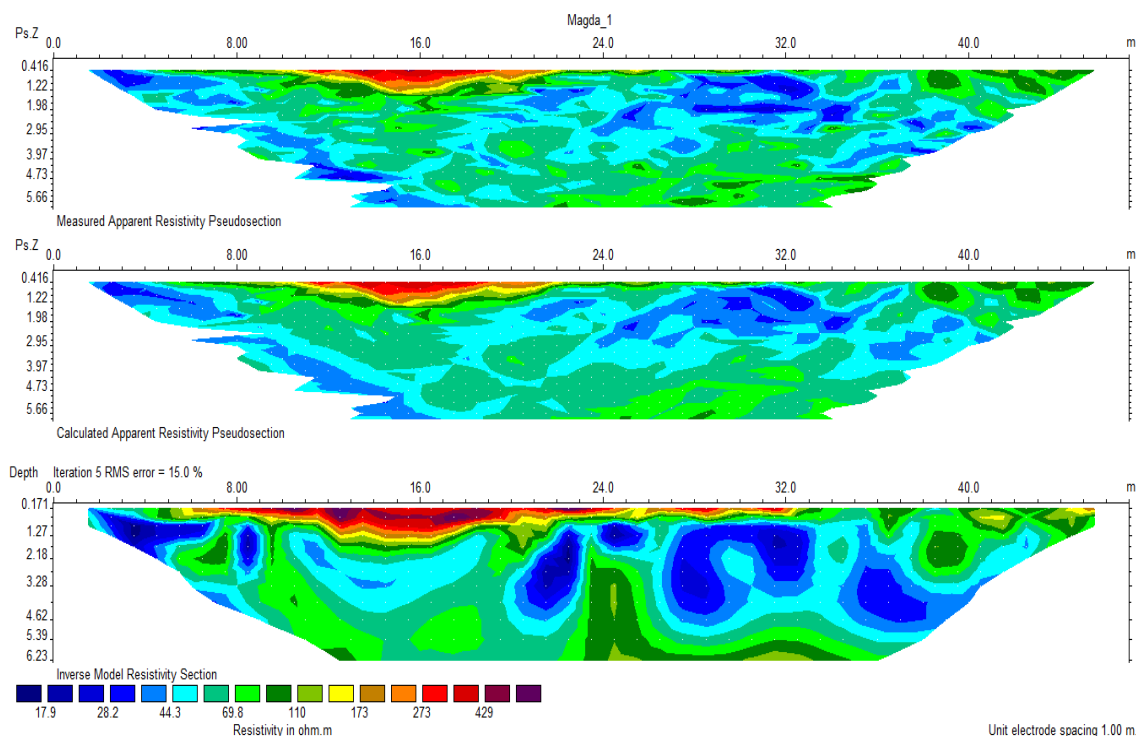
Ο προσδιορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου **Res2dinv**. Το λογισμικό αυτό πρόγραμμα, χωρίζει το υπέδαφος σε ένα πλήθος παραλληλογράμμων, ενώ για κάθε ένα από αυτά θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Στη συνέχεια θέτοντας ορισμένη τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση συνθέτει ένα αρχικό μοντέλο για το οποίο υπολογίζει τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης και τις συγκρίνει με τις τιμές της που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο.

Ακολουθούν διαδοχικές επαναλήψεις της διαδικασίας με διαφορετικές τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκρίνοντας τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που υπολογίζονται από το λογισμικό με αυτές που μετρήθηκαν. Με την διαδικασία αυτή το σφάλμα των τιμών που υπολογίζει το λογισμικό σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν μειώνεται συνεχώς. Όταν η επαναληπτική αυτή διαδικασία παρουσιάσει σύγκλιση, δηλαδή επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα, επιλέγεται το μοντέλο αυτό με το μικρότερο σφάλμα.

Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων είναι η σύνθεση 3 εικόνων στις οποίες αποδίδεται σε τομή η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με χρωματική κλίμακα. Η πρώτη εικόνα έχει δημιουργηθεί από τις τιμές της μετρούμενης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο ύπαιθρο, η δεύτερη από τις τιμές της που υπολογίστηκαν από το λογισμικό, ενώ η τελευταία

παρουσιάζει την κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους. Το σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών (γεωλογία - τεκτονική, υδρογεωλογία) για την περιοχή που πραγματοποιήθηκε η Ηλεκτρική Τομογραφία αξιολογούνται για την ερμηνεία της γεωηλεκτρικής δομής και τον προσδιορισμό της δομής του υπεδάφους.

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας.



Εικόνα 136: Αποτελέσματα των μετρήσεων της Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Απο τα αποτελέσματα της Η.Τ συμπεραίνουμε ότι :

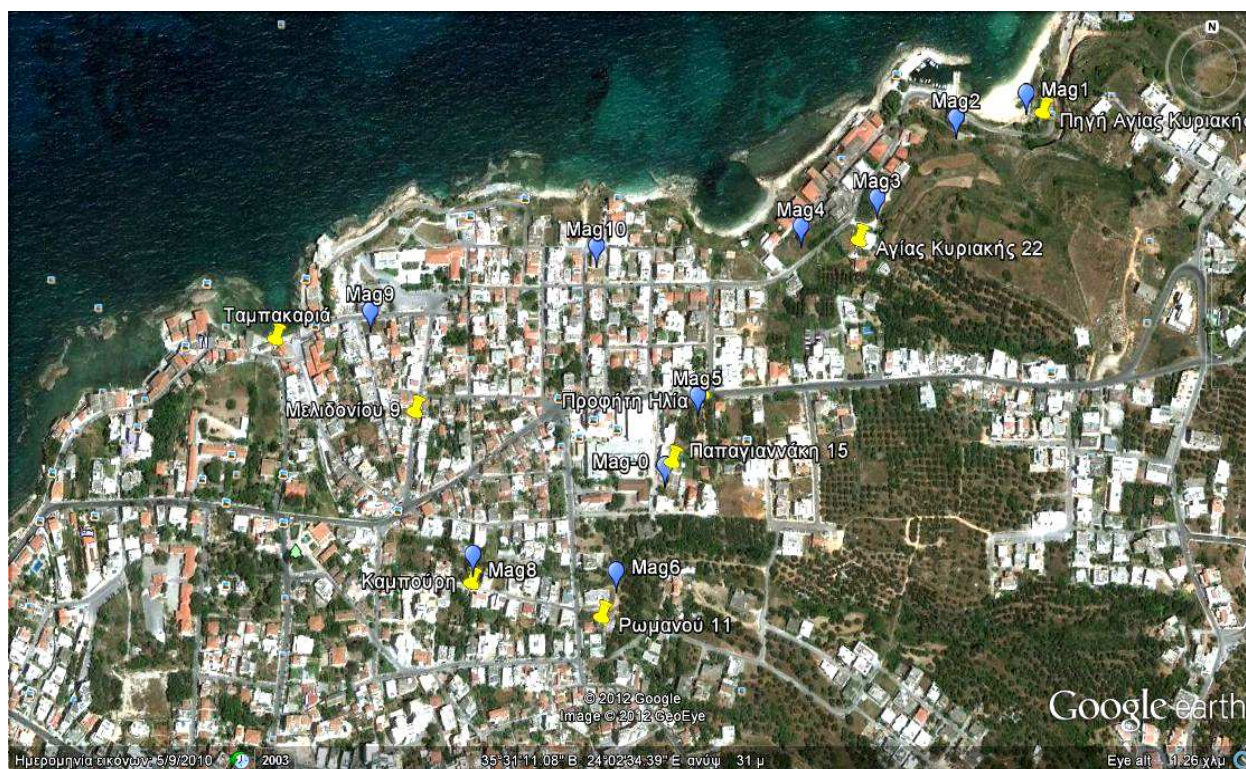
- Οι υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που παρατηρούμε να έχουν οι ανώτερες μάζες, στα πρώτα 2 μέτρα περίπου του εδάφους, οι οποίες κυμαίνονται κάπου μεταξύ 150 και 450 Ohm·m, οφείλονται στην ύπαρξη φερτών ανθρωπογενών υλικών (μπαζα), τα οποία είναι άτακτα ριγμένα και καλύπτουν την επιφάνεια του εδάφους. Κάτω από το επιφανειακό, αυτό, κάλυμμα φαίνεται η επαφή με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο ο οποίος κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης με αντιστάσεις που κυμαίνονται κάπου μεταξύ 100 και 150 Ohm·m. Επειδή είναι πολύ επιφανειακά, για τα πρώτα τρία μέτρα του εδάφους, μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξαλλοιωμένος / αποσθρωμένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος.
- Οι χαμηλές αντιστάσεις που εμφανίζονται σε μεγάλους όγκους από τα 2 μέχρι τα 5 μέτρα περίπου μπορούν να ερμηνευτούν ως υγρασία που έχει αποθηκευτεί στη συγκεκριμένη θέση από βροχές.

Αν και τα αποτελέσματα των μετρήσεων της Η.Τ, έδωσαν πληροφορίες για τις ρηχές γεωλογικές δομές στο σημείο, λόγω του μικρού μήκους της γραμμής της τομογραφίας (περιορισμένης έκτασης χώρος) δεν αντλήθηκαν πληροφορίες για τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους που θα μπορούσαν να δώσουν μια απάντηση για το προς διερεύνηση θέμα. Είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος τόσο αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος και διαρρέονται βαθύτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Επειδή λοιπόν τα αποτελέσματα της Η.Τ δεν έδωσαν τα επιθυμητά αποτελέσματα, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί στη περιοχή μελέτης σε δέκα θέσεις (Εικόνα 137) κοντά στα πηγάδια και η ηλεκτρομαγνητική γεωφυσική μέθοδος της βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM).

Η **Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM** έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των ηλεκτρικών μεθόδων, γιατί δίνει την δυνατότητα διασκόπησης σε μεγαλύτερα βάθη ακόμα και αν ο χώρος εφαρμογής της είναι περιορισμένος.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η μέθοδος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ οχήματα, ηλεκτροφόρα καλώδια, ηλεκτροκίνητες μηχανές) που μπορεί να διαστρεβλώσουν μια βυθοσκόπηση.



Εικόνα 137: Θέσεις που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις TEM

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων TEM ήταν ο εξής :

- TEM fast 48 - HPC, Applied Electromagnetic Research (AEMR). Ένα αυτόματο πολυκαναλικό/πολυσυχνотικό σύστημα μέτρησης κατανομής της αντίστασης με το βάθος.
- Υπολογιστής χειρός (HP - Palmtop), για την συλλογή και απεικόνιση των δεδομένων.
- Καλώδια υψηλής αγωγιμότητας (12,5 x 12,5 m loop)
- GPS για την λήψη των συντεταγμένων του κέντρου του βρόγχου το οποίο αποτελεί και τη θέση της βυθοσκόπησης.

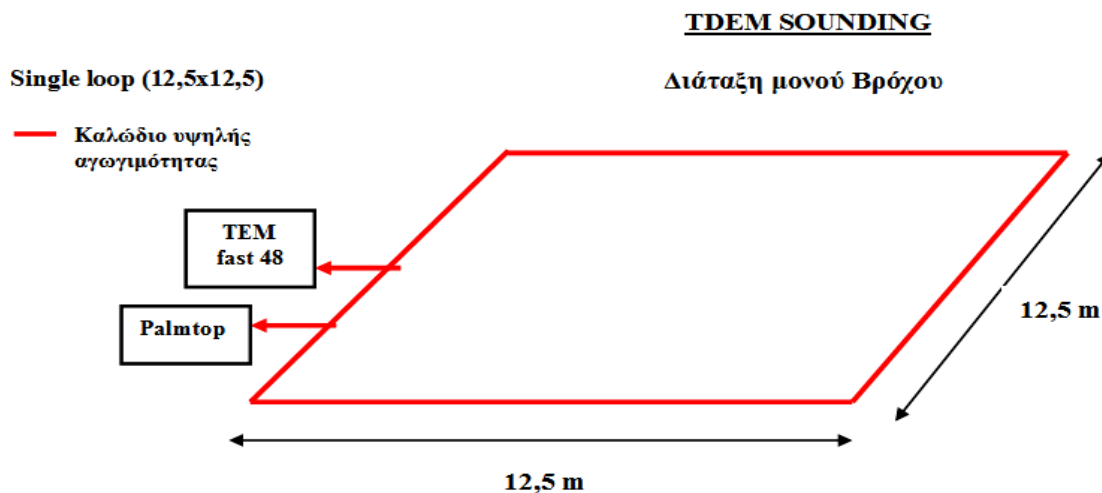
Το TEM fast 48 HPC (Εικόνα 141), είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST - TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιοσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, έρημους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. Είναι εξοπλισμένο με λογισμικό βάσης που προβλέπει τον έλεγχο, την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή, καθώς επίσης προκύπτουν και καμπύλες ειδικής αντίστασης και ορισμένα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος θορύβου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπου διεπαφής RS 232. Δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το γεωηλεκτρικό τύπο του εδάφους.

Γενικά, το TEM fast 48 HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο για την αναζήτηση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων, για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση καθώς και για πολλές άλλες εφαρμογές, όπως και για ιζηματολογικές έρευνες. Σημειώνεται ότι το βάθος των ερευνών είναι από ορισμένα εκατοστά για την αναζήτηση των μικρών στόχων μέχρι 100 μέτρα (και πιο ευνοϊκές συνθήκες).

Η διαδικασία πραγματοποίησης των μετρήσεων TEM σε κάθε θέση ήταν η ακόλουθη :

Στο σημείο που επιλέγαμε να πάρουμε μέτρηση, σχηματιζόταν με καλώδιο 50 m στην επιφάνεια του εδάφους ένας τετραγωνικός βρόγχος (12,5x12,5 m) για ρηχό βάθος διασκόπησης (μέχρι 30 m)

ο οποίος λειτουργούσε και ως πομπός και ως δέκτης. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό σχεδιάγραμμα για ένα μονό βρόχο βυθοσκόπησης TEM.



Εικόνα 138: Διαμόρφωση TDEM πεδίου

Μετά συνδέαμε την μια άκρη του βρόχου στο TEM fast 48 και την άλλη στο Palmtop και στη συνέχεια με τη χρήση GPS ακριβείας λαμβάνονταν οι συντεταγμένες του κέντρου του βρόχου, το οποίο αποτελεί και την θέση της βυθοσκόπησης. Έπειτα οι συντεταγμένες και άλλα στοιχεία της θέσης της



Εικόνα 139: Χωράφι που έγινε μέτρηση TEM



Εικόνα 140: Καλώδιο (12,5 x 12,5 m loop)

μέτρησης (x,y,z) εισάγονταν στον υπολογιστή χειρός - παλμογράφο και ορίζονταν οι παράμετροι (time, stack) με τις οποίες γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Τέλος, διοχετευόταν στο καλώδιο σταθερό ρεύμα 1 A. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα λειτουργεί



Εικόνα 141: TEM fast 48 - HPS



Εικόνα 142: GPS και Palmtop

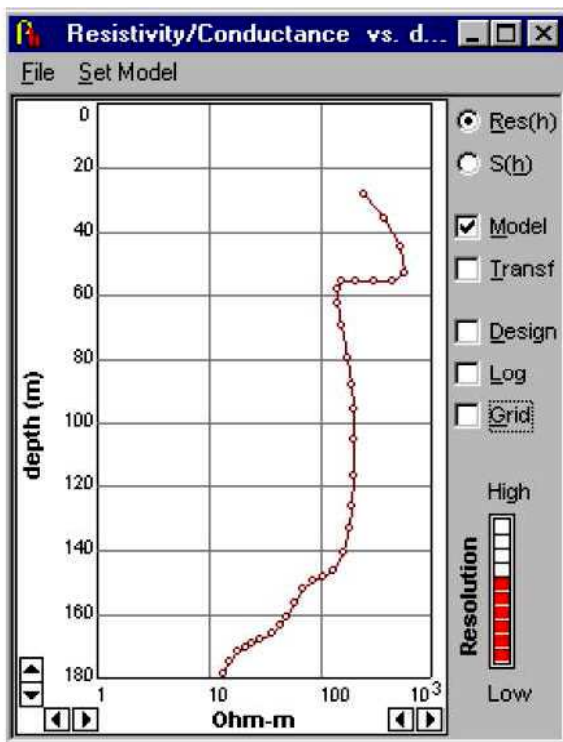
ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με τον δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός.

Αφού ολοκληρωνόταν η μέτρηση σε κάθε σημείο, γινόταν ένας πρώτος έλεγχος της ποιότητας - αξιοπιστίας της καθώς και του υπολογιζόμενου μοντέλου της αντίστασης σε σχέση με το βάθος με βάση τα πρωτογενή δεδομένα.

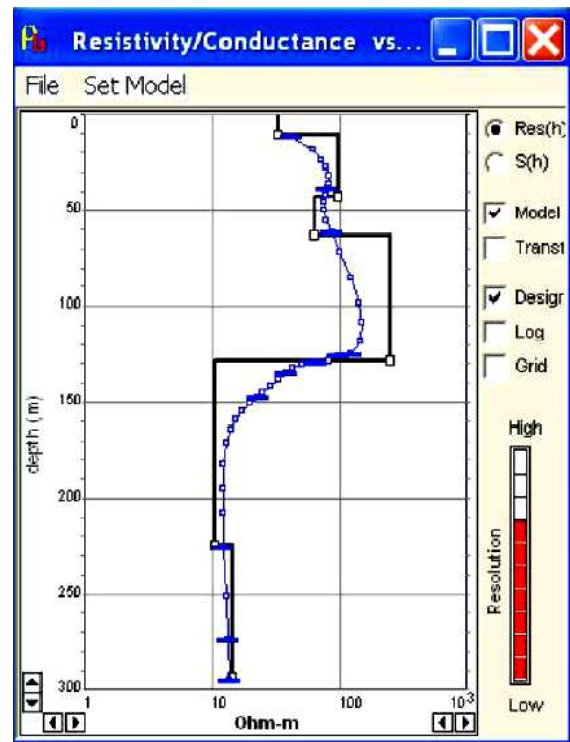
Για να μειώσουμε, όσο μπορούσαμε, το σφάλμα και τον θόρυβο (αν υπήρχε) πραγματοποιούσαμε στο ίδιο σημείο νέα επαναληπτική μέτρηση. Υψηλός θόρυβος παρουσιαζόταν συνήθως σε θέσεις που βρίσκονταν κοντά σε καλώδια υψηλής τάσης (ΔΕΗ, ΟΤΕ), σε μεταλλικούς φράχτες ή κοντά σε δρόμο από τον οποίο διέρχονταν αυτοκίνητα.

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν στον κατακόρυφο άξονα τη μεταβολή του λόγου V/A σε συνάρτηση των χρονικών παραθύρων. Στην περίπτωση βυθοσκοπήσεων, χαρτογραφούνται οι φαινόμενες αντιστάσεις με το χρόνο, ώστε να υπάρχει μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση των μετρήσεων, όπως συμβαίνει με τις ηλεκτρικές μεθόδους συνεχούς ρεύματος.

Πολλές φορές όμως τα πρωτογενή δεδομένα χρήζουν διόρθωσης λόγω του θορύβου που κατέγραφαν, ο οποίος αλλοιώνει την ποιότητα του σήματος. Έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τα πρωτογενή δεδομένα και να παρέμβει είτε αλλάζοντας/διαγράφοντας τιμές είτε εφαρμόζοντας φίλτρα εξομάλυνσης. Με την εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης η καμπύλη μπορεί να αποκτήσει μια πιο ρεαλιστική μορφή και τα αποτελέσματα αυτής να είναι πιο αξιόπιστα. Με το πέρας της εφαρμογής όποιων φίλτρων στα πρωτογενή δεδομένα, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το μονοδιάστατο μοντέλο αντίστασης σε σχέση με το βάθος (Εικόνα 143).



Εικόνα 143: Τελικό μοντέλο κατανομής της αντίστασης με το βάθος

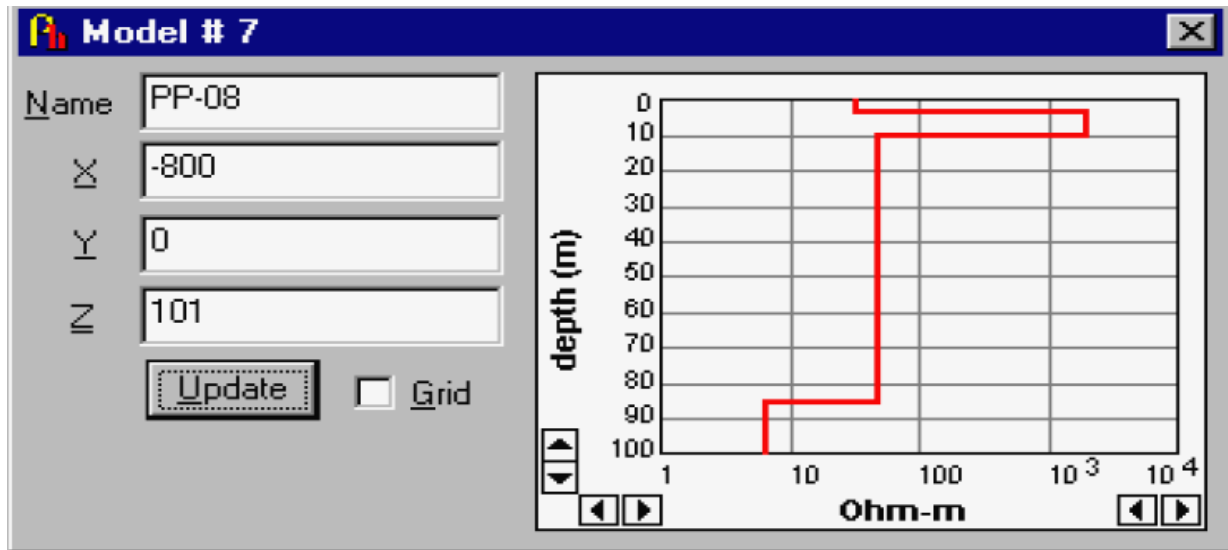


Εικόνα 144: Δυνατότητα σχεδιασμού του μοντέλου βαθών με βάση την ερμηνεία των πρωτογενών δεδομένων

Δεδομένου ότι όποια μεταβολή στη καμπύλη συνδέεται με μεταβολή στη λιθολογία, μπορεί ο χρήστης κατά την επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων να ορίσει τη γεωλογική και λιθολογική διαστρωμάτωση. Με αυτόν τον εύκολο τρόπο προκύπτει το μοντέλο πάχους και αντιστάσεων των στρωμάτων (Εικόνα 144).

Με τη συνεχή λήψη των μετρήσεων, δημιουργείται μια βάση δεδομένων στην οποία καταγράφονται στοιχεία όπως, το όνομα της θέσης (name), οι διαστάσεις του πομπού (Tr), οι διαστάσεις του δέκτη (Rec), το πλήθος των σωρεύσεων (Stc), ο χρόνος - χρονικά παράθυρα που επιλέχθηκαν (Time), η επιλογή της προστασίας από υπερφόρτωση του συστήματος (High Voltage Protection - HVP), το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης βιομηχανικού θορύβου (F), η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος (I) και οι διορθωτικοί χρόνοι στην απόσβεση του ρεύματος για το βρόγχο εκπομπής (dT). Σε κάθε περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα να δει κανείς όλες τις μετρήσεις όπως επίσης και τα στοιχεία για κάθε μία από αυτές καθώς και την ερμηνεία της.

Στην Εικόνα 145 παρουσιάζονται ως παράδειγμα τα στοιχεία και η μονοδιάστατη ερμηνεία που προέκυψε από τη λήψη μετρήσεων μιας βυθοσκόπησης.

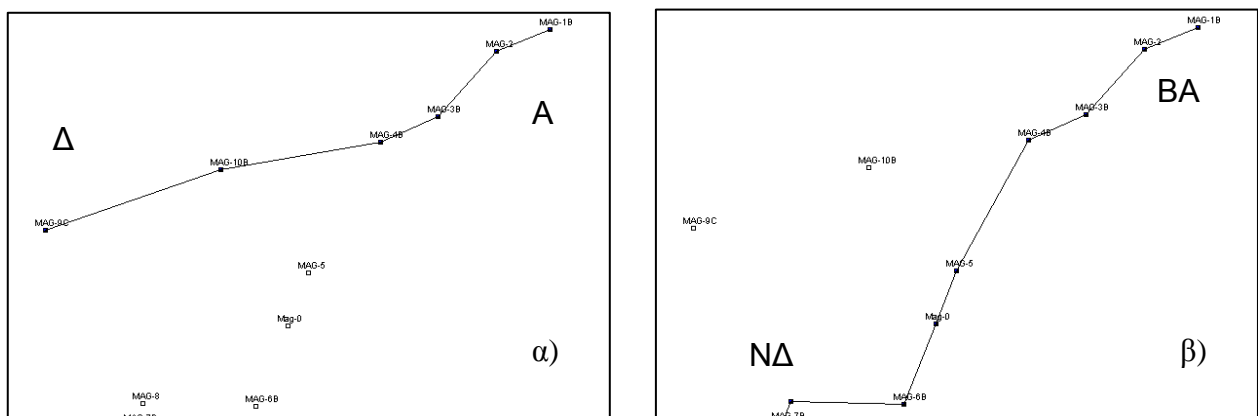


Εικόνα 145: Παρουσίαση στοιχείων μιας βυθοσκόπησης

Έτσι με την λήψη μετρήσεων σε όλες τις θέσεις που μας ενδιέφεραν, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων την οποία επεξεργαστήκαμε στο εργαστήριο **“ Γεωφυσικής και Σεισμολογίας ”** του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του ΤΕΙ Κρήτης.

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με το λογισμικό TEM - RES της TEM FAST. Το TEM-RES-WIN έχει ειδικά εργαλεία για τη μαζική επεξεργασία των δεδομένων και την κατασκευή των 2D και 3D εικόνων των γεωηλεκτρικών τμημάτων.

Για κάθε μία βυθοσκόπηση πραγματοποιήθηκε ανάλυση, επεξεργασία και μοντελοποίηση και στη συνέχεια έγινε δισδιάστατη απεικόνιση. Στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις σε μια περιοχή έρευνας είναι χωρικά κατανομημένες (Εικόνα 146), τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιες βυθοσκοπήσεις η ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός δισδιάστατου μοντέλου κατανομής των αντιστάσεων με το βάθος. Η παραγωγή του μοντέλου γίνεται με παρεμβολή των μονοδιάστατων ερμηνειών των επιμέρους βυθοσκοπήσεων. Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνονται τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε βυθόμετρηση αλλά και η διεύθυνση των δύο γεωηλεκτρικών τομών που έγιναν.

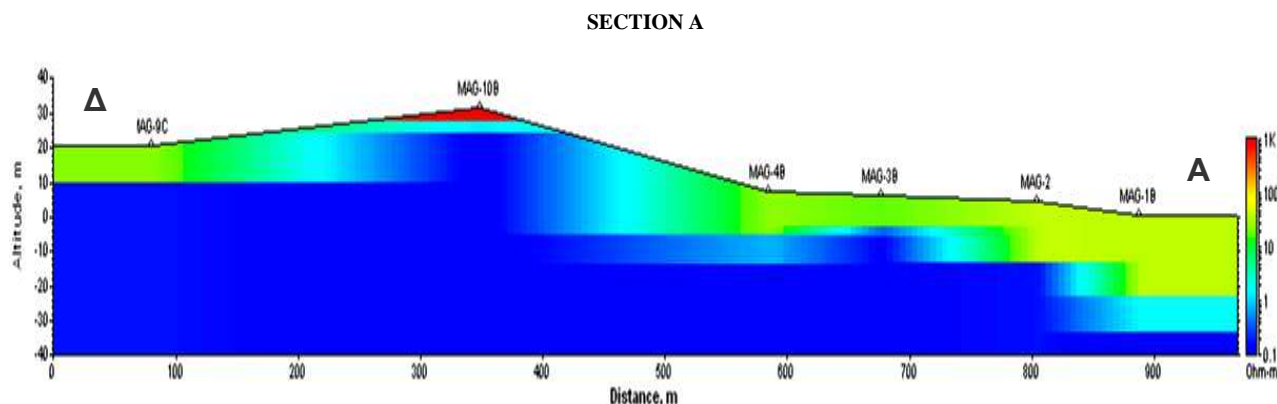


Εικόνα 146: Επιλογή βυθοσκοπήσεων η μονοδιάστατη ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός δισδιάστατου μοντέλου κατανομής των αντιστάσεων σε σχέση με το βάθος. α) Διεύθυνση γεωηλεκτρικής τομής A και β) Διεύθυνση γεωηλεκτρικής τομής B

Έτσι δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά προφίλ για την περιοχή μελέτης. Στη γεωηλεκτρική τομή A ο λόγος του κάθετου προς το οριζόντιο είναι 1,5 προς 1 ενώ στη γεωηλεκτρική τομή B ο αντίστοιχος λόγος είναι 2 προς 1. Η τομή A είχε μήκος περίπου 800 m και ακολουθούσε την ακτογραμμή. Το μέσο βάθος διεύθυνσης που πετύχαμε ήταν περίπου 30 μέτρα.

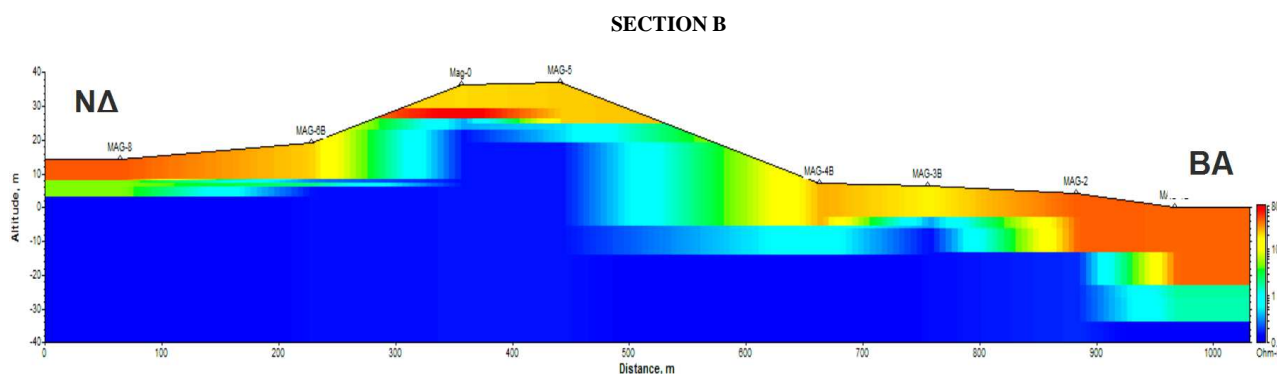
Ένας τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι με τη χρήση χρωματικής κλίμακας. Στη περίπτωση αυτή, η τομή στην περιοχή ενδιαφέροντος χωρίζεται σε εικονοστοιχεία το χρώμα των οποίων εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης του συγκεκριμένου σημείου απεικόνισης. Έτσι τα ψυχρά χρώματα (μπλε) αναφέρονται σε μικρές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες) ενώ τα θερμά χρώματα (κόκκινα) αναφέρονται σε υψηλές αντιστάσεις (χαμηλές αγωγιμότητες).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις δύο γεωηλεκτρικές τομές παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα Α: Δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των αντιστάσεων σε σχέση με το βάθος για την γεωηλεκτρική τομή Α

Στο σχήμα Α, οι αντιστάσεις οι οποίες κυμαίνονται από 0,1 - 1 Ohm.m αντιστοιχούν στους γεωλογικούς σχηματισμούς του υπεδάφους (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) οι οποίοι έχουν πληρωθεί με θαλασσινό νερό. Οι αντιστάσεις από 1 - 5 Ohm.m χαρακτηρίζουν μια μεταβατική ζώνη και οι αντιστάσεις που κυμαίνονται από 5 - 40 Ohm.m αντιστοιχούν στους γεωλογικούς σχηματισμούς του υπεδάφους (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) οι οποίοι είναι πληρωμένοι με γλυκό νερό. Τιμές αντίστασης από 40 - 80 Ohm.m υποδεικνύουν την παρουσία μάργας/μαργαϊκού ασβεστόλιθου. Αντιστάσεις μεγαλύτερες από 80 Ohm.m αντιστοιχούν στους ακόρεστους σχηματισμούς του υπεδάφους ενώ αντιστάσεις της τάξης του 1 KOhm.m υποδεικνύουν την παρουσία καθαρού ακόρεστου ασβεστόλιθου. Από αυτό το σχήμα μπορεί να καταλάβει κανείς ότι ο βαθμός υφαλμύρινσης των υπόγειων υδάτων στη παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης είναι μεγάλος, αφού η διεπιφάνεια γλυκού/αλμυρού νερού εμφανίζεται μόλις μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στη θέση Mag10 μάλιστα παρατηρείται αναθόλωση της διεπιφάνειας, η οποία εμφανίζεται στα 10 m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους και πιθανολογείται πως οφείλεται στην ύπαρξη ζώνης διάρρηξης μέσω της οποίας θαλασσινό νερό διεισδύει στον υπόγειο υδροφορέα. Μια μικρή αναθόλωση εμφανίζεται και στη θέση Mag3.

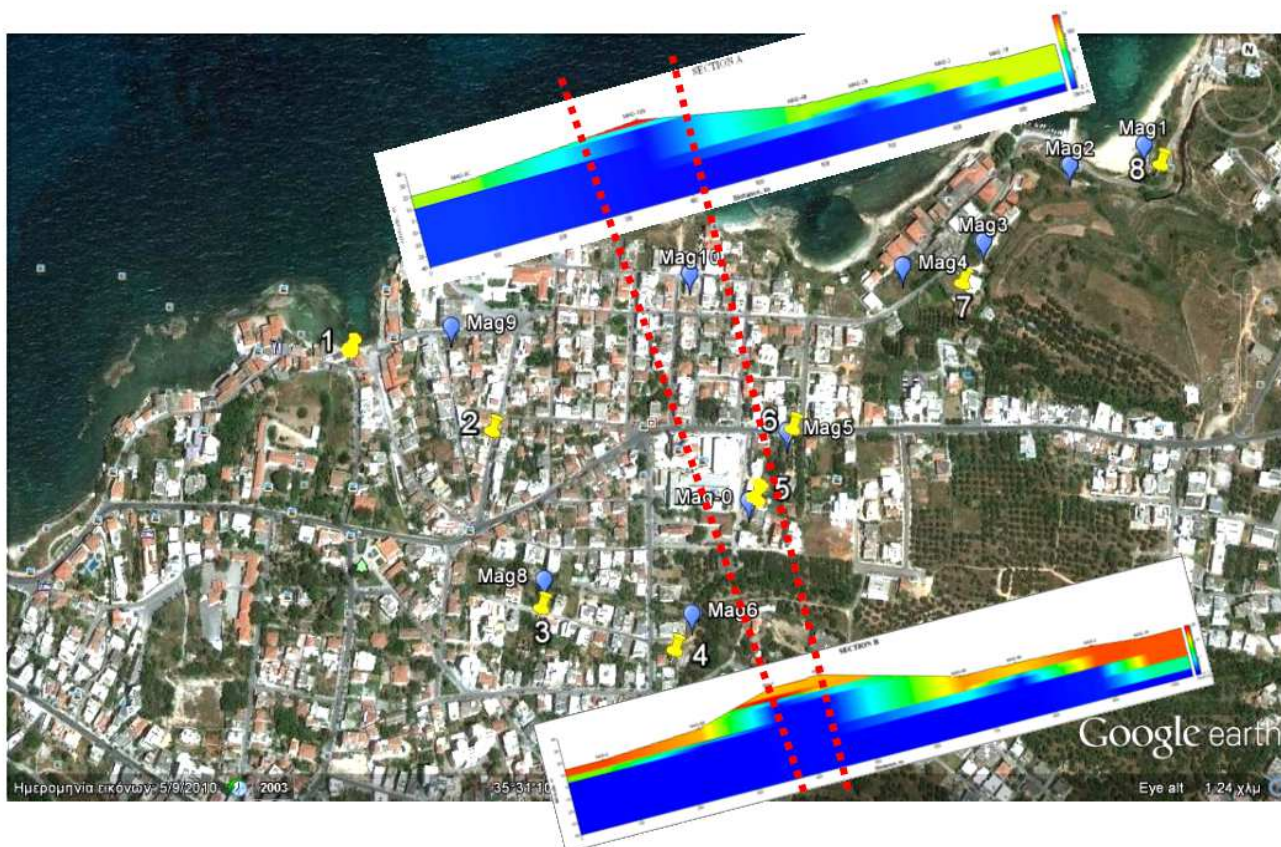


Σχήμα Β: Δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των αντιστάσεων σε σχέση με το βάθος για την γεωηλεκτρική τομή Β

Στο σχήμα Β ισχύουν όσα και στο σχήμα Α μόνο που σε αυτό απουσιάζουν οι αντιστάσεις της τάξης του 1 KOhm.m που αντιστοιχούν σε καθαρό ακόρεστο ασβεστόλιθο. Έτσι, οι αντιστάσεις που κυμαίνονται από 0,1 - 1 Ohm.m αντιστοιχούν στους γεωλογικούς σχηματισμούς του υπεδάφους (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) οι οποίοι έχουν πληρωθεί με θαλασσινό νερό. Οι αντιστάσεις από 1 - 5 Ohm.m χαρακτηρίζουν μια μεταβατική ζώνη και οι αντιστάσεις που κυμαίνονται από 5 - 40 Ohm.m αντιστοιχούν στους γεωλογικούς σχηματισμούς του υπεδάφους (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) οι οποίοι είναι πληρωμένοι με γλυκό νερό. Τιμές αντίστασης από 40 - 80 Ohm.m

υποδεικνύουν την παρουσία μάργας/μαργαϊκού ασβεστόλιθου. Από αυτό το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι ακόμη και στην ενδοχώρα της περιοχής μελέτης υπάρχει υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων αφού και σε αυτή τη τομή η διεπιφάνεια γλυκού/αλμυρού νερού εμφανίζεται μόλις μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στις θέσεις Mag0 και Mag5 μάλιστα παρατηρείται αναθόλωση της διεπιφάνειας, η οποία εμφανίζεται στα 10 με 15 m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους και πιθανολογείται πως οφείλεται και αυτή σε ζώνη διάρρηξης μέσω της οποίας γίνεται και η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Μια μικρή αναθόλωση εμφανίζεται και στη θέση Mag3.

Η συνολική ερμηνεία για την περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί



Εικόνα 147: Ζώνη διάρρηξης μέσω της οποίας το θαλασσινό νερό διεισδύει στον υπόγειο υδροφόρα

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, υπάρχει μια ζώνη διάρρηξης με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ, η οποία συνδέει τις θέσεις Mag10 και Mag0 που εμφανίζουν πολύ χαμηλές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες) και στις οποίες η αναθόλωση της διεπιφάνειας γλυκού/αλμυρού νερού φτάνει μέχρι και λίγα μόνο μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Είναι σημαντικό, ότι η διεπιφάνεια ακολουθεί την τοπογραφία του υπεδάφους που οφείλεται σε ζώνη διάρρηξης μέσω της οποίας γίνεται και η διείσδυση του θαλασσινού νερού και είναι συνεπής με την πιθανή τεκτονική εξέλιξη της περιοχής.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης TEM στη θέση Mag0 συμφωνεί, ως προς την αγωγιμότητα, με τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που έγιναν στα δείγματα νερού, τα οποία αντλήθηκαν από το πηγάδι "Παπαγιαννάκη" που βρίσκεται δίπλα στη θέση αυτή.

Το γεγονός ότι η μέτρηση TEM στη θέση Mag5 έδωσε μικρές τιμές αντίστασης (υψηλή αγωγιμότητα), ενώ οι μετρήσεις που έγιναν στα δείγματα νερού τα οποία αντλήθηκαν από το πηγάδι "Προφήτη Ηλία", που βρίσκεται δίπλα στη θέση αυτή, έδωσαν τιμές χαμηλής αγωγιμότητας, δείχνει ότι το πηγάδι αυτό βρίσκεται οριακά εκτός της ζώνης διάρρηξης και επομένως η χημική σύσταση του νερού του δεν επηρεάζεται από την διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Έτσι εξηγείται γιατί τα δύο αυτά πηγάδια, αν και απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους, εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς την ποιότητά του υπόγειου νερού.

7.1.3 Αποτελέσματα των αναλύσεων στα δείγματα νερού από τις παραλίες

Α) ΠΑΡΑΛΙΑ ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** κυμαίνεται μεταξύ 8,02 και 8,05 σημειώνοντας την μέγιστη τιμή του στις 27/5/2012 και την ελάχιστη στις 25/8/2012. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (6,5 - 8,5). (Σχ. 32) (Υπουργική απόφαση 46399/1352/86)

Η **αγωγιμότητα** παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της, 53200 $\mu\text{S/cm}$, στις 24/7/2012 και την ελάχιστη, 40900 $\mu\text{S/cm}$, στις 25/8/2012 έχοντας απόκλιση 17 % από τη μέση τιμή (49050 $\mu\text{S/cm}$). Μείωση της αγωγιμότητας κάτω από 32000 $\mu\text{S/cm}$ υποδηλώνει ανάμιξη με γλυκό νερό.

Η **αλατότητα** κυμαίνεται από 26,2 ‰ έως 35,1 ‰ στις 25/8/2012 και στις 24/7/2012 αντίστοιχα. Η μέση τιμή της είναι ίση με 31,4 ‰ προσεγγίζοντας τη μέση τιμή αλατότητας της Μεσογείου θάλασσας που είναι $S = 39$ ‰ (Ξένος 2000). (Σχ. 32)

Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτή της αγωγιμότητας σημειώνοντας την μέγιστη τιμή τους, 33800 mg/L , στις 24/7/2012 και την ελάχιστη, 25200 mg/L , στις 25/8/2012. (Σχ. 32)

Η **θολρότητα** εμφανίζει μικρές αυξομειώσεις και κυμαίνεται μεταξύ 2,6 και 3,7 NTU . Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 27/5/2012 και η μέγιστη τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012.

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** παρουσιάζουν πτωτική τάση από τις 27/5/2012 μέχρι τις 25/8/2012 οπότε και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 3,5 mg/L αποκλίνοντας 24 % από τη μέση τιμή (4,6 mg/L). Η μέγιστη τιμή τους, 5,8 mg/L , εμφανίζεται τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών, στις 30/9/2012, με απόκλιση 26 % από τη μέση τιμή. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλές, αφού όχι μόνο βρίσκονται κάτω από την τιμή των 50 mg/L που είναι το όριο ποσιμότητας αλλά βρίσκονται κάτω και από την των 20 mg/L το ξεπέρασμα της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφικές συνθήκες. (Σχ. 32)

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** εμφανίζουν την ελάχιστη τιμή τους, 0,052 mg/L , στις 30/6/2012 έχοντας απόκλιση 53 % από τη μέση τιμή (0,112 mg/L) και την μέγιστη, 0,154 mg/L , στις 25/8/2012 με απόκλιση 37 % από την μέση τιμή. (Σχ. 33)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** παίρνουν την μέγιστη τιμή τους, 0,037 mg/L , τον πρώτο μήνα στις 26/4/2012. Η ελάχιστη τιμή τους, 0,031 mg/L , σημειώνεται στις 30/6/2012, 25/8/2012 και 30/9/2012. Οι τιμές τους βρίσκονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα που είναι κάτω ακόμα και από την τιμή των 0,4 mg/L που είναι το όριο ποσιμότητας. (Σχ. 33)

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** εμφανίζει πτωτική τάση από τις 27/5/2012 που σημειώνει την μέγιστη τιμή του, 96%, μέχρι τις 25/8/2012. Η ελάχιστη τιμή του, 91,9%, σημειώνεται στις 26/4/2012. Οι τιμές αυτές βρίσκεται εντός των ορίων που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης.

Το **BOD** παρουσιάζει αυξητική τάση. Η ελάχιστη τιμή του, 1 mg/L , καταγράφεται τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 26/4/2012 και η μέγιστη, 4 mg/L , τους δύο τελευταίους μήνες στις 25/8 και 30/9. (Σχ. 32)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** δεν ξεπερνούν τις 500 αποικίες/100ml που είναι το επιθυμητό όριο σύμφωνα με τη νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης. Ο ελάχιστος αριθμός τους, 16 αποικίες/100 ml, καταμετρήθηκε στις 25/8/2012 και ο μέγιστος, 268 αποικίες/100 ml, στις 30/9/2012. (Σχ. 33)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal Coliforms)** παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους στις 30/9/2012 με 127 αποικίες/100 ml και υπερβαίνουν το επιθυμητό όριο που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (100 αποικίες/100 ml). Ο ελάχιστος αριθμός τους σημειώνεται στις 25/8/2012 με 8 αποικίες/100 ml. (Σχ. 33)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** χωρίς να υπερβαίνουν το επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml, παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό τους, 1 αποικία/100 ml, στις 27/5/2012 και τον μέγιστο στις 30/9/2012 με 37 αποικίες/100 ml. (Σχ. 33)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** εμφανίζει φθίνουσα πορεία από τις 26/4/2012 που σημειώνει την μέγιστη τιμή των 458,8 mg/L μέχρι τις 25/8/2012 που παίρνει την ελάχιστη τιμή των 365,8 mg/L (Σχ. 33). Η παρουσία του καλίου στο θαλασσινό νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Το **ασβέστιο (Ca)** σημειώνει την μέγιστη τιμή του, 60,5,5 mg/L, τον πρώτο μήνα στις 26/4/2012 και την ελάχιστη, 495,5 mg/L, τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012 (Σχ. 33). Η παρουσία του ασβεστίου στο θαλασσινό νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Η πτώση της συγκέντρωσής του που παρατηρείται τους τελευταίους μήνες πιθανόν να σχετίζεται με την μείωση των βροχοπτώσεων τους θερινούς μήνες.

Τα βαρέα μέταλλα δεν μετρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού από τις παραλίες.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων, διαπιστώνουμε ότι η παραλία της *Αγίας Κυριακής* όσον αφορά τις παραμέτρους που μετρήθηκαν έχει το εξής πρόβλημα :

- ❖ Υπαρξη μικροβιολογικού φορτίου, που μόνο για τον δείκτη κοπρανωδών κολοβακτηριοειδών E-coli, τον τρίτο μήνα των δειγματοληψιών (Ιούνιος - 12), πλησιάζει αρκετά το επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml και τον τελευταίο μήνα (Σεπτέμβριος - 12) το υπερβαίνει, χωρίς όμως να ξεπερνά και το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 500 αποικιών/100 ml.

Επομένως σύμφωνα με τα πρότυπα των νερών κολύμβησης, η παραλία της *Αγίας Κυριακής* πληροί τις προϋποθέσεις και το νερό της χαρακτηρίζεται ως "*εξαιρετικής ποιότητας*".

Ωστόσο απαγορεύεται η κολύμβηση στη συγκεκριμένη παραλία σύμφωνα με απόφαση του Αντιπεριφερειάρχη Χανίων, λόγω της ύπαρξης και λειτουργίας βυρσοδεψείων σε πολύ κοντινή απόσταση (λιγότερο από 150 m).

Επομένως είναι σαφές ότι η αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων ως προς την καταλληλότητά τους για κολύμβηση απαιτεί τον έλεγχο και άλλων παραμέτρων πέρα από αυτές που μετρήθηκαν σε αυτή τη πτυχιακή εργασία όπως για παράδειγμα τα βαρέα μέταλλα, οι φαινόλες, τα ορυκτά έλαια, τα πισσώδη κατάλοιπα και τα επιπλέοντα υλικά.

B) ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΟΥΛΟΥΡΑ

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** κυμαίνεται μεταξύ 8,06 και 8,19. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στις 25/8/2012 και η μέγιστη στις 30/6/2012. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (6,5 - 8,5). (Σχ. 34) (Υπουργική απόφαση 46399/1352/86)

Η **αγωγιμότητα** παρουσιάζει σε γενικές γραμμές ανοδική πορεία και σημειώνει την ελάχιστη τιμή της, 47100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 27/5/2012 και την μέγιστη, 57100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 30/9/2012. Μείωση της αγωγιμότητας κάτω από 32000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ υποδηλώνει ανάμιξη με γλυκό νερό. (Σχ. 34)

Η **αλατότητα** κυμαίνεται από 31,3 ‰ έως 38 ‰ στις 30/6/2012 και στις 30/9/2012 αντίστοιχα. Η μέση τιμή της είναι ίση με 34,3 ‰ προσεγγίζοντας τη μέση τιμή αλατότητας της Μεσογείου θάλασσας που είναι $S = 39 \text{ ‰}$ (Ξένος 2000). (Σχ. 34)

Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτή της αγωγιμότητας σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 29000 mg/L , στις 27/5/2012 και την μέγιστη, 36000 mg/L , στις 30/9/2012. (Σχ. 34)

Η **θολρότητα** κυμαίνεται γενικά μεταξύ 0,4 και 0,6 NTU με μια κορύφωση στις 30/6/2012 που φτάνει το ύψος των 2,7 NTU. (Σχ. 34)

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** εμφανίζουν αυξητική τάση από τις 26/4/2012 μέχρι τις 30/6/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 5,8 mg/L . Στις 24/7/2012 η συγκέντρωσή τους μειώνεται αισθητά σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή των 3,1 mg/L με απόκλιση 35 % από τη μέση τιμή (4,2 mg/L) η οποία διατηρείται σχεδόν σταθερή μέχρι τον τελευταίο μήνα (Σχ. 34). Η μείωση αυτή πιθανόν να οφείλεται στην μείωση των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών απορροών που καταλήγουν στη θάλασσα.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** έχουν διακυμάνσεις στις τιμές τους σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 0,021 mg/L , τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 26/4/2012 και την μέγιστη, 0,138 mg/L , τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012 έχοντας μεγάλη απόκλιση από την μέση τιμή (0,058 mg/L).

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)**, συγκριτικά με τις υπόλοιπες δειγματοληψίες, εμφανίζουν αυξημένη συγκέντρωση στις 26/4/2012, στις 30/6/2012 και στις 30/9/2012 που παίρνουν και την μέγιστη τιμή των 0,214 mg/L η οποία θεωρείται κρίσιμη για την εκρηκτική ανάπτυξη των αλγών και την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού (Ξένος, 2000). Η ελάχιστη τιμή τους καταγράφεται στις 27/5/2012 και είναι 0,031 mg/L (Σχ. 35). Η παρουσία τους συνδέεται με ρύπανση από φωσφορικά λιπάσματα ή αστικά λύματα και την αποσύνθεση οργανικής ύλης.

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** με μικρές αυξομειώσεις κυμαίνεται από 91,8 % έως 97,9 % στις 26/4/2012 και 25/8/2012 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (80 - 120) %. (Σχ. 34)

Το **BOD** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του. Η ελάχιστη τιμή του, 1 mg/L , σημειώνεται τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 26/4/2012 και η μέγιστη, 4 mg/L , τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012. (Σχ. 34)

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** δεν υπερβαίνουν το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο όριο (10000 αποικίες/100 ml) αλλά βρίσκονται κάτω ακόμα και από το επιθυμητό όριο (500 αποικίες/100 ml) για τα νερά κολύμβησης. Παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές τους με τον μέγιστο αριθμό τους να καταγράφεται στις 24/7/2012 με 96 αποικίες/100 ml και τον ελάχιστο στις 27/5/2012 και 25/8/2012 με 8 αποικίες/100 ml. (Σχ. 35)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms)** παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους με 67 αποικίες/100 ml στις 24/7/2012 και τον ελάχιστο 2 αποικίες/100 ml στις 27/5/2012 και 25/8/2012. Επίσης δεν ξεπερνούν το ανώτερο 500 επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης. (Σχ. 35)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν τον ελάχιστο αριθμό τους, 1 αποικία/100 ml, στις 30/6/2012 και τον μέγιστο στις 24/7/2012 με 8 αποικίες/100 ml χωρίς να υπερβαίνουν το ανώτερο επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml. (Σχ. 35)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** εμφανίζει σε γενικές γραμμές πτωτική πορεία με την μέγιστη τιμή του να σημειώνεται τον πρώτο μήνα στις 26/4/2012 με τιμή 458,8 mg/L και την ελάχιστη στις 25/8/2012 με τιμή 350,8 mg/L έχοντας απόκλιση 11 % από τη μέση τιμή (393,28). (Σχ. 35)

Η παρουσία του καλίου στο θαλασσινό νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών κυρίως και σε εκπλύσεις από λιπαινόμενες γαίες με καλιούχα λιπάσματα που καταλήγουν στη θάλασσα με διάφορους τρόπους.

Το **ασβέστιο (Ca)** σημειώνει τη μέγιστη τιμή του 605,5 mg/L τον πρώτο μήνα στις 26/4/2012 και την ελάχιστη 475,5 mg/L τον τελευταίο μήνα τις 30/9/2012. (Σχ. 35)

Η παρουσία του ασβεστίου στο θαλασσινό νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών. Η πτώση της συγκέντρωσής του που παρατηρείται τους τελευταίους μήνες πιθανόν να σχετίζεται με την μείωση των βροχοπτώσεων τους θερινούς μήνες.

Τα βαρέα μέταλλα δεν μετρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού από τις παραλίες.

Επομένως με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων και σύμφωνα με τα πρότυπα των νερών κολύμβησης, η παραλία "Κουλούρα" πληροί τις προϋποθέσεις και το νερό της χαρακτηρίζεται ως "εξαιρετικής ποιότητας".

Γ) ΠΑΡΑΛΙΑ "STARS CAFE"

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **pH** κυμαίνεται μεταξύ 8,01 και 8,14 σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 27/5/2012 και την μέγιστη στις 30/6/2012. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (6,5 - 8,5). (Σχ. 36) (Υπουργική απόφαση 46399/1352/86)

Η **αγωγιμότητα** παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή της, 42700 $\mu S/cm$ στις 30/4/2012 και την μέγιστη, 55100 $\mu S/cm$, στις 24/7/2012. Μείωση της αγωγιμότητας κάτω από 32000 $\mu S/cm$ υποδηλώνει ανάμιξη με γλυκό νερό. (Σχ. 36)

Η **αλατότητα** κυμαίνεται μεταξύ 31,3 ‰ και 38 ‰ παίρνοντας την ελάχιστη τιμή της στις 30/6/2012 και την μέγιστη στις 30/9/2012. Η μέση τιμή της είναι ίση με 34,3 ‰ τιμή που προσεγγίζει τη μέση τιμή αλατότητας της Μεσογείου θάλασσας που είναι $S = 39 ‰$ (Ξένος 2000). (Σχ. 36)

Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτή της αγωγιμότητας σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή τους, 29000 mg/L , στις 27/5/2012 και την μέγιστη, 36000 mg/L , στις 30/9/2012. (Σχ. 36)

Η **θολρότητα** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές της και κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 3,3 NTU σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της στις 30/4/2012 και την μέγιστη στις 30/6/2012. (Σχ. 36)

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** βρίσκονται κάτω από το όριο των 20 mg/L για τα νερά κολύμβησης (Ζανάκη, 2001). Η ελάχιστη τιμή τους 3,5 mg/L εμφανίζεται στις 24/7/2012 και η μέγιστη 7,1 mg/L στις 30/4/2012 αποκλίνοντας 35 % από τη μέση τιμή (5,4 mg/L). (Σχ. 36)

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν αυξητική τάση από τις 30/4/2012 που σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0,038 mg/L μέχρι τις 25/8/2012 που παίρνουν την μέγιστη τιμή των 0,104 mg/L . (Σχ. 37)

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)** ανιχνεύονται μόνο στις 27/5/2012 και στις 25/8/2012 με τιμή 0,031 mg/L . Τιμή η οποία βρίσκεται αρκετά χαμηλά από αυτή των 0,1 mg/L που θεωρείται κρίσιμη για την εκρηκτική ανάπτυξη των αλγών και την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού (Ξένος, 2000) (Σχ. 37). Η παρουσία τους συνδέεται με ρύπανση από φωσφορικά λιπάσματα ή αστικά λύματα και την αποσύνθεση οργανικής ύλης.

Βιοχημικά χαρακτηριστικά :

Το **διαλυμένο οξυγόνο (D.O)** με μικρές αυξομειώσεις κυμαίνεται από 91,8 % έως 110,1 % στις 26/4/2012 και 30/4/2012 αντίστοιχα (Σχ. 36). Οι τιμές αυτές βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (80 - 120) %.

Το **BOD** παρουσιάζει αυξητική τάση. Η ελάχιστη τιμή του, 1 mg/L , καταγράφεται τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 30/4/2012 και η μέγιστη, 4 mg/L , τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012.

Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά :

Τα **ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στον πληθυσμό τους χωρίς να ξεπερνούν το επιθυμητό όριο των 500 αποικιών/100 ml που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης. Ο μέγιστος αριθμός αποικιών τους καταγράφεται στις 24/7/2012 με 96 αποικίες/100 ml και ο ελάχιστος στις 27/5/2012 και 25/8/2012 με 8 αποικίες/100 ml. (Σχ. 37)

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms)** επίσης δεν ξεπερνούν το επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml που προβλέπει η νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης και έχουν την ίδια διακύμανση με αυτή των total coliforms. Παίρνουν τον μέγιστο αριθμό τους στις 30/6/2012, με 4 αποικίες/100 ml και τον ελάχιστο στις 27/5/2012 και 30/9/2012, με 1 αποικία/100 ml. (Σχ. 37)

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους, στις 27/5/2012, με 10 αποικίες/100 ml και τον ελάχιστο, στις 30/9/2012, με 3 αποικίες/100 ml χωρίς να υπερβαίνουν το επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml. Στις 30/4/2012 και 30/6/2012 δεν καταμετρήθηκε καμία αποικία. (Σχ. 37)

Ιχνοστοιχεία - βαρέα μέταλλα :

Το **κάλιο (K)** σε γενικές γραμμές εμφανίζει μικρή πτωτική τάση από τις 30/4/2012 που σημειώνει την μέγιστη τιμή των 399,1 mg/L μέχρι τις 25/8/2012 που παίρνει την ελάχιστη τιμή των 310,9 mg/L με απόκλιση 15 % από τη μέση τιμή (365,1 mg/L). Η παρουσία του καλίου στο θαλασσίνο νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών κυρίως και σε εκπλύσεις από λιπαινόμενες γαίες με καλιούχα λιπάσματα που καταλήγουν στη θάλασσα με διάφορους τρόπους.

Το **ασβέστιο (Ca)** εκτός από τον τελευταίο μήνα στις 30/9/2012 που έχει απόκλιση 11 % από τη μέση τιμή (535,3 mg/L) και εμφανίζει την ελάχιστη τιμή του, 475,5 mg/L, δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Η μέγιστη τιμή του, 575,5 mg/L, καταγράφεται στις 24/7/2012 (Σχ. 37).

Η παρουσία του ασβεστίου στο θαλασσινό νερό οφείλεται στη φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα βαρέα μέταλλα δεν μετρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού από τις παραλίες.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων και σύμφωνα με τα πρότυπα των νερών κολύμβησης προκύπτει ότι η παραλία που βρίσκεται μπροστά από τον επαγγελματικό χώρο "Stars Cafe" πληροί τις προϋποθέσεις και το νερό της χαρακτηρίζεται ως "εξαιρετικής ποιότητας".

7.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων αναλύσεων σε συγκεντρωτικά γραφήματα

Σε αυτή την ενότητα παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα για κάθε παράμετρο που προσδιορίστηκε, σε όλες τις θέσεις και καθ'όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα της συγκριτικής παρατήρησης της διακύμανσης των τιμών κάθε παραμέτρου σε κάθε θέση στην περιοχή μελέτης και άρα την πληρέστερη εικόνα για την κατάσταση της ποιότητας του νερού. Αυτό θα μας βοηθήσει να εντοπίσουμε το είδος και τον βαθμό του προβλήματος κάθε θέσης δειγματοληψίας, ώστε να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για όλη την περιοχή μελέτης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο για την παράμετρο της αγωγιμότητας όσο και για όλες τις παραμέτρους που έχουν άμεση σύνδεση με αυτή, δημιουργήθηκαν δυο διαφορετικά γραφήματα όπου στο ένα εξαιρείται η θέση Ταμπακαριά. Αυτό, επειδή όπως φαίνεται, οι τιμές της εν λόγω θέσης είναι τόσο υψηλές που η αποτύπωσή τους σε ένα κοινό γράφημα έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι ευδιάκριτη η σύγκριση των υπόλοιπων θέσεων οι οποίες έχουν μικρότερες τιμές.

Συγκεκριμένα η ελάχιστη τιμή της αγωγιμότητας στη θέση Ταμπακαριά είναι σχεδόν τριπλάσια από την μέγιστη τιμή της θέσης Παπαγιαννάκη που δίνει τις αμέσως υψηλότερες τιμές μετά τη θέση Ταμπακαριά.

Ενεργός οξύτητα (pH) :

Οι τιμές του pH βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6,5 - 8,5) σε όλες τις θέσεις και καθ'όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Το νερό στις θέσεις *Ταμπακαριά*, *Γ.Καμπούρη*, και *Αγίας Κυριακής* χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς αλκαλικό ενώ στις υπόλοιπες θέσεις ως ελαφρώς όξινο. Η ελάχιστη τιμή του pH (6,63) σημειώνεται τον μήνα Μάιο στη θέση *Πηγή Αγίας Κυριακής* και η μέγιστη (7,63) τον μήνα Απρίλιο στη θέση *Ταμπακαριά*.

Αγωγιμότητα :

Οι υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας παρατηρούνται στη θέση *Ταμπακαριά* και υπερβαίνουν κατά πολύ το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο όριο των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ καθ'όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών, αφού η ελάχιστη μετρούμενη τιμή της αγωγιμότητας στην εν λόγω θέση είναι 5830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αν λάβουμε υπόψιν μας την εγγύτητα της θέσης αυτής με την θάλασσα οι τιμές αυτές μπορούν να δικαιολογηθούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μια μέτρηση (Ιούλιος - 12) η τιμή της αγωγιμότητας υπερδιπλασιάζεται και φτάνει στο ύψος των 13190 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αλλά όμως επανέρχεται τον επόμενο μήνα στα προηγούμενα επίπεδα γεγονός που δείχνει την επίδραση κάποιου εδικού παράγοντα εκείνον τον μήνα που σημειώνεται αυτή η αιφνίδια μεταβολή.

Σχετικά μικρές τιμές αγωγιμότητας συναντάμε στις πιο απομακρυσμένες από τη θάλασσα θέσεις οι οποίες κυμαίνονται από 694 έως 982 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (χάρτης χωρικής κατανομής αγωγιμότητας σελ.179). Οι επόμενες υψηλές τιμές, που πλησιάζουν το ανώτερο επιτρεπτό όριο, σημειώνονται στη θέση *Παπαγιαννάκη*. Παρατηρούμε ότι οι τιμές της αγωγιμότητας στη θέση αυτή είναι πολύ υψηλότερες (σχεδόν διπλάσιες) από τις τιμές που καταγράφονται στη θέση *Αγίας Κυριακής* η οποία βρίσκεται πιο κοντά στην θάλασσα και θα αναμέναμε να έχει τις υψηλότερες τιμές μετά την θέση *Ταμπακαριά*. Επίσης οι τιμές της αγωγιμότητας στη θέση *Παπαγιαννάκη* παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από αυτές που σημειώνονται στη θέση *Προφήτη Ηλία* η οποία βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση (< 40 m). Η αντίφαση αυτή μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τα αποτελέσματα των γεωφυσικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στη περιοχή μελέτης (σελ 190) και δείχνουν ότι η θέση *Παπαγιαννάκη* βρίσκεται εντός ζώνης διάρρηξης μέσω της οποίας διεισδύει το θαλασσίνο νερό στον υπόγειο υδροφόρα.

Αλατότητα :

Με την αγωγιμότητα συνδέεται και η αλατότητα η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τις χιλίους (sal ‰) γι αυτό και το γράφημα στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές της εμφανίζει την ίδια εικόνα με αυτό της αγωγιμότητας. Οι μεγαλύτερες τιμές αλατότητας (> 3 ‰) παρατηρούνται στη θέση *Ταμπακαριά* και οι επόμενες υψηλές στη θέση *Παπαγιαννάκη* (> 0,8 ‰) με μεγάλη διαφορά από τις επόμενες οι οποίες κυμαίνονται κάτω από 0,6 ‰.

Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) :

Τα TDS αποτελούν δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών και εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων. Βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με την αγωγιμότητα

και γι αυτό παρατηρούμε ότι υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στην εικόνα που παρουσιάζει το γράφημα στο οποίο αποτυπώνονται οι τιμές τους με αυτό της αγωγιμότητας.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των TDS καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών σημειώνονται στη θέση *Ταμπακαριά* (> 3000 mg/L) και οι επόμενες υψηλές στη θέση *Παπαγιαννάκη* (> 950 mg/L) στις οποίες το νερό χαρακτηρίζεται "υφάλμυρο". Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις οι συγκεντρώσεις των TDS κυμαίνονται κάτω από 1000 mg/L και το νερό χαρακτηρίζεται "γλυκό".

Θολερότητα :

Με τον όρο θολερότητα εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα. Οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη λεπτόκοκκων σωματιδίων ανόργανων και οργανικών υλικών (όπως χρώμα, πυλός, φύκη, βακτήρια, κλπ.) τα οποία αιωρούνται ή βρίσκονται σε κolloειδή μορφή και είναι διάσπαρτα στην υγρή φάση.

Η θολερότητα στα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τις θέσεις *Μελιδονίου*, *Ρωμανού* και *Παπαγιαννάκη* (τους τελευταίους τέσσερις μήνες) παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διαύγεια αφού οι τιμές της δεν ξεπέρασαν το 1 NTU. Λιγότερο διαυγή χαρακτηρίζονται τα δείγματα νερού που αντλήθηκαν από τις θέσεις *Ταμπακαριά*, *Γ.Καμπούρη*, *Προφήτη Ηλία* και *Αγίας Κυριακής*. Η υψηλότερη τιμή θολερότητας σημειώνεται στη θέση *Γ.Καμπούρη* τον μήνα Μάιο και πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων (χρώμα, βακτήρια) που μπορεί να υπήρχαν στο δείγμα νερού εκείνης της δειγματοληψίας. Αν λάβουμε υπόψιν μας και τα γραφήματα των μικροβιολογικών δεικτών που ακολουθούν παρακάτω, παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της θολερότητας συμπίπτει χρονικά με αυτή που εμφανίζουν και οι μικροβιολογικοί δείκτες.

Η θολερότητα στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με την ισχύουσα στη χώρα μας νομοθεσία, δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 10 mg/L SiO₂ ή τις 4 μονάδες Jackson.

Σκληρότητα :

Η σκληρότητα του νερού συνδέεται άμεσα με την συγκέντρωση των TDS καθώς αφορά την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα. Για τον λόγο αυτό τα γραφήματα στα οποία αποτυπώνονται οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων παρουσιάζουν την ίδια εικόνα.

Έτσι το νερό χαρακτηρίζεται ως :

- **πολύ σκληρό :** στις θέσεις *Ταμπακαριά* (> 3000 mg/L), *Παπαγιαννάκη* (> 700 mg/L), *Αγίας Κυριακής* (> 300 mg/L), *Γ.Καμπούρη* (> 300 mg/L), *Ρωμανού* (> 300 mg/L) και *Προφήτη Ηλία* (> 300 mg/L)
- **σκληρό :** στις θέσεις *Πηγή Αγ.Κυριακής* και *Μελιδονίου* με τιμές μεταξύ 200 και 300 mg/L

Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/L μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/L (Νταρακάς).

Διαλυμένο οξυγόνο (D.O) :

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας ενός υδάτινου οικοσυστήματος. Μικρές τιμές διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

Το D.O στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα μεταξύ 7 και 8 mg/L. Στις θέσεις όμως *Μελιδονίου*, *Προφήτη Ηλία* και *Παπαγιαννάκη* τους τρεις τελευταίους μήνες των δειγματοληψιών οι τιμές του μειώνονται αισθητά και πέφτουν κάτω από την ελάχιστη αποδεκτή τιμή των 7 mg/L. Η μείωση αυτή πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) :

Το BOD είναι δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης του νερού από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα. Οι μεγαλύτερες τιμές του BOD εμφανίζονται στη θέση *Παπαγιαννάκη*, που τον μήνα Αύγουστο (1/8/2012) και Οκτώβριο (6/10/2012) καταγράφεται η μέγιστη τιμή των 8 mg/L που δείχνει ότι υπάρχει επιβάρυνση του υπόγειου νερού στη θέση αυτή με οργανική ύλη. Στις υπόλοιπες θέσεις οι τιμές του BOD κυμαίνονται από 1 έως 3 mg/L.

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) :

Το COD είναι ένας σημαντικός δείκτης της εκτίμησης της ρύπανσης του νερού όχι μόνο με οργανική ύλη αλλά και με χημικές ουσίες. Οι τιμές του COD στη θέση *Μελιδονίου* και *Γ.Καμπούρη* δείχνουν ότι υπάρχει επιβάρυνση του νερού με ρυπαντικό φορτίο καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Ωστόσο η υψηλότερη τιμή του COD σημειώνεται στη θέση *Ρωμανού* που δίνει τιμή πάνω από το ελάχιστο όριο του οργάνου τον μήνα Σεπτέμβριο (27/9/2012) με μετρούμενη τιμή 7,9 mg/L. Στη θέση *Ταμπακαριά* μεγαλύτερη επιβάρυνση φαίνεται να υπάρχει τον τελευταίο μήνα. Στις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας δεν ξεπερνά το ελάχιστο όριο ανίχνευσης.

Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) :

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών όντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Το ανώτερο επιτρεπτό όριο των νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία είναι τα 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/L.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων μόνο στις θέσεις *Ταμπακαριά*, *Προφήτη Ηλία* και *Πηγή Αγίας Κυριακής* βρίσκεται κάτω από το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 mg/L, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας το υπερβαίνει κατά πολύ. Οι υψηλότερες τιμές, με μεγάλη διαφορά από τις άλλες, παρατηρούνται στη θέση *Παπαγιαννάκη* ($\bar{x} = 289,7$ mg/L) οι οποίες είναι σχεδόν έξι φορές πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο. Οι επόμενες υψηλές τιμές εμφανίζονται στις θέσεις *Αγίας Κυριακής* ($\bar{x} = 104,6$ mg/L), *Καμπούρη* ($\bar{x} = 102,1$ mg/L), *Ρωμανού* ($\bar{x} = 89,3$ mg/L) και *Μελιδονίου* ($\bar{x} = 78$ mg/L), και είναι δύο φορές πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο. Η μικρότερη επιβάρυνση του υπόγειου νερού με νιτρικά ιόντα εμφανίζεται στη θέση *Ταμπακαριά* όπου η μέση τιμή τους είναι ίση με 6,7 mg/L.

Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺) :

Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων δεν ξεπέρασε το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 0,5 mg/L σε καμία από τις θέσεις των δειγματοληψιών. Η υψηλότερη συγκέντρωση σημειώνεται στη θέση *Παπαγιαννάκη* τον μήνα Αύγουστο (1/8/2012) με μετρούμενη τιμή 0,277 mg/L. Στην ίδια θέση σχετικά αυξημένη εμφανίζεται να είναι η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων και τους μήνες Απρίλιο και Ιούνιο όπως επίσης και στη θέση *Ρωμανού* τον μήνα Σεπτέμβριο. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις η συγκέντρωση τους κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα χωρίς να ξεπερνούν την τιμή των 0,095 mg/L.

Φωσφορικά ιόντα (PO₄⁻) :

Η υψηλότερη συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων καταγράφεται στη θέση *Πηγή Αγίας Κυριακής* τον μήνα Ιούλιο (2/7/2012) με μετρούμενη τιμή 0,355 mg/L αγγίζοντας σχεδόν τα 0,4 mg/L που είναι το όριο ποσιμότητας. Στην ίδια θέση παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση και τον μήνα Μάιο (3/5/2012) ενώ τους υπόλοιπους μήνες βρίσκεται ελάχιστα πάνω από το κατώτερο όριο ανίχνευσης του οργάνου. Η επόμενη υψηλή συγκέντρωση σημειώνεται στη θέση *Ταμπακαριά* τον μήνα Οκτώβριο (9/10/2012) με μετρούμενη τιμή 0,264 mg/L. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα κάτω από 0,2 mg/L.

Θειικά ιόντα (SO₄⁻) :

Κύρια προέλευση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θειικών λιπασμάτων τύπου (NH₄)₂SO₄, καθώς και η οξειδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα. Στη θέση *Ταμπακαριά* η συγκέντρωση των θειικών ιόντων υπερβαίνει κατά πολύ το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο όριο των 250 mg/L όλους τους μήνες εκτός από τον τελευταίο που πέφτει στα 146 mg/L. Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η συγκέντρωση τους και στις θέσεις *Παπαγιαννάκη* με μέση τιμή 159,3 mg/L και *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 102,3 mg/L. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις τα θειικά ιόντα βρίσκονται σημαντικά κάτω από το ανώτερο όριο.

Χλωρίοντα :

Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας

γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Τα χλωριόντα προέρχεται και από τη χρήση λιπασμάτων, από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ή διείσδυση θαλασσινού νερού.

Στις θέσεις των δειγματοληψιών που σημειώνονται αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου παρατηρούνται και υψηλές τιμές αγωγιμότητας και νατρίου, γεγονός που συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Επομένως το γράφημα των χλωριόντων εμφανίζει την ίδια εικόνα με αυτή της αγωγιμότητας.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στη θέση *Ταμπακαριά* ($\bar{x} = 2418$ mg/L) και οι αμέσως υψηλότερες στη θέση *Παπαγιαννάκη* ($\bar{x} = 225$ mg/L) με τιμές που υπερβαίνουν το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 mg/L. Αυξημένες είναι όμως και οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου στη θέση *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 145 mg/L.

Ολικά κολοβακτηρίδια (Total Coliforms) :

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη επιβάρυνση του υπόγειου νερού με μικροβιολογικό φορτίο σε όλες τις θέσεις και καθ'ολη την διάρκεια των δειγματοληψιών που το καθιστούν ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο.

Όσον αφορά τα ολικά κολοβακτηρίδια_(T.C), οι θέσεις που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη επιβάρυνση, με περισσότερες από 1000 αποικίες/100 ml, είναι οι:

Γ.Καμπούρη ($\bar{x} = 5742$ αποικίες/100 ml), *Παπαγιαννάκη* ($\bar{x} = 4730$ αποικίες/100 ml), *Προφήτη Ηλία* ($\bar{x} = 4530$ αποικίες/100 ml) και *Ρωμανού* ($\bar{x} = 2794$ αποικίες/100 ml). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μεγαλύτερος αριθμός αποικιών T.C εμφανίζεται στη θέση *Γ.Καμπούρη* τον μήνα Μάιο (17/5/2012) με 18300 αποικίες/100 ml. Ο αριθμός αυτός έχει μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή και δείχνει ασυνήθιστα μεγάλη εισροή λυμάτων συγκριτικά με τις υπόλοιπες δειγματοληψίες. Τον ίδιο μήνα σημειώνεται και ο μέγιστος αριθμός αποικιών T.C και στη θέση *Παπαγιαννάκη*. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις κυμαίνονται μεταξύ 100 και 1000 αποικιών/100 ml.

Λιγότερες από 100 αποικίες καταμετρήθηκαν μόνο στις θέσεις *Αγίας Κυριακής* και *Πηγή Αγίας Κυριακής*, τους τέσσερις πρώτους και τους δυο τελευταίους μήνες αντίστοιχα. Ο ελάχιστος αριθμός αποικιών σημειώνεται στη θέση *Αγίας Κυριακής* με 8 αποικίες/100 ml τον μήνα Απρίλιο (4/4/2012).

Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (Faecal Coliforms/E-coli) :

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (E-coli) εμφανίζουν ακριβώς την ίδια διακύμανση με εκείνη των total coliforms. Οι θέσεις που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη επιβάρυνση, με περισσότερες από 1000 αποικίες/100ml, είναι οι: *Γ.Καμπούρη* ($\bar{x} = 3500$ αποικίες/100ml), *Παπαγιαννάκη* ($\bar{x} = 2342$ αποικίες/100ml), *Ρωμανού* ($\bar{x} = 2380$ αποικίες/100ml) και *Προφήτη Ηλία* ($\bar{x} = 1031$ αποικίες/100 ml). Ο μεγαλύτερος αριθμός αποικιών τους καταγράφεται στη θέση *Γ.Καμπούρη* τον μήνα Μάιο (17/5/2012) με 13400 αποικίες/100 ml. Ο αριθμός αυτός έχει μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή και δείχνει ασυνήθιστα μεγάλη εισροή λυμάτων συγκριτικά με τις υπόλοιπες δειγματοληψίες. Τον ίδιο μήνα σημειώνεται και ο μέγιστος αριθμός αποικιών E-coli και στη θέση *Παπαγιαννάκη*. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις κυμαίνονται μεταξύ 100 και 1000 αποικιών/100ml. Λιγότερες από 100 αποικίες καταμετρήθηκαν μόνο στις θέσεις *Αγίας Κυριακής* και *Πηγή Αγίας Κυριακής*, τους τέσσερις πρώτους μήνες και τον πρώτο και δυο τελευταίους μήνες αντίστοιχα. Ο ελάχιστος αριθμός αποικιών σημειώνεται στη θέση *Αγίας Κυριακής* με 2 αποικίες/100 ml τον μήνα Απρίλιο (4/4/2012).

Εντερόκοκκοι (enterococcus) :

Όσον αφορά τους εντερόκοκκους οι θέσεις που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη επιβάρυνση, με περισσότερες από 100 αποικίες/100 ml, είναι οι: *Γ.Καμπούρη* ($\bar{x} = 277$ αποικίες/100ml), *Ρωμανού* ($\bar{x} = 260$ αποικίες/100ml) και *Ταμπακαριά* ($\bar{x} = 102$ αποικίες/100ml). Στη θέση *Παπαγιαννάκη* μόνο τον τελευταίο μήνα ξεπερνούν τις 100 αποικίες με 140 αποικίες /100 ml. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μεγαλύτερος αριθμός εντερόκοκκων εμφανίζεται στη θέση *Γ.Καμπούρη* τον μήνα Αύγουστο (2/8/2012) με 500 αποικίες/100 ml. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις ο αριθμός αποικιών τους είναι μικρότερος από 100 αποικίες/100ml. Ο ελάχιστος αριθμός αποικιών σημειώνεται στη θέση *Πηγή Αγίας Κυριακής* τον μήνα Μάιο (3/5/2012) με 1 αποικία/100 ml.

Κάλιο (K) :

Η παρουσία του συνδέεται με τους αστρίους (ορθόκλαστο, μικροκλίνη) και τους νατριούχους αμφιβόλους όπως για παράδειγμα τον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καλίου σημειώνονται στη θέση *Μελιδονίου* με τιμές υπερδιπλάσιες από αυτές που σημειώνονται στις υπόλοιπες θέσεις. Η υψηλότερη συγκέντρωση καταγράφεται τον μήνα Σεπτέμβριο (26/9/2012) με μετρούμενη τιμή 6,1 mg/L χωρίς όμως να υπερβαίνει το όριο ποσιμότητας που είναι τα 12 mg/L.

Νάτριο (Na) :

Η παρουσία του νατρίου στο νερό σχετίζεται με τη χημική σύσταση των πετρωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή. Απαντάται σε αστρίους (αλβίτη) και νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή, αλίτη). Η παρουσία του συνδέεται επίσης με τη διείδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

Το νάτριο παρουσιάζει ανάλογη εικόνα με αυτή της αγωγιμότητας και των χλωριόντων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στη θέση *Ταμπακαριά* ($\bar{x} = 1302$ mg/L) και οι αμέσως υψηλότερες στη θέση *Παπαγιαννάκη* ($\bar{x} = 104$ mg/L). Οι τιμές στη θέση *Ταμπακαριά* υπερβαίνουν κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 mg/L για το πόσιμο νερό.

Ασβέστιο (Ca) :

Το ασβέστιο υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου εμφανίζονται στις θέσεις *Παπαγιαννάκη* και *Ταμπακαριά* με τη μέγιστη να σημειώνεται στη πρώτη τον μήνα Αύγουστο (1/8/2012) με μετρούμενη τιμή 177,8 mg/L. Αυξημένη είναι η συγκέντρωση ασβεστίου και στη θέση *Ρωμανού* τον μήνα Ιούνιο (27/6/2012). Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις το ασβέστιο κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα μεταξύ 30 και 83 mg/L.

Μαγνήσιο (Mg) :

Το μαγνήσιο βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Απαντάται στον ολιβίνη (Mg,Fe)SiO₄, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη (MgCO₃) και δολομίτη (CaCO₃, MgCO₃). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών.

Η συγκέντρωση του μαγνησίου δεν υπερβαίνει το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο όριο των 50 mg/L σε καμία θέση δειγματοληψίας. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στη θέση *Παπαγιαννάκη* με μέση τιμή 26 mg/L και οι μικρότερες στη θέση *Προφήτη Ηλία* με μέση τιμή 7 mg/L.

Χαλκός (Cu) :

Κύριες πηγές χαλκού είναι τα απόβλητα που προέρχονται από τα επιμεταλλωτήρια, την ηλεκτρονική βιομηχανία και τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών καλωδίων. Σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων.

Η συγκέντρωση του χαλκού δεν υπερβαίνει σε καμία από τις θέσεις των δειγματοληψιών τα 2 mg/L που είναι το όριο καταλληλότητας για το πόσιμο νερό. Η υψηλότερη συγκέντρωση καταγράφεται στη θέση *Μελιδονίου* τον μήνα Ιούλιο (18/7/2012) με μετρούμενη τιμή 9,228 μg/L. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις η συγκέντρωση του χαλκού κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα κάτω από 4,588 μg/L με την μικρότερη συγκέντρωση να σημειώνεται στη θέση *Αγίας Κυριακής* τον μήνα Απρίλιο (4/4/2012) με τιμή 0,788 μg/L.

Νικέλιο (Ni) :

Το νικέλιο περιέχεται σε απόβλητα επιμεταλλωτηρίων και γενικά βιομηχανιών κατεργασίας μετάλλων. Η συγκέντρωση νικελίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και βρίσκεται κάτω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 20 μg/L σε όλες τις θέσεις των δειγματοληψιών. Σχετικά αυξημένη παρατηρείται να είναι η συγκέντρωση του νικελίου στη θέση *Παπαγιαννάκη* τον μήνα Απρίλιο (3/4/2012) με μετρούμενη τιμή 14,04 μg/L. Η μικρότερη συγκέντρωση νικελίου καταγράφεται στη θέση *Πηγή Αγίας Κυριακής*, τον μήνα Απρίλιο (1/4/2012) με μετρούμενη τιμή 0,481 μg/L.

Μαγγάνιο (Mn) :

Η συγκέντρωση του μαγγανίου επίσης κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνά σε καμία θέση δειγματοληψίας το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 μg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση μαγγανίου σημειώνεται στη θέση *Προφήτη Ηλία* τον μήνα Ιούνιο (1/6/2012) με μετρούμενη τιμή

7,056 µg/L και η μικρότερη στη θέση *Γ. Καμπούρη* τον μήνα Ιούνιο (7/6/2012) με μετρούμενη τιμή 0,141 µg/L. Δεν έχουν διαπιστωθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο. Θεωρείται από τα λιγότερο τοξικά στοιχεία για τον άνθρωπο.

Χρώμιο (Cr_{total}) :

Το χρώμιο (Cr) υπάρχει στη φύση συνήθως με τη μορφή του τρισθενούς κατιόντος (Cr⁺³). Στο υδάτινο περιβάλλον όμως επικρατεί με την σταθερή μορφή του εξαθενούς ιόντος (Cr⁺⁶) και πολύ σπάνια με αυτή του τρισθενούς. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στα νερά οφείλονται σε ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα. Το χρώμιο περιέχεται στα απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες αφού χρησιμοποιείται ως συστατικό κραμάτων, ως προστατευτικό διάβρωσης μετάλλων σε συντηρητικά ξυλείας και μη θερμοαγωγά τούβλα. Επίσης χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του δέρματος.

Η συγκέντρωση του ολικού χρωμίου με εξαίρεση τη θέση *Αγίας Κυριακής* στην οποία τον μήνα Ιούνιο (1/6/2012) έχει μετρούμενη τιμή 437,5 µg/L και βρίσκεται οκτώ φορές πάνω από το προβλεπόμενο ανώτερο όριο των 50 µg/L για το πόσιμο νερό, σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις των δειγματοληψιών κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα κάτω από 8,479 µg/L. Η μικρότερη συγκέντρωση καταγράφεται στη θέση *Μελιδονίου* τον μήνα Ιούλιο (18/7/2012) με μετρούμενη τιμή 0,316 µg/L.

Κοβάλτιο (Co) :

Το κοβάλτιο δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση αλλά ενώσεις του είναι συνήθεις υπό μορφή ορυκτών. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων και στις επικοβαλιώσεις σιδηρών αντικειμένων, στην κεραμοποιία, στην υαλουργία, στην παρασκευή χρωμάτων και ως καταλύτης.

Η συγκέντρωση του κοβαλτίου εμφανίζει τιμές πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου (0,212 µg/L) μόνο σε τρεις από τις επτά θέσεις των δειγματοληψιών και διαφορετικό μήνα κάθε φορά. Οι θέσεις αυτές είναι οι: *Πηγή Αγίας Κυριακής* στην οποία παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη τιμή (0,352 µg/L) τον μήνα Απρίλιο (1/4/2012), *Παπαγιαννάκη* τον μήνα Μάιο (3/5/2012) με τιμή 0,302 µg/L και *Προφήτη Ηλία* στην οποία παρουσιάζεται η μικρότερη τιμή (0,298 µg/L) τον μήνα Ιούλιο (1/6/2012).

Ψευδάργυρος (Zn) :

Η παρουσία ψευδάργυρου στο νερό συνδέεται με απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες, επιμεταλλωτήρια καθώς και την διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων.

Σε όλες τις θέσεις η συγκέντρωση του ψευδάργυρου βρίσκεται κάτω από το ενδεικτικό όριο των 100 µg/L. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση σημειώνεται στη θέση *Μελιδονίου* τον μήνα Ιούλιο (18/7/2012) με μετρούμενη τιμή 6,112 µg/L και η μικρότερη στη θέση *Αγίας Κυριακής* τον μήνα Ιούλιο (1/6/2012) με τιμή 0,376 µg/L. Στη θέση *Γ.Καμπούρη* δεν ανιχνεύεται σε καμία δειγματοληψία.

Μόλυβδος (Pb) :

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο που χρησιμοποιείται ευρύτατα και είναι συνεπώς ευρέως διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Θεωρείται ένα από τα πιο τοξικά μέταλλα. Η ρύπανση από μόλυβδο προέρχεται κυρίως από βιομηχανική και τεχνολογική χρήση. Χρησιμοποιείται στους συσσωρευτές, σαν προσθετικό (αντικροτικό) στην βενζίνη, στις χημικές βιομηχανίες, στα πυρομαχικά, σε επικαλωδώσεις, στα χρώματα, κ.λ.π. Άλλες μορφές και πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος από το μόλυβδο είναι η χρήση διαφόρων εντομοκτόνων που περιέχουν μόλυβδο αλλά και διάφορες χρωστικές ουσίες οι οποίες επίσης περιέχουν μόλυβδο γιατί δίνουν σταθερά και λαμπερά χρώματα.

Η συγκέντρωση του μόλυβδου δεν υπερβαίνει τα 10 µg/L που είναι το όριο καταλληλότητας για το πόσιμο νερό σε καμία από τις θέσεις δειγματοληψίας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση καταγράφεται στη θέση *Παπαγιαννάκη* τον μήνα Μάιο (3/5/2012) με μετρούμενη τιμή 4,126 µg/L ενώ η μικρότερη στη θέση *Γ. Καμπούρη* τον μήνα Μάιο (17/5/2012) με τιμή 0,533 µg/L. Στις θέσεις *Μελιδονίου* και *Πηγή Αγίας Κυριακής* δεν ανιχνεύεται κανένα μήνα πάνω από το ελάχιστο όριο ανίχνευσης του οργάνου (1,202 µg/L).

Ακολουθούν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που αφορούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα θαλασσινού νερού τα οποία συλλέχθηκαν από τις παραλίες της περιοχής μελέτης.

Ενεργός οξύτητα (pH) :

Το θαλασσινό νερό έχει τιμές pH μεγαλύτερες του 7,9 (αλκαλικό). Στα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τις παραλίες της περιοχής μελέτης η τιμή του pH βρίσκεται εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για τα νερά κολύμβησης (6,5 - 8,5). Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στη παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 8,14 και οι μικρότερες στη παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 8,05. Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου παρατηρούμε μείωση της τιμής του pH που πιθανόν να οφείλεται στην μεταβολή (αύξηση) της θερμοκρασίας περιβάλλοντος από την οποία γνωρίζουμε ότι επηρεάζεται.

Αγωγιμότητα :

Η τιμή της αγωγιμότητας στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται περίπου μεταξύ 50000 και 60000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τιμές μικρότερες από 32000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ δείχνει εισροή γλυκού νερού στη θάλασσα (π.χ εκβολές ποταμών, εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων).

Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στην παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 52083 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και οι μικρότερες στη παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 49000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Παρατηρούμε ότι τον μήνα Αύγουστο (25/8/2012) στη παραλία Αγίας Κυριακής σημειώνεται σημαντική πτώση της τιμής της αγωγιμότητας.

Αλατότητα :

Τα ιόντα στο νερό της θάλασσας προσθέτονται συνέχεια από δύο βασικές πηγές: τους ποταμούς που περιέχουν τα διαλυμένα προϊόντα της χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και την ηφαιστειακή δραστηριότητα (επιφανειακή & υποθαλάσσια).

Με την αγωγιμότητα συνδέεται και η αλατότητα η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τις χιλιάδες (sal ‰) γι' αυτό και το γράφημα στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές της εμφανίζει την ίδια εικόνα με εκείνη της αγωγιμότητας. Τα υψηλότερα ποσοστά αλατότητας σημειώνονται στη παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 34,3 ‰ και τα μικρότερα στη παραλία *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 31,4 ‰. Οι τιμές αυτές προσεγγίζουν τη μέση τιμή αλατότητας της Μεσογείου θάλασσας που είναι $S = 39 \text{ ‰}$.

Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) :

Το TDS εκφράζει την συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων και επομένως το γράφημα στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές του παρουσιάζουν την ίδια εικόνα με αυτό της αλατότητας. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις TDS καταγράφονται στην παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 32867 mg/L και οι μικρότερες στη παραλία *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 30265 mg/L.

Θολρότητα :

Όσον αφορά τη θολρότητα τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από την παραλία *Αγ. Κυριακής* παρουσιάζουν μικρότερη διαύγεια ($\bar{x} = 3,3 \text{ NTU}$) σε σχέση με αυτή των άλλων δυο ($\bar{x} < 1,7 \text{ NTU}$).

Διαλυμένο οξυγόνο (D.O) :

Το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται εντός των ορίων που προβλέπονται από τα πρότυπα νερών κολύμβησης σε όλες τις παραλίες και κυμαίνεται μεταξύ 91,8 % και 110,1 %. Η μεγαλύτερη τιμή επί τοις εκατό που σημειώνεται στην παραλία *Stars Cafe* τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών πιθανόν να οφείλεται στον έντονο κυματισμό που επικρατούσε τις προηγούμενες ημέρες. Πρέπει να σημειωθεί ότι τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών η συλλογή του δείγματος από την παραλία *Stars Cafe* έγινε με διαφορά τριών ημερών από ότι στις άλλες δύο παραλίες.

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) :

Το BOD είναι δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης του νερού από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα.

Οι τιμές του BOD στα δείγματα θαλασσινού νερού από τις παραλίες δείχνουν ότι υπάρχει αύξηση του οργανικού φορτίου από τον πρώτο μέχρι τον τελευταίο μήνα των δειγματοληψιών. Μεγαλύτερη επιβάρυνση φαίνεται να έχουν οι παραλίες *Κουλούρα* και *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 2,7 mg/L και λίγο μικρότερη η παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 2,3 mg/L.

Νιτρικά ιόντα (NO₃-) :

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων στα νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων σημειώνει τις μεγαλύτερες τιμές της στη παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 5,4 mg/L και τις μικρότερες, χωρίς όμως να έχουν μεγάλη διαφορά, στη παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 4,2 mg/L.

Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα που είναι όχι μόνο κάτω και από το όριο ποσιμότητας (50 mg/L) αλλά είναι κάτω ακόμα και από την τιμή των 20 mg/L η οποία θεωρείται ενδεικτική για την δημιουργία ευτροφισμού.

Αμμωνιακά ιόντα (NH₄) :

Τα αμμωνιακά ιόντα στο νερό προέρχονται από την αποσύνθεση νεκρών οργανισμών, τα λιπάσματα, τα απορρίμματα και τους αγωγούς οικιστικών λυμάτων.

Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα θαλασσινού νερού από τις παραλίες κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα που είναι κάτω ακόμα και από το όριο ποσιμότητας (0,5 mg/L). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στη παραλία της *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 0,11 mg/L και οι μικρότερες στην παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 0,05 mg/L.

Φωσφορικά ιόντα (PO₄) :

Τα φωσφορικά ιόντα στο νερό προέρχονται από τη διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων, τις βροχές, τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απορρυπαντικά και τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στις παραλίες *Αγίας Κυριακής* και *Stars Cafe* κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα κάτω από την τιμή των 0,040 mg/L. Οι μεγαλύτερες τιμές της σημειώνονται στην παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 0,1 mg/L στην οποία τον μήνα Σεπτέμβριο (30/9/2012) παίρνει την μέγιστη τιμή των 0,215 mg/L.

Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλές και βρίσκονται κάτω ακόμα και από το όριο που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Στη παραλία *Κουλούρα* όμως τρεις μήνες ξεπερνούν την οριακή τιμή των 0,1 mg/L που θεωρείται ότι ευνοεί την ανάπτυξη των αλγών και οδηγεί σε ευτροφικές συνθήκες.

Ολικά κολοβακτηρίδια (Total Coliforms) :

Τα Total Coliforms δεν ξεπερνούν σε καμία παραλία το επιθυμητό όριο των 500 αποικιών/100 ml που προβλέπονται από τα πρότυπα νερών κολύμβησης. Αυξημένος όμως εμφανίζεται να είναι ο αριθμός αποικιών τους σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες στην παραλία της *Αγίας Κυριακής* τον μήνα Σεπτέμβριο (30/9/2012) με 268 αποικίες/100 ml.

Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (E-coli) :

Τα E-coli στην παραλία της *Αγίας Κυριακής* με 127 αποικίες/100ml τον μήνα Σεπτέμβριο (30/9/2012) υπερβαίνουν το επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100ml. Ωστόσο σε καμία παραλία δεν ξεπερνούν το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 500 αποικιών/100 ml που ισχύει για τα νερά κολύμβησης.

Εντερόκοκκοι (enterococcus) :

Οι εντερόκοκκοι παρουσιάζουν μικρό αριθμό αποικιών σε όλες τις παραλίες στη περιοχή μελέτης που βρίσκεται κατά πολύ πιο χαμηλά από το προβλεπόμενο επιθυμητό όριο των 100 αποικιών/100 ml που ισχύει για τα νερά κολύμβησης. Αυξημένος εμφανίζεται ο αριθμός αποικιών τους στην παραλία της *Αγίας Κυριακής* τον μήνα Σεπτέμβριο (30/9/2012) με 37 αποικίες/100 ml.

Επομένως όσον αφορά το μικροβιολογικό φορτίο από τα παραπάνω γραφήματα παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση του θαλασσινού νερού με μικροοργανισμούς εμφανίζεται στην παραλία της *Αγίας Κυριακής* και η μικρότερη στην παραλία *Stars Cafe*.

Κάλιο (K) :

Η ύπαρξη του καλίου στο νερό οφείλεται στην φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών. Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα.

Η συγκέντρωση του καλίου γενικά παρουσιάζει πτωτική πορεία από τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών μέχρι και τον Αύγουστο ενώ τον τελευταίο μήνα εμφανίζει αυξητική τάση. Οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται στην παραλία της *Αγίας Κυριακής* με μέση τιμή 398,3 mg/L και οι μικρότερες στη παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 365,1 mg/L.

Ασβέστιο (Ca) :

Η παρουσία του ασβεστίου στο νερό σχετίζεται με τη φυσική διαδικασία διάβρωσης γηγενών γεωλογικών σχηματισμών (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) (Ζανάκη, 2001).

Η συγκέντρωση του ασβεστίου εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές της στη παραλία *Κουλούρα* με μέση τιμή 547,9 mg/L και τις μικρότερες, χωρίς όμως να έχουν σημαντική διαφορά, στη παραλία *Stars Cafe* με μέση τιμή 535,3 mg/L. Ερωτηματικό δημιουργεί η μείωση της συγκέντρωσης του ασβεστίου κατά 200 mg/L τον μήνα Ιούνιο (30/6/2012) στη παραλία *Αγίας Κυριακής*.

Τα γραφήματα έχουν αφαιρεθεί και υπάρχουν μόνο στην έντυπη μορφή της εργασίας, η οποία έχει κατατεθεί στην βιβλιοθήκη της σχολής.

7.3 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα τόσο των υδροχημικών όσο και των γεωφυσικών μετρήσεων γίνεται φανερό ότι η περιοχή μελέτης αντιμετωπίζει σημαντικό πρόβλημα υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων, αφού διαπιστώνεται ότι :

1) Υπάρχει σημαντικό **πρόβλημα υφαλμύρισης** από τη διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο σε όλο το μήκος της παραλιακής ζώνης (Βλ. Σχήμα Α σελ. 189), καθώς και σε μία θέση (Παπαγιαννάκη) που βρίσκεται στο εσωτερικό της περιοχής μελέτης, σε απόσταση 320 m από τη θάλασσα. Η διείσδυση του θαλασσινού νερού οφείλεται τόσο σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις του υπόγειου νερού για αρδευτικούς σκοπούς) όσο και σε φυσικούς παράγοντες, όπως η γεωλογία της περιοχής μελέτης (ύπαρξη τεκτονισμένης ζώνης με αυξημένο πορώδες και υδραυλική αγωγιμότητα) και η μείωση των βροχοπτώσεων τους θερινούς κυρίως μήνες. Η επέκταση του μετώπου της υφαλμύρισης μέχρι και την θέση Παπαγιαννάκη, πιθανολογείται ότι είναι αποτέλεσμα εκτός των άλλων και της παρουσίας ρήγματος που διέρχεται από την εν λόγω θέση και μέσω του οποίου διευκολύνεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού (Εικ. 145 σελ. 190). Μάλιστα παρατηρείται αναθόλωση της διεπιφάνειας γλυκού/αλμυρού νερού, η οποία εμφανίζεται μόλις στα 5 m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Ειδικότερα στις περιοχές όπου εντοπίζεται το μέτωπο της υφαλμύρισης, όπως στις θέσεις Ταμπακαριά, Παπαγιαννάκη και Αγίας Κυριακής καταγράφονται υψηλές τιμές αγωγιμότητας καθώς και υψηλές τιμές συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου και νατρίου. Το υπαρκτό πρόβλημα της διείσδυσης θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο, έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα του υπόγειου νερού, υποβαθμίζοντάς το και καθιστώντας το ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο και πολλές φορές για άρδευση.

2) Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, που υπερβαίνουν στις περισσότερες θέσεις κατά πολύ το προβλεπόμενο από τη νομοθεσία ανώτερο όριο των 50 mg/L, δείχνουν ότι η περιοχή μελέτης αντιμετωπίζει σημαντικό **πρόβλημα νιτρορρύπανσης** καταστρέφοντας το υπόγειο νερό από πηγή πόσιμου νερού. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα υψηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό προκαλούν σοβαρά προβλήματα υγείας στους οργανισμούς (ασθένεια μεθαιμογλοβιναμία, καρκινογενέσεις κ.α). Το πρόβλημα της νιτρορρύπανσης μπορεί να ερμηνευτεί αν λάβουμε υπόψιν μας ότι πλησίον των πηγαδιών οι ιδιοκτήτες διατηρούν περιβόλια, καθώς και ότι υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις ελαιοδέντρων, Β - ΒΑ της περιοχής μελέτης που για την καλλιέργειά τους πιθανόν να χρησιμοποιούνται αζωτούχα και νιτρικά λιπάσματα και με τις βροχοπτώσεις υπολείμματα τους να κατεισδύουν στο υπέδαφος και να καταλήγουν στο υπόγειο υδροφόρο στρώμα. Άλλος ένας παράγοντας αύξησης της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων πιθανόν να είναι και τα οικιακά λύματα που καταλήγουν στο υπέδαφος με διάφορους τρόπους που θα αναλυθούν στη συνέχεια και είτε ρυπαίνουν τοπικά το υπόγειο νερό είτε προκαλούν ευρύτερη ρύπανση - μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου.

3) Υπάρχει μεγάλη επιβάρυνση του υπόγειου υδροφόρου με μικροβιολογικό φορτίο, σε όλες τις θέσεις των δειγματοληψιών στη περιοχή μελέτης, γεγονός που μας επιτρέπει να μιλάμε για **μόλυνση** του υπόγειου νερού. Το υψηλό μικροβιολογικό φορτίο κυρίως οφείλεται στα οικιακά λύματα που καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρο. Σύμφωνα με πληροφορίες των κατοίκων, στην περιοχή μελέτης, αν και υπάρχει σύστημα βιολογικού καθαρισμού, εξακολουθούν να υπάρχουν οικίες οι οποίες έχουν ενεργούς απορροφητικούς βόθρους, γιατί για κάποιους λόγους (χαμηλότερο υψόμετρο και υψηλό κόστος των έργων που απαιτούνται) δεν ήταν δυνατόν να συνδεθούν με αυτό. Ξέρουμε ότι οι απορροφητικοί βόθροι είναι μεγάλοι πορώδεις υπόγειοι θάλαμοι απ' όπου τα υγρά απόβλητα διαρρέουν στο υπέδαφος και είναι δυνατόν να ρυπαίνουν τοπικά το υπόγειο νερό ή αν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα τέτοιων βόθρων να προκαλείται ευρύτερη ρύπανση - μόλυνση του υδροφόρου.

4) Υπάρχει **υψηλή συγκέντρωση χρωμίου**, έστω και σε μια μόνο θέση (Αγίας Κυριακής) στη περιοχή μελέτης, που έναν μήνα και συγκεκριμένα τον μήνα Ιούνιο (1/6/2012) υπερβαίνει κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 µg/L. Η τόσο υψηλή συγκέντρωση, που είναι μάλιστα οκτώ φορές πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο που προβλέπεται για το πόσιμο νερό, πιθανόν να σχετίζεται με την ύπαρξη και λειτουργία βυρσοδεψείου το οποίο βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση. Είναι γνωστό ότι στην επεξεργασία του δέρματος χρησιμοποιείται ευρέως το χρώμιο, επειδή σε αντίθεση με άλλες ουσίες (π.χ τανίνη) παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα (συντομότερη

δέψη, καλύτερη εμφάνιση και μεγαλύτερη αντοχή των δερμάτων) και είναι αρκετά φθινότερο. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό, αν το χρώμιο ξαναβρεθεί σε τόσο υψηλά επίπεδα και σε επόμενες μετρήσεις, αφού είναι γνωστό ότι είναι βιοσυσσωρευτικό και προκαλεί σοβαρά προβλήματα υγείας. Σε αυτή τη περίπτωση, το υπόγειο νερό θα είναι απαγορευτικό όχι μόνο για πόση αλλά και για άρδευση, αφού μέσω της τροφικής αλυσίδας περνάει τελικά στον ανθρώπινο οργανισμό, που αποτελεί τον τελευταίο κρίκο, και μάλιστα σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (βιομεγέθυνση).

Από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως προκύπτει ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού στην περιοχή μελέτης έχει υποβαθμιστεί σημαντικά και το νερό χαρακτηρίζεται ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο και σε ορισμένες θέσεις (Ταμπακαριά, Παπαγιαννάκη) ακατάλληλο και για την άρδευση ορισμένων τύπων καλλιέργειας λόγω υψηλής αλατότητας.

Επειδή όμως οι μετρήσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου (Απρίλιος - Οκτώβριος 2012), έγινε άλλη μια δειγματοληψία τον Μάρτιο του 2013 (13/3/2013), για να ελεγχθεί αν υπάρχουν μεταβολές στις παραμέτρους που αναλύθηκαν μετά το πέρας της υγρής περιόδου (Οκτώβριος - Μάρτιος 2013).

Σημειώνεται ότι σε αυτή τη δειγματοληψία (13/3/2013) προσδιορίστηκαν επιπλέον τα απορρυπαντικά, που δεν είχαν ελεγχθεί στις προηγούμενες δειγματοληψίες.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τελευταίας δειγματοληψίας διαπιστώνεται ότι υπάρχει :

α) Μείωση της τιμής της αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου και νατρίου, που πιθανόν να οφείλεται τόσο στην αύξηση των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια του Χειμώνα, με τις οποίες τροφοδοτείται ο υπόγειος υδροφόρας με γλυκό νερό, όσο και στην μείωση των απαιτήσεων άντλησης υπόγειου νερού για άρδευση.

β) Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων, που πιθανόν να οφείλεται επίσης στην αύξηση των βροχοπτώσεων, με τις οποίες υπολείμματα αζωτούχων και νιτρικών λιπασμάτων κατεισδύουν στο υπέδαφος και καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρα.

γ) Μείωση του μικροβιολογικού φορτίου που πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι ο υπόγειος υδροφόρας εμπλουτίζεται με το νερό των βροχοπτώσεων ανεβαίνει η στάθμη του και επομένως γίνεται αραιώση του ρυπαντικού φορτίου.

Επομένως, είναι φανερό ότι με το πέρας της υγρής περιόδου το φαινόμενο της υφαλμύρινσης στη περιοχή μελέτης είναι λιγότερο έντονο, ενώ το πρόβλημα της νιτρορρύπανσης οξύνεται περισσότερο.

Όσον αφορά τα απορρυπαντικά, τα οποία προσδιορίστηκαν στον δεύτερο ποιοτικό έλεγχο του υπόγειου νερού, αυτά υπερβαίνουν το όριο των 0,2 mg/L σε όλες τις θέσεις εκτός από τις "Προφήτη Ηλία" και "Πηγή Αγίας Κυριακή".

Μερικές προτάσεις για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων είναι οι εξής :

- Τεχνητός εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφόρα, για την αναστροφή του φαινομένου της υφαλμύρινσης.

- Εφαρμογή κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής (όχι αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, εναλλακτικές μορφές καλλιέργειας) για τον μετριασμό της ρύπανσης από γεωργικές δραστηριότητες (νιτρορρύπανση).

- Έλεγχος για τον εντοπισμό οικιών, οι οποίες έχουν ακόμα ενεργούς απορροφητικούς βόθρους ή ακόμα χειρότερα έχουν μετατρέψει το πηγάδι που υπάρχει στην αυλή τους σε κανονικό βόθρο, και σύνδεση τους με το σύστημα βιολογικού καθαρισμού, όπου αυτή είναι δυνατή, για την μείωση της ρύπανσης - μόλυνσης του υπόγειου νερού που δημιουργείται από τα οικιακά λύματα.

Όσον αφορά τα νερά κολύμβησης στις παραλίες της περιοχή μελέτης, βάσει των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας, αυτά χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικής ποιότητας, καθώς πληρούν τις προϋποθέσεις που προβλέπονται από τα πρότυπα των νερών κολύμβησης (Υπουργική απόφαση 46399/1352/86) (ΦΕΚ 438/τ.β/3.7.86).

Πρέπει να αναφερθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκαν κάποιες μετρήσεις, που είναι σημαντικές για τον καθορισμό της καταλληλότητας των νερών κολύμβησης όπως :

- ο Σαλμονέλες
- ο Εντεροϊοί
- ο Ορυκτά έλαια
- ο Επιφανειακά ενεργές ουσίες
- ο Φαινόλες
- ο Πισώδη κατάλοιπα και επιπλέοντα υλικά
- ο Βαρέα μέταλλα

Ωστόσο, απαγορεύεται η κολύμβηση στην παραλία της Αγίας Κυριακής σύμφωνα με απόφαση του Αντιπεριφερειάρχη Χανίων, λόγω της ύπαρξης και λειτουργίας βυρσοδεφείων σε πολύ κοντινή απόσταση (λιγότερο από 200 m).

Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε σε ποιες παραλιακές θέσεις της περιοχής μελέτης - περιοχή Χαλέπα επιτρέπεται η κολύμβηση και σε ποιες απαγορεύεται.



Εικόνα 148: Δορυφορική εικόνα με τις θαλάσσιες περιοχές που επιτρέπεται και απαγορεύεται η κολύμβηση [43]

Όπως φαίνεται, απαγορεύεται η κολύμβηση σε ζώνη 200 m δυτικά των βυρσοδεφείων της οδού Λάκκων και Πλοιάρχων έως 200 m ανατολικά από το τέρμα της οδού Αγίας Κυριακής, με εξαίρεση την παραλία Κουλούρα της Δ.Ε Χανίων του δήμου Χανίων, στην οποία επιτρέπεται η κολύμβηση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΌΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ :

A. Οργανοληπτικές παράμετροι

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
1	Χρώμα	mg/L κλίμακα Pt/Co m δίσκου Secchi	1 6	20 2
2	Θολερότητα	mg/L SiO ₂ Μονάδες Jackson	1 0,4	10 4
3	Οσμή	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C
4	Γεύση	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C

B. Φυσικοχημικές παράμετροι

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
5	Θερμοκρασία	°C	12	25
6	Ph	-	6,5 < pH < 8,5	9,5
7	Αγωγιμότητα	μS/cm, 20 °C	400	2500
8	Διαλυμένο οξυγόνο	% O ₂ κορεσμού	-	> 70
9	Θειικά ιόντα	mg/L	25	250
10	Χλωριόντα	mg/L	25	200
11	Ασβέστιο	mg/L	100	
12	Μαγνήσιο	mg/L	30	50
13	Ολική Σκληρότητα	mg/L Ca	-	
14	Κάλιο	mg/L	10	12
15	Νάτριο	mg/L	20	200
16	Ξηρό υπόλειμμα	mg/L, 180 °C	-	1500
17	Αργίλιο	mg/L	0,05	0,2
18	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD ₅	mg/L O ₂	-	< 3
19	Πυρίτιο	mg/L	-	

Γ. Παράμετροι που αφορούν ανεπιθύμητες ουσίες

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
20	Νιτρικά	mg/L	25	50
21	Νιτρώδη	mg/L	-	0,1
22	Αμμωνιακά ιόντα	mg/L	0,05	0,5
23	Άζωτο Kjeldahl	μg/L	-	1
24	Οξειδωσιμότης (KMnO ₄)	mg/L	2	5

25	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	mg/L	-	Άνευ ασυνήθους μεταβολής
26	Υδρόθειο	μg/L	-	Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά
27	Φαινόλες	μg/L	-	0,5
28	Ύλες εν αιώρηση	-	-	Απουσία
29	Βόριο	μg/L	1000	-
30	Σίδηρος	μg/L	50	200
31	Επιφανειακά ενεργές ουσίες που αντιδρούν με κυανούν του μεθυλίου	mg/L	0,2	-
32	Μαγγάνιο	μg/L	20	50
33	Χαλκός	μg/L	-	100
34	Φώσφορος	μg/L	400	5000
35	Διαλυμένοι ή γαλακτοποιημένοι υδρογονάνθρακες (μετά από εκχείλιση με πετρελαϊκό αιθέρα)	μg/L	-	0,05
36	Φθόριο	μg/L	-	1500, 8 - 12 °C 700, 25 - 30 °C
37	Κοβάλτιο	μg/L		
38	Ψευδάργυρος	μg/L	-	100
39	Χλώριο υπολειμματικό	μg/L		
40	Ύλες που εκχειλίζονται με χλωροφόρμιο	mg/L	0,1	-
41	Τετραχλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	μg/L	-	10
42	Βάριο	μg/L	100	-
43	Άργυρος	μg/L	-	10

Δ. Παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
44	Αρσενικό	μg/L	-	50
45	Βηρύλλιο	μg/L		
46	Κάδμιο	μg/L	-	5
47	Κυανιούχα	μg/L	-	50
48	Χρώμιο	μg/L	-	50
49	Σελήνιο	μg/L	-	10
50	Αντιμόνιο	μg/L	-	10

51	Παρασιτοκτόνα Σύνολο παρασιτο – κτόνων	μg/L	-	0,1 0,5
52	Μόλυβδος	μg/L	-	50
53	Νικέλιο	μg/L	-	50
54	Υδράργυρος	μg/L	-	1
55	Βανάδιο	μg/L		
56	Βενζόλιο	μg/L	-	1
57	Βενζο -α- πυρένιο	μg/L	-	0,01
58	Αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογον – άνθρακες	μg/L	-	0,1
59	Ακρυλαμίδιο	μg/L	-	0,1
60	Επιχλωρυδρίνη	μg/L	-	0,1

Ε. Μικροβιολογικές παράμετροι

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
61	Ολικά κολοβακτήρια	Αποικίες/100 ml	0
62	Κοπρανώδη κολοβακτήρια	Αποικίες/100 ml	0
63	Στρεπτόκοκκοι Κοπράνων	Αποικίες/100 ml	0

Για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, ισχύουν τα ακόλουθα :

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
64	Escherichia coli	Αποικίες/250 ml	0
65	Εντερόκοκκοι	Αποικίες/250 ml	0
66	Pseudomonas aeruginosa	Αποικίες/250 ml	0
67	Αριθμός αποικιών - 22 °C	Αποικίες/ml	100
68	Αριθμός αποικιών - 37 °C	Αποικίες/ml	20

ΣΤ. Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό που έχει υλοστεί κατεργασία αποσκληρύνσεως

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση
1	Ολική σκληρότητα	mg/L	30 (ή 150 mg/L CaCO ₃)
2	Συγκέντρωση σε ιόντα υδρογόνου	pH	7
3	Αλκαλικότητα	mg/L	30

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ :

ΚΥΑ 46399/1352/3/7/1986

Παράμετρος	Επιθυμητή τιμή	Ανώτερη τιμή
Ολικά κολοβακτηριοειδή (cfu/100 ml)	500	10000
Κολοβακτηρίδια κοπράνων (cfu/100 ml)	100	500
Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	100	-

ΟΔΗΓΙΑ 76/160/ΕC

Παράμετρος	Επιθυμητή τιμή	Ανώτερη τιμή
Ολικά κολοβακτηριοειδή (cfu/100 ml)	500	10000
Κολοβακτηρίδια κοπράνων (cfu/100 ml)	100	2000
Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	100	-

ΝΕΑ ΟΔΗΓΙΑ 2006/7/ EC

Για εσωτερικά ύδατα

Παράμετρος	Εξαιρετική ποιότητα	Καλή ποιότητα	Ανεκτή ποιότητα
Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	200	400	330
Κολοβακτηρίδια (cfu/100 ml)	500	1000	900

Για παράκτια και μεταβατικά ύδατα

Παράμετρος	Εξαιρετική ποιότητα	Καλή ποιότητα	Ανεκτή ποιότητα
Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	100 *	200 *	185 **
Escherichia coli (cfu/100 ml)	250 *	500 *	500 **

(*) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 95° εκατοστημόριο

(**) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 90° εκατοστημόριο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Από βιβλία :

- 1) Γ.Κ Στουρνάρας, Νερό (Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή), Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- 2) Κώστας Στ.Βουδούρης, Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος (Υπόγεια νερά και περιβάλλον), Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- 3) Γεώργιος Χ. Σούλιος, Γενική Υδρογεωλογία (Ποιότητα υπόγειου νερού / Ρύπανση - Μόλυνση υπόγειου νερού), UNIVERSITY STUDIO PRESS
- 4) Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος, Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- 5) Κ. Ζανάκη, Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Εκδόσεις ΙΩΝ
- 6) Μανασσής - Μήτρακας, Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- 7) Ευάγγελος Γιδάρακος - Μαρία Αϊβαλιώτη, Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ
- 8) Θ. Κουίμτζη - Κ. Φυτιάνος - Κ. Σαμαρά - Κωνσταντίνου, Υδατική Χημεία Περιβάλλοντος, UNIVERSITY STUDIO PRESS
- 9) Παναγιώτης Σ. Κόλλιας, ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ (Επιφανειακά - Υπόγεια ύδατα - Δίκτυα διανομής - Εγκαταστάσεις), Εκδόσεις ΛΥΧΝΟΣ
- 10) Ξένος Κ.Δ, Χημική Ωκεανογραφία, Μακεδονικές εκδόσεις 2000
- 11) Ευθύμιος Νταρακάς, Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού, Θεσσαλονίκη 2010
- 12) Γ. Σταυρουλάκης, Εγχειρίδιο εργαστηρίου: Τεχνολογία ελέγχου ποιότητας νερού, Χανιά 2009
- 13) Μαρία Λοιζίδου, Σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2006
- 14) Γεωργία Παππά, Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό, Ιούλιος 2001
- 15) Μ.Α Μιμίκου - Φ.Σ Φωτόπουλος, Σημειώσεις ΕΜΠ: Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Αθήνα 2004
- 16) Α. Νάνου - Γιάνναρου, Υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων, Συμπόσιο « Αιγαίο - Νερό - Βιώσιμη Ανάπτυξη », 6 & 7 Ιουλίου 2001
- 17) Αλέξανδρος Σταμπολίδης, Περιβαλλοντική Γεωτεχνολογία, Χανιά 2002 - 2004
- 18) Παναγιώτης Ν. Παπανικολάου, Σημειώσεις υπόγειας υδραυλικής, Μάρτιος 2007
- 19) Άκης Τσελέντης - Παρασκευάς Παρασκευόπουλος, Σημειώσεις εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Πάτρα 2012

Από πτυχιακές εργασίες :

- 20) Ελευθέριος Δραγάζης, Αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού στην παράκτια περιοχή της Χαλέπας, Χανιά 2010

- 21) Χριστόφορος Ιωάννης, Προσδιορισμός του επιπέδου υφαλμύρινσης των γεωτρήσεων των δήμων Βάμου, Αρμένων και Σούδας, Χανιά 2012
- 22) Δασκαλάκη Αγγελική, Η ένταση της υφαλμύρινσης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων, Χανιά 2008
- 23) Τσάκα Ιουλία, Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στην παράκτια ζώνη από Ν. Φάληρο μέχρι Βάρκιζα και οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις
- 24) Μαργετάκη Παρασκευή - Μπαμπούνη Ηλιάννα, Υδρογεωλογική - Υδρογεωφυσική μελέτη της ευρύτερης λεκάνης του ποταμού Κερίτη Νομού Χανίων, Χανιά 2012
- 25) Σταθάκης Γεώργιος - Μπαμπούρη Βασιλική, Εφαρμογή ηλεκτρικής μεθόδου γεωφυσικής διασκόπησης στη λεκάνη του Γεροποτάμου, Νομού Ρεθύμνου, Χανιά 2010
- 26) Κατσαούνης Χριστόφορος, Προσδιορισμός της κατολισθητικής επικινδυνότητας για τον Νομό Χανίων με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Χανιά 2010
- 27) Φραγκιαδάκη Ιωάννα, Το marketing του εμφιαλωμένου νερού στην Κρήτη, Αθήνα 2008

Από μεταπτυχιακές εργασίες :

- 28) Μαυρίκος Αναστάσιος, Υδρογεωλογικές συνθήκες παραλιακής ζώνης Κορίνθου - Κιάτου. Διαχρονική εξέλιξη - Προοπτικές
- 29) Ελένη Χρυσικού, Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων με επεξεργασμένα λύματα. Περίπτωση εφαρμογής στο Θριάσιο πεδίο
- 30) Νίκος Καραγιάννης, Μαθηματική προσομοίωση υπόγειου υδροφορέα περιοχής Σχινιά Μαραθώνα, Αθήνα 2003
- 31) Μιχαλάκης Ιωάννης, Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρινσης πριν, κατά την διάρκεια και μετά την δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου, Χανιά 2007
- 32) Σιμυρδάνης Κλεάνθης, Διατριβή ειδίκευσης, Πειραματική μελέτη ηλεκτρικής τομογραφίας με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις, Θεσσαλονίκη 2009

Από άρθρα :

- 33) Λειψυδρία, το επόμενο μεγάλο πρόβλημα του κόσμου, Η Αυγή, 14/10/2010
- 34) Ο «μπλέ χρυσός» και οι 2.000.000 θάνατοι από την έλλειψή του, Δημοκρατία, 23/3/2013
- 35) Ελπίδα το «Το καλαμάκι της ζωής», εφημερίδα Το Έθνος, 20/3/2008
- 36) Η έλλειψη νερού πυροδοτεί ένοπλες συγκρούσεις, εφημερίδα Ημερησία, 21/3/09
- 37) Το νερό της Ελλάδας, Το Έθνος - Περιβάλλον
- 38) Το πρόβλημα του νερού και το νέο ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο, δημοσιογραφικό συγκρότημα Μακεδονία
- 39) Ο φρικτός θάνατος των Άλμπατρος, εφημερίδα Το Ποντίκι, 4/4/2013
- 40) Κοκτέιλ τοξικών στο ποτήρι μας, εφημερίδα Το Βήμα, 26/9/2004
- 41) «Πράσινη» ανάπτυξη και για το νερό, Περιοδικό Υδροοικονομία, 20/6/2008

- 42) Παγκόσμια Ημέρα νερού : Η Ελλάδα στα όρια της δίψας, news247
- 43) Χανιά: Οι θαλάσσιες περιοχές στις οποίες απαγορεύεται η κολύμβηση, flashNews, 9/7/2013

Από Διαδικτυακές ιστοσελίδες :

- 44) kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/water.htm/water.htm
- 45) kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/water.htm/leipsydria.htm
- 46) ec.europa.eu/environment/water/warer-fraimework/groundwater/pdf/brochure/el.pdf
- 47) ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html
- 48) Ikaros.teipir.gr/mecheng/OPS/files/Env_Biom/Tomos%20B_kef_11.pdf
- 49) digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSCYM-B202/219/1998.5027/
- 50) politics.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=775&Itemid=376
- 51) users.ntua.gr/kavvadas/Books/Env%20Geotechnics/Ch-3.pdf
- 52) biotech.aua.gr/EPEAEK/site_Biotech/gewp_biot/Labor_13ion_Nutr_PI/course_material/bouranis4right.htm
- 53) daskalosjf.blogspot.gr/2011_06_01_archive.html
- 54) physiclessons.blogspot.gr/2012/03/k.html
- 55) diocles.civil.duth.gr/links/home/database/chania/pr51ge.pdf
- 56) kireas.org/smf/index.php?topic=685.0
- 57) kireas.org/smf/index.php?action=printpage;topic=651.0
- 58) users.ntua.gr/kavvadas/Books/Env%20Geotechnics/Ch-3.pdf
- 59) utopia.duth.gr/~tpapad/AA.doc
- 60) biotech.aua.gr/EPEAEK/site_Biotech/gewp_biot/Labor_bion_Nutr_PI/course_material/bouranis4.htm
- 61) Iakovos-xania.blogspot.gr/2012/01/blog-spot_11.html
- 62) Environmentfood.blogspot.gr/2008_04_01_archive.html
- 63) www.biosyn-oelmek.org/ekpaideutiko_yliko/ekpaideutiko_yliko_files/water.pdf
- 64) www.enidrio.gr/el/water/freshwater/water_table
- 65) www.lifewateragenda.org/html/cycle-gr.html
- 66) www.gcex.gr/wp-content/uploads/2012/01/ΛΑΓΟΥΡΗ-M..pdf
- 67) www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&task=view&id=3464&Itemid=85
- 68) www.oikopress.gr/index.php/anadimosieuseis/599ypogeia-ydata

- 69) www.greenpage.gr/ypogeia.nera.htm
- 70) www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E_OCEAN_ALBANAKIS/PDF/KEF_4_PHYSICOCHEMICAL_PROPERTIES_OF_WATER.pdf
- 71) www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/velonakis_e.pdf
- 72) www.prosodol.gr/sites/prosodol_gr/files/5th%20G.E.pdf
- 73) www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/nanou_K.pdf
- 74) www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e_lab/PDF/LAB_1theory.pdf
- 75) www.geo.auth.gr/763/ch5.htm
- 76) www.pyxida.gr/index.php?option=com-content&view=article&id=2096&catid=22:2009-12-15-17-11-16&Itemid=251
- 77) www.hnms.gr/hnms/greek/climatology_region_diagrams_html?dr_city=chania_Souda
- 78) www.geodifhs.com/4/post/2010/02/19.html
- 79) www.greenagenda.gr/?p=211
- 80) www.cup.gr/Files/files/chapters/xhmikh%20analysi%20II.pdf
- 81) www.chania-info.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=373&Itemid=133
- 82) www.morfiislands.com/el/luxury-homes-crete-greece/history-climate-crete-island
- 83) www.oadyk.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=33:-&catid=29:2008-12-11-09-43-47&Itemid=297
- 84) www.katzos.gr/destinationchania.aspx
- 85) www.cup.gr/Files/files/chapters/xhmikh%20analysi%20II.pdf