



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ  
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**« ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΩΝ ΒΟΙΩΤΙΑΣ »**

**ΔΑΒΟΥ ΕΙΡΗΝΗ**

**ΓΕΩΛΟΓΟΣ M.Sc.**

**Αθήνα Δεκέμβριος, 2014**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Καραβίτης Χρήστος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Μέλη: Σταμάτης Ν.Γεώργιος, Καθηγητής ΓΠΑ

Αλεξανδρής Γ. Σταύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>9</b>
<b>2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>11</b>
2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ .....	11
2.2 ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ .....	14
2.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	15
2.3.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ .....	15
2.3.2 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ.....	16
2.4 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ .....	18
2.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	23
2.5.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	24
2.5.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	26
<b>3. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ.....</b>	<b>27</b>
3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ .....	28
3.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ .....	29
3.3 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ .....	33
3.4 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ .....	34
<b>4. ΚΡΗΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>34</b>
4.1 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ .....	34
4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	40
<b>5. ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ .....</b>	<b>47</b>
5.1 ΡΥΠΑΝΣΗ/ ΜΟΛΥΝΣΗ .....	47
5.2 ΡΥΠΑΝΤΕΣ /ΑΙΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	48
5.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ .....	50

5.4 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	51
5.5 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΤΩΝ .....	54
<b>6. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....</b>	<b>55</b>
<b>7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....</b>	<b>58</b>
7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	58
7.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ/ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	59
7.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ .....	61
<b>8.ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>62</b>
8.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ .....	62
8.2 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	63
8.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ.....	64
8.4 ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ .....	65
8.4.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ .....	65
8.4.2 ΕΞΩΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ .....	66
<b>9. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>70</b>
9.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	70
9.2 ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΗΣΜΑΤΑ .....	70
9.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	71
9.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΜΙΚΕ SHE.....	71
9.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	72
<b>10. ΓΕΩΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>76</b>
10.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ .....	76
10.1.1 ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ .....	76
10.1.2 ΜΕΤΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ.....	76

10.1.2.1 ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ .....	76
10.1.2.2 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ .....	78
10.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	81
<b>11.ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>81</b>
11.1 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	81
11.2 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ .....	83
<b>12. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ .....</b>	<b>85</b>
12.1 ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	85
12.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΕΙΑ/ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	86
12.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ .....	89
12.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	91
12.5 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	95
12.6 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	104
12.7 ΙΧΝΟΕΝΩΣΕΙΣ .....	124
12.8 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....	128
12.9 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	137
12.9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ RIPPER.....	137
12.9.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ DUROV.....	140
<b>13. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>142</b>
<b>14. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>149</b>
<b>15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>155</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>157</b>

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Διαχείριση Περιβάλλοντος των Μεταπτυχιακών Σπουδών, του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο «Υδρογεωλογική- Περιβαλλοντική Έρευνα Λεκάνης Βαγίων Βοιωτίας »

Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον Επίκουρο καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Χρήστο Καραβίτη με τη συμβολή του κ. Γεώργιου Σταμάτη, καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ευχαριστώ θερμά τόσο για την ανάθεση του θέματος ,για την καθοδήγηση του κ. Καραβίτη, την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας ,όσο και για την μετάδοση των επιστημονικών του γνώσεων που με βοήθησαν στην επίτευξη του στόχο μου. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Σταμάτη για τις συμβουλές του και την πολύτιμη βοήθεια του στις εργασίες υπαίθρου αλλά και στο στάδιο των εργαστηριακών χημικών αναλύσεων. Ευχαριστώ για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή τον κ. Σ. Αλεξανδρή, Επίκουρο καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών .

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω το κ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη, διδάκτωρ Τηλεπισκόπησης και GIS για την βοήθεια στην ανάπτυξη του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, τον Δημήτρη Σταματάκο, υποψήφιο διδάκτορα και τέλος τον Φίλιππος Φιλιππίδης , υποψήφιο διδάκτορα που με βοήθησαν στην διαδικασία της επεξεργασίας τόσο των υδρολογικών (MIKE SHE), όσο και υδροχημικών αποτελεσμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στο υδρογεωλογικό καθεστώς που επικρατεί στη κλειστή υδρολογική λεκάνη των Βαγίων, με ιδιαίτερη έμφαση στην ποιοτική σύσταση των υπόγειων υδάτων. Αναδεικνύει το περιβαλλοντικό πρόβλημα της περιοχής που σχετίζεται, αφενός με το πλημμυρικό φαινόμενο που δημιουργείται, κατά την υγρή περίοδο μέχρι και το τέλος Μαρτίου, σχεδόν κάθε έτος και αφετέρου με την παρατηρούμενη ποιοτική επιβάρυνση του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα, η οποία αποδίδεται τόσο σε γεωγενείς, όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Το πλημμυρικό φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα την έκπλυση ανεπιθύμητων ουσιών από τα εδάφη της έντονα καλλιεργούμενης περιοχής και την διείσδυσή τους στους υδροφόρους ορίζοντες. Σημαντική επιβάρυνση υφίσταται και ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας, καθώς τα επιφανειακά νερά που συγκεντρώνονται στον κάμπο κατεισδύουν μέσω της καταβόθρας του Βαρικού απευθείας στους έντονα καρστοποιημένους ανθρακικούς σχηματισμούς.

Η κλειστή λεκάνη των Βαγίων αναπτύσσεται μεταξύ της λεκάνης της Κωπαΐδας στα βορειοδυτικά και της λεκάνης των Θηβών στα ανατολικά. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ήπιο στο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης. Στη γεωλογική δομή της λεκάνης συμμετέχουν οι τριαδικοί-ιουρασικοί ανθρακικοί σχηματισμοί, οι περιορισμένης έκτασης σχηματισμοί της σχιστολιθικής διάπλασης και τα ημισυνεκτικά νεώτερα τριτογενή και τα χαλαρά τεταρτογενή ιζήματα. Η δημιουργία της λεκάνης είναι αποτέλεσμα της έντονης ρηγματογόνου τεκτονικής, η οποία έλαβε χώρα κατά την περίοδο του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς.

Εντός των ημισυνεκτικών και χαλαρών ιζημάτων της λεκάνης αναπτύσσεται ένας ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας, με κατά τόπους συνθήκες υπό πίεση, σχετικής δυναμικότητας που εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό αρδευτικών γεωτρήσεων.

Εντός των έντονα καρστοποιημένων ανθρακικών σχηματισμών του γεωλογικού υποβάθρου αναπτύσσεται ένας πλούσιος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος τοπικά αποτελεί τμήμα του μεγάλου ενιαίου καρστικού υδροφόρου που αναπτύσσεται εντός των ανθρακικών μαζών του Παρνασσού, του Ελικώνα και της Σφίγγας και ο οποίος εκτονώνεται εντός της Υλίκης και στην παράκτια περιοχή του Βόρειου Ευβοϊκού. Η καρστική υδροφορία εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό αρδευτικών γεωτρήσεων στο κάμπο των Βαγίων. Οι παροχές τους ξεπερνούν τα 150-200m<sup>3</sup>/h. Γενικά, ο συνολικός αριθμός των υφιστάμενων γεωτρήσεων εντός της λεκάνης ξεπερνά

τις 200. Δυο γεωτρήσεις εξ αυτών που βρίσκονται βόρεια του δήμου Βαγίων καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων.

## **ABSTRACT**

The present study refers to the hydrological status that dominates the close basin of Vagia, with particular emphases on the composition of the area's groundwater. The study highlights the environmental problem of the area, which relates to both the flooding phenomenon created during the rainy season until the end of March, almost every year, as well as, the observed qualitative deterioration of upper aquifer, which is attribute to natural and human factors. As the result of flood phenomenon, constitutes the Rinsing of the undesirable substances, from the soils of strongly cultivated area and their penetration to aquifers. A considerable deterioration exists on karst aquifer as surface water gathered on the valley and infiltrate through Vouraikos sinkhole direct to intensely karstified carbonate formation.

The close basin of Vagia expands between north-east o of Copaida basin and east of Thiva basin. The relief of Vagia in the major percentage is smooth. As far as concerns the basin's structure are involved the carbonate formations of Triassic-Jurassic period, the limited appearance of Sxist conformation, also, the neogen formations of Tertiary and the loose sediments of Quaternary period. In addition the basin creation is a result of intense tectonic movements of faults, which took place during the period of Tertiary and Quaternary.

Into the grainy and loose sediments of neogene and quaternary formations has developed an upper confined aquifer with relative water supply capacity. A huge number of irrigation drillings takes advantage of that aquifer, A rich karst aquifer is developed topically in the area, within the intensely karstified carbonate formation of geological bedrock, constitutes part to the larger Karst aquifer ,where is developed within the carbonate masses of Parnassos, Elikon and Sfiggion(Fagas). The above groundwater system of karst aquifer is discharged within Yliki Lake and also to the coastal area of north Evoikos. A large number of irrigation boreholes of Vagia's area takes advantage of karst aquifer, with water supply that exceeds the amount of prices150-200m<sup>3</sup>/h. Generally, the number of existing wells within basin exceeds of 200, of which two of these, are located in the north side from the Vagia's village, and cover the water needs of residents



## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην υδρογεωλογική και περιβαλλοντική μελέτη λεκάνης του κάμπου των Βαγίων και την υδροχημική ανάλυση των υπόγειων νερών των γεωτρήσεων. Τα νερά προέρχονται από υπόγεια ροή καρστικών υδροφόρων.

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα της εν λόγω διπλωματικής εργασίας απαρτίζουν τη συνισταμένη διαφόρων επιστημών όπως της γεωλογίας, υδρολογίας, υδρογεωλογίας και κλιματολογίας. Στη μελέτη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις υπαίθρου με σκοπό τη συλλογή δειγμάτων. Η χρήση λογισμικών προγραμμάτων ήταν απαραίτητη για την καλύτερη επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα, MIKE SHE, (υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης) Arc, GIS (γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών), GRAFER. Τα ψηφιακά δεδομένα της γεωλογίας της περιοχής προήλθαν από την ψηφιοποίηση Φύλλων Χάρτη του ΙΓΜΕ. Τα βροχομετρικά δεδομένα δόθηκαν από την ΕΜΥ και μετά από επεξεργασία αυτών προήρθαν τα δευτερογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το λογισμικό MIKE SHE. Οι υδροχημικές αναλύσεις έγιναν στο Εργαστήριο με συγκεκριμένη μεθοδολογία που αναλύεται στα παρακάτω κεφάλαια. Η απεικόνιση των δεδομένων και η ταξινόμηση τους στα διαγράμματα PIPER DUROV πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό GRAFER. Αναλύονται στην παρούσα μελέτη τα εξής:

- Οι επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι.
- Το Υδρολογικό Ισοζύγιο των Επιφανειακών Νερών
- Η ποιοτική κατάσταση των υπόγειων και επιφανειακών πόρων
- Η ποσοτική έκφραση της ποιότητας των υπόγειων νερών σύμφωνα με παγκόσμια σταθερότυπα
- Διαγράμματα ταξινόμηση και ρύπανση υδάτων
- Καρστικά περιβάλλοντα
- Περιγραφή περιοχής και δειγματοληπτικές μετρήσεις περιοχής

- Τα αποτελέσματα του Υδρολογικού ομοιώματος κατά την περίοδο ανάλυσης 1994-2014 και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από τα δείγματα των γεωτρήσεων, για την ποιοτική κατάταξη του υπόγειου νερού.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η προέλευση του νερού είναι άκρως συνδεδεμένη με τους μηχανισμούς που διαμόρφωσαν τις αρχικό σχηματισμό της γης. Συγκεκριμένα, ο Γ. Στουρνάρας (2007) αναφέρει ότι "σύμφωνα" με απόψεις που διαπίστωσε ο O.Yu.Schmidt, στα αρχικά στάδια των διαδικασιών αυτών, υδάτινα μόρια σταθεροποιήθηκαν από ψύξη και ομαδοποιήθηκαν με τη μορφή νέφους αέριας σκόνης, που συμπυκνώθηκε. Η συσσωρευμένη θερμότητα από την μετέπειτα ραδιενεργή θέρμανση, προκάλεσε εξάτμιση της υδάτινης αυτής μορφής από τα σπλάχνα της γης. Οι υποστηρικτές της θεωρίας αυτής συνεχίζουν να πιστεύουν ότι η υδρόσφαιρα συνεχίζει να σχηματίζεται με τον ίδιο τρόπο , ακόμα και σήμερα και ότι ο παγκόσμιος ωκεανός απορροφά το ηπειρωτικό τμήμα της γης. Η άποψη αυτή απορρίφτηκε από τον Ολλανδό γεωλόγο Ph.Kuenen .Άλλη θεωρία σχηματισμένη από τον Αργεντινό γεωλόγο Geinsgeimer, υποστηρίζει ότι η γη χάνει προοδευτικός νερό με τη διαδικασία της αποσυνθέσεως των υδρατμών, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας σε υδρογόνο και οξυγόνο. Όμως , περισσότερο αληθοφανής φάνηκε η θεωρία που διατύπωσε ο V.I.Vernandsky. Σε αυτή την θεωρία η ποσότητα του νερού της γης έχει παραμείνει αμετάβλητη για μια μεγάλη περίοδο και οι θάλασσες που πλημμυρίζουν την ξηρά, κατά τη διάρκεια των επικλύσεων, δεν είναι παρά οι «παφλασμοί» του παγκόσμιου ωκεανού. Το νερό στην γη διαγράφει μια αέναη κίνησή μέσα στη φύση, ανάμεσα σε διαφορετικά περιβάλλοντα ασταμάτητα στο χρόνο, σχηματίζοντας έναν κύκλο, τον υδρολογικό κύκλο του νερού. Σημαντικό στην συνεχόμενη κίνηση του νερού αποτελεί η ικανότητα του να εμφανίζεται σε διάφορες μορφές στον πλανήτη και να κατανέμεται σε διάφορες κατηγορίες, όπως φαίνεται και στην εικόνα, 2.1 Ο κύκλος του νερού (γνωστός επιστημονικά ως «υδρολογικός κύκλος») αναφέρεται στη συνεχόμενη ανταλλαγή του νερού μέσα στην υδρόσφαιρα, δηλαδή μεταξύ ατμόσφαιρας, επιφανειακού νερού, εδαφικού νερού, υπόγειου νερού και βιόσφαιρας. Οι κατηγορίες του νερού στη φύση, όπως παρατηρείται αφορούν την μορφή του νερού και πως συμμετέχει στον υδρολογικό κύκλο. Το ατμοσφαιρικό ή μετεωρικό νερό που αντιπροσωπεύεται από την βροχή, το χιόνι και την υγρασία. Το επιφανειακό νερό, είτε σε υγρή είτε στερεή μορφή, τρεχούμενο ή όχι, όπως για παράδειγμα ,το υδρογραφικό δίκτυο ή οι θαλάσσιες λίμνες. Συνεχίζοντας με τις κατηγορίες του νερού που συμμετέχουν στον υδρολογικό κύκλο, μια άλλη είναι το υπόγειο νερό. Σύμφωνα, με την Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS), ο κύκλος του

νερού διακρίνεται σε 16 μέρη, π.χ., αποθήκευση νερού στη θάλασσα, εξάτμιση, επιφανειακή απορροή, αποθήκευση υπόγειου νερού και άλλες.



**Εικόνα 2.1:** Κύκλος νερού, πηγή: USGS, last assessed 20/11/2014

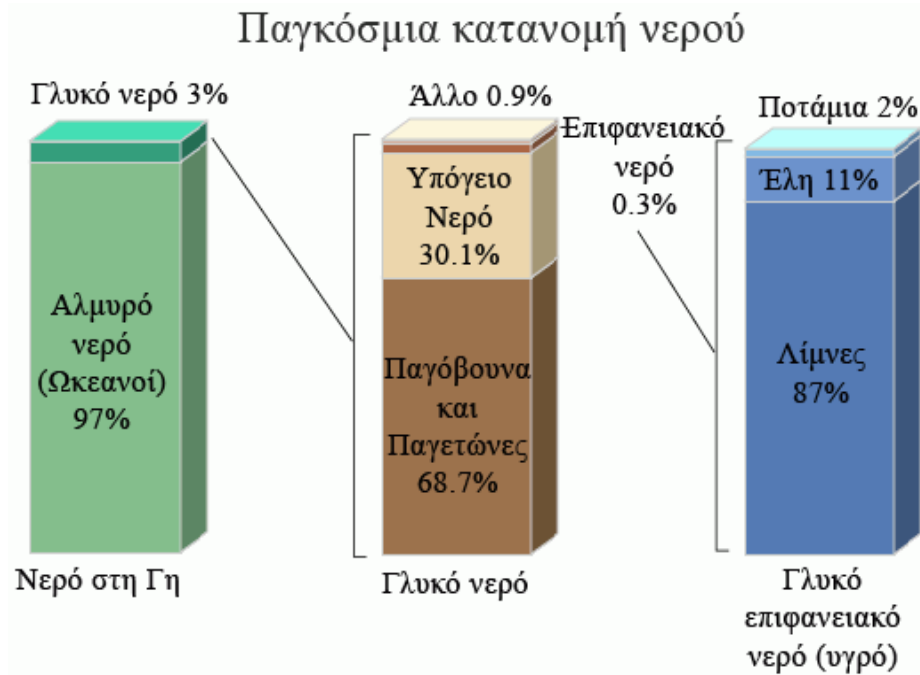
Σαν κύκλος που είναι, ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή αμού στον αέρα. Οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού βρίσκονται στη θάλασσα και καταλήγουν στην ξηρά, ως ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Όταν φθάνει στην επιφάνεια της γης μέσω των κατακρημνισμάτων, έχει να ακολουθήσει τρεις δρόμους (Σούλιος,2006):

1. Να διαπεράσει την επιφάνεια του εδάφους και να κατέλθει στο υπέδαφος, στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στο υπόγειο νερό.

2.Να ρέει επιφανειακά και παραλαμβανόμενο από το υδρογραφικό δίκτυο (τα ποτάμια συστήματα) να εκχυθεί τελικά στη θάλασσα.

3.Να επανεξατμιστεί από την επιφάνεια του εδάφους, από την ελεύθερη επιφάνεια του υδρογραφικού συστήματος, από το υπέδαφος ή ακόμα να διαπνευσθεί από τα φυτά που το αντλούν από το έδαφος.

Το νερό, όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπάνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού «τελειώνει» και «ξεκινάει». Αποτελεί την πιο διαδεδομένη χημική ένωση στην επιφάνεια της Γης, καλύπτοντας το 70,9% του πλανήτη μας. Πιο συγκεκριμένα, το 96,5% του νερού της Γης βρίσκεται στους ωκεανούς (και τις θάλασσες). Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.(εικόνα,2.2) Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια, δηλαδή τα επιφανειακά νερά, είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους περισσότερα από τα επιφανειακά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν σκεφτούμε ότι οι πόροι του νερού δεν είναι αποθεματικοί (όπως π.χ. είναι το πετρέλαιο) αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι, λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται – και άρα ανανεώνονται – με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια.( USGS)



**Εικόνα 2.2:** Παγκόσμια κατανομή νερού, πηγή: USGS, last assessed 20/11/2014

## 2.2 ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος υδατικός πόρος, ως φυσικός πόρος, αλλά όχι ανεξάντλητος. Τα αποθέματα γλυκού νερού ανανεώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη και η κατανομή του στο χώρο και στο χρόνο άνιση. Η χρήση του γλυκού νερού για την κάλυψη αναγκών του πληθυσμού της γης, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει προκαλέσει ζητήματα διαχείρισης, λόγω της άνισης κατανομής του. Το νερό δεν είναι εμπόρευμα, όπως όλα τα άλλα, όμως δεν αποτελεί και δημόσιο αγαθό με ανεξέλεγκτη χρήση. Ένας υδατικός πόρος, είναι δυνατό ήδη να χρησιμοποιείται ή να αποτελεί αποθηκευτικό δυναμικό στρατηγικής για το μέλλον. Αυτό όμως που καθορίζει αυτόν τον πόρο είναι η τρέχουσα και η μελλοντική του αξιοπιστία, ενώ είναι δυνατό μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες μιας περιοχής, να επηρεάσουν το μέγεθος, την αξιοπιστία ή και να ακυρώσουν τη χρήση του (Σούλιος, 1995, Τσακίρης, 1996). Οι υδατικοί πόροι διακρίνονται σε επιφανειακούς και υπόγειους. Στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους ανήκουν τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, τα έλη, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες, ενώ στους υπόγειους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται τα νερά των γεωτρήσεων, των

πηγαδιών, των πηγών και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων (Taub, 1984, CEC, 1992, Boon et al., 1992). Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων προϋποθέτει δυο βασικούς τύπους υδραυλικών έργων, έργα αποθήκευσης (ταμιευτήρες,) και τα έργα μεταφοράς(δίκτυα διανομής).

### 2.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Ο άνθρωπος θεωρεί τους υδατικούς πόρους οικονομικά εκμεταλλεύσιμους, αγνοώντας τα προβλήματα που προκύπτουν από την κάλυψη και ζήτηση των αναγκών όταν το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό αδυνατεί να ανταποκριθεί. Σε κάθε περιοχή προσδιοριζόμενη είτε από φυσικά όρια(π.χ. λεκάνη ή σύνολο λεκανών ποταμού ),είτε από πολιτικά όρια (όρια κρατών ή περιφερειών), επιτελείται ένα τμήμα του γενικού κύκλου του νερού. Η κάθε περιοχή έχει ένα συγκεκριμένο όγκο νερού (απόθεμα), λίγο ή πολύ σε καθεστώς ροής (απορροή, επιφανειακή και υπόγεια) και εμφανίζει ανταλλαγές ροής με όμορες περιοχές, τροφοδοσίες, ή αφίξεις για νερά εισερχόμενα στο θεωρούμενο σύστημα και απώλειες για νερά εξερχόμενα του συστήματος. Τα αποθέματα αυτά είναι ευαίσθητα σε διάφορες εξωτερικές επιδράσεις στις οποίες αντιδρούν με μεταβολές στο εσωτερικό και με αντιδράσεις προς το εξωτερικό του συστήματος. Ο υδρολογικός κύκλος εξαρτάται από μια σχετικώς, μικρή αλλά πολύ δραστήρια ατμοσφαιρική δεξαμενή, από την οποία αναπληρώνουν το δυναμικό τους τα επιφανειακά και υπόγεια νερά.(Στουρνάρας,2007) Η προέλευση, η κατανομή και ο σχηματισμός των φυσικών οδών επιφανειακής μεταφοράς και αποθήκευσης του νερού και των κάθε είδους υδατοσυλλογών σε οποιαδήποτε λεκάνη απορροής είναι αποτέλεσμα κλιματικών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών παραγόντων και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

#### 2.3.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Η κάλυψη των αναγκών σε νερό αντιπροσωπεύονται κατά κύριο μέρος από τα επιφανειακά νερά. Οι ανάγκες για νερό, πόσιμο, βιομηχανικών χρήσεων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζουν αρχικά την εκμεταλλεύσιμη ποσότητα του επιφανειακού υδατικού όγκου. Αναλόγως την περιοχή, τις γεωλογικές συνθήκες ,τις κλιματικές συνθήκες και πολλών άλλων παραμέτρων ως διαθέσιμο υδατικό δυναμικό μπορεί να θεωρηθεί η θερινή περίοδος του ποταμού ή ένα μέρος της θερινής περιόδου της περιοχής του ποταμού. Σε μια περιοχή όταν οι ανάγκες της σε νερό δεν

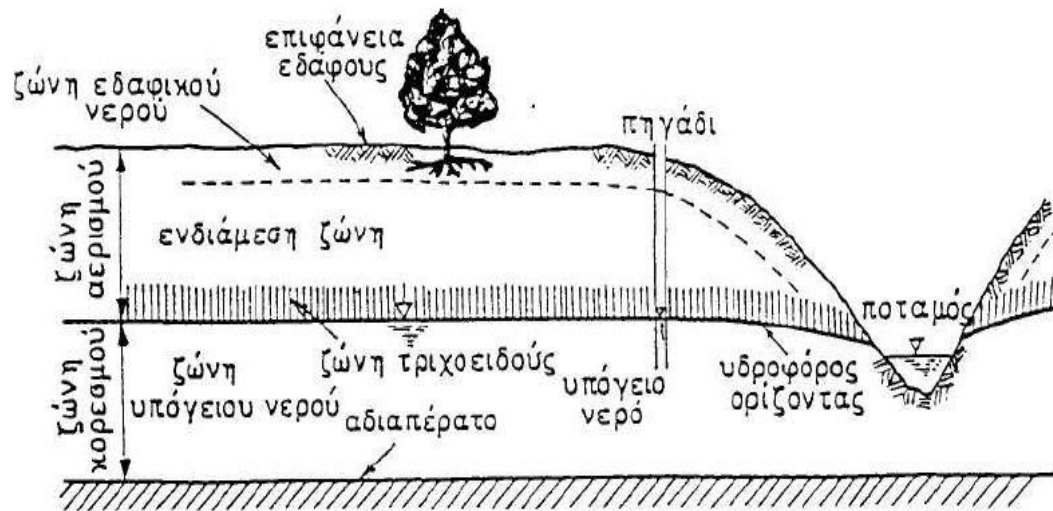
καλύπτονται από τους υπάρχοντες υδατικούς πόρους τότε η περιοχή τροφοδοτείται από άλλες περιοχές. Η δημιουργία έργων εκμετάλλευσης καθίσταται αναγκαία στην διαχείριση τους με σκοπό τη βέλτιστη λύση για την εξυπηρέτηση των αναγκών της εκάστοτε περιοχής. Στον καθορισμό του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού εκτός από την ποσότητα των υδάτων ένας επιπλέον παράγοντας είναι και η ποιότητα τους. Η ποιότητα μπορεί να προσδιοριστεί είτε από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο φυσικό περιβάλλον, είτε από την απαιτούμενη, εκφρασμένη κάθε φορά από τις προδιαγραφές που ισχύουν σε κάθε υδατική χρήση και οι οποίες μεταβάλλονται στο χρόνο. Το οικονομικό κριτήριο, καταλαμβάνει σπουδαίο ρόλο στην εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων εκτός των υπολοίπων. Ένας υδατικός πόρος με υπερέπάρκεια πλήρωσης των αναγκών της περιοχής, με στόχο την καλύτερη εκμετάλλευση του οικονομικά, μπορεί να κοστολογηθεί η αξία του ανάλογα με το κόστος προσφοράς ή το κόστος των αναγκών. Συγκεκριμένα, το κόστος προσφοράς, προσαρμοσμένο στο παθητικό των αναγκών, ενώ το κόστος αναγκών εκφρασμένο με διαφορετικές «αξίες» νερού (προστιθέμενη αξία, αξία χρήσης, κ.α.). (Στουρνάρας, 2007) Ένα σύστημα υδατικών πόρων συνθέτει το κατάλληλο περιβάλλον για τη διατύπωση και παρουσίαση του ποσοτικού υδατικού ισοζυγίου. Το υδατικό δυναμικό στο ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης αποτελεί την απαραίτητη μετρήσιμη παράμετρο για την καλύτερη τεχνοοικονομική προσφορά. Η εκτίμηση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού είναι εμπειρική και βασίζεται σε παρατηρήσεις και μετρήσεις.

### 2.3.2 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Τα αποθέματα υπόγειου νερού αποτελούν περίπου το 30% του συνολικού γλυκού νερού ή το 99% των υγρών αποθεμάτων γλυκού νερού της γης. Τα εκμεταλλεύσιμα υπόγεια νερά αναφέρονται στον όγκο νερού που αποθηκεύει ένας υπόγειος υδροφορέας και είναι διαθέσιμος για κάποια χρονική περίοδο, συγκεκριμένη ή όχι. Ο Κουτσογιάνης Δ. και ο Ξανθόπουλος Θ., αναφέρουν πως «σύμφωνα» με τον Dingman, (1994) μια γεωλογική μονάδα η οποία μπορεί να αποθηκεύσει μια αξιόλογη ποσότητα νερού και να τη μεταφέρει με ρυθμό υδρολογικά σημαντικό ονομάζεται υπόγειος υδροφορέας ή υδροφορέας. Ένας Η χρήση των υπόγειων νερών εξαρτάται από τον ρυθμό που αυτά μπορούν να αντλούνται από μια συγκεκριμένη λεκάνη κατά τη διάρκεια μιας αντιπροσωπευτικής χρονικής περιόδου, χωρίς τον κίνδυνο να προκληθεί σημαντική



μεταβολή στα αποθέματα τους. Κατά την εκμετάλλευση των υπόγειων νερών πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη ότι η υπεράντληση υπόγειου νερού προκαλεί καθιζήσεις εδάφους, ο όγκος νερού που περιέχεται υπό φυσικές συνθήκες, μέσα στους πόρους και τις ρωγμές των υδροφορέων και πολλές άλλες παραμέτρους. Η χρήση των υπόγειων υδροφορέων στο ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης, γίνεται με κάποιο όριο ασφαλείας, το οποίο λέγεται ασφαλής απόδοση. Ο όρος ασφαλής απόδοση αναφέρεται στην ετήσια ποσότητα νερού που μπορεί να αποληφθεί, χωρίς να προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα (Todd,1959, Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006) Η κακή χρήση τους μπορεί να προκαλέσει, για παράδειγμα σε μια περιοχή με επαρκή εμπλουτισμό(πχ, Θεσσαλική πεδιάδα), προβλήματα υπεράντλησης, με συνέπεια την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα. Όταν προκαλείται υποβιβασμός στάθμης, αυξάνονται οι υπόγειες εισροές, περιορίζονται οι υπόγειες εκροές, αυξάνεται ο εμπλουτισμός από τα υδρορεύματα, ενώ τέλος οι απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή ελαττώνονται. Η μελέτη των υπόγειων υδάτων για την χρήση τους στις ανθρώπινες ανάγκες απαιτεί γνώση των γεωλογικών σχηματισμών του υδροπερατού μέσου εντός του οποίου ρέει το υπόγειο νερό, καθώς και τον υδραυλικών χαρακτηριστικών της υπόγειας ροής. (πορώδες, ειδική απόδοση, υδραυλική αγωγιμότητα, κ.α.) Η κάθε περιοχή διαφέρει ως προς τη διαθεσιμότητα των υπόγειων πόρων και πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μοναδική. Το δυναμικό σύστημα των υπόγειων νερών μεταβάλλεται, λόγω της ανακύκλωσης του νερού. Η εκμετάλλευση τους απαιτεί συνεχή επιστημονική και τεχνική παρακολούθηση και διαρκή επανεκτίμηση των όρων, συνθηκών και έργων εκμετάλλευσης.



Η κατανομή του υπόγειου νερού κατά βάθος

**Εικόνα 2.4:** Κατανομή του υπόγειου νερού κατά βάθος , Λατινόπουλος και Θεοδοσίου 2007, last assessed 20/11/2014

## 2.4 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Ο κύκλος του νερού εκφράζεται μαθηματικά με το υδατικού ισοζυγίου. Το υδατικό ισοζύγιο αποτελεί κλειδί στη μελέτη και διαχείριση των υδατικών πόρων. Η σημαντικότητα του αφορά στην εκτίμηση των αναγκών ζήτησης νερού και της διαθέσιμης ποσότητας. Συμμετοχή στο υδρολογικό ισοζύγιο έχουν τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια νερά. Το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζει την κατανομή των κατακρημνισμάτων μετά την άφιξη τους στην επιφάνεια της γης, μεταξύ ατμόσφαιρας, ωκεανών και ηπείρων. Η αποτελεσματικότητα του ισοζυγίου είναι εφικτή μόνο όταν αναφέρεται σε συγκεκριμένα δεδομένα.(λεκάνη απορροής ή υδρολογική λεκάνη σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα) Το υδρολογικό ισοζύγιο μιας περιοχής για μια χρονική περίοδο(π.χ. ένα έτος) εκφράζεται με την εξίσωση

$$P = E + R + I + \Delta W$$

Όπου :

P, το ποσό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η περιοχή μελέτης

E, το ποσό εξατμησοδιαπνοής

R, η επιφανειακή απορροή

I, το ποσό του νερού που κατεισδύει στα βαθύτερα στρώματα και είτε αναπληρώνει τη φυσική υγρασία, είτε προστίθεται στους υδροφόρους ορίζοντες. Το νερό που κατεισδύει στους υδροφόρους ορίζοντες αποτελεί την ενεργή κατείσδυση που έχει την μεγαλύτερη σημασία στην υδρολογία

$\Delta W$ , μεταβολή των αποθεμάτων, από τις παραπάνω διαδικασίες.

Τα δεύτερα μέλη της εξίσωσης, γνωστά σαν φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου, εκφράζονται είτε σε χιλιοστά, είτε σε μονάδες όγκου, είτε σε εκατοστιαίο ποσοστό επί των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Κατά των υπολογισμό ισοζυγίου υδάτων θα πρέπει να δίνεται προσοχή σε νερά προελεύσεως από γειτονική υδρογεωλογική λεκάνη ή νερά που προέρχονται από μεγαλύτερα βάθη και δεν αποκτούν ξεχωριστό δίκτυο ανόδου στην επιφάνεια αλλά αναμιγνύονται με τα ψυχρά νερά των υδροφόρων οριζόντων, μετατρέποντας όχι μόνο την ποσοτική τους διάσταση σε σχέση με την τροφοδοσία τους αλλά και την ποιοτική, μεταβάλλοντας, τον χημισμό του συνόλου του υδατικού συστήματος.(Στουρνάρας, 2007) Αναλυτικά:

#### ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ(P)

Το σύνολο του μετεωρικού νερού που φθάνει στην επιφάνεια της γης με οποιαδήποτε μορφή αποτελεί τα κατακρημνίσματα. Ο σχηματισμός κατακρημνισμάτων ξεκινά από το σχηματισμό του νέφους: μάζες αέρα, φορτισμένες με υδρατμούς που επαναψύχονται και συμπυκνώνονται σε πολύ μικρά σταγονίδια

Προϋποθέσεις για τη συμπύκνωση αυτή είναι:

- Η ύπαρξη άφθονων υδρατμών, ώστε η ατμόσφαιρα να είναι ή να πλησιάζει να γίνει κορεσμένη απ αυτούς .
- Η ψύξη του αέρα ώστε η θερμοκρασία του να πλησιάζει το σημείο δρόσου
- Η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα πυρήνων συμπύκνωσης. Αυτοί είναι συνήθως ιονισμένα σωματίδια  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ -(προερχόμενα από το νερό της θάλασσας και συνεξεταζόμενα από τον κυματισμό της θάλασσας) ή όμοια  $\text{Ca}^{++}$   $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ -κ.λπ. ή σωματίδια κατιόντων. Η παρουσία αυτών των πυρήνων είναι απαραίτητη για το σχηματισμό νέφους. Χωρίς αυτούς σε μια ελάχιστη ποσότητα δεν σχηματίζεται νέφος, άρα βροχή.

Η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα τα βροχόμετρα, που μπορούν να είναι και εγγραφικά (βροχογράφοι) Όλα τα σημεία μιας λεκάνης στο χώρο δεν δέχονται το ίδιο ύψος κατακρημνισμάτων. Απαιτείται μελέτη συγκεκριμένων στοιχείων, όπως, το υψόμετρο, το ανάγλυφο της περιοχής κ.α.

### ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ(I)

Το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους. Τα βασικά φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την κατείδυση έχουν ως εξής:

Ένα μέρος από το νερό που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους κατ αρχήν θα συμπληρώσει το έλλειμμα υγρασίας των στρωμάτων.

Το υπόλοιπο θα κινηθεί προς τα κάτω λόγω βαρύτητας και ή θα προστεθεί στο υπάρχον υπόγειο νερό των υδροφόρων στρωμάτων ή θα κινηθεί στα επιπόλαια τμήματα του εδάφους και θα επανέλθει στο φως πριν φτάσει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, πρόκειται για το νερό βαρύτητας.

Όμως, μέρος όλων αυτών των κατηγοριών του νερού κατεισδύσεως και κυρίως της πρώτης, εξατμίζεται ή διαπνέεται και επανέρχεται στην ατμόσφαιρα. Αυτό το νερό τελικά θα υπαχθεί σε άλλη φάση του ισοζυγίου. (Σούλιος,2006). Στην διαδικασία της δευτερογενούς κατεισδύσεως, το νερό που ρέει επιφανειακώς κατεισδύει μερικώς ή ολικώς κατά τη διαδρομή του, όπως και το νερό που κατεισδύει πρωτογενώς, εξέρχεται, στη συνέχεια, στην συνέχεια στην επιφάνεια του εδάφους με την μορφή πηγών και ενσωματώνεται στην απορροή. Ιδιαίτερως σημαντική

εμφάνιση του φαινομένου αυτού συναντάται στα καρστικά πεδία, με την ευκολία κατεισδύσεως και επανεξόδου του νερού, σαν αποτέλεσμα του σχετικού υψομέτρου επιφανειακής και υπόγειας απορροής.(Στουρνάρας,2007). Η κατεισδυση δεν μπορεί να μετρηθεί εύκολα και χρησιμοποιούνται ειδικές κατασκευές τα λυσίμετρα. Με τον όρο διήθηση εννοούμενη την κίνηση του νερού μέσα στην κορεσμένη ζώνη, σε αντιδιαστολή προς την κατεισδυση, που είναι κάθοδος του νερού από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και η κίνηση του στην κορεσμένη ζώνη.(Καλλέργης,1999) Καθώς το νερό διηθείται προς το υπέδαφος, σχηματίζει συνήθως μια ακόρεστη και μια κορεσμένη ζώνη. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει νερό αλλά και αέρας στα κενά (πόρους) του εδαφικού σχηματισμού, δηλαδή τα κενά αυτά δεν είναι τελείως γεμάτα με νερό. Το άνω μέρος της ακόρεστης ζώνης είναι η εδαφική ζώνη. Η εδαφική ζώνη έχει κενά που δημιουργούνται από τις ρίζες των φυτών, τα οποία επιτρέπουν στο νερό να διηθηθεί. Το νερό στην ανώτερη αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Κάτω από την ακόρεστη ζώνη βρίσκεται η κορεσμένη, στην οποία το νερό γεμίζει όλους τους πόρους του εδάφους.(εικόνα). Η κατεισδυση ως παράμετρος του υδρολογικού ισοζυγίου, είναι ένα φαινόμενο που υπόκεινται σε μεταβολές ,που οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια, όπως για παράδειγμα η καταστροφή της φυτοκάλυψης (αυξημένη διαβρωτική ικανότητα νερού, λόγω καταστροφής του εδάφους , ευνοούμενη απορροή), (Στουρνάρας, 2007)



**Εικόνα 2.5 :** Σχηματική απεικόνιση κίνησης νερού κατεισδυσης, U.S.G.S, last assessed 2/11/2014

### ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ(E)

Η εξάτμιση είναι ο παράγοντας που εκφράζει την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, αμέσως,(εξάτμιση) ή εμμέσως(διαπνοή φυτών). Είναι ευνόητο ότι το μέγεθος της εξαρτάται από τα κατακρημνίσματα, από το κλίμα, και από το βαθμό και το είδος της φυτοκάλυψης της θεωρούμενης περιοχής.

Εξάτμιση ορίζεται το φαινόμενο μέσω του οποίου τα μόρια ενός σώματος μεταπίπτουν από τη στερεή ή υγρή φάση στην αέρια, ενώ διαπνοή είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά χρησιμοποιούν το νερό για τον μεταβολισμό και την ανάπτυξη τους. Τα φυτά απορροφούν το εδαφικό νερό με το ριζικό τους σύστημα και το μεταβιβάζουν στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών, δια των πόρων που υπάρχουν στο φύλλωμά τους, που είναι γνωστοί ως στόματα. Στις εφαρμογές διακρίνεται: α) η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (EPT), υπολογιζόμενη από την υπόθεση επαρκούς διάθεσης νερού προς εξατμισοδιαπνοή, στη διάρκεια του υδρολογικού έτους (θεωρητικές διαδικασίες), β) πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET), υπολογιζόμενη από αποτελέσματα εμπειρικών σχέσεων, όπως η γεωγραφική θέση της περιοχής, το ανάγλυφο, οι κλιματικές συνθήκες και οι γεωλογικές –γεωμορφολογικές. Στον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων της εξατμισοδιαπνοής υπάρχουν βασικές δυσκολίες που προκύπτουν παραδείγματος χάριν από την ασυνέχεια των κλιματικών συνθηκών, άνεμος, ή τη δευτερογενή εξάτμιση στη διάρκεια της απορροής, και άλλα πολλά.(Στουρνάρας,2007)

### ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ(R)

Η επιφανειακή απορροή προέρχεται από τα κατακρημνίσματα που πέφτουν πάνω στο έδαφος, κυλούν επιφανειακά και ένα άλλο μέρος της απορροής προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού. Όπως συμβαίνει με όλα τα μέρη του υδρολογικού κύκλου, η σχέση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της επιφανειακής απορροής μεταβάλλεται στο χρόνο και το χώρο. Η απορροή εξαρτάται τόσο από μετεωρολογικούς παράγοντες, όσο και από τη γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής. Μόνο το ένα τρίτο περίπου του όγκου των κατακρημνισμάτων που πέφτει πάνω στο έδαφος, απορρέει σε υδατορεύματα και γυρίζει στη θάλασσα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα, εξατμίζονται, ή διηθούνται προς τα υπόγεια νερά. Τμήμα της επιφανειακής απορροής

χρησιμοποιείται επίσης από τον άνθρωπο για δικές του χρήσεις. Η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) χρησιμοποιεί τον όρο "ροή σε υδατορεύματα" αναφερόμενη στο νερό που κυλά μέσα σε ποτάμια, ρέματα ή ρυάκια. Το νερό που κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την απορροή. Ειδικότερα, το μέρος εκείνο του νερού που κινείται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την επιφανειακή απορροή, η οποία μαζί με την απορροή που κινείται αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αποτελούν την άμεση απορροή. Το νερό που κινείται υπογείως και συμβάλλει στις κοίτες των ρευμάτων αποτελεί τη βασική απορροή. (Μιμικού και Μπαλτάς, 2006) Η λεκάνη απορροής προέρχεται από τα επιφανειακά νερά που απεικονίζονται από το υδρογραφικό δίκτυο και την υδροκριτική γραμμή. Όμως υπάρχει και η υπόγεια ροή που έρχεται σε επαφή και υδραυλική επικοινωνία με τα επιφανειακά νερά. Η λεκάνη απορροής, λοιπόν, στη φύση μπορεί να μην οριοθετείται σαφώς και έχει επικρατήσει να ορίζεται ως υδρολογική λεκάνη η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σε ένα ρεύμα. Η επιφανειακή απορροή μετριέται ποσοτικά από την παροχή, κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο ή με το ισοδύναμο ύψος νερού, ανοιγμένο στη επιφάνεια της λεκάνης, η οποία μετριέται σε τετραγωνικά χιλιόμετρα.

## 2.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η ποιότητα των υπόγειων νερών είναι μετρήσιμο μέγεθος. Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα, που τα έχουν πάρει κατά τη διαδρομή τους μέσα από τα πετρώματα. Η διαδρομή του υπόγειου νερού στα πετρώματα του προσδίδει ιδιότητες νερό ανάλογα με τις περιεκτικότητες σε φυσικά, χημικά βιολογικά, ραδιενεργά συστατικά κατατάσσεται για κάποια συγκεκριμένη χρήση. Χαρακτηριστικά νερά που δεν έχουν ρυπανθεί δίνουν διαφορετικές συγκεντρώσεις διαφόρων χημικών στοιχείων από εκείνα που είναι ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση. Η ποιότητα των υπόγειων νερών καθορίζει και την χρήση τους. Τα μη ρυπασμένα έχουν νερά έχουν πολλές χρήσεις. Ο καθορισμός της ποιότητας των υπόγειων νερών κυρίως διαχωρίζεται σε ρυπασμένα και μη ρυπασμένα.

Το καθαρό νερό (pure water) σε πίεση μιας ατμόσφαιρας και σε θερμοκρασία 25°C είναι διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα, κυανίζον σε μεγάλους όγκους, άοσμο και άγευστο υγρό απαραίτητο στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Έχει ευχάριστη γεύση, που οφείλεται στα διαλυμένα

άλατα και αέρια. Με δεδομένη την ικανότητα του νερού να διαλύει ένα μεγάλο αριθμό ανόργανων και οργανικών ουσιών, με τις οποίες έρχεται σε επαφή, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του είναι συγχρόνως συνάρτηση και μάρτυρας της διαδρομής του μέχρι το θεωρούμενο σημείο.(Στουρνάρας,2007). Η ποιότητα του νερού χρησιμοποιείται για την περιγραφή των συνθηκών ανάπτυξης του εισάγοντας χημικά, φυσικά και βιολογικά χαρακτηριστικά, συνήθως σε σεβασμό με την αειφορία του νερού και τον σκοπό χρήσης του. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά εξ' αιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Η ρύπανση τόσο των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων επηρεάζει την ποιότητα τους, ελαχιστοποιεί την αξιοποίησή τους, δημιουργώντας δυσμενέστερες συνθήκες εκμετάλλευσης ,σε τεχνοοικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο.

#### 2.5.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Το νερό της βροχής, κατά το πέρασμά του από την ατμόσφαιρα έρχεται σε επαφή με ποικιλία χημικών ενώσεων, που προέρχονται από σταγονίδια της θάλασσας, από προϊόντα αναπνευστικών διαδικασιών και από προϊόντα καύσης. Το νερό της βροχής είναι ελαφρώς όξινο και επομένως έχει την τάση να εμφανίζεται δραστικό με τα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή. Είναι αναπόφευκτο ότι το φορτίο προσμείξεων του νερού αυξάνει και όσο αυξάνει και η διαδρομή του στην επιφάνεια του εδάφους. Οι κύριες επιπτώσεις από την χημική και μηχανική αποσάθρωση του νερού γίνονται εμφανείς από προφανή χαρακτηριστικά της επιφανειακής απορροής. Συγκεκριμένα:

- Το ασβέστιο που επικρατεί στα ιζηματογενή πετρώματα, συνήθως εισχωρεί στα υδατικά συστήματα από τη διάλυση των ανθρακικών
- Το μαγνήσιο που απαντάται ανθρακικά πετρώματα ,όπως οι δολομίτες είναι περισσότερο διαλυτό από το ασβέστιο των ανθρακικών
- Το νάτριο, προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση των αστρίων σε πυριγενή πετρώματα



- Το κάλιο, εμφανίζεται μόνο σε μικρές συγκεντρώσεις λόγω της τάσης που έχει να προσροφάτε στα αργιλικά ορυκτά
- Δισανθρακικά και ανθρακικά προέρχονται από ασβεστιτικά πετρώματα και αποτελούν την κύρια μάζα της αλκαλικότητας των φυσικών νερών
- Το θεό απαντάται ευρέως σαν αποτέλεσμα οξειδώσεως
- Το χλώριο συναντάται σε μικρές συγκεντρώσεις σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα, το περισσότερο όμως χλώριο στα επιφανειακά νερά προέρχεται από τη θάλασσα, με τη μεσολάβηση κατακρημνισμάτων.
- Τα νιτρικά προέρχονται μερικώς από την αποσάθρωση και διαστάλαξη εδαφών και πετρωμάτων, συνήθως όμως από οργανικές αντιδράσεις στην χλωρίδα και στο έδαφος
- Άλλα στοιχεία όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το βόριο, το πυρίτιο, υπάρχουν σε πολλά πετρώματα και προσφέρουν μικρές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά.

Το επιφανειακό νερό εκτός από τα φυσικές προσμίξεις μπορεί να επηρεαστεί η ποιότητα του από ανθρωπογενείς παράγοντες. Είναι γνωστό ότι οι ποταμοί εκτός από την προμήθεια νερού χρησιμοποιούνται και για την απομάκρυνση των αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων. Η ανάπτυξη μεγάλων κέντρων και η άνθιση των βιομηχανιών τροφοδότησαν τα ποτάμια με μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Στο παρελθόν τα οικιακά λύματα μικρού σχετικά όγκου ρίπτονταν μέσα στα ποτάμια όπου διαλύονταν σε μεγάλες ποσότητες νερού και με τη διαδικασία του αυτοκαθαρισμού εξουδετερώνονταν οι κύριες πηγές της οργανική ρύπανσης. Η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων υλών αυξήθηκε ραγδαία και η σύνθεση τους μεταβλήθηκε. Έτσι, τα αστικά λύματα, τα βιομηχανικά απόβλητα, πετρελαϊκά προϊόντα και άλλοι ρύποι καταλήγουν στους ποταμούς σε μεγάλες ποσότητες. Με τη διαδικασία του αυτοκαθαρισμού οι ποταμοί αμύνονται κατά των ρύπων χωρίς στις περισσότερες περιπτώσεις να απαλλαγούν τελείως από αυτούς με αποτέλεσμα η ποσότητα τους να υποβαθμίζεται. Οι πηγές ρύπανσης σημειακές ή διάχυτες αυξάνονται συνεχώς. Η χρήση αγροχημικών είναι η βασική πηγή νέων ρύπων , με άμεσο τρόπο, η χημική βιομηχανία, οι κινητήρες των οχημάτων, δημιουργώντας άμεση και

εντατική επίδραση στο νερό της βροχή από τα συστατικά των εξατμίσεων, επίσης, τα πυρηνικά εργοστάσια, η παραγωγή και επεξεργασία πετρελαιοειδών, οι ιδιώτες και το κράτος, λόγω της εφαρμοζόμενης πολιτικής και ο φόβος του «πολιτικού κόστους». (Στουρνάρας,2007) Άλλες, ουσίες αρχικά ακίνδυνες, αυξάνοντας τη συγκέντρωσή τους, αθροιστικά υπερβαίνουν τα όρια αντοχής του επιφανειακού υδατορεύματος και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα δημιουργούν νέους ρύπους. Οι φυσιολογικές μεταβολές στην ποιότητα των νερών είναι εκείνες που παρατηρούνται στη διάρκεια του υδρολογικού έτους, όταν οι διάφορες συγκεντρώσεις από τη μεταβολή των ποσοτήτων των επιφανειακών ή υπόγειων νερών. Συνήθως χρησιμοποιείται ως αναφορά σε ένα σύνολο προτύπων ως προς το οποίο η συμβατότητα μπορεί να υπολογιστεί. Τα πιο συνηθισμένα πρότυπα χρησιμοποιούνται για αξιολόγηση της ποιότητας του νερού ως προς την υγεία των οικοσυστημάτων, την ασφάλεια της ανθρώπινης επαφής και του πόσιμου νερού. Στον καθορισμό των προτύπων, οι υπηρεσίες κάνουν πολιτικές και τεχνικές/επιστημονικές αποφάσεις ως προς το πώς θα χρησιμοποιηθεί το νερό. Στην περίπτωση των φυσικών υδάτινων μαζών, εκτελούν κάποιες λογικές εκτιμήσεις των αρχικών συνθηκών. Διαφορετικές χρήσεις εγείρουν διαφορετικά θέματα και συνεπώς εξετάζονται από διαφορετικά πρότυπα. Οι φυσικές υδάτινες μάζες ποικίλουν ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

### 2.5.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών είναι δηλωτική της διαδρομής τους μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Καθώς το νερό της βροχής κατεισδύει μέσω του εδαφικού ή υπεδαφικού στρώματος, το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου της ατμόσφαιρας και του εδάφους διαλύονται στο νερό και σχηματίζουν ασθενή οξέα. Τα περισσότερα από τα οξέα αυτά ουδετεροποιούνται στο έδαφος με το σχηματισμό αλάτων. Η συγκέντρωση επομένως του περιεχομένου φορτίου στο νερό εξαρτάται από τη επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών σε χημική προσβολή. Η πρόβλεψη της ποιότητας των υπόγειων νερών είναι γενικώς παρακινδυνευμένη, καθώς οι συνθήκες υπόγειας ροής μπορούν να μεταβληθούν από φυσικά αίτια ή ανθρωπογενή αίτια. Συγκεκριμένα, η μεταβολή της βροχόπτωσης μιας περιοχής, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων της περιοχής αλλά και μακρύτερα λόγω της αλληλεπίδρασής με τα πετρώματα και τα εδάφη. Τα οικιακά, αγροτικά και

βιομηχανικά κατάλοιπα φορτίζουν με τεράστιες ποσότητες ανόργανων και οργανικών συστατικών στα υδατικά συστήματα. Εκτιμάται ότι το 15% χλωριούχων και θεικών ενώσεων, που καταλήγουν στους ωκεανούς, προέρχονται από τέτοιες διαδικασίες .

Επίσης η εξέλιξη στην αγροτική παραγωγή, ιδιαιτέρως η μετατροπή των εκτατικών καλλιεργειών σε εντατικές, πράγμα που σημαίνει έντονη χημική υποστήριξη, τόσο στο επίπεδο λιπάνσεως , όσο και στο επίπεδο προλήψεως ή καταστολής των ασθενειών αυξάνει σε σημαντικό βαθμό τα επίπεδα των ολικών διαλυμένων αλάτων, των υδατικών συγκεντρώσεων, με ακραίες περιπτώσεις τις αποστραγγιστικές τάφρους. Η αύξηση της τιμής της μη ανθρακικής σκληρότητας και των νιτρικών είναι αποτέλεσμα τέτοιων καταστάσεων. Η ποιότητα του νερού επηρεάζεται ακόμα από τη χρήση διαδικασιών εμπλουτισμού, αποστραγγίσεων και αρδευτικών ψεκασμών και από τη διάθεση υγρών αποβλήτων. (Στουρναρας,2007) Η ρύπανση των υπόγειων υδάτων δεν παρουσιάζει τις ίδιες αναλογίες με τη ρύπανση των επιφανειακών. Ωστόσο, στα υπόγεια νερά είναι απαραίτητη η γνώση του γεωλογικού υποβάθρου, των ιδιοτήτων διείσδυσης, του ενεργού πορώδους του υδροφορέα καθώς και το ποσοστό διήθησης αυτού για την καλύτερη μελέτη της ποιότητας τους.

### **3. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ**

Οι υδατικές ανάγκες απεικονίζουν την ποσοτική έκφραση των υδατικών πόρων σε μια περιοχή ενώ η έκφραση της ποιότητας των υπόγειων νερών απεικονίζει την επιθυμητή χρήση των νερών. Τόσο τα επιφανειακά ,όσο και τα υπόγεια νερά χρειάζονται ποιοτικό έλεγχο και εκτίμηση των παραμέτρων ποιότητας. Τα υπόγεια νερά προσφέρουν συνήθως μια ποιότητα εξαιρετική για όλες τις χρήσεις., με εξαίρεση βεβαίως τα νερά που διακινούνται σε συγκεκριμένα γεωλογικά πεδία, που επιβαρύνουν την ποιότητα τους. Σημαντική είναι επίσης, η ποιοτική του σταθερότητα στο χρόνο και η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού τους λόγω της στενής επαφής και σχέσης τους με το γεωλογικό υλικό με το οποίο ενεργοποιούν συγκεκριμένους μηχανισμούς καθαρισμού (διήθηση, κατακράτηση, προσρόφηση οξειδώσεις στην ακόρεστη ζώνη, χημικές αντιδράσεις και παραγωγή ιζημάτων). Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι η επεξεργασία των υπόγειων νερών για υδρευτική χρήση, είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη για τα επιφανειακά.(Στουρνάρας,2007) Για τον καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών απαιτείται η εκτέλεση των χημικών, φυσικών, και

βιολογικών αναλύσεων. Μια πλήρης χημική ανάλυση ενός δείγματος υπόγειου νερού περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ανόργανων συστατικών όπου υπάρχουν ενδείξεις ή υπόνοιες ρύπανσης νερού , τότε πρέπει να προσδιορίζονται ορισμένες οργανικές και ραδιολογικές παράμετροι. Τα διαλυμένα άλατα στο υπόγειο νερό κανονικής αλατότητας, απαντούν με τη μορφή ιόντων .(Καλλέργης ,2000)

### 3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Τα κυριότερα είναι τα εξής:

- **Χρώμα:** Το νερό πρέπει να είναι άχρουν. Διάφορες διαλυμένες ή αιωρούμενες ουσίες μπορούν να του προσδώσουν περισσότερο ή λιγότερο έντονο χρώμα. Υπάρχουν κλίμακες μέτρησης χρώματος. Το χρώμα του νερού μπορεί να οφείλεται στη παρουσία ορυκτών ή άλλων οργανικών ουσιών διαλυμένων στο νερό, σε mg/l, συγκριτικά με υποδειγματικά διαλύματα, (Todd, 1980)
- **Οσμή:** Το νερό πρέπει να είναι άοσμο. Η περιεκτικότητα σε χημικά ή και βιολογικά στοιχεία μπορεί να του προσδώσουν οσμή. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ποσοτικού προσδιορισμού, βασισμένες στις μετρήσεις της διαλυτικής ικανότητας.(Καλλέργης, 2000)
- **Θολότητα:** Το νερό πρέπει να είναι διαυγές. Η περιεκτικότητά του όμως σε αιωρούμενες ενώσεις και σωματίδια (κυρίως αργιλικά) του προσδίδουν θολότητα. Αυτή μετράται σε ορισμένα όργανα τα θολόμετρα. Θολότητα του νερού πέρα από ορισμένη τιμή το καθιστά, κατά περίπτωση, ακατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.
- **Θερμοκρασία:** Η θερμοκρασία είναι μια σπουδαία παράμετρος και πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη. Η μέτρηση της θερμοκρασία με την βοήθεια των θερμομέτρων πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις πηγές προέλευσης των υπόγειων νερών προκειμένου να αντανakλά την πραγματική θερμοκρασία του υδροφόρου ορίζοντα. Έτσι, για τις πηγές η μέτρηση γίνεται στο σημείο εξόδου του νερού από το έδαφος ενώ για τα πηγάδια η μέτρηση γίνεται στο δείγμα που παίρνετε ύστερα από άντληση τουλάχιστον μίας ώρας. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι το αποτέλεσμα της θερμικής ισορροπίας σ αυτό και το

έδαφος. Έτσι, η θερμοκρασία του νερού της βροχής που κατεισδύει οφείλεται στον ήλιο ενώ το έδαφος έχει δυο πηγές θερμότητας τον ήλιο και την γεωθερμική βαθμίδα.

- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα:** Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί επίσης μια σημαντική παράμετρο. Είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και δίνεται σε μονάδες (S.I) Siemens/m. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν απαιτεί δύσκολες μεθόδους ούτε πολύπλοκες συσκευές και συνδέεται πολύ στενά με την θερμοκρασία του υπόγειου νερού. Αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επειδή η αύξηση στη συγκέντρωση των διαφόρων αλάτων στο νερό είναι ανάλογη της αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι δυνατόν να υπολογισθεί η συγκέντρωση του νερού στη συνολικά διαλυμένα στερεά. Η αγωγιμότητα αυξάνει με την αύξηση της συγκέντρωσης των διαφόρων ιόντων στο υπόγειο νερό , όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο

Όπου:  $T.D.S = K \times EC$

T.D.S, τα συνολικά διαλυμένα στερεά εκφράζονται σε mg/l

EC, ηλεκτρική αγωγιμότητα σε  $\mu S/cm$  σε  $25^{\circ}C$

K, ο συντελεστής διόρθωσης κυμαίνεται συνήθως από 0,55-0,8

### 3.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

**Ενεργός οξύτητα (pH) :** Το 1909 ο Δανός βιοχημικός χρησιμοποίησε ως μέτρο για την αποτίμηση της οξύτητας ή αλκαλικότητας των υδατικών διαλυμάτων το pH. Έτσι, λοιπόν, συμβόλισε με τα αρχικά «pH» το δυναμικό υδρογόνου ενός διαλύματος που ισούται με το αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου στο διάλυμα. Στο χημικός καθαρό νερό το pH στους  $25^{\circ}C$  είναι 7 (ουδέτερο ή υδατικό περιβάλλον). Όμως παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 7 και μικρότερες του 7 δηλαδή:

pH = 7, ουδέτερο διάλυμα

pH < 7, όξινο διάλυμα

pH > 7, αλκαλικό διάλυμα

Ανάλογα, από την γεωλογική σύσταση των φιλοξενούντων σχηματισμών, μπορούμε να έχουμε υπόγεια νερά με κλιμακούμενο pH. Ορισμένα πετρώματα, όπως οι οφιόλιθοι, υπό φυσικές συνθήκες περιέχουν αλκαλικά νερά, ενώ άλλα, όπως ασβεστολιθικά, αλλουβιακές αποθέσεις περιέχουν κυρίως όξινα νερά.

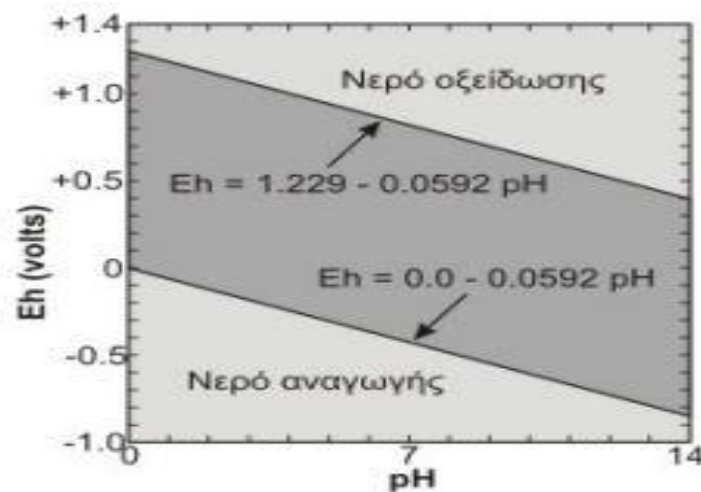
**Σύνολο διαλυμένων στερεών (T.D.S):** Η παρουσία των αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται κυρίως με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής ή την ταχύτητα ροής. Μπορεί να εκφραστεί και διαφορετικά ως συνολική αλατότητα. Εξαρτάται από την διαλυτότητα των σχηματισμών η οποίοι περιέχουν το υπόγειο νερό ή έχουν διαρρευθεί από αυτό. Γενικά το T.D.S. στα υπόγεια νερά αυξάνεται με τον χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, άρα το μήκος της υπόγειας διαδρομής την οποία αυτά έχουν διανύσει (Σούλιος, Γ., 2001). Το T.D.S αποτελεί ασφαλή δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών. Ανάλογα με την τιμή του T.D.S. γίνεται κατάταξη των υπόγειων νερών κατά διάφορους συγγραφείς παραδείγματος χάρη κατά τον Hem (1970):

- ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ: T.D.S. < 1000 mgr/l
- ΜΕΤΡΙΑ ΑΛΑΤΟΥΧΟ: T.D.S 3.0000 – 10.000 mgr/l
- ΠΟΛΥ ΑΛΑΤΟΥΧΟ ΝΕΡΟ: T.D.S. 10.000 – 35.000 mgr/l
- ΥΠΕΡΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ: T.D.S. > 35.000 mgr/l

**Δυναμικό οξειδο-αναγωγής (Eh):** Ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός δείγματος νερού καθορίζει το δυναμικό οξειδο-αναγωγής του. Το δυναμικό οξειδο-αναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst.

Οξειδωμένη μορφή + e- ↔ Ανηγμένη μορφή

Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο και το ισχυρότερο αναγωγικό το υδρογόνο. Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδο-αναγωγής λόγω της συμμετοχής των ιόντων υδροξυλίου στις αντιδράσεις οξειδο-αναγωγής. Αν το δυναμικό οξειδο-αναγωγής είναι αρνητικό τότε το διάλυμα είναι αναγωγικό, έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων, ενώ αν είναι θετικό είναι οξειδωτικό, έχει περίσσεια π.χ. ηλεκτρονίων.



**Εικόνα 3.1:** Διάγραμμα σχέσης Ph και Eh

**Σκληρότητα νερού :** Οφείλεται στην περιεκτικότητα του νερού σε μεταλλικά ιόντα  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ . Το σκληρό νερό εμποδίζει το σαπούνι να σχηματίζει αφρό και δημιουργεί νιφάδες που σχηματίζουν ίζημα. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων κ.ά. (Μήτρακας, 2001)

Η σκληρότητα διακρίνεται σε :

*A) Παροδική σκληρότητα :* Η σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$  δηλ.  $Ca(HCO_3)_2$  και  $Mg(HCO_3)_2$ . Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$ , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος

μέσα από τα οποία διέρχεται το υπόγειο νερό. Η διαλυτότητα των σχετικά δυσδιάλυτων αυτών ανθρακικών αυξάνει με την παρουσία ιόντων υδρογόνου.

*B) Μόνιμη σκληρότητα* :Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται στη διάλυση του θεικού ασβεστίου και του θεικού μαγνησίου. Στις περιοχές που δεν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών, η κύρια πηγή των θεικών ιόντων είναι γενικά οξείδωση του σιδηροπυρίτη. Η αντίδραση αυτή δίνει θεικά άλατα που μπορούν να οξειδωθούν σε προς υδροξείδιο του σιδήρου και  $H_2SO_4$ .

*Γ) Ολική σκληρότητα* :Η ολική σκληρότητα είναι το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο  $CaCO_3$  (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L  $CaCO_3$ , ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,9 mg/L  $Ca(HCO_3)_2$ , ο Αγγλικός βαθμός ισοδυναμεί με 14,3 mg/l  $CaCO_3$ , ο Αμερικάνικος βαθμός ισοδυναμεί με 1 mg/L  $CaCO_3$  και τέλος ο Ρωσικός βαθμός ισοδυναμεί με 0,001 mg/L  $Ca^2$ . Η ολική σκληρότητα (TH) δίνεται από τη σχέση:

$TH=2,5Ca+4,1Mg$  αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L και

$TH=50 (Ca+Mg)$  αν είναι εκφρασμένες σε meq/L.

*Διαλυμένο οξυγόνο* :Μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αφενός σημαίνει καθαρό νερό αφετέρου επιτρέπει την ύπαρξη ζωής σε αυτό (ψάρια-φυτά). Ακόμη, παλιά νερά που ανανεώνονται έχουν μικρή ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου. Νερά που ανανεώνονται και ιδίως αυτά που βρίσκονται σε αβαθής υδροφόρους ορίζοντες έχουν σχετικά μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου (Σούλιος,2006). Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι είναι αναγκαίο το διαλυμένο οξυγόνο να μετριέται επί τόπου επειδή η έκθεση του δείγματος του υπόγειου νερού στον ατμοσφαιρικό αέρα αλλοιώνει σε μικρό χρονικό διάστημα τη συγκέντρωση του  $O_2$ .



### 3.3 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Υπάρχουν στα υπόγεια νερά ανόργανα συστατικά και τα διακρίνουμε στις εξής κατηγορίες:

- Κύρια συστατικά είναι αυτά των οποίων η περιεκτικότητα συνήθως στο υπόγειο νερό είναι από 1-1000 mg/l και είναι τα εξής: Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>.
- Δευτερεύοντα συστατικά είναι αυτά των οποίων η περιεκτικότητα στο υπόγειο νερό είναι συνήθως από 0,1-1 mg/l και είναι τα εξής: Al, NH<sub>4</sub>, As, BO<sub>4</sub>, Br, Cu, Fe, Mn, Sr, HSO<sub>4</sub>, HSO<sub>3</sub>, FOH, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, S, SO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>.
- Ολιγοσυστατικά είναι αυτά των οποίων η περιεκτικότητα είναι συνήθως από 0,01-0,1 mg/l και συνήθως είναι: Sb, Ba, Cr, Co, Pb, Li, Ni, Ru, Se, Ti, U, Zn, Si.
- Ιχνοστοιχεία είναι αυτά των οποίων η περιεκτικότητα στ υπόγειο νερό είναι μικρότερη από 0,01 mgr/l και είναι: Bi, Be, Cs, Ga, Au, Pt, Ra, Ag, Sn, Y, Zr, Yb, Hg.
- Ανόργανα σε μη ιοντική μορφή κυρίως: SiO<sub>2</sub>.
- Θρεπτικά εισαγόμενα από τον άνθρωπο όπως ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου.
- Ανόργανα εισαγόμενα από τον άνθρωπο, Hg, Cr, Pb, Ag, Zn σε διάφορες περιεκτικότητες που όμως δεν προέρχονται από φυσικές διεργασίες.

Οι δύο τελευταίες κατηγορίες των ουσιών αυξομειώνονται επεισοδιακά κατά τόπους ανάλογα με την δραστηριότητα του ανθρώπου που τα εισάγει και διαδίδονται σύμφωνα με τους νόμους διάδοσης των ρύπων. Όλες οι υπόλοιπες όμως κατηγορίες στο ίδιο σημείο χρονικά μεταβάλλονται πολύ λίγο, ενώ χορικά μπορούν να μεταβάλλονται ευρέως ανάλογα με την γεωλογική σύσταση και την οργάνωση των ροών (Σούλιος, 2006).

### 3.4 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στο υπόγειο νερό μπορεί να υπάρχουν φυσικές οργανικές ενώσεις, όπως πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια, είτε ως ίχνη είτε ως ολιγοσυστατικά και σπάνια σε μεγαλύτερες περιεκτικότητες. Σε πολλές περιπτώσεις αυτές λείπουν εντελώς από το νερό. Υπάρχουν επίσης, συνθετικές οργανικές ενώσεις στο υπόγειο νερό από ανθρώπινη δραστηριότητα. Έχουν εντοπισθεί τέτοιες οργανικές ενώσεις όπως οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, αμινικά οξέα, μελαθείο, τετρα-αιθυλένιο , φαινόλες, ακετόνες και πολλά άλλα. Η ανίχνευσή τους και ο προσδιορισμός τους γίνεται μόνο σε ειδικά εργαστήρια.

### 4. ΚΡΗΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Το νερό ανάλογα με τις ποιοτικές παραμέτρους που ικανοποιεί κατηγοριοποιείται σε αρδευτικό , πόσιμο, βιομηχανικό κλπ.. Οι ποιοτικές προδιαγραφές καταλληλότητας για το πόσιμο νερό έχουν καθιερωθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, ως σταθερότυπα. Τα σταθερότυπα αυτά διαφέρουν από χώρα σε χώρα γιατί για τον καθορισμό τους πέραν των ιατρικών οδηγιών λαμβάνονται υπόψη και ιδιαιτερότητες όπως η επάρκεια ή μη νερού ορισμένης ποιότητας , το κλίμα, η γεωγραφική θέση(Λαμπράκης , 2005), και πολλά άλλα χαρακτηριστικά. Οι χημικές αναλύσεις που δίνουν την ποιότητα του υπόγειου νερού εκφράζονται και με πολλούς αριθμούς. Απαιτείται η επεξεργασία των αριθμητικών αυτών δεδομένων με βάση ορισμένα διαγράμματα που επιτρέπουν συγκρίσεις κατατάξεις, χαρακτηρισμούς και γενικά εξαγωγή συμπερασμάτων. Με τη χρήση των διαγραμμάτων μπορούμε να διακρίνουμε την ποιότητα του, να συμπεράνουμε για καταλληλότητα του για διάφορες χρήσεις και ενδεχόμενα για την υπόγεια διαδρομή του και τη διέλευση του από γεωλογικούς σχηματισμούς .

#### 4.1 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

##### Α) ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Το πρόβλημα της ποσιμότητας του νερού είναι συνδεδεμένο κυρίως με τη μόλυνση από οργανικούς παράγοντες. Όμως τα διάφορα σταθερότυπα γίνονται με βάση εκτός από τους οργανικούς παράγοντες , την χημική σύσταση των νερών σε ανόργανες ουσίες οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις το καθιστούν ακατάλληλο για πόση. (Λαμπράκης,2005). Τα σταθερότυπα του πόσιμου νερού διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ακόμα και στην ίδια χώρα μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την επάρκεια ή μη νερού ορισμένης ποσότητας (Καλλέργης,2000). Στην Ελλάδα ισχύουν τα ευρωπαϊκά σταθερότυπα . Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα σταθεροτυπα που είναι παραδεκτά από την Ε.Ε. Με τη χρήση αυτών καθορίζονται (Σουλιος,2000)

- Επιθυμητή ή ανώτατη ή και κατώτατη τιμή συγκέντρωσης σε ορισμένες ουσίες , χρώμα, θολερότητα, οσμή ,κλπ.
- Μικροβιολογικά-βιολογικά χαρακτηριστικά
- Η φθορίωση, η χλωρίωση, ο βαθμός, η συχνότητα τους
- Οι κανόνες ελέγχου ποιότητας (τακτά χρονικά διαστήματα, για κάθε είδος αναλύσεις και ελέγχους του νερού κ.λπ.)

**Πίνακας 1 :** Ανώτατα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό, Οδηγία 98/83/ΕΕ (Καλέργης, 2000)

(Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3<sup>ης</sup>/11/1998).

a/a	Παράμετρος	Μονάδα έκφρασης αποτελεσμάτων	Παραμετρική τιμή*
1	Ιόντα υδρογόνου	μονάδα pH	6.5≤pH≤9.5
2	Αγωγιμότητα	μS/cm	2500
3	Χλωριούχα άλατα	mg/l	250
4	Θειικά άλατα	mg/l	250
5	Νάτριο	g/l	200
6	Αργίλιο	μg/l	200
7	Νιτρικά άλατα	mg/l	50
8	Νιτρώδη άλατα	mg/l	0,50
9	Βρωμικά άλατα	mg/l	10
10	Κυανιούχα άλατα	μg/l	50
11	Αμμώνιο	mg/l	0,50
12	Φθοριούχα άλατα	mg/l	1,5
13	Σίδηρος	μg/l	200
14	Μαγγάνιο	μg/l	50
15	Χαλκός	mg/l	2,0
16	Αρσενικό	μg/l	10
17	Χρόμιο	μg/l	50
18	Υδράργυρος	μg/l	1,0
19	Μόλυβδος	μg/l	10
20	Νικέλιο	μg/l	20
21	Κάδμιο	μg/l	5,0

Όσον αφορά στην οργανική μόλυνση γίνεται έλεγχος για τη διαπίστωση της παρουσίας ή όχι του βακτηρίου E. Coli, το οποίο μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερίτιδα και μόλυνση του ουροποιητικού συστήματος. Η διαπίστωση της παρουσίας του βακτηρίου αυτού αποτελεί επίσης ένδειξη πιθανής παρουσίας και άλλων βακτηριδίων των κοπράνων, όπως σαλμονέλας, τυφοειδούς, χολέρας ή ιών όπως ηπατίτιδας, κ.λπ. ( Sobsey, 1975, από Καλλέργη 1986, Λαμπράκης, 2005)

Κατά το U.S Env. Prot. Agency (1975), το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο κολοβακτηριοειδών, που μπορεί να περιέχει το πόσιμο νερό είναι: ( Bouwer, 1978, Todd, 1980, Καλλέργης 1986, από Λαμπράκης 2005)

- Για δείγματα 10ml: μέχρι 1ml ανά 100ml όλων των δειγμάτων που εξετάστηκαν σένα μήνα
- Για δείγματα 100ml μέχρι 4 κολοβακτηριοειδή ανά 100ml για περισσότερα από ένα δείγμα, αν ο αριθμός των δειγμάτων είναι μικρότερος από 20 τον μήνα ή όχι παραπάνω από 4 κολοβακτηριοειδή ανά 100ml στο 5% των δειγμάτων αν ο αριθμός τους ξεπερνά τα 20ml τον μήνα.

#### B) ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ-ΒΙΟΤΕΧΝΙΚΟ ΝΕΡΟ

Σε αυτήν την κατηγορία το φάσμα των σταθεροτύπων είναι ευρύτατο και ποικιλότατο, ανάλογα με τη χρήση, για παράδειγμα νερό για ψύξη ή θερμοηλεκτρικών εργοστασίων παραγωγής ρεύματος , που πρακτικά μπορεί να είναι οποιαδήποτε κατηγορία μη θολού νερού.(Σουλιος, 2006). Συχνά για διάφορες βιομηχανικές ή άλλες χρήσεις παίζει μεγάλο ρόλο η διαβρωτική ή ικανότητα του νερού να αποθέτει άλατα. Οι βασικές παράμετροι , για τη βιομηχανική χρήση του νερού είναι η αλατότητα, η σκληρότητα, και το πυρίτιο.(Καλλέργης, 2000)

**Πίνακας 2 :** Σταθεροτυπα ποιότητας βιομηχανικού νερού για τέσσερα είδη χρήσης (Bouwer,1978)

Ουσία ή ιδιότητα	Βιομηχανία Φρούτων & Λάχανικών	Βιομηχανία Χαρτιού	Υφαντουργία	Βιομηχανία Πετρελαίου
Οξύτητα (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0	-	-	-
Αλκαλικότητα (CaCO <sub>3</sub> )	250	75-150	50-200	500
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	8	-
NH <sub>3</sub>	-	-	-	40
HCO <sub>3</sub>	-	-	-	480
Ca	100	-	-	480
Ανθρακική σκληρότητα οφειλόμενη σε άλατα Ca	-	0-50	-	-
CO <sub>2</sub>	-	10	-	-
O <sub>2</sub>	-	-	-	1000
Cl (χλωριούχα)	250	0-200	100	1600
Cl (ελεύθερο)	-	0-2	-	-
Χρώμα (μονάδες)	5	5-100	0.5	25
Cu	-	-	0.01-5	-
F	1*	-	-	1.2
Ολική σκληρότητα	250	100-200	0-50	900
H <sub>2</sub> S	-	-	-	20
Fe	0.2	0.1-1	0-0.3	15
Ανθρακική σκληρότητα οφειλόμενη σε άλατα Mg	-	0-50	-	-
Mn	0.2	0.03-0.5	0.01-0.05	-
NO <sub>3</sub>	10*	-	-	8
NO <sub>2</sub>	0	-	-	-
Οργανικά	0.2	-	-	-
pH	6.5-8.5	-	-	6-9
SiO <sub>2</sub>	50	20-100	25	85
Na+K	-	-	-	230
SO <sub>4</sub>	250	-	100	900
Αιωρούμενα στερεά	10	10-100	0.5	5000
TDS	500	200-500	100-200	3500
Μονάδες θολερότητας	-	-	0.3-5	-

### Γ) ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΝΕΡΟ

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για το αρδευτικό νερό ποικίλουν, ανάλογα με την αρδευόμενη περιοχή . Ένα αρδευτικό νερό μπορεί να είναι κακό ή μέτριο για μια περιοχή και άριστο για μια άλλη και το ανάστροφο. Γενικά περιοχές καλά στραγγιζόμενες και καλά αεριζόμενες δέχονται αρδευτικό νερό με υψηλή αλατότητα (υψηλή τιμή T.D.S). Αντίθετα μη αεριζόμενες ή μη στραγγιζόμενες θέλουν αρδευτικό νερό φτωχό σε αλατότητα. Τα σταθερότυπα αρδευτικού νερού βασίζονται (Bouwer,1977, Richards 1954, Wilcox, 1955, Ayers 1977):

- στην ολική συγκέντρωση αλάτων νερού ,διότι αυτή επιδρά στην καρποφορία
- στην συγκέντρωση ορισμένων ιόντων , τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά

στην συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν βλάβη στη δομή του εδάφους και μείωση της περατότητας κα της δυνατότητας αερισμού του.(Καλλέργης, 2000)

Ο Ayer ανέπτυξε μια σειρά βασικών κριτηρίων για την ερμηνεία της επίδρασης της ποιότητας του νερού πάνω στην άρδευση, όπως τα ολικά διαλυμένα στερεά, το βόριο και το νάτριο. Σημαντική παράμετρος της ποιότητας νερού αποτελεί ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου(Sodium Adsorptio Ratio, S.A.R) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \text{ meq/l}$$

Ο δείκτης S.A.R εκφράζει την ιδιότητα που έχει το νερό σύμφωνα με την οποία μέρος των κατιόντων του μπορούν να αντικατασταθούν από τα κατιόντα ενός εδάφους και πιο συγκεκριμένα το  $Ca^{2+}$  και το  $Mg^{2+}$  από το  $Na^+$ , αυτό έχει ως συνέπεια όταν το νερό έρχεται σε μακρόχρονη επαφή με το έδαφος την αύξηση του ποσοστού του  $Na^+$ , με αποτέλεσμα την χειροτέρευση της ποιότητας του νερού άρδευσης.

**Πίνακας 3:** Συνιστώμενα όρια ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό mg/l U.S.N.A., πηγή :Καλέργης, 2000

Στοιχείο	Μόνιμη άρδευση όλων των εδαφών	Άρδευση μέχρι 20 χρόνια λεπτόκοκκων, ουδέτερων ως αλκαλικών εδαφών (pH 6-8.5)
Αργίλιο	5	20
Άρσενικό	0.1	2
Βηρύλλιο	0.1	0.5
Βόριο - Ευαίσθητα καρποφόρα	0.75	2
Βόριο - ημιανθεκτικά καρποφόρα	1	-
Βόριο - ανθεκτικά καρποφόρα	2	-
Κάδμιο	0.01	0.05
Χρώμιο	0.1	1
Κοβάλτιο	0.05	5
Χαλκός	0.2	5
Φθόριο	1	15
Σίδηρος	5	20
Μόλυβδος	5	10
Λίθιο (κίτρα)	0.075	0.075
Λίθιο (άλλα καρποφόρα)	2.5	2.5
Μαγγάνιο	0.2	10
Μολυβδαίνιο	0.01	0.05 (μόνο για όξινα εδάφη)
Νικέλιο	0.2	2
Σελήνιο	0.02	0.02
Βανάδιο	0.1	1
Ψευδάργυρος	2	10
Ραδιενεργά	όπως και στο πόσιμο νερό	
Κατά το U.S. Environmental Agency (1973) το TDS δεν πρέπει να ξεπερνά τα 700 mg/l.		

#### 4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Οι χημικές αναλύσεις των νερών παρουσιάζουν ποικιλομορφία στις συγκεντρώσεις κατιόντων και ανιόντων, δημιουργώντας έτσι ένα ευρύ πεδίο έρευνας. Η παρουσίαση των αναλύσεων και κατηγοριοποίηση τους έχει ως στόχο την μελέτη των υπόγειων νερών σχετικά με την προέλευση τους.

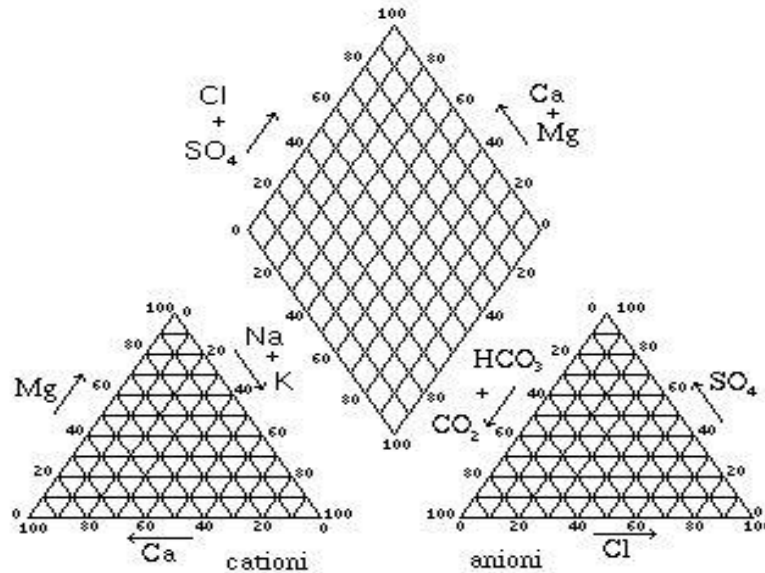
Ειδικότερα, για αναλύσεις δειγμάτων νερών που πάρθηκαν περίπου ταυτόχρονα από πολλά διαφορετικά σημεία μιας περιοχής, για να δούμε τη χωρική κατανομή των διαφόρων ιόντων και



εν γένει της ποιότητας πρέπει να κατασκευάσουμε υδροχημικούς θεματικούς χάρτες.(ένα χάρτη για κάθε ιόν). Αντίθετα όταν έχουμε αναλύσεις από δείγματα νερού που πάρθηκαν από το ίδιο σημείο, αλλά σε διαφορετικά τακτά ή όχι χρονικά διαστήματα, για να δούμε τη χρονική διακύμανση κατασκευάζουμε τα υδροχημικά χρονοδιαγράμματα. Εννοείται ότι αυτά συχνά συσχετίζονται είτε με τη διακύμανση της στάθμης του υδροφορέα στο σημείο υδροληψίας ή της παροχής της πηγής εφόσον προέρχονται από πηγή. Η ταξινόμηση του υπόγειου νερού σε διάφορες κατηγορίες μπορεί να γίνει με βάση διαφορετικά κριτήρια και να προκύψουν αντίστοιχες κατηγορίες, όπως ταξινόμηση με βάση τη σκληρότητα, με βάση το δείκτη S.A.R, με βάση ιοντικούς λόγους ή σε σχέση με κάποιο δευτερεύον συστατικό. Κάθε δείγμα νερού αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό νερό . Όμως, πολλά νερά έχουν ορισμένα κοινά ή διαφορετικά χαρακτηριστικά. Με βάση διάφορα χημικά ή φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά μπορεί να γίνουν διάφορες ταξινομήσεις του υπόγειου νερού και κατάταξή του σε κατηγορίες που έχουν κοινά στοιχεία ή χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ποιότητα ή την προέλευση. Η ταξινόμηση αυτή δίνει ουσιαστικά και τις υδροχημικές φάσεις που είναι ταξινομημένες ομάδες με διάφορα χαρακτηριστικά (Σούλιος,2006)

#### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑ PIPER

Η ταξινόμηση, σύμφωνα με τον PIPER, γίνεται με αναγωγή της περιεκτικότητας σε εκατοστιαία αναλογία για τα διάφορα στοιχεία. Το δείγμα του νερού ταξινομείται ανάλογα με τα ανιόντα τα οποία συνεισφέρουν στην ολική συγκέντρωση περισσότερο από το 50% και τα κατιόντα των οποίων η περιεκτικότητα υπερβαίνει επίσης το 50%.Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων γίνεται με υδροχημικά διαγράμματα. Στο τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper, έχει το πλεονέκτημα της άμεσης ομαδοποίησης των χημικών αναλύσεων σύμφωνα με τις διαφορές και ομοιότητες που παρουσιάζουν τα διάφορα δείγματα νερού. Η ταξινόμηση στο τριγωνικό διάγραμμα κατά PIPER, χωρίζει τα υπόγεια νερά σε διάφορους τύπους. Συγκεκριμένα αφού υπολογιστούν οι περιεκτικότητες των κατιόντων και ανιόντων εκφρασμένες επί τις % των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων, απεικονίζονται στα αντίστοιχα τρίγωνα σαν σημεία. Τα σημεία αυτά προβάλλονται στο ρόμβο παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο που προκύπτει αντιστοιχεί σ ένα τύπο νερού.(Λαμπράκης,2005)(εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.4.:Διάγραμμα PIPER

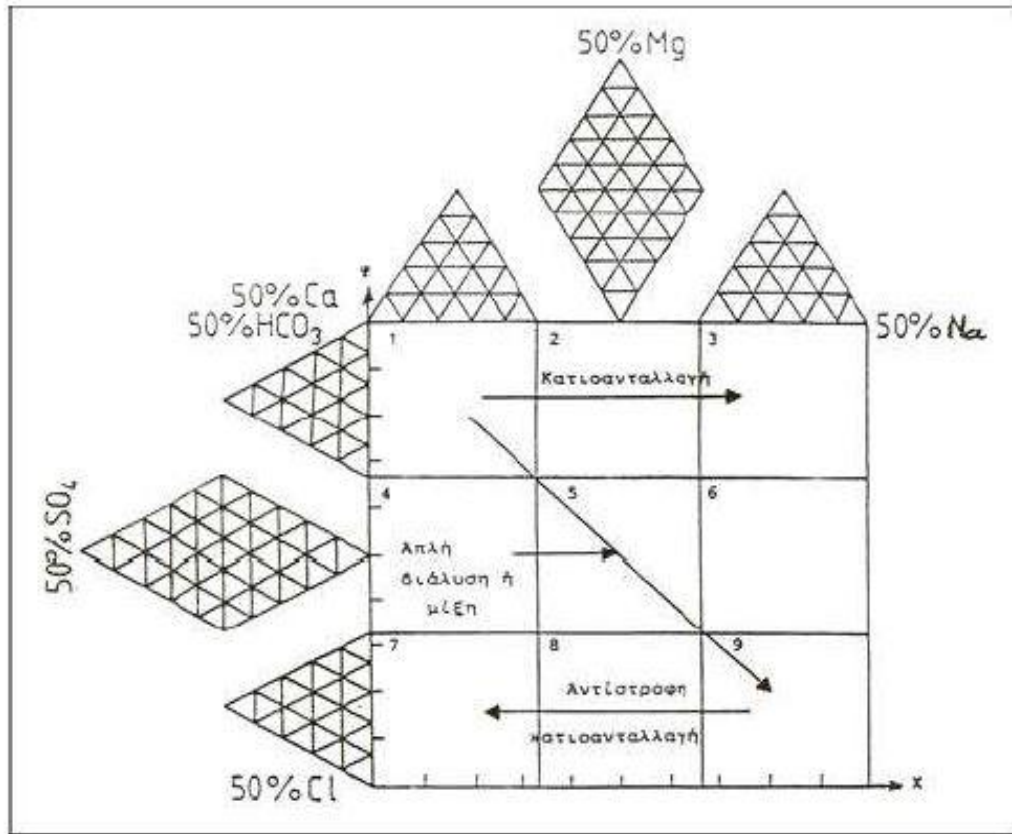
#### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ DYROV

Η ταξινόμηση κατά τον Durov διαφέρει στον τρόπο προβολής των κατιόντων και ανιόντων. Το διάγραμμα απεικονίζει την προβολή του 50% της ολικής συγκέντρωσης των κατιόντων και αντίστοιχα των ανιόντων μετά από τις χημικές αναλύσεις που έχουν προηγηθεί. Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα χρησιμοποιείται για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων της κατιοανταλλαγής και των μετασωματικών γραμμών εξέλιξης. Το διάγραμμα όπως φαίνεται χωρίζεται σε εννέα μικρά τετράγωνα, όπου το καθένα κατά τους J.W. Lloyd, J.A. Heathcate , αντιπροσωπεύει μια κατηγορία.

1. Φυσικά Υπόγεια νερά: επικρατούντα ιόντα τα  $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{HCO}_3^-$ , αυτό δείχνει νερά κατά κανόνα νερά που ανανεώνονται σε ασβεστόλιθους, ψαμμίτες και σε άλλους υδροφόρους ασβεστολιθικών πετρωμάτων.
2. Νερά που προέρχονται από δολομίτικα πετρώματα, επειδή το  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , βρίσκονται σε μεγάλες αναλογίες. Όμως αν έχει αρχίσει να εμφανίζεται το  $\text{Na}^+$ , τότε η διαδικασία της κατιοανταλλαγής έχει αρχίσει να ενεργοποιείται.

3. Στο πεδίο αυτό επικρατούν το  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Na}^+$ , σε σχέση με τα άλλα ιόντα. Νερά που αντιστοιχούν σ αυτό το τετράγωνο έχουν κατά κανόνα υποστεί κατιοανταλλαγή.
4. Στο πεδίο αυτό κυριαρχούν το  $\text{Ca}^{2+}$ , το  $\text{SO}_4^{2-}$  ή κανένα ανιόν. Στην περίπτωση που κυριαρχούν και τα δύο ιόντα τότε τα νερά προέρχονται από ζώνες σε επαφή με λάβες και γυψούχες αποθέσεις. Εάν δεν επικρατούν τα παραπάνω ιόντα τα νερά προέρχονται από μίξη ή διαλυτοποίηση.
5. Κανένα ιόν που επικρατεί. Νερά που προέρχονται από μίξη ή διαλυτοποίηση.
6. Επικρατούντα ιόντα το  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  ή κανένα. Νερά που εμφανίζονται σπάνια και είναι τις περισσότερες φορές νερά μίξης.
7. Στο πεδίο αυτό επικρατούν το,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Ο τύπος νερού συναντάται σπάνια και δείχνει μολυσμένα νερά, εκτός εάν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής.
8. Επικρατούν ανιόν το  $\text{Cl}^-$ , κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά όπου το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
9. Επικρατούντα ιόντα το  $\text{Cl}^-$  και το  $\text{Na}^+$ . Υπόγεια νερά που έχουν φθάσει στο τέλος της υδροχημικής διαδρομής τους.

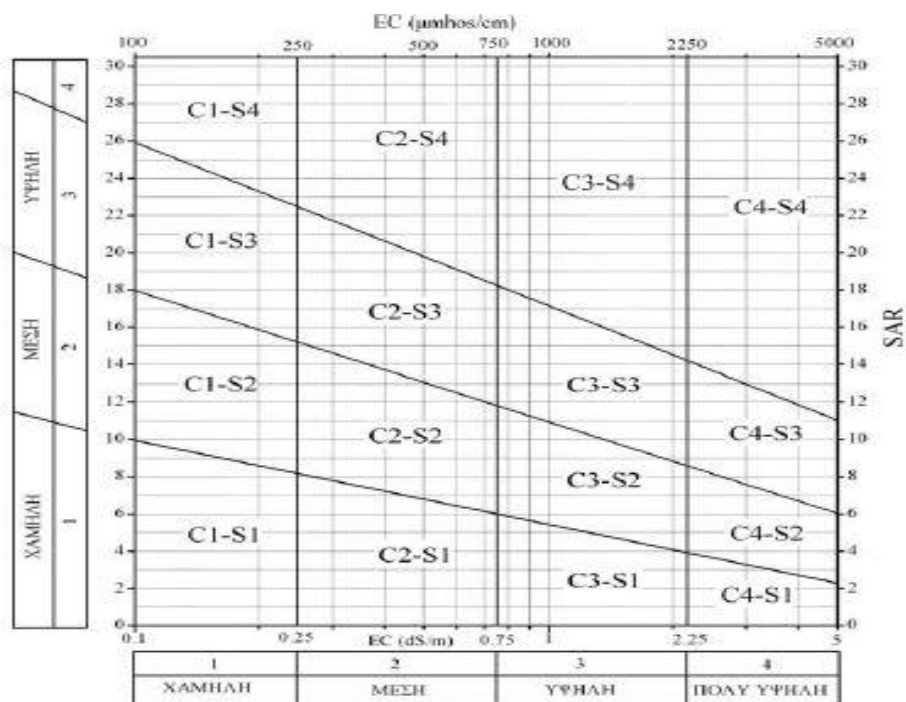
Το διευρυμένο διάγραμμα Duron έχει μια καλύτερη εικόνα των διαφόρων χημικών τύπων σε σχέση με το Piper και των διαδικασιών που εξελίσσονται στα υπόγεια νερά



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα DUROV

### ΤΑΞΙΝΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑ RICHARDS

Ο Richards, εισήγαγε ένα διάγραμμα για τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργημένων εδαφών. Χρησιμοποίησε το δείκτη S.A.R, και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C, έτσι, πρότεινε το παρακάτω διάγραμμα. Με βάση το διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες αρδευτικού νερού κατά L.V RICHARDS, I.A 1954



Εικόνα 4.6 :Διάγραμμα, RICHARDS

**Πίνακας 4 :**Κατάταξη των νερών με βάση το διάγραμμα RICHARDS

ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ	ΚΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ
C1-S1	Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Κατάλληλο
C1-S2 C2-S1	Νερό καλής ποιότητας. Κατάλληλο για άρδευση με εξαίρεση ευαίσθητα φυτά στα άλατα ή εδάφη με κακή στράγγιση
C2-S2, C1-S3, C3-S1	Νερό μέσης ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με περιορισμούς
C1-S4,C2-S3, C3-S2, C4-S1	Νερό μέσης προς κακής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ανθεκτικές σε άλατα καλλιέργειες και σε στραγγιζόμενα εδάφη
C2-S4, C4-S2, C3-S3	Νερό κακής ποιότητας . Δεν συνίσταται η χρήση του. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αυστηρούς περιορισμούς σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά στα άλατα. Κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους .Συνίσταται περιοδική έκπλυση των αλάτων.
C3-S4,C4-S3	Νερό κακής ποιότητας. Δεν συνίσταται η χρήση του. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση κάτω από αυστηρούς περιορισμούς
C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η εφαρμογή του για άρδευση είναι απαγορευτική.

## 5.ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

### 5.1 ΡΥΠΑΝΣΗ-ΜΟΛΥΝΣΗ

Οι φυσιολογικές μεταβολές στην ποιότητα των νερών είναι εκείνες που παρατηρούνται στη διάρκεια του υδρολογικού έτους, όταν οι διάφορες συγκεντρώσεις είναι διαφορετικές από τη μεταβολή των ποσοτήτων των επιφανειακών ή υπόγειων νερών.

Οι φυσιολογικές μεταβολές των υπόγειων νερών είναι δεδομένες, καθώς αυτό που ονομάζεται υπόγειο νερό, δεν είναι παρά ένα υδατικό διάλυμα με ανόργανα και οργανικά συστατικά που οι συγκεντρώσεις τους αυξομειώνονται στη διάρκεια του υδρολογικού έτους, αλλά και σε υπερετήσια βάση. Τρωτότητα ή ρυπαντική επιδεκτικότητα ή ευάλωσιμότητα (vulnerability) υπόγειων νερών ή υδροφορέων είναι η ευαισθησία ή η επιδεκτικότητα απέναντι στους ρύπους. Η έννοια της τρωτότητας εισήχθη για πρώτη φορά από τον Margat το 1968 στη Γαλλία για να εκφράσει τον βαθμό προστασίας που προσφέρει το φυσικό περιβάλλον εναντίον της ρύπανσης των υπόγειων νερών. 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 ευάλωτες από κάποιες άλλες. Η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφόρα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφόρα. 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.(Σταμάτης,2004)Αν εξαιρέσει κανείς ορισμένες οριακές περιπτώσεις πετρωμάτων ειδικής χημικής(ορυκτολογικής) σύστασης, πχ. εβαπορίτες, ή ειδικές συγκεντρώσεις νερών πχ. θερμές πηγές, η ποιότητα των υπόγειων νερών μεταβάλλεται κατά την κατείσδυση τους με βάση τις ελάχιστες εξελίξεις ως προς  $Cl^-$ , ή  $HCO_3^-$ , ή  $SO_4^{-2}$ . Οι μεταβολές, στην ποιότητα εκτός από φυσιολογικές είναι και ανθρωπογενείς, από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, έμμεσες και άμεσες. Η ποιοτική υποβάθμιση εμφανίστηκε με τους όρους ρύπανση και μόλυνση. Κάθε ρύπος ή μολυντής ανεξαρτήτως της φύσης του και του τρόπου διάθεσης του στο περιβάλλον, αργά ή γρήγορα, αμέσως ή εμμέσως καταλήγει σ έναν υδατικό αποδέκτη. (Στουρνάρας,2007) Ορισμένοι

επιστήμονες, δίνουν διαφορετικό επιστημονικό ορισμό για την ρύπανση και μόλυνση, κατά Todd,D.K (1980) , ρύπανση υπόγειου νερού είναι κάθε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του, ενώ μόλυνση είναι εκείνη η ρύπανση του υπόγειου νερού που το καθιστά ακατάλληλο για την εξεταζόμενη χρήση και επικίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου .Σύμφωνα με την επίσημη υγειονομική διάταξη, ( Φ.Ε.Κ 189/16-4-1986) :

- Ρύπανση(pollution) υπόγειου νερού είναι η ύπαρξη σε αυτό κάθε ξένης ουσίας ή υπερβολική περιεκτικότητα του σε συνήθεις ουσίες(ή ιόντα) που υποβαθμίζει την ποιότητα του και μπορεί να το καταστήσει ακατάλληλο για ορισμένες ή για όλες τις προβλεπόμενες χρήσεις ή και ακόμα επιβλαβείς για την υγεία του ανθρώπου
- Μόλυνση(contamination) υπόγειου νερού είναι η ύπαρξη σε αυτό παθογόνων μικροοργανισμών ή στοιχείων που δείχνουν έμμεσα δυνητικό κίνδυνο ύπαρξης τέτοιων μικροοργανισμών

## 5.2 ΡΥΠΑΝΤΕΣ –ΑΙΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η αύξηση του πληθυσμού , ή συγκέντρωση του σε συγκεκριμένες περιοχές και η ποιοτική άνοδος του βιοωτικού επιπέδου συνιστούν με τη σειρά τους αιτίες λειψυδρίας, ανεπάρκειας, υπερκαταναλωτισμού και τρομακτικών διαφοροποιήσεων ανάμεσα στις διάφορες περιοχές και στους διάφορους πληθυσμούς ανά την υδρόγειο. Οι πηγές και τα αίτια ρύπανσης σχετίζονται των υπόγειων νερών σχετίζονται στενά με τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο.(U.S.Environmental Protection Agency, 1972)

Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης προέρχεται από την απόρριψη αποβλήτων των αποβλήτων πάνω ή μέσα στο έδαφος(Miller,1980). Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι απόρριψης αποβλήτων, είναι η τοποθέτηση τους(Todd,et.al.1976): σε λεκάνες διήθησης ,στην επιφάνεια του εδάφους, σε ορύγματα και τάφρους διήθησης, σε ξερά υδατορεύματα, σε σκουπιδότοπους, σε αβαθείς γεωτρήσεις απόρριψης, σε βαθιές γεωτρήσεις έκχυσης. Οι ρυπαντές είναι χιλιάδες διαφορετικές ουσίες. Κάποιοι από αυτούς προκαλούν σχετικά μικρή ρυπαντική φόρτιση έστω και σε σχετικά υψηλές περιεκτικότητες ,ενώ άλλοι είναι ιδιαίτερα δραστικοί ακόμη και επικίνδυνοι για την υγεία έστω και σε πολλοί μικρές περιεκτικότητες όπως πχ. τοξικοί ρυπαντές. Ακόμη, διάφορες ουσίες ή



και ιόντα που ενώ μέχρι ορισμένη περιεκτικότητα στο νερό είναι δεκτοί και ενίοτε επιθυμητοί, όπως π.χ. τα ιόντα ασβεστίου ίδιοι σε μεγάλες περιεκτικότητες καθίστανται ρυπαντές και επιβλαβείς, ορισμένοι δε και επικίνδυνοι. Η κατηγοριοποίηση των ρυπαντών μπορεί να γίνει με πολλούς και διάφορους τρόπους, όπως π.χ. με βάση τη διάρκεια εκπομπής ρύπου ή με βάση τη γεωμετρία της εστίας του ρύπου. Ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους κατάταξης των ρύπων είναι με βάση τον τρόπο δράσης, δηλαδή χημικοί βιολογικοί, οι θερμικοί, οι μικροβιολογικοί.(πίνακας 5)

**Πίνακας 5:** Κατηγορίες συνήθων χημικών ρυπαντών

Μέταλλα διάφορα, Hg, Zn, Pb, Co,Cu, Ni, Fe
Νιτρώδες, νιτρικές, φωσφορικές ενώσεις, ανόργανες ενώσεις
Διάφορα θρεπτικά συστατικά (αζωτούχα, φωσφόρου, κ.λπ.)
Διαλύματα πολύ υψηλού ή πολύ χαμηλό Ph
Αποσυντιθέμενες φυσικές ενώσεις
Διάφορα πετρελαιοειδή
Ζιζανιοκτόνα, Παρασιτοκτόνα –Εντομοκτόνα,κ.λπ.
Αρωματικοί υδρογονανθρακες
Φαινόλες, Πολυχρωριωμένες διφαινόλες
Οργανομεταλλικά χρώματα
Φυτο-ορμόνες
Ραδιενεργές ουσίες
Επιφανειοδραστικές ενώσεις

### 5.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ

Οι ρύποι έχουν ταξινομηθεί σε :

- Ραδιενεργοί ρύποι : παράγονται κυρίως από την πυρηνική βιομηχανία, τη μεταλλεία και επεξεργασία ραδιενεργών μεταλλευμάτων, τους σταθμούς πυρηνικής ενέργειας , τον εμπλουτισμό του ουρανίου και την απόρριψη των ραδιενεργών αποβλήτων.
- Ιχνοστοιχεία: πρόκειται για μεταλλικά στοιχεία που προέρχονται από απόβλητα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων ,από απορροές ,στερεά ή υγρά απόβλητα που προέρχονται από αστικές περιοχές, από αγροτικά απόβλητα και λιπάσματα και τέλος από τα υγρά καύσιμα. Τα ιχνοστοιχεία μπορεί να είναι τοξικά και θανατηφόρα για τον άνθρωπο. Μεταξύ των άλλων έχουν εντοπιστεί στο υπόγειο νερό: Al, Sb, Ac, Ba, Be, B, Cd, Cr, Co, ,Cu, Au, Fe, Pb, Ni, Mn, Hg, Mo,Li, Se, Ag, Ta, Sr, Ti, U, Va , Zn.Το As και οι ενώσεις του προέρχονται από τα χρώματα, τα παρασιτοκτόνα και εν γένει από τα φυτοφάρμακα, τα μεταλλικά κράματα κ.α.
- Θρεπτικά: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ιόντα ή οργανικές ενώσεις που περιέχουν N, .P. Πρόκειται κυρίως για το  $\text{NO}_3^-$ , και  $\text{NH}_4$  .Κυριότερες πηγές νιτρορύπανσης ή ρύπανσης από ενώσεις του φωσφόρου είναι η γεωργική χρήση λιπασμάτων, η κτηνοτροφία και η καλλιέργεια παρθένων εδαφών όπου αφθονεί η οργανική ύλη με αποτέλεσμα να οξειδώνονται μεγάλες ποσότητες αζώτου. Άλλες πηγές θρεπτικών είναι οι διαρροές από υπονόμους ,βόθρους και την αποχέτευση εν γένει.
- Άλλα ανόργανα είδη: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μεταλλικά ιόντα σε συγκεντρώσεις αρκετά υψηλές ( $\text{Ca}^2$ , $\text{Na}^2$ , $\text{Mg}^+$ ) , αλλά και αμέταλλα ιόντα που τα περιέχουν ή ακόμη και ιόντα Cl, F.
- Οργανικοί ρυπαντές: υδρογονάνθρακες και παράγωγα, αλογονομένες αλιφατικές ενώσεις, βιολογικοί ρυπαντές ,κ.α.
- Χρησιμοποιημένα νερά
- Επιφανειακή διάθεση ιλύος (Καλλέργης,2005).

## 5.4 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

### A) ΑΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η αστική ρύπανση προκαλείται από τη βιοτική δραστηριότητα του ανθρώπου και τις συνέπειες της κατανάλωσης, δηλαδή από τα παραπροϊόντα της καθημερινής διατροφής και καθαριότητας. Οι εκπομπές αποβλήτων διακρίνονται σε υγρά απόβλητα και στερεά (λάσπη). Τα υγρά απόβλητα μπορεί να προέρχονται από τις οικιακές, τις βιομηχανικές χρήσεις του νερού ή τις απορροές των καταγίδων. Στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες τα πιο πολλά από αυτά τα υγρά μίγματα υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία και μετά ρίχνονται στα δίκτυα στράγγισης ή αποχέτευσης των επιφανειακών νερών. Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση να χρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων και μετά να ξανά χρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων και μετά να ξαναχρησιμοποιούνται, μαζί με το φυσικό υπόγειο νερό Βέβαια, αυτός είναι ένας οικονομικός τρόπος για την αύξηση των διαθέσιμων, ο οποίος εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Τα επεξεργασμένα οικιακά απόβλητα χρησιμοποιούνται (U.S.Environmental Protection Agency), για άρδευση, τεχνητό εμπλουτισμό, επιφανειακή ροή. Τα αστικά λύματα είναι φορτισμένα με πολλούς ρύπους. Αν μπουν στο υπέδαφος, σε όλη τη διαδρομή τους τα αστικά λύματα είναι δυνατό να προκαλέσουν ρύπανση στο υπόγειο νερό. Επομένως μπορούμε να έχουμε ρύπανση από διαρροή υπονόμων, από βόθρους, από χρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων ή από λυματολάσπη η οποία παράγεται από την επεξεργασία των λυμάτων.(Σούλιος,2006) Η ποιότητα των λυμάτων και κατά συνέπεια το δυναμικό ρύπανσης των υπόγειων νερών απ αυτά εξαρτάται πάντα από το βαθμό επεξεργασίας στην οποία έχουν υποβληθεί.

### B) ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η χρήση πολλών βιομηχανικών προϊόντων για να αυξηθεί η παραγωγή μπορεί να προκαλέσει στο έδαφος και στο υπόγειο νερό, κατά τη διαδικασία της λιπάνσεως και κατά την άρδευση, αντίστοιχα ρύπανση. Τα παρασιτοκτόνα, τα λιπάσματα, τα βελτιωτικά εδάφους και τα λιπάσματα, τα περισσότερα από αυτά αφήνουν στο έδαφος και στο νερό υπολείμματα. Τα κύρια

λιπάσματα είναι ενώσεις του φωσφόρου, του αζώτου και του καλίου. Τα φωσφορικά και τα καλιούχα λιπάσματα προσροφούνται εύκολα από τους κόκκους του εδάφους και σπάνια προκαλούν προβλήματα ρύπανσης. Όμως το διαλυμένο άζωτο χρησιμοποιείται εν μέρει από τα φυτά ή προσροφάτε από το έδαφος και αποτελεί τον κύριο ρύπο μεταξύ των λιπασμάτων του υπόγειου νερού. Τα νιτρικά στο νερό είναι ένας επίμονος, ανθεκτικός ρυπαντής. Αποτελούν επιβλαβή παράγοντα για την υγεία. Περιεκτικότητα στα νιτρικά πάνω από 50mg/l, το καθιστά ακατάλληλο για πόση. Η μορφή που παίρνει το άζωτο στα υπόγεια νερά είναι η νιτρική ρίζα  $\text{NO}_3^-$ .

Η μεγάλη διάδοση του οφείλεται στις αγροτικές δραστηριότητες και στην απόρριψη επιφανειακή ή υπόγεια των λυμάτων. Σε μικρότερες αναλογίες το διαλυμένο άζωτο απαντά επίσης στο αμμώνιο και την αμμωνία, τη νιτρώδη ρίζα, το υποξείδιο του αζώτου και το άζωτο οργανικής ή ανόργανης προέλευσης. Το άζωτο στο υπόγειο νερό προέρχεται γενικά από πηγές αζώτου που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους, στην εδαφική ζώνη ή σε ρηχές υπεδαφικές ζώνες, όπου θάβονται απόβλητα πλούσια σε άζωτο. Οι ρηχοί υδροφόροι σε πολύ υδροπερατά υλικά ή σε ρωγματομένα πετρώματα, δίνουν υπόγειο νερό γενικά πλούσιο σε  $\text{NO}_3^-$ . Το  $\text{NO}_3^-$  είναι πολύ κινητικό στο υπόγειο νερό. Στις υγρές περιοχές της υδρογείου η πρόληψη αζώτου από το ριζικό σύστημα κυμαίνεται από 50-200kg/εκτάριο., την αρδευτική περίοδο (Stewart, et al 1975). Το ποσό του αζώτου που χρησιμοποιούν τα φυτά στις καλλιεργούμενες περιοχές ανέρχεται στο 40-80% του προστιθέμενου με τα λιπάσματα (Stewart, et al 1975). Μέρος του από το 20-60% του αζώτου που εν χρησιμοποιείται από τα φυτά, επιστρέφει μερικά στην ατμόσφαιρα, με τη διαδικασία της «απαζώτωσης» ή με τη μορφή της πτητικής αμμωνίας. Το υπόλοιπο άζωτο μετατρέπεται στην ακόρεστη ζώνη σε νιτρική ρίζα και εισέρχεται έτσι στους υδροφόρους ή στο διηθούμενο βαθύτερα νερό. Στις ξηρές περιοχές της υδρογείου η άρδευση είναι εντονότερη και η συγκέντρωση  $\text{NO}_3\text{-N}$  είναι πολύ υψηλότερη, (15-50mg/l) ενώ αναφέρεται και περιεκτικότητα 690mg/l, (Kreitler-Jones1975, Viets 1975) σε μη αρδευόμενη ημίξηρη περιοχή. Στις ημίξηρες περιοχές που ανήκει και η Ελλάδα, η συγκέντρωση  $\text{NO}_3$ , φθάνει τα 50-60mg/l( Kreitler-Jones 1975). Στα περισσότερα επιφανειακά αρδευτικά συστήματα, το 30-50% του αρδευτικού νερού διηθείται βαθύτερα, έτσι που να ανατρέπει το ισοζύγιο των αλάτων στη ριζική ζώνη.(Σούλιος, Καλλέργης )

### Γ) ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Σε κτηνοτροφικές μονάδες ιδίως με μεγάλο αριθμό ζώων, παράγονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Οι κοπριές περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων σε οργανικές ουσίες, άλατα και μέταλλα, σε ενώσεις και ιόντα του αζώτου των νιτρικών, των θεικών, του φωσφόρου και επίσης διάφορους μικροοργανισμούς. Το νερό από τις ισχυρές βροχοπτώσεις ή καταιγίδες έρχεται σε επαφή με τις κοπριές και μεταφέρει υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Ο βασικότερος και πιο ανθεκτικός ρύπος είναι τα ιόντα αζώτου και ο νιτρικών. Όταν οι στάβλοι καθαρίζονται κανονικά τότε η ρύπανση από τα νιτρικά είναι πιο σοβαρή από ότι εάν αφήνονταν οι κοπριές να συγκεντρωθούν. Στην τελευταία περίπτωση το έδαφος κάτω από τις κοπριές είναι αναερόβιο και δεν μπορεί να γίνει νίτρωση. Εκτός από τους στάβλους, τα σφαγεία αποτελούν πηγή ρύπανσης από τα παραπροϊόντα, αίματα, άχρηστα περιεχόμενα κ.α., τα οποία δημιουργούν μια έντονη εστία ρύπανσης από τις ζυμώσεις που θα ακολουθήσουν.

### Δ) ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Το αρδευτικό νερό είναι αιτία ρύπανσης διότι το μισό μέχρι τα δυο τρίτα από την ποσότητα που χρησιμοποιείται καταναλίσκεται με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Το υπόλοιπο νερό το οποίο αποτελεί την επιστρεφόμενη «αρδευτική ροή», στραγγίζεται στο επιφανειακό στραγγιστικό δίκτυο ή τροφοδοτεί τον υποκείμενο υδροφόρο. Το νερό της «επιστροφής» έχει τριπλάσια μέχρι δεκαπλάσια αλατότητα, σε σχέση με την αλατότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε στην άρδευση.(Jenke, 1974) Αυτή η αύξηση της αλατότητας, οφείλεται στην προσθήκη αλάτων στο νερό με τη διαδικασία της διάλυσης κατά την άρδευση, στα άλατα των λιπασμάτων ή των βελτιωτικών του εδάφους και στη συμπύκνωση των αλάτων με το μηχανισμό της εξατμισοδιαπνοής. Τα κατιόντα που παρέμειναν κατά την επιστροφή των νερών είναι το Ca, Mg, και το Na. Τα ανιόντα που επικρατούν είναι το  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl, και το  $\text{NO}_3$ . Στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές της υδρογείου, η κυρίαρχη χρήση του νερού είναι η άρδευση, σ αυτές λοιπόν τις περιοχές το επιστρεφόμενο αρδευτικό νερό είναι η κύρια πηγή ρύπανσης του υπόγειου νερού. (Euhgrinsan-Barton, 1971). Επίσης, η βιομηχανία προκαλεί ρύπανση από τα υγρά απόβλητα, τα βιομηχανικά λύματα, που έχουν σχεδόν όλες οι βιομηχανίες, κυρίως όμως τα βυρσοδευεία, τα βαφεία, τα χρωματουργεία, οι χημικές βιομηχανίες, πολλές βιομηχανίες- βιοτεχνίες επεξεργασίας

αγροτικών προϊόντων: ελαιουργεία, κονσερβοποιεία, ζαχαρουργεία, ακόμη μεταλλουργικές βιομηχανίες και χαρτοβιομηχανίες. Τα μεταλλεία μπορούν να ρυπάνουν το υπόγειο νερό ανάλογα με το είδος του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος και τη θέση του χώρου εξόρυξης ως προς τη στάθμη του υδροφορέα. Η ρύπανση είναι αναλογικά μεγαλύτερη όταν οι εξορυκτικές διαδικασίες γίνονται κάτω από τη φυσική στάθμη του υδροφορέα (η οποία με αντλήσεις έχει υποχωρήσει). Τα λατομεία έχουν σχετικά μικρή ρυπαντική συνέπεια στο υπόγειο νερό. Αυτή πάντως προκαλείται από τα χρησιμοποιούμενα εκρηκτικά(νιτρικά, φωσφορικά) και από σκόνες που κατεισδύουν με το νερό της βροχής. Τα ραδιενεργά απόβλητα , επίσης, είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που δημιουργεί η παραγωγή ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς, είναι η απομόνωση των ραδιενεργών αποβλήτων από τη βιόσφαιρα, με τρόπο που να εξασφαλίζεται για μακρά χρονική περίοδο, πλήρης ασφάλεια στο περιβάλλον. Ακόμα, άλλες πηγές ρύπανση μπορεί να είναι η διείσδυση της θάλασσας ή η απόρριψη υγρών στο έδαφος λόγω κάποιου ατυχήματος ή υπαίθριας αποθήκευσης.

#### 5.5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Το υπόγειο νερό κινείται κατά μήκος διαδρομών ποικίλου μήκους μεταβιβάζοντας, ουσιαστικώς, την υδάτινη μάζα από τις ζώνες τροφοδοσίας στις ζώνες εκφορτίσεως. Οι διαφορετικές φάσεις του νερού, οι σχέσεις και οι διαρκείς ανταλλαγές μεταξύ τους, οι αυξομειώσεις τους μέσα στο υδρολογικό έτος ή σε υπερετήσια θεώρηση και οι μόνιμες ή προσωρινές μεταβολές τους από φυσικά αίτια ή από ανθρώπινη παρέμβαση είναι σαφές το πόσο επηρεάζουν το περιβάλλον ,τόσο στο πεδίο των χρήσεων γης, όσο και στο πεδίο της αποσπάσεως και χρήσης φυσικών πόρων και της διαθέσεως των υποπροϊόντων. Η τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων, όπως περιγράφεται από το υδρολογικό ισοζύγιο, αποτελεί συνήθως την αρχική διαδικασία. Η τελική, πλήρης και οριστική τροφοδοσία τους προκύπτει από το αντίστοιχο Υδρογεωλογικό Ισοζύγιο, το οποίο δεν διαθέτει σταθερή και ενιαία μαθηματική έκφραση, δεδομένου ότι οι επί μέρους συνθήκες τροφοδοσίας και απωλειών μεταβάλλονται από θέση σε θέση και από εποχή σε εποχή. Οι αλληλεπιδράσεις των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων εμφανίζετε σε διάφορες γεωμορφές.

Η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού είτε πρόκειται για αρτεσιανούς είτε για ελεύθερους υδροφόρους αντικατοπτρίζεται στις αλλαγές της διάταξ του. Επίσης, η στάθμη δείχνει το «ύψος»

της ατμοσφαιρικής πίεσης στον υδροφόρο και κάθε φαινόμενο που προκαλεί μεταβολή της πίεσης στο υπόγειο νερό προκαλεί και μεταβολή της στάθμης του, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από τις κυμάνσεις της απορροής στα υδρορεύματα, τα μετεωρολογικά και παλιρροιακά φαινόμενα, την οικιστική ανάπτυξη, τους σεισμούς και τα εξωτερικά φορτία.

Η ανάλυση της διακύμανσης της στάθμης των υδροφόρων σε σχέση με την απορροή σε ένα υδρόρευμα δείχνει την επαφή των υπόγειων με τα επιφανειακά νερά. Όταν ένα υδρόρευμα βρίσκεται σε άμεση επαφή με έναν ελεύθερο υδροφόρο, το υδρόρευμα κατά περίπτωση τροφοδοτείται ή τροφοδοτεί απ αυτόν ανάλογα αν η στάθμη του νερού στο υδρόρευμα βρίσκεται αντίστοιχα πάνω ή κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου. Οι ρόλοι αντιστρέφονται όταν αλλάξουν πόλο οι στάθμες.

## **6.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΙ**

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελεί μελέτη, με σκοπό την ανάπτυξη των υδρογεωλογικών και υδρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή των Βαγίων. Αναλυτικότερα :

**Α) Αρχικό στάδιο** αποτελεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση και η συλλογή δεδομένων στην ύπαιθρο. Στην περιοχή μελέτης, στα Βάγια, στα πλαίσια της έρευνας, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα των γεωλογικών δομών, του υδρογραφικού δικτύου, του τεκτονικού υποβάθρου, των κλιματικών συνθηκών, και των χρήσεων γης. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων πραγματοποιήθηκε κυρίως σε γεωτρήσεις. Η περιοχή του κάμπου συνολικά χρησιμοποιεί τις γεωτρήσεις, για άρδευση, με μεγάλο ποσοστό άντλησης, καθώς η ευρύτερη περιοχή καλλιεργείται συστηματικά. Τα περισσότερα υδροσημεία (γεωτρήσεις) έγιναν από ιδιώτες γεωτρηπανιστές και δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως τομή, αντλητικά στοιχεία, μετρήσεις στάθμης, κλπ. Η απογραφή των υδροσημείων και η δειγματοληψία των υπόγειων νερών πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2014 και στο σύνολό τους είναι 16 γεωτρήσεις και μια πηγή. Οι επιτόπιες μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων έγιναν με χρήση των αντίστοιχων φορητών οργάνων:

α) μέτρηση θερμοκρασίας (T°C) με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET

β) μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και αλμυρότητας (sal) με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET

γ) μέτρηση της τιμής του pH και του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh, mV) με το πεχάμετρο WTW PH 330i /SET

Η επιλογή των σημείων πραγματοποιήθηκε, όπου το επέτρεπαν οι συνθήκες και με τρόπο ώστε να καλύπτου όλη την περιοχή.

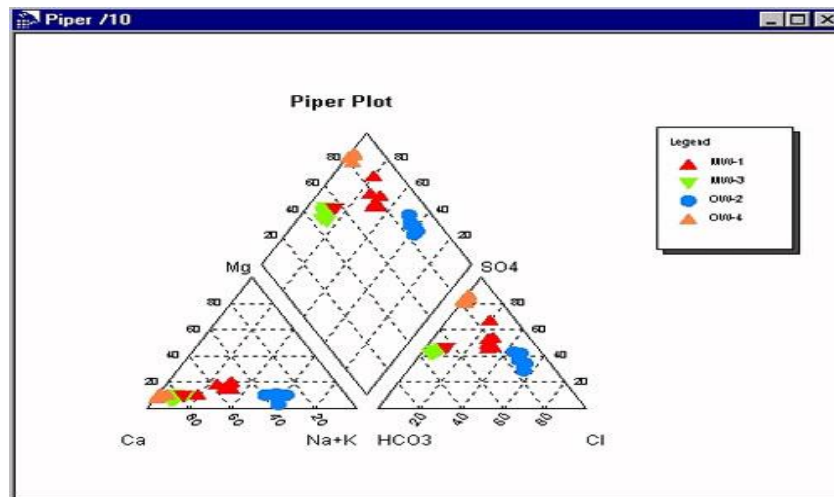
Δειγματοληψία και συντήρηση δειγμάτων: Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν σε πλαστικά δοχεία χωρητικότητας 1 λίτρου, σφραγίστηκαν καλά και τοποθετήθηκαν σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι την ανάλυσή τους. Σε ξεχωριστά πλαστικά μπουκαλάκια χωρητικότητας 100ml συλλέχθηκαν αντίστοιχα δείγματα, τα οποία πρώτα διηθήθηκαν με φίλτρο 45nm και στη συνέχεια συντηρήθηκαν με προσθήκη 1ml  $\text{HNO}_3$ . Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των βαρέων μετάλλων. Τα δείγματα νερού που λαμβάνονταν μεταφέρονταν καθημερινά στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για τις σχετικές αναλύσεις.

**B) Το δεύτερο στάδιο** αποτελεί η επεξεργασία των δεδομένων. Οι πληροφορίες που αντλήθηκαν από το πρώτο στάδιο επεξεργάστηκαν με στόχο την υδροχημική ανάλυση των υπόγειων νερών, το υδατικό ισοζύγιο των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Στην επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν, το μοντέλο προσομοίωσης MIKE-SHE, το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών(Arc Map G.I.S), το EXCEL(OFFICE 2003), GRAFER, 2.0 και CH45.EXE (Λαμπράκης, 1991). Στην απεικόνιση των χωρικών κατανομών σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το σύστημα γεωργικών πληροφοριών( Arc, G.I.S, esri). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν interpolation (I.D.W), spatial analyst. (εικόνα 6.2)Συγκεκριμένα, η μέθοδος της παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και οποιαδήποτε άλλες παραμέτρους ή δείκτες ή φαινόμενα που έχουν χωρική κατανομή

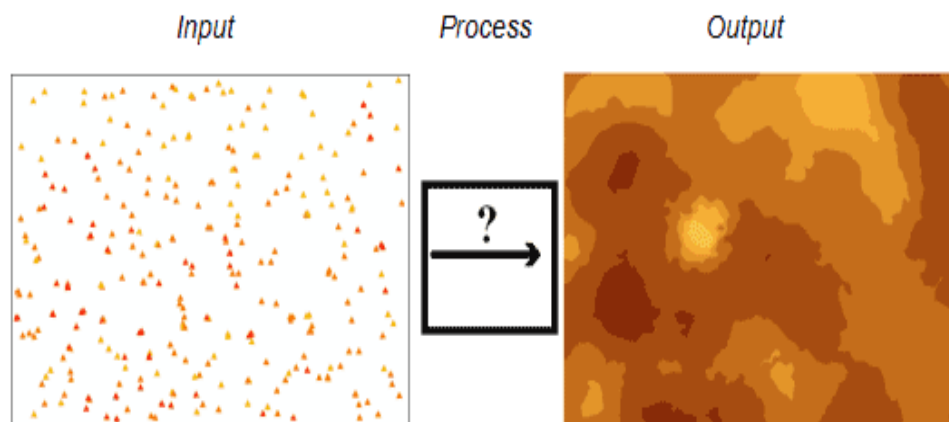
Η χρήση του προγράμματος Aqua chem έγινε με σκοπό την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων από τις υδροχημικές αναλύσεις, στο διάγραμμα Piper (εικόνα 6.1) Το πρόγραμμα CH45.EXE



(Λαμπράκης, 1991) χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση των υδροχημικών αναλύσεων στο διάγραμμα ταξινόμησης Duron .



**Εικόνα 6.1:** Χρήση του προγράμματος Aqua chem για τη δημιουργία του διαγράμματος PIPER



**Εικόνα 6.2 :** Μέθοδος I.D.W, απεικόνισης γεωγραφικών δεδομένων, με G.I.S, της παρούσας μελέτης

Γ) Το τελευταίο στάδιο αποτελεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τα τελικά συμπεράσματα και πιθανές λύσεις. Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα ταξινόμησης των υδάτων ανάλογα με τη χρήση τους, με συγκεκριμένα σταθερότυπα. Τα διαγράμματα αυτά είναι συγκεκριμένα των Duron, Piper, και Richards

## 7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Τα Βάγια βρίσκονται στη Βοιωτία, συγκεκριμένα στον κάμπο της Θήβας. Η Θήβα, όπως και όλη η Βοιωτία είχε εξαιρετικά πρωταγωνιστικό ρόλο στην Ελληνική μυθολογία, αλλά και ιστορία. Η ίδρυση της περιγράφεται από την μυθολογία και συγκεκριμένα στα Ομηρικά έπη, οι μύθοι την απέδιδαν στους αδερφούς Ζύθο(που έφερνε τις πέτρες) και Αμφίονα, ο οποίος παίζοντας τη λύρα του τις μάγεψε, ώστε μετακινήθηκαν μόνες τους και σχημάτισαν τα περίφημα τείχη της επτάπυλης πόλης. Άλλοι μύθοι αναφέρουν πως η ίδρυσης της πόλης οφείλεται στον Κάδμο, γιο του Αγήνορα, Βασιλέα της Φοινίκης. Σύμφωνα με αυτόν το μύθο ο Δίας μεταμορφωμένος σε ταύρο έκλεψε την αγαπημένη κόρη του Αγήνορα Ευρώπη και ο βασιλέας διέταξε να ψάξουν να την βρουν. Ο Κάδμος ψάχνοντας να βρει την Ευρώπη, ζητώντας βοήθεια από τον Απόλλωνα, πέρασε από το μαντείο των Δελφών και τότε πήρε την εντολή να σταματήσει τις αναζητήσεις και να ακολουθήσει την πρώτη δαμάλα που θα συναντήσει. Σε όποιο σημείο γονατίσει η δαμάλα, εκεί να κτίσει μια πόλη, τη Θήβα, στην οποία οι θεοί θα μοίραζαν απλόχερα τις ευλογίες τους. Έτσι, ο Κάδμος ακολούθησε την θεϊκή εντολή και κτίστηκε και οχυρώθηκε και κατοικήθηκε η νέα πόλη στο κέντρο της εύφορης πεδιάδας, πλούσιας σε νερά και λίμνες που περιβάλλεται από πολλά βουνά, τον Παρνασσό, Ελικώνα, Κιθαιρώνα και άλλα μικρότερα. Η πόλη βρισκόταν στο κέντρο της Ελλάδας, κοντά στον Κορινθιακό και Ευβοϊκό κόλπο. Οι απόγονοι του Κάδμου στη Θήβα, οι Λαβδακίδες, ενέπνευσαν τους τραγικούς της αρχαιότητας, οι οποίοι διέσωσαν στις τραγωδίες την άσχημη μοίρα τους. Στη Θήβα επίσης γεννήθηκε ο θεός της χαράς, ο Διόνυσος, από την ένωση του Δία με τη βασίλισσα της Θήβας τη Σεμέλη, κόρη του Κάδμου. Στα νεότερα χρόνια, μετά τη σύσταση του ελληνικού κράτους, η Θήβα συνεχίζει να είναι η σπουδαιότερη πόλη της επαρχίας Θηβών, προσφέροντας στο νέο κράτος με την γεωργία της και την κτηνοτροφία της. Σε όλα τα νεότερα χρόνια επιφανείς Θηβαίοι πολίτες αναδεικνύονται και πρωταγωνιστούν στον πολιτικό στίβο, παίζοντας σημαντικό ρόλο στο πολιτικό γίγνεσθαι της χώρας. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι τριακόσιοι νέοι ιερολοχίτες (1877) που πολέμησαν για την απελευθέρωση της Θεσσαλίας και της Ηπείρου. Άλλο γεγονός αξιόλογο των νεότερων χρόνων είναι η αποξήρανση της Κοπαΐδας επί διακυβέρνησης Χαριλάου Τρικούπη (1888) που αλλάζει ριζικά τη ζωή της πόλης.

## 7.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ/ΠΛΥΘΗΣΜΙΑΚΑ

Ο Νομός Βοιωτίας είναι νομός της Στερεάς Ελλάδας, με έκταση 3,211 τ.χλμ. και πληθυσμό 134,108 κατοίκους. Η Βοιωτία διαιρείται σε έξι Δήμους, εκ των οποίων ένας είναι και ο Δήμος Θηβαίων.



**Εικόνα 7.1:** Δορυφορική Λήψη περιοχής Βαγίων και ευρύτερης περιοχής (google maps)

Η Βοιωτία είναι περιοχή πεδινή και πολύ εύφορη. Η ορεινή έκταση είναι πολύ μικρή. Οι μεγαλύτερες πεδιάδες είναι της Θήβας, της Χαιρώνειας και της Κοπαΐδας (που σχηματίστηκε ύστερα από την αποξήρανση της ομώνυμης λίμνης). Οι πεδιάδες αυτές βρέχονται από μικρούς ποταμούς και χείμαρρους, κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Ασωπός, στα δυτικά του νομού, που πηγάζει από τον Κιθαιρώνα και χύνεται στον Ευβοϊκό κόλπο, ο Βοιωτικός Κηφισός που χύνεται στην Υλίκη λίμνη, και ο Λιβαδόστρας που χύνεται στον Κορινθιακό κόλπο. Τα λεκανοπέδια της Βοιωτίας περιβάλλονται από τα βουνά: Ελικώνα( Παλιοβούνα,

1.748μ.), Κιθαιρώνα (1.409μ.), Παρνασσό (2.400μ.), Νεραϊδολάκκωμα(1.678.), Μεσσάπιο (1.021 μ.), Πτώο και Χλωμό (1.081μ.).

Ο Δήμος Θηβαίων διαιρείται σε 4 Δημοτικές ενότητες (Θήβας, Βαγίων, Θίσβης και Πλαταιών). Τα Βάγια, είναι τοπική έδρα του δήμου Θηβών με πληθυσμό 3.248 κατοίκους(2011). Είναι χτισμένα στις παρυφές των λόφων που οδηγούν στις Θεσπιές. Απέχουν από τη Θήβα 12 χιλ. περίπου.

Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης, η λεκάνη των Βαγίων εκτείνεται στο υδατικό διαμέρισμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας(εικόνα 7.1) και συνορεύει με την λεκάνη της Υλίκης, την κλειστή λεκάνη της Θήβας, στα νότια οριοθετείται από τη λεκάνη Κανάβαρι και στα δυτικά από τη λεκάνη του κάτω ρου Βοιωτικού-Κηφισού.(εικόνα 7.1)

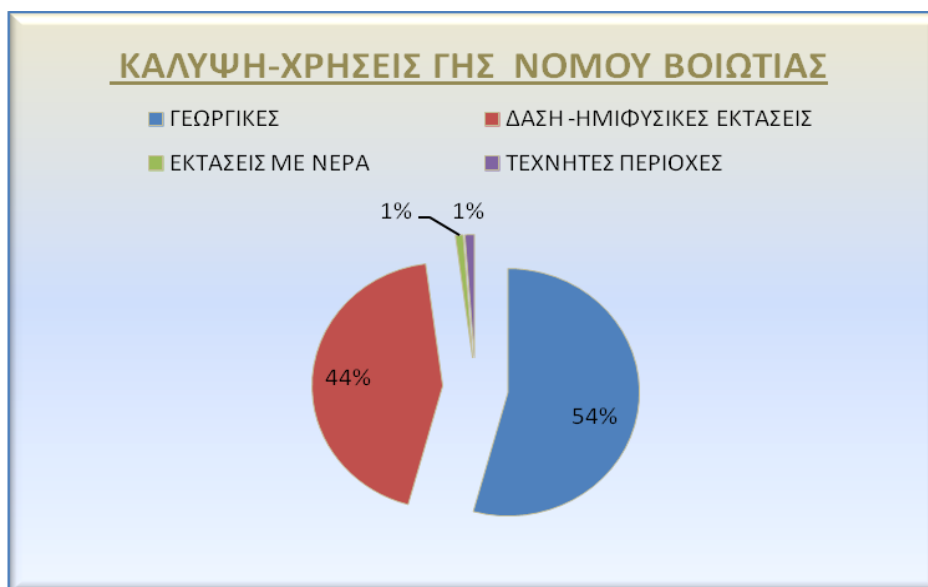


**Εικόνα 7.2:** Υδατικό Διαμέρισμα στο οποίο ανήκει η περιοχή μελέτης(πηγή: ΙΤΙΑ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, last assessed 2/11/2014)

### 7.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Ο καθορισμός της γήινης επιφάνειας σε σχέση με τις ανάγκες της περιοχής αποτελεί χωροθέτηση διαφόρων δραστηριοτήτων. Ο σχεδιασμός χρήσεων γης εκτός από την κάλυψη των αναγκών της περιοχής οφείλει να σέβεται τα όρια της ικανότητας που μπορεί να έχει το περιβάλλον. Στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με την στατιστική Ελληνική Υπηρεσία και τα στοιχεία απογραφής 1999/2000, για την κατανομή της έκτασης της Ελλάδος κατά βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά περιφέρεια και νομό, στο παρακάτω γράφημα, παρατηρούνται τα εξής αποτελέσματα:

Το μεγαλύτερο ποσοστό του νομού Βοιωτίας αποτελούν γεωργικές περιοχές, 54% και ακολουθούν τα δάση και ημιφυσικές εκτάσεις με ποσοστό 44%, της συνολικής επιφάνειας. Οι γεωργικές περιοχές καταλαμβάνουν 1.602,9 χιλιάδες στρέμματα από την συνολική έκταση των 2.953,3 στρεμμάτων και τα δάση-ημιφυσικές εκτάσεις έχουν έκταση 1.288,50 χιλιάδες στρέμματα. Οι καλλιέργειες στην περιοχή του κάμπου Βαγίων, Θήβας, κυρίως είναι συμβατικές και υπάρχουν και θερμοκήπια. Η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται με υπόγεια νερά από τις γεωτρήσεις της περιοχής, όπου μέχρι σήμερα φθάνουν περίπου τις 100 γεωτρήσεις .



**Εικόνα 7.3:** Διάγραμμα απεικόνισης χρήσεων γης στην περιοχή Βαγίων Βοιωτίας

## 8. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 8.1 Μορφολογικό ανάγλυφο

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης αποτελεί την γεωμορφολογική της εικόνα. Η σημερινή εικόνα είναι αποτέλεσμα πολλαπλών επιδράσεων των διαβρώσεων, της αποσάθρωσης, της τεκτονικής σε συνδυασμό με τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελείται από πεδινή έκταση με κάποιες λοφώδεις και ημιορεινές εξάρσεις (Εικόνα 8.1).



**Εικόνα 8.1:** Το ανάγλυφο της περιοχής Βαγίων όπως αποτυπώνεται μέσω της δορυφορικής εικόνας.(Google maps)

Η πεδιάδα των Βαγίων βρίσκεται στην ευρύτερη πεδιάδα των Θηβών. Ο μεγαλύτερος ορεινός όγκος της περιοχής μελέτης είναι το Σφιγγίο όρος που βρίσκεται στα Βόρειο – ανατολικά. Το

Σφιγγίο όρος συνίσταται από ανθρακικά πετρώματα. Η πεδινή περιοχή στο μεγαλύτερο τμήμα της παρουσιάζεται ταπεινωμένη τοπογραφικά και καταλαμβάνεται από Νεογενής σχηματισμούς. Οι ημιορεινές περιοχές συνορεύουν με τον κάμπο της Θήβας και με το κάτω ρου της λεκάνης του Βοιωτικού –Κηφισσού. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της περιοχής είναι μεγάλης έκτασης, έχουν υποστεί διάβρωση και τοπογραφικά αναπτύσσουν ταπεινωμένες περιοχές, που καταλαμβάνονται κατά κύριο λόγο από την σχιστοκερατολιθική διάπλαση, προσχωματικά υλικά και φλύσχη, οφιόλιθους. Όλες οι παραπάνω γεωμορφές έχουν όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασβεστολιθικών περιοχών, δηλαδή ανώμαλη επιφάνεια εδάφους, απότομες πλαγιές, βαθιές χαράδρες, φτωχό υδρογραφικό δίκτυο και καρστικά φαινόμενα διαφόρων μορφών. Η γεωμορφολογική εικόνα των ασβεστόλιθων παρουσιάζει διάβρωση διαφορετικού χαρακτήρα από περιοχή σε περιοχή. Συγκεκριμένα έχουν δημιουργηθεί καταβόθρες, στο πεδινό τμήμα, που βρίσκεται πρόποδες του Σφιγγίου(Φαγός) όρους. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής επικρατούν διαβρωμένα υλικά μεγάλου πάχους και αυτό δείχνει διάβρωση κατά την οριζόντια κατεύθυνση. Η διάβρωση των ασβεστόλιθων δημιουργεί μορφές που ονομάζονται καρστικές. Η λεκάνη διακρίνεται από τρία βασικά τμήματα, το ορεινό στα βόρεια, τα ημιορεινά σε ολόκληρη την περιφέρεια την περιοχής μελέτης, εκτός από τα ανατολικά και τα πεδινά στο κέντρο.

## 8.2 Υδρογραφικά στοιχεία

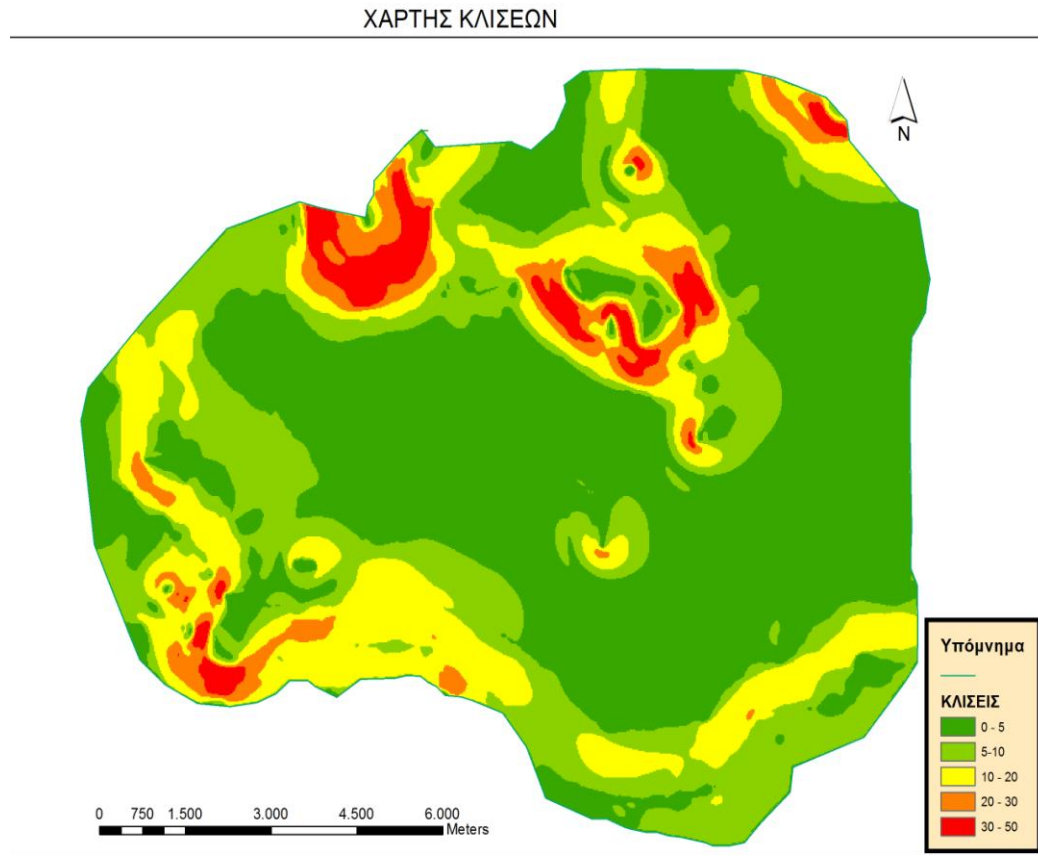
Η λεπτομερής ανάλυση των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης των Βαγίων, σε συνδυασμό με την γεωλογική δομή των πετρωμάτων, τις κλιματικές συνθήκες και την γεωμορφολογία της περιοχής δημιουργούν την υδρογραφία της περιοχής. Η λεκάνη των Βαγίων έχει αναπτυγμένο υπόγειο υδρογραφικό δίκτυο και όχι επιφανειακό. Το επιφανειακό δίκτυο της λεκάνης είναι σχεδόν ανύπαρκτο διότι το έδαφος καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα υψηλού βαθμού αποκάρσωσης και διάρρηξης, τα οποία αποκλείουν τη δημιουργία πολύκλαδου υδρογραφικού δικτύου. Ο χείμαρρος Κανάβαρι που σχηματίζεται περιοδικά, ξεκινάει από τη Θήβα και εκτείνεται προς τα νοτιοδυτικά και πέραν των Θεσπιών σχηματίζεται επιφανειακά και δέχεται τις επιφανειακές απορροές της λεκάνης των Βαγιών, διαμέσου της τάφρου που αποστραγγίζει μερικώς το έλος Φαγά. Το έλος σχηματίζεται περιοδικά στο κατώτερο τμήμα της Λεκάνης των Βαγιών, βόρεια της οδού Θηβών –Λειβαδιάς. Και εκτός από την τάφρο, αποστραγγίζεται δια

μέσου καταβόθρων, οι οποίες βρίσκονται στην βόρεια ζώνη του έλους, στους ασβεστόλιθους του όρους Φαγά. (Κουμαντάκης). Σε αντίθεση με το επιφανειακό το υπόγειο υδρογραφικό δίκτυο έχει σημαντική ανάπτυξη, λόγω των καρστοποιημένων ασβεστολιθικών και των δομών που αναπτύσσουν, καρστικές υπόγειες δομές, καταβόθρες, τάφρους. Επίσης, η ανάπτυξη υπόγειου υδρογραφικού δικτύου αναπτύσσεται και έξω από τα όρια της λεκάνης, στις ασβεστολιθικές μάζες της Κωπαΐδας, καθώς και η απευθείας διήθηση νερού από τον Βοιωτικό-Κηφισσό σε ασβεστολιθικές μάζες, αλλά και οι διαφυγές νερού από τις λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη.

### 8.3 Μορφολογικές κλίσεις

Στην παρακάτω εικόνα 8.2, ο χάρτης δείχνει τις μορφολογικές κλίσεις του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Οι τιμές των κλίσεων κυμαίνονται από 0%-50%. Τα ορεινά τμήματα παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται από 30-50%, απότομες κλίσεις. Οι τιμές μειώνονται μέχρι να μηδενιστούν στα πεδινά, σταδιακά από τα ορεινά και το ανάγλυφο να γίνει ηπιότερο. Συγκεκριμένα οι τιμές από 30-50%, παρατηρούνται στις ορεινές περιοχές. Οι τιμές από 20-30% παρατηρούνται στα πρηνή περιμετρικά της ορεινής και ημιορεινής περιοχής, από διαβρωτικές διεργασίες. Οι τιμές από 10-20% εμφανίζονται κατά την έξοδο από τους ορεινούς όγκους. Οι τιμές 5-10%, ομαλά εμφανίζονται στο τέλος των πρηνών προς τις πεδινές εκτάσεις. Όλες οι πεδινές εκτάσεις έχουν κλίσεις από 0-5%.





**Εικόνα 8.2:** Χάρτης κλίσεων, υδρολογικής λεκάνης Βαγίων

## 8.4 ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

### 8.4.1 ΈΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ

Ο όρος καρστ προέρχεται από την σέρβικη λέξη Kras = λίθος που αποτελεί τη ρίζα της ιταλικής θέσης Carso. Η περιοχή Carso είναι περιοχή μήκους 300 μιλίων που εκτείνεται κατά μήκος της βορειοανατολικής ακτής της Αδριατικής και αποτελείται από ασβεστόλιθους όπου τα καρστικά φαινόμενα είναι πολύ έντονα .

Τα καρστικά φαινόμενα απαντούν σε μικρότερο βαθμό στο ορυκτό αλάτι, στη γύψο και ενδεχόμενα στον δολομίτη καθώς και σε πετρώματα που περιέχουν ασβεστίτη και γύψο όπως για παράδειγμα είναι οι γυψομιγείς αργιλικοί σχιστόλιθοι, ασβεστιτικοί ψαμμίτες, τα ασβεστιτικά

κροκαλοπαγή, οι ασβεστολιθικές μάργες, η κρητίδα και πολλά άλλα (Κοντόπουλος, 2004) Το νερό της βροχής παραλαμβάνει το διοξείδιο από την ατμόσφαιρα και ως ασθενές ανθρακικό οξύ επενεργεί επί των ασβεστόλιθων και παράγεται ευδιάλυτο όξινο ανθρακικό ασβέστιο με αποτέλεσμα να διαλύονται οι ασβεστόλιθοι και να σχηματίζονται χαρακτηριστικές μορφές αποσάθρωσης. Το σύνολο των παραπάνω μορφών συνιστούν τα καρστικά φαινόμενα. Χαρακτηριστικές μορφές αποσάθρωσης των ασβεστόλιθων εμφανίζονται είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό τους με την κάθοδο του νερού μέσα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις των ασβεστόλιθων. Το καρστικό μέσο είναι το πλέον δύσκολο στη σύλληψη και υδραυλική αντιμετώπιση του, καθώς αποτελεί το πλέον απρόβλεπτο, ετερογενές και ανισόρροπο μέσο, αυτό προκύπτει από τις συνθήκες γενέσεως και εξελίξεως του κάρστ. Από υδρογεωλογικής και υδραυλικής πλευράς η θεώρηση του κάρστ, βασιζόταν για μεγάλο χρονικό διάστημα στη γεωμορφολογική του φαινομένου. Η μορφή του καρστικού δικτύου είναι πολύπλοκη, από τη φάση των λίγο καρστικοποιημένων διακλάσεων, μέχρι τη φάση των μεγάλων καρστικών αγωγών, υπόγειων ποταμών και σπηλαίων. Οι βασικές προϋποθέσεις ισχύος του νόμου του Darcy, στο καρστικό μέσο δεν ισχύει καθώς η τριβή δεν είναι πλέον η μοναδική δύναμη που αντιστέκεται στη ροή. Στους καρστικούς αγωγούς, το φαινόμενο της τριβής περιορίζεται στα τοιχώματα των αγωγών ενώ στο εσωτερικό της κινούμενης υδάτινης μάζας, εμφανίζεται μια άλλη δύναμη, της αδράνειας, αντιστεκόμενη στη ροή. Η βαρύτητα δεν είναι η μοναδική κινούσα δύναμη, καθώς ανοδικές κινήσεις από πιέσεις αερίων δεν είναι σπάνιες στα καρστικά συστήματα.

#### 8.4.2 ΕΞΩΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ

##### A) ΕΞΩΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ή ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

Οι κυριότερες εξωκαρστικές ή επιφανειακές καρστικές μορφές είναι:

A) Οι γλυφές: σε γυμνούς ασβεστόλιθους που στερούνται βλάστησης σχηματίζονται βαθιά αυλάκια. Τα αυλάκια αυτά ακολουθούν το σύστημα των διακλάσεων εξαιτίας της διαλυτικής δράσης του νερού που ενεργεί στις διακλάσεις.

B) Καρστικά φρεάτια: βαθιά κοιλώματα που προκύπτουν από την διαλυτική δράση του νερού πάνω στον μανδύα αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου. Πληρούνται από άλλα υλικά των γύρω πετρωμάτων.

Γ) Δολίνες: είναι κοιλότητες κυκλικής ή ελλειπτικής μορφής που το εύρος τους είναι συνήθως μεγαλύτερο του βάθους τους. Οι δολίνες μπορεί να προέρχονται είτε εξαιτίας της διαλυτικής δράσης του νερού είτε από την κατάρρευση της οροφής υπόγειου σπηλαίου.

Δ) Ουβάλες: με την προοδευτική διεύρυνση των δολίνων δημιουργούνται πολύπλοκες μορφές που καλούνται ουβάλες.

Ε) Καρστική λίμνη: αν ο πυθμένας μιας δολίνης ή καταβόθρας γεμίσει με αργιλικό υλικό τότε το νερό δεν μπορεί να κατεισχύσει περαιτέρω και σχηματίζονται μικρές λίμνες.

ΣΤ) Πόλγες: είναι καρστικές πεδιάδες που παράγονται είτε με την συνένωση δολίνων και ουβάλων είτε με διαβρωσιγενείς παράγοντες που συνδυάζονται με μια επιφανειακή ταπείνωση.

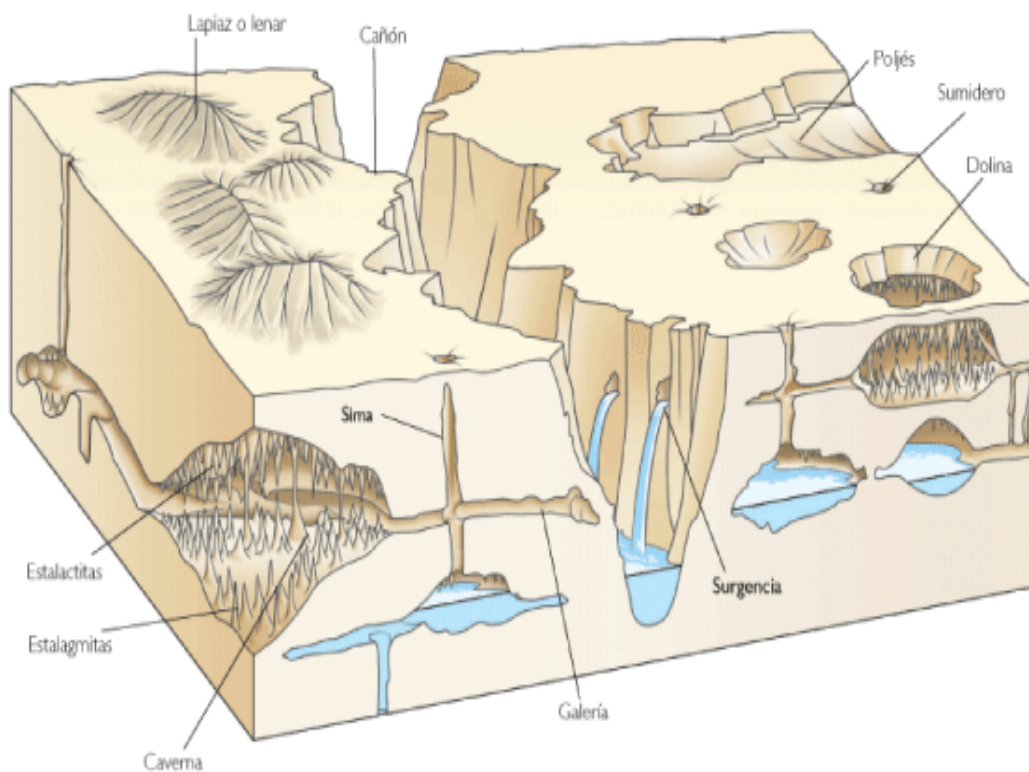
Ζ) Canyons: κοιλάδες στενές, βαθιές με απότομα μέχρι κατακόρυφα τοιχώματα. Δημιουργούνται με την κατακόρυφη διάβρωση των βρόχινων νερών που συνδυάζονται κατά περιόδους με επιφανειακή ροή. Επίσης μπορούν να δημιουργηθούν και από την πτώση της οροφής υπόγειων σπηλαίων.

## B) ΕΝΔΟΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ή ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ

Σε αυτά ανήκουν:

A) Καταβόθρες: είναι χάσματα επί των ασβεστόλιθων στα όποια τα επιφανειακά ρέοντα ύδατα εισέρχονται και συνεχίζουν την πορεία τους υπόγεια μέσα από ένα σύστημα υπόγειων αγωγών, στοών, σπηλαίων και αγωγών λαβυρινθώδους μορφής. Οι δημιουργία τους διευκολύνεται με την εκλεκτική διαλυτοποίηση των ασβεστόλιθων σε θέσης προϋπάρχοντος ρήγματος. Σύμφωνα με τον Philippson οι καταβόθρες διακρίνονται σε καταρροφικές και πυλοειδείς. Οι πρώτες έχουν πινακοειδή μορφή, αναπτύσσονται στα βαθύτερα σημεία της καρστικής κοιλάδας και καλύπτονται από προσχώσεις. Έτσι, οι καταβόθρες αυτές λόγω βραδείας καταρρόφησης του νερού μεταβάλλονται σε λίμνες και έλη. Οι πυλοειδής καταβόθρες είναι χάσματα ή μεγάλες οπές.

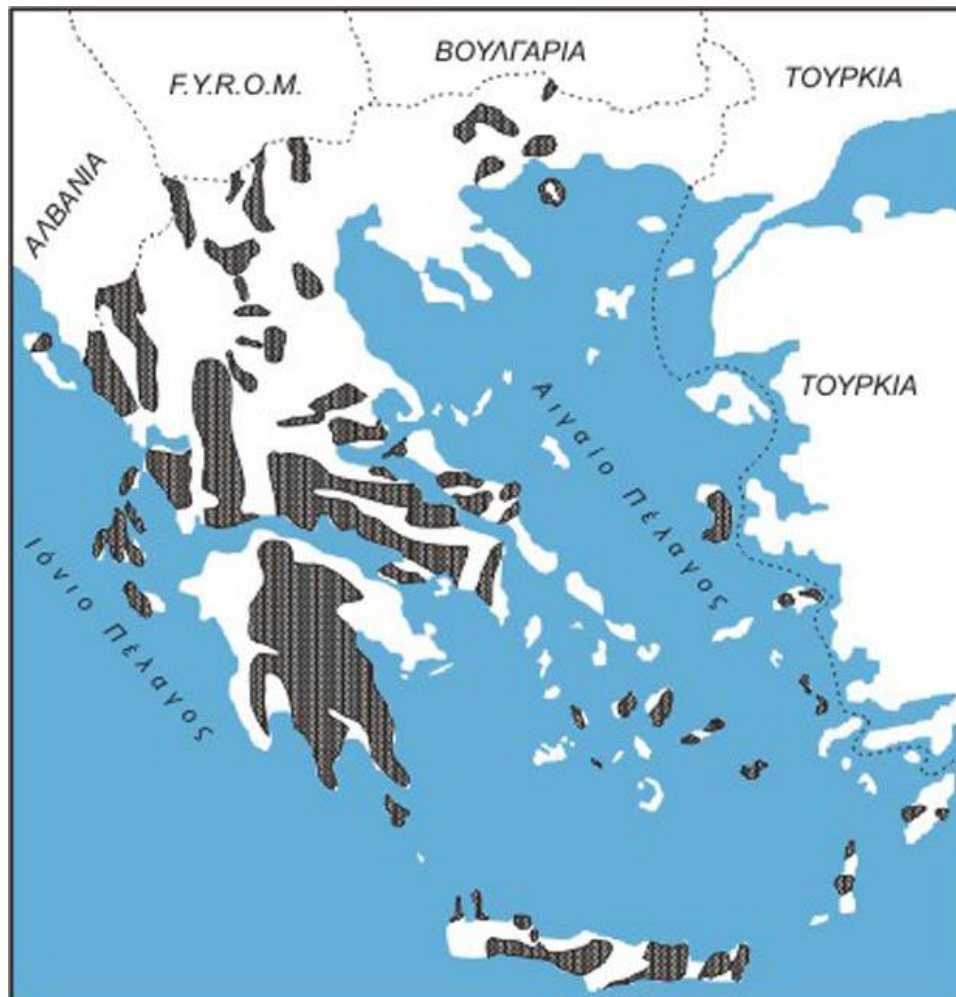
Β) Σπήλαια: κοιλότητες με ποικίλο μέγεθος και σχήμα. Παράγονται στο εσωτερικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και επικοινωνούν με την επιφάνεια του εδάφους με μικρά στόμια. Τα σπήλαια παράγονται με την συγκέντρωση της διαλυτικής δράσης του νερού σε ορισμένες θέσεις και με την προϋπόθεση ότι απουσιάζει ο πορώδης ασβεστόλιθος ο οποίος επιτρέπει την κίνηση του νερού σε όλες τις κατευθύνσεις. Σπήλαια δημιουργούνται και σε ηφαιστειακά πετρώματα καθώς και στις ακτές εξαιτίας της μηχανικής ενέργειας των κυμάτων επί μαλακών πετρωμάτων (ψαμμίτες).



**Εικόνα 8.3 :** Τύποι εξωκαρστικών και ενδοκαρστικών μορφών

Ο ασβεστόλιθος είναι μονόμεικτο πέτρωμα αποτελούμενο κυρίως από ασβεστίτη. Η απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να είναι είτε χημική (κορεσμός λόγω εξάτμισης ή αύξησης συγκέντρωσης ή αλλαγής φυσικοχημικών σταθερών) είτε βιογενής από συσσώρευση και συμπαγοποίηση των σκελετικών στοιχείων διαφόρων ζωικών ή φυτικών οργανισμών μετά το θάνατό τους. Στην Ελλάδα (εικόνα 8.4 ) υπάρχουν τέτοιες περιοχές και αποτελούν καρστικά

μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς όπως είναι τα Σπήλαια της Δράμας, Αλιστράτης Σερρών, Πετραλώνων Χαλκιδικής οι πηγές της Λέρνης και Κασταλία, καταβόθρες της Κωπαΐδας, Λίμνη Βουλιαγμένης, Καταβόθρες Αργοστολίου, σήραγγα Ευπαλίνου , κ.α. όπως περιέχονται σε συμβολή της Ελληνικής πλευράς σε σχετικό συνέδριο της UNESCO, για τη σύνταξη καταλόγου Καρστικών Μνημείων της Φύσης στο πλαίσιο της παγκόσμιας Πολιτιστικής κληρονομιάς



**Εικόνα 8.4:** Χάρτης Καρστικών Περιοχών στην Ελλάδα,(πηγή :Στουρνάρας)

## 9.ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Η υδρολογική μελέτη της λεκάνης των Βαγίων έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου ώστε να μελετηθούν οι εισροές και εκροές τις λεκάνης. Το υδρολογικό ισοζύγιο αποβλέπει στον υπολογισμό αποθεμάτων νερού . Η αποτύπωση του Υδατικού Ισοζυγίου στην λεκάνη των Βαγίων πραγματοποιήθηκε με το υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης MIKE-SHE και αναπτύσσεται παρακάτω.

### 9.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βόρειου Ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιοι χειμώνες και υγροί χειμώνες και σχετικώς ξηρά, θερμά καλοκαίρια με μεγάλη ηλιοφάνεια όλο το χρόνο. Βέβαια, κατά μήκος της Ελλάδας εμφανίζονται πολλοί διαφορετικοί κλιματικοί τύποι, λόγω της τοπογραφικής ποικιλομορφίας. Η Βοιωτία παρουσιάζει κλιματικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το υψόμετρο. Το κλίμα της είναι γενικά Μεσογειακό με ζεστά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες και στο εσωτερικό με μεγαλύτερο υψόμετρο γίνεται Ηπειρωτικό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Στις δυτικές πεδινές περιοχές ο χειμώνας είναι πιο ήπιος, με αρκετές βροχές, ενώ στη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες ,που συχνά ξεπερνούν του 40°C, με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Η μέση θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται από 16-18°C. Στην Ανατολική Στερεά ,λόγο των ορεινών όγκων ο χειμώνας είναι πιο ψυχρός και το καλοκαίρι πιο δροσερό. Οι τιμές της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας όλο το χρόνο στην περιοχή είναι αρκετά υψηλές .

### 9.2 ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΗΣΜΑΤΑ

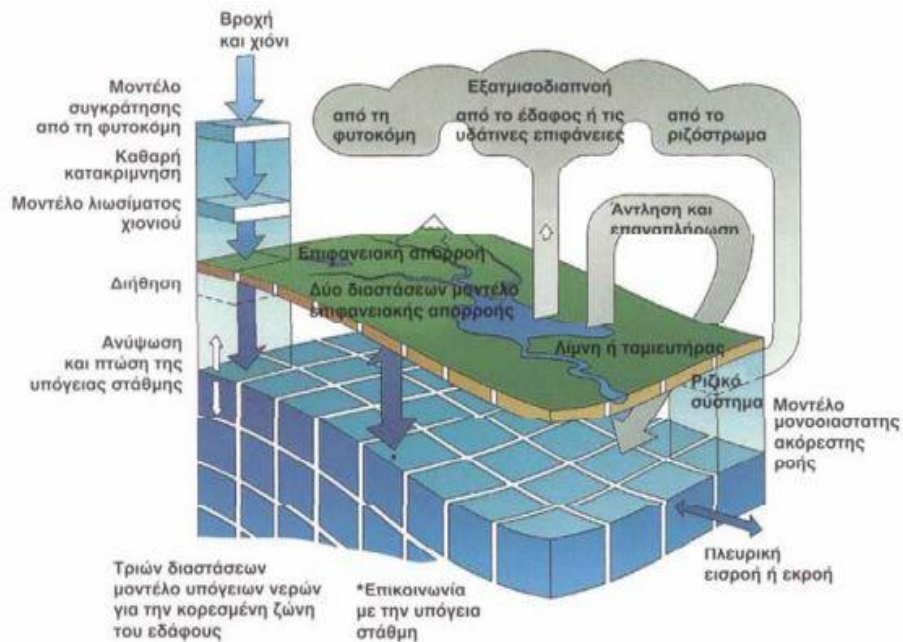
Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελούν πηγή εισροών νερού στην λεκάνη των Βαγίων , με διάφορες μορφές όπως βροχή, χαλάζι, χιόνι Η βροχόπτωση και το χιόνι αποτελούν την σπουδαιότερη πηγή τροφοδοσίας για την λεκάνη. Η χιονοκάλυψη στους ορεινούς όγκους του Παρνασσού και του Ελικώνα εμφανίζονται στα περιοδικά από τον Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο. Οι χιονοπτώσεις εμφανίζονται με μικρή σχετικά συχνότητα στα πεδινά της περιοχής , ενώ στα ορεινά τμήματα εκτός λεκάνης Βαγίων ,στον Παρνασσό και Ελικώνα είναι συχνότερες και φθάνουν στις 25 ημέρες και το ύψος του χιονιού φθάνει και τα 2 μέτρα.(ΙΓΜΕ)

Οι βροχοπτώσεις που αφορούν τη λεκάνη των Βαγίων, βασίζονται στις μετρήσεις που τον σταθμό της Ε.Μ.Υ, της Τανάγρας, με χρονοσειρά 01/09/1994-31/08/2014. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της μελέτης του υδρολογικού ισοζυγίου, που αναλύεται παρακάτω. Η μελέτη του ισοζυγίου έγινε με εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Mike She.

### 9.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 9.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Το ομοίωμα MIKE SHE βασίζεται στην υπολογιστική πλατφόρμα του ομοιώματος Systeme Hydrologique Europeen (SHE), το οποίο είναι αποτέλεσμα πανευρωπαϊκού ερευνητικού έργου, στο οποίο συμμετείχαν το Danish Hydraulic Institute (DHI) της Δανίας, το Institute of Hydrology της Μεγάλης Βρετανίας και η SOGREAH της Γαλλίας. Η εμπορική του μορφή με την διεπιφάνεια χρήστη (user interface) αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε από την Danish Hydraulic Institute (DHI), που είναι και ειδικός συνεργάτης του παρόντος έργου. Στην αρχική του μορφή, το MIKE SHE είναι ένα φυσικώς θεμελιωμένο, ντετερμινιστικό και πλήρως χωρικά κατανεμημένο ομοίωμα. Η προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου αποτελείται από έξι συνιστώσες που περιγράφουν τις φυσικές διεργασίες της μετατροπής της βροχής ( που είναι και η βασικότερη παράμετρος) σε απορροή: (α) κατακράτηση /εξατμισοδιαπνοή, (β) επιφανειακή και συγκεντρωμένη απορροή, (γ) ροή στην ακόρεστη ζώνη, (δ) ροή στην κορεσμένη ζώνη, (ε) τήξη χιονιού, και (στ) αλληλεπίδραση των υπόγειων υδροφορέων με το υδρογραφικό δίκτυο.



**Εικόνα 9.6:** Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου MIKE SHE

### 9.3.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων

#### ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(P)

Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχτηκαν από τον σταθμό της Τανάγρας, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Η βροχόπτωση στην περιοχή μετρήθηκε σε ύψος νερού σε mm. Στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής η μορφή των κατακρημνισμάτων που μετρήθηκε ήταν οι βροχοπτώσεις στην περιοχή. Οι τιμές του σταθμού του Αλιάρτου δεν μετρήθηκαν διότι η χρονοσειρά ήταν ελλιπής. Τα μετεωρολογικά στοιχεία που επεξεργάστηκαν αρχικά χρησιμοποιήθηκε αρχείο Excell και τροποποιήθηκε ώστε να αποτελεί αρχείο του MIKE SHE. Η ακραία τιμή της βροχόπτωσης σε ημερήσια δεδομένα είναι 100mm άρα και η τιμή της ημερήσιας απορροής αυξάνει.





**Εικόνα 9.1:** Ημερήσια βροχόπτωση σε mm /d

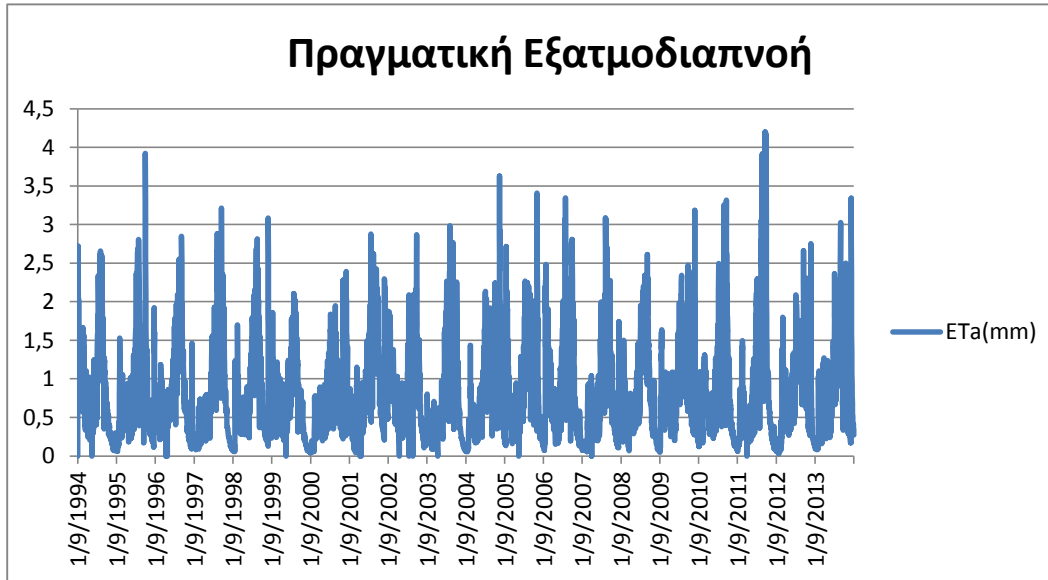
#### ΕΞΑΤΜΗΣΟΔΙΑΠΝΟΗ(ET)

Η απώλεια του νερού που είναι γνωστή ως εξατμισοδιαπνοή(ET), είναι η απώλεια του νερού που επιτυγχάνεται με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φυτών με τη συνδυασμένη απώλεια νερού μέσω της φυτοκάλυψης .

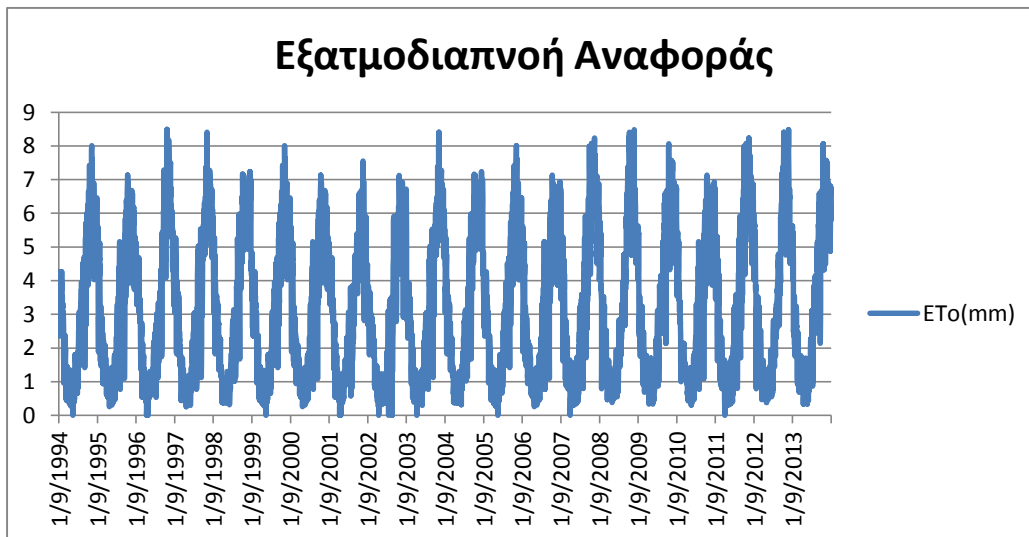
Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET<sub>a</sub>) περιγράφει τη συνολική διεργασία μεταφοράς νερού στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες. Η μέθοδος προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής γίνεται έμμεσα, λόγω του μεγάλου αριθμού των υπεισερχόμενων παραγόντων και της αλληλεξάρτησης αυτών. Η εξατμισοδιαπνοή από μια ιδεατή εκτεταμένη επιφάνεια καλυμμένη πλήρως από ομοιόμορφη χαμηλού ύψους χλόη που σκιάζει πλήρως το έδαφος και βρίσκεται σε συνθήκες ενεργού ανάπτυξης χωρίς έλλειψη νερού, ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET<sub>0</sub>).

Η διαδικασία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής πραγματοποιήθηκε μέσω του μοντέλου mike she. Οι τιμές μέτρησης είναι εκφρασμένες σε ισοδύναμο ύψος νερού σε mm κατά το χρονικό

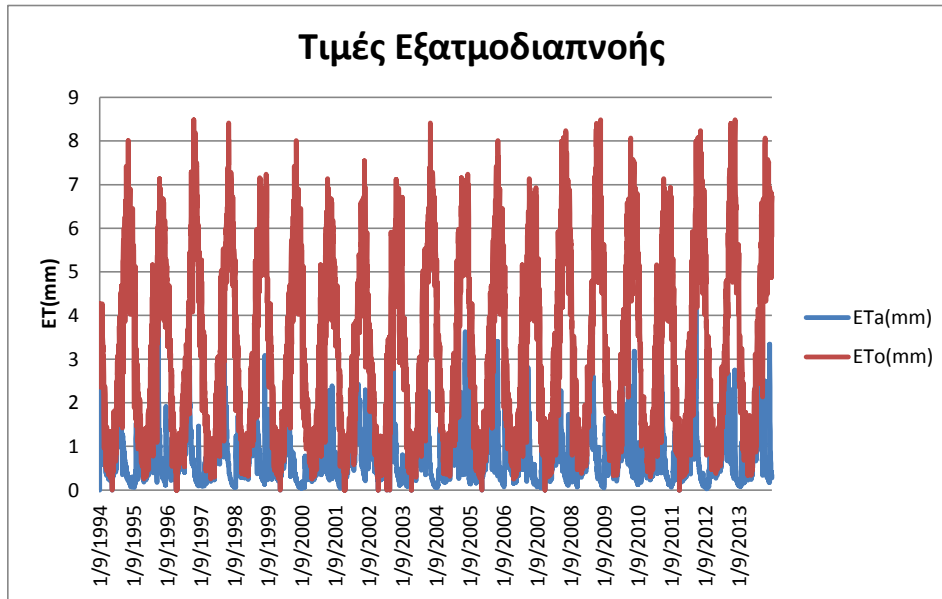
διάστημα 1/09/1994-31/08/2014. Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής στην λεκάνη των Βαγίων φθάνουν το ανώτερο όριο των 4,3 mm.



Εικόνα 9.2 : Πραγματική εξατμοδιαπνοή σε mm/d



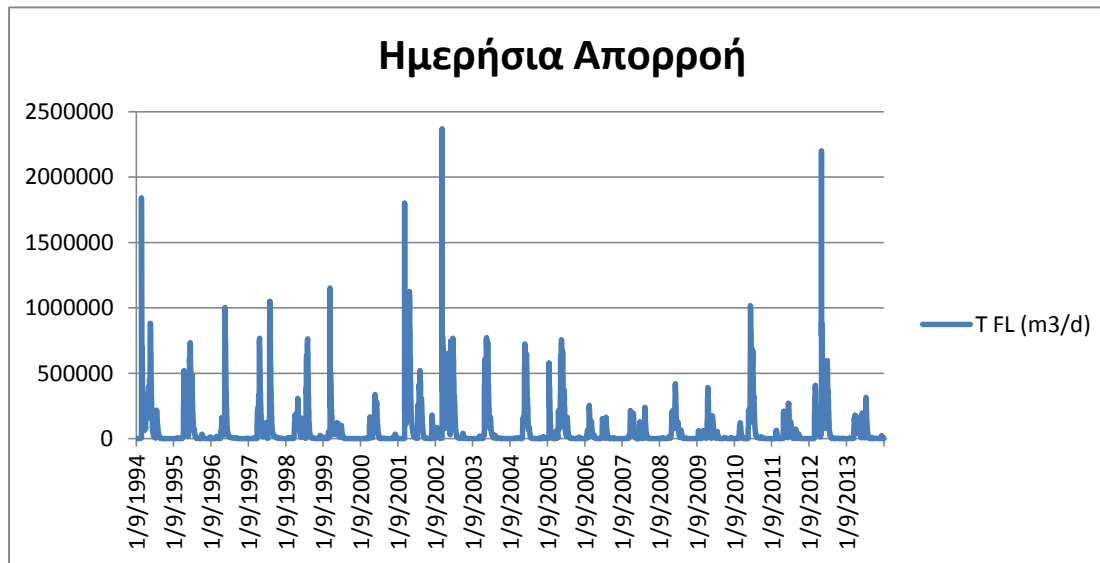
Εικόνα 9.3: Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε mm/d



**Εικόνα 9.4:** Σύγκριση τιμών εξατμισοδιαπνοής (αναφοράς –πραγματικής), σε mm/d

#### ΑΠΟΡΡΟΗ (R)

Η απορροή αποτελεί την ποσότητα του νερού που φθάνει στο έδαφος και εξαρτάται από την τοπογραφία του εδάφους, το ποσοστό της φυτοκάλυψης, την ποσότητα του νερού που διηθείται, την διαδικασία της εξάτμισοδιαπνοής και το ποσοστό του νερού που συγκρατείται από εδαφικές κοιλότητες. Η μέτρηση της απορροής στη συγκεκριμένη μελέτη έγινε με το μοντέλο προσομοίωσης Mike she, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση με άλλες διαδικασίες, όπως η διήθηση. Η Περίοδος Προσομοίωσης είναι 01/09/1994-31/08/2014. Ημερήσια Συνολική απορροή σε  $m^3/d$ . Χαμηλές τιμές επιφανειακής απορροής παρατηρούνται τα υδρολογικά έτη 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009, 2011-2012 και 2013-2014. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης λόγω του ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι εισροές και εκροές από γειτονικές λεκάνες και ως εκ τούτου οι τιμές Bin, Bout είναι μηδενικές.



**Εικόνα 9.5:** Ημερήσια Συνολική απορροή σε m<sup>3</sup>/d.

## 10. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η γεωλογική δομή της λεκάνης των Βαγίων σύμφωνα με χαρτογράφηση που έκανε το ΠΜΕ (Τεύχος Ν°48) , δείχνει λιθολογικούς σχηματισμούς που αποτέθηκαν, τα νεότερα κατά τον Καινοζωικό αιώνα και τα παλιότερα στο τέλος του Μεσοζωικού αιώνα ,την περίοδο του Κρητιδικού. Οι σχηματισμοί του υποβάθρου ανήκουν στην ευρύτερη Ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας. Η ενότητα της Ανατολικής Ελλάδος χαρακτηρίζεται από στρώματα που αποτέθηκαν κατά την Κενομάνια επίκλυση και μετά μέχρι το Ηώκαινο. Η έκταση αποτελούσε ένα ενιαίο γεωλογικά ομογενή παλαιογεωγραφικό χώρο. Η ενότητα αυτή ονομάζεται Ενότητα Ανατολικής Ελλάδος. Το υπόβαθρο της επίκλυσης αποτελείται από στρώματα διαφόρων γεωλογικών ενοτήτων, που επωθήθηκαν κατά την χρονική περίοδο Άνω-Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικού. Οι σχηματισμοί πλήρωσης της λεκάνης των Βαγίων αντιστοιχούν σε μεταλπικούς σχηματισμούς. Η περιγραφή της στρωματογραφίας της περιοχής θα γίνει από τους παλαιότερους στους νεότερους.

## 10.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

### 10.1.1 ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

#### ΑΝΩ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΚΑΤΩ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ(ΜΕΣΟΖΩΙΟΣ ΑΙΩΝΑΣ)

Στην περιοχή του κάμπου της Θήβας και στον κάμπο των Βαγίων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι μεσοστρωματώδεις, μελανόχρωμοι,στη συνέχεια προς τα κάτω μεσοκρυσταλλικοί, λευκότεφροι ασβεστόλιθοι. (Κουμαντάκης,)

#### ΑΝΩ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ – ΚΑΤΩ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ(ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ ΑΙΩΝΑΣ)

Οι ασβεστόλιθοι αυτής της περιόδου εμφανίζονται στην Βορειο-Ανατολική πλευρά της λεκάνης στο Σφίγγιο (Φαγάς) Όρος και στα δυτικά πάνω από το χωριό Μαυρομάτι. βΟι ασβεστόλιθοι είναι λεπτο-στρωματώδης και άστρωτη, διαρρηγμένοι και αποκαστρομένοι. Συνήθως τεφροί έως ανοιχτόχρωμοι αφαντικής έως μικροκρυσταλλικής υφής πετρώματα. Το πάχος της σειράς εντοπίζεται στα 200μ. περίπου. Ασβεστόλιθοι εμφανίζονται μετά την ορεινή μάζα του Σφίγγιου με προσανατολισμό τη Θήβα.

Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (οφιολιθικό σύμπλεγμα), αποτελούμενη από αργιλομαργαϊκούς σχιστόλιθους, ψαμμίτες και οφιόλιθους με κερατόλιθους εμφανίζεται στα βορειοανατολικά του όρους Φαγά σε μικρή διάπλαση, όπως παρατηρείται και στο γεωλογικός χάρτη.( Ζώνης Ανατολικής Ελλάδας)

### 10.1.2 ΜΕΤΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί εμφανίζουν μεγάλη ανάπτυξη σε όλη τη περιοχή μελέτης και διακρίνονται από τους παλαιότερους στους νεότερους σε Νεογενή ιζήματα και τεταρτογενείς αποθέσεις.

#### 10.1.2.1 ΝΕΟΓΕΝΗΣ

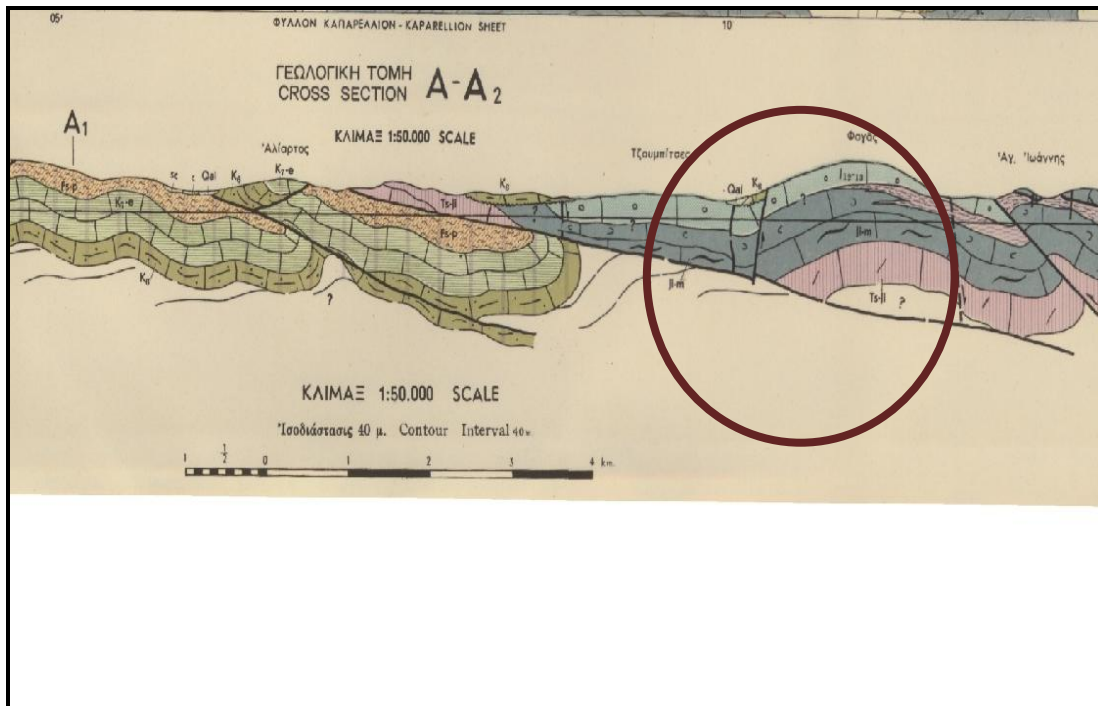
Στους Νεογενής σχηματισμούς παρατηρούνται ιζήματα λιμναίας προέλευσης, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι μικρού πάχους. Επικάθονται ασύμφωνα με το φλύσχη ή άμεσα στους ασβεστόλιθους. Στην περιοχή μελέτης είναι εμφανή, όπως και στην ευρύτερη περιοχή, νότια της λεκάνης, όπως φαίνεται και στο χάρτη(4.5).

#### 10.1.2.2 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗΣ

Οι σχηματισμοί πλήρωσης της λεκάνης εμφανίζονται σε όλη την έκταση της πεδιάδας των Βαγίων και αποτελούνται από Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις. Περιλαμβάνουν ποικίλου τύπου πετρώματα: λιμναίες και χειμαρρώδης αποθέσεις, αλλουβιακές προσχώσεις. Λιθολογικά συνίστανται από αργίλους, πηλούς άμμους, αμμοχάλικες. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται βόρεια από το χωριό Βάγια κάτω από το Σφίγγιο όρος μέχρι τα όρια της Λεκάνης στα Βόρειο-Ανατολικά. Εμφανίζονται αυτοί οι σχηματισμοί εκτός από τον κάμπο των Βαγίων και στη Θήβα και στη Κωπαΐδα. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 50m.

Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί εμφανίζονται στα όρια της λεκάνης στην Ν-Δ πλευρά στα χωριά Μαυρομάτι και Βάγια με χαρακτηριστικά κροκαλοπαγή και λεπτομερή κλαστικά υλικά με ερυθροχώματα.

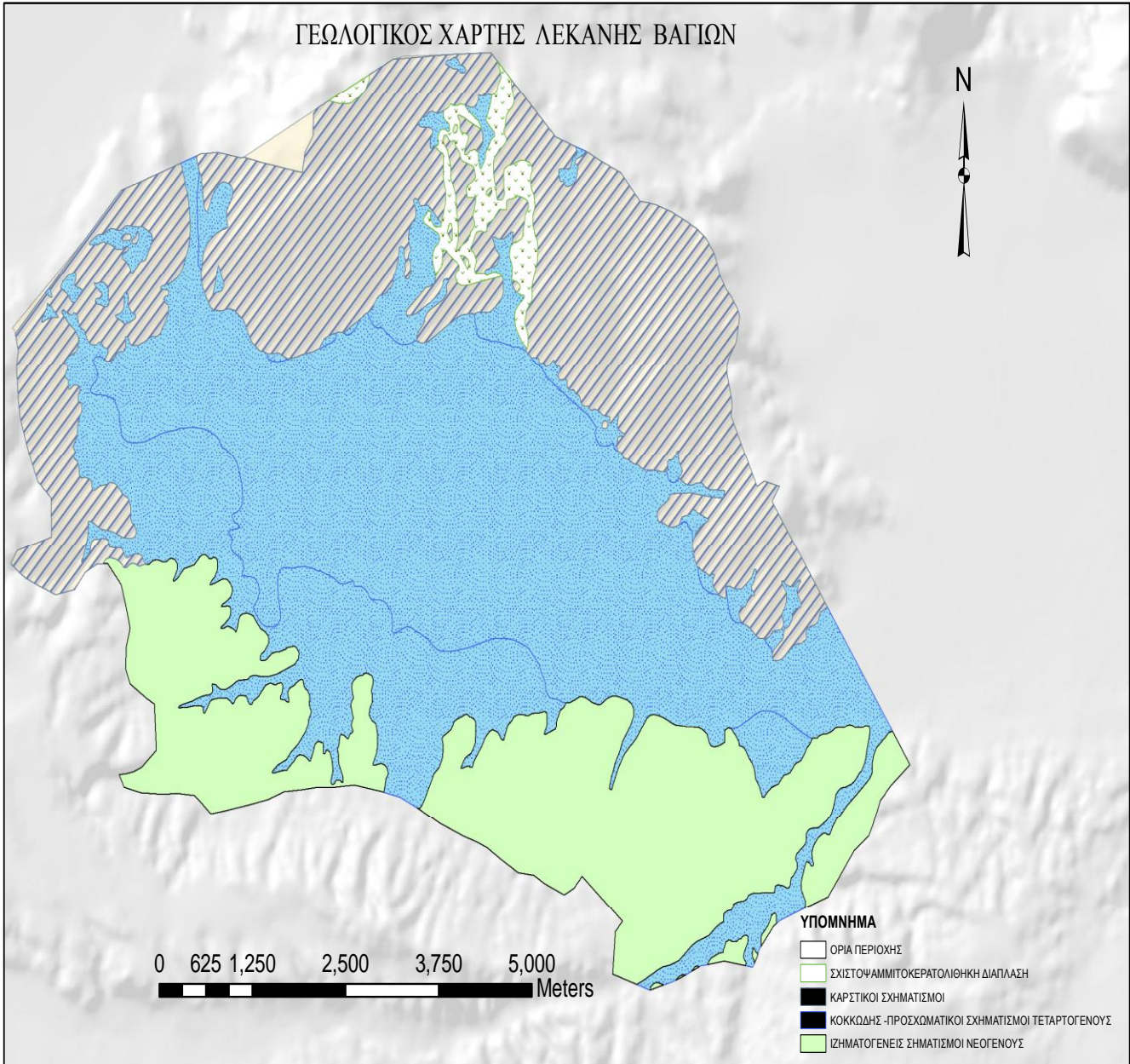
Ολοκαινικές αποθέσεις χαρακτηρίζονται από αλλουβιακές αποθέσεις. Πρόκειται για προσχωσιγενείς αποθέσεις της πεδιάδας των Βαγίων. Είναι αποθέσεις χαλαρές, ημιχαλαρές που αποτελούνται από αδρομερές και λεπτομερές κλαστικό υλικό. Το πάχος τους ποικίλλει. Στην επιφάνεια καλύπτονται από στρώμα καλλιεργήσιμου εδάφους με αργιλικό υλικό.



**Εικόνα 10.1:** Γεωλογική τομή της ευρύτερης περιοχής της Θήβας και των ασβεστολίθων του όρους Φαγός της περιοχής μελέτης,, φύλλο Καπαρέλλιον, 1: 50.000.



**Εικόνα 10.2:** Χαρακτηριστική επώθηση στη περιοχή, στο βόρειο-ανατολικό τμήμα



**Εικόνα 10.3:** Γεωλογικός χάρτης, της ευρύτερης λεκάνης Βαγίων, που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης



## 10.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η ευρύτερη περιοχή τεκτονικά εμφανίζει ποικιλομορφία και η εξελικτική της πορεία στην σημερινή μορφή αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία. Η τεκτονική μορφή της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από 2 στάδια διαμόρφωσης. Το πρώτο στάδιο είναι της Αλπικής ορογένεσης όπου εμφανίζεται η πύκωση των στρωμάτων και εκδηλώνονται εφαπτομενικές κινήσεις (εφιπεύσεις, επωθέσεις). Το δεύτερο στάδιο των τριτο –τεταρτογενών ηπειρογενέσεων κινήσεων με χαρακτηριστική διάρρηξη των στρωμάτων και την κατακόρυφη μετακίνηση μεγάλων τμημάτων της περιοχής. Στην τεκτονική οφείλεται η επώθηση των ασβεστολίθων της ζώνης Α.Ελλάδας στην Ζώνη Παρ. Γκιώνας (ΙΓΜΕ).Οι κινήσεις των ρηξιγενών τεμαχίων της περιοχής συντέλεσαν στην εξέλιξη της αρχικής τεκτονικής τάφρου. Οι εφαπτομενικές κινήσεις της περιοχής είχαν διεύθυνση από βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά και τα πετρώματα της περιοχής τέμνονται από δυο συστήματα ρηγμάτων , διευθύνσεων ΒΝ-ΝΑ και ΝΔ-ΒΑ. Τα τεκτονικά αυτά γεγονότα δημιούργησαν τις λεκάνες της ευρύτερης περιοχής (Υλική, Παραλίμνη, τμήματα διαφόρων κατά μήκος της κοιλάδας Βοιωτικού-Κηφισού) και των Βαγιών.

## 11.ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 11.1 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Η γεωλογική δομή μιας περιοχής σε συνδυασμό με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες καθορίζουν την ύπαρξη και λειτουργία των υδατικών πόρων. Στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης συμμετέχουν μια ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών, που κάθε ένας από αυτούς παρουσιάζει διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Εκτός από την λιθολογία, σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών, διαδραματίζει και η τεκτονική. Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης αποτελούνται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα. Οι ασβεστόλιθοι έχουν την κύρια εύθινη στο υδρογεωλογικό τοπίο της λεκάνης των Βαγιών, με ρυθμιστές τα πετρώματα του φλύσχη, φλυσχοειδούς και το σύμπλεγμα της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης.Οι διαβρωμένοι ανθρακικοί σχηματισμοί με τα τεκτονικά διάκενα τους διαμορφώνουν υδροφόρους ορίζοντες, υδρογεωλογικές ενότητες και λεκάνες υδρογεωλογικών ενοτήτων. Οι σχηματισμοί της περιοχής υδρογεωλογικά διακρίνονται

σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς. Στον χάρτη, 11.1 παρατηρούνται οι λιθολογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή. Αναλυτικότερα:

- Υδροπερατοί σχηματισμοί εμφανίζονται σε όλοι την λεκάνη των Βαγιών, όπως φαίνονται και στο χάρτη. Στην ομάδα αυτή υπάγονται οι ασβεστόλιθοι του Μεσοζωικού αιώνα. Συγκεκριμένα οι ανθρακικοί σχηματισμοί του υποβάθρου, παρουσιάζουν υψηλή έως πολύ υψηλή διαπερατότητα κυρίως λόγω της αποκάρσωσης και μεγάλων διαρρήξεων. Ιδιαίτερα καλή υδροφορία παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού, της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας. Γενικά μέσα στους ασβεστόλιθους διαμορφώνονται υδροφόροι ορίζοντες με πλούσια αποθέματα νερού. Το βάθος της υδροφορίας κυμαίνεται από λίγα εως μερικές εκατοντάδες μέτρα. Στην περιοχή εκτός από τους ασβεστολίθους, που καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό εξάπλωσης, εμφανίζονται οι τερτογενείς αποθέσεις που καταλαμβάνουν την πεδινή έκταση της περιοχής. Οι αποθέσεις του τεταρτογενούς χωρίζονται σε αδρομερείς σχηματισμούς (άμμοι, αμμοχάλικες, πλευρικά κορήματα,) και λεπτομερείς που είναι πρακτικά υδατοστεγανοί. Στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται με μορφή στρωμάτων διαρρηγμένων.
- Ημιπερατοί σχηματισμοί εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης με νεογενείς αποθέσεις και με το σύμπλεγμα της σχιστοψαμμιτικής διάπλασης, παρότι αποτελεί στο σύνολο της είναι υδατοστεγανή. Οι ιζηματογενείς αυτοί σχηματισμοί καταλαμβάνουν μικρή έκταση και επικάθονται στους ασβεστόλιθους. Οι σχηματισμοί του συμπλέγματος της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης αποτελούν εξαίρεση μόνο όταν τα κροκαλοπαγή του φλύσχη ασβεστολιθικής σύστασης και οι οφιόλιθοι, οι οποίοι παρουσιάζουν πρωτογενές πορώδες, που οφείλεται σε απότομη ψύξη και δευτερογενές σαν συνέπεια σαν συνέπεια κερματισμού από τεκτονικά αίτια. Αυτό ισχύει μόνο σε ανώτερα τμήματα του συμπλέγματος, στο σημείο που δεν αποφράσσεται από αργίλους. Η διάπλαση παρατηρείται στην περιοχή μελέτης στο βόρειο τμήμα μετά το όρος Φαγά, σε μικρή έκταση, όπως απεικονίζεται παραπάνω(εικόνα,10.1)

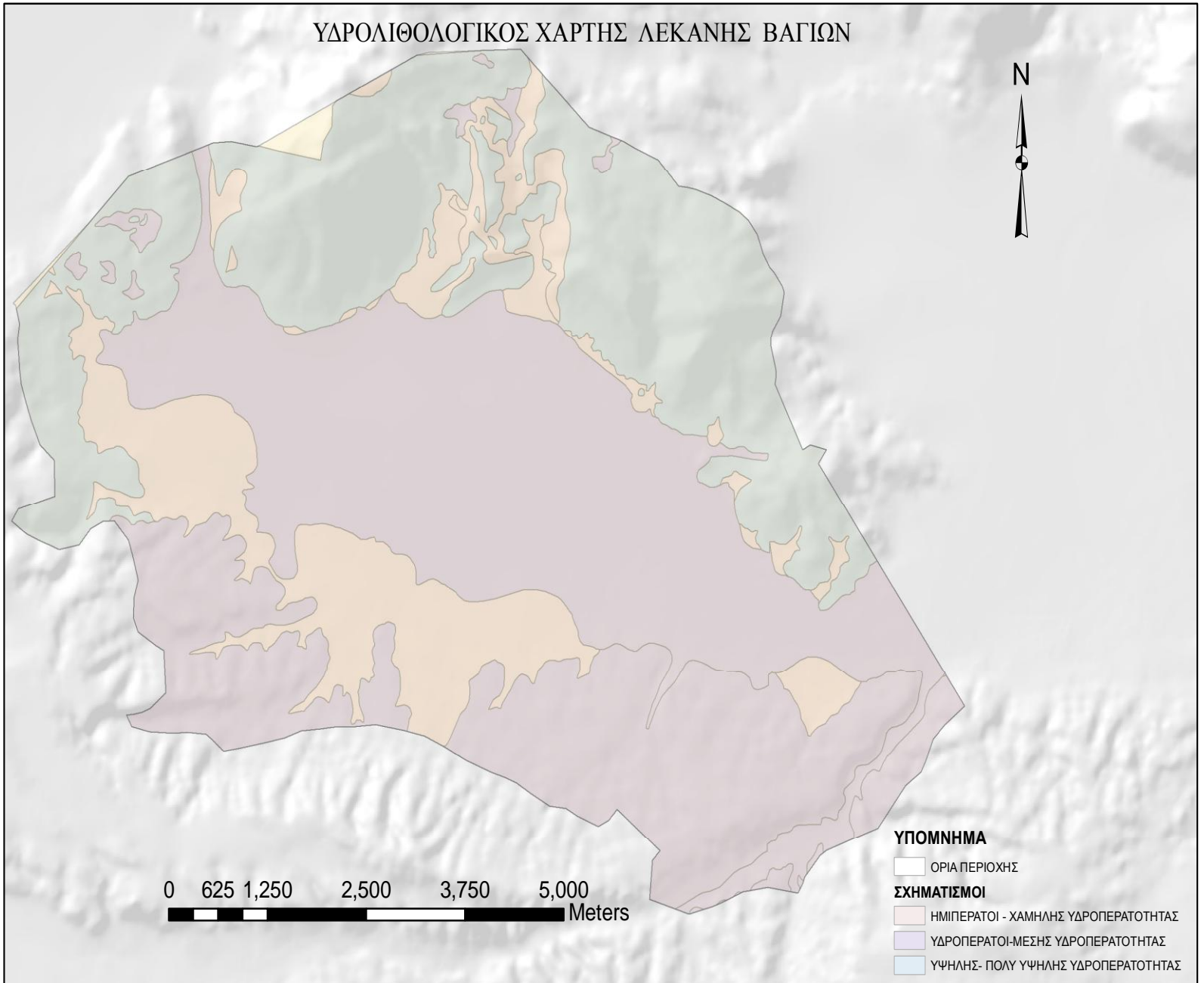
- Αδιαπερατοί σχηματισμοί δεν εμφανίζονται στην περιοχή , αλλά πρακτικά ανήκουν οι άργιλοι, οι οφιόλιθοι, και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ζώνες κατακερματισμού των σχηματισμών αυτών παρουσιάζουν κάποια υδροφορία, χωρίς όμως ιδιαίτερη σημαντικότητα.

## 11.2 Υδροφόροι ορίζοντες

Στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου των Βαγίων αναπτύσσονται δυο υδροφόροι ορίζοντες :

- ο ανώτερος κοκκώδης υδροφόρος εντός των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων και
- ο βαθύτερος καρστικός εντός των ανθρακικών σχηματισμών, των ασβεστόλιθων του υποβάθρου , ο οποίος στο πεδινό τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

Ο υδάτινος αποδέκτης των υπερκείμενων Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων είναι σε γενικές γραμμές η κλειστή λεκάνη των Βαγίων, καθώς ο υποκείμενος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος με τη σειρά του εκφορτίζεται στην κλειστή λεκάνη. Οι πηγές τροφοδοσίας του ανώτερου υδροφόρου είναι ο όγκος των κατακρημνήσεων που εισέρχονται στην λεκάνη, ενώ ο καρστικός υδροφόρος αποτελεί τμήμα της λεκάνης ασβεστολιθικού υποβάθρου του συστήματος των λιμνών Υλίκη- Παραλίμνη.



**Εικόνα 11.1:** Υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης των Βαγίων

## 12. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

### 12.1 ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η ποιότητα των υπόγειων νερών εκφράζεται από τη χημική τους σύσταση. Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού ελέγχεται από ποικίλους παράγοντες που προσδίδουν στο νερό υδροχημικά χαρακτηριστικά. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι: Εξάτμιση –Εξατμισοδιαπνοή, η εκλεκτική πρόσληψη ιόντων από τη χλωρίδα, η αποσύνθεση οργανικής ύλης, αποσάθρωση –διάλυση ανθρακικών, πυριτικών και εβαποριτών, απόθεση ορυκτών, αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής, ανάμιξη διαφορετικών νερών και ανθρωπογενείς δραστηριότητες

Οι πληροφορίες που αντλούνται από την υδροχημική ανάλυση των υπόγειων νερών συμβάλλουν στην κατηγοριοποίηση των υπόγειων νερών. Επίσης, αντλούνται πληροφορίες για το περιβάλλον προέλευσης των νερών. Στον πίνακα 6, παρουσιάζονται ενδεικτικές συγκεντρώσεις ιόντων σε υπόγεια μη ρυπασμένα νερά και η πηγή προέλευσης .

**Πίνακας 6:** Συνήθεις Ιοντικής Συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένο νερό και η πηγή προέλευσης της (appelo-postma 1994)

Στοιχείο	Συγκέντρωση mmol/l	Προέλευση
Na <sup>+</sup>	0,1-2	Άστριοι, Ορυκτό αλάτι, Ζεόλιθοι, Ατμόσφαιρα
K <sup>+</sup>	0,01-0,2	Άστριοι, Μαρμαρυγίες
Mg <sup>2+</sup>	0,05-2	Δολομίτες, Σερπεντίνες, Πυρόξενοι, Αμφίβολοι, Ολιβίνης, Μαρμαρυγίες
Ca <sup>2+</sup>	0,05-5	Ανθρακικά, Γύψος, Άστριοι, Πυρόξενοι, Αμφίβολοι
Cl <sup>-</sup>	0,05-2	Ορυκτό αλάτι, Ατμόσφαιρα
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0-5	Ανθρακικά, Οργανική ύλη
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001-0,2	Ατμόσφαιρα, Οργανική ύλη
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,01-1	Ατμόσφαιρα, Γύψος, Σουλφίδια
SiO <sub>2</sub>	0,02-1	Πυριτικά
Fe <sup>2+</sup>	0-0,5	Πυριτικά, Σιδηρίτες, Υδροξείδια, Σουλφίδια
Ολικά PO <sub>4</sub>	0-0,02	Οργανική ύλη, φωσφορικά

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού ελέγχεται από ποικίλους παράγοντες. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού, οσμή, χρώμα, θολότητα, θερμοκρασία είναι αρχικές ενδείξεις για την καταλληλότητα του νερού για χρήση του. Επίσης, για την καταλληλότητα του νερού και την κατηγοριοποίησή του για συγκεκριμένη χρήση απαραίτητος είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας

του δείγματος, η σκληρότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά, αιωρούμενα στερεά, του ΡΗ και πολλών άλλων παραμέτρων.

## 12.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

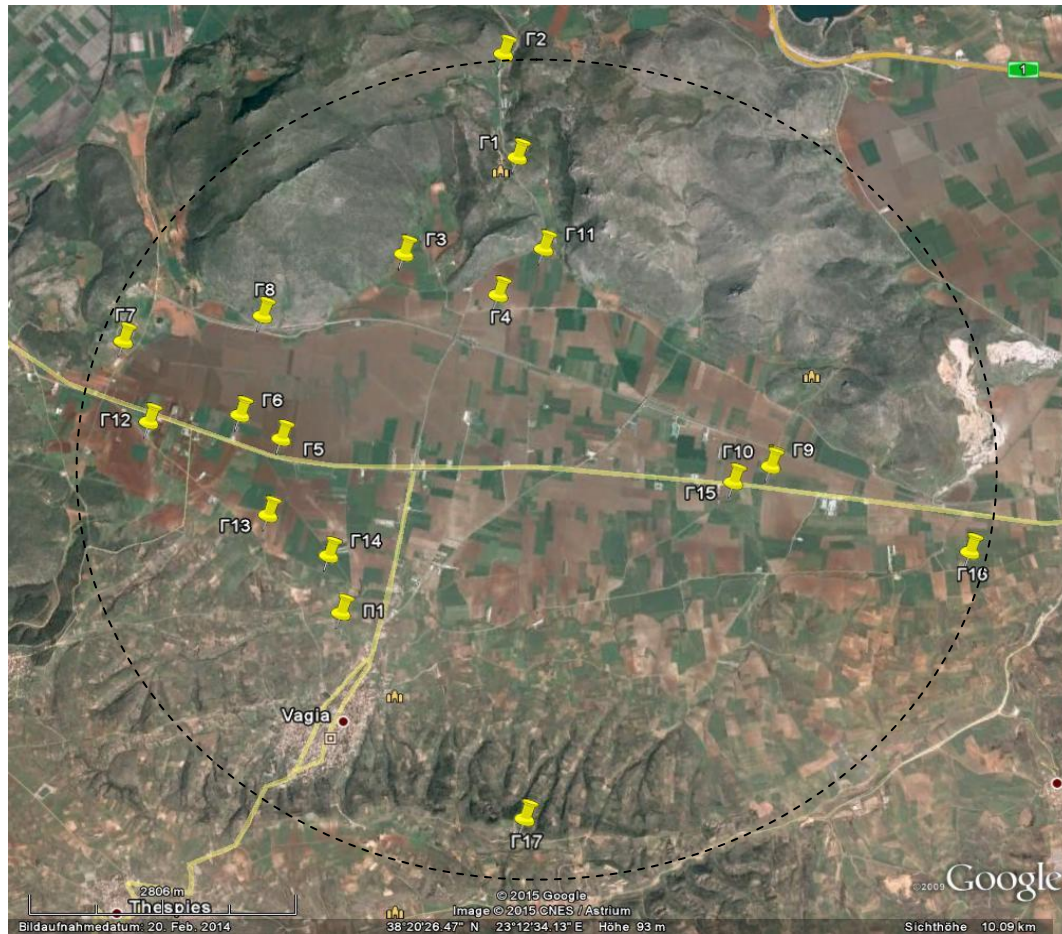
Τα περισσότερα υδροσημεία (γεωτρήσεις) έγιναν από ιδιώτες και δεν υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία για την τεχνοοικονομική κατάσταση αλλά και για την παροχή τους. Η απογραφή των υδροσημείων πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2014 και στο σύνολό τους είναι 16 γεωτρήσεις και μια πηγή. Αρκετές γεωτρήσεις έχουν μεγάλα βάθη φθάνοντας και τα 200 μέτρα, κατά προσωπικές πληροφορίες από τους ιδιοκτήτες

Το απόλυτο υψόμετρο που αναπτύσσεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στη λεκάνη των Βαγίων (προφορικές πληροφορίες από του ιδιοκτήτες γεωτρήσεων), κυμαίνεται από 70 έως 100 μέτρα, ανάλογα με τη δομή του υποβάθρου. Προφανώς εντός των νεογενών σχηματισμών αναπτύσσονται και υδροφόροι ορίζοντες υπό πίεση

Αρκετές γεωτρήσεις, ιδιαίτερα αυτές του Βόρειου και Δυτικού τμήματος της περιοχής έχουν φθάσει σε μεγάλα βάθη και εκμεταλλεύονται τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής που αναπτύσσεται εντός των ανθρακικών σχηματισμών του υποβάθρου. Στην εικόνα, 12.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο χάρτης της ευρύτερης περιοχής του κάμπου των Βαγίων, τα σημεία δειγματοληψίας, και τα μορφολογικά όρια της λεκάνης

**Πίνακας 7:** Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των Σημείων Δειγματοληψίας

D	X	Y	Υψόμ.
			(m)
Γ1	431028	4246966	138
Γ2	431058	4248112	120
Γ3	429622	4246102	94
Γ4	429739	4244720	90
Γ5	427970	4244291	80
Γ6	427576	4244604	87
Γ7	426475	4245629	87
Γ8	427998	4245682	87
Γ9	433131	4243094	71
Γ10	433130	4243094	71
Γ11	431110	4245923	93
Γ12	426586	4244703	93
Γ13	427669	4243416	100
Γ14	427662	4243407	63
Π	427664	4243409	63
Γ15	432688	4242995	111
Γ16	435056	4241774	120



**Εικόνα 12.1:** Χάρτης ευρύτερης περιοχής (google maps).Σημεία δειγματοληψίας και μορφολογικά όρια της λεκάνης

Η επιλογή των σημείων πραγματοποιήθηκε, όπου το επέτρεπαν οι συνθήκες και με τρόπο ώστε να καλύπτου όλη την περιοχή. Τα δείγματα συλλέχτηκαν σε πλαστικά μπουκάλια του ενός λίτρου, σφραγίστηκαν με πώμα και τοποθετήθηκαν σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις των κατιόντων και ανιόντων. Στο εργαστήριο τοποθετήθηκαν σε μπουκάλια χωρητικότητας 200 ml, όλα τα δείγματα και στη συνέχεια με προσθήκη 2ml HNO<sub>3</sub> συντηρήθηκαν για την ανάλυση των βαρέων μετάλλων. Επίσης κατά την μέτρηση στην ύπαιθρο των παραμέτρων, της ηλεκτρική αγωγιμότητας ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), της θερμοκρασίας( $^{\circ}\text{C}$ ) και των συνολικά διαλυμένων στερεών (mg/l) χρησιμοποιήθηκε το αγωγιμόμετρο, WTW LF 330/SET .



### 12.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο εργαστήριο έγιναν αναλύσεις στα δείγματα με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας των νερών της περιοχής. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους. Οι υδροχημικές αναλύσεις έγιναν βάσει των μεθόδων των διεθνών οδηγιών (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater by APHA-AWWA-WEF). Προσδιορίστηκαν οι ακόλουθοι χημικές παράμετροι με εφαρμογή των αντίστοιχων μεθόδων

**α) Εφαρμογή τιτλοδοτικών μεθόδων:** Ο προσδιορισμός της ολικής σκληρότητας, της ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας, των ιόντων ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ), οξυανθρακικών ( $HCO_3^-$ ) και χλωρίου ( $Cl^-$ ) πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή μεθόδων τιτλοδότησης.

- *προσδιορισμός ολικής σκληρότητας:* 50ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν δυο σταγόνες του αντιδραστήριου Hardness 1 και 1ml Potassium Hydroxide 8N και τιτλοδοτήθηκε με EDTA 0,2N (Method 8226 Manver 2 Buret Titration Hack).
- *προσδιορισμός του ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ):* 50ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο CalVer της Hach και τιτλοδοτήθηκε με EDTA 0,2N.
- *υπολογισμός του Μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ):* υπολογίστηκε η σκληρότητα του ασβεστίου ( $mg/l Ca^{2+} \times 0,14 = Ca\text{-Hardness } ^\circ dH$ ) και αφαιρέθηκε από την ολική σκληρότητα. Το υπόλοιπο που προκύπτει αντιστοιχεί στη σκληρότητα μαγνησίου, η οποία μετατρέπεται σε συγκέντρωση του μαγνησίου ( $Mg\text{-Hardness } ^\circ dH \times 0,23 = Mg^{2+} mg/l$ ).
- *προσδιορισμός ανθρακικής σκληρότητας και οξυανθρακικής ρίζας  $HCO_3^-$ :* 100ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 3 σταγόνες πυκνό διάλυμα πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου ως δείκτη και τιτλοδοτήθηκε με HCl 0,1N.Ο όγκος του τιτλοδοτή που καταναλώθηκε πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 2,8 για τον υπολογισμό της ανθρακικής σκληρότητας σε  $^\circ dH$  (γερμανικοί βαθμοί σκληρότητας) και με τον συντελεστή 61 για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της οξυανθρακικής ρίζας  $HCO_3^-$ .
- *προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου ( $Cl^-$ ):* χρησιμοποιήθηκαν 100ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 3 σταγόνες πυκνό διάλυμα διχρωμικού καλίου ( $Cr_2K_2O_4$ ) ως δείκτη και τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα  $AgNO_3$  0,1N.
- *προσδιορισμός της οξειδωσιμότητας (ανάλωσης  $KMnO_4$ ):* στα 100 ml αναβράζοντος δείγματος προστίθενται 5 ml αραιωμένου κατά 5%  $H_2SO_4$ , 10 ml οξαλικού οξέως και 10 ml  $KMnO_4$  0,1N για την οξείδωση και χρήση  $KMnO_4$  0,1N ως τιτλοδοτή (Hoell, 1979).

**β) Εφαρμογή φασματοφωτομετρικών μεθόδων:** Τα φωσφορικά  $PO_4^{3-}$ , τα θειικά  $SO_4^{2-}$ , τα νιτρικά  $NO_3^-$ , τ' αμμωνιακά ιόντα  $NH_4^+$ , τα νιτρώδη  $NO_2^-$  και το διοξείδιο του πυριτίου  $SiO_2$ , προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000 με χρήση των αντίστοιχων αντιδραστηρίων:

- *προσδιορισμός των Φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Phosver 3 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 890nm, εύρος συγκεντρώσεων  $PO_4^{-3}$  από 0 - 5mg/l (Phosphorous Reactive Method 8048 Hach).
- *προσδιορισμός των Θεικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο SulphaVer 3 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 450nm (Method 8051 Hach).
- *προσδιορισμός των Νιτρικών ιόντων ( $NO_3^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο NitraVer 5 της Hach (Cadmium Reduction Method, 8039), προσδιορισμός σε μήκος κύματος 500nm, εύρος ανίχνευσης 0-30mg/l.
- *προσδιορισμός των Αμμωνιακών ιόντων( $NH_4^+$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν το αντιδραστήριο Phosver 3 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 425nm, εύρος συγκεντρώσεων  $NH_3-N$  από 0-2,5mg/l.
- *προσδιορισμός των Νιτρωδών ιόντων ( $NO_2^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Nitriver της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 410nm.
- *προσδιορισμός του διοξειδίου του πυριτίου ( $SiO_2$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Phosver 3 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 410nm.

**γ) Εφαρμογή φλογοφωτομετρικών μεθόδων:** Τα στοιχεία νάτριο ( $Na^+$ ) και κάλιο ( $K^+$ ) προσδιορίστηκαν φλογοφωτομετρικά με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου, Flamephotometer INTECH/420.

**δ) Εφαρμογή μεθόδων ατομικής απορρόφησης:** Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb και Zn προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Στον πίνακα 8.2, που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα μήκη κύματος, το βέλτιστο εύρος μετρήσεων και η ευαισθησία μέτρησης για κάθε ένα μετρούμενο στοιχείο.

**Πίνακας 8** :Χαρακτηριστικά στοιχεία προσδιορισμού των βαρέων μετάλλων σύμφωνα με τη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο τύπου GBS 908.

Στοιχείο	Μήκος Κύματος (Wavelength) (nm)	Βέλτιστο εύρος μετρήσεων (Optimum working range) (ppm)	Ευαισθησία οργάνου (µg/ml)
Cd (Κάδμιο)	228,8	0,2 - 1,8	0,009
Co (Κοβάλτιο)	240,7	2,5 -9,0	0,050
Cr (Χρόμιο ολικό)	357,9	2,0 – 15,0	0,050
Cu (Χαλκός)	324,7	1,0 – 5,0	0,025
Fe (Σίδηρος ολικός)	248,3	2,0 – 9,0	0,050
Mn (Μαγγάνιο)	279,5	1,0 - 3,6	0,020
Ni (Νικέλιο)	232,0	1,8 – 8,0	0,040
Pb (Μόλυβδος)	217,0	2,5 – 20	0,060
Zn (Ψευδάργυρος)	213,9	0,4 - 1,5	0,008

#### 12.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι υδροχημικές αναλύσεις έδωσαν αποτελέσματα για τον χημισμό του νερού (φυσικο-χημικές παράμετροι) και την καταλληλότητα του για ανθρώπινη χρήση. Μετρήθηκε το ισοζύγιο ανιόντων και κατιόντων σε όλα τα δείγματα για να εξακριβωθεί εάν έγινε μια πλήρης και ακριβής ανάλυση σε κάθε δείγμα. Σύμφωνα με τη ακόλουθη σχέση υπολογίστηκε σε κάθε δείγμα το σφάλμα ισοζυγίου:

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\sum_{\text{κατιόντων}} - \sum_{\text{ανιόντων}}}{\sum_{\text{κατιόντων}} + \sum_{\text{ανιόντων}}} \cdot 100$$

, όπου  $\Sigma$  το συνολικό άθροισμα των συγκεντρώσεων κατιόντων, ανιόντων, εκφρασμένες σε meq/l. Στην ηλεκτρική ουδετερότητα έως και 2% είναι αναπόφευκτες . Μερικές φορές και το σφάλμα έως και 5%, αλλά μεγαλύτερες θα πρέπει να εξετάζονται( Appelo, 1999). Στην συγκεκριμένη περιοχή οι αναλύσεις των νερών ένια όλες κάτω από 5%. Τα κατιόντα που χρησιμοποιήθηκαν για το ισοζύγιο είναι  $\text{Na}^+$   $\text{K}^+$   $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$ , και τα ανιόντα είναι  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$   $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{NO}_3^-$ .

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων.( Πίνακας 9) Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές παράμετροι και τα επίπεδα συγκέντρωσης και τα κύρια στοιχεία και βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος καταλληλότητας για άρδευση με τα διαγράμματα Richards και υδροχημική απεικόνιση των δειγμάτων στα διαγράμματα κατά Duro και Ripper. Στην απεικόνιση των χωρικών κατανομών σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το σύστημα γεωργικών πληροφοριών( Arc, G.I.S, esri).Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν interpolation (I.D.W), spatial analyst.

Πίνακας 9:Τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων από τα δείγματα των υπόγειων νερών του κάμπου των Βαγιών

Σημείο δειγματοληψίας	Υψόμ.	Βάθος γεωτρησης	Θερμ/σία	pH	EC	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			TDS
	Σημειου δειγματοληψιας					(m)	(m)	(°C)	
Γ1	138	136	18,5	8	593	14,4	16,2	-2,0	357
Γ2	120	180	19,5	7,7	702	17,9	14,0	3,9	409
Γ3	94		21,4	8	1029	22,0	15,1	6,9	570
Γ4	90		24	7,8	1268	20,0	15,7	4,3	663
Γ5	80	200	18,5	7,9	800	21,3	15,1	6,2	477
Γ6	87	100	17,5	7,8	825	19,1	12,8	6,2	502
Γ7	87	60	19,2	8,3	586	16,4	13,4	3	345
Γ8	87		17,5	7,7	664	17,5	14,5	2,9	397
Γ9	71	360	18	7,6	1334	32,0	17,9	14,1	700
Γ10	71	260	20	7,7	856	16,0	14,5	1,4	750
Γ11	93		23,7	7,6	1027	18,2	14,0	4,2	977
Γ12	93	200	20,1	7,6	591	16,4	12,8	3,5	563
Γ13	100		20,8	7,7	855	17,6	14,0	3,6	-
Γ14	63		19,5	8,2	612	16,4	14,0	2,4	580
Π	63		18	8,1	611	16,0	15,7	0,3	567
Γ15	111	100	18,2	7,7	1137	25,0	18,0	7,0	1086
Γ16	120		19	7,6	948	22,5	15,1	7,3	893

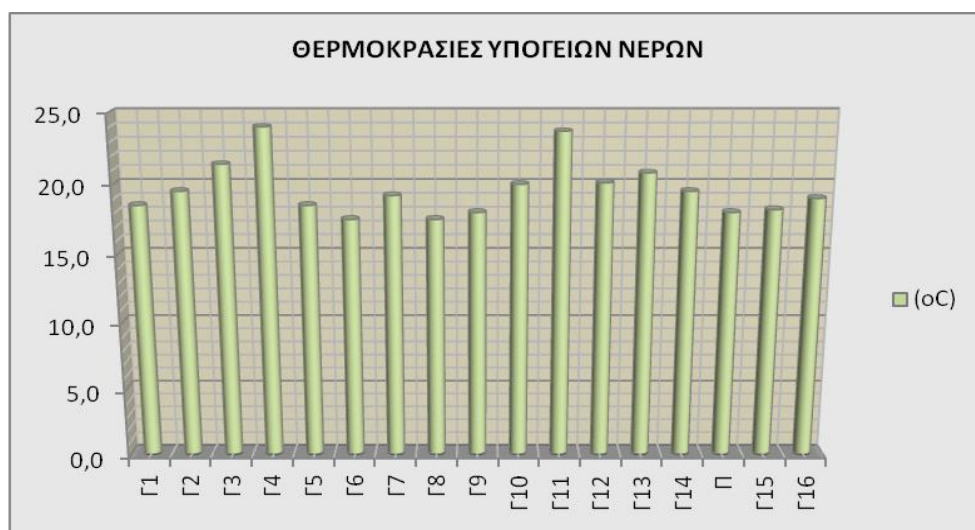
**Πίνακας 10:** Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων των υδροχημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών της περιοχής Βαγίων

D	Υψόμ. (m)	Βάθος (m)	Θερμ/σία (°C)	pH	EC μS/cm	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)					ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (ppm)						SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l		
						Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr			Cd	Co
Γ1	138	136	18,5	8	593	14,4	16,2	-2,0	83,2	11,3	65,0	1,5	0,02	353,8	49,6	30,6	24,6	0,54	0,224	0,001	0,435	<0,001	0,001	0,001	0,022	0,001	21,5	357
Γ2	120	180	19,5	7,7	702	17,9	14,0	3,9	104,0	14,8	43,7	11,4	0,24	305,0	85,1	30,8	41,3	0,94	0,026	0,082	0,440	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	9,3	409
Γ3	94		21,4	8	1029	22,0	15,1	6,9	102,4	33,5	93,5	5,3	0,10	329,4	191,4	50,0	14,5	0,18	0,051	0,008	0,091	0,021	0,001	0,001	0,001	0,001	14,4	570
Γ4	90		24,0	7,8	1268	20,0	15,7	4,3	94,4	29,5	133,4	8,2	0,06	341,6	241,1	62,4	13,6	0,08	0,123	0,019	0,142	0,016	0,001	0,001	0,001	0,010	14,9	663
Γ5	80	200	18,5	7,9	800	21,3	15,1	6,2	7,2	48,9	57,5	0,9	0,15	329,4	134,7	12,0	31,2	0,09	0,083	0,115	0,088	0,001	0,001	0,001	0,005	0,094	41,5	477
Γ6	87	100	17,5	7,8	825	19,1	12,8	6,2	84,8	31,7	69,1	2,0	0,64	280,6	177,3	18,3	30,4	0,17	0,010	0,090	0,079	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	30,0	502
Γ7	87	60	19,2	8,3	586	13,5	12,6	0,9	35,2	49,6	37,5	3,5	0,54	292,8	56,7	41,5	36,1	0,08	0,143	0,001	0,038	0,001	0,631	0,001	0,001	0,033	37,0	345
Γ8	87		17,5	7,7	664	17,5	14,5	2,9	81,6	26,5	57,2	2,5	0,10	317,2	106,3	29,2	24,6	0,17	0,001	0,117	0,087	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	14,4	397
Γ9	71	360	18,0	7,6	1334	32,0	17,9	14,1	107,2	73,4	67,0	0,3	1,75	390,4	177,3	68,9	67,0	0,07	0,067	0,064	0,149	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	19,8	700
Γ10	71	260	20,0	7,7	856	16,0	14,5	1,4	80,0	21,7	77,7	4,8	0,06	317,2	134,7	34,1	15,8	0,10	0,048	0,132	0,064	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	13,8	750
Γ11	93		23,7	7,6	1027	18,2	14,0	4,2	91,2	23,9	89,6	12,0	0,00	305,0	184,3	40,0	17,6	0,08	0,125	0,001	0,055	0,001	0,286	0,001	0,001	0,001	13,8	977
Γ12	93	200	20,1	7,6	591	16,4	12,8	3,5	96,0	13,0	22,2	0,6	0,03	280,6	56,7	3,3	36,1	0,06	0,006	0,001	0,045	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	17,8	563
Γ13	100		20,8	7,7	855	17,6	14,0	3,6	85,6	24,3	52,9	3,1	0,05	305,0	85,1	40,0	27,7	0,36	0,001	0,001	0,045	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	13,1	-
Γ14	63		19,5	8,2	612	16,4	14,0	2,4	51,2	40,0	29,3	2,0	0,00	305,0	56,7	2,1	36,5	0,14	0,063	0,025	0,063	0,001	0,243	0,001	0,014	0,001	55,8	580
Π	63		18,0	8,1	611	16,0	15,7	0,3	49,6	39,1	30,7	1,5	0,09	341,6	24,8	6,2	22,0	0,12	0,007	0,001	0,026	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	29,0	567
Γ15	111	100	18,2	7,7	1137	25,0	18,0	7,0	75,2	63,0	77,1	0,6	0,00	390,4	156,0	26,1	58,9	0,03	0,098	0,030	0,018	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	20,5	1086
Γ16	120		19,0	7,6	948	22,5	15,1	7,3	115,2	27,9	53,9	0,5	0,14	329,4	120,6	25,9	59,4	0,11	0,020	0,001	0,022	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	29,5	893

## 12.5 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)

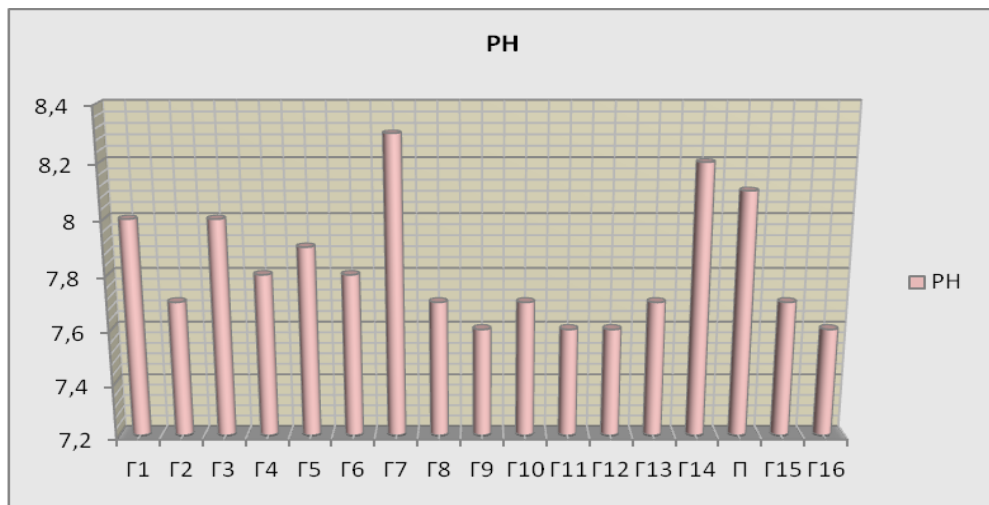
Η θερμοκρασία είναι σπουδαία παράμετρος και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη της χημείας των υπόγειων νερών διότι δίνει πολλές πληροφορίες ακόμη και για την προέλευση τους. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι το αποτέλεσμα της θερμικής ισορροπίας σ αυτό και το έδαφος. Η θερμοκρασία του νερού της βροχής που κατεισδύει είναι οφείλεται στο νερό και το έδαφος. Η μέση θερμοκρασία του υπόγειου νερού σε συνήθη βάθη είναι περίπου 14-15°C. Οι τιμές επεξεργάστηκαν σε φύλλο του Excel. Όμως η θερμοκρασία του νερού των πηγών, κυρίως των καρστικών μεταβάλλεται, 4-5°C, ενίοτε περισσότερο, ιδίως όταν η ζώνη τροφοδοσίας είναι ορεινή.(Σούλιος,2006) . Σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας για τα πόσιμα νερά τίθεται απ' την Ε.Ε. η τιμή 25°C(Οδηγία 98/83ΕΚ /3-11-98).Στην περιοχή μελέτης οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 17-20°C.



**Εικόνα 12.1:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

### ΒΑΘΜΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ (pH)

Η τιμή του pH καθορίζει την ισορροπία μεταξύ οξέων και βάσεων. Το PH είναι ο αρνητικό λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου και παίρνει τις τιμές 0-14. Στα πόσιμα νερά οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται από 6,5-9,5. Στην περιοχή οι τιμές του κυμαίνονται από 7,6-8,3, δηλαδή αλκαλικά νερά. .Οι τιμές επεξεργάστηκαν σε φύλλο του Excel. Η διακύμανση των τιμών είναι μικρή από ελαφρώς αλκαλικά έως αλκαλικά.



**Εικόνα 12.2:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του pH των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

### ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑ (Ec)

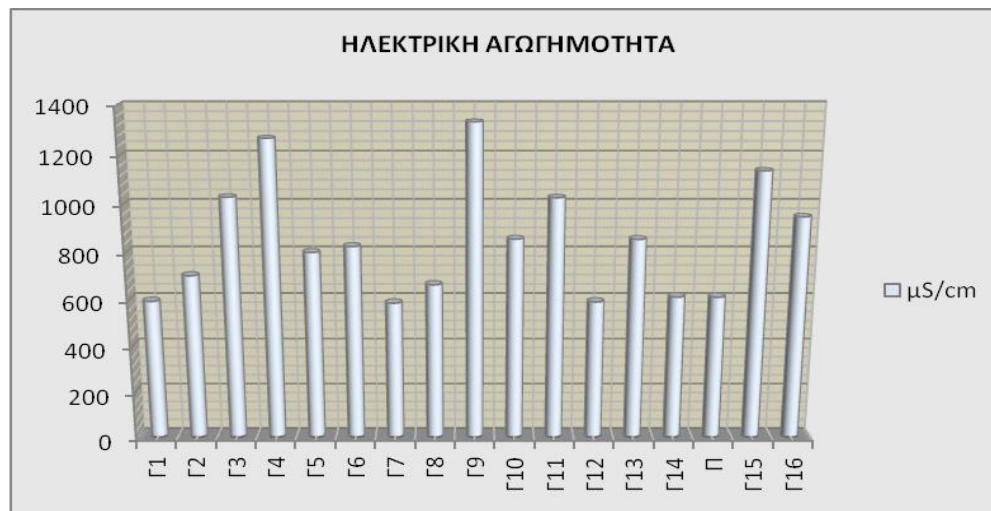
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός να υδατικού διαλύματος να επιτρέπει την διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται απ' την παρουσία ιόντων, απ' την ολική τους συγκέντρωση, το είδος τους και τη θερμοκρασία. Στις συνήθεις περιπτώσεις των υπόγειων νερών παίρνει τιμές από 140-1100  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Σούλιος 2006). Επίσης εξαρτάται και από την μεταβολή της θεοκρασίας, διότι αύξηση της θεοκρασίας κατά  $1^{\circ}\text{C}$  προκαλεί αύξηση της EC κατά 2% περίπου Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. , το ενδεικτικό επίπεδο της EC για τα πόσιμα νερά είναι 400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (στους  $20^{\circ}\text{C}$ ). Αν η ηλεκτρική αγωγιμότητα παίρνει τιμές μεταξύ 100-



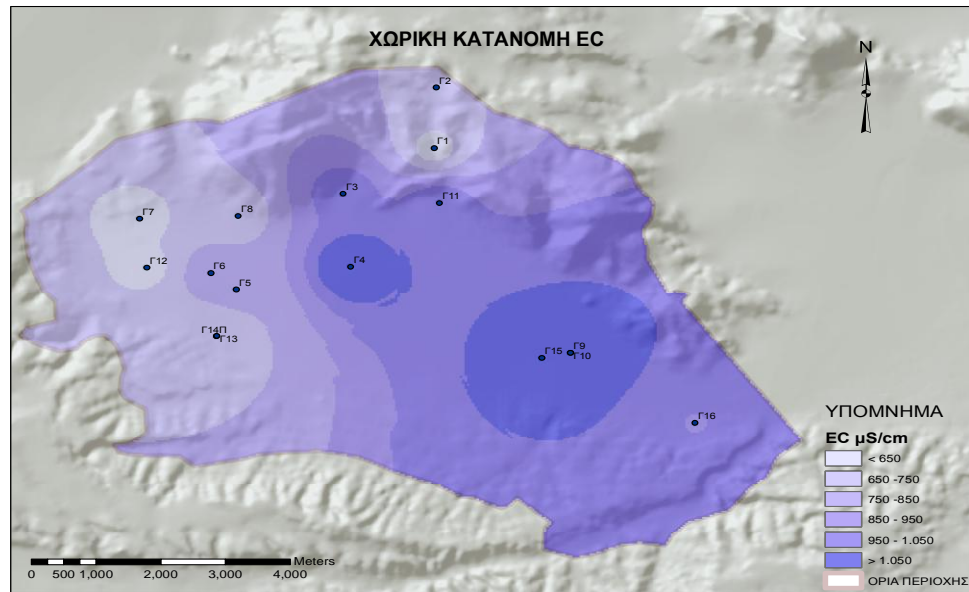
500 $\mu$ S/cm , τότε προσεγγιστικά μπορεί να βρεθεί το T.D.S από τις παρακάτω σχέσεις. TDS (ppm) =0,65\*EC, TDS(meq) =0,01\*EC (Κατσίμπας ,2009)

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές κυμαίνονται από 583-1334  $\mu$ S/cm. Η διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιοχή έρευνας εξαρτάται από τους σχηματισμούς που φιλοξενούνται, το βάθος του υδροφορέα και την θερμοκρασία. Συγκεκριμένα:

- Οι γεωτρήσεις Γ3, Γ9, Γ4, Γ15, Γ11, έχουν τις μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας.
- Η γεώτρηση Γ1, έχει την μικρότερη και ενδιάμεσες τιμές, οι γεωτρήσεις Γ2, Γ4, Γ6, Γ7, Γ8, Γ10, Γ12, Γ5, Γ16, Γ13, Γ14 και η Π1 πηγή.



**Εικόνα 12.3:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 12.4:** Χάρτης χωρικής κατανομής των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Οι γεωτρήσεις με τις υψηλότερες τιμές βρίσκονται στο κεντρικό και νότιο-ανατολικό τμήμα της περιοχής. Στο κεντρικό τμήμα, επίσης, των παρατηρούνται υψηλές τιμές των T.D.S. Σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές των χλωρίων και των νατρίων σε αυτό το πεδίο της λεκάνης, παρατηρείται μια γεωγενής επιβάρυνση που μπορεί να οφείλεται στα υπολειμματικά εβαποριτικά άλατα των Νεογενών Σχηματισμών. Οι γεωτρήσεις με ενδιάμεσες τιμές βρίσκονται κυρίως στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Η Γ1 με την μικρότερη τιμή βρίσκεται στο βόρειο τμήμα κοντά στη σχιστοψαμμιτεκρατολιθική διάπλαση.

#### ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (dH°)

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται στην περιεκτικότητα του σε μεταλλικά κατιόντα  $Ca^{++}$   $Mg^{++}$ , αλλά και στα κατιόντα  $Fe^{++}$ ,  $Sr^{++}$ . Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική και μόνιμη:

Παροδική σκληρότητα ή ανθρακική σκληρότητα οφείλεται στην διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου και του ανθρακικού μαγνησίου που υπάρχουν στα πετρώματα.

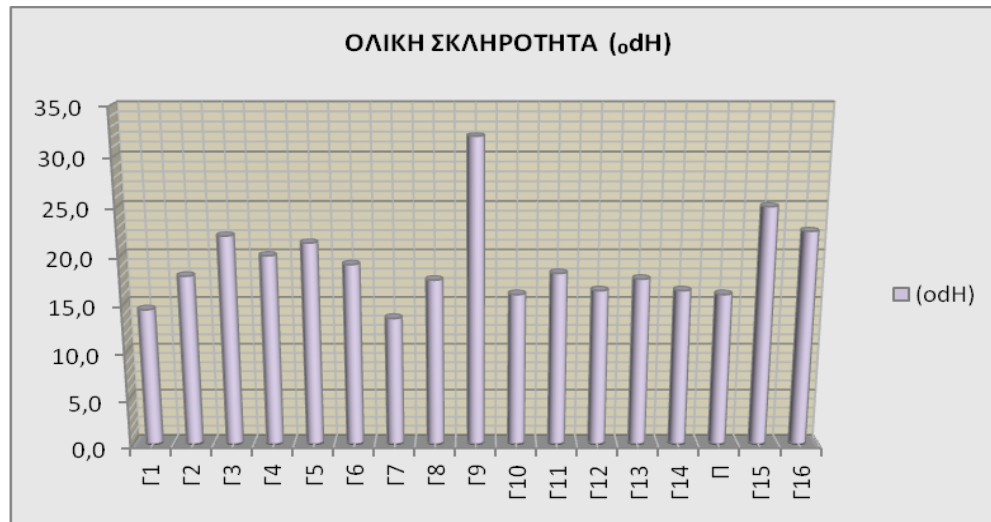
Μόνιμη σκληρότητα οφείλεται στην διάλυση του θεικού ασβεστίου. Στις περιοχές που δεν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών, η κύρια πηγή των θεικών ορυκτών είναι η οξειδωση του σιδηροπυρίτη, η ύπαρξη υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων εντός των νεογενών σχηματισμών και προφανώς η παρουσία οργανικής ύλης εντός αυτών. Οι τριαδικοί-ιουαρσικοί ασβεστόλιθοι που εμφανίζονται στην περιοχή χαρακτηρίζονται για την παρουσία των βιτουμένιων που εκδηλώνονται και με την έντονη και χαρακτηριστική οσμή του πετρώματος

Ολική σκληρότητα είναι το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας. Αναφέρεται στο σύνολο των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό

Η σκληρότητα εκφράζεται σε ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$  mg/l, αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Το μέγεθος της σκληρότητας δίνεται σε γαλλικούς ή γερμανικούς βαθμού. (πίνακας 11,) Με βάση το γερμανικό βαθμό σκληρότητας έχουν μετρηθεί τα υπόγεια νερά της περιοχής.

**Πίνακας 11 :**Βαθμοί σκληρότητας σε δύο συστήματα μέτρησης

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ	ΓΑΛΛΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	ΓΕΡΜΑΝΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	$\text{CaCO}_3$ mg/l
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΑ ΝΕΡΑ	0-7,16	0-4	0-71,6
ΜΑΛΑΚΑ	7,16-14,32	4-8	71,6-143,2
ΗΜΙΣΚΛΗΡΑ	14,32-21,48	8-12	143,2-214,8
ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΚΛΗΡΑ	21,48-32,22	12-18	214,8-322,2
ΣΚΛΗΡΑ	32,22-53,70	18-30	322,2-537,0
ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΑ	>53,70	>30	>537,0



**Εικόνα 12.5:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών της ολικής σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Στην περιοχή μελέτης τα υπόγεια νερά κατατάσσονται σύμφωνα με τους γερμανικούς βαθμούς σκληρότητας σε α) σχετικά σκληρά β) σκληρά, γ) πολύ σκληρά. Αναλυτικότερα:

Η Γ9, έχει την μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας και η Γ1,τη μικρότερη. Η γεώτρηση Γ9 έχει υψηλές συγκεντρώσεις κατιόντων  $Ca^{++}$  ,  $Mg^{++}$ . Το βάθος της γεώτρησης δείχνει πως ο λιθολογικός σχηματισμός που τροφοδοτεί τον υδροφόρο σύμφωνα με τη γεωμορφολογία της περιοχής είναι ασβεστόλιθοι.

Οι τιμές των υπολοίπων γεωτρήσεων αλλά και της πηγής κυμαίνονται από 16-25 °dH. Οι γεωτρήσεις που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα έχουν τιμές που κατατάσσουν τα νερά στην κατηγορία των σχετικά σκληρών νερών. Το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής οφείλεται για σκληρότητα τους. Η εξάπλωση των καρστικών ασβεστόλιθων στην περιοχή δίνει τις μεγαλύτερες τιμές.

## ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η παροδική σκληρότητα στα δείγματα της περιοχής κυμαίνεται από 12-18 °dH. Αναλυτικότερα:

Οι χαμηλότερες τιμές βρίσκονται στις γεωτρήσεις Γ12 και Γ6, 12,8 °dH και στις δύο. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στην Γ15 και Γ9, με τιμές 18 και 17,9 °dH, αντίστοιχα. Οι τιμές στην περιοχή είναι αρκετά υψηλές,.

Η παροδική ή ανθρακική σκληρότητα στην περιοχή βρίσκεται υψηλές τιμές, όπως και η ολική. Τα σκληρά νερά της περιοχής είναι ακατάλληλα για οικιακή χρήση.

## ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ(T.D.S: total dissolved solids )

Τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι ένας καλός δείκτης της αλατότητας των νερών. Πρόκειται για την συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό που κυμαίνεται μεταξύ 100-100.000mg/l. Στα T.D.S δεν περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Γενικά τα T.D.S. στα υπόγεια νερά αυξάνονται με το χρόνο παραμονής, άρα με το μήκος της υπόγειας διαδρομής που είχαν διανύσει.(Σούλιος,Γ.2001). Σε σχηματισμούς όπως οι γρανίτες τα φιλοξενούμενα νερά, έχουν μικρές τιμές T.D.S.(200-300 mg/L), ενώ σε σχηματισμούς όπως τα ιζηματογενή πετρώματα τα φιλοξενούμενα νερά παίρνουν τιμές από T.D.S. 1000-1200mg/L. Η παρουσία των αλάτων στα υπόγεια νερά εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής του νερού και τον χρόνο παραμονής του στους διάφορους σχηματισμούς που φιλοξενείται (Καλέργης,2000) . Ανάλογα με την τιμή του T.D.S. τα υπόγεια νερά κατατάσσονται:

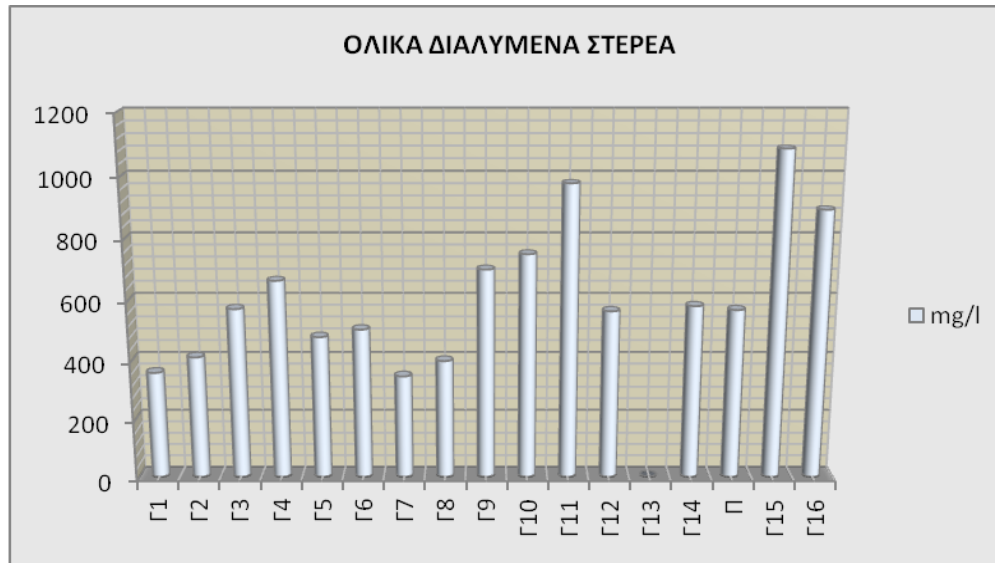
**Πίνακας 12:** Ποιοτική ταξινόμηση των νερών ανάλογα με τις τιμές T.D.S DAVIS,S.N.-DE WIEST,R.J (1966)

ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ	T.D.S.<1000mg/L
ΥΦΑΛΜΗΡΟ Ή ΓΛΥΦΟ	T.D.S.:1.000-10.000mg/L
ΑΛΜΥΡΟ	T.D.S. :10.000-35.000mg/L
ΥΠΕΡΑΛΜΥΡΟ	T.D.S.>35.000mg/L

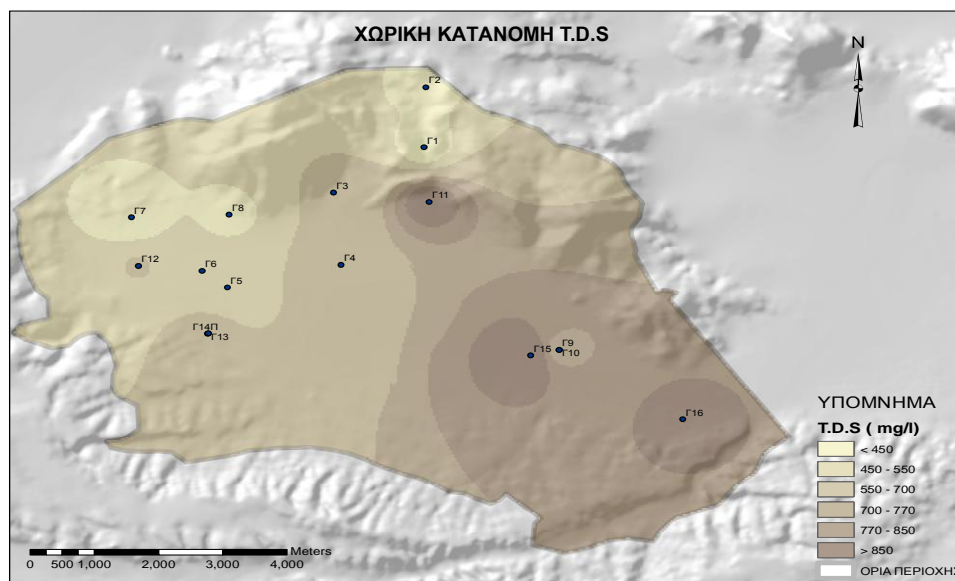
Στην περιοχή μελέτης οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών κυμαίνεται από 357-1086mg/l, Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των T.D.S στην περιοχή μελέτης. Αναλυτικά:

- Οι γεωτρήσεις με τις υψηλότερες τιμές είναι οι Γ11 και Γ15, με τιμές 977-1086mg/l, αντίστοιχα.
- Οι τιμές των υπόλοιπων γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7, Γ8, Γ9, Γ10, Γ12, Γ13, Γ14, έχουν τιμές ολικών διαλυμένων στερεών που βρίσκονται στο εύρος τιμών από 300-900mg/l. Τα στοιχεία που συμβάλλουν στην αύξηση της αλατότητα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις, είναι το νάτριο, το χλώριο. Η παρουσία αυτών των στοιχείων συνδυάζεται με την ύπαρξη εβαποριτικών αλάτων σε Νεογενής σχηματισμούς.

Η χωρική κατανομή των ολικών διαλυμένων στερεών στην περιοχή όπως απεικονίζεται στον χάρτη 12.7, δείχνει υψηλές τιμές στο κεντρικό και νότιο-ανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπου και οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε αυτό το τμήμα της λεκάνης παρουσιάζονται υψηλές. Οι τιμές αυτές μπορεί να οφείλονται σε γεωγενή επιβάρυνση μέσω των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων των Νεογενών σχηματισμών.



**Εικόνα 12.6 :** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 12.7:** Χάρτης χωρικής κατανομής των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

## 12.6 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### ΑΣΒΕΣΤΙΟ(Ca<sup>2+</sup>)

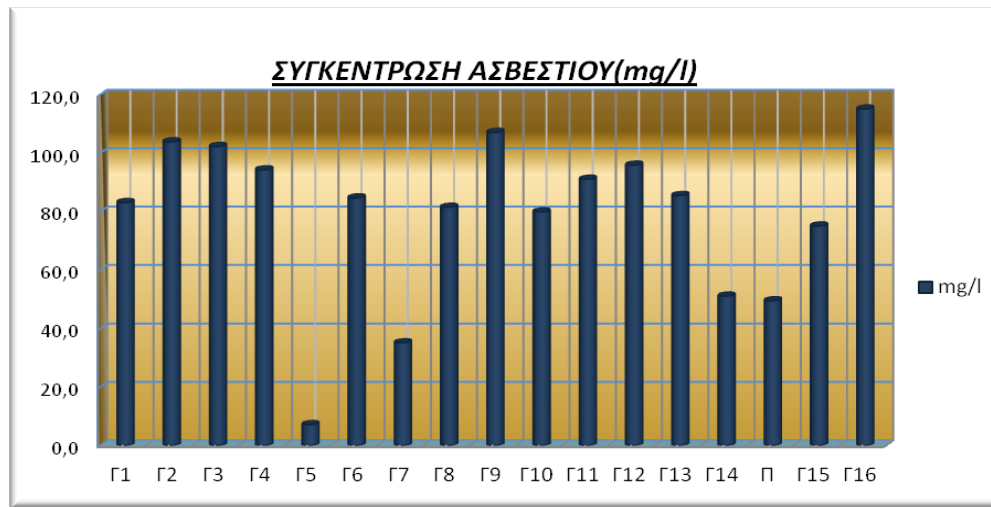
Το ασβέστιο υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά. Η κυριότερη πηγή ασβεστίου στα υπόγεια νερά αποτελεί η διάλυση ορυκτών. Χαρακτηριστικά ορυκτά είναι ο ασβεστίτης, (CaCO<sub>3</sub>), ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>O ο ανυδρίτης ( CaSO<sub>4</sub>), οι άστριοι, αμφίβολοι , πυρόξενοι (Καλέργης ,2000). Η αφθονία του ασβεστίου προέρχεται κυρίως από τη διάλυση των πετρωμάτων, όπως τα ανθρακικά, οι ψαμμίτες, οι μάργες, οι μαργαικοί ασβεστόλιθοι.

Οι τυπικές συγκεντρώσεις του Ca<sup>2+</sup> στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα στα 36.200 mg/kg, στους ψαμμίτες 22.400 mg/kg, στους αργίλους 22.500mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 272.000 mg/kg και στους εβαπορίτες 11.100 mg/kg (Matthess 1973). Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του ασβεστίου σε φυσικά νερά κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 5 mmol/l (Appelo-Postma,1996). Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης για πόσιμο νερό σύμφωνα με οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 100mg/L.

Στην περιοχή μελέτης οι συγκεντρώσεις ασβεστίου κυμαίνονται μεταξύ 49mg/L-116mg/L. Στην εικόνα που ακολουθεί 12.8, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του ασβεστίου στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης Αναλυτικότερα:

- Οι γεωτρήσεις Γ12, Γ3, Γ4, Γ9, Γ11, Γ16 έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε ασβέστιο.
- Οι γεωτρήσεις Γ5, Γ15 έχουν τιμές 72mg/L- και 75,2mg/L αντίστοιχα
- Οι γεωτρήσεις Γ1, Γ6, Γ8, Γ10, Γ13 έχουν τιμές που κυμαίνονται από 80-90mg/L
- Η πηγή Π1 και η Γ7 έχουν την χαμηλότερη συγκέντρωση ασβεστίου (πίνακας 12.10)

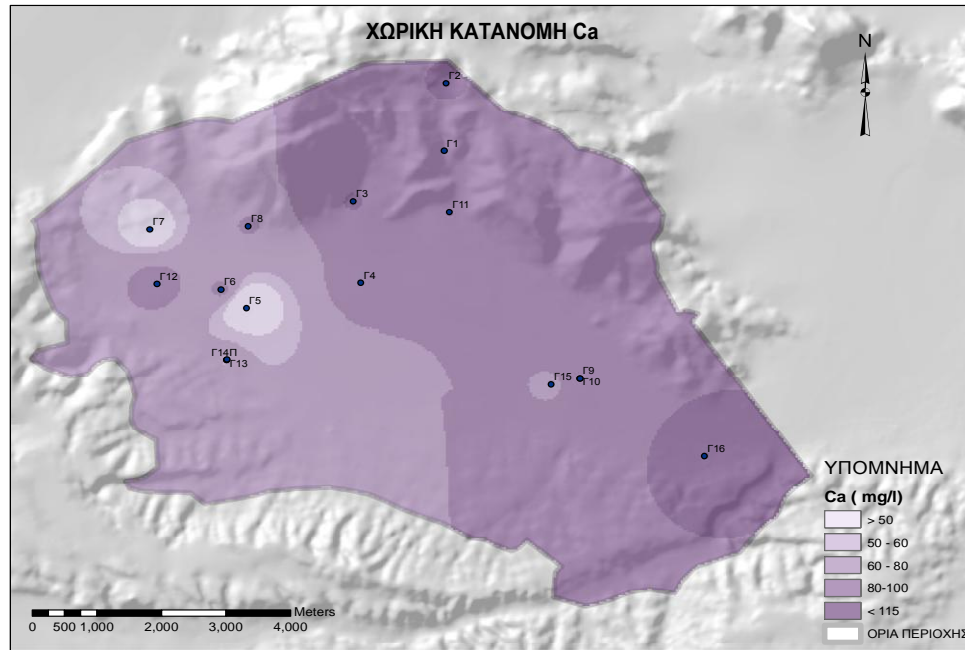




**Εικόνα 12.8:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ mg/l των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

Συγκεκριμένα, οι χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  παρατηρούνται στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων του δυτικού τμήματος, ενώ στο ανατολικό εμφανίζονται οι υψηλότερες (Εικόνα,12.8). Προφανώς οι γεωτρήσεις της λεκάνης του ανατολικού τμήματος εκμεταλλεύονται την υδροφορία των νεογενών σχηματισμών, ενώ οι βαθιές γεωτρήσεις, που βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης εκμεταλλεύονται την καρστική υδροφορία.

Προφανώς ο εμπλουτισμός των υπόγειων νερών σε ασβέστιο σχετίζεται σε μεγάλο ποσοστό με τη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν εντός των νεογενών σχηματισμών της λεκάνης. Προς αυτή την κατεύθυνση συνηγορεί και η χωρική κατανομή των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου που περιγράφονται πιο κάτω (Εικόνα12.21 και Εικόνα 12.9)



**Εικόνα 12.9:** Χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ mg/l),των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

### NATΡΙΟ ( $\text{Na}^+$ )

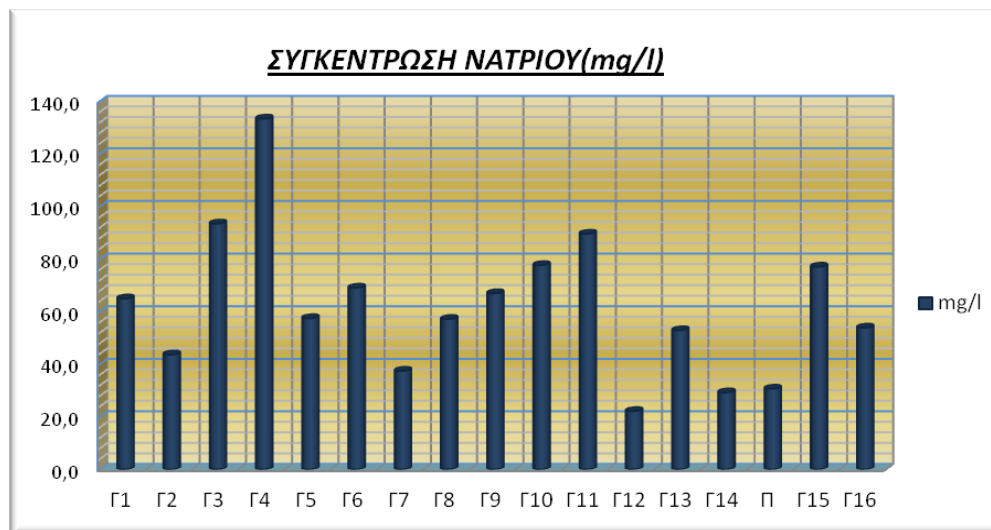
Το νάτριο προέρχεται κυρίως από τα αργιλικά ορυκτά, τους ζεολίθους, τα πλαγιόκλαστα, τον αλβίτι ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), το ορυκτό άλας(αλίτις) και σε μικρό ποσοστό από την ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στα διάφορα πετρώματα ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα στα 28.100mg/kg, στους ψαμμίτες 3.870 mg/kg, στους αργίλους 4.850mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 393 mg/kg και στους εβαπορίτες 310.000mg/kg (Matthess 1973). Οι υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  που απαντώνται στα υπόγεια νερά, προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των πλαγιόκλαστων και των αργιλικών ορυκτών. Το  $\text{Na}^+$  μπορεί να προέλθει επίσης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως στη χρήση απορρυπαντικών, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κλπ. Η παρουσία του νατρίου στα υπόγεια νερά θεωρείται στις περισσότερες των περιπτώσεων ως δείκτης ανθρωπογενούς ρύπανσης, όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Υψηλή περιεκτικότητα ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό έχει επιπτώσεις στην

ανθρώπινη υγεία, καθώς, αυξάνει την αρτηριακή πίεση. Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένα νερά είναι 2,5 έως 45,0 mg/l (Appelo-Postma, 1996). Στα υπόγεια νερά οι συνηθισμένες τιμές είναι 1 – 20 mg/l. Σύμφωνα, με την οδηγία 80/778/15-7-80 της ΕΕ τα ενδεικτικά επίπεδα για τα ιόντα Na<sup>+</sup> είναι 20 mg/l.

Οι τιμές νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 22,2 – 133,4mg/l. Στην εικόνα 12.10, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του νατρίου στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα:

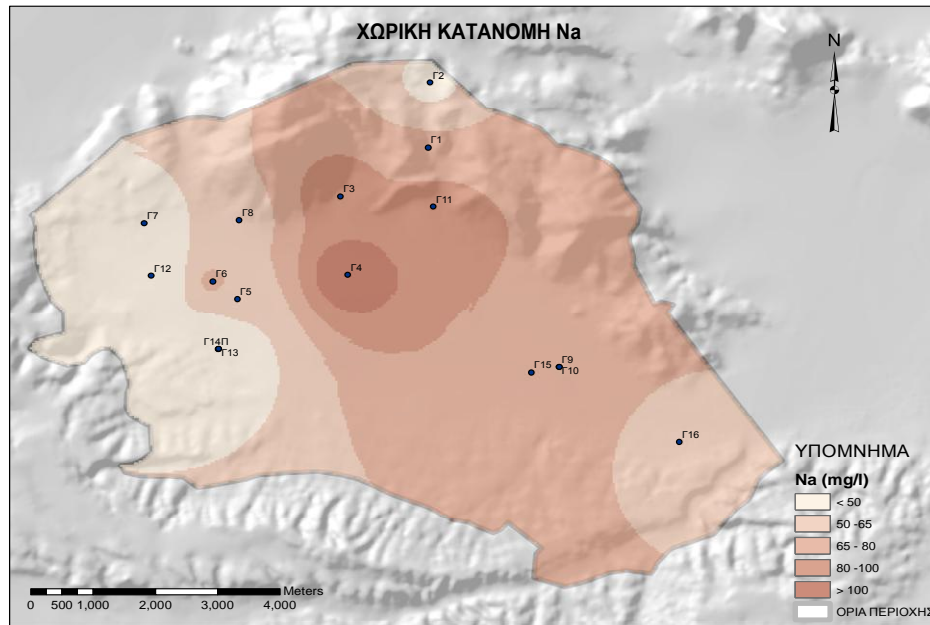
- Η γεώτρηση Γ1: 22,2mg/l έχει τη χαμηλότερη συγκέντρωση νατρίου
- Οι γεωτρήσεις Γ3, Γ4 και Γ11 έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, με τιμές που ανέρχονται σε 93,5mg/L, 133,4mg/L, 89,6mg/L, αντίστοιχα.
- Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 29-78 mg/l, (πίνακας, 12.5)



**Εικόνα 12.10:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών ασβεστίου (Na+mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

Γενικά στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης διαπιστώνονται υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου που υπερβαίνουν το όριο ποσιμότητας . Η προέλευση του αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες, όπως είναι τα ευδιάλυτα υπολειμματικά εβαποριτικά άλατα, που προφανώς

υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς του Νεογενούς, αλλά και η έντονη παρουσία των αργιλικών ορυκτών.



**Εικόνα 12.11:** Χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου (Na+mg/l),των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Όπως, φαίνεται στο χάρτη χωρικής κατανομής του νατρίου ( Εικόνα 12.11), οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νατρίου εντοπίζονται στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων του κεντρικού τμήματος της λεκάνης, όπου γίνεται εκμετάλλευση της υδροφορίας των νεογενών σχηματισμών. Σε συνδυασμό με την χωρική κατανομή των ιόντων χλωρίου που ακολουθεί πιο κάτω( Εικόνα 12.9), προκύπτει ότι η παρουσία τόσο του νατρίου όσο και του χλωρίου και των θεικών, σχετίζεται με τη διάλυση υπολειμματικών αλάτων εβαποριτικής προέλευσης .

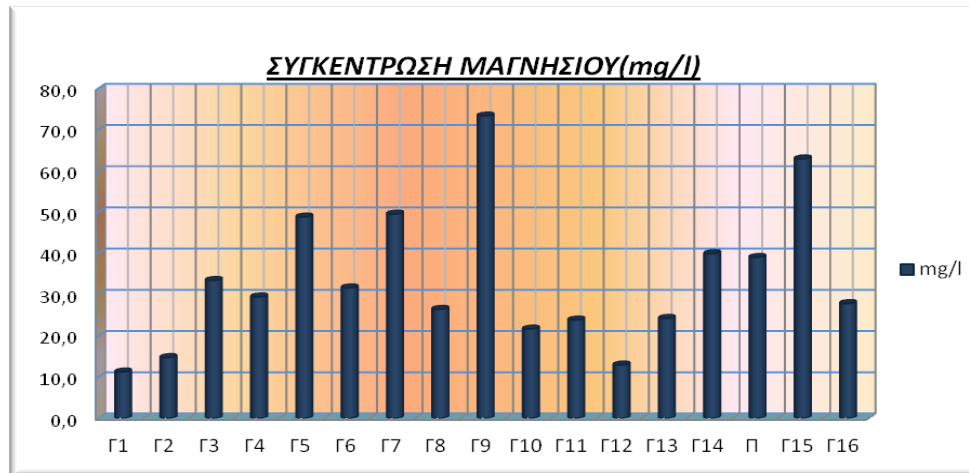
### ΜΑΓΝΗΣΙΟ ( $Mg^{2+}$ )

Οι πηγές προέλευσης του Mg στα υπόγεια νερά είναι τα αργιλικά ορυκτά, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, ο ολιβίνης ( $Mg,Fe$ )<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, ο δολομίτης ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ), οι μαρμαρυγίες, και οι χλωρίτες. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε μαγνήσιο είναι οι δολομίτες, οι δολομιτικοί ψαμμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες και οι οφιολιθικοί σχηματισμοί (Καλλέργης 2000, Appelo-Postma 1996).

Η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 17.600mg/kg, στους ψαμμίτες 8.100 mg/kg, στους αργίλους 16.4000mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 45.300 mg/kg και στους εβαπορίτες 3.070mg/kg (Matthess 1973). Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις του  $Mg^{2+}$  στα φυσικά υπόγεια νερά κυμαίνεται από 2,0 έως 50,0 mg/l (Matthess 1973, Appelo-Postma 1996). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων  $Mg^{2+}$  στα πόσιμα νερά είναι σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ 30 mg/l και το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι 50 mg/l. Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για τον άνθρωπο γιατί βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος. Νερά που έχουν συγκεντρώσεις, με τιμές υψηλότερες από 125mg/L μπορεί να έχουν καθαρτικές ή διουρητικές ιδιότητες.

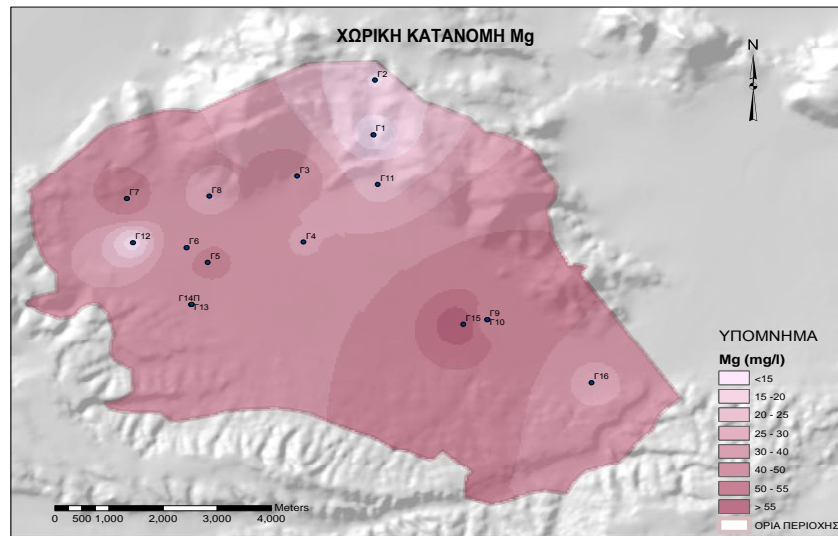
Στην περιοχή μελέτης οι τιμές μαγνησίου κυμαίνονται από 11-73 mg/L. Στην εικόνα 12.12, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση με την υψηλότερη τιμή μαγνησίου είναι η Γ9:73,5mg/L.
- Η γεώτρηση με τη χαμηλότερη τιμή μαγνησίου είναι η Γ1: 11,3mg/L
- Οι υπόλοιπες τιμές κυμαίνονται από 13-49mg/L.(πίνακας, 12.5)



**Εικόνα 12.12:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

Γενικά στην περιοχή το μαγνήσιο προέρχεται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του υποβάθρου της λεκάνης των Βαγίων. Εκτός από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής, βασικός τροφοδότης σε μαγνησιούχα ορυκτά είναι και οι οφιολιθικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Η διάβρωση τους έχει συμβάλει σημαντικά με κλαστικό υλικό πλήρωσης της ιζηματογενής λεκάνης. Τα μαγνησιούχα ορυκτά των σχηματισμών αυτών, κυρίως ολιβίνες, συμβάλλουν σημαντικά μέσω της υδρόλυσης τους στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών της περιοχής σε μαγνήσιο, αλλά και διοξείδιο του πυριτίου, όπως περιγράφεται πιο κάτω.



**Εικόνα 12.13:** Χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου ( $Mg^{2+}$  mg/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Από το χάρτη χωρικής κατανομής του μαγνησίου (εικόνα, 12.13), στα υπόγεια νερά της περιοχής διαπιστώνεται ότι οι βαθιές γεωτρήσεις του βόρειου και δυτικού τμήματος που εκμεταλλεύονται τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα παρουσιάζουν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο. Αντίθετα, οι γεωτρήσεις που εκμεταλλεύονται την υδροφορία των νεογενών (Γ5, Γ9, Γ10, Γ15) και τη σχετική υδροφορία οφιολιθικών (Γ7) σχηματισμών παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο.

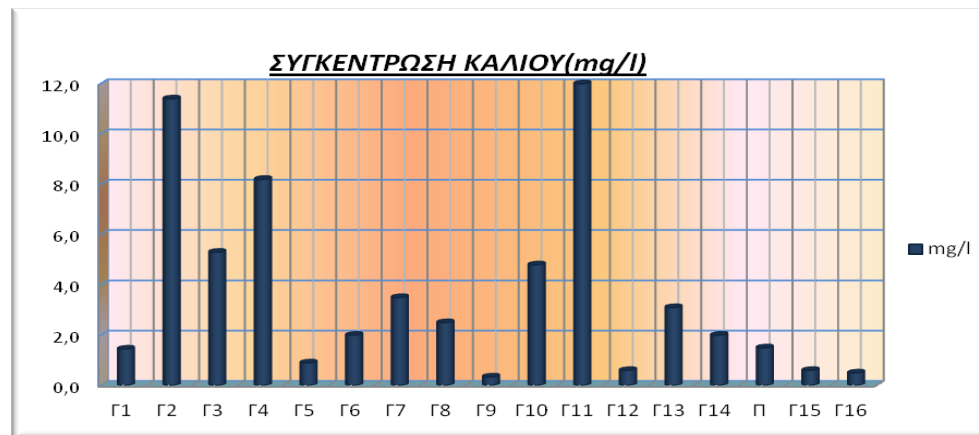
#### ΚΑΛΙΟ ( $K^+$ )

Το κάλιο είναι άφθονο στη φύση και πηγή προέλευσης του τα αργιλικά ορυκτά, οι άστριοι (ορθόκλαστο και μικροκλινης), ο συλβίνης (KCL), οι μαρμαριγύες όπως είναι ο μοσχοβίτης. Γενικά η συγκέντρωση του καλίου ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 25.700mg/kg, στους ψαμμίτες 13.200 mg/kg, στους αργίλους 24.900mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 2.390 mg/kg και στους εβαπορίτες 4.280mg/kg (Matthess 1973). Η παρουσία του καλίου στα υπόγεια νερά σχετίζεται επίσης με τα καλιούχα λιπάσματα που βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη γεωργία. Το  $K^+$

συναντάται στα υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται από 1-8mg/l (Appelo-Postma 1996) . Ενδεικτικό όριο για το πόσιμο νερό είναι τα 10mg/L και ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 12mg/L, βάση της οδηγίας της Ε.Ε.

Στην περιοχή μελέτης τιμές καλίου κυμαίνονται από 0,3-12mg/L. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του καλίου στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης. Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση Γ9:0,3mg/l έχει τη χαμηλότερη τιμή καλίου στην περιοχή
- Η γεώτρηση Γ11:12mg/l έχει την υψηλότερη τιμή.
- Οι γεωτρήσεις Γ2 , Γ4 έχουν τιμές υψηλές, 11,4 και 8,2mg/L αντίστοιχα.
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις Γ1, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7, Γ8, Γ10, Γ12, Γ13, Γ14, Γ15, Γ16 και η πηγή Π1, έχουν τιμές που κυμαίνονται από 0,5-5,3mg/L. (πίνακας 12.10)

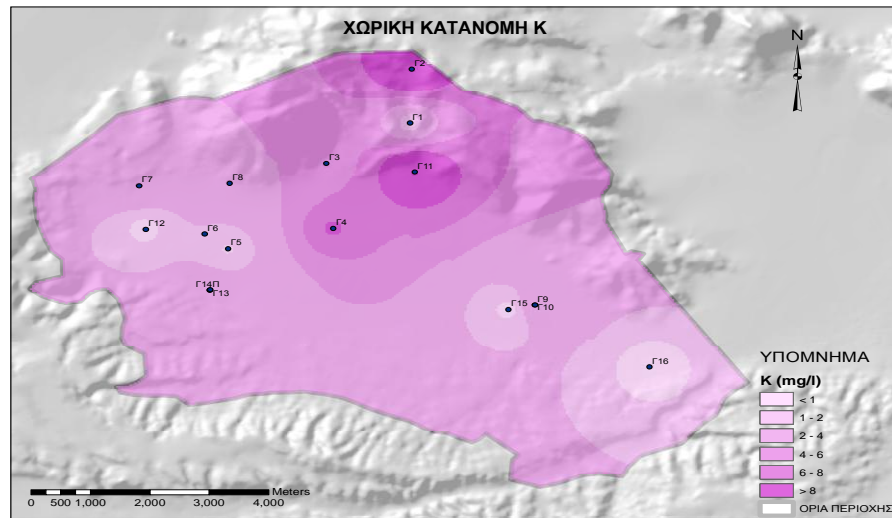


**Εικόνα 12.14** :Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών καλίου ( $K^+$ mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

Στην περιοχή οι συγκεντρώσεις του καλίου φθάνουν στα ανώτερα όρια. Η γεώτρηση με την μεγαλύτερη τιμή καλίου βρίσκεται στο νότιο τμήμα της περιοχής κοντά στο χωριό των Βαγίων. Οι γεωτρήσεις Γ2, Γ4, με υψηλές τιμές, βρίσκονται στο βόρειο-ανατολικό τμήμα Η προέλευση



του  $K^+$  είναι γεωγενής αλλά συμβάλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης οι καλλιέργειες της περιοχής, λόγω της χρήσης λιπασμάτων πλούσια σε κάλιο. ( $KCl$ ).

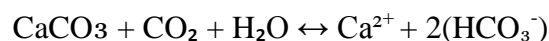


**Εικόνα 12.15** : Χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου ( $K^+$  mg/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

### ΟΞΙΝΑ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ( $HCO_3^-$ )

Η συγκέντρωση του C στα διάφορα πετρώματα έχει ως ακολούθως: στα μαγματικά πετρώματα στα 320mg/kg, στους ψαμμίτες 13.800 mg/kg, στους αργίλους 15.300mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 113.500 mg/kg (Matthess 1973). Στα γλυκά υπόγεια νερά είναι το επικρατέστερο ανιόν.

Προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και από το προϊόν της αντίδρασης που πραγματοποιείται στο έδαφος, κατά την οργανική αποσύνθεση, σύμφωνα με την αντίδραση:

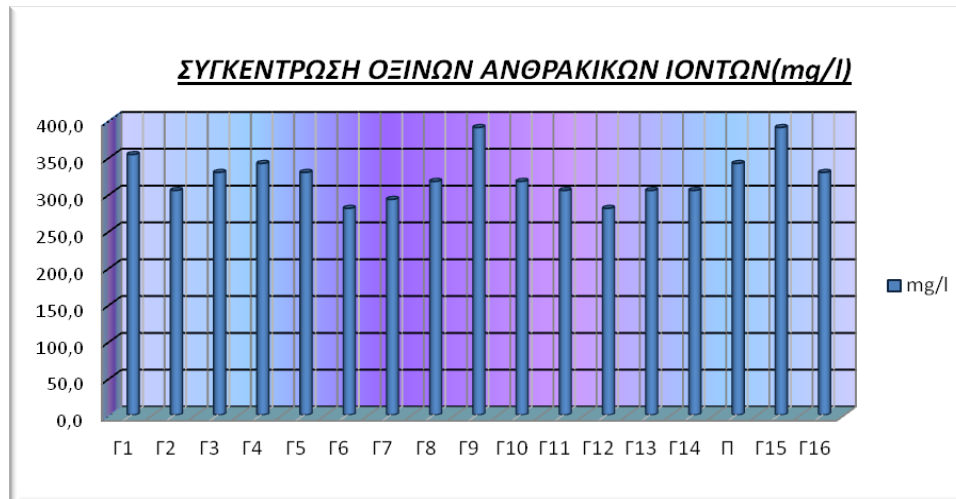


Άλλη πηγή της όξινης ανθρακικής ρίζας αποτελεί η αντίδραση των ανθρακικών πετρωμάτων με το νερό, όπου κατά τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών προκύπτει η όξινη ανθρακική ρίζα :



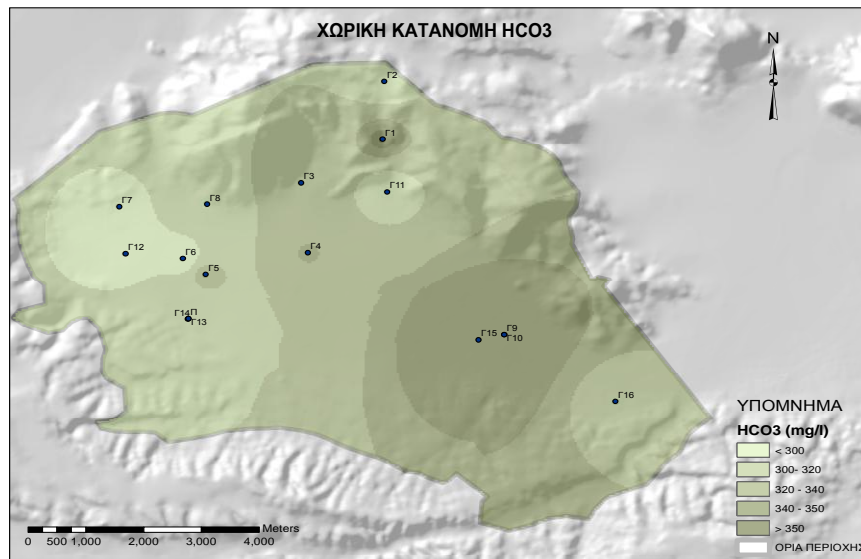
Η περιεκτικότητα σε  $\text{HCO}_3^-$ , των φυσικών νερών συνήθως είναι μικρότερη από 500mg/L. Στην περιοχή μελέτης οι τιμές συγκέντρωσης του ανθρακικού οξέως, στα υπόγεια νερά κυμαίνονται μεταξύ 280,6 και 390,4mg/L. Στην εικόνα 12.16, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του ανθρακικού οξέως στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση με την υψηλότερη τιμή  $\text{HCO}_3^-$  στην περιοχή είναι η Γ15, 390,4mg/l.
- Οι γεωτρήσεις με τις χαμηλότερες τιμές  $\text{HCO}_3^-$  είναι οι Γ7, Γ12, με τιμή 292,8 mg/l και οι δύο.
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις έχουν τιμές  $\text{HCO}_3^-$  που κυμαίνονται μεταξύ 305-353,8 mg/l.



**Εικόνα 12.16:** Διάγραμμα διακύμανσης των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$  mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης.

Οι τιμές του  $\text{HCO}_3^-$  δεν ξεπερνούν τα 400 mg/l και κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Η προέλευση του είναι κυρίως γεωγενής. Οι γεωτρήσεις με τις υψηλότερες τιμές βρίσκονται στο νότιο τμήμα της περιοχής. Οι γεωτρήσεις αυτές εκμεταλλεύονται κυρίως την υδροφορία των νεογενών σχηματισμών και ως εκ τούτου η παρουσία  $\text{HCO}_3^-$  μπορεί να σχετίζεται με την ύπαρξη της οργανικής ύλης που συνήθως συνυπάρχει εντός των νεογενών ιζημάτων.



**Εικόνα 12.17:** Χάρτης χωρικής κατανομής των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3\text{mg/l}$ ), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

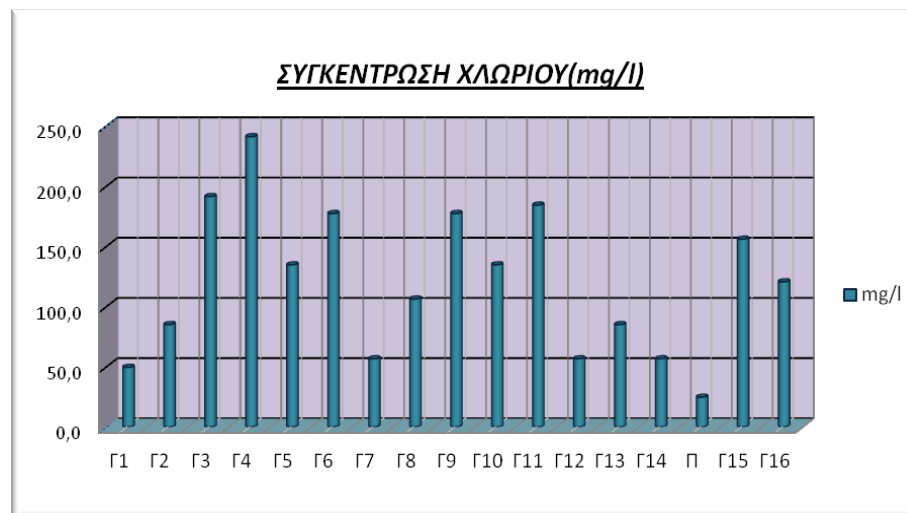
### ΧΛΩΡΙΑ ( $\text{Cl}^-$ )

Το χλώριο είναι αμέταλλο και ανήκει στην ομάδα των αλογόνων. Το χλώριο είναι στοιχείο που δεν βρίσκεται μόνο του στη φύση αλλά ως ιόν σε διάφορα άλατα. Η μέση συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στα νερά των ωκεανών είναι  $19.000 \text{ mg/l}$  περίπου. Αποτελεί το σημαντικότερο ιόν του θαλασσινού νερού και ακολουθούν το νάτριο ( $10.500 \text{ mg/l}$ ), τα θειικά ( $2.700 \text{ mg/l}$ ), το μαγνήσιο ( $1350 \text{ mg/l}$ ), και το ασβέστιο ( $410 \text{ mg/l}$ ), (Hem 1989). Ως κύρια πηγή προέλευσης χλωρίου στα υπόγεια νερά είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως οι εβαπορίτες. Δευτερεύουσα θέση καταλαμβάνουν τα μαγματικά πετρώματα (Καλέργης, 2000). Τα χλωριούχα ιόντα είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση ως άλατα νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου. Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα για το πόσιμο νερό το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου είναι  $25 \text{ mg/l}$ .

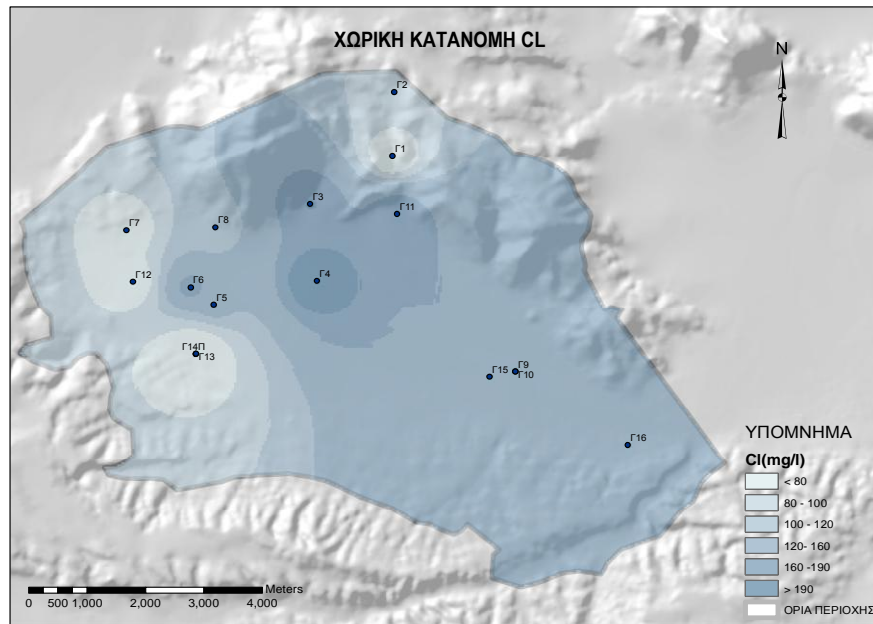
Η τιμή των  $200 \text{ mg/l}$  αποτελεί ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ιόντων. (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86).

Οι τιμές συγκέντρωσης χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης, κυμαίνονται μεταξύ 24,8-241,1mg/l. Στην εικόνα 12.18, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του ανθρακικού οξέως στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση Γ4 έχει την υψηλότερη τιμή χλωρίου, 241,1 mg/l.
- Η πηγή Π1 έχει τη χαμηλότερη τιμή, 24,8mg/l και οι γεωτρήσεις, Γ7, Γ12, Γ14, με τιμή 56,7mg/l.
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις παρουσιάζουν συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 49,6 και 191,4 mg/l.



**Εικόνα12.18:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης



**ΕΙΚΟΝΑ 12.19 :**Χάρτης χωρικής κατανομής του χλωρίου(Cl-mg/l),των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Οι τιμές του χλωρίου στην περιοχή έχουν μεγάλη διακύμανση. Οι υψηλές τιμές αποδίδονται κυρίως στην διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων. Τόσο τα χλώρια και τα ιόντα νατρίου και θειικά παρουσιάζουν την ίδια χωρική κατανομή. Προφανώς στην κεντρική περιοχή της λεκάνης, όπου εντοπίζονται οι υψηλές συγκεντρώσεις των προαναφερθέντων στοιχείων, (Γ3, Γ4, Γ6 και Γ11), συνυπάρχουν εντός των Νεογενών σχηματισμών υπολείμματα εβαποριτικών αλάτων, η διάλυση των οποίων συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών της εν λόγω περιοχής.

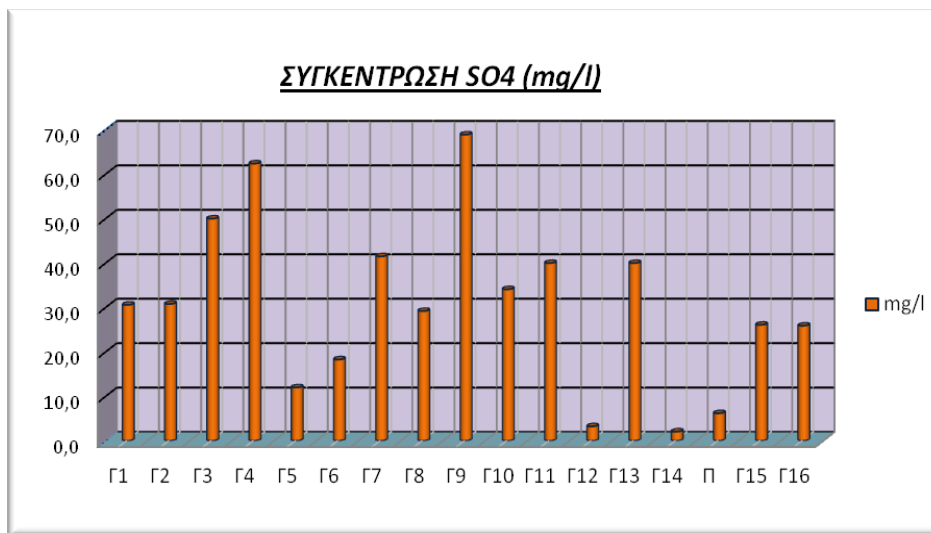
#### ΘΕΙΙΚΑ ( $SO_4^{-2}$ )

Τα θειικά, ( $SO_4^{-2}$ ) στα υπόγεια νερά εμφανίζονται κυρίως από το νερό της βροχής. Άλλες πηγές θειικών είναι τα μαγματικά και ιζηματογενή πετρώματα, που εμφανίζονται σαν μεταλλικά

σουλφίδια. Στα ιζηματογενή πετρώματα εμφανίζονται με πυρίτιο ή ασβέστιο, θεικό πυρίτιο και θεικό ασβέστιο αντίστοιχα. Η οξειδωση των σουλφιδίων (γύψος, ανυδρίτης,) δίνει θεικά.

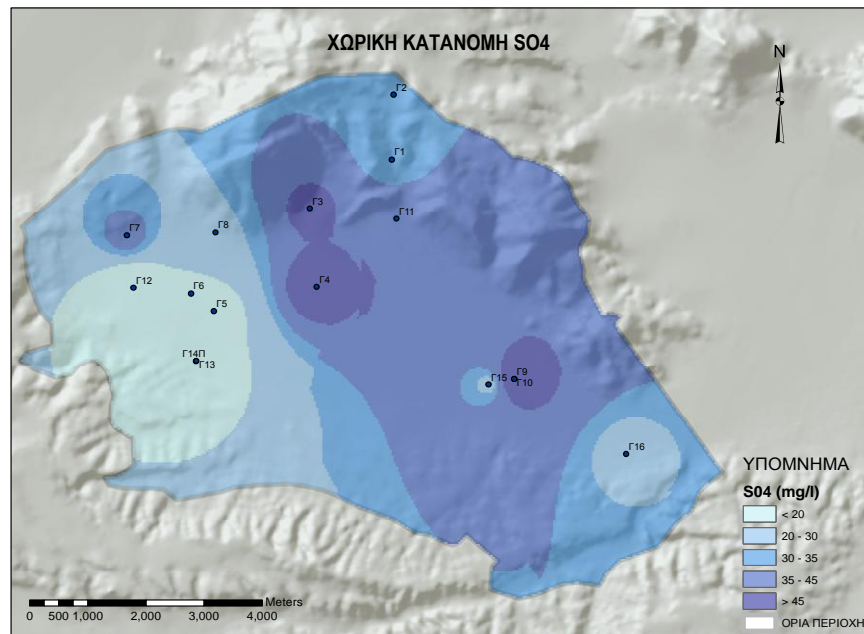
Συγκέντρωση μεγαλύτερη από 250mg/L κάνει τη χρήση του νερού προβληματική για πόσιμο. Σύμφωνα με την Ε.Ε. τα όρια των θεικών ιόντων πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ των 25mg/l στο ενδεικτικό επίπεδο και στα 250 mg/l στην ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86) Στην περιοχή μελέτης οι τιμές των θεικών κυμαίνονται μεταξύ 2 και 68,9 mg/L. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων οι συγκεντρώσεις των θεικών παίρνουν τιμές κυρίως από 25-40 mg/l. Στην εικόνα,12.20, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης. Αναλυτικότερα:

- Οι γεωτρήσεις Γ4, Γ9 έχουν τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης θεικών, με τιμή 62,4 mg/l, και 68.9 αντίστοιχα.
- Η γεώτρηση Γ14:2 mg/l, έχει τη χαμηλότερη τιμή συγκέντρωσης
- Οι τιμές στις υπόλοιπες γεωτρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 6,2-41,5 mg/l



**Εικόνα 12.20:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών των θεικών ιόντων (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

Από τη χωρική κατανομή των θειικών ιόντων όπως διαπιστώνεται ότι οι γεωτρήσεις με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, όπου στην ίδια περιοχή εμφανίζονται και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε ιόντα νατρίου και χλωρίου. Ο συνδυασμός των συγκεκριμένων στοιχείων σχετίζεται κυρίως με την παρουσία υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, εντός των Νεογενών σχηματισμών. Επίσης, η παρουσία τους συνδέεται με την παρουσία του σιδηροπυρίτη που βρίσκεται εντός των ανθρακικών μαζών του υποβάθρου ή και ως κλάσμα εντός των ιζημάτων της λεκάνης.



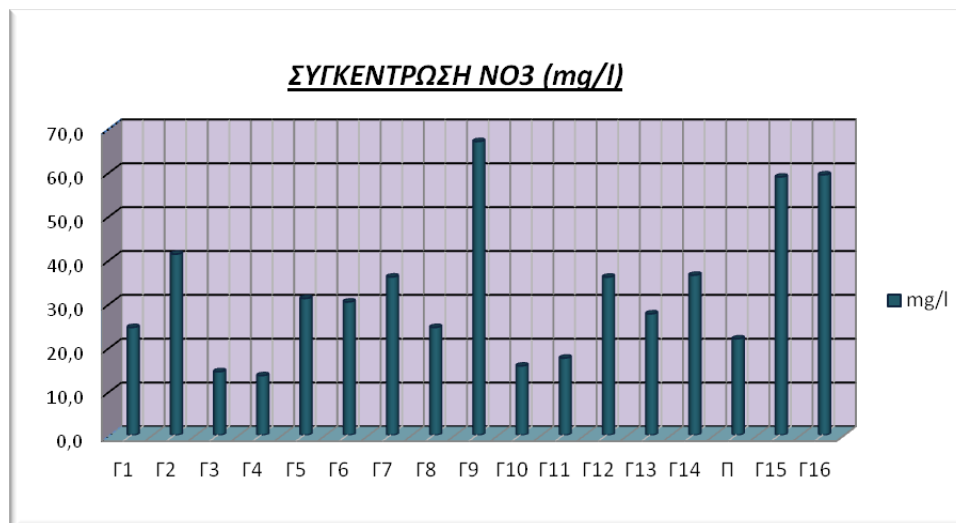
**Εικόνα 12.21:** Χάρτης χωρικής κατανομής θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ mg/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

### ΝΙΤΡΙΚΑ ( $\text{NO}_3^-$ )

Τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) και τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) υπάρχουν στη φύση, καθώς συμμετέχουν στον κύκλο του αζώτου. Η συγκέντρωσή τους πρέπει να είναι μικρή, παρότι βρίσκονται στα φυσικά νερά. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών αλάτων εμφανίζονται στα απορρίμματα, τα λιπάσματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Τα νιτρικά σε αερόβιες συνθήκες εισέρχονται στον υδροφόρο. Τα

πόσιμα νερά που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών προκαλούν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Οι διαδικασίες δημιουργίας νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι πολύπλοκες και περιλαμβάνουν την αμμωνιοποίηση και την νίτρωση. Η αμμωνιοποίηση και η νίτρωση λαμβάνουν χώρα πάνω στην στάθμη του υδροφόρου, στην εδαφική ζώνη, όπου αφθονούν τα οργανικά υλικά και το οξυγόνο. Το  $\text{NO}_3^-$ , είναι πολύ κινητικό στο υπόγειο νερό. Οι ρηχοί υδροφόροι σε πολύ υδροπερατά υλικά ή σε ρωγματοωμένα πετρώματα, δίνουν υπόγειο νερό γενικά πλούσιο σε  $\text{NO}_3^-$ , γιατί το νερό των υδροφόρων αυτών περιέχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και το  $\text{NO}_3^-$  είναι η σταθερή μορφή του αζώτου σε οξειδωτικό περιβάλλον. Η οδηγία της Ε.Ε. (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86), καθορίζει τη συγκέντρωση των νιτρικών στα 25 mg/l ως ενδεικτικό επίπεδο και τα 50 mg/l ως ανώτατη παραδεκτό. Στην περιοχή μελέτης οι τιμές των ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 0,7-67 mg/L. Στην εικόνα 12.22, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Αναλυτικότερα:

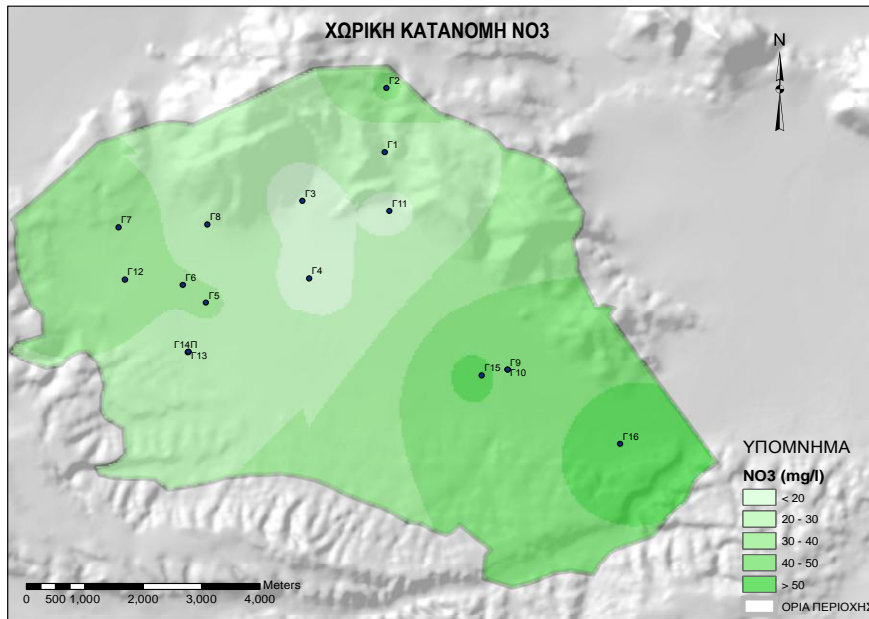
- Η υψηλότερη τιμή νιτρικών, εμφανίζεται στην γεώτρηση Γ9:67 mg/l
- Η χαμηλότερη τιμή νιτρικών εμφανίζεται στη γεώτρηση Γ10:0,7 mg/l
- Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 13,6 και 41,3 mg/l



**Εικόνα 12.22:** Διάγραμμα Διακύμανση των τιμών των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$  mg/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης



Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών εμφανίζονται στα νοτιοανατολικά της λεκάνης. Η ευρύτερη περιοχή καλλιεργείται συστηματικά και η προέλευση των νιτρικών αποδίδεται στην υπερβολική χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων. Η παρουσία πτηνοτροφικών και κτηνοτροφικών μονάδων δημιουργεί επίσης, ένα επιβαρυντικό παράγοντα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας επιφανειακής επιβάρυνσης από πτηνοτροφική μονάδα αποτελεί η γεώτρηση Γ2. Ένας επίσης σοβαρός επιβαρυντικός παράγοντας αποτελεί η ανεξέλικτη διάθεση των αστικών αποβλήτων του Δήμου Βαγίων. Τα λύματα διοχετεύονται στην επιφάνεια μέσω ενός τεχνητού οχετού, στην βορειοανατολική περιοχή του δήμου. Δεν αποκλείεται η κατάσταση αυτή να έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την ευρύτερη περιοχή.

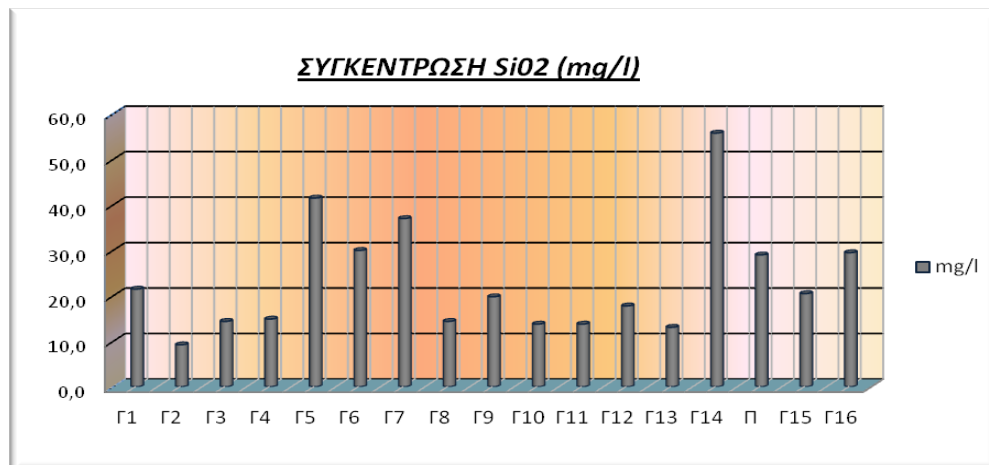


**Εικόνα 12.23:** Χάρτης χωρικής κατανομής νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$  mg/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

### ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ( SiO<sub>2</sub>)

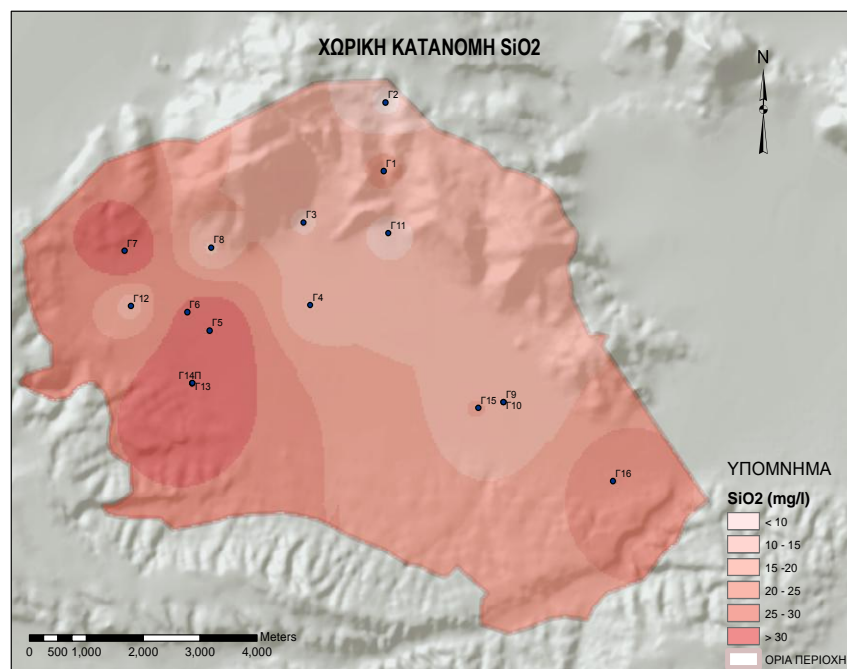
Το πυρίτιο εμφανίζεται κυρίως ως σωματιδιακό πυρίτιο Si, και ως διαλυτό πυριτικό οξύ H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Κύρια πηγή προέλευσης του πυριτίου είναι οι άστριοι, τα σιδηρομαγνησιούχα και αργιλικά ορυκτά. Το χαρακτηριστικό ορυκτό του πυριτίου είναι ο χαλαζίας, όπου βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στο φλοιό. Σε ΡΗ 6-8 είναι αδιάλυτο Γενικά, σε μη ρυπασμένα νερά απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30mg/l ,σπάνια μέχρι 100 mg/l (Καλλέργης, 2000). Η οδηγία της Ε.Ε δεν αναφέρει απαγορευτικές συγκεντρώσεις για το πυρίτιο. Στην περιοχή οι τιμές του πυριτίου κυμαίνονται μεταξύ 9,3-55,8 mg/l. Στην Εικόνα 12.24, που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης διοξειδίου του πυριτίου στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης Αναλυτικότερα:

- Η υψηλότερη τιμή διοξειδίου του πυριτίου εμφανίζεται στην γεώτρηση Γ14: 55,8 mg/l ενώ χαμηλότερη τιμή στην γεώτρηση Γ2:9,3 mg/l.
- Οι γεωτρήσεις Γ1, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7,Γ8, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ13, Γ15, Γ16 και η πηγή Π, παίρνουν τιμές που κυμαίνονται σ ένα εύρος 13-41,5 mg/l



**Εικόνα 12.24:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του διοξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub> mg/l) στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης

Οι συγκεντρώσεις πυριτίου είναι αυξημένες στην περιοχή. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η παρουσία πυριτίου αποδίδεται στην διάλυση των μαγνησιούχων ορυκτών, κυρίως των ολιβινών, που προέρχονται από την διάβρωση των οφιολιθικών σχηματισμών της περιοχής. Άλλη πηγή προέλευσης αποτελούν τα αργιλικά ορυκτά των ιζημάτων της περιοχής. Οι μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώνονται στα δυτικά και νότιο-ανατολικά όρια της περιοχής μελέτης .



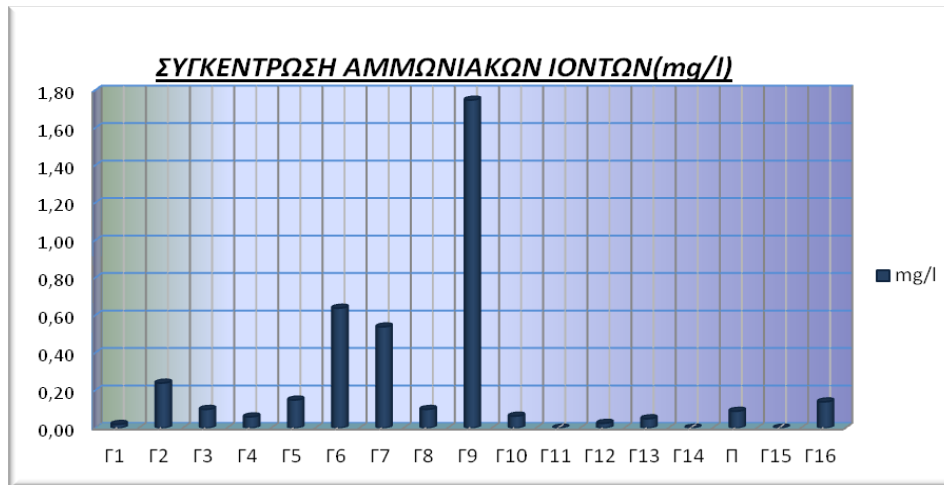
**Εικόνα 12.25:** Χάρτης χωρικής κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$  mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

## 12.7 ΙΧΝΟΕΝΩΣΕΙΣ

### ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ ( $\text{NH}_4^+$ )

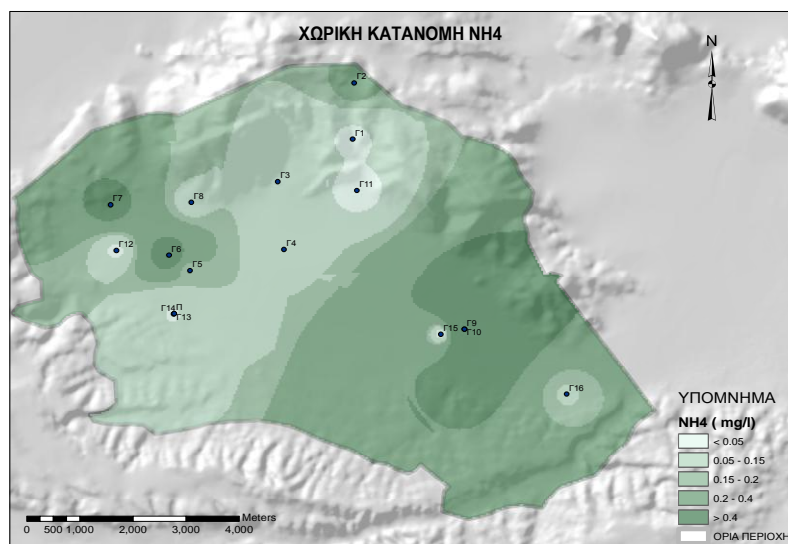
Το άζωτο είναι το πιο διαδεδομένο χημικό στοιχείο στην ατμόσφαιρα, είναι αμέταλλο και απαραίτητο συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών. Η πλειονότητα των οργανισμών δεν μπορεί να προσλάβει το άζωτο με την μορφή που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και χρειάζεται να το μετατρέψει. Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων αζώτου στα φυσικά νερά ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες. Το άζωτο εμφανίζεται στο υπόγειο νερό με ποικίλες μορφές: αέριας αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) η οποία είναι η πιο αναγωγική ανόργανη μορφή, των νιτρικών ανιόντων ( $\text{NO}_2^-$ ), των νιτρικών ανιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ), των κατιόντων αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) και στα οξειδωτικά περιβάλλοντα σαν μέρος οργανικών διαλυμάτων. Επίσης, υπάρχουν τρεις αέριες μορφές του αζώτου που παρατηρούνται στα υπόγεια νερά: το στοιχειώδες άζωτο, το οξείδιο του αζώτου και μονοξείδιο του αζώτου. Και οι τρεις αυτές μορφές, όταν διαλύονται στο υπόγειο νερό, παραμένουν αφόρτιστα αέρια. Τα αμμωνιακά κατιόντα απορροφώνται πολύ από τις επιφάνειες των ορυκτών. Τα νιτρικά μεταφέρονται γρήγορα από το υπόγειο νερό και παραμένουν σταθερά κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Τα νιτρικά σε αερόβιες ζώνες είναι ασταθή και γρήγορα οξειδώνονται και γενικά θεωρούνται σαν δείκτες μόλυνσης από βοθρολύματα και οργανικά απόβλητα. Η παρουσία των νιτρικών και των αμμωνιακών ιόντων φανερώνουν τη ρύπανση του υπόγειου νερού, η οποία είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης. (Τσαραμπάρης,2010) Η παρουσία της αμμωνίας στα υπόγεια νερά αποτελεί πάντα έναν σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Ανώτατο όριο συγκέντρωσης 0,5 mg/l θέτει η Ε.Ε. (ΦΕΚ892/11.7.2001). Σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από 0,2 mg/l προκαλεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό. Στην εικόνα 12.26 , που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης. Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση με τη μεγαλύτερη τιμή είναι η γεώτρηση Γ9 και παίρνει την τιμή 1,75mg/l
- Η γεώτρηση με την χαμηλότερη τιμή είναι η Γ1:0,2mg/l, ενώ στις γεωτρήσεις Γ11, Γ14, Γ15 δεν ανιχνεύεται η παρουσία αμμωνιακών.



**Εικόνα 12.26** :Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$  mg/l)των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Η χωρική κατανομή των μεγαλύτερων τιμών, αμμωνιακών ιόντων στην περιοχή των Βαγιών βρίσκεται περιφερειακά της λεκάνης ενώ οι μικρότερες τιμές κυρίως παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα.



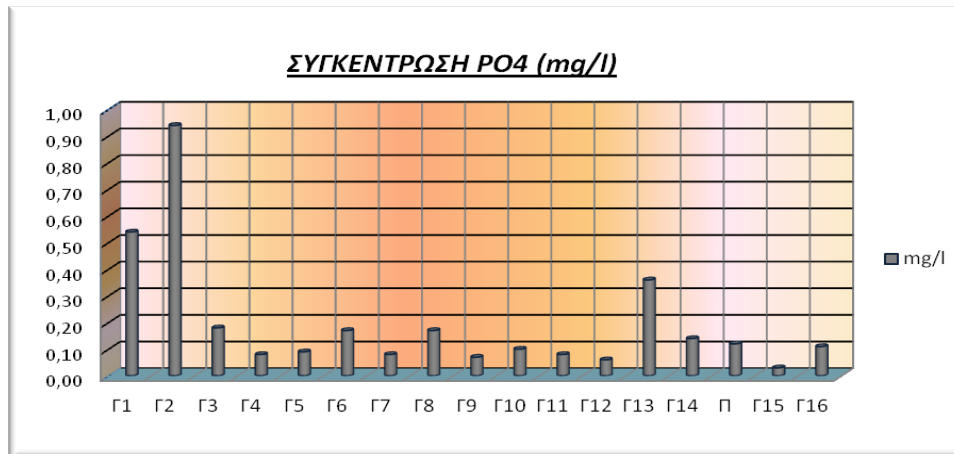
**Εικόνα 12.27** :Χάρτης χωρικής κατανομής των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$  mg/l)των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

### ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Ο φώσφορος είναι ένα από τα έξι κυτταρικά στοιχεία (C,H,O,N,P,S), ενώ η παρουσία του στο φλοιό της γης είναι σπανιότερη. Οι ενώσεις φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες, σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο υδατικό περιβάλλον, μεταβάλλουν συνεχώς την συγκέντρωση του. Η συγκέντρωση του P στα διάφορα πετρώματα παρουσιάζεται σε χαμηλά επίπεδα, όπως στα μαγματικά πετρώματα στα 1.100mg/kg, στους ψαμμίτες 539mg/kg, στους αργίλους 733mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281mg/kg (Matthess 1973). Η μεγάλη συγκέντρωση φωσφόρου στα υπόγεια νερά προέρχεται από ανθρωπογενής δραστηριότητα, όπως λιπάσματα, φυτοφάρμακα. Η παρουσία του φωσφόρου στα υπόγεια νερά είναι ανεπιθύμητη γιατί μπορούν να τροφοδοτηθούν τα επιφανειακά νερά και να προκαλέσει ρύπανση των επιφανειακών. Σύμφωνα με την Οδηγία της Ε.Ε. το ανώτατο όριο της συγκέντρωσης του  $\text{P}_2\text{O}_5$  είναι 5mg/l με ενδεικτική τιμή γύρω στα 0,4mg/l. Στην περιοχή μελέτης, τα επίπεδα του φωσφόρου κυμαίνονται μεταξύ 0,03-0,94mg/l. Στηνεικόνα,12.28,που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

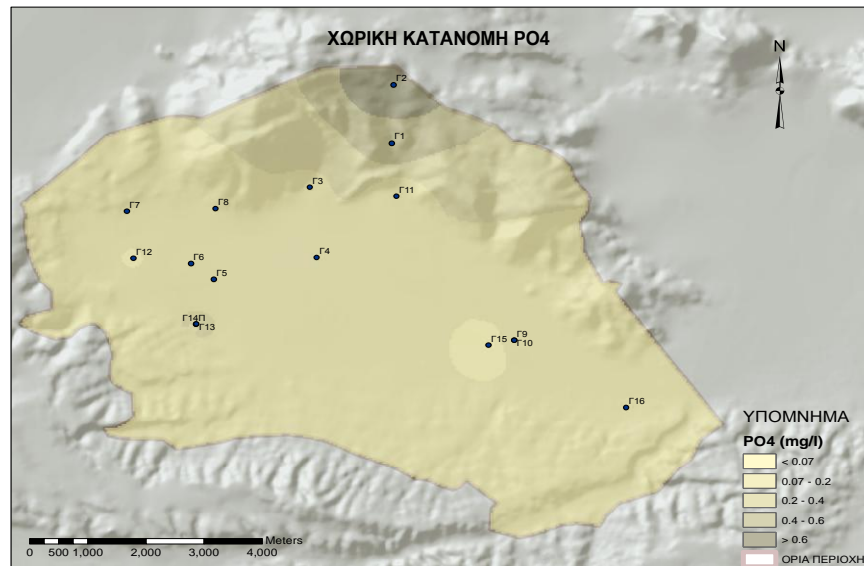
Αναλυτικότερα:

- Η χαμηλότερη τιμή φωσφόρου απαντάται στην γεώτρηση Γ15 και η υψηλότερη τιμή απαντάται στην Γ2
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις Γ1, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ7, Γ8, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ13, Γ14, Γ16 και Π κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια, με τιμές από 0,08-0,54 mg/L



**Εικόνα 12.28:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$  mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Στην εικόνα 12.29, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις προσδιορίζονται σε δυο υδροσημεία, Γ2 και Γ13, τα οποία γειτνιάζουν με πτηνοτροφικές και κτηνοτροφικές μονάδες. Η επιφανειακή επίδραση των υπόγειων νερών γίνεται τοπικά αισθητή.



**Εικόνα 12.29:** Χάρτης χωρικής κατανομής των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$  mg/l) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

## 12.8 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά ανιχνεύονται εκτός των κύριων στοιχείων, και μεταλλικά στοιχεία (Zn, Mn, Ca, Fe, Cd, Cr, κ.λπ.), σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, τα οποία συγκαταλέγονται στην κατηγορία ιχνοστοιχείων. Όλα τα έμβια όντα χρειάζονται τα ιχνοστοιχεία σε μικρές συγκεντρώσεις. Τα μέταλλα όπως ο σίδηρος, το νάτριο, το ασβέστιο, ο χαλκός, έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται στην μεταλλοτεχνία, παραδείγματος χάριν ως κράματα μετάλλου. Η συγκέντρωση των Ag, Cd, Cr, Hg, Mn, Zn, εκτός από το σίδηρο σύμφωνα με σταθερότυπα βρίσκεται σε προκαθορισμένα αποδεκτά όρια συγκέντρωσης. Η συγκέντρωση του καθενός από αυτά εκτός του σιδήρου είναι μικρότερη συνήθως του 1mg/L, λόγω των περιορισμών που βάζουν η διαλυτότητα των ορυκτών και των άμορφων ουσιών τους στο νερό και η προσρόφηση τους από τα αργιλικά ορυκτά, τα ένυδρα οξείδια του και Mn ή από οργανικές ύλες. (Καλέργης,2000). Σε αναγωγικά περιβάλλοντα ο σίδηρος ευρίσκεται εν διαλύσει με την μορφή  $Fe^{2+}$  ενώ σε οξειδωτικά περιβάλλοντα κυριαρχεί η αδιάστατη μορφή  $Fe^{3+}$  (Hem, 1988). Επειδή το  $Mn^{2+}$  που συμπεριφέρεται παρόμοια με τον  $Fe^{2+}$  έχει πολύ ευρύτερα pH-Eh πεδία σταθερότητας, παρουσιάζει μια ομαλότερη κατανομή σε σχέση με αυτή του σιδήρου. Παρόμοιες τάσεις με αυτές του μαγγανίου παρουσιάζουν τα συγγενή του στοιχεία, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Τα μέταλλα σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ενώσεις, δεν αποικοδομούνται και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Ένα μέρος αυτών καταλήγει με τη τροφική αλυσίδα έως τον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες. Τα μέταλλα μπορούν να παραμείνουν αποθηκευμένα στα ιζήματα με τη μορφή προσροφημένης ύλης, είτε με τη μορφή υδροξειδίων και οξειδίων. Πηγή προέλευσης των μετάλλων είναι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η παραγωγή τσιμέντου, η βυρσοδεψεία, η παραγωγή τσιμέντου, διάβρωση μπαταριών, καύση μολυβδούχας βενζίνης είτε από φυσικές διαδικασίες όπως διάβρωση πετρωμάτων, ηφαιστειακή δράση. Όταν το νερό έχει ρυπανθεί από οργανικές ύλες τότε και οι οργανικές ενώσεις των ιχνομετάλλων μπορεί να απαντούν σε σημαντικές συγκεντρώσεις. Η ρύπανση από μέταλλα είναι συχνή σε επιφανειακά νερά, και σε περιοχές που καλλιεργούνται λόγω φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων. Στην μελέτη των υπόγειων νερών της περιοχής μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ιχνομετάλλων και εμφανίζονται αναλυτικά παρακάτω. Ακολούθως, περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά για το κάθε ιχνοστοιχείο, τα επιτρεπτά όρια σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), που αφορά την ποιότητα των



πόσιμων νερών επιφανειακής ή υπόγειας προέλευσης, καθώς και εξήγηση πιθανή προέλευσης του κάθε ιχνοστοιχείου που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Με σκοπό την ανάλυση και επεξεργασία των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων της περιοχής έρευνας ανιχνεύτηκαν με τη βοήθεια της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy ή AAS) τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Κάδμιο(Cd), Μαγγάνιο(Mn), Κοβάλτιο(Co), Νικέλιο (Ni), Σίδηρος Ολικός ( $Fe_{tot}$ ), Χαλκός (Cu), Χρώμιο Ολικό ( $Cr_{tot}$ ) και Ψευδάργυρος (Zn).

#### ΣΙΔΗΡΟΣ ΟΛΙΚΟΣ( $Fe_{tot}$ )

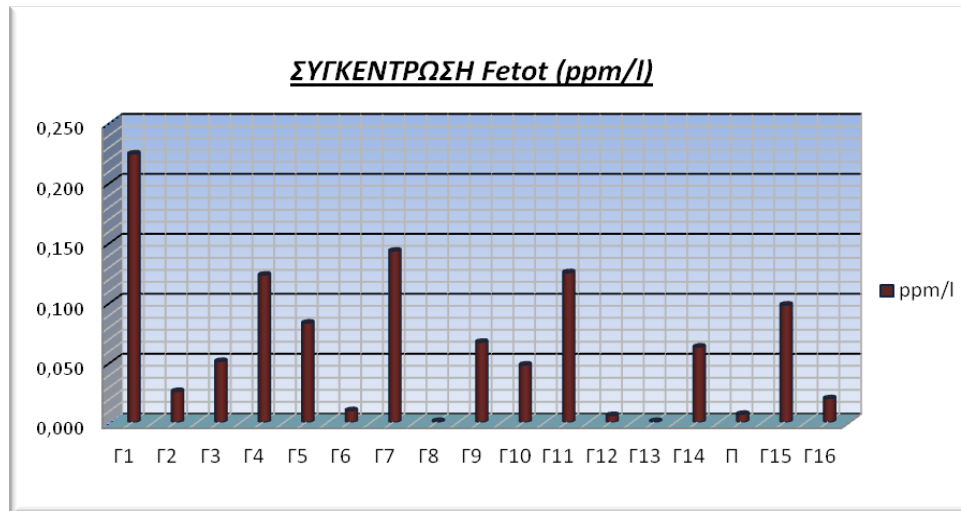
Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο και το αργίλιο. Κύρια πηγή προέλευσης του σιδήρου είναι τα μαγματικά και τα ψαμμιτικά. Συγκεκριμένα, οι αμφίβολοι, οι σιδηρομαγνησιούχοι μαρμαρυγίες, τα σουλφίδια του δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, ο μαγνητίτης  $Fe_3O_4$ , τα αργιλικά ορυκτά, τα ανθρακικά οξείδια, υδροξείδια, είναι ορυκτά που βρίσκεται κυρίως ο σίδηρος. Η περιεκτικότητα του σιδήρου στα μαγματικά πετρώματα φθάνει τα 42.200 mg/k. Στα ιζήματα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται ως ακολούθως: στους αργίλους 38.800 mg/kg, στους ψαμμίτες 18.600mg/kg, στα ανθρακικά 8.190 mg/kg, στους εβαπορίτες 265 mg/kg και στο θαλασσινό νερό 0,0034 mg/l (Matthess 1973). Ο σίδηρος μπορεί να βρεθεί κυρίως με τη μορφή του δισθενή σιδήρου και λιγότερο με τη μορφή του τρισθενή. Ο σίδηρος μπορεί να δημιουργηθεί με αναγωγή, με οξείδωση, ή κατά την απόθεση ορυκτών όπου η αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών οδηγεί στη δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών. Καθώς η διαδικασία της αποσάθρωσης προχωράει τα αργιλικά ορυκτά χάνουν τα κατιόντα, ακολούθως το πυρίτιο μέχρι όπου παραμένουν τα αδιάλυτα υδροξείδια του Αργιλίου στο μητρικό πέτρωμα υπάρχει δισθενής σίδηρος τότε δημιουργούνται οξείδια του σιδήρου. Στα ξηρά κλίματα η εξάτμιση οδηγεί στην δημιουργία της ακολουθίας του ασβεστίτη, γύψου, και χλωριούχου νατρίου (Καλέργης,2000). Η κύρια πηγή μόλυνσης του πόσιμου νερού από τον σίδηρο, είναι η διάβρωση σιδήρου που απαιτεί πολύ μικρό ποσό οξυγόνου. Εξαιτίας αυτής της εύκολης διάβρωσης του σιδήρου, κατά την οποία ιόντα σιδήρου ελευθερώνονται στο νερό, αποφεύγεται η χρήση σιδηροσωλήνων στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού. Ο σίδηρος είναι περισσότερο ευδιάλυτος σε PH =4.0, επίσης όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει τα 0,2mg/l, γίνεται

ίζημα μετά από έκθεση στον αέρα. Ο σίδηρος είναι στοιχείο το οποίο είναι απαραίτητο για όλους τους οργανισμούς. Οι βασικές του λειτουργίες σχετίζονται με τις αλλαγές στην κατάσταση οξειδωσης του και στην μεταφορά ηλεκτρονίων. Ο σίδηρος είναι βασικό συστατικό της αίμης , ενός μορίου το οποίο υπάρχει σε μεγάλο αριθμό ενζύμων και πρωτεϊνών. αέρα Ο σίδηρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για ένα υγιή οργανισμό, όμως η υπερβολική ποσότητα του μπορεί να καταστεί επιζήμια. Ο άνθρωπος δεν διαθέτει μηχανισμούς με τους οποίους μπορεί να απομακρύνει το σίδηρο από τον οργανισμό του. Έχει δειχθεί ότι η υπερφόρτωση του οργανισμού με σίδηρο μπορεί να προκαλέσει βλάβες, στο κυκλοφορικό σύστημα, στην καρδιά και εγκεφαλικά επεισόδια εξαιτίας της οξειδωτικής του δράσης. Η συγκέντρωση του σιδήρου στο πόσιμο νερό, συνήθως δεν ξεπερνά τα 0,3 mg/l. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση είναι 200μg/L σύμφωνα με τον νόμο (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86).

Στην περιοχή έρευνας οι τιμές συγκέντρωσης του ολικού σιδήρου κυμαίνονται μεταξύ 0,001ppm/l-0,224ppm/l. (εικόνα 12.30)

Αναλυτικότερα:

- Συγκεκριμένα η Γ1 έχει την υψηλότερη τιμή, ενώ η Γ8 έχει την χαμηλότερη.
- Οι γεωτρήσεις, Γ4, Γ7, και Γ11 έχουν τιμές 0,123, 0,143 και 0,125ppm/l, αντίστοιχα.
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις Γ10, Γ3, Γ5, Γ6, Γ8, Γ9, Γ12, Γ13, Γ14, Γ15, Γ16, Γ2 έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, που κυμαίνονται μεταξύ 0,006-0,098ppm/l βρίσκονται στο πεδινό τμήμα των Βαγίων. Η πηγή Βίλεζα έχει συγκέντρωση ολικού σιδήρου 0,007ppm/l από νεογενείς σχηματισμούς. Οι ποσότητες σιδήρου στην περιοχή παρατηρούνται σε μικρές συγκεντρώσεις.



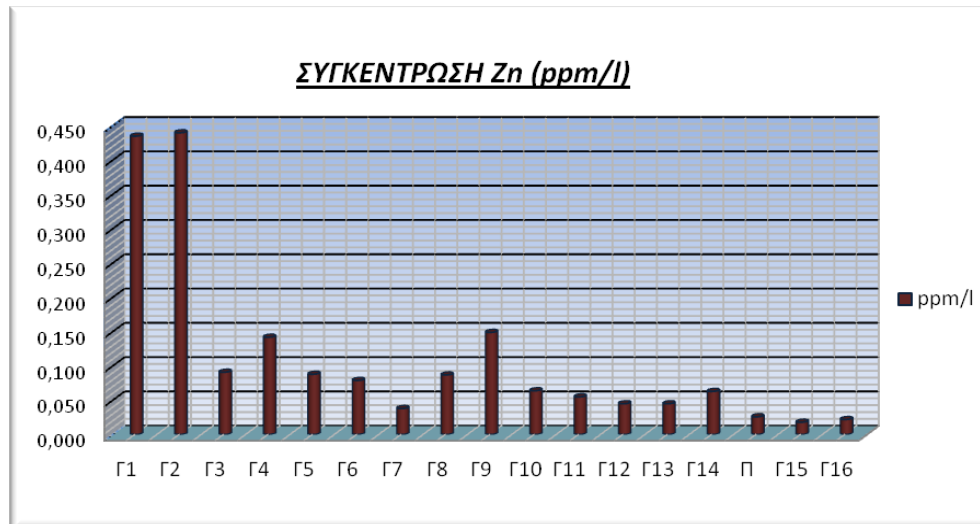
**Εικόνα 12.30:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του ολικού σιδήρου (Fetot ppm/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

#### ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ(Zn)

Ο ψευδάργυρος συγκαταλέγεται στα ιχνοστοιχεία. Ως στοιχείο είναι απαραίτητο για κάθε μορφή ζωής, σε μικρές συγκεντρώσεις. Ο ψευδάργυρος είναι σε αφθονία στο φλοιό. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 80 mg/kg στους ψαμμίτες με 16,3mg/kg, στους αργίλους με 130 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 15,6 mg/kg. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο, τον σίδηρο, το κάδμιο και τον χαλκό (Matthess 1973). Στο υπόγειο νερό οι συγκεντρώσεις των ιχνομετάλλων είναι σε χαμηλά επίπεδα λόγω της προσρόφησης από τα αργιλικά ορυκτά, τα οργανικά υλικά και τα λοιπά ορυκτά που αποτελούν το πορώδες μέσον. (Καλέργης,2000). Το ανθρώπινο σώμα περιέχει ιόντα ψευδαργύρου και η έλλειψη αυτού προκαλεί σημαντικά προβλήματα όπως η τριχόπτωση, δερματικές κακώσεις, κλπ Τα εγκεφαλικά κύτταρα των θηλαστικών περιέχουν ψευδάργυρο, καθώς επίσης οι σιελογόνοι αδένες, ο προστάτης, το ανοσοποιητικό σύστημα και το έντερο. Η Οδηγία 80/778EE συγκαταλέγει τον Ψευδάργυρο στην κατηγορία των ανεπιθύμητων ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο πόσιμο νερό τα 100 µg/l. Στο νερό άρδευσης δεν επιτρέπεται η συγκέντρωση ψευδαργύρου να υπερβαίνει τα 2,0 mg/l. Η Οδηγία 98/83/EE δεν κατατάσσει τον ψευδάργυρο σε κανένα από τους καταλόγους των προς έλεγχο παραμέτρων.

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές είναι χαμηλές και κυμαίνονται μεταξύ 0,018-0,435ppm/l Οι τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις κυμαίνονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις και δεν υπερβαίνουν τα όρια της Ε.Ε Αναλυτικότερα:

Η γεώτρηση Γ13 έχει την χαμηλότερη τιμή και την υψηλότερη η Γ1:0,435ppm/l.



**Εικόνα 12.31:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του ψευδαργύρου (Zn,ppm/l),των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης

### ΧΡΩΜΙΟ(Cr)

Το χρώμιο υπάρχει στη φύση με τη μορφή τρισθενούς κατιόντος. Το χρώμιο είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση με φυσική αφθονία στο φλοιό της Γης 100 ppm. Το Cr είναι γνωστό σε διάφορες ιοντικές καταστάσεις που ποικίλουν από -4 έως +6, αλλά στη φύση συνήθως απαντά μόνο στις οξειδωτικές κατατάσεις,  $Cr^{3+}$  και  $Cr^{6+}$ . Το  $Cr^{3+}$  απαντά με τη μορφή χρωμιούχων οξειδίων ( $Cr_2O_3$ ) και υδροξειδίων ( $Cr(OH)_3$ ) καθώς και ως διαλυτών κατιόντων  $CrOH^{2+}$  και  $Cr(OH)^{2+}$  ενώ το  $Cr^{6+}$  με τη μορφή χρωμικών ( $CrO_4^{2-}$ ) και διχρωμικών ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) ανιόντων ή ακόμη και ως χρωμικό βάριο ( $BaCrO_4$ ) ή διχρωμικό νάτριο ( $N_2Cr_2O_7$ )

Η περιεκτικότητα των περισσότερων πετρωμάτων σε χρώμιο κυμαίνεται μεταξύ 5-1800 mg/kg. Στα περισσότερα εδάφη υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες (2-60mg/kg). Μόνο ένα πολύ μικρό

ποσοστό είναι διαθέσιμο στα φυτά (μέχρι 0,19 mg/kg) και δεν έχει διευκρινιστεί επαρκώς το κατά πόσο το χρώμιο είναι γι' αυτά ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο.

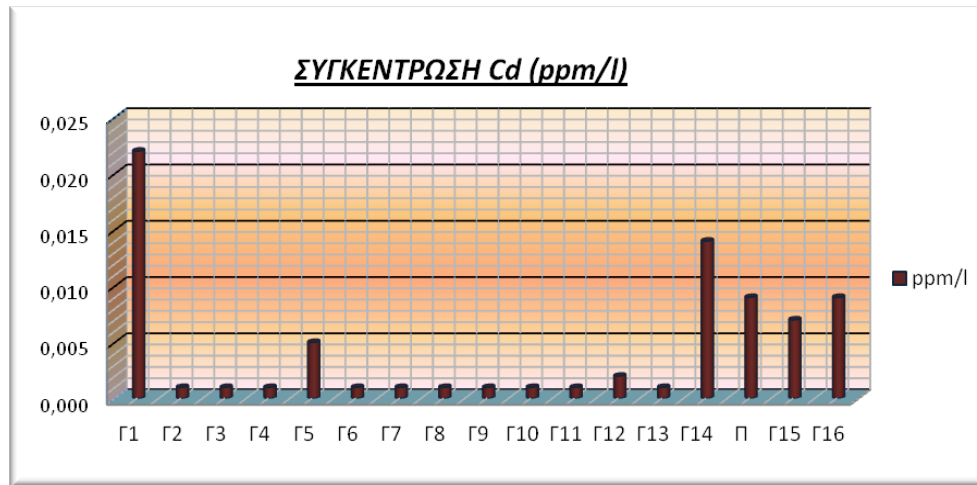
Το εξασθενές χρώμιο επικρατεί στο υδάτινο περιβάλλον και πηγή προέλευσης του κυρίως είναι οι ανθρωπογενής δραστηριότητες. Τα άλατα του εξασθενούς χρωμίου είναι ευδιάλυτα ενώ του τρισθενούς αδιάλυτα και καθιζάνουν. Το πόσιμο νερό έχει θεσπιστεί με Οδηγία 98/83/EC ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου τα 50μg/l Οι συγκεντρώσει του χρωμίου στην περιοχή μελέτης είναι όλες κάτω από 0,001ppm/l.

### ΚΑΔΜΙΟ(Cd)

Είναι ένα σχετικά σπάνιο, μαλακό, ελαφρώς γαλάζιο, τοξικό μέταλλο. Το κάδμιο συναντάται στη φύση σε θειούχα ορυκτά με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Το κάδμιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο της λιθόσφαιρας και είναι από τα πιο τοξικά. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 0,192 mg/kg στους ψαμμίτες με 0,0199 mg/kg, στους αργίλους με 0,183 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 0,0476 mg/kg. Χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, όπως στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στα χρώματα, σε σταθεροποιητές των πλαστικών, σε διάφορα κράματα με τον χαλκό, στην επιμετάλλωση κ.α., με αποτέλεσμα η επιμόλυνση του περιβάλλοντος να είναι η συνέπεια των εφαρμογών του. Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση, 5μg/L (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86). Στα φυσικά υπόγεια νερά το κάδμιο σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη, λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της δυσδιαλυτότητας του. Αναλυτικότερα:

- Η υψηλότερη τιμή καδμίου εμφανίζεται στην γεώτρηση Γ1, 0,024 ppm/l και η μικρότερη τιμή 0,001 ppm/l, στις γεωτρήσεις Γ2, Γ3, Γ4, Γ6, Γ7, Γ8, Γ9, Γ10, Γ11 και Γ13.
- Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις Γ12, Γ14, Γ15, Γ16 και η πηγή Π παίρνουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,002-0,014 ppm/l

Κύρια πηγή προέλευσης καδμίου αποτελούν τα λιπάσματα. Οι περισσότερες τιμές είναι χαμηλές και παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης ενώ οι μεγαλύτερες στα βόρεια και νότιο –ανατολικά, περιφερειακά της λεκάνης



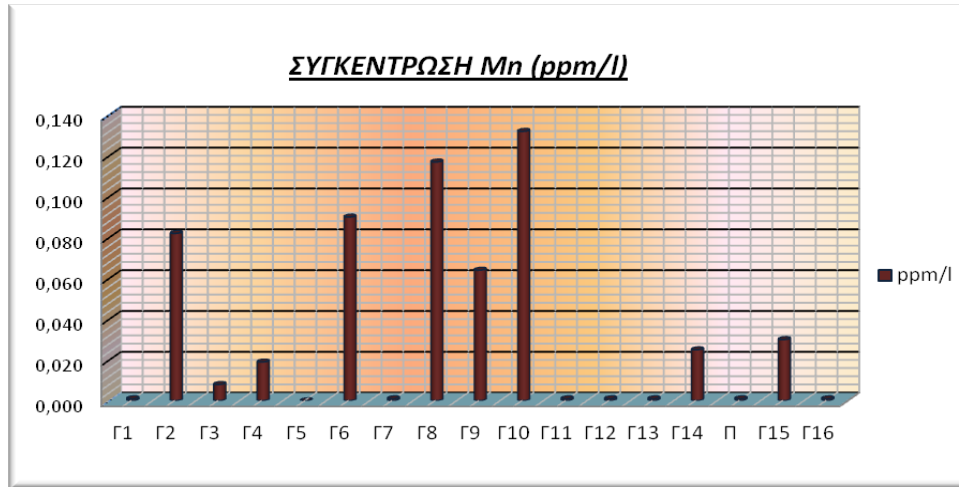
**Εικόνα 12.32:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών καδμίου (Cd ppm/l) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

#### ΚΟΒΑΛΤΙΟ(Co)

Το κοβάλτιο δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση αλλά οι ενώσεις του κοβαλτίου είναι συνήθεις υπό μορφή ορυκτών. Μικρές ποσότητες κοβαλτίου μπορούν να βρεθούν στα διάφορα πετρώματα, το έδαφος, τα φυτά και τα ζώα. Στη φύση συχνά σχετίζεται με το νικέλιο ενώ και τα δύο αυτά είναι χαρακτηριστικά συστατικά του μεταωρικού σιδήρου. Στην περιοχή οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε πού χαμηλά επίπεδα τιμών, <0.001mg/l

#### ΜΑΓΓΑΝΙΟ(Mn)

Το μεταλλικό μαγγάνιο και τα άλατά του χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία. Έτσι, ορισμένες φορές η αυξημένη συγκέντρωση του μαγγανίου στο νερό μπορεί να οφείλεται σε βιομηχανική ρύπανση. Το μαγγάνιο είναι σημαντικό στοιχείο των φυτών και βρίσκεται στην οργανική ύλη σε υψηλές συγκεντρώσεις. Το μαγγάνιο στον ανθρώπινο οργανισμό είναι απαραίτητο. Το θαλασσινό νερό περιέχει μόνο 10 ppm μαγγανίου. Κυριότερα ορυκτά του μαγγανίου είναι ο μαγγανίτης, ο ροδοχρωσίτης, ο πυρολουσίτης και ο κρυπτομέλας. Η Οδηγία 98/83/ΕΚ της ΕΕ συγκαταλέγει το μαγγάνιο στις ανεπιθύμητες ουσίες και καθορίζει σαν ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας του στο πόσιμο νερό τα 20 µg/l, ενώ σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 50 µg/l.



**Εικόνα 12.33:** Διάγραμμα διακύμανσης τιμών του μαγνησίου (Mn ppm/l), των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στη περιοχή κυμαίνονται σε χαμηλές τιμές, από 0,001-0,132mg/L, είναι πολύ μικρές. Η πηγή προέλευσης είναι κυρίως οι ασβεστόλιθοι.

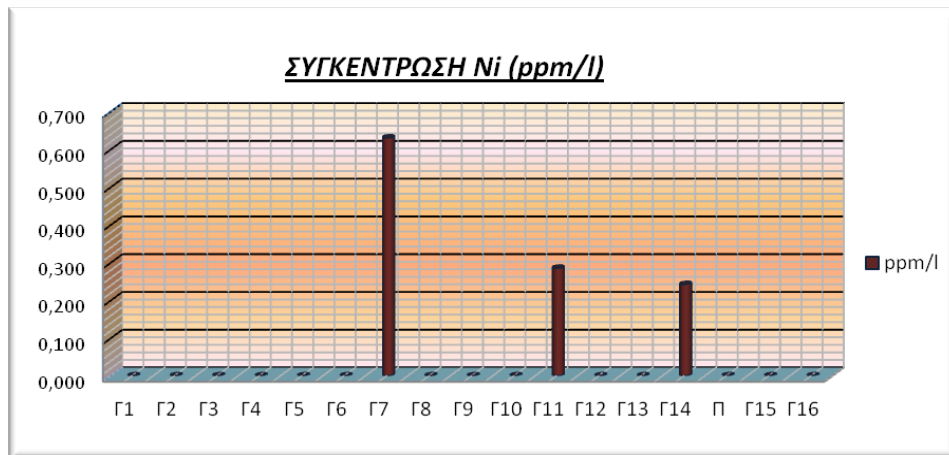
#### ΝΙΚΕΛΙΟ(Ni)

Το νικέλιο βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 93,8 mg/kg στους ψαμμίτες με 2,6 mg/kg, στους αργίλους με 29,4 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 12,8 mg/kg και στους εβαπορίτες με 1,4 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,007 mg/l. Αναφέρονται πολλές περιπτώσεις ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νικέλιο από τα βιομηχανικά απόβλητα εξαιτίας της ευδιαλυτότητας των αλάτων του νικελίου. Σε υδατικά διαλύματα ευρίσκεται συνήθως σαν ένυδρο ιόν  $Ni(H_2O)_{6}^{++}$ . Η Οδηγία 98/83/ΕΕ περιλαμβάνει το νικέλιο στο κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή 20  $\mu\text{g/l}$

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές του νικελίου, βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, <0,001mg/L. Αναλυτικότερα:

- Η γεώτρηση Γ7, έχει τη μεγαλύτερη τιμή 0,631mg/L και την μικρότερη τιμή 0,001mg/L οι γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5, Γ6, Γ8, Γ9, Γ10, Γ12, Γ13, Γ15, Γ16 και η πηγή Π

- Οι γεωτρήσεις Γ11 και Γ14 παίρνουν τις τιμές 0,286 και 0,243 mg/L, αντίστοιχα.



**Εικόνα 12.34:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του νικελίου (Ni ppm/l ) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης

#### ΧΑΛΚΟΣ(Cu)

Ο χαλκός είναι σύνηθες στοιχείο της λιθόσφαιρας. Ο χαλκός βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 97,4 mg/kg στους ψαμμίτες με 15,4 mg/kg, στους αργίλους με 44,7 mg/kg, στα ανθρακικά, 4,2 mg/kg, και στους εβαπορίτες 2 mg/kg. Η φύση του χαλκού εξαρτάται από την συγκέντρωση των ανθρακικών και των άλλων ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό. Ο χαλκός είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανάπτυξη των ανθρώπων, των φυτών και των ζώων. Οι τιμές που καθορίζει η Ε.Ε είναι 200μg/L. Στα νερά ύδρευσης μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, λόγω της διάβρωσης των χαλκοσωλήνων. Στην περιοχή οι τιμές χαλκού κυμαίνονται σε πολύ μικρές τιμές <0.001mg/L.

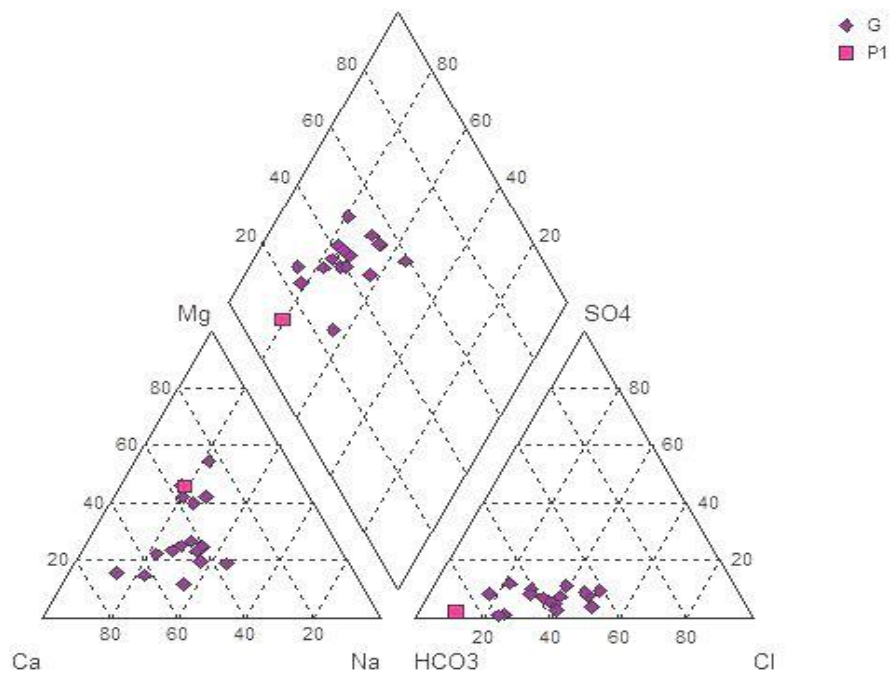


## 12.9 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Με σκοπό την άντληση υδρογεωλογικών πληροφοριών από τις χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών είναι απαραίτητο να σχηματιστεί η πορεία που ακολούθησε η γεωχημική εξέλιξη τους. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το σκοπό τα διαγράμματα PIPER και DYROV.

### 12.9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ PIPER

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και στον πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε αντιστοιχία με τον τύπο νερού που ταξινομούνται.



**Εικόνα 12.35 :** Υδροχημική ταξινόμηση υπόγειων νερών Βαγίων, Βοιωτίας, σύμφωνα με το διάγραμμα Piper

Τα υπόγεια νερά της περιοχής, σύμφωνα με το διάγραμμα PIPER, ταξινομούνται σε δυο κύριες ομάδες τύπων νερών. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν τα γαιοαλκαλικά νερά και στη δεύτερη ομάδα τα αλκαλικά νερά.

Τα Γαιοαλκαλικά νερά ταξινομούνται στις υποκατηγορίες:

α) νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων που εμφανίζουν του ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl και

β) νερά οξινοανθρακικά που εμφανίζουν του ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub>.

Τα νερά της περιοχής σε ποσοστό των δειγμάτων πάνω από το 50% χαρακτηρίζονται φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Στην κατηγορία αυτή από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν το ασβέστιο και το μαγνήσιο, ενώ από την πλευρά των ανιόντων τα όξινα ανθρακικά και τα χλώρια.

Τα Αλκαλικά νερά ταξινομούνται στις υποκατηγορίες:

α) νερά οξινοανθρακικά, Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub> και

β) νερά χλωριοθειικά Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl.

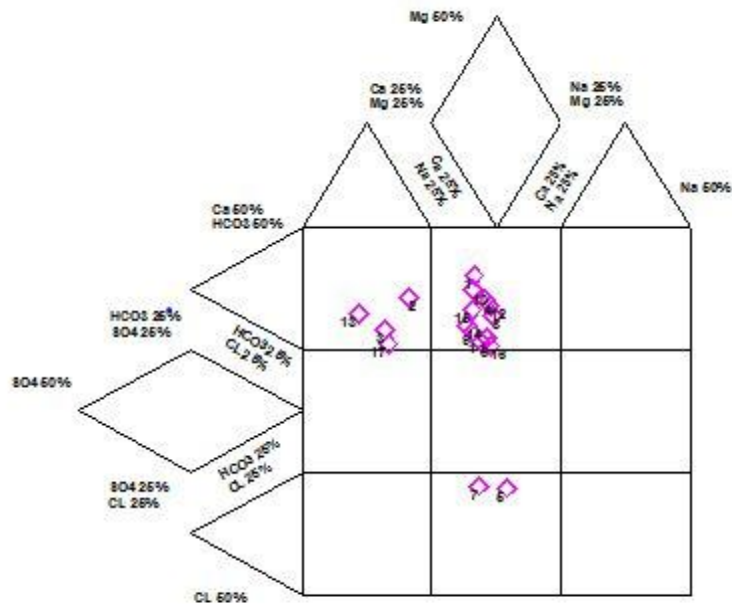
Στην πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν το νάτριο και το μαγνήσιο, ενώ από την πλευρά των ανιόντων τα χλώρια και τα όξινα ανθρακικά. Με βάση τις αναλύσεις του διαγράμματος ο μεγαλύτερος όγκος των νερών είναι γαιοαλκαλικά, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων.

**Πίνακας 13:** Χαρακτηριστικοί χημικοί τύποι νερών περιοχής Βαγίων

ΔΕΙΓΜΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ
1	<i>Ca-Na-HCO<sub>3</sub></i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
12	<i>Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl</i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
10,2	<i>Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl</i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
13,16,3,8	<i>Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl</i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
11,6	<i>Ca-Na-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub></i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
P	<i>Mg-Ca-HCO<sub>3</sub></i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
14,9	<i>Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl</i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ,
7	<i>Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub></i>	ΓΑΙΟΑΛΚΑΛΙΚΑ
15,5	<i>Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl</i>	ΑΛΚΑΛΙΚΑ
4	<i>Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub></i>	ΑΛΚΑΛΙΚΑ

### 12.9.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ DUROV

Για την καλύτερη απεικόνιση και ταξινόμηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το διαστελλόμενο διάγραμμα Durov (εικόνα, 12.36)



**Εικόνα 12.36:** Υδροχημική ταξινόμηση σύμφωνα με το διάγραμμα DUROV

Μετά από την απεικόνιση των δειγμάτων στο διάγραμμα τα αποτελέσματα δείχνουν τρεις ομάδες υπόγειων νερών.

- Στην πρώτη ομάδα ανήκουν τα υπόγεια νερά από τις γεωτρήσεις Γ1(μοναστήρι), Γ2, οι οποίες βρίσκονται βορειο-ανατολικά στην περιοχή μελέτης και Γ12 και Γ16. Οι τέσσερις αυτές γεωτρήσεις βρίσκονται περιφερειακά της λεκάνης των Βαγίων και αποτελούν φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης, που κατεισδύουν δια μέσω ασβεστολίθων, ψαμμιτών αλλά και άλλων ασβεστιτικών πετρωμάτων. Τα νερά αυτά έχουν υδροχημικό τύπο Ca-HCO<sub>3</sub>.

- Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν οι γεωτρήσεις Γ3 ,Γ4, Γ7, Γ8, Γ9, Γ10, Γ11, Γ13, Γ14, Γ15 και η πηγή Π1. Οι γεωτρήσεις βρίσκονται στο πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης και είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού . Η πηγή βρίσκεται και αυτή στο πεδινό τμήμα και τα νερά της ανήκουν κυρίως , όπως και των γεωτρήσεων στα φρέσκα νερά εμπλουτισμού, που μπορεί να προέρχονται από ανθρακικά πετρώματα, δολομίτες. Τα νερά αυτά έχουν υδροχημικό τύπο Mg- HCO<sub>3</sub>.
- Στην τελευταία ομάδα ανήκουν τα νερά των γεωτρήσεων Γ5, Γ6.Οι γεωτρήσεις βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Τα νερά αυτά έχουν υδροχημικό τύπο Mg-Cl. Ο τύπος αυτός νερών συγκεκριμένα δείχνει πως το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

Συμπερασματικά προκύπτει από τα αποτελέσματα πως η πλειοψηφία των υπόγειων νερών ανήκει στο δεύτερο πεδίο του διαγράμματος Duron , με υδροχημικό τύπο Mg- HCO<sub>3</sub>. Τα νερά της περιοχής είναι πλούσια σε μαγνήσιο και οξίνα ανθρακικά. Τα υπόγεια νερά εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης εμπλουτίζονται με μαγνήσιο μέσω της κατιοανταλλαγής.

**Πίνακας 14:** Κατάταξη νερών με βάση το διάγραμμα DUROV

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ
2,3,13,17	1	<i>Ca-HCO<sub>3</sub></i>	Φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Κυριαρχούν το Ca <sup>++</sup> , HCO <sub>3</sub>
1,4,5,8,9,10,11,12,14,15,16	2	<i>Mg- HCO<sub>3</sub></i>	Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων. Κυριαρχούν το Mg <sup>++</sup> ,HCO <sub>3</sub>
7,6	8	<i>Mg-Cl</i>	Επικρατεί το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

### 13. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΗΣ

#### α) Καταλληλότητα των νερών για ανθρώπινη κατανάλωση

Για την εξέταση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, όσο αφορά την ποσιμότητά τους, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια που καθορίστηκαν από την Ελληνική Νομοθεσία (ΦΕΚ 892/Β/11 892/Β/11-7-2001) σε συμμόρφωση με την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ε.Ε της 3/11/1998 (Πίνακας 15).

Με βάση τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που προσδιορίζονται στα υπόγεια νερά της περιοχής, γίνεται σύγκριση με τις ανώτερες τιμές που θέτει η Ε.Ε. και αφορούν τα πόσιμα νερά.

**Πίνακας 15:** Σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778 ΕΟΚ, ΦΕΚ 53Α/20-2-86).

Παράμετρος ή	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
Θερμοκρασία	12°C	25°C
pH	6.5≤pH≤8.5	
Αγωγιμότητα	400μS/cm (στους 20 °C)	
Cl	25 mg/l	
SO <sub>4</sub>	25 mg/l	250 mg/l
Mg	30 mg/l	50 mg/l
Na	20 mg/l	150 mg/l
K	10 mg/l	12 mg/l
Al	0,05 mg/l	0,2 mg/l
NO <sub>3</sub>	25 mg/l	50 mg/l
NH <sub>4</sub>	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Fe	0,05 mg/l	0,2 mg/l
Mn	0,02 mg/l	0,05 mg/l
Cu		0,1 mg/l
Zn		0,1 mg/l
P	0,4 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Ag		0,01 mg/l
As		0,05 mg/l
Cd		0,005 mg/l
Cr		0,05 mg/l
Hg		0,001 mg/l
Ni		0,05 mg/l
Pb		0,01 mg/l
Ca	100 mg/l	

Ειδικότερα, μια αναλυτική εικόνα της ποιότητας των υπόγειων νερών δίνεται στον πίνακα 16, όπου παρουσιάζονται οι υπερβάσεις του καθενός δείγματος στις φυσικοχημικές και χημικές παραμέτρους και ως εκ τούτου κρίνεται η καταλληλότητά τους για ανθρώπινη κατανάλωση.

**Πίνακας 16:** Ένδειξη καταλληλότητας ή μη των νερών της περιοχής για ανθρώπινη κατανάλωση

Υδροσημείο	ΠΟΣΙΜΟ	Στοιχεία υπέρβασης ορίου ποσιμότητας
Π1	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , Cl
Γ1	ΟΧΙ	Σκληρ, , $Na^+$ , $SO_4^{2-}$ , Cl, P, Zn, Fe
Γ2	ΟΧΙ	Σκληρ, $Ca^{2+}$ , $Na^+$ , K, $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , P, $NO_3^-$ , Zn
Γ3	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Ca^{2+}$ , $Na^+$ , $Mg^{2+}$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$
Γ4	ΟΧΙ	T.D.S Σκληρ, $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , Fe
Γ5	ΟΧΙ	Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $NO_3^-$ ,
Γ6	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $NO_3^-$
Γ7	ΟΧΙ	TDS, Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , Fe
Γ8	ΟΧΙ	TDS, Σκληρ, $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$
Γ9	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$ , Zn
Γ10	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$ , Fe
Γ11	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, K, $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$
Γ12	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Na^+$ , $Cl^-$ , $NO_3^-$
Γ13	ΟΧΙ	Σκληρ, $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$
Γ14	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $NO_3^-$
Γ15	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$
Γ16	ΟΧΙ	T.D.S, Σκληρ, $Ca^{2+}$ , $Na^+$ , $Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , $NO_3^-$

Τα ποιοτικά προβλήματα που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης, αναφορικά ως προς την ποιότητα του πόσιμου νερού, πέραν της υψηλής αλατότητας στο μεγαλύτερο τμήμα των δειγμάτων, είναι η παρουσία νιτρικών αλάτων σχεδόν στην πλειονότητα των δειγμάτων. Τα βαρέα μέταλλα ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής με τιμές που υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια και αυτά είναι ο Ψευδάργυρος και ο Σίδηρος.

Γενικά τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη χρήση, αν συνυπολογιστούν όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι, τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία αυτών. Βασικώς παράγοντας στην υποβάθμιση των υπόγειων νερών της λεκάνης των Βαγίων, που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες σε μικρότερο ποσοστό.

#### β) Καταλληλότητα των νερών για άρδευση

Το αρδευτικό νερό για την καλύτερη χρήση χρειάζεται απαραίτητο έλεγχο ώστε ποιοτικά να μπορεί να ικανοποιήσει συγκεκριμένα σταθερότυπα. Τα σταθερότυπα του αρδευτικού νερού βασίζονται (Bouwer 1997, Richards 1954, Wilcox 1995, Ayers 1977) στην ολική συγκέντρωση αλάτων νερού, διότι αυτή επιδρά στην καρποφορία, επηρεάζοντας την ωσμωτική πίεση.

Στην συγκέντρωση ορισμένων ιόντων, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα της καρποφορίας. Στην συγκέντρωση κατιόντων εκείνων που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν βλάβη στη δομή του εδάφους και εξ αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού. (Καλλέργης,2000)

#### Ταξινόμηση κατά Richards

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου SAR (Sodium Absorption Ratio) βάση της πιο κάτω σχέσης :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$



Οι συγκεντρώσεις των Na, Ca και Mg εκφράζονται σε meq/l (Richards 1954). Η ποιοτική ταξινόμηση γίνεται σύμφωνα με το Σύστημα Ταξινόμησης του Richards με το οποίο τα νερά κατατάσσονται σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών (Πίνακας 17).

**Πίνακας 17 :** Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητα τους κατά Richards (1954).

Κατηγορία νερού		Καταλληλότητα για άρδευση
1	C1-S1	Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Κατάλληλο για άρδευση.
2	C1-S2, C2-S1	Νερό καλής ποιότητας. Κατάλληλο για άρδευση καλλιεργειών με εξαίρεση φυτά εξαιρετικά ευαίσθητα στα άλατα ή εδάφη με κακή στραγγισή.
3	C2-S2, C1-S3, C3-S1	Νερό μέσης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με περιορισμούς.
4	C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	Νερό μέσης προς κακής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ανθεκτικών σε άλατα φυτών και σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη.
5	C2-S4, C4-S2, C3-S3	Νερό κακής ποιότητας. Δεν συνιστάται η χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με αυστηρούς περιορισμούς σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά στα άλατα. Κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους γι αυτό συνιστάται η περιοδική έκπλυση των αλάτων.
6	C3-S4 C4-S3	Νερό κακής ποιότητας που δεν συνιστάται η χρήση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εξαιρετικές περιπτώσεις κάτω από πολλούς περιορισμούς.
7	C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η εφαρμογή του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.

Ο δείκτης προσρόφησης νατρίου είναι βασικό κριτήριο καταλληλότητας νερού για άρδευση, όπου οι συγκεντρώσεις του Na, Ca και Mg είναι εκφρασμένες σε meq/l. Το Na προκαλεί αποκροκίδωση του εδάφους κατά την ιοντοανταλλαγή με το Ca και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Εδάφη πλούσια σε Na ονομάζονται αλκαλικά όταν

το ανιόν που επικρατεί είναι η ανθρακική ρίζα και αλατούχα όταν το ανιόν που επικρατεί είναι το χλώριο ή η θειική ρίζα.

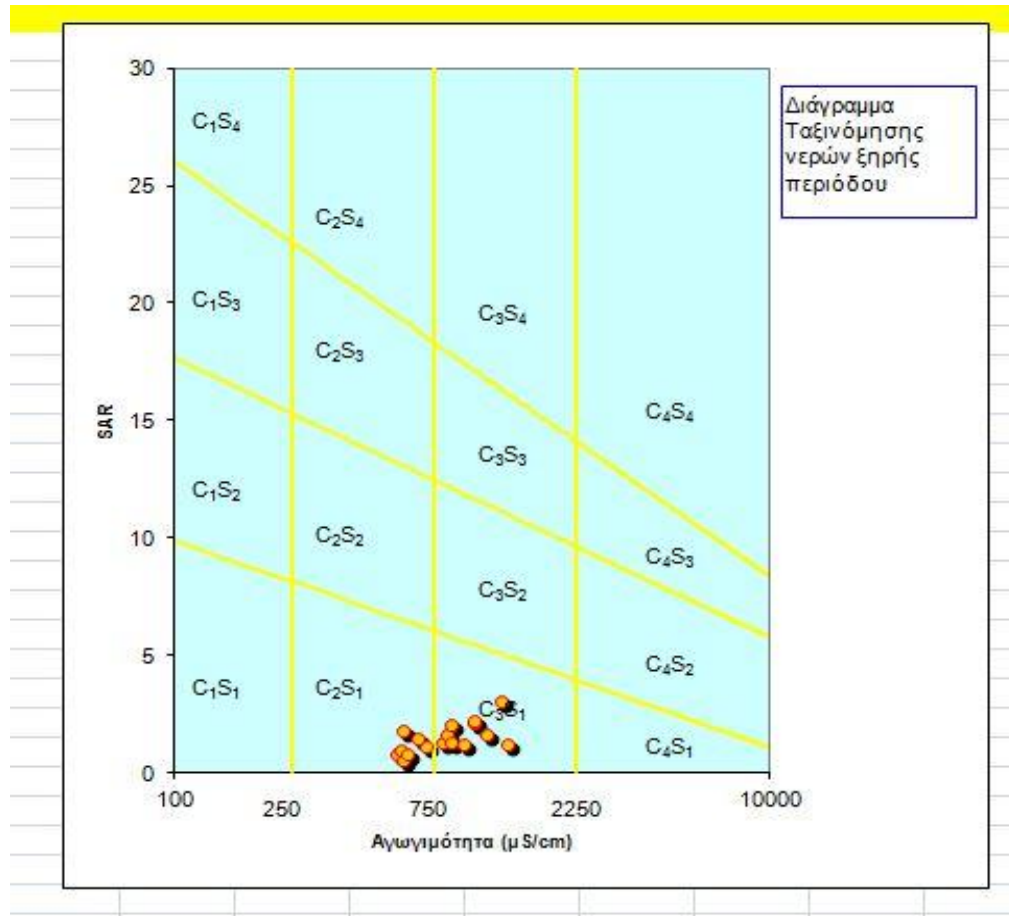
Στα δείγματα των γεωτρήσεων και της πηγής εκτιμήθηκε ο συντελεστής S.A.R. με σκοπό την ταξινόμηση αυτών στην αντίστοιχη κατηγορία καταλληλότητας για αρδευτική χρήση των νερών.

Στον παρακάτω πίνακα 18 παρουσιάζεται η τιμή του συντελεστή S.A.R. για κάθε ένα δείγμα υπόγειου νερού.

Η επίδραση της ηλεκτρική αγωγιμότητας σε συνδυασμό με το δείκτη SAR, απεικονίζεται στο διάγραμμα ταξινόμησης κατά Richards, από το US Salinity Laboratory(1954). Ο Richards πρότεινε τη συγκεκριμένη ταξινόμηση με βάση το κριτήριο της παραγωγικότητας των φυτών σε αλατούχο έδαφος, κάτω από παρόμοιες συνθήκες ανάπτυξης . Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται εάν τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι κατάλληλα για άρδευση. Τα δείγματα ταξινομούνται στα πεδία  $C_2S_1$  και  $C_3S_1$ . Όλα τα δείγματα που βρίσκονται στο πεδίο  $C_2$ , μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, σε καλλιέργειες μετρίως ανθεκτικές στην αλατότητα, ενώ τα νερά των γεωτρήσεων στο πεδίο  $C_3$ , δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με προβλήματα στράγγισης.

**Πίνακας 18:** Δείκτης S.A.R. των υπόγειων νερών του κάμπου των Βαγίων

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>ΤΙΜΗ SAR</b>	<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>ΤΙΜΗ SAR</b>
Γ1	1.75	Γ10	2
Γ2	1.1	Γ11	2.16
Γ3	2.14	Γ12	0.56
Γ4	3.08	Γ13	1.3
Γ5	1.31	Γ14	0.76
Γ6	1.63	Γ15	1.6
Γ7	0.94	Γ16	1.2
Γ8	1.41	Π	0.8
Γ9	1.22		



**Εικόνα 13.1:** Διάγραμμα ταξινόμηση για καταλληλότητα υπόγειων νερών στο κάμπο των Βαγίων σύμφωνα με τον Richards

#### 14. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από διαδικασίες για τον έλεγχο της ποιότητα των υπόγειων νερών αλλά και για την ποσοτική κατανομή των υπόγειων νερών σε σχέση με τα επιφανειακά με σκοπό την παρατήρηση και αποκωδικοποίηση του υδρολογικού και υδρογεωλογικού μοντέλου της λεκάνης.

##### Α) Αναφορικά ως προς την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης:

Η βασική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου είναι η εξής:

$$\underline{PREC = ETa + DIR + RF + DP - BIN + BOUT \pm \Delta S}$$

PREC: ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

ETa: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ

DIR: ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

RF: ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

DP:ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

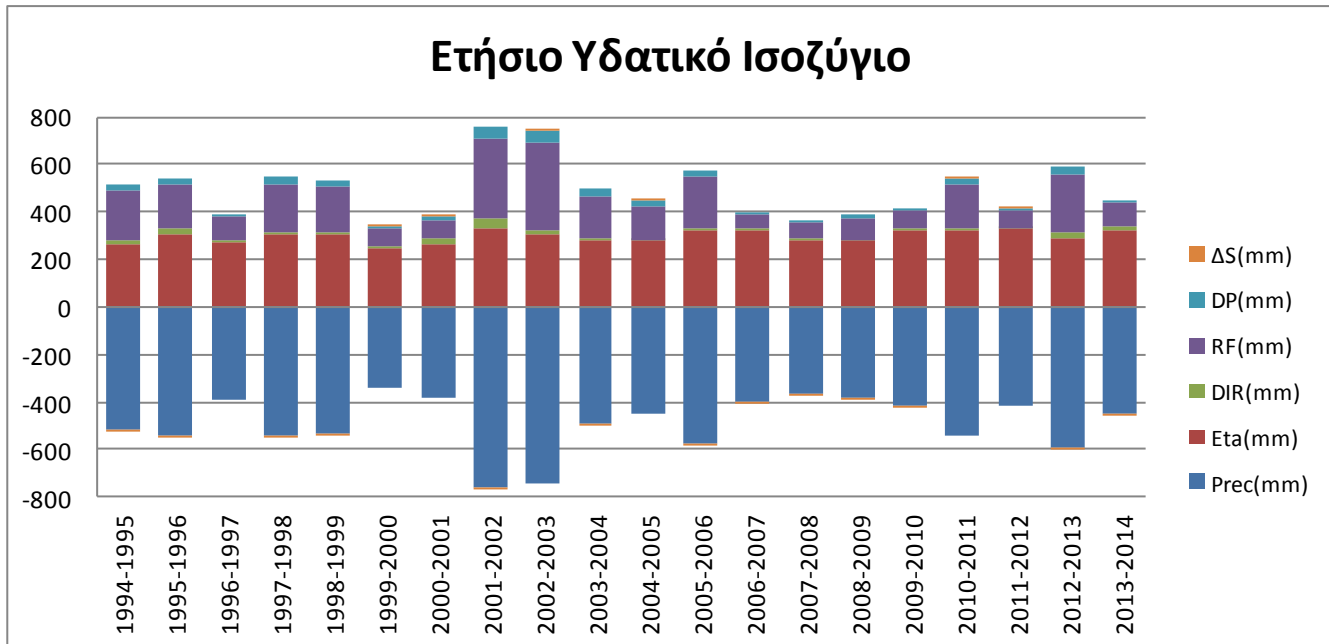
BIN: ΕΙΣΡΟΕΣ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ

BOUT: ΕΚΡΟΕΣ ΠΡΟΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ

$\Delta S$ : ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΕΚΑΣΤΟΤΕ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ (ΜΗΝΙΑΙΟΥ Ή ΕΤΗΣΙΟΥ)

Η θετική τιμή του  $\Delta S$  αντιστοιχεί σε πλεόνασμα στο τέλος του εκάστοτε χρονικού βήματος, η αρνητική τιμή σε έλλειμμα. Η ποσότητα  $\Delta S$  αντιπροσωπεύει την αλλαγή στην αποθήκευση της λεκάνης στο τέλος του εκάστοτε εξεταζόμενου χρονικού βήματος (μηνιαίου ή ετήσιου) και ισοσκελίζει την ως άνω εξίσωση. Ως τιμή έχει περισσότερο νόημα όταν εξετάζεται σε σχέση με κάποιο συγκεκριμένο χρονικό βήμα ή περίοδο (π.χ., έναν συγκεκριμένο μήνα του έτους, τους υγρούς ή ξηρούς μήνες του έτους αθροιστικά ή μια συγκεκριμένη χρονιά), καθώς αθροιστικά τείνει στο μηδέν στο τέλος της περιόδου ανάλυσης. Θεωρητικά, το  $\Delta S$  τείνει στο μηδέν μετά από

μα μακρά περίοδο ανάλυσης διότι θεωρείται ότι σε βάθος χρόνου οι επιμέρους περίσσειες και ελλείμματα ισοσκελίζονται. Οι μικρές παραμένουσες τιμές του  $\Delta S$  αθροιστικά στο τέλος της περιόδου ανάλυσης αντιπροσωπεύουν το συνολικό σφάλμα της προσομοίωσης (DHI, 2009).



**Εικόνα 14.1:** Τιμές ετήσιου υδατικού ισοζυγίου για την υδρολογική λεκάνη των Βαγίων, κατά την χρονική περίοδο 1994-2014, mm/έτος

Το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο για την υδρολογική λεκάνη των Βαγίων που έχει υπολογιστεί για την χρονική περίοδο 1994-2014 παρουσιάζεται στην εικόνα 14.1. Στο διάγραμμα φαίνονται τα υδατικά ισοζύγια κάθε έτους της προσομοίωσης. Χαμηλές τιμές επιφανειακής απορροής παρατηρούνται τα υδρολογικά έτη 1999-2000, 2000-2001, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 και 2011-2012 λόγω της χαμηλής ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης.

Η συνολική απορροή επηρεάζεται από την γεωλογική δομή της περιοχής, τη φυτοκάλυψη, τις κλίσεις του εδάφους και την εδαφολογία. Στην περιοχή μελέτης ο κυριότερος ρυθμιστικός παράγοντας είναι η δομή της λεκάνης, η οποία αποτελεί μια κλειστή λεκάνη χωρίς ρεύματα

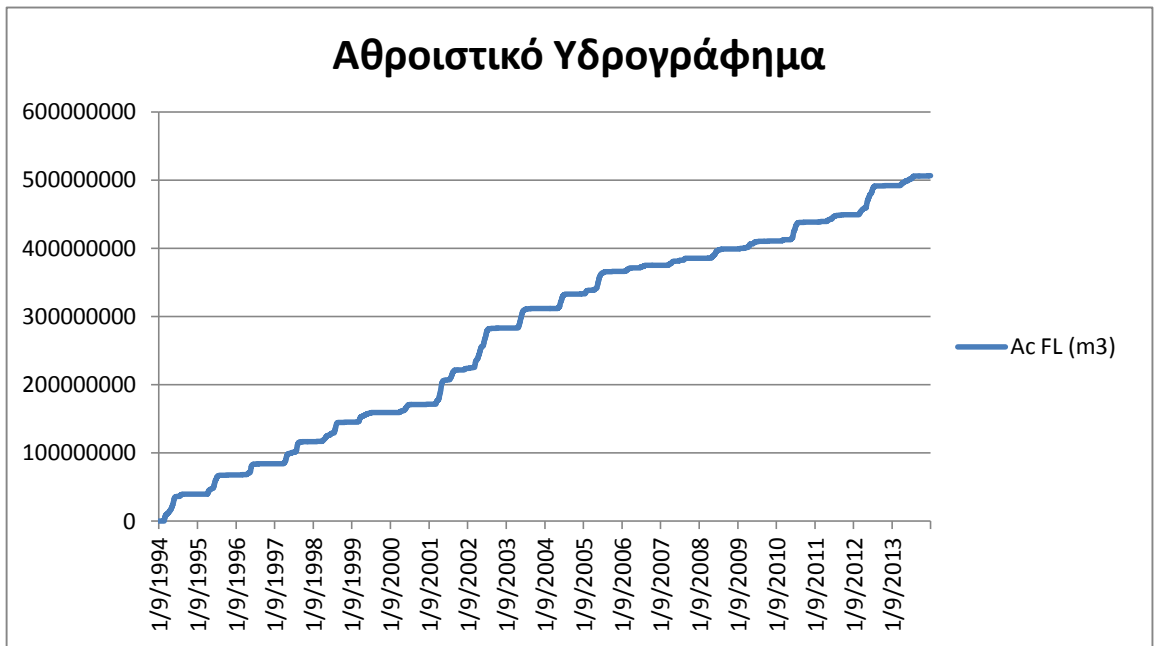
απορροής, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κατά την υγρή περίοδο πλημμυρικό φαινόμενο . Σχεδόν σε ετήσια βάση το βόριο τμήμα της λεκάνης πλημμυρίζει και η μοναδική διέξοδος των συσσωρευμένων επιφανειακών νερών είναι η καταβόθρα της Σφίγγας που βρίσκεται στον πρόποδα του ομώνυμου όρους. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί που δομούν τις ορεινές μάζες στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης είναι τεκτονικά καταπονημένοι και έντονα καρστοποιημένοι. Επίσης σημαντικός παράγοντας εμφάνισης του πλημμυρικού φαινομένου είναι και η αργιλική σύσταση των εδαφών του πεδινού τμήματος που δυσχεραίνουν την κατείσδυση των επιφανειακών υδάτων. Όπως προκύπτει και από την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου, η βασική και ενδιάμεση απορροή της περιοχής είναι μεγάλη αλλά η κατείσδυση είναι μικρή, όπως επίσης και η επιφανειακή απορροή είναι μικρή. Ανάλογα με τον όγκο των ετήσιων κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη, τα επιφανειακά νερά κατακλύζουν την περιοχή έως τα τέλη Μαρτίου και πολλές φορές έως τα τέλη Απριλίου. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι αφενός οι αρνητικές επιπτώσεις στις καλλιέργειες της περιοχής και αφετέρου η μεταφορά επιφανειακών ρύπων (φυτοφάρμακα, λιπάσματα κλπ.) απευθείας στον καρστικό υδροφόρο μέσω της καταβόθρας.

Το αποστραγγιστικό κανάλι που έχει κατασκευαστεί στους πρόποδες του όρους Σφίγγα για να διοχετεύει τα επιφανειακά νερά προς την λεκάνη της Κωπαΐδας μέσω αντλητικού συστήματος, ελάχιστα ή σχεδόν καθόλου δεν προσφέρει, καθώς το όλο σύστημα είναι πλέον κατεστραμμένο. Στις κλειστές λεκάνες όπου δεν υπάρχει δυνατότητα στράγγισης του υπόγειου νερού, το τελευταίο ακολουθεί, συνήθως στο κέντρο της λεκάνης, ανοδική πορεία προς την επιφάνεια όπου εξατμίζεται. Σε περιοχές με έντονη εξάτμιση, αλατούχων εδαφών υπογραμμίζεται αυτή η διαδικασία, η οποία απλώς εξισορροπεί τις εισροές και εκροές στη λεκάνη. Όταν παρά ταύτα οι εκροές ξεπερνούν τις εισροές, η στάθμη του υδροφόρου ξεπερνά την επιφάνεια του εδάφους και δημιουργούνται έλη (μόνιμα ή διαλείποντα). (Καλέργης, 2000). Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης λόγω του ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι εισροές και εκροές από γειτονικές λεκάνες και ως εκ τούτου οι τιμές Bin , Bout είναι μηδενικές.

**B) Αναφορικά ως προς το Αθροιστικό Υδρογράφημα**

Το υδρογράφημα είναι η μεταβολή της ποσότητας του νερού σε συγκεκριμένη θέση σε σχέση με το χρόνο, μετρούμενη σε m<sup>3</sup>/sec. Η μεταβολή της παροχής ενός υδατορεύματος είναι προϊόν της απορροής της υδρολογικής λεκάνης. Το αθροιστικό Υδρογράφημα δίνει πληροφορίες για το σύνολο της απορροής σε σχέση με το χρονικό διάστημα που ορίσαμε για την παρατήρηση της λεκάνης απορροής. Στην εικόνα 14.2 που ακολουθεί εμφανίζεται το αθροιστικό υδρογράφημα για το σύνολο των ετών προσομοίωσης .

Στο αθροιστικό υδρογράφημα παρατηρούνται συνεχόμενα έτη με μικρή απορροή από το 2005-2008 και το 2008-2010. Μεταβαλλόμενες υψηλές τιμές παρατηρούνται από το 2000-2006. Η μεταβολή αυτή της απορροής σχετίζεται προφανώς με το ύψος των κατακρημνισμάτων.



**Εικόνα 14.2 :** Αθροιστικό υδατογραφήματα της υδρολογικής Λεκάνης των Βαγιών, m<sup>3</sup>/έτος



### **Γ) Αναφορικά ως προς την υδροφορία της περιοχής**

Η λεκάνη των Βαγίων αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα που έχει πληρωθεί με νεογενή ιζήματα και τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι πορώδεις σχηματισμοί έχουν κυμαινόμενο πάχος που κατά τόπους ξεπερνούν τα 150 μέτρα. Αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτών, αργίλων, μαργών, χαλίκων και άμμων. Εντός αυτών αναπτύσσεται ένας ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας που κατά τόπους βρίσκεται υπό πίεση. Η δυναμικότητά του είναι ικανοποιητική και εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό αρδευτικών γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν βάθη που κυμαίνονται μεταξύ 100 και 150 μέτρα. Οι παροχές τους, ανάλογα με την κατά τόπους διαφοροποίηση της κοκκομετρικής σύστασης των ιζημάτων, κυμαίνονται μεταξύ 50 και 70 m<sup>3</sup>/h. Ο Δήμος Βαγίων υδρεύεται μέσω μιας βαθιάς γεώτρησης που εκμεταλλεύεται τον εν λόγω υδροφόρο ορίζοντα.

Το υπόβαθρο της λεκάνης αποτελούν οι τριαδικοί-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι εμφανίζονται στο βόρειο και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Παρουσιάζουν έντονη τεκτονική καταπόνηση και καρστοποίηση. Εντός των ανθρακικών σχηματισμών αναπτύσσεται ένας υψηλής δυναμικότητας καρστικός υδροφόρος ορίζοντα, ο οποίος εκτονώνεται στην λίμνη της Υλίκης και στον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο. Ο καρστικός υδροφόρος εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό βαθιών γεωτρήσεων, με βάθη άνω των 200 μέτρων και με υψηλές παροχές που ξεπερνούν τα 150 m<sup>3</sup>/h.

### **Δ) Αναφορικά ως προς την ποιοτική κατάσταση των υπόγειων νερών**

Τα νερά της περιοχής εξετάστηκαν με σκοπό την παρατήρηση και εντοπισμό πηγών ρύπανσης και παράλληλα την καταλληλότητα τους για χρήση άρδευσης και ύδρευσης. Σύμφωνα, με τις αναλύσεις παρατηρήθηκε σε όλες τις γεωτρήσεις και στην πηγή χαμηλές έως μηδενικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Η πηγή προέλευσης των βαρέων μετάλλων οφείλεται σε γεωγενείς παράγοντες και εν μέρει στη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Οι αναλύσεις σε όλα τα δείγματα έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων ασβεστίου, νατρίου, μαγγανίου, καλίου, χλωρίων, η παρουσία των οποίων συνδέεται άμεσα με το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  αποδίδονται στην έντονη παρουσία του ανθρακικής (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) προελεύσεως κλαστικού υλικού των ιζημάτων και προφανώς στη συμμετοχή κλάσματος οφιολιθικής προελεύσεως. Η υδρόλυση των ολιβινών εμπλουτίζει τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών σε μαγνήσιο και διοξείδιο του πυριτίου. Επίσης παρατηρούνται κατά τόπους υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου, χλωρίου και θεικών που αποδίδονται κυρίως στην παρουσία υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, τα οποία συνυπάρχουν εντός των νεογενών ιζημάτων.

Γενικά τα υπόγεια νερά του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε διαλυμένα κύρια στοιχεία, ιχνοενώσεις και βαρέα μέταλλα. Σημαντικό ποσοστό των δειγμάτων χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση λόγω της σκληρότητας, της παρουσίας των νιτρικών και των βαρέων μετάλλων που ξεπερνούν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας. Η έντονη γεωργική εκμετάλλευση και η εισροή των υγρών αποβλήτων του Δήμου Βαγίων έχουν επηρεάσει την ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα. Η εμφάνιση σε υψηλά ποσοστά νιτρικών και θεικών ιόντων μπορεί να αιτιολογηθεί από την παρουσία στην περιοχή της κτηνοτροφίας και γεωργίας.

Τα υπόγεια νερά του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα παρουσιάζουν καλύτερη ποιοτική σύσταση σε σύγκριση με αυτά των νεογενών σχηματισμών. Κυριαρχούν βεβαίως τα ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου και όξινων ανθρακικών, χαρακτηρίζονται από την περιορισμένη παρουσία σε βαρέα μέταλλα και προσφέρονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Τα κύρια ανιόντα και κατιόντα που επικρατούν στα υπόγεια νερά, με βάση την ταξινόμησή τους στο διάγραμμα Durov, αντικατοπτρίζουν γενικά φρέσκα νερά, ενώ κατά τόπους εμφανίζουν διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής που αποδίδεται κυρίως στην πλούσια παρουσία αργιλικού υλικού και υπόγειων νερών που επηρεάζονται από την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων.

Από την ταξινόμηση των υπόγειων νερών βάσει του διαγράμματος Richards προκύπτουν δυο χαρακτηριστικοί αρδευτικοί τύποι νερών: α) ο πρώτος τύπος  $\text{C}_2\text{S}_1$  που προσφέρεται για άρδευση εδαφών χωρίς να προκύπτουν προβλήματα αλκαλίωσης και β) ο δεύτερος τύπος  $\text{C}_3\text{S}_1$  που προσφέρεται για άρδευση εδαφών υπό την προϋπόθεση της καλής στράγγισης τους, λόγω σχετικά υψηλότερης αλατότητας των υπόγειων νερών.

## 15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας το υδρολογικό ισοζύγιο και εξετάζοντας το χημισμό των υπόγειων νερών της λεκάνης Βαγίων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου MIKE-SHE, έγινε η προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν για την Ημερήσια Βροχόπτωση έφτασαν σε ακραία δεδομένα 100mm/day. Η Ημερήσια απορροή έχει πολύ υψηλές τιμές προσεγγίζοντας την μέγιστη 2.500.000m<sup>3</sup>/day, το χρονικό διάστημα 2002-2003. Παρατηρώντας το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης κατά την χρονοσειρά 1994-2014 η βασική και ενδιάμεση απορροή της περιοχής είναι μεγάλη, ενώ η κατείσδυση είναι περιορισμένη, όπως επίσης και η επιφανειακή απορροή.
- Το υδατικό ισοζύγιο της κλειστής λεκάνης των Βαγίων, μεταβάλλεται κατά τους υγρούς μήνες συμβάλλοντας στον εμπλουτισμό των υδροφόρων οριζόντων. Η επιφανειακή ανάπτυξη του δικτύου απορροής είναι περιορισμένη. Στην περιοχή παρατηρούνται δυο κύρια ρέματα επιφανειακής απορροής, το Βαθύρεμα των Βαγίων και το Ρέμα Γκαγκάδι, ενώ μια σειρά μικρότερων ρεμάτων αναπτύσσονται στα πρανή των λόφων και των ημιορεινών όγκων. Ο συνολικός όγκος των επιφανειακών νερών διοχετεύεται στο χαμηλότερο, πεδινό τμήμα της λεκάνης, όπου δημιουργείται το πλημμυρικό φαινόμενο. Ένα ποσοστό του επιφανειακού αυτού νερού εξατμίζεται, ενώ ένα ποσοστό αυτού κατεισδύει εντός των χαλαρών σχηματισμών του κάμπου και εντός της καρστικής μάζας μέσω της καταβόθρας του Βαρικού, που βρίσκεται στους πρόποδες του Σφίγγιου όρους.
- Με βάση τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της λεκάνης διαπιστώνονται χαμηλές έως μέτρια υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που κυμαίνονται από 591-1334 μS/cm και φανερώνουν μια σχετικά χαμηλή έως μέτρια υψηλή αλατότητα των υπόγειων νερών. Τα ολικά διαλυμένα στερεά παίρνουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 345-1086 mg/l.
- Τα νερά της περιοχής στην πλειονότητα τους είναι μετρίως σκληρά και κατά τόπους πολύ σκληρά, με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 13,5-32°dH. Η κατά τόπους εμφανιζόμενη υψηλή σκληρότητα των υπόγειων νερών συνδέεται με τις υψηλές συγκεντρώσεις των κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου.

- Στην περιοχή παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις τόσο στα κατιόντα όσο και στα ανιόντα που υπερβαίνουν το επιτρεπτό όριο ποσιμότητας. Οι υψηλές τιμές του μαγνησίου (73,4mg/l), του νατρίου (133,4mg/l), των χλωρίων (241,1mg/l), των θεικών (68,9mg/l) και του καλίου (12mg/l) που παρατηρούνται στην περιοχή, αποδίδονται κυρίως στην διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων και της οργανικής ύλης που συνυπάρχουν προφανώς εντός των Νεογενών σχηματισμών, όπου αναπτύσσεται ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας.
- Αυξημένες τιμές στα υπόγεια νερά παρουσιάζουν τα νιτρικά ιόντα με τιμές που φθάνουν τα 67mg/l και τα φωσφορικά ιόντα με τιμές που υπερβαίνουν την ενδεικτική τιμή που ορίζει η Ε.Ε και φθάνει τα 0,94mg/l. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών εμφανίζονται με υψηλές τιμές, με την υψηλότερη τιμή να ανέρχεται στα 1,75mg/l. Η ρύπανση των υπόγειων νερών στην περιοχή τεκμηριώνεται από τις αυξημένες συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων και αποδίδεται στην συνεχόμενη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιεργούμενες περιοχές της λεκάνης, στην ύπαρξη των κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων αλλά και την ανεξέλεγκτη διάθεση των υγρών αποβλήτων του Δήμου Βαγίων, που διοχετεύονται χωρίς βιολογική επεξεργασία στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μέσω ενός κατασκευασμένου καναλιού.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα ταξινόμησης κατά Piper τα υπόγεια νερά του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα έχουν τους υδροχημικούς τύπους: Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub> και Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl, ενώ στα υπόγεια νερά του καρστικού υδροφόρου επικρατούν οι υδροχημικοί τύποι Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> και Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>.
- Βάσει του διαγράμματος κατά Durov επικρατούν οι υδροχημικοί τύποι Ca-HCO<sub>3</sub> και Mg-HCO<sub>3</sub> που φανερώνουν φρέσκα νερά εμπλουτισμού.
- Τα υπόγεια νερά της λεκάνης είναι κατάλληλα για άρδευση, σε εδάφη που δεν έχουν πρόβλημα αλατότητας, σύμφωνα με την κατάταξη κατά Richards ( C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> και C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>).
- Η ποσιμότητα των νερών, ιδιαίτερα του ανώτερου υδροφόρου είναι σχεδόν απαγορευτική, καθώς όλα τα δείγματα έχουν στοιχεία ή ιχνοενώσεις που έχουν υπερβεί τα όρια ποσιμότητας, σύμφωνα με την Ε.Ε. Σε καλύτερη κατάσταση ποσιμότητας βρίσκονται τα υπόγεια νερά του καρστικού υδροφόρου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξανδρής Σ., Πανεπιστήμιο Ποιότητα Νερού Άρδευσης –Ισοζύγιο και Έκπλυση Αλάτων στο Εδάφους, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής –Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Γ.Α.Π σελ, 1,2
- Αλεξανδρής Σ., Καραβίτης Χ., Προύτσος Ν., Τσίρος Ι., Σταματάκος Δ., 2013 ,Λόγοι Εσφαλμένης Εκτίμησης Εξατμισοδιαπνοής Αναφοράς στον Ελλαδικό Χώρο, Ε.Γ.Μ.Ε
- Appelo C.A.J.,1994 Cation and proton exchange PH variations, and carbonate Reactions in a freshening aquifer, Faculty of Earth Sciences, Free University, Amsterdam, Netherlands
- Appelo, C.A.J, 1998 A hydro geological and hydro chemical explanation of the groundwater Composition under irrigated land in a Mediterranean environment, Algarve, Portugal, T.Y. Stigtera, S.P.J. van Ooijena, V.E.A. PA.M.M. Carvalho Dillb,
- ΔΑΒΗ Ε.,1990 Μαθήματα Γενικής Γεωλογίας, Αθήνα σελ 59,60
- Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ), 2014, Μετεωρολογικά Δεδομένα Σταθμού Τανάγρας
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), 1999/2000,Χρήσεις Γης στο Νομό Βοιωτίας
- ΘΕΟΔΩΡΙΚΑΣ,2002 ,Ορυκτολογία Πετρολογία, Θεσσαλονίκη, 2<sup>η</sup> Έκδοση, σελ 651-653
- Ι.Γ.Μ.Ε,1986,Μελέτη Σύνταξης Υδατικού Ισοζυγίου Βοιωτικού-Κηφισού, Παράρτημα Ι,(Απογραφή Υδροσημείων)
- Ι.Γ.Μ.Ε,1986,Μελέτη Σύνταξης Υδατικού Ισοζυγίου Βοιωτικού-Κηφισού, Παράρτημα ΙΙ,(Υδατικό Ισοζύγιο)
- Καλλέργης, 2000 Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Β΄, Αθήνα εκδόσεις ΤΕΕ σελ,44, 33-37, 59,63, 79,115
- Karavitis Christos A., Assimacopoulos D., Arampatzis G, Manoli E., Voivontas D.,2003,Water Supply Modeling towards Sustainable environmental management, in small Islands: the case of Paros, Greece , Elsevier Journal

- Καραβίτης Χ., 2005 Διαχείριση Περιβάλλοντος , Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Κοντόπουλος, 2004 Σημειώσεις της Εξωγενούς Γεωδυναμικής, Πανεπιστημιακές σημειώσεις , Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ, 141-145
- Κουμαντάκης - Φυτρολάκος, 1986, 3<sup>ο</sup>επιστημονικο Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, εκδρομή Αττικοβοιωτίας
- Λαμπράκης, 2005 Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Λαμπράκης Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ, 49,53,86-88, 130,133,134
- Μμίκου και Μπαλτάς, 2006 Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ 125, 131
- Σούλιος 2006, Γενική Υδρογεωλογία, Τρίτος Τόμος, εκδόσεις Κηριακίδι
- Σούλιος, 2006,Γενική Υδρογεωλογία, Τέταρτος Τόμος, , Univrsity Press
- Σούλιος, 2006, Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος Τόμος, Univrsity Press, σελ 22
- Σταμάτης Γ.,2004, Γεωγενής Επιβάρυνση των νερών στα Βαρέα τοξικά μέταλλα- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη Υγεία –Περιοχές της Χώρας με γεωγενή επιβάρυνση-Μέθοδοι Εξυγίανσης επιβαρυσμένων περιοχών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις σελ 38,181
- Σταματάκος Δ. , 2010 «Εφαρμογή του μοντέλου MIKE SHE σε περιόδους κλιματικής αλλαγής», Μεταπτυχιακή Μελέτη ,Γ.Α.Π
- Στουρνάρας, 2007 ,Νερό, Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή, Πανεπιστήμιο Αθηνών σελ, 170-177, 211, 214,215 ,354-361
- Τσαραμπαρης, 2010, «Υδρογεωλογικό καθεστώς στον άνω ρου του Ασωπού ποταμού. Διερεύνηση των ποιοτικών παραγόντων Υποβάθμισης των Υπόγειων Υδάτων» του Μεταπτυχιακή ,Γ.Α.Π, Γενικό Τμήμα
- Τοπογραφικός Χάρτης, Φύλλο: Βάγια, κλίμακα 1:50.000 , Γ.Υ.Π
- Τοπογραφικός Χάρτης Φύλλο: Καπαρέλλιον κλίμακα 1:50.000 , Γ.Υ.Π
- Τοπογραφικός Χάρτης, Φύλλο Θήβα, κλίμακα 1:50.000 , Γ.Υ.Π

Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons

U.S.G.S.

Hem J.D., 1970, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters, Geological survey Water Supply.

WHO, 1996, Guidelines for drinking-water quality.

ΦΕΚ 53Α /20/2/86 , από 80/778,Οδηγία της Ε.Ε. για τα Πόσιμα Νερά

ΦΕΚ. 1422 Β 22-10-2001, Πεδίο Θεσσαλίας : ΚΥΑ οικ. 25638/2905

ΦΕΚ 1195 Β14-9-2001, Κωπαιδικό Πεδίο: ΚΥΑ οικ. 20417/2520

Χατζηδήμα Στέλλα,2012, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Λεκάνης του Ασωπού με τη χρήση του λογισμικού MIKE SHE », Διπλωματική Εργασία

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

[http://new.ims.forth.gr/water/sites/new.ims.forth.gr.water/files/documents/papers/YDATIKOI\\_POROI.pdf](http://new.ims.forth.gr/water/sites/new.ims.forth.gr.water/files/documents/papers/YDATIKOI_POROI.pdf)

[http://www.ekby.gr/ekby/el/EKBY\\_home\\_el.html](http://www.ekby.gr/ekby/el/EKBY_home_el.html)

<http://www.ypeka.gr>

<http://floridakeys.noaa.gov/scisummaries/wqfaq.pdf>

[http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf)

[http://www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation\\_water\\_quality.pdf](http://www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation_water_quality.pdf)

[http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem\\_cr6.htm](http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm).

[http://www.geo.auth.gr/ege2004/articles/HY10\\_149.pdf](http://www.geo.auth.gr/ege2004/articles/HY10_149.pdf)

<http://www.epa.gov/waste/hazard/correctiveaction/resources/guidance/gw/gwhandbk/gwhb041404.pdf>

