ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

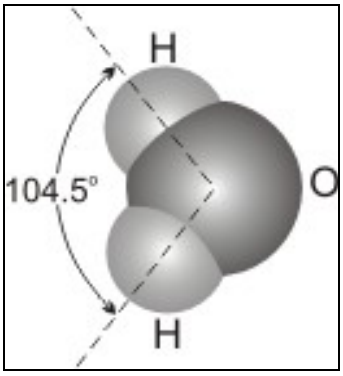
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

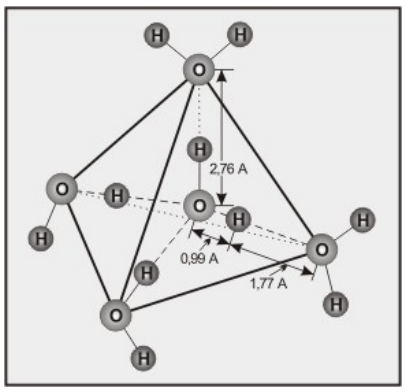
3.1. Φυσικές ιδιότητες του νερού

Το νερό είναι μια ουσία άχρωμη, άοσμη, άγευστη και υγρή σε κανονικές συνθήκες. Αποτελεί το 70% του ανθρώπινου σώματος και είναι το απαραίτητο συστατικό για τη λειτουργία των κυττάρων, συμμετέχοντας σε όλες τις βιοχημικές διεργασίες. Τα φυτά από το νερό αποσπούν το υδρογόνο για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Κάθε μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Το νερό στην πραγματικότητα είναι μίγμα μορίων νερού με διαφορετικό μοριακό βάρος. Τα τρία ισότοπα του υδρογόνου (^{1}H, ^{2}H, ^{3}H) και τα τρία ισότοπα του οξυγόνου (^{16}O, ^{17}O, ^{18}O) δημιουργούν 18 πιθανούς συνδυασμούς ισοτόπων νερού. Ο χημικός δεσμός που συγκρατεί το μόριο είναι ομοιοπολικός, δηλ. κάθε άτομο υδρογόνου μοιράζεται το ελεύθερο ηλεκτρόνιό του με τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας σθένους του οξυγόνου. Η γωνία μεταξύ δύο δεσμών είναι $104{,}5^{o}$ και η απόσταση του δεσμού O-H ανέρχεται σε 0,96 Å (Σχ. 3.1). Παρ' όλο που το μόριο του νερού είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, συμπεριφέρεται σαν δίπολο λόγω ασύμμετρης κατανομής των φορτίων.

Η πολικότητα που εμφανίζει το μόριο του νερού είναι πολύ σημαντική ιδιότητα και υπεύθυνη για πολλές ιδιότητες του νερού, καθώς και τον τρόπο που αντιδρά με το περιβάλλον. Το μόριο του νερού είναι κατάλληλο να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου και εμφανίζει υψηλή διηλεκτρική σταθερά, που είναι ίση περίπου με 81. Η διπολική ροπή έχει διεύθυνση κάθετη στην ευθεία που ενώνει τα δύο υδρογόνα με σημείο εφαρμογής το οξυγόνο.





Σχήμα 3.1: Το μόριο του νερού και σύνδεση μορίων του με δεσμούς υδρογόνου.

Μια άλλη χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού είναι η μεγάλη ***διαλυτική του ικανότητα***, που οφείλεται στη μεγάλη διηλεκτρική σταθερά του, καθώς και στην πολικότητα των μορίων του. Έτσι το νερό είναι ένας καλός διαλύτης των ηλεκτρολυτών και των οργανικών ενώσεων με δεσμό υδρογόνου και κακός διαλύτης των μη πολικών ενώσεων. Διαλύει μια μεγάλη ποικιλία συστατικών από απλά άλατα μέχρι ορυκτά και πετρώματα. Παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων όπου, μαζί με φυσικές και βιολογικές διεργασίες συμβάλλει στο σχηματισμό εδαφών.

Το νερό είναι η μοναδική από τις συνηθισμένες ενώσεις που στη στερεή μορφή του (πάγος) είναι ελαφρύτερη από την υγρή (πυκνότητα πάγου σε 0 ^{o}C ίση με 0,91659 kg/L και πυκνότητα υγρού σε 0 ^{o}C ίση με 0,99980 kg/L), με αποτέλεσμα την επίπλευση των πάγων και τη διατήρηση της υδρόβιας πανίδας. Η πυκνότητα του νερού επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση και την παρουσία διαφόρων ουσιών (άλατα, οργανικά υπολείμματα κ.ά). Η θερμότητα εξαέρωσης είναι 9720 cal/mol και αντιστοιχεί στην ενέργεια για να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου. Η θερμοκρασία πήξης (0 ^{o}C) ελαττώνεται και η θερμοκρασία βρασμού (100 ^{o}C σε 1 atm) αυξάνεται αν το νερό περιέχει διαλυμένα συστατικά. Επιπλέον, το μόριο του νερού εμφανίζει μεγάλη επιφανειακή τάση.

Το νερό έχει μεγάλη ικανότητα να απορροφά και να αποθηκεύει θερμότητα, επηρεάζοντας το περιβάλλον. Για να μεταβληθεί η θερμοκρασία 1 Kg νερού κατά 1 ^{o}C χρειάζεται ενέργεια υπό μορφή θερμότητας ίση με 4200 J. Η μεγάλη αυτή ειδική θερμότητα (4200 J/Kg ^{o}C ή 1 cal/g ^{o}C) οφείλεται στους δεσμούς υδρογόνου. Στη μεγάλη ***θερμοχωρητικότητα*** του νερού οφείλεται η θερμοστατική του αποτελεσματικότητα, τόσο σε επίπεδο κάθε οργανισμού, όσο και σε πλανητική κλίμακα.

3.2. Δειγματοληψία υπόγειου νερού-Χημικές αναλύσεις

Η δειγματοληψία των δειγμάτων υπόγειου νερού πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της περιοχής που μελετάται, καλύπτοντας όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς, που φιλοξενούν υδροφόρους ορίζοντες, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση της ποιότητας. Αντιπροσωπευτική δειγματοληψία πρέπει να γίνεται και κατά βάθος, ακόμα και αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ενιαίος. Το νερό του δείγματος πρέπει να είναι φρέσκο, δηλ. μετά από άντληση της γεώτρησης για ικανοποιητικό χρόνο (τουλάχιστον μιας ώρας), ώστε να ανανεωθεί. Οι Appelo & Postma (1994) θεωρούν ότι πρέπει να αντληθεί το 4-πλάσιο του όγκου του νερού που είναι αποθηκευμένος στο σωλήνα της γεώτρησης.

Η συλλογή του νερού πρέπει να γίνεται σε φιάλες 1½ λίτρου από πολυαιθυλένιο, αφού πρώτα ξεπλυθεί καλά με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Οι γυάλινες φιάλες πρέπει να αποφεύγονται, γιατί έχει παρατηρηθεί προσρόφηση και ανταλλαγή ιόντων. Τα δείγματα φυλάσσονται σε ψυγείο με θερμοκρασία 4 ^{o}C, μέχρι να μεταφερθούν στο εργαστήριο. Έτσι επιτυγχάνεται η αναστολή ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης είναι περισσότερο αξιόπιστα, όταν ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δειγματοληψίας και ανάλυσης είναι μικρός.

Πριν αναλυθεί το δείγμα πρέπει να διηθείται από ηθμό 0,45 μ και να οξινίζεται μέρος του δείγματος (½L), όταν πρόκειται να αναλυθούν μέταλλα. Με τη διήθηση απομακρύνονται τα αιωρούμενα συστατικά. Η οξίνηση γίνεται για να κρατηθούν τα μέταλλα σε διάλυση και γι' αυτό προστίθεται ποσότητα 5 ml HCl (0.5 N).

Η περιεκτικότητα των ιόντων εκφράζεται κυρίως σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L) και σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/L). Ισχύει 1 meq/L=$\frac{1mg/L}{\iota.\beta.}$

όπου ι.β.= ισοδύναμο βάρος= Ατομικό Βάρος / σθένος (Πίν. 3.1).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζεται σε μS/cm.

Για τον έλεγχο των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού χρησιμοποιείται το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων:

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)}=\frac{\Sigma_{\kappa\alpha\tau\iota\acute{o}\nu\tau\omega\nu}-\Sigma_{\alpha\nu\iota\acute{o}\nu\tau\omega\nu}}{\Sigma_{\kappa\alpha\tau\iota\acute{o}\nu\tau\omega\nu}+\Sigma_{\alpha\nu\iota\acute{o}\nu\tau\omega\nu}}.100$$

Το σύμβολο **Σ** δηλώνει άθροισμα και οι συγκεντρώσεις είναι σε meq/L. Αν το σφάλμα είναι μεγαλύτερο από 5%, η χημική ανάλυση πρέπει να επαναλαμβάνεται.

Επίσης χρησιμοποιείται το σφάλμα ισοζυγίου φορτίου (charge balance error), το οποίο ορίζεται ως εξής (Freeze & Cherry, 1979):

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου φορτίου (\%)}=\frac{\sum zm_c-\sum zm_a}{\sum zm_c+\sum zm_a}100$$

όπου: z=απόλυτη τιμή του σθένους, m_c=μοριακότητα (molality) κατιόντων, m_a=μοριακότητα ανιόντων.

Γενικά τα σφάλματα πρέπει να μην είναι συστηματικά, να κατανέμονται δηλαδή μεταξύ αρνητικών και θετικών τιμών.

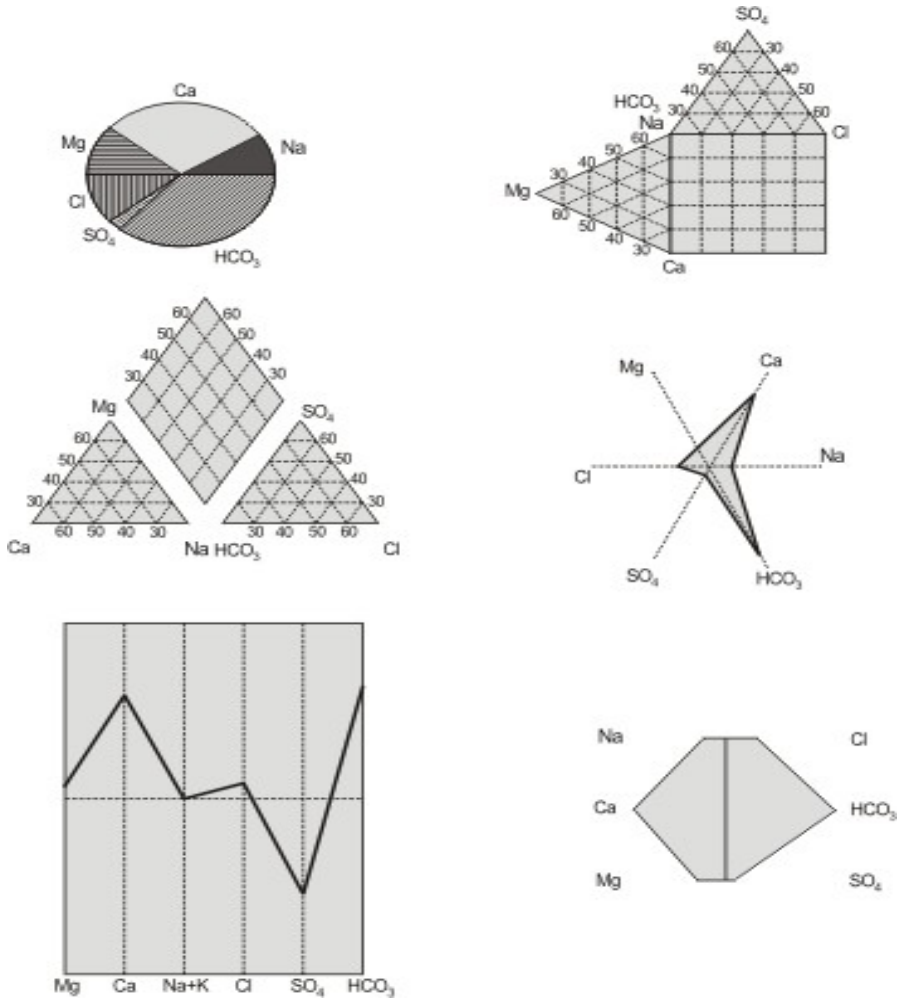
Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων γίνεται με τη βοήθεια υδροχημικών διαγραμμάτων: ραβδοδιαγράμματα, ανυσματικά, πολυγωνικά, κυκλικά, ημιλογαριθμικά, τριγωνικά διαγράμματα PIPER, DUROV.

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται μερικά υδροχημικά διαγράμματα με βάση τη χημική ανάλυση της εφαρμογής 3.1. Οι υδροχημικοί χάρτες που δείχνουν τη γεωγραφική κατανομή διαφόρων παραμέτρων είναι πολύ χρήσιμοι στη μελέτη της ποιότητας των υπόγειων νερών. Συνήθως κατασκευάζονται χάρτες ίσης συγκέντρωσης μιας παραμέτρου π.χ. ισοχλώριες, ίσης αγωγιμότητας κ.λπ. (Σχ. 3.3).

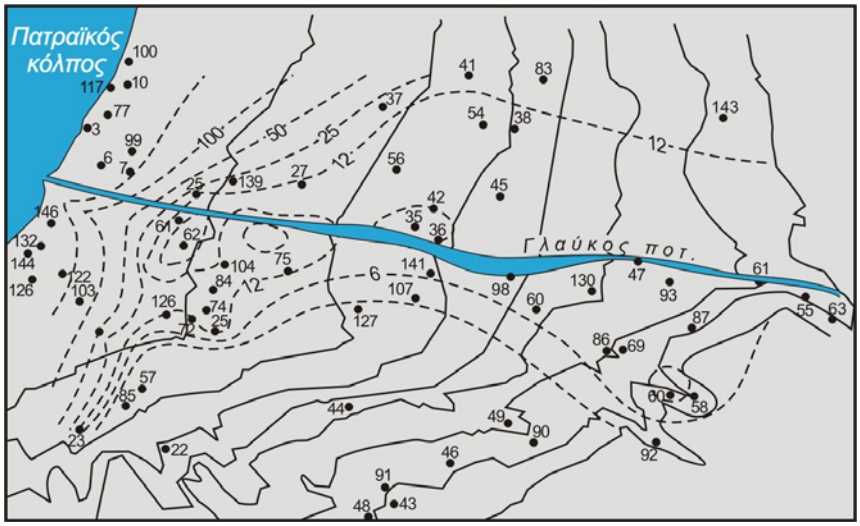
Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση τον χημισμό τους γίνεται με τη βοήθεια διαφόρων λόγων Cl/SO_4, Na/K, Cl/Br, Mg/Ca, ή με βάση την περιεκτικότητα σε διάφορα ιόντα. Επίσης χρησιμοποιείται η ταξινόμηση με βάση τη σκληρότητα, το σύνολο των διαλυμένων στερεών, τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου κ.ά.

Πίν. 3.1: Συντελεστές μετατροπής από mg/L σε meq/L.

Ca^{2+}	0,0499	**HCO_3^-**	0,01639	**NH_4^+**	0,05544
Mg^{2+}	0,08226	**Cl^-**	0,02821	**CO_3^{2-}**	0,03333
Na^+	0,0435	**NO_3^-**	0,01613	**SO_4^{2-}**	0,02082
K^+	0,02557	**NO_2^-**	0,02174	**PO_4^{3-}**	0,03159



Σχήμα 3.2: Διαγράμματα παρουσίασης χημικών αναλύσεων (δεδομένα εφαρμογής 3.1).



Σχήμα 3.3: Χάρτης κατανομής των χλωριόντων στη λεκάνη Γλαύκου του Ν. Αχαΐας
(Με συνεχείς γραμμές είναι οι ισοϋψείς και με διακεκομμένες οι καμπύλες ίσης περιεκτικότητας Cl^-).

3.3. Φυσικοχημικές παράμετροι των νερών

Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

- ***Φυσικές*** (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια)
- ***Χημικές*** (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής)

Κύρια ιόντα: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-

Δευτερεύοντα ιόντα: Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, NH_4^+, F^-, CO_3^{2-}, Al^{3+} κ.ά.

Βαρέα μέταλλα: Pb^{2+}, Cr^{6+}, Hg^{2+}, As^{3+}, Cd^{2+} κ.ά.

Θρεπτικές ενώσεις του N, P

Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια (O_2, N_2, , H_2S, NH_3, CH_4)

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης (βλ. παράγραφο 2.2). Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα.

Κατά την ανάμειξη θερμού και ψυχρού νερού με θερμοκρασίες T_θ και T_ψ με όγκους V_θ, V_ψ, ισχύει αντίστοιχα:

$$V_{mix} \cdot T_{mix} = V_\theta \cdot T_\theta + V_\psi \cdot T_\psi \quad \text{και} \quad V_{mix} = V_\theta + V_\psi = 100\%$$

Λύνοντας ως προς V_θ υπολογίζεται ο όγκος του θερμού νερού (%) στο μίγμα:

$$V_\theta = \frac{(T_{mix} - T_\psi)100}{(T_\theta - T_\psi)}$$

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 ^oC). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 μS/cm. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας.

Κατά την ανάμειξη δύο νερών με διαφορετικές τιμές EC ισχύει:

$$EC_{mix} = EC_1 \,.\, x + EC_2 \,.\, (1-x),$$

όπου: EC_{mix} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μίγματος που προκύπτει, EC_1, EC_2 οι αγωγιμότητες των νερών που αναμείχθηκαν και x=το ποσοστό ανάμειξης του ενός νερού στο μίγμα (βλ. εφαρμογή 3.3).

Ενεργός οξύτητα (pH)

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλ. με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+. Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά.

Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pH_s κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pH_s κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το $CaCO_3$. Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το $CaCO_3$.

Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική (pH>7) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη (pH<7). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Η όξινη βροχή (acid rain) που οφείλεται στην έκλυση οξειδίων (SO_2, NO_x) από την καύση υδρογονανθράκων και τη μετατροπή τους σε οξέα στην ατμόσφαιρα (H_2SO_4, HNO_3), συμβάλλει στη μείωση του pH και στη δημιουργία ***όξινων υπόγειων νερών***.

Το pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης. Όξινο περιβάλλον ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO_2. Το pH επίσης μπορεί να μειωθεί από την οξείδωση της αμμωνίας, που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα, καθώς και την οξείδωση των πυριτών (FeS_2).

Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Redox potential)

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst. Μετράται με ευαίσθητα ηλεκτρόδια και εξαρτάται από τη θέση ισορροπίας της αντίδρασης:

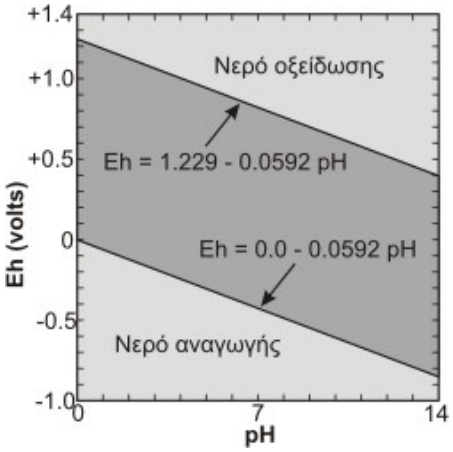
$$\text{Οξειδωμένη μορφή} + e^- \leftrightarrow \text{Ανηγμένη μορφή}$$

Η θέση της ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και του αναγωγικού σώματος. Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο και το ισχυρότερο αναγωγικό θεωρείται το υδρογόνο.

Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH^- στις αντιδράσεις ογειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον.

Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η σχέση Eh-pH και διακρίνονται περιοχές όπου το νερό οξειδώνεται σε O_2 και περιοχές όπου ανάγεται σε H_2. Επίσης η κατανομή των H_2S, CH_4, Fe^{2+} και άλλων ενώσεων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του Eh.

Με τη βοήθεια του Eh ενός υδάτινου περιβάλλοντος είναι δυνατόν να υπολογισθούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις ιόντων ή ενώσεων στο περιβάλλον αυτό. Στην επιφάνεια της θάλασσας το Eh=+0,3 (οξειδωτικό περιβάλλον), λόγω εμπλουτισμού με αέρα και κοντά στον πυθμένα Eh=-0,6 (αναγωγικό περιβάλλον), λόγω περίσσειας οργανικού υλικού και έλλειψης οξυγόνου (Θεοδωρίκας, 1997). Χαμηλό Eh συμβάλλει στη διατήρηση οργανικής ύλης σ' ένα ίζημα. Στην ξηρά, άφθονη οργανική ύλη υπάρχει στον πυθμένα λιμνών και ελών και στη θάλασσα σε κλειστούς κόλπους με περιορισμένη κυκλοφορία νερού και απουσία αδρόκοκκων κλαστικών υλικών.



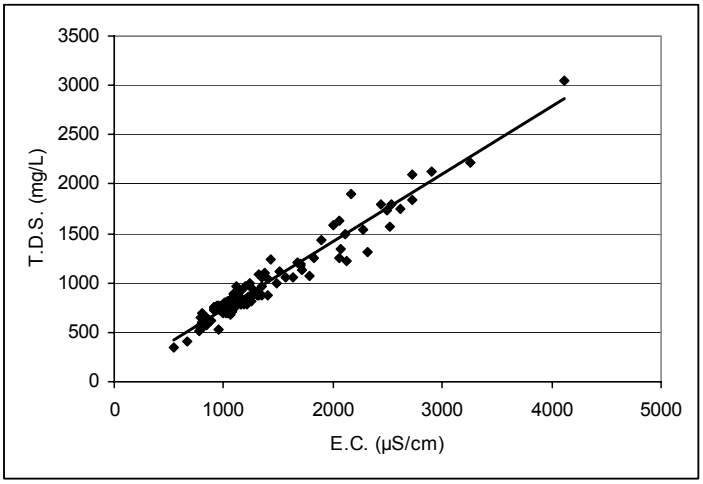
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Eh-pH.

Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S)- Αλατότητα του υπόγειου νερού

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ.

Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλ. το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις (Σχ. 3.5):

T.D.S (ppm) ~ 0.65 (EC) (μS/cm) και T.D.S (meq/L) ~ 0.01 (EC) (μS/cm)



Σχήμα 3.5: Γραφική παράσταση T.D.S (mgr/L) σε συνάρτηση με την EC (μS/cm) από δείγματα νερού του παράκτιου αλλουβιακού υδροφορέα του Νομού Κορινθίας.

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό είναι ***γλυκό*** (fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/L θεωρείται ***υφάλμυρο*** (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/L ***αλμυρό*** (salt or saline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L ***υπεραλμυρό*** (brine).

Για τον υπολογισμό του T.D.S. προστίθενται οι τιμές όλων των ιόντων, ενώ ο Hounslow (1995) προτείνει την κάτωθι αναλυτική έκφραση για το T.D.S.:

$$T.D.S. = \text{Σύνολο ιόντων} + SiO_2 - (0,5082 \times HCO_3^-)$$

Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που διηθείται στον υδροφόρο αυξάνει το T.D.S. Μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση.

Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών. Εγκλωβισμένα αλμυρά νερά εντοπίζονται σε περιοχές ιζηματογενών αποθέσεων (badlands).

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

Με απόσταξη παρασκευάζεται το ***αποσταγμένο νερό***, το οποίο δεν περιέχει καθόλου διαλυμένα άλατα. Με κατάλληλη επεξεργασία παρασκευάζεται το ***απιονισμένο*** νερό, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί ιόντα που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη χρήση του (συνήθως είναι απαλλαγμένο από ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου).

Διαλυμένο Οξυγόνο

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες και ανανεώνονται συνεχώς. Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

Γενικά η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από:

α) Τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο.

β) Την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό.

γ) Την παρουσία ή απουσία φυτών (μικροσκοπικών και μακροσκοπικών), τα οποία μπορούν να κάνουν φωτοσύνθεση.

δ) Το βαθμό της διείσδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος.

Κατά την κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω κατανάλωσης στις οξειδωτικές διεργασίες που συντελούνται εκεί. Η μείωση του οξυγόνου με το βάθος είναι εκθετική και σπάνια περιέχεται διαλυμένο οξυγόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m από την υδροστατική επιφάνεια. Στα στάσιμα νερά η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεταβάλλεται με το βάθος και την εποχή. Το θέρος η περιεκτικότητα οξυγόνου στα μεγάλα βάθη ελαττώνεται και μπορεί να μηδενισθεί.

Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Η αλκαλικότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^-, CO_3^{2-} και HCO_3^-. Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Τα χλωριούχα, θειϊκά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+}. Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα.

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 του πόσιμου νερού μεταξύ των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) ***Παροδική ή ανθρακική*** 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 νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές

ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) ***Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική*** που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειϊκό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειϊκών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) ***Ολική σκληρότητα*** (Total Hardness)**:** Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο $CaCO_3$ (mgr/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο *Γαλλικός βαθμός* ισοδυναμεί με 10 mg/L $CaCO_3$ και ο *Γερμανικός βαθμός* ισοδυναμεί με 17,86 mg/L $Ca(HCO_3)_2$.

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.

Η περιοχή μεταξύ 15-20 γαλλικών βαθμών χαρακτηρίζουν πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας. Η μηδενική σκληρότητα, η παντελής δηλ. έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου δεν είναι επιθυμητή. Η μεγάλη σκληρότητα προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους πίνουν για πρώτη φορά, ενώ η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επίσης καταστρέφει τα υφάσματα και φθείρει τις συσκευές. Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον Πίν. 3.2.

Η ολική αλκαλικότητα ισούται με Alk=0,81967 HCO_3^- (mg/L).

Στην περίπτωση που η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη) είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την ανθρακική σκληρότητα (παροδική). Αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη είναι η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα.

Πίν. 3.2: Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

Ισοδύναμο $CaCO_3$ (mg/L)	***Γαλλικοί βαθμοί***	***Χαρακτηρισμός του νερού***
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Η αποσκλήρυνση του νερού (βλ. επεξεργασία νερού, παράγραφο 9.5) γίνεται με χημικές διαδικασίες (ιζηματοποίηση), με αντίστροφη όσμωση, ηλεκτροδιάλυση ή με περιορισμένη εξάτμιση, καθώς και με χρήση ιοντοανταλλακτών (ρητίνες ή ζεόλιθοι).

Στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί προσδιορίζονται οι κυριότερες παράμετροι του πόσιμου νερού, όπως καθορίζονται με βάση τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίν. 3.3: Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης/11/1998).

α/α	**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	Θειϊκά 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	Χρώμιο	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

*Η παραμετρική τιμή, με βάση την Οδηγία 98/83/ΕΚ, αναφέρεται στη συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μεγίστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς, όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.

Ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου ή κίνδυνος Νατρίου (SAR)

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio) ισούται με:

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

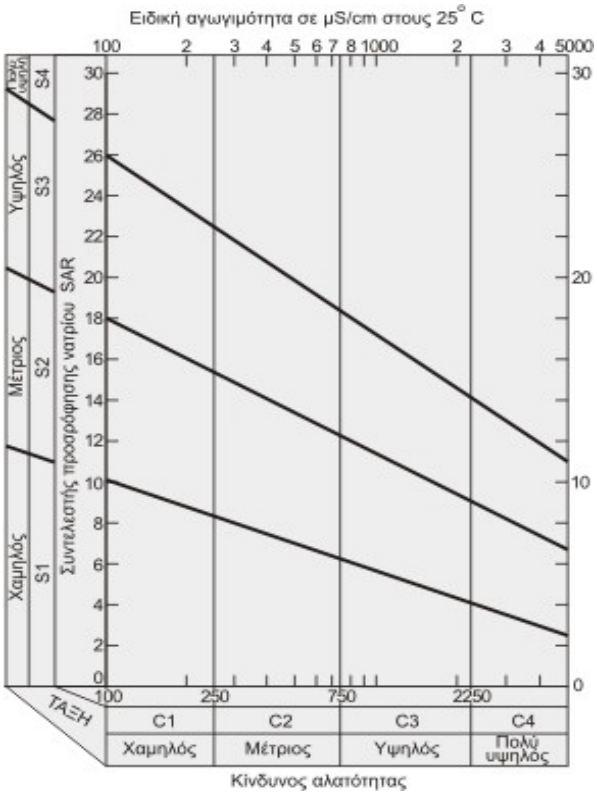
όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας

μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 μS/cm, τιμές του SAR<6 υποδηλώνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 6-12 μέσο κίνδυνο νατρίου, 12-18 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και τιμές SAR>18 πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου.

Μια ταξινόμηση των αρδευτικών νερών βασισμένη στο SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα προτάθηκε σε διάγραμμα από το U.S. Salinity Laboratory ή διάγραμμα Richards (Σχ. 3.6).

Στο Σχ. 3.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Νατρίου (διάγραμμα Wilcox).



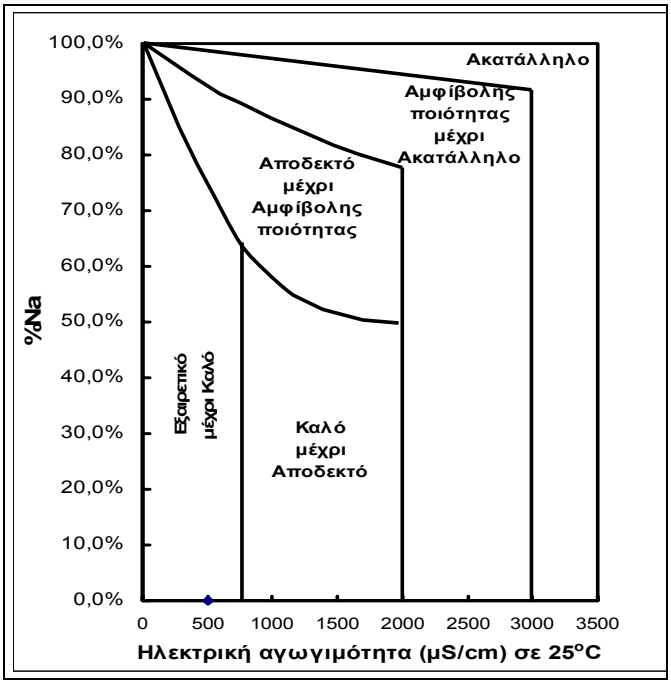
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών.

Η ***περιεκτικότητα σε νάτριο*** (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) από τη σχέση:

$$Na(\%)=(Na+K).100 / (Ca+Mg+Na+K)$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Η διαβρωτική ικανότητα του νερού ή η ικανότητα απόθεσης αλάτων, κυρίως $CaCO_3$ παίζει σημαντικό ρόλο στις χρήσεις του και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την ταχύτητα ροής του νερού και το pH. Τα βακτήρια επίσης δρουν καταλυτικά επιταχύνοντας τις χημικές αντιδράσεις.



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα ταξινόμησης με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Na (διάγραμμα Wilcox).

Ιοντική ισχύς I (ionic strength)

Η ιοντική ισχύς είναι ένα μέτρο της ολικής συγκέντρωσης των ιόντων και υπολογίζεται από τον τύπο: $I=0,5\sum M_i Z_i^2$ όπου M_i είναι η μοριακή συγκέντρωση (mol/L) του i-οστού ιόντος και Z_i είναι το φορτίο του. Οι Domenico & Schwartz (1990) αναφέρουν ότι το γλυκό νερό έχει ιοντική ισχύ $I<0,005$.

Δείκτης κορεσμού και δείκτης σταθερότητας

Ο ***δείκτης κορεσμού SI ή Langelier*** (Saturation index) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση ασβεστίτη ή γύψου ή δολομίτη από το νερό στους σωλήνες μεταφοράς.

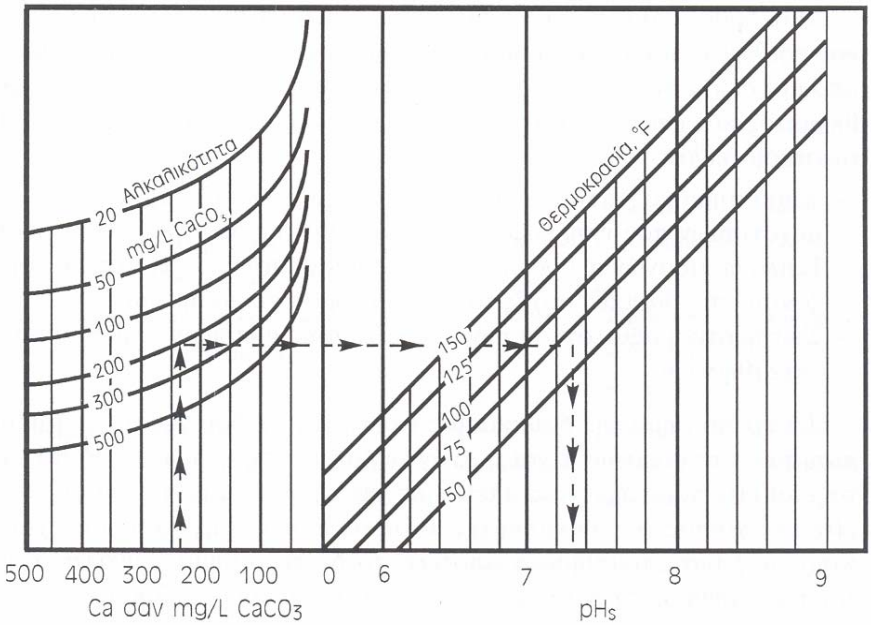
Η γενική μορφή του δείκτη κορεσμού είναι SI=pH-pHs

όπου pH=το μετρούμενο pH του νερού και pHs=το pH κορεσμού.

Για τον ασβεστίτη: $SI=\log([Ca^{2+}][CO_3^{2-}])/K$, όπου $[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$ το γινόμενο ενεργότητας και **K** η σταθερά ισορροπίας. Θετικές τιμές του δείκτη κορεσμού δηλώνουν την τάση του νερού για απόθεση $CaCO_3$, ενώ οι αρνητικές την τάση να διαλύει $CaCO_3$.

Ο Ryznar πρότεινε τον ***δείκτη σταθερότητας StI*** (Stability index) που δίνεται από τη σχέση: StI=2pH-pHs. Τιμές του **StI** μεγαλύτερες από 7 δηλώνουν διαβρωτικό νερό. Όταν ο δείκτης **StI** είναι μικρότερος από 7, το νερό έχει την τάση να αποθέτει άλατα.

Στο Σχ. 3.8 παρουσιάζεται το νομόγραμμα Langelier, από το οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη, αν γνωρίζουμε τη σκληρότητα, την αλκαλικότητα, τη θερμοκρασία του νερού και το pH. Π.χ. αν η σκληρότητα Ca είναι 240 mg/L $CaCO_3$, η αλκαλικότητα 190 mg/L, η θερμοκρασία 70 ^oF και το pH=6,8 από το διάγραμμα προκύπτει pHs=7,3 και συνεπώς ο δείκτης κορεσμού είναι SI=pH-pHs=6,8-7,3=-0,5 υποδηλώνοντας διαβρωτικό νερό.



Σχήμα 3.8: Προσδιορισμός του δείκτη Langelier (Kemmer 1988, από Μήτρακα 2001).

Η προσθήκη πολυμερών οργανικών μορίων αναστέλλει το σχηματισμό κρυστάλλων $CaCO_3$ και αποτελεί τη φθηνότερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο ελέγχου των αποθέσεων $CaCO_3$, $CaSO_4$ και $Ca_3(PO_4)_2$. Η προσθήκη επίσης διαφόρων συμπλοκοποιητών μειώνει το ρυθμό απόθεσης του $CaCO_3$, γιατί δεσμεύουν τα Ca^{2+} σε ευδιάλυτα σύμπλοκα.

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

BOD_5 είναι η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα νερά, σε διάστημα 5 ημερών και σε θερμοκρασία 20 ^oC. Οι τιμές του BOD δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ολική φόρτιση των νερών με οργανικές ενώσεις.

COD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων, οι οποίες βρίσκονται στα νερά.

Εφαρμογή 3.1

Μια ανάλυση δείγματος υπόγειου νερού έδωσε τα εξής αποτελέσματα σε mg/L:
Ca^{2+}=76, Mg^{2+}=14, Na^{+}=22, K^{+}=1,5, HCO_3^{-}=267, SO_4^{2-}=14, NO_3^{-}=1,5, Cl^{-}=44.

- Να μετατραπούν οι συγκεντρώσεις σε meq/L
- Να υπολογισθεί το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων.

Λύση: Με βάση τον Πίνακα 3.1. προκύπτουν οι κάτωθι συγκεντρώσεις σε meq/L:
Ca^{2+}=3.7924, Mg^{2+}=1,15164, Na^{+}=0,957, K^{+}=0,03835, HCO_3^{-}=4,34335, SO_4^{2-}=0,29148, NO_3^{-}=0,0242, Cl^{-}=1,2412
Το άθροισμα των κατιόντων είναι 5,94 και το άθροισμα των ανιόντων 5,90.
Με βάση τη σχέση $(\Sigma_{κατιόντων}-\Sigma_{ανιόντων})/(\Sigma_{κατιόντων}+\Sigma_{ανιόντων})$ προκύπτει ότι το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων είναι 0,33%, το οποίο είναι αποδεκτό.

Εφαρμογή 3.2

Μια ανάλυση δείγματος υπόγειου νερού έδωσε τα εξής αποτελέσματα σε mg/L:
Ca^{2+}=23, Mg^{2+}=4,7, Na^{+}=35, K^{+}=4,7, HCO_3^{-}=171, SO_4^{2-}=1, Cl^{-}=9,5
Να υπολογισθούν: Η αλκαλικότητα, η ολική, παροδική και μόνιμη σκληρότητα και ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου

Λύση: Η αλκαλικότητα (Alk) υπολογίζεται από τη σχέση 0,81967 HCO_3^{-}.
Αντικαθιστώ και έχω Alk=140,16 mg/L ισοδυνάμου $CaCO_3$
Η ολική σκληρότητα ισούται με TH=2.5 Ca+4.1 Mg
TH=(2,5 x 23) + (4,1 x 4,7)=76,77 mg/L ισοδυνάμου $CaCO_3$
Επειδή η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα, η μόνιμη σκληρότητα είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την παροδική. Με βάση τον Πίνακα 3.1. προκύπτουν οι κάτωθι συγκεντρώσεις σε meq/L: Ca^{2+}=1,15, Mg^{2+}=0,39, Na^{+}=1,52
Αντικαθιστώ στον τύπο του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR) και έχω: SAR=1,73.

Εφαρμογή 3.3

Αναμειγνύεται το νερό μιας πηγής με ηλεκτρική αγωγιμότητα EC_1=606 μS/cm και νερό από μια γεώτρηση με αγωγιμότητα EC_2=393 μS/cm και προκύπτει νερό με αγωγιμότητα EC_{mix}=544 μS/cm. Να προσδιορισθεί το ποσοστό του νερού της γεώτρησης στο μίγμα.

Λύση: Εφαρμόζω τη σχέση $EC_{mix}=EC_1 .(1-x) + EC_2 . x$, όπου x είναι το ποσοστό του νερού της γεώτρησης στο μίγμα. Αντικαθιστώντας τις τιμές έχω
544=393 x + 606 (1-x)**.** Λύνοντας ως προς x προκύπτει x=29,1%.

3.4. Άλλα χαρακτηριστικά του νερού

Θρεπτικά άλατα

Τα διαλυμένα στο νερό θρεπτικά άλατα παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βιολογική παραγωγικότητα. Το ***άζωτο*** και ο ***φωσφόρος*** θεωρούνται οι πλέον σημαντικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των οργανισμών.

Το άζωτο βρίσκεται στο νερό με διάφορες μορφές: αέριο σε διάλυση, αμμωνία (ως NH_4^{+} ή NH_4OH), NO_3^{-}, NO_2^{-}, οργανικό άζωτο.

Ο φωσφόρος δεν βρίσκεται ελεύθερος και στα νερά απαντά με τη μορφή ορθο-φωσφορικών ιόντων, πολυ-φωσφορικών ιόντων και ιόντων σε οργανικές ενώσεις. Ο

ολικός φώσφορος περιλαμβάνει το φώσφορο σε σωματιδιακή μορφή και τον διαλυμένο. Η συγκέντρωση των θρεπτικών παίζει σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του ευτροφισμού, στην υπέρμετρη δηλ. ανάπτυξη φυτικών οργανισμών σε υδάτινα σώματα με άμεση διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας (βλ. παράγραφο 5.4).

Αιωρούμενα σωματίδια

Λόγω της διάλυσης και της αποσάθρωσης των πετρωμάτων το νερό μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια, πολλές φορές μη ορατά με γυμνό μάτι. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες (ρύπανση με απόβλητα) συμβάλλουν στην επιπλέον δημιουργία αιωρούμενων. Όσον αφορά τα αιωρούμενα βιολογικής προέλευσης αυτά είναι κυρίως βακτήρια και άλγη. Η παρουσία των αιωρούμενων στο νερό μειώνει τη διαύγειά του, λόγω διάχυσης του φωτός. Λειτουργούν δε ως μέσο προσρόφησης διαφόρων επιβλαβών συστατικών π.χ. βαρέων μετάλλων, οργανικών ουσιών κ.λπ. και για το λόγο αυτόν παίζουν σημαντικό ρόλο στο γεωχημικό και βιολογικό κύκλο.

Η μέτρηση των αιωρούμενων γίνεται με τη ***θολότητα*** σε μονάδες θολότητας. Η θολότητα είναι η ιδιότητα του νερού να προκαλεί διάχυση και απορρόφηση του φωτός, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του (Μήτρακας, 2001).

Τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζουν την ποιότητα του νερού και τις μεθόδους επεξεργασίας του. Η απομάκρυνσή τους γίνεται με την εφαρμογή της καθίζησης, της διήθησης από στρώμα άμμου ή από γη διατόμων και της θρόμβωσης / κροκίδωσης (βλ. παράγραφο 9.5).

Οργανικές ουσίες

Οι οργανικές ουσίες προέρχονται είτε από φυσικές διαδικασίες, είτε από ανθρωπογενείς.

Οι φυσικές οργανικές ενώσεις στο νερό προέρχονται από τις διαδικασίες αποδόμησης προϊόντων φυτικής και ζωικής προέλευσης (χουμικά συστατικά).

Οργανικές ουσίες από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι αυτές που προέρχονται από την επεξεργασία του νερού π.χ. αλογονούχες οργανικές ενώσεις μετά τη χλωρίωση του νερού, ή ρύπανση (απορρυπαντικά, αρωματικές ενώσεις κ.λπ.). Τις τελευταίες δεκαετίες η εντατική χρήση φυτοφαρμάκων είχε ως αποτέλεσμα τη ρύπανση του υπόγειου νερού με οργανικές ενώσεις. Οι οργανοχλωριωμένες ενώσεις που χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα, δεν είναι εύκολα αποδομήσιμες και αποτελούν πηγή ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Οι φαινόλες (C_6H_5OH) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία φαρμάκων, χρωμάτων κ.λπ. και βρίσκονται στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων. Η ρύπανση του υπόγειου νερού,

που προορίζεται για πόσιμο, με φαινόλες είναι επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία γιατί με τη χλωρίωση του νερού σχηματίζονται χλωροφαινόλες, που είναι τοξικές και καρκινογόνες. Σαν ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση φαινολών στο πόσιμο νερό έχει ορισθεί το 1 μg/L.

Πολλές φορές οι οργανικές ουσίες εισέρχονται στο νερό μετά από διαρροές ή ατυχήματα (π.χ. διαρροή πετρελαιοειδών) ή μετά τη διάλυση των πλαστικών σωλήνων (διάλυση μονομερούς από τη μάζα του πολυμερούς πλαστικού) στα δίκτυα μεταφοράς νερού.

Για τον προσδιορισμό των οργανικών ενώσεων συνήθως προσδιορίζεται το σύνολο αυτών μετρώντας τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) και τα ολικά οργανικά αλογόνα (TOX).

Ραδιενέργεια του νερού

Η ραδιενέργεια του νερού είναι φυσική ή ανθρώπινης προέλευσης. Η φυσική προέρχεται από τα ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στη γη ή δημιουργούνται από το βομβαρδισμό της ατμόσφαιρας με κοσμική ακτινοβολία.

Τα δύο κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο νερό είναι το τρίτιο (^{3}H), άνθρακας-14 (^{14}C) και το κάλιο-40 (^{40}K). Το τρίτιο παράγεται κατά την επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας στο οξυγόνο και υδρογόνο της ατμόσφαιρας, οπότε παράγονται μόρια νερού με τρίτιο στο μόριό τους. Παρόμοια δημιουργείται και το ισότοπο ^{14}C και το παραγόμενο CO_2 εγκλωβίζεται στο νερό. Το ισότοπο ^{40}K παράγεται από τον φλοιό της γης.

Ο άνθρακας-14 χρησιμοποιείται για τη χρονολόγηση υλικών που περιέχουν άνθρακα (ξύλο, φυτά) και το τρίτιο για τη χρονολόγηση νερών.

Οι Βουδούρης και Fleet (1995) από τον προσδιορισμό της ηλικίας του υπόγειου νερού του υδροφορέα της Βιομηχανικής περιοχής Πατρών, με τη χρήση ισοτόπων τριτίου προέκυψε ότι αυτή είναι παλαιότερη από 40 χρόνια (3 δείγματα) και σε άλλα 2 δείγματα η ηλικία ανέρχεται σε 300 και 600 χρόνια, αντίστοιχα.

Στη φυσική ραδιενέργεια συμβάλλουν τα ραδιενεργά ισότοπα του ουρανίου-238, θορίου-232 και ουρανίου-235 και τα προϊόντα διάσπασής τους ράδιο-228 και ράδιο-226.

Τα ανθρώπινης προέλευσης ραδιενεργά ισότοπα προέρχονται κυρίως από τη χρήση των πυρηνικών όπλων, καθώς και τα ραδιενεργά φάρμακα και καύσιμα. Η παρουσία ραδιενεργών ισοτόπων στο νερό τα καθιστά ακατάλληλα για πόση, γιατί προκαλούν γενετικές μεταλλάξεις και τερατογενέσεις.

Οσμή και Γεύση

Η οσμή και η γεύση καθορίζονται από την προέλευση του νερού και τις ανθρώπινες επεμβάσεις που σχετίζονται με τις μεθόδους επεξεργασίας και τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού.

Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) είναι ένας δείκτης για τη γεύση του νερού. Αν οι τιμές του είναι μικρές (<1000 mg/L), η γεύση του νερού είναι καλή. Αν οι τιμές είναι μεγάλες, που υποδηλώνουν υφάλμυρα νερά το νερό έχει «γλυφή» γεύση.

Σημαντικό ρόλο στη γεύση και οσμή του νερού παίζουν και οι μέθοδοι επεξεργασίας του. Η χρήση π.χ. χλωρίου ως απολυμαντικό δημιουργεί παράγωγες ενώσεις κατά την αντίδρασή του με τα οργανικά συστατικά του νερού (π.χ. χλωροφαινόλες), οι οποίες έχουν διάφορες οσμές. Η παρουσία υδρόθειου (H_2S) σε περιεκτικότητα >0,1 mg/L στο νερό, δημιουργεί δυσάρεστη οσμή (σαν κλούβιο αυγό). Το υδρόθειο προέρχεται από την αναγωγή θειϊκών ιόντων σε αναερόβιες συνθήκες.

Η αποδόμηση φυτικών υπολειμμάτων και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι επίσης αιτίες για πιθανή δημιουργία οσμής και γεύσης στα επιφανειακά κυρίως νερά. Η γεωσμίνη με την οσμή γαιώδη-μούχλας είναι προϊόν μεταβολισμού μυκήτων και αλγών.

Τέλος, η παρουσία αμμωνίας, η οποία είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, προσδίδει στο νερό μια δυσάρεστη γεύση στο νερό.

Ίνες αμιάντου

Ο αμίαντος είναι επικίνδυνος κυρίως όταν εισπνέεται και η συσσώρευση αμιάντου στον οργανισμό μπορεί να προκαλέσει καρκίνο. Κατά τη μεταφορά του νερού με αμιαντοσωλήνες αυτό φθείρει το εσωτερικό των αγωγών. Έτσι οι παραγόμενες ίνες αμιάντου παρασύρονται και συγκεντρώνονται στο πόσιμο νερό. Για προληπτικούς λόγους πρέπει να αντικαθίστανται οι αμιαντοσωλήνες από τα δίκτυα ύδρευσης.

Το ίδιο τοξικό είναι το οξείδιο του πυριτίου, όταν ακολουθεί την αναπνευστική οδό, γνωστή ως πυριτίωση, καθώς και το χρώμιο και το νικέλιο.

3.5. Προέλευση των ιόντων

3.5.1. Κατιόντα

α) Ασβέστιο - Μαγνήσιο

Η κύρια προέλευση του ασβεστίου (Ca) είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο, τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και σε ορυκτά της ομάδας του επίδοτου.

Το μαγνήσιο (Mg^{2+}) απαντάται στον ολιβίνη $(Mg,Fe)SiO_4$, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη ($MgCO_3$) και δολομίτη ($CaCO_3$. $MgCO_3$). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Ο λόγος Ca/Mg στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0,25, σε υφάλμυρα νερά 1,5-3,7, ενώ σε ασβεστολιθικά νερά 1,6 και σε δολομιτικά νερά 1,25.

Τα ανωτέρω στοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου γιατί το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην πήξη του αίματος, ενώ το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυικού συστήματος.

β) Νάτριο-Κάλιο

Τα αλκάλια Na και K συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Το μεν νάτριο στον αλβίτη ($NaAlSi_3O_8$), το δε κάλιο στο ορθόκλαστο και στον μικροκλινή ($KAlSi_3O_8$). Το Na απαντά επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη (NaCl) και το K στον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα. Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα.

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/L. Στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/L. Περισσότερο από 50 mg/L νατρίου και καλίου προκαλούν σαπωνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, δημιουργώντας κρούστα. Σε μικρές περιεκτικότητες το νάτριο και το κάλιο συμμετέχουν στην ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν (αυξάνει την αρτηριακή πίεση).

γ) Ολικός Σίδηρος

Στα νερά ο σίδηρος συναντάται με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξείδια (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, FeS_2), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης, $FeCO_3$).

Τα επιφανειακά νερά έχουν τον σίδηρο με την τρισθενή μορφή, ενώ αντίθετα μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Καλά οξυγονωμένα επιφανειακά νερά σε φυσιολογικές συνθήκες δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο.

Ο σίδηρος απαντάται σε υπόγεια νερά της Βορειο-Δυτικής Πελοποννήσου (Αχαΐα, Ηλεία) και των νομών Κιλκίς, Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής κ.α., από αίτια που οφείλονται σε γεωλογικούς παράγοντες (Αντωνάκος & Νίκας, 2005, Mattas et al., 2006). Συγκεκριμένα η παρουσία οξειδίων του σιδήρου στον φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης αποδίδεται στην ανάδυση και αποσάθρωση των ασβεστολίθων, λατεριτών και βωξιτών που έδωσαν υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου και που τροφοδότησαν στη συνέχεια τη λεκάνη στην οποία σχηματιζόταν ο φλύσχης του Άνω Ηωκαίνου. Οι υψηλές περιεκτικότητες Fe στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της πεδιάδας της Δράμας συνδέονται με τα περιβάλλοντα στρώματα λιγνίτη και της βακτηριακής θειο-αναγωγής του Fe (Πανίλας κ.ά, 1999).

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης ολικού σιδήρου είναι τα 20 μg/L και το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο τα 200 μg/L. Όταν η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 100 μg/L γίνεται ίζημα μετά από έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, προκαλώντας θολότητα και δημιουργώντας κηλίδες στα σκεύη. Σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 200 μg/L καθίσταται ακατάλληλο και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Ο σίδηρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία. Σε μεγάλες περιεκτικότητες προξενεί βλάβη στους ιστούς, λόγω της συσσώρευσής του.

Το υδρόθειο αντιδρά με οξείδια του σιδήρου, που υπάρχουν στον υδροφορέα και σχηματίζονται πυρίτες (σουλφίδια του Fe). Οι εντατικές αντλήσεις οδηγούν πολλές φορές στην αναγωγή των θειϊκών με αποτέλεσμα την απόφραξη των φιλτροσωλήνων των υδρογεωτρήσεων με σουλφίδια του σιδήρου.

3.5.2. Ανιόντα

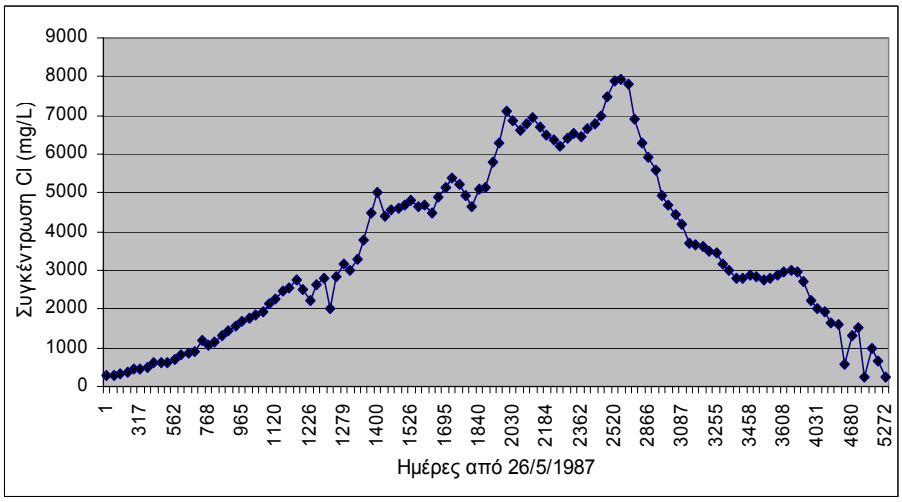
α) Χλώριο (Cl^-)

Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους. Στις βιομηχανικές περιοχές αύξηση του Cl^- προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια.

Τα χλωριούχα ιόντα συμβάλλουν στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι. Επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/L και το ανώτατο 250 mg/L. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το νερό γίνεται γλυφό και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι προκαλούνται καρδιαγγειακά προβλήματα.

Το ελεύθερο χλώριο χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού, αλλά έχει παρενέργειες, λόγω των παράγωγων ενώσεων που δημιουργούνται (βλ. παράγραφο 9.5).

Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας των χλωριόντων από τον παράκτιο αλλουβιακό υδροφορέα της λεκάνης του ποταμού Γλαύκου Αχαΐας. Σε περιόδους ξηρασίας (1989-1992) και υπερεκμετάλλευσης του υδροφορέα η περιεκτικότητα των χλωριόντων αυξήθηκε σημαντικά.



Σχήμα 3.9: Μεταβολή της περιεκτικότητας Cl^- (mg/L) υπόγειου νερού από τον υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου, Αχαΐας. (στοιχεία από Βουδούρη, 1995, Μανδηλαρά, 2005).

Να σημειωθεί ότι η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις περιοχές στην ενδοχώρα, γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν και σταγονίδια (sea spray) πλούσια σε άλατα. Η απόθεση αυτών των αλάτων με τη βροχόπτωση επιδρά σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών των νησιών (Dazy et al., 1997, Lambrakis et al., 2000).

Το χλώριο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων. Εάν θεωρηθεί ότι τα χλωριόντα είναι συντηρητικά ιόντα και η μοναδική πηγή προέλευσής τους στα υπόγεια νερά είναι η βροχόπτωση ή τα αερομεταφερόμενα σταγονίδια, το ισοζύγιο της μάζας των χλωριόντων σε μια λεκάνη μπορεί να εκφρασθεί:

$$P\,[Cl]_p = E\,[CI]_e + R\,[CI]_r + S\,[CI]_s$$

όπου: $[Cl]_p$, $[CI]_e$, $[CI]_r$, και $[CI]_s$ είναι οι συγκεντρώσεις χλωριόντων στη βροχόπτωση (P), στο νερό που εξατμίζεται (E), το νερό εμπλουτισμού R (ποιότητα υπόγειου νερού) και στο νερό της επιφανειακής απορροής (S), αντίστοιχα.

Θεωρώντας ασήμαντες τις ποσότητες χλωριόντων που μετακινούνται με την εξατμισο-διαπνοή και εισέρχονται από τη διάλυση των πετρωμάτων, τότε η ανωτέρω εξίσωση μπορεί να γραφεί: $P\,[Cl]_p = R\,[CI]_r + S\,[CI]_s$

Λύνοντας ως προς τον εμπλουτισμό R προκύπτει η κάτωθι εξίσωση:

$$R = \frac{P[Cl]_p - S[Cl]_s}{[Cl]_r}$$

Εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου έγινε στη λεκάνη Κορησού Νομού Καστοριάς με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης P=560 mm και επιφανειακή απορροή S=20% της βροχής για το υδρολογικό έτος 2004-05 (Βουδούρης κ.ά, 2005). Με βάση τις χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού από τη βροχή, τον ποταμό και δείγματα υπόγειου νερού την ανωτέρω χρονική περίοδο προέκυψαν οι εξής τιμές για την περιεκτικότητα χλωριόντων:

Cl^- βροχής=1,6 mg/L, Cl^- ποταμού=2,2 mg/L, Cl^- υπόγειου νερού=5,3 mgr/L

Αντικαθιστώντας τις ανωτέρω τιμές στην εξίσωση προκύπτει ότι ο εμπλουτισμός του υδροφορέα ανέρχεται σε 122,5 mm ετησίως ή 21,4% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

Οι Kitching κ.ά. (1980) θεωρούν ότι, η κύρια πηγή λάθους στην εκτίμηση του εμπλουτισμού με τη μέθοδο αυτή, οφείλεται στο μη ακριβή προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ιόντων Cl^- στη βροχή. Το λάθος αυτό πολλές φορές ανέρχεται έως και 25% της πραγματικής τιμής.

β) Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2(HCO_3^-)$$

Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

$$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

Είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές. Υπάρχουν και φυσικά ανθρακούχα νερά (π.χ. ΣΟΥΡΩΤΗ) που περιέχουν σε μεγάλες περιεκτικότητες HCO_3^- και CO_2. Οι σόδες αντίθετα προέρχονται

από τα κοινά νερά με προσθήκη CO_2 και $NaHCO_3$. Το CO_2 προσδίδει στο νερό ευχάριστες ιδιότητες.

γ) Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιττώματα, λιπάσματα ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο.

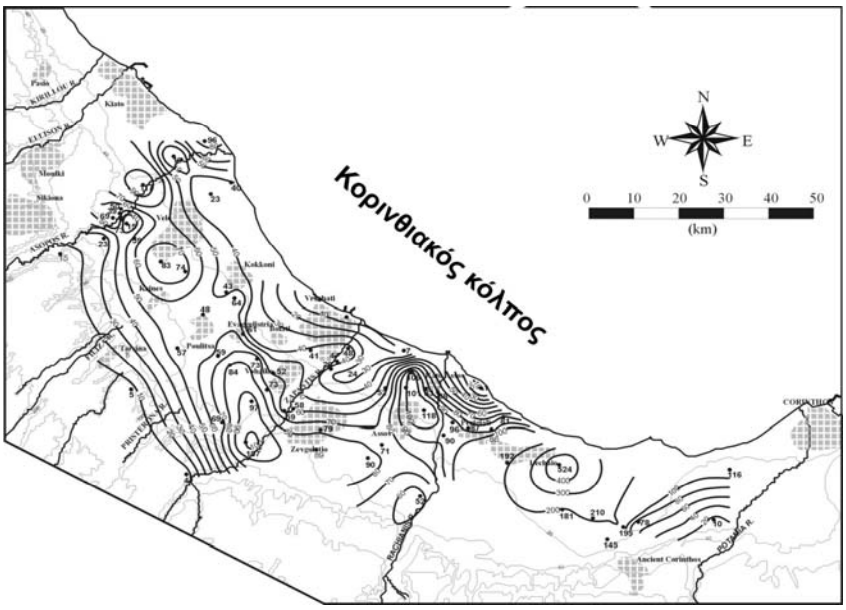
Η οξείδωση του ιόντος NH_4^+ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:

$$2NH_4^+ + 2OH^- + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 4H_2O$$

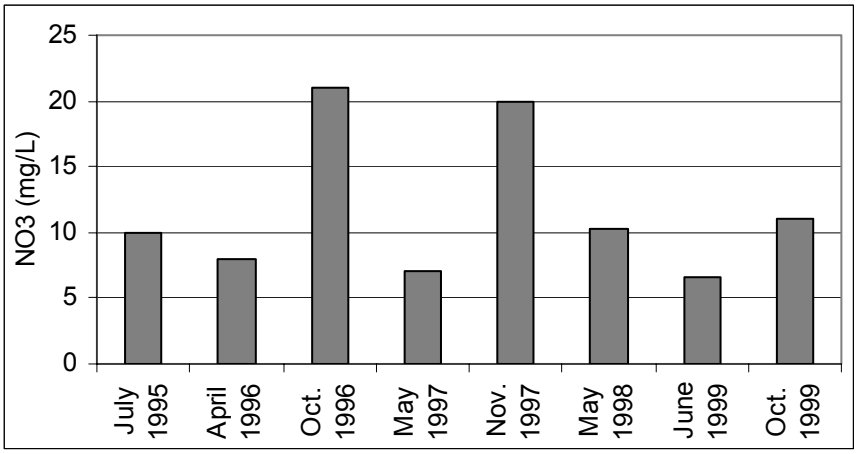
$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ανιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμειξη με νερά άρδευσης από λιπαινόμενες γαίες. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/L.

Στο Σχήμα 3.10 παρουσιάζεται η κατανομή των νιτρικών ιόντων στη λεκάνη της Βόχας (Βόρειο παράκτιο τμήμα του Νομού Κορινθίας) και στο Σχ. 3.11 η διακύμανση των νιτρικών στο υπόγειο νερό από μια γεώτρηση της ίδιας περιοχής την περίοδο 1995-1999.



Σχμα 3.10: Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων (mg/L) στον παράκτιο αλλουβιακό υδροφορέα του Νομού Κορινθίας (Voudouris et al., 2004).



Σχήμα 3.11: Διακύμανση των νιτρικών ιόντων (mg/L) σε δείγμα υπόγειου νερού από τον παράκτιο αλλουβιακό υδροφορέα του Νομού Κορινθίας (Voudouris et al., 2004).

Αυξημένες περιεκτικότητες σε νιτρικά ιόντα προκαλούν βλάβες στον οργανισμό. Συγκεκριμένα κατηγορούνται για την πρόκληση διαφόρων μορφών καρκινογένεσης (τα αδρανή νιτρικά μετατρέπονται σε δραστικά νιτρώδη στον οργανισμό, τα οποία μπορεί να δώσουν καρκινογόνα παράγωγα όπως οι νιτροζαμίνες) και για την κοινά ονομαζόμενη ασθένεια των "μπλέ παιδιών" (νεώτερες επιδημιολογικές έρευνες το αμφισβητούν). Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που θα ενταθεί στο μέλλον από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Άμεσα απαιτείται ο έλεγχος και η ορθολογικοποίηση της γεωργίας με εφαρμογή των κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής, καθώς και η προώθηση εναλλακτικών μορφών καλλιέργειας.

Η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών είναι η αναγωγή τους, σύμφωνα με την αντίδραση (βλ. παράγραφο 9.3):

$$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \rightarrow N_2 + 6H_2O$$

Οι κύριες αναγωγικές ουσίες H_2S, CH_4, Fe^{2+} βρίσκονται διαλυμένες στο νερό σε μικρή αναλογία σε σχέση με τα νιτρικά και έτσι καθίσταται αδύνατη η πλήρης αναγωγή των νιτρικών. Έτσι η αναγωγή των νιτρικών ή απονίτρωση (denitrification) στους υδροφόρους επιτυγχάνεται από οργανική ύλη, παρουσία βακτηρίων με τελικό προϊόν την αμμωνία.

δ) Νιτρώδες ανιόν (NO_2^-)

Εμφανίζεται ως ένα ενδιάμεσο στάδιο της βιολογικής ανασύνθεσης από ενώσεις που περιέχουν οργανικό άζωτο και είναι εξαιρετικά ασταθές. Η αμμωνία μετατρέπεται κάτω από αερόβιες συνθήκες σε νιτρώδη με τη βοήθεια βακτηριδίων.

Η παρουσία νιτρωδών αλλά και αμμωνίας υποδηλώνει ρύπανση από λύματα. Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση νιτρωδών έχουν ορισθεί τα 0,1 mg/L.

Στα επιφανειακά νερά η παρουσία των νιτρωδών ιόντων είναι περιορισμένη γιατί οξειδώνονται σε νιτρικά με την παρουσία φωτός και βακτηριδίων.

ε) Θειϊκά ανιόντα (SO_4^{-2})

Κύρια προέλευση των θειϊκών ανιόντων είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θειϊκών λιπασμάτων τύπου $(NH_4)_2SO_4$, καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

$$CaSO_4\ 2H_2O_{(s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$$

$$CaSO_{4\ (s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-}$$

Η παραγωγή θειϊκών ανιόντων από σουλφίδια και θειικό αμμώνιο γίνεται σύμφωνα με τις κάτωθι αντιδράσεις:

$$FeS_2 + 15/4O_2 + 7/2H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{2-} + 4H^+$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4OH + 2H^+ + SO_4^{2-}$$

Σε μεγάλες περιεκτικότητες θειικών ιόντων το νερό δρα ως καθαρτικό. Περιεκτικότητα όμως μεγαλύτερη από 250 mg/L σε θειϊκά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση (προσδίδει γεύση) και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Παρουσία οργανικής ύλης τα SO_4^{2-} μπορεί να αναχθούν, κυρίως σε υδρόθειο (H_2S), το οποίο υδρόθειο έχει δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς νερού:

$$SO_4^{2-} + 2CH_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3^-$$

στ) Φθόριο

Βρίσκεται στα υπόγεια νερά με μορφή φθοριούχων αλάτων και είναι διαβρωτικό και τοξικό. Προέρχεται από τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη:

$$Ca_5(PO_4)_3F + H_2O \leftrightarrow Ca_5(PO_4)_3OH + F^- + H^+$$

Σε συγκέντρωση μέχρι 1 mg/L είναι ωφέλιμο, γιατί προλαμβάνει την τερηδόνα των δοντιών και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της αδαμαντίνης. Σε μεγαλύτερη συγκέντρωση αποτίθεται στα δόντια, προκαλώντας κηλίδες και παραμόρφωση (fluorosis). Συγκεντρώσεις F στο νερό μεγαλύτερες από 5 mg/L το καθιστούν ακατάλληλο προς πόση. Η φθορίωση του νερού, που γίνεται στις δεξαμενές ύδρευσης, χρησιμοποιώντας διάφορα φθοριούχα άλατα αποσκοπεί στο να αποκτήσει την επιθυμητή συγκέντρωση του 1 mg/L.

η) Φωσφορικά ιόντα

Βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με την τιμή του pH με διάφορες μορφές: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}. Η παρουσία τους σχετίζεται και με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία, καθώς τη ρύπανση από αστικά λύματα. Μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες δημιουργίας φαινομένων ευτροφισμού.

Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση φωσφορικών στο νερό θεωρούνται τα 5 mg/L, ενώ σαν ενδεικτικό τα 0,4 mg/L.

Στο υπόγειο νερό υπάρχουν και ιχνοστοιχεία, τα οποία αν είναι σε μικρές περιεκτικότητες είναι ευεργετικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Αντίθετα σε μεγάλες περιεκτικότητες καθίστανται επιβλαβή. Σαν τέτοια μπορούν να αναφερθούν το σελήνιο, το χρώμιο, το μαγγάνιο, το λίθιο, ο ψευδάργυρος ο χαλκός, το βάριο, το κάδμιο κ.ά.

Δεν έχει διαπιστωθεί ευεργετική δράση, αντίθετα είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία γιατί προκαλούν βλάβες, τα ιχνοστοιχεία αργίλιο (προκαλεί την ασθένεια Alzheimer), άργυρος (προκαλεί σε μεγάλες περιεκτικότητες αποχρωματισμό του δέρματος και των μαλλιών), βηρύλλιο (θεωρείται καρκινογόνο) και ο υδράργυρος (προκαλεί βλάβες στα νεφρά, στον εγκέφαλο, οπτικές διαταραχές κ.ά).

3.6. Συσχέτιση ιόντων

Τα υπόγεια νερά έχουν μια ευρεία περιοχή χημικής σύστασης, που οφείλεται: (1) στην προέλευση, (2) τον ρυθμό εμπλουτισμού τους, (3) την αλληλεπίδραση με ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα και λιθόσφαιρα, (4) τις ανθρώπινες δραστηριότητες και (5) τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Γενικά στα υδατικά συστήματα μεταξύ των ιόντων εμφανίζονται τρία διαφορετικά είδη συσχετίσεων (Douglas & Leo, 1977):

1) Μία ισχυρά ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων που έχουν ίδιο φορτίο, αλλά διαφορετικό σθένος.
2) Μία ισχυρή χημική συγγένεια μεταξύ ιόντων με αντίθετα φορτία και ίδιο σθένος.
3) Μία μη ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων με το ίδιο είδος φορτίου και ίδιο σθένος.

Οι Voudouris et al. (2000b) μελετώντας τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε 131 δείγματα του προσχωματικού υδροφορέα της βόρειας παράκτιας ζώνης του Νομού Κορινθίας, διαπίστωσαν τις κάτωθι συσχετίσεις μεταξύ των ιόντων:

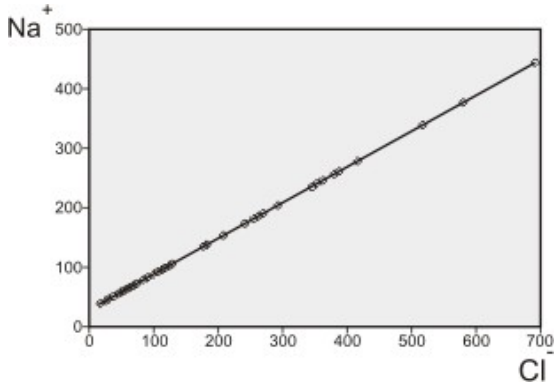
- <u>Ιόντα με το ίδιο είδος φορτίου και διαφορετικό σθένος</u>

Σχετικά μεγάλη και σημαντική συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των ιόντων Mg^{2+} με τα ιόντα Na^{+} (συντελεστής συσχέτισης r=0,58). Η συσχέτιση των ιόντων Ca^{2+} με ιόντα Na^{+} και K^{+} είναι αρνητική και όχι στατιστικά σημαντική (r=-0,22 και -0,19 αντίστοιχα). Τα SO_4^{2-} εμφανίζουν συντελεστή συσχέτισης 0,55 με τα ιόντα Cl^{-} και 0,46 με τα NO_3^{-}.

- Ιόντα με αντίθετα φορτία και το ίδιο σθένος

Παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Na^{+} και Cl^{-} (r=0,84), μεταξύ Mg^{2+} και SO_4^{2-} (r=0,80), μεταξύ Ca^{2+} και SO_4^{2-} (r=0,60) και μεταξύ των HCO_3^{-} και των ιόντων Na^{+} (r=0,70). Μικρότερη συσχέτιση υπάρχει μεταξύ K^{+} και Cl^{-} (r=0,50).

Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ Na^{+} και Cl^{-} από 131 δείγματα υπόγειου νερού του παράκτιου προσχωματικού υδροφορέα του Νομού Κορινθίας, απ' όπου προκύπτει η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών ιόντων.



Σχήμα 3.12: Συσχέτιση Na^{+} και Cl^{-} σε δείγματα υπόγειου νερού.

-Ιόντα με το ίδιο είδος φορτίου και το ίδιο σθένος

Η συσχέτιση μεταξύ Ca^{2+} και Mg^{2+} δεν είναι σημαντική (r=0.26), καθώς επίσης και μεταξύ των ιόντων NO_3^{-}, HCO_3^{-} και NO_2^{-}. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ Cl^{-} και NO_3^{-} είναι 0,54 και μεταξύ Na^{+} και K^{+} ανέρχεται σε 0,47.

3.7. Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών διαφόρων υδροφορέων

Όπως προαναφέρθηκε η ποιότητα του υπόγειου νερού καθορίζεται από τη λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών στους οποίους κινείται. Κατά συνέπεια υδροφορείς σε διαφορετικά πετρώματα αντιπροσωπεύουν νερά διαφορετικών υδροχημικών τύπων.

Υπόγεια νερά από ***κρυσταλλικά πετρώματα*** (γρανίτες, γνεύσιοι) ανήκουν στον Ca-HCO_3-SO_4 υδροχημικό τύπο. Τα πετρώματα αυτά χαρακτηρίζονται ως γνωστόν από αφθονία χαλαζία, αστρίων και μαρμαρυγίες. Σε μερικές περιπτώσεις Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+} και F^{-}

εμφανίζονται επιπλέον σαν κύρια κατιόντα και ανιόντα, αντίστοιχα. Τα υπόγεια νερά από γνεύσιους τείνουν να έχουν υψηλότερη ολική μεταλλικότητα και pH από αυτά των γρανιτών, που οφείλεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις Mg^{2+} και Ca^{2+}. Επίσης τα νερά από γρανίτες και γνεύσιους χαρακτηρίζονται από την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων, όπως: Fe, As, Mo, U. Τα ιχνοστοιχεία προέρχονται από τη διάλυση υδροθερμικών ορυκτών φάσεων μολυβδαινίτη (MoS_2), ποικίλλων ουρανιούχων ορυκτών, αρσενοπυρίτη (FeAsS) και βαρύτη ($BaSO_4$). Γενικά τα υπόγεια νερά των γνευσίων περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις Ba και As σε σχέση με νερά προερχόμενα από γρανίτη. Η παρουσία Mn συνδέεται με μεταμορφωμένα πετρώματα πλούσια σε μαρμαρυγίες, κεροστίλβη και αμφιβόλους. Ο φθορίτης είναι ένα τυπικό ορυκτό που απαντάται στο γρανίτη της περιοχής Mont-Blanc (Ελβετία) και η διάλυσή του δίνει ιόντα φθορίου (F^-), σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaF_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2F^-$$

Υπόγεια νερά από ***ασβεστολιθικά πετρώματα*** ανήκουν στον Ca-HCO_3 υδροχημικό τύπο, ενώ από ***δολομιτικά*** στον Mg-HCO_3 τύπο. Στις περιπτώσεις που τα ανθρακικά πετρώματα περιέχουν γυψούχα στρώματα, ο κυρίαρχος τύπος νερού είναι Ca-Mg-HCO_3-SO_4.

Οι περιεκτικότητες του Na^+και Cl^- είναι σχετικά χαμηλές, εκτός των περιπτώσεων που έχουμε επίδραση της θάλασσας. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι πολύ χαμηλές. Υπόγεια νερά που έχουν αναπτυχθεί σε ανθρακικά πετρώματα βαθειάς θάλασσας είναι πλούσια σε Ba. Υπόγεια νερά από ανθρακικά πετρώματα που περιέχουν γύψο, χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις Sr^{2+} και Li^+. Υψηλές συγκεντρώσεις I^- σε νερά ανθρακικών υδροφόρων σχετίζονται με την αποσύνθεση απολιθωμένης οργανικής ύλης (Kilchmann et al., 2004).

Υπόγεια νερά από ***εβαπορίτες*** εμφανίζουν υψηλή μεταλλικότητα και ανήκουν στον Ca-Mg-SO_4-HCO_3 υδροχημικό τύπο. Τα ιόντα Ca^{2+}, Mg^{2+} και SO_4^{2-} κατέχουν το 80-90% της ολικής μεταλλικότητας του νερού. Το Sr εμφανίζεται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Χαρακτηριστικά ιχνοστοιχεία στους εβαπορίτες είναι: Li, Ni, Cu, Cd, Mn. Το Βόριο (B) συνδέεται επίσης με την παρουσία εβαποριτών (Molina et al., 2003).

Οι εβαπορίτες περιέχουν ανθρακικά ορυκτά και η διάλυση της γύψου συνοδεύεται από διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$1.8CaSO_{4\,(s)} + 0.8CaMg(CO_3)_{2\,(s)} \leftrightarrow 1.6CaCO_{3\,(s)} + Ca^{2+} + 0.8Mg^{2+} + 1.8SO_4^{2-}$$

Η διάλυση της γύψου απελευθερώνει άφθονο Ca^{2+} στο νερό και η συνεχιζόμενη διάλυση προκαλεί καθίζηση του ασβεστίτη, η οποία σύμφωνα με την αντίδραση οδηγεί σε μείωση του CO_3^{2-}, προξενώντας επιπλέον διάλυση δολομίτη με ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης Mg^{2+}. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται σαν από-δολομιτίωση (de-dolomitisation). Να σημειωθεί ότι σε καθαρό νερό 25 ^oC η γύψος είναι 225 φορές πιο διαλυτή από τον ασβεστίτη και 167 φορές από το δολομίτη.

Η πλειονότητα των υπόγειων νερών προερχόμενα από υδροφόρους που φιλοξενούνται σε ***μολασσικά*** ιζήματα ανήκει στον Ca-Mg-HCO_3 υδροχημικό τύπο με υψηλές διακυμάνσεις μεταλλικότητας. Αρκετοί μολασσικοί σχηματισμοί έχουν ειδική ορυκτολογική σύσταση και αυτό διαμορφώνει υπόγεια νερά με ειδικό υδροχημικό τύπο. Υψηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} καταγράφεται σε μολασσικά ιζήματα στη ΒΑ/κή Ελβετία (Kilchmann et al., 2004).

Τα υπόγεια νερά που προέρχονται από ***φλύσχη*** ανήκουν στον Ca-HCO_3 ή Ca(Mg)-HCO_3 υδροχημικό τύπο. Τα νερά από πηγές φλύσχη έχουν χαμηλή συγκέντρωση σε Na^+, K^+, Cl^-, SO_4^{2-} και SiO_2. Γενικά έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, με εξαίρεση το Ba.

Τα νερά των ***αλλουβιακών*** σχηματισμών εμφανίζουν μεγάλες ποιοτικές διακυμάνσεις, που οφείλονται στις συνθήκες τροφοδοσίας και τη λιθολογία των σχηματισμών εντός των οποίων κινείται. Συνήθως ανήκουν στον Ca-HCO_3 υδροχημικό τύπο. Το πολύ γνωστό υπόγειο νερό του προσχωματικού υδροφορέα Λουτρακίου (νερό Λουτρακίου) ανήκει στον Mg-HCO_3 τύπο, λόγω της παρουσίας οφιολίθων, ανάντι. Η διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη είναι υπεύθυνη για τις υψηλές συγκεντρώσεις HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} στα υπόγεια νερά όλων των τύπων των υδροφόρων.

Πιθανές πηγές Na^+ είναι η ιοντοανταλλαγή, κατά την οποία, τα αργιλικά ορυκτά παίζουν ρόλο ανταλλάκτη (βλ. παράγραφο 4.3.1). Το ιόν βρωμίου είναι ένας καλός δείκτης θαλάσσιας διείσδυσης. Η συγκέντρωση του βρωμίου στα γλυκά νερά είναι μικρότερη από 0,01 mg/L και στο θαλασσινό ανέρχεται σε 65 mg/L.

Αυξημένες συγκεντρώσεις Fe, Mn και άλλων ιχνοστοιχείων σχετίζονται με διάλυση ορυκτών που περιέχουν τα στοιχεία αυτά ή με υδροθερμικά εξαλλοιωμένες ζώνες. Αυξημένες συγκεντρώσεις αρσενικού (As) συνδέονται με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, απορρυπαντικών κ.λπ.

Στον κατωτέρω Πίνακα 3.4 δίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού από βροχή, θάλασσα και διάφορους τύπους υδροφορέων.

Πίν. 3.4: Τυπική περιεκτικότητα (mg/L) νερών διαφόρων τύπων.

Στοιχείο	***Βροχή***	***Θάλασσα***	***Ανθρακικός***	***Αλλουβιακός***	***Γρανιτικός***	***Φλυσχικός***

Ca^{2+}	0,4-20,0	214	28-125	70-120	7-26	24-97
Mg^{2+}	0,05-6,0	670	0,2-19	10-31	0,2-2	1,5-24
Na^{+}	0,15-18,0	11.150	0,5-40	10-35	0,5-24	0,3-10
K^{+}	0,25-0,78	414	0,2-7	0,5-2	0,2-3	0,2-3
Cl^{-}	0,16-44,5	20.000	1-50	4-25	1-17	1-4
HCO_3^{-}	0,001-34,0	146	95-450	300-400	18-67	137-380
SO_4^{2-}	0,002-20,0	1.400	2-150	10-38	3-40	2,5-36
NO_3^{-}	0,1-2,1	0,0003	<1-30	1-9	1-5	0,5-8

Οι δύο κύριοι υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών είναι:

Ανθρακικά: $Ca^{2+}>Mg^{2+}>Na^{+}$

$HCO_3^{-}>SO_4^{2-}>Cl^{-}$

Χλωριούχα: $Na^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}$

$Cl^{-}>SO_4^{2-}>HCO_3^{-}$

Για την προέλευση των υπόγειων νερών χρήσιμες πληροφορίες δίνουν και διάφοροι ιοντικοί λόγοι.

Ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/L) στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 5, ενώ στο γλυκό νερό ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ 0,2-1,5. Τιμές του λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/L) μεταξύ 0,5-0,7 αντιστοιχούν σε υδροφόρους ορίζοντες ασβεστολιθικών πετρωμάτων, τιμές μεταξύ 0,7-0,9 αντιστοιχούν σε υδροφόρους δολομιτικών πετρωμάτων και τιμές >0,9 σε υδροφόρους οφιολιθικών ή γενικά πυριτικών πετρωμάτων πλούσιων σε Mg^{2+}.

Στους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους γίνεται δολομιτίωση (αντικατάσταση Ca^{2+} από Mg^{2+}). Λόγω της δολομιτίωσης ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/L) στο θαλασσινό νερό των παράκτιων καρστικών υδροφόρων με το πέρασμα του χρόνου ελαττώνεται και από την τιμή 5 τείνει προς την τιμή 2. Έτσι η τιμή του λόγου καθορίζει την ηλικία του διεισδύοντος θαλασσινού νερού.

Τιμές του λόγου $(Ca^{2+} +Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})>1$ (οι συγκεντρώσεις σε meq/L) αντιστοιχούν σε περιοχές εμπλουτισμού, ενώ τιμές <1 σε περιοχές εκφόρτισης.

Ο λόγος Na^{+}/K^{+} (meq/L) σε περιοχές εμπλουτισμού παίρνει τιμές 15-25, ενώ σε περιοχές εκφόρτισης 45-70, λόγω προσρόφησης Na^{+}. Ο λόγος αυτός στο θαλασσινό νερό είναι ίσος με 46, ενώ στο βρόχινο ίσος με 10.

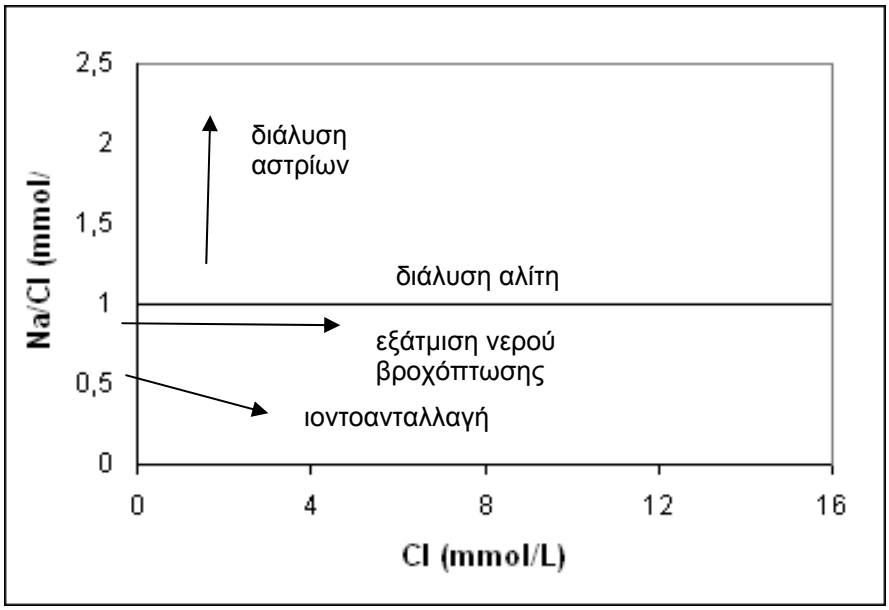
Ο λόγος Na^{+}/Cl^{-} (meq/L) παραμένει σταθερός, ίδιος με αυτόν του νερού της βροχής και του θαλασσινού νερού (0,876±10%). Ο λόγος Na^{+}/Cl^{-} (meq/L) όταν παίρνει πολύ μικρές τιμές, υποδηλώνει θαλάσσια διείσδυση. Τιμές του λόγου Na^{+}/Cl^{-} (meq/L) μεγαλύτερες της μονάδας, υποδηλώνουν υδροφορέα από αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα

πετρώματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το Cl^- είναι αδρανές ιόν και απομακρύνεται εύκολα. Τιμές του λόγου Na/Cl >1 σε χαμηλές τιμές αλατότητας υποδηλώνει ότι το μετεωρικό NaCl δεν είναι μόνο η κύρια πηγή προέλευσης νατρίου. Υψηλές τιμές του λόγου Na/Cl πιθανά συνδέονται με την αποσάθρωση Na-αστρίων, π.χ. του αλβίτη, όπως περιγράφεται με την παρακάτω αντίδραση:

$$2NaAlSi_3O_8 + 9H_2O + H_2CO_3 \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Na^+ + 2HCO_3^- + 4H_4SiO_4$$

(αλβίτης) (καολινίτης)

Δείγματα υπόγειου νερού με χαμηλές τιμές (<1) του λόγου Na/Cl πιθανά είναι το αποτέλεσμα της ιοντο-ανταλλαγής Na^+ στο έδαφος και τις αργίλους (Σχ. 3.13).



Σχήμα 3.13: Συσχέτιση του λόγου Na/Cl vs Cl^- (mmol/L).

Ο λόγος rCl^-/rBr^- (r=meq/L) στο υπόγειο νερό του υδροφορέα της λεκάνης του ποταμού Γλαύκου Αχαΐας κυμαίνεται από 330 (γλυκό νερό περιοχών εμπλουτισμού) έως 756 (παράκτιο τμήμα επηρεασμένο από θαλάσσια διείσδυση). Στα επιφανειακά νερά του ποταμού Γλαύκου ο λόγος rCl^-/rBr^- μετρήθηκε ίσος με 295, ενώ στο θαλασσινό νερό του Πατραϊκού κόλπου 608 (Voudouris et al., 2004). Ο λόγος rCl^-/rBr^- σε τρία δείγματα από τον κόλπο Chesapeake (USA) κυμαίνεται από 490 έως 601 (Andreasen and Fleck, 1997). Σύμφωνα με τους Alcala & Custodio (2004) στα υπόγεια νερά των οποίων η αλατότητα σχετίζεται με θαλάσσια διείσδυση, ο λόγος rCl^-/rBr^- είναι όμοιος με αυτόν του θαλασσινού νερού, δηλ. 655±4.

Ο λόγος SO_4^{2-}/Cl^- (σε meq/L) στο θαλασσινό νερό παίρνει τιμές 0,07 έως 0,1. Για τιμές του λόγου μικρότερες του 0,2 το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται χλωριούχο, ενώ για τιμές

μεγαλύτερες του 5 το νερό χαρακτηρίζεται θειούχο. Ενδιάμεσες τιμές χαρακτηρίζουν το υπόγειο νερό ως χλωροθειούχο (0,2-1) και θειούχο-χλωριούχο (1-5).

Η αναγνώριση της υφαλμύρωσης που προκαλείται από τη θάλασσα δεν είναι πάντα εύκολη. Ο ***Revelle*** πρότεινε σαν κριτήριο διείσδυσης του θαλασσινού νερού, τη χρησιμοποίηση του λόγου:

$$R=rCl^-/(rCO_3^{2-}+rHCO_3^-)$$

Το r δηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L. Τιμές του R≥1 αποτελούν ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης.

Ερωτήσεις

3.1. Ποιες είναι οι φυσικές ιδιότητες του νερού;

3.2. Πως γίνεται δειγματοληψία του υπόγειου νερού;

3.3. Πως ελέγχεται η αξιοπιστία μιας χημικής ανάλυσης δείγματος υπόγειου νερού;

3.4. Ποιες είναι οι κυριότερες χημικές παράμετροι του υπόγειου νερού

3.5. Τι καθορίζει το δυναμικό οξειδοαναγωγής;

3.6. Ποια σχέση συνδέει το T.D.S. με την ηλεκτρική αγωγιμότητα;

3.7. Τι είναι η παροδική και τι η μόνιμη σκληρότητα του νερού;

3.8. Με τι ισούται ο συντελεστής SAR και τι εκφράζει;

3.9. Τι είναι το BOD και τι το COD;

3.10. Με ποιο συντελεστή ελέγχεται αν το νερό είναι διαβρωτικό;

3.11. Ποιες είναι οι κυριότερες πηγές προέλευσης του νατρίου και του καλίου στο υπόγειο νερό;

3.12. Ποια είναι η κύρια προέλευση των θειϊκών ιόντων στα υπόγεια νερά;

3.13. Ποια κύρια είδη συσχετίσεων μεταξύ των ιόντων εμφανίζονται στα υδατικά συστήματα;

3.14. Ποιες είναι οι πηγές προέλευσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά;

3.15. Ποιοι υδροχημικοί τύποι απαντώνται σε υπόγεια νερά από υδροφόρους ανθρακικών πετρωμάτων και ποιοι σε νερά γυψούχων πετρωμάτων;

3.16. Τι δηλώνει ο συντελεστής Revelle;

Ασκήσεις

3.1. Σε δύο χημικές αναλύσεις δειγμάτων υπόγειου νερού προέκυψαν τα κάτωθι αποτελέσματα σε mg/L:

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
143	35	14	0,5	317	254	0,2	4
41	2	180	3,3	280	60	2	101

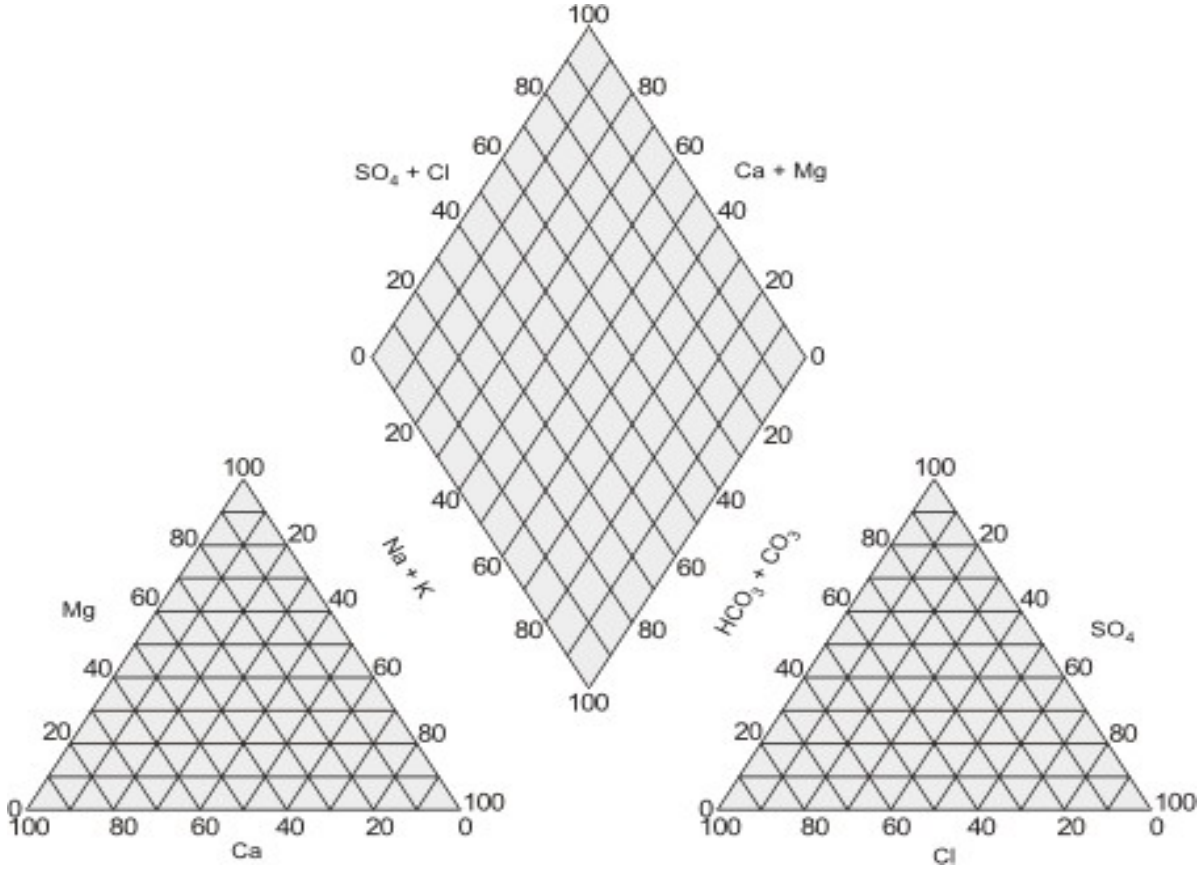
- Να υπολογισθεί η αλκαλικότητα
- Να υπολογισθεί η ολική, η παροδική και η μόνιμη σκληρότητα.

3.2. Με βάση τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης ενός δείγματος υπόγειου νερού να υπολογισθεί ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου και να γίνει απεικόνιση στο διάγραμμα Richards (Σχ. 3.5).
Ca=68 mg/L, Mg=14 mg/L, Na=45 mg/L, E.C.=800 μS/cm

3.3. Η χημική ανάλυση ενός δείγματος υπόγειου νερού έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα σε mg/L:

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	Cl^{-}
23	4,7	35	4,7	171	1,0	0,5	9,5

Να γίνει το ισοζύγιο κατιόντων-ανιόντων
- Να γίνει ταξινόμηση με βάση το τριγραμμικό διάγραμμα.



3.4. Η ανάλυση ενός δείγματος υπόγειου νερού έδωσε τα εξής αποτελέσματα σε mg/L:

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	CO_3^{--}	Fe	Cl^{-}
57	6	8,5	0,3	175	11	0	0	17

- Να κατασκευάσετε το κυκλικό διάγραμμα, το ραβδοδιάγραμμα, το διάγραμμα Stiff (πολυγωνικό).
- Να γίνει το διάγραμμα ποσιμότητας κατά Schoeller.