

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: Αποσκλήρυνση Υπόγειων Νερών Με Χρήση
Προσροφητικών Υλικών**

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: Λαϊνά Δάφνη

Αριθμός Μητρώου τμήματος: 5251

Επιβλέποντες καθηγητές: Κατσαράκης Νικόλαος

Γεωργάκη Ειρήνη

Ηράκλειο, 2015

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 – Το νερό, ο πολυτιμότερος φυσικός πόρος.....	8
1.1 – Ρύπανση του νερού.....	11
1.1.1 - Βιομηχανική Ρύπανση.....	11
1.1.2 - Αστική Ρύπανση.....	12
1.1.3 - Γεωργική Ρύπανση.....	14
1.2 - Χρήσεις του νερού.....	15
1.3 - Ποιότητα νερού.....	16
1.4 - Έλεγχος ποιότητας νερού.....	17
1.5 - Νομοθεσία – Όρια.....	23
1.6 - Επεξεργασία νερού.....	25
Κεφάλαιο 2 – Επεξεργασία Νερού.....	26
2.1 - Διεργασίες επεξεργασίας νερού.....	26
2.1.1 - Αερισμός νερού.....	28
2.1.2 - Επανανθράκωση του νερού – Διόρθωση pH.....	28
2.1.3 – Διύλιση.....	28
2.1.4- Κροκίδωση – Συσσωμάτωση – Καθίζηση...28	
2.1.5- Απολύμανση του νερού.....	29
2.1.6 - Χημική Κατακρήμνιση/Ιζηματοποίηση.....	29
2.1.7 - Διήθηση – Διεργασίες μεμβρανών.....	30
2.1.8 - Αντίστροφη ώσμωση.....	30
2.1.9 – Αφαλάτωση.....	31
2.1.10 -Ιοντοεναλλαγή.....	31
2.1.11 - Αποσκλήρυνση του νερού.....	32
2.1.12 – Προσρόφηση.....	32
2.1.12.1 - Παράγοντες που επιδρούν στην προσρόφηση.....	33

Κεφάλαιο 3 – Προσρόφηση ως φυσική μέθοδο επεξεργασίας

3.1 - Η προσρόφηση στην κατεργασία του νερού.....	35
3.2-Προσροφητικά Υλικά.....	35
3.2.1- Ενεργός άνθρακας.....	36
3.2.2 -Αλουμίνα.....	36
3.2.3 - Τα ενεργά αργιλώδη εδάφη.....	36
3.2.4 - Βωξίτης.....	36
3.2.5 - Ζεόλιθος.....	36
3.2.6-Κλινοπτιλόλιθος-(Ca, Mg, Na, K) ₆ (Al ₆ Si ₃₀ O ₇₂) ₂₀ H ₂ O.....	39
3.2.7-Χρήσεις Κλινοπτιλόλιθου.....	40

Κεφάλαιο 4 - Υλικά και μέθοδοι.....42

4.1 - Έλεγχος Φυσικοχημικών Παραμέτρων Ποιότητας Πόσιμου Νερού.....	42
4.1.1 - Σκληρότητα του νερού.....	42
4.1.1.1 - Διαδικασία μέτρησης Ολικής Σκληρότητας (Ο.Σ.).....	43
4.1.1.2 - Διαδικασία μέτρησης ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας (Α.Σ).....	43
4.1.1.3- Προσδιορισμός Μόνιμης Σκληρότητας (Μ.Σ).....	43
4.2 - Διαδικασία μέτρησης αγωγιμότητας.....	43
4.3- Διαδικασία μέτρησης θερμοκρασίας.....	44
4.4- Διαδικασία μέτρησης pH.....	44
4.5 - Προσδιορισμός Ca ⁺⁺ σε νερά.....	44
4.6 - Προσδιορισμός Cl ⁻¹ , Na ⁺ και SO ₄ ⁻²	44

Κεφάλαιο 5 - Αποτελέσματα	47
5.1 - Ιοντική Ισχύς.....	47
5.2 -Κοκκομετρία.....	48
5.3 - Μεταβολή pH.....	49
5.4 - Αύξηση pH.....	50
Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα.....	52
Κεφάλαιο 7- Επίλογος.....	53
Βιβλιογραφία.....	54

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Μηχανολογίας, της σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Ηρακλείου Κρήτης . Η παρούσα πτυχιακή εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την συμβολή και την πολύτιμη βοήθεια κάποιων ατόμων, τα οποία θέλω να ευχαριστήσω.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κατσαράκη Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου το θέμα και καθοδηγώντας με καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής μελέτης.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστούσα το άτομο που με βοήθησε πολύ κατά την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους της Πτυχιακής μου εργασίας, την καθηγήτρια Ειρήνη Γεωργάκη του Εργαστηρίου Χημείας του ΤΕΙ όπου εκεί πραγματοποιήθηκε όλο το πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής. Η κ Ειρήνη Γεωργάκη μου προσέφερε τις πολύτιμες γνώσεις της, την καθοδήγησή της αλλά και τη στήριξή της σε όλη αυτή την προσπάθεια .

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την οικονομική, ψυχολογική και όχι μόνο στήριξη όλα αυτά τα χρόνια που ζω και σπουδάζω στο Ηράκλειο.

Τέλος, να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε και την στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια.

Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η κατανόηση της σημαντικότητας του νερού στην ύπαρξη ζωής και η εκμετάλλευσή του από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Το νερό λόγω της σύστασής του περιέχει διάφορα στοιχεία – μέταλλα (κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου) που έχουν ως αποτέλεσμα την σκληρότητα του.

Η σκληρότητα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το νερό είτε πρόκειται για οικιακή χρήση (πόσιμο) είτε για βιομηχανική ή αγροτική χρήση, αυξάνοντας την αποθετικότητά του. Απαραίτητη για το λόγο αυτό κρίνεται η επεξεργασία του - αποσκλήρυνσή του. Στην εργασία αυτή μελετήθηκε ένα φυσικό προσροφητικό υλικό, ο ζεόλιθος, ως μια πιθανή φυσική μέθοδος απομάκρυνσης των μετάλλων του και κυρίως του ασβεστίου .

Ο ζεόλιθος με βάση την κρυσταλλική του δομή και την προσροφητική του ικανότητα, χρησιμοποιείται στην αποσκλήρυνση του νερού, έτσι ώστε το νερό να είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση ή άλλη χρήση του.

Abstract

The purpose of this degree project was to understand the significance of water in life existence and its exploitation for various uses. Water due to chemical and physical properties contains high minerals that cause water hardness, in particular calcium.

As a significant factor, water hardness, affects drinking water as well as water for industrial or agricultural use. In this study, a natural absorbent material, zeolite was examined, as a possible natural mean of reducing hardness.

Zeolite's crystal structure and absorbance is used to soften water by adjusting the parameters such as cations and anions so that the water is appropriate to consume according to current law.

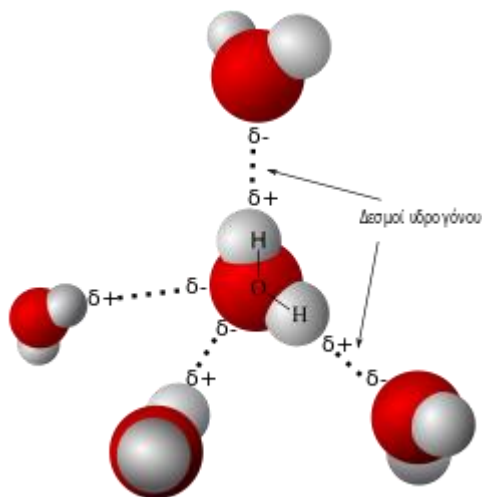
Κεφάλαιο 1- Το νερό, ο πολυτιμότερος φυσικός πόρος

Το νερό αποτελεί έναν από τους πολυτιμότερους φυσικούς πόρους της γης. Είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την ανάπτυξη, την υγιεινή διαβίωση, την ίδια τη ζωή. Χωρίς νερό η ζωή είναι αδιανόητη.

Το νερό μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός πόρος, ως οικονομικό αγαθό και ως περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος της διαχείρισης. Σε σχέση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά αγαθά έχει μία ιδιαιτερότητα: είναι μοναδικό και αναντικατάστατο. Αποτελεί προϋπόθεση της ανθρώπινης ύπαρξης και ζωής στον πλανήτη.

Το **νερό**, κατά χημική ονοματολογία, είναι η περισσότερο διαδεδομένη χημική ένωση στην επιφάνεια της Γης, καλύπτοντας το 70,9% του πλανήτη μας. Στη φύση, το νερό υπάρχει στην αέρια κατάσταση (οπότε ονομάζεται υδρατμός), στην υγρή κατάσταση και στη στερεή κατάσταση (οπότε ονομάζεται πάγος). Είναι άγευστο και άοσμο, σχεδόν άχρωμο και διαυγές. Το νερό είναι η μόνη συνηθισμένη ουσία που βρίσκεται και στις τρεις κοινές καταστάσεις της ύλης και είναι ζωτικό για όλες τις γνωστές μορφές ζωής στη Γη.

Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου (H) και ένα άτομο οξυγόνου (O), που συνδέονται μεταξύ τους με (πολωμένους) ομοιοπολικούς δεσμούς τύπου σ. Έχει χημικό τύπο H_2O , αλλά σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και οι τύποι HOH και OH_2 (σπανιότερα). Η σχετική αναλογία μαζών του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι 2,016:16,000, δηλαδή περίπου 1:8. Είναι απαραίτητο σε όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας.



Οι άνθρωποι και τα ζώα έχουν στο σώμα τους 55-78% νερό (κατά βάρος), ενώ φθάνει μέχρι και το 90% εκείνου των κυττάρων. Πιο συγκεκριμένα, το 96,5% του νερού της Γης βρίσκεται στους ωκεανούς (και τις θάλασσες), 1,7% στα υπόλοιπα επιφανειακά νερά (λίμνες, ποτάμια, έλη, κ.τ.λ.), 1,7% στα παγοκαλύμματα και στις παγωμένες σπηλιές της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, 0,001% ως υγρασία της ατμόσφαιρας και σε σύννεφα, μόνο το 2,5% του νερού της Γης είναι «γλυκό» και το 98,8% του πόσιμου νερού βρίσκεται στα παγοκαλύμματα και στα υπόγεια ύδατα. Ο πίνακας 1.1.1 παρουσιάζει λεπτομερέστερα την κατανομή των υδατικών αποθεμάτων στη γη.

Υδατικά αποθέματα στη γη	Ποσότητα (10 ⁶ k-m ³)	Ποσοστό (%)
Ωκεανοί	1.338,0	96,5
Παγετώνες (μόνιμα χιόνια)	24,1	1,74
Υπόγειο νερό	23,4	1,70
Πάγοι εδαφών	0,30	0,022
Γλυκές λίμνες	0,091	0,007
Αλμυρές λίμνες	0,085	0,006
Βάλτοι / Έλη	0,011	0,008
Ατμόσφαιρα	0,003	0,001
Ρέματα (κατά μέσο όρο)	0,002	0,0002
Νερό βιομάζας	0,001	0,0001

Πίνακας 1.1 Κατανομή των υδατικών αποθεμάτων στη γη (*Shiklomanov, 1993*)

Ιδιαίτερη σημασία έχει ο υπολογισμός των αποθεμάτων **καθαρού** επιφανειακού νερού (λίμνες, ποταμοί, ρέματα) που αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους υδατικούς πόρους για τον άνθρωπο. Τα αποθέματα αυτά ανέρχονται σε 93 εκατομμύρια m³, ποσοστό 0,0072% των συνολικών αποθεμάτων του νερού στη γη (*Shiklomanov, 1993*). Είναι προφανές ότι οι ποσότητες αυτές είναι πολύ μικρές και ότι η διατήρησή τους είναι ζωτικής σημασίας. Η κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων, η έλλειψη σχεδιασμού, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών οδηγούν με ταχείς ρυθμούς στη μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων καθαρού (γλυκού) νερού, τα οποία όπως προαναφέρθηκε, είναι ελάχιστα. Ένα πολύτιμο κοινωνικό αγαθό μετατρέπεται σε απόβλητο.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά στα είδη του νερού :

- Ατμοσφαιρικό νερό
 - βροχή, χιόνι
 - περιέχει διαλυμένα αέρια (οξυγόνο, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου), οργανικές ενώσεις (προέρχονται ιδίως από τα αερολύματα των βιομηχανιών)
- Επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες)

- Υπόγεια νερά (πηγάδια, πηγές, νερά στο υπέδαφος)

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή γλυκού νερού στον κόσμο. Υπολογίζεται ότι αποτελούν πάνω από το 97% των διαθέσιμων γλυκών νερών στη γη (χωρίς να υπολογίζονται οι πολικοί πάγοι). Το υπόλοιπο 3% αποτελείται κυρίως από επιφανειακά ύδατα (λίμνες, ποτάμια, υγρότοποι) και την υγρασία εδάφους. Μέχρι σήμερα, το ενδιαφέρον για τα υπόγεια νερά αφορούσε κυρίως στην κάλυψη των αναγκών για ύδρευση (περίπου το 75% των κατοίκων της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξαρτώνται από τα υπόγεια αποθέματα για την παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση), αναγνωρίζοντας επίσης ότι είναι ένας σημαντικός φυσικός πόρος για την άντληση νερού για τη βιομηχανία (π.χ. ψυκτικό ύδωρ) και τη γεωργία (άρδευση).

Εντούτοις, γίνεται όλο και περισσότερο αντιληπτό ότι τα υπόγεια ύδατα πρέπει να αντιμετωπισθούν όχι μόνο ως μια δεξαμενή, από την οποία μπορεί να αντληθεί νερό καλής ποιότητας, για διάφορες χρήσεις, αλλά και να προστατευθούν για την περιβαλλοντική αξία τους.

Τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν έναν ουσιαστικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο και είναι πολύτιμη η αξία τους ως ρυθμιστικός παράγοντας για τη διατήρηση υγροτόπων και ποταμών, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας, γιατί εξασφαλίζουν τη μόνιμη ροή (δηλαδή το νερό που τροφοδοτεί ποταμούς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους) των συστημάτων επιφανειακών υδάτων, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται για υδροδότηση και αναψυχή.

Σε πολλούς ποταμούς της Ευρώπης, πλέον του 50% της ετήσιας ροής προέρχεται από υπόγεια ύδατα. Το καλοκαίρι που το νερό λιγοστεύει, πλέον του 90% της ροής σε μερικούς ποταμούς μπορεί να είναι υπόγειας προέλευσης. Γι' αυτό και η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα συνδεδεμένα με αυτά υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα.

Τέλος, τα υπόγεια ύδατα είναι “κρυφοί” πόροι και υπερτερούν ποσοτικά των επιφανειακών, γι' αυτό και είναι πολύ δυσκολότερη η πρόληψη της ρύπανσης καθώς και η παρακολούθηση και αποκατάσταση της ποιότητάς τους. Ο λεπτομερής εντοπισμός και χαρακτηρισμός τους δεν είναι εύκολη υπόθεση, ενώ συχνά δεν υπάρχει συνειδητοποίηση ή/και ενδείξεις κινδύνων ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Πρόσφατες εκθέσεις δείχνουν ότι η ρύπανση από οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυξάνεται, είτε άμεσα, λόγω των απορρίψεων λυμάτων, είτε έμμεσα με τη χρήση λιπασμάτων ή εξαιτίας των στραγγισμάτων από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης που εντοπιζόταν έως σήμερα προερχόταν από σημειακές πηγές, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι διάχυτες πηγές επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο τα υπόγεια ύδατα. Για

παράδειγμα, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων υπερβαίνουν τις ενδεδειγμένες τιμές, περίπου στο ένα τρίτο των υπόγειων υδατικών συστημάτων της Ευρώπης.

1.1 - Ρύπανση του νερού

Ρύπανση του νερού είναι κάθε ουσία που εμποδίζει την κανονική χρήση του νερού. Η ρύπανση μπορεί να είναι χημική με την εισαγωγή επικίνδυνων τοξικών ουσιών, ενεργειακή, βιολογική. Η ρύπανση χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: α. τη βιομηχανική, β. την αστική, και γ. τη γεωργική ρύπανση, κάθε μία από τις οποίες αναφέρεται αναλυτικά παρακάτω.

1.1.1 - Βιομηχανική Ρύπανση

Η βιομηχανία χρησιμοποιεί το νερό σε μεγάλες ποσότητες για διάφορες διεργασίες και σε κυκλώματα θέρμανσης και ψύξης και αποτελεί το βασικότερο παράγοντα ρύπανσής του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα μπορεί να καταναλώνει νερό με ρυθμό που αντιστοιχεί στην κατανάλωση μιας πόλης δύο εκατομμυρίων κατοίκων.

Το νερό από βιομηχανική κατεργασία μπορεί να περιέχει διάφορες ουσίες ως προσμίξεις ή κατάλοιπα, ενώ το νερό ψύξης δεν περιέχει άλλες ουσίες, αλλά μεταφέρει θερμότητα στο περιβάλλον που προκαλεί βιολογική ρύπανση.

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης του νερού από τη βιομηχανία απαιτεί μελέτη κάθε περίπτωσης ξεχωριστά εφόσον υπάρχουν ποσοτικές διαφορές στο στερεό υπόλειμμα, την αιωρούμενη ύλη, τα τοξικά συστατικά, το BOD κτλ. Πρόσθετο πρόβλημα είναι η ανθρώπινη παρουσία στις περιοχές όπου υπάρχει βιομηχανική ρύπανση νερού, επειδή η βιομηχανία βρίσκεται κατά κανόνα κοντά σε αστικά κέντρα.

Οι μεγάλες πόλεις και οι βιομηχανικές ζώνες συνήθως βρίσκονται κοντά σε ποταμούς, λίμνες ή θάλασσες, διότι το κινούμενο νερό έχει την ιδιότητα του αυτοκαθαρισμού. Βεβαίως υπάρχει κάποιο όριο στην ποσότητα αποβλήτων που μπορεί να απορροφήσει ένα τέτοιο σύστημα και πέραν του ορίου αυτού υπάρχει πρόβλημα ρύπανσης των υδάτων.

Συνήθως τα αστικά και τα βιομηχανικά κέντρα που δημιουργούνται παραθαλάσσια βρίσκονται σε κλειστά και αβαθή λιμάνια, τα οποία ταυτόχρονα αποτελούν μεταφορικά και τουριστικά κέντρα. Σε τέτοια συστήματα το μέγιστο φορτίο ρύπανσης και η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του νερού είναι μικρά. Το θετικό όμως, είναι ότι μπορεί να γίνουν συνδυασμοί για κοινή αστική και βιομηχανική απορρύπανση, με κοινές εγκαταστάσεις καθαρισμού αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων και στερεών απορριμάτων.



1.1.2 - Αστική Ρύπανση

Η αστικοποίηση του πληθυσμού δημιουργεί επιπρόσθετο πρόβλημα ρύπανσης. Ο άνθρωπος κατά την εξέλιξή του, από τη νομαδική ζωή μετέβαλλε διαρκώς τον κύκλο δραστηριοτήτων του. Όταν οι μεταβολές του τρόπου ζωής είχαν αργή εξέλιξη, αυτό επέτρεπε εξισορρόπηση με το περιβάλλον ώστε να μην προκαλούνται διαταραχές στα υδρόβια οικολογικά συστήματα. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, όμως, η αστική συγκέντρωση είναι τεράστια και με επιταχυνόμενου ρυθμό, ώστε σήμερα περισσότερο από το 70% του πληθυσμού σε βιομηχανικές χώρες να ζει σε μεγάλα αστικά κέντρα.

Η κατανάλωση νερού από τον κάτοικο της μεγαλούπολης είναι υψηλή και ανέρχεται σε 150-200 λίτρα / κάτοικο / ημέρα, με ετήσια αύξηση 8%. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η εξέλιξη στην κατανάλωση νερού και στη δημιουργία λυμάτων ανά έτος για την Αθήνα μέσα στις τρεις τελευταίες δεκαετίες. Τα αστικά λύματα δημιουργούνται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα και είναι κυρίως προϊόντα μεταβολισμού και απορρίμματα τροφής και καθαριότητας.



Ο σύγχρονος τρόπος ζωής επιβάλλει κατανάλωση ποικίλων προϊόντων φυσικής και βιομηχανικής προέλευσης, με αποτέλεσμα τα αστικά λύματα να περιέχουν μεγάλη ποικιλία συστατικών με σοβαρά μεταβαλλόμενη δυνατότητα αφομοίωσης από το

περιβάλλον. Πρόκειται για υδατοδιαλυτά και αιωρήματα που απάγονται με το νερό και κυρίως δημιουργούνται από ανθρώπινα περιττώματα και υπολείμματα τροφών.

	Κατανάλωση νερού (m³)	Δημιουργία λυμάτων (m³)
1970	400.000	220.000
1975	500.000	330.000
1980	700.000	550.000
1985	850.000	670.000
1990	1.100.000	900.000
2000	-	1.200.000

Η εξέλιξη της μέσης κατανάλωσης νερού και της δημιουργίας λυμάτων στην περιοχή της Αθήνας, σε κυβικά μέτρα (m³), την περίοδο 1970-2000.

Το πρόβλημα διαχείρισης των αστικών λυμάτων περιπλέκεται από τη διοχέτευση σε αυτά βιομηχανικών αποβλήτων σε μεγάλες ποσότητες. Σε εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων λαμβάνεται φροντίδα ώστε τα βιομηχανικά απόβλητα να είναι απαλλαγμένα από τοξικές ουσίες πριν αυτά καταλήξουν στο αποχετευτικό σύστημα. Επειδή τα βιομηχανικά απόβλητα είναι πιο επιβαρυνμένα σε οργανική ύλη και θρεπτικά στοιχεία, μπορεί να γίνει μόνο μερική αραίωση με αστικά λύματα.

Στη σημερινή εποχή και σε αρκετές περιπτώσεις οι ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων που αναμιγνύονται με αστικά απόβλητα και οδηγούνται σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού είναι μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία εμπλοκών και δυσλειτουργιών στις εγκαταστάσεις.

1.1.3 - Γεωργική Ρύπανση

Η γεωργική ρύπανση ή η ρύπανση του εδάφους γεωργικής χρήσης, που είναι σήμερα εκτεταμένη, οφείλεται σε δύο κύρια αίτια:

- την έντονη αστικοποίηση του πληθυσμού, που συνοδεύει το σύγχρονο τρόπο ζωής και την από αυτό εγκατάλειψη εκτάσεων που είχαν γεωργική χρήση επί αιώνες
- τη χρήση ποικίλων καλλιεργητικών μέσων, χημικών λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και ειδικών παρασκευασμάτων βελτίωσης της γήινης γονιμότητας σε αυξημένα ποσά, με τα οποία αλλοιώνεται η εδαφική σύσταση και καταστρέφεται η φυσική δομή του εδάφους σε γονιμότητα.

Η έντονη αστικοποίηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη των μεγαλουπόλεων δημιουργεί αποδυνάμωση της γεωργικής παραγωγής από την αφαίρεση γόνιμων εδαφών και την ανάπτυξη σε αυτές ρυπογόνων δραστηριοτήτων. Η δημιουργία μεγάλων αστικών κέντρων οδηγεί σε μέγιστη κατανάλωση νερού που αφαιρείται από τη φυσική του κοίτη, όπου έχει αναπτυχθεί παραδοσιακά γεωργική δραστηριότητα.

Η χρήση μεταφορικών μέσων και γενικότερα μηχανών εσωτερικής καύσης οδηγεί σε αλλοτρίωση τη γεωργική παραγωγή και καταστροφή καλλιεργειών και δασών με την πρόκληση πυρκαγιών. Παράλληλα οι κλιματικές αλλαγές μετατρέπουν εκτεταμένες περιοχές σε ελλειμματικές νερού με δημιουργία συνθηκών ξηρασίας.

Η εντατική καλλιέργεια της γης με συνεχή αύξηση της κατανάλωσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, οδηγεί στην αλλοίωση του εδάφους και στην ελάττωση της εδαφικής γονιμότητας. Επειδή η κατανάλωση λιπασμάτων έχει αυξητική τάση και λόγω υπερλίπανσης, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον θα είναι καταστροφικές. Υπολογίζεται ότι μόνο το 20-35% των λιπασμάτων αξιοποιούνται και το υπόλοιπο καταλήγει σε αλλοίωση της εδαφικής σύστασης και βαριά ρύπανση του νερού. Τεράστιες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τεράστιοι όγκοι ποτάμιου νερού έχουν καταστραφεί από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων.

Ειδικά για το νερό, υπόγειο και επίγειο, υπάρχει εκτεταμένη ρύπανση από αζωτούχα λιπάσματα, τα οποία σε μορφή νιτρικών αλάτων εισάγουν μεγάλη τοξικότητα. Τα φυτοφάρμακα διοχετεύονται στα φυτά είτε στο έδαφος αναμιγμένα με λιπάσματα είτε με ψεκασμό σε μορφή διαλύματος ή αιωρήματος. Με τον τρόπο που εφαρμόζονται η προσθήκη τους δεν μπορεί να ελεγχθεί, καθώς με τη βροχή αποπλένονται από το έδαφος και τα φύλλα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ρύπανση.



1.2 - Χρήσεις του νερού

Η έννοια της χρήσης και διαχείρισης του νερού, έχει να κάνει με την ορθολογική κατανομή του στις διάφορες χρήσεις με βάση την ποσότητα, την ποιότητα και τις υπάρχουσες ανάγκες, οι οποίες όμως συνεχώς μεταβάλλονται. Στις βασικές χρήσεις νερού πέρα από αυτή της ανθρώπινης επιβίωσης (πόσιμο νερό) αναφέρονται οι ακόλουθες:

Γεωργία

Κύρια γεωργική χρήση είναι η άρδευση. Η άρδευση αποτελεί τη λύση σε όλα τα προβλήματα της καλλιέργειας της γης.

Βιομηχανία

Η βιομηχανία χρησιμοποιεί το νερό σαν κύρια ύλη στην παραγωγή αγαθών. Μόνο ένα μικρό μέρος καταναλώνεται ,ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται σα μέσο για άλλες διαδικασίες.

Υδροηλεκτρικές Εγκαταστάσεις

Μεγάλη χρήση του νερού γίνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεννήτριες που λειτουργούν με την ορμή του. Η ενέργεια του νερού που κινείται από ένα υψηλότερο μέρος (όπως φράγμα) μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Αλιεύματα και Είδη Άγριας Ζωής

Η ποιότητα και η ποσότητα του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στα αλιεύματα και στα άγρια ζώα. Ο τρόπος που μεταχειριζόμαστε το νερό επηρεάζει τη ζωή τόσο των ψαριών όσο και των ζώων που κατοικούν γύρω από αυτό, με κίνδυνο πολλές φορές την εξαφάνισή τους.

Ψυχαγωγία

Το νερό προσφέρει τη δυνατότητα για πολλές ψυχαγωγικές δραστηριότητες όπως ψάρεμα, σκι, ιστιοπλοΐα, κολύμπι.

Οικιακή χρήση

Οι άνθρωποι καταναλώνουν περισσότερο νερό από αυτό που χρειάζονται για την επιβίωσή τους. Οι χρήσεις του είναι πολλές όπως : ύδρευση , καθαριότητα, μαγειρική κτλ..

Συνεπώς ανάλογα με την χρήση του νερού υπάρχουν και οι ανάλογες επιπτώσεις τόσο στο νερό όσο και στο περιβάλλον

1.3 - Ποιότητα του νερού

Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στα χημικά, φυσικά, βιολογικά και ραδιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Είναι ένα μέτρο των συνθηκών του νερού σχετικά με τις απαιτήσεις ενός ή περισσότερων βιολογικών ειδών και/ή σε οποιαδήποτε ανθρώπινη ανάγκη ή σκοπό. Συνήθως χρησιμοποιείται ως αναφορά σε ένα σύνολο προτύπων ως προς το οποίο η συμβατότητα μπορεί να υπολογιστεί. Τα πρότυπα ποιότητας του νερού περιλαμβάνουν αριθμητικές παραμέτρους οι οποίες έχουν καθοριστεί διεθνώς(νόμοι ή διατάγματα)για τον έλεγχο ποιότητας του νερού και την περαιτέρω διαχείρισή του. Καθώς επίσης χρησιμοποιούνται για αξιολόγηση της ποιότητας του νερού ως προς την υγεία των οικοσυστημάτων, την ασφάλεια της ανθρώπινης επαφής και του πόσιμου νερού.

Πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται το νερό που είναι καθαρό από φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να κινδυνεύει η υγεία του ανθρώπου. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άχρωμο, άοσμο, δροσερό και με ευχάριστη γεύση. Δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα γιατί αυτή προκαλεί δυσκολίες στην καθημερινή αλλά και τη βιομηχανική του χρήση. Δεν πρέπει να περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών ουσιών, βαρέων μετάλλων ούτε και παθογόνα παράσιτα ή μικρόβια. Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι σταθερή στους 10-15 βαθμούς °C (Κελσίου).

Η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Το νερό που κινείται στην επιφάνεια είτε υπογείως μπορεί να υποβληθεί

σε φυσικές ή χημικές μεταβολές, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από φυσικούς παράγοντες ή ανθρώπινες δραστηριότητες.

1.4 - Έλεγχος ποιότητας νερού

Οι παράμετροι για την ποιότητα του νερού καθορίζονται από την σκοπούμενη χρήση. Η εργασία για την ποιότητα του νερού τείνει να εστιάζεται στο νερό που επεξεργάζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, βιομηχανική χρήση, ή για το περιβάλλον.

Οργανοληπτικοί παράγοντες:

– Θολρότητα

Έκφραση αποτελεσμάτων	NTU (Nephelometric Turbidity Units)	
Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό	1 mg/L SiO ₂	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	10 mg/L SiO ₂	
Παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	ΦΕΚ 892 / 11.07.2001, τεύχος Β'
Αντιμετώπιση της θολότητας του νερού	Καθίζηση, Διήθηση	

Με τον όρο θολρότητα εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, θολότητα είναι η αντίσταση του νερού στην διέλευση του φωτός και οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη λεπτόκοκκων σωματιδίων ανόργανων και οργανικών υλικών τα οποία αιωρούνται ή βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή και είναι διάσπαρτα στην υγρή φάση. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η θολότητα είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του.

Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό που φτάνει στον καταναλωτή πρέπει να είναι διαυγές και όχι θολό. Η θολότητα προκαλεί εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης και μετρείται σε μονάδες θολότητας (NTU) (Nephelometric Turbidity Units) ή σε mg/L (ppm) διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂), δηλαδή θολότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα 1 mg SiO₂ σε 1L νερού.

Η μέτρηση της θολότητας γίνεται με το θολερόμετρο (ή νεφελόμετρο) και βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας μέσα από ένα δείγμα νερού (ή αποβλήτων) με την ένταση του φωτός που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο αιώρημα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.



– Χρώμα

Έκφραση αποτελεσμάτων	mg/L Κλίμακας Pt / Co	
Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό	1	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	20	
Παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	ΦΕΚ 892 / 11.07.2001, τεύχος Β'
Αντιμετώπιση του χρώματος στο νερό	Οξείδωση, Προσρόφηση, Διήθηση	

Το χρώμα που βλέπουμε σε έναν υδάτινο αποδέκτη καθορίζεται από το μήκος κύματος της μονοχρωματικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νερό, από το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται, από το χρώμα του ιζήματος, από την παρουσία ανόργανων ή οργανικών ουσιών, από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών και τη βιολογική τους δραστηριότητα, ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την απορρόφηση του φωτός στο νερό και του προσδίδουν συγκεκριμένο χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο - γαλάζιο έως σκούρο καφετί.

Η απορρόφηση του φωτός υπολογίζεται με το συντελεστή απορρόφησης, ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε είδος φυσικού νερού αλλά και για κάθε μήκος κύματος του φωτός. Έτσι οι διαφανείς λίμνες έχουν μικρό συντελεστή απορρόφησης, ενώ οι εύτροφες και θολές μεγάλο. Το χρώμα του νερού ενός φυσικού αποδέκτη μπορεί να αλλάζει εποχιακά, όταν εξαιτίας της διάχυσης του ιζήματος κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή αναστροφή αναπτύσσεται υπερβολικά το φυτοπλαγκτόν εντείνοντας το

πράσινο χρώμα ή με τη μεταφορά φερτών υλών από τη λεκάνη απορροής που προσδίδουν φαιό χρώμα στο νερό. Φυσικά νερά με έντονη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο, ενώ αυτά με ασθενέστερη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο - γαλάζιο. Ο χρωματισμός αποτελεί ένδειξη για την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών π.χ. η παρουσία θείου (S) προσδίδει στο νερό κιτρινωπό χρώμα ενώ η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) πράσινο χρώμα.

Το χρώμα στο πόσιμο νερό είναι αισθητικά ανεπιθύμητο. Νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και έχει χρώμα πρέπει να εξεταστεί χημικά για να αναζητηθεί η προέλευσή του. Το καθαρό φυσικό νερό είναι διαυγές και άχρωμο σε μικρές μάζες. Όμως η παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων, όπως σιδήρου (Fe²⁺) και μαγγανίου (Mn²⁺) που βρίσκονται στη φύση, προσδίδουν στο νερό κάποιο χρώμα. Ακόμα το χρώμα στο φυσικό νερό μπορεί να οφείλεται σε άλλες χημικές ενώσεις, στο πλαγκτόν και σε βιομηχανικά απόβλητα (π.χ. απόβλητα βαφείων κ.α.).

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

– Οσμή και Γεύση

Έκφραση αποτελεσμάτων	Ποσοστό διαλύσεως	
Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό	0	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	2 μέχρι 12 οC, 3 μέχρι 25 οC	
Παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	ΦΕΚ 892 / 11.07.2001, τεύχος Β'
Αντιμετώπιση των οσμών και των δυσάρεστων γεύσεων του νερού	Οξείδωση, Διήθηση, Προσρόφηση	

Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να προέρχονται από διάφορες χημικές ουσίες, από διαλυμένες ή από εν αιωρήσει οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση, ή τέλος από μικροοργανισμούς και από διαλυμένα στο νερό αέρια. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται συνήθως μόνον ποιοτικά σαν έντονες, μέτριες, ασθενείς κ.λπ. Το προς πόση νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης οσμής ή γεύσης. Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn).

Τέλος, ουσίες όπως οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες δημιουργούν σοβαρά προβλήματα γεύσης στο νερό ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Τα νερά με σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) μικρότερο από 1200 mg/L δεν παρουσιάζουν προβλήματα γεύσης και είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή, αν και πρέπει να προτιμάται συγκέντρωση TDS μικρότερη από 500 mg/L. Μερικά άλατα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο μαγνήσιο ($MgCl_2$), παρουσιάζουν μεγαλύτερα προβλήματα γεύσης. Αντίθετα η γεύση των θειικών αλάτων του μαγνησίου ($MgSO_4$) και ασβεστίου ($CaSO_4$) είναι λιγότερο δυσάρεστη.

Το υπολειμματικό χλώριο των δικτύων ύδρευσης είναι αυτό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και το συσχετίζει με την οσμή και τη γεύση του νερού. Το όριο γεύσης του χλωρίου σε ουδέτερο pH είναι 0.2 mg/L, το οποίο αυξάνει σε 0.5 mg/L για τιμή pH = 9. Επίσης, το όριο γεύσης της μονοχλωραμίνης, μιας ουσίας η οποία δημιουργείται στο νερό κατά την χλωρίωση, εκτιμάται σε 0.48 mg/L.

Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα με τη χλωρίωση του νερού είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Τέτοιες ενώσεις είναι το διχλωρομεθάνιο, το χλωροφόρμιο, το τριχλωροαιθυλένιο κ.ά. γνωστά ως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες ή τριαλογονομένα μεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM).

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

Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στο περιεχόμενο υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την αναγωγή των θειικών αλάτων εξαιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Η οσμή αλλοιωμένου αυγού μπορεί να ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.1 mg/L. Το βακτήριο που είναι συνήθως υπεύθυνο για την παραγωγή του υδρόθειου είναι το *Desulfonitribriodesulfuricans*. Άλλες θειούχες ενώσεις, που οφείλονται σε μικροβιολογικές δράσεις και δημιουργούν οσμές και γεύσεις έλους – ιχθύος, είναι τα μεθυλοπολυσουλφίδια και η μεθυλομερκαπτάνη. Η οσμή είναι ένα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό και γι' αυτό υποκειμενικό, που μπορεί ωστόσο να αποτελέσει κριτήριο για την ταξινόμηση των νερών σε κατηγορίες χρήσεων (πόση, αναψυχή, διαβίωση ψαριών κ.λ.π.). Η οσμή των νερών στους επιφανειακούς ταμιευτήρες μπορεί να οφείλεται σε φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Όταν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, τα προϊόντα της διάσπασης της οργανικής ύλης είναι το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3), το μεθάνιο (CH_4), αέρια δύσοσμα, τοξικά και εκρηκτικά. Η ένταση των οσμών δεν

εξαρτάται πάντα από τη συγκέντρωση των ουσιών που την προκαλούν. Αν και το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οσμής είναι η ανθρώπινη μύτη, υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζεται ποιοτικά και ποσοτικά.

Η ποιοτική κατάταξη γίνεται με βάση κατηγορίες αντιπροσωπευτικών ουσιών με χαρακτηριστική οσμή π.χ. τα βιομηχανικά απόβλητα, το χλώριο, τα απόβλητα διυλιστηρίων, το υδρόθειο, η αμμωνία αντιστοιχίζονται στην κατηγορία της οσμής φαρμάκων, φυτά σε αποσύνθεση στην κατηγορία της οσμής μούχλας κ.λ.π. Ποσοτικά η οσμή προσδιορίζεται (βάσει ειδικών εξετάσεων και κάτω από ειδικές συνθήκες) με τη μέθοδο των διαδοχικών αραιώσεων. Το δείγμα αραιώνεται σταδιακά και σαν όριο καταγράφεται αυτό στο οποίο η οσμή είναι ελάχιστα αντιληπτή.

Φυσικοχημικοί παράγοντες:

– Θερμοκρασία

Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό	12 C	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ανώτατη παραδεκτή θερμοκρασία	25 C	

Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Οι βιοχημικές αντιδράσεις εκτελούνται με ταχύτερο ρυθμό σε υψηλές θερμοκρασίες. Η διάθεση θερμών υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες επηρεάζει άμεσα το οικοσύστημα γιατί η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία, είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό απ' ό τι στο ψυχρό νερό. Εάν αυξηθεί η θερμοκρασία του αποδέκτη μειώνεται το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου και εκτός αυτού το θερμό νερό σαν ειδικά ελαφρύτερο παραμένει στην επιφάνεια δημιουργώντας ένα θερμότερο στρώμα, με μικρότερη ικανότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου (φαινόμενο αναστροφής).

Τέλος οι υψηλές θερμοκρασίες συντελούν και στην αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών. Η πλέον επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 και 12 οC. Πάνω από τους 12 οC και πέρα από την αισθητική και γευστική επίδραση, το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.

– Αγωγιμότητα και αλατότητα

Έκφραση της αγωγιμότητας	μS/cm (στους 20 οC)
Επιθυμητό επίπεδο για το πόσιμο νερό	< 1500 μS/cm
Έκφραση της αλατότητας	Salinity ‰
Αντιμετώπιση της υψηλής αγωγιμότητας του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση	Ιζηματοποίηση, Ιοντοεναλλαγή, Αντίστροφη ώσμωση

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι εξ ορισμού η ικανότητα ενός υλικού να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει (άγει) ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων (κατ' επέκταση των αλάτων), τη συγκέντρωση των ιόντων, την ευκινησία των ιόντων, το σθένος των ιόντων και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Η αγωγιμότητα διευκολύνει την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, στην ανάπτυξη των φυτών και ζώων κ.λ.π. Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Απόβλητα και ρύποι που εισέρχονται στους υδάτινους αποδέκτες τροποποιούν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλωρίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και φωσφόρου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το mho/cm, δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/cm (S/cm), με υποδιαίρεσεις: το microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) ίσο με 10^{-6} S/cm και το miliSiemens/cm (mS/cm) ίσο με 10^{-3} S/cm. Συνήθως στα φυσικά γλυκά νερά η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 - 1500 $\mu\text{S/cm}$. Το νερό του δικτύου ύδρευσης της Θεσσαλονίκης έχει αγωγιμότητα περίπου 650 $\mu\text{S/cm}$. Σε μερικά βιομηχανικά απόβλητα η τιμή της αγωγιμότητας υπερβαίνει τα 10.000 $\mu\text{S/cm}$.

Με την αγωγιμότητα συνδέεται και η αλατότητα, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις χιλίοις (S ‰). Η αλατότητα είναι η περιεκτικότητα του νερού σε αλάτι (NaCl) και ορίζεται ως η «συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε γραμμάρια που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινό νερό, όταν όλα τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα (Br^-) και ιωδιούχα (I^-) έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα (Cl^-) ιόντα και έχει οξειδωθεί όλη η οργανική ύλη». Η αλατότητα των θαλασσών κυμαίνεται μεταξύ 32,0 – 37,5 ‰ με χαμηλές τιμές στους πόλους της γης και πολύ υψηλές στις τροπικές ζώνες. Αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων στις βροχοπτώσεις και στα ποσοστά εξάτμισης του νερού.

– Ενεργός οξύτητα (pH)

Έκφραση αποτελεσμάτων	pH	
Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό	6,5 <pH< 8,5	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β' ΦΕΚ 892 / 11.07.2001, τεύχος Β'
Αντιμετώπιση της οξύτητας του νερού	Εξουδετέρωση	

Η κλίμακα μέτρησης του pH εκτείνεται από 0 ως 14. Η τιμή 7,0 αντιστοιχεί σε ουδέτερα δείγματα ($\text{CH}^+ = 10^{-7} \text{mole/L}$).

Τιμές μικρότερες του 7,0 υποδεικνύουν υπεροχή κατιόντων υδρογόνου (H^+), ενώ τιμές μεγαλύτερες από 7,0 αντιστοιχούν σε αλκαλικά νερά (υπεροχή υδροξυλίωντων, OH^-). Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, την παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά., κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά., τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα δυσχεραίνουν την πορεία των αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4,0 και 9,0, ενώ τιμές 6,5 - 8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6,5 - 8,5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

Η μέτρηση του pH αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μετρήσεις για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Εφαρμόζεται ακόμα σε όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Τα όργανα μέτρησης του pH είναι πολύ εύχρηστα και ονομάζονται πεχάμετρα.

1.5 - Νομοθεσία - Όρια

Το νερό για να είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να μην υπερβαίνει τα όρια της ισχύουσας νομοθεσίας .

«Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς την 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 03/11/1998», ΚΥΑ Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892 τεύχος Β', 11/07/2001

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (L 327 EL 22.12.2000)

«Ποιότητα πόσιμου νερού σε συμμόρφωση προς την 80/778 οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων» ΦΕΚ 53 τεύχος Β', 20/02/1986

ΚΥΑ 46399/1352 (ΦΕΚ 438Β'/3.7.1986) «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα»

ΥΔ Γ3α/761/6.3.68 (ΦΕΚ 189Β'/1968) «Περί ποιότητας του πόσιμου νερού», όπως τροποποιήθηκε ΥΜ 5673/4.12.57 (ΦΕΚ 5Β'/9.1.1958) «Περί απολυμάνσεως του ύδατος των υδρεύσεων»

α) Οι Υ2/2600/01 ΚΥΑ περί ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όπως τροποποιήθηκε με την ΔΥΓ2/οικ. 38295/2007 και την τροποποίηση σφαλμάτων ΦΕΚ 986/τ.β/18-6-07 και η ΥΜ/5673/57 Υγ. Διάταξη για την απολύμανση του πόσιμου νερού

β) Η ΔΥΓ2/οικ. 79901/9-6-2008 εγκύκλιος μας

γ) Ο α) Ο Ν. 2520/40 και το ΠΔ 95/2000 περί Οργανισμού του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του πόσιμου νερού οι ΟΤΑ και οι φορείς ύδρευσης που είναι υπεύθυνοι για την παροχή υγιεινού πόσιμου νερού, σε συνεργασία με τις Δ/νσεις Δημόσιας Υγείας και Κοινωνικής Μέριμνας και Δ/νσεις Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενοτήτων και άλλων συναρμόδιων φορέων, θα πρέπει, στα πλαίσια εφαρμογής της κείμενης νομοθεσίας να τηρούν πιστά τα αναφερόμενα στα (α, β) σχετικά και πέραν των ανωτέρω:

Ειδικότερα σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών (λ.χ. σεισμών,) και έντονων καιρικών φαινομένων (λ.χ. βροχοπτώσεων) στη διάρκεια των οποίων υπάρχει μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης μηχανικών βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης και εισόδου σ' αυτό ξένων υλών (π.χ. αιωρούμενα σωματίδια, χρώματα, λάσπες κλπ.), που είναι δυνατόν να υποβαθμίσουν την ποιότητα του πόσιμου νερού (λ.χ. μεταβολή φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού από αλλαγή αλκαλικότητας εδάφους, ηλεκτροχημικού δυναμικού του υλικού ύδρευσης σε συνδυασμό με τη διαβρωτικότητα του νερού, μικροβιολογική μόλυνση του νερού), θα πρέπει να διενεργηθεί αμέσως υγειονομικός έλεγχος λειτουργίας των συστημάτων ύδρευσης (γεώτρηση ή πηγή υδροληψίας, δεξαμενές, εγκαταστάσεις, δίκτυο διανομής) και αποχέτευσης. Συγκεκριμένα θα πρέπει να διερευνηθεί η πιθανότητα ή η δημιουργία οποιασδήποτε διαρροής (θραύση σωλήνων, εμπόδια στη ροή, κ.λ.π.) που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα υγιεινότητας του πόσιμου νερού.

Την υπ' αριθμ. Υ2/οικ. 2600/2001 κοινή υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 892/Β/11.7.2001) για την «ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998, όπως διορθώθηκε με την Υ2/ 3423 πράξη (ΦΕΚ 1082/Β/14.8.2001).

- **ΚΥΑ Υ2/2600/2001** (ΦΕΚ 892Β/ 11-7-2001) «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση με την οδηγία 98/83 του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998
- **ΚΥΑ 46399/1352/1988** (ΦΕΚ 438Β/3-7-1988) «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για «πόσιμα», «κολύμβηση», «διαβίβασης ψαριών σε γλυκά νερά», και «καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών» μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας, και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα» σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440, 76/160, 78/659, 79/923, και 79/869
- **ΥΔ Γ3α/761** (ΦΕΚ 189Β/ 10-4-1968) «Περί ποιότητας του πόσιμου ύδατος» - δεν ισχύουν τα άρθρα 4,5,6 μετά την εφαρμογή της ΚΥΑ Υ2/2600/2001
- **ΥΔ 5673/4-12-1957** (ΦΕΚ 5Β/9-1-58) «Περί απολυμάνσεως των υδάτων των υδρεύσεων»

Νομοθετικό Πλαίσιο

- Οδηγία 98/83/ΕΚ – Νόμος 87(Ι)/2001 Παρακολούθηση και Έλεγχος της Ποιότητας του Νερού Ανθρώπινης Κατανάλωσης
- Οδηγίες 80/777/ΕΚ, 2003/40/ΕΚ, 2009/54/ΕΚ –Περί Φυσικών Μεταλλικών Νερών Κανονισμοί 2002 - 2006
- Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ (Αρθ.8) και απορρέουσες σχετικές οδηγίες πχ 105/2008/ΕΚ- Νόμος Ν.13(Ι)/2004 Περί Προστασίας και Διαχείρισης των Υδάτων Νόμος
- Οδηγία 118/2006/ΕΚ – Κ.Δ.Π. 272/2009 Προστασία υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση .

1.6 – Επεξεργασία νερού

Το νερό που υποβάλλεται σε επεξεργασία μπορεί να είναι είτε επιφανειακό είτε υπόγειο. Η υδροληψία και η μεταφορά του νερού μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας αποτελεί το πρώτο τμήμα του συνολικού έργου. Μετά τη έξοδο από την εγκατάσταση επεξεργασίας το νερό οδηγείται σε μια δεξαμενή καθαρού νερού και από εκεί διατίθεται στο δίκτυο διανομής για να φτάσει στις τελικές θέσεις ζήτησης. Το δίκτυο μεταφοράς του νερού αρχίζει από το σημείο υδροληψίας και φτάνει μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας, η οποία βρίσκεται συνήθως κοντά στην πόλη. Το δίκτυο μεταφοράς ενδέχεται να περιλαμβάνει τμήματα όπου η ροή γίνεται με βαρύτητα. Η μέτρηση της παροχής είναι πολύ σημαντική για την παρακολούθηση της λειτουργίας της εγκατάστασης αλλά και την τιμολόγηση του νερού.

Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζουν τα επιφανειακά νερά είναι η ύπαρξη αιωρούμενου υλικού, χρώματος, οσμής και γεύσης, και μικροβιολογικού φορτίου. Η καρδιά της επεξεργασίας είναι η διύλιση (διήθηση), συνήθως μετά από κροκίδωση, θρόμβωση και καθίζηση.

Τα κυριότερα προβλήματα που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά είναι η υψηλή σκληρότητα και η αυξημένη συγκέντρωση σιδήρου και μαγγανίου. Για τη μείωση της σκληρότητας χρησιμοποιείται οξείδιο ή υδροξείδιο του ασβεστίου και σε μερικές περιπτώσεις σόδα (ανθρακικό νάτριο), ιδιαίτερα όταν η μη ανθρακική σκληρότητα του νερού είναι υψηλή.

Κεφάλαιο 2 – Επεξεργασία Νερού

2.1 –Διεργασίες επεξεργασίας νερού

Κατά κανόνα το πόσιμο νερό προέρχεται είτε από υπόγεια (πηγές ή γεωτρήσεις) είτε από γλυκά επιφανειακά νερά (ποταμοί και λίμνες). Τα υπόγεια νερά συνήθως ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Οδηγίας 80/778 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το πόσιμο νερό. Αυτό επιτρέπει, αρχικά, την άμεση χρησιμοποίησή του χωρίς την ανάγκη κάποιας επεξεργασίας. Πολλές φορές όμως και τα υπόγεια νερά απαιτούν επεξεργασία. Συνηθέστερη είναι η ανάγκη απομάκρυνσης του σιδήρου (Fe^{2+}), του μαγγανίου (Mn^{2+}) και της σκληρότητας (Ca^{2+} , Mg^{2+}) του νερού. Η απομάκρυνση των δύο πρώτων επιτυγχάνεται με οξείδωση, με αερισμό ή/και χλωρίωση του νερού. Ακολουθεί η καθίζηση. Η απομάκρυνση της σκληρότητας γίνεται είτε με χημική κατακρήμνιση (μέθοδος ασβέστη - σόδας) είτε με ιοντοεναλλαγή.

Σε μερικές περιπτώσεις η απαιτούμενη επεξεργασία του υπόγειου νερού μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και δαπανηρή. Υπάρχουν 2 περιπτώσεις υπόγειων νερών τα οποία είναι πολύ σκληρά ή περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θειικών (SO_4) αλάτων.

Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται επεξεργασία του νερού με μεμβράνες (αντίστροφη όσμωση) επιπλέον των τυπικών διεργασιών που εφαρμόζονται στα επιφανειακά νερά. Ανάλογα συμβαίνουν και σε περιπτώσεις υφάλμυρων υπόγειων νερών. Τα επιφανειακά νερά δεν πληρούν ποτέ τις προδιαγραφές ποιότητας που τίθενται από τη νομοθεσία για το «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης».

Θα πρέπει συνεπώς να απομακρυνθούν κάποια ανεπιθύμητα συστατικά του νερού ή να καταστούν αβλαβή με κατάλληλες φυσικές ή χημικές διεργασίες, οι οποίες πραγματοποιούνται στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (EEN). Μια αρκετά προχωρημένη επεξεργασία είναι αναπόφευκτη προκειμένου να απομακρυνθούν, τουλάχιστον, ή έστω κατά διαστήματα η υπερβολική θολότητα και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί των οποίων η παρουσία στα επιφανειακά νερά δεν μπορεί ποτέ να αποκλεισθεί.

Γενικά ο κύριος στόχος των διεργασιών σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού (EEN), είναι η εκμετάλλευση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του νερού και για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται τεχνικές όπως ο αερισμός (οξείδωση), η κροκίδωση / συσσωμάτωση / καθίζηση, η επίπλευση, η διύλιση, η χημική οξείδωση (κατακρήμνιση / ιζηματοποίηση), η προσρόφηση, η αποσκλήρυνση (με υδράσβεστο, σόδα ή με ιοντοεναλλαγή), η διήθηση σε μεμβράνες (MF, UF, NF, RO) και η απολύμανση. Εάν για παράδειγμα, το ειδικό βάρος των αιωρούμενων σωματιδίων που περιέχει το νερό είναι μεγαλύτερο από αυτό του νερού, μπορούν να διαχωριστούν με καθίζηση ενώ εάν είναι μικρότερο μπορούν να διαχωριστούν με επίπλευση. Φύκια και μεγαλύτερα σωματίδια μπορούν να απομακρυνθούν με διάφορα κόσκινα και σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους όπως τα κολλοειδή, μπορούν να απομακρυνθούν με κροκίδωση, κατά την οποία με τη βοήθεια ορισμένων χημικών ουσιών όπως τα κροκιδωτικά υλικά, επιταχύνεται η συνένωση των αιωρούμενων κολλοειδών ώστε αυτά να απομακρυνθούν με καθίζηση.

Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας σε οποιαδήποτε εγκατάσταση επεξεργασίας νερού, πέρα από το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, απαιτείται λεπτομερέστατος ποιοτικός έλεγχος, δηλαδή πλήρης χημική και μικροβιολογική εξέταση, του προς επεξεργασία νερού. Πολλές φορές απαιτείται προκαταρκτικός σχεδιασμός και έλεγχος των φυσικοχημικών διεργασιών που θα εφαρμοστούν σε πειραματική μονάδα. Σημαντική είναι τέλος η προστασία του νερού από επεισόδια μόλυνσης κατά την υδροληψία, ή στις δεξαμενές και στο δίκτυο διανομής.

Ανάλογα λοιπόν με τη σύσταση, τα ποιοτικά δηλαδή χαρακτηριστικά του νερού, συγκεκριμένες διεργασίες λαμβάνουν χώρα για την επεξεργασία του είτε πρόκειται για υπόγειο είτε για επιφανειακό νερό. Οι διεργασίες αυτές παρουσιάζονται εν συντομία στον πίνακα .

Υπόγειο νερό	Επιφανειακό νερό
Αερισμός	Εσχαρισμός
Αποσκλήρυνση (Εάν απαιτείται)	Καθίζηση (Πρωτοβάθμια)
Επανανθράκωση – Διόρθωση pH	Προαπολύμανση
Διύλιση (Εάν απαιτείται)	Διόρθωση του pH (Προετοιμασία για την κροκίδωση)
Απολύμανση (Χλωρίωση)	Ταχεία ανάμιξη του νερού με το κροκιδωτικό
Αποθήκευση	Κροκίδωση – Καθίζηση
Διανομή	Διύλιση
	Οξειδωση (Οζόνωση, εάν απαιτείται)
	Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (Εάν απαιτείται)
	Απολύμανση (Χλωρίωση)
	Διόρθωση του pH
	Αποθήκευση
	Διανομή

Πίνακας 2.1 Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία υπόγειου νερού (αριστερή στήλη) και επιφανειακού νερού (δεξιά στήλη).

Εάν πρόκειται για **υπόγειο νερό** μια τυπική μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει τον αερισμό, την αποσκλήρυνσή του (εάν αυτό κριθεί απαραίτητο), την επανανθράκωσή του, την απολύμανση και τη διανομή του μέσω του δικτύου ύδρευσης. Εάν πρόκειται

για **επιφανειακό νερό** μια τυπική μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει τον εσχαρισμό για την απομάκρυνση των φερτών υλών που περιέχει, την προαπολύμανση, τη μονάδα κροκίδωσης / καθίζησης για την απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών (θολότητα), τη μονάδα διύλισης με στόχο την περαιτέρω μείωση των αιωρούμενων στερεών, τη μονάδα οξείδωσης και τη μονάδα προσρόφησης για περαιτέρω οξείδωση και απομάκρυνση κυρίως μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων του νερού, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις δυσάρεστες οσμές και γεύσεις του νερού και την μονάδα απολύμανσης (χλωρίωσης) για πλήρη καταστροφή των παθογόνων οργανισμών του νερού και μέσω του υπολειμματικού χλωρίου, παρεμπόδιση μικροβιολογικής ρύπανσης κατά την αποθήκευση και διανομή του νερού.

2.1.1 - Αερισμός νερού

Μετά την υποδοχή του στην εγκατάσταση επεξεργασίας, το νερό υφίσταται καλό αερισμό για την απομάκρυνση των αερίων (NH_3 , H_2S , CH_4 , R-CCl_4 κ.ά.) τα οποία είναι υπεύθυνα για τις δυσάρεστες οσμές. Ταυτόχρονα, με τον αερισμό επιτυγχάνεται οξείδωση και απομάκρυνση (κατακρήμνιση) του σιδήρου (Fe^{2+}) και του μαγγανίου (Mn^{2+}).

Η συνήθης τεχνική αερισμού συνίσταται σε εξαναγκασμένη ροή αέρα με τη βοήθεια φυσητήρων κατ' αντιρροή με σταγονίδια νερού από ακροφύσια (αποδοτική μέθοδος για αφαίρεση διαλυμένων αερίων) ή η χρήση διαχυτήρων για τη δημιουργία μικρών φυσαλίδων αέρα και καλύτερη επαφή νερού-αέρα. Ο αερισμός μειώνει το CO_2 του νερού αλλά ταυτόχρονα η μείωση του CO_2 αυξάνει το pH του νερού.

2.1.2 - Επανανθράκωση του νερού – Διόρθωση του pH

Ακολουθεί η επανανθράκωση του νερού με προσθήκη CO_2 , η οποία επαναφέρει το pH και την αλκαλικότητά του σε φυσιολογικά επίπεδα. Η διεργασία αυτή προκαλεί επί πλέον απομάκρυνση της σκληρότητας του νερού ($\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) και επιτυγχάνει ισορροπία του συστήματος του ανθρακικού ασβεστίου. Έτσι αποφεύγονται οι κατάντη αποθέσεις και επιλιθώσεις.

2.1.3 – Διύλιση

Η διύλιση είναι το επόμενο στάδιο των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στη μονάδα εάν αυτό κριθεί απαραίτητο για την επεξεργασία του υπόγειου νερού. Περισσότερα για τη διύλιση αναφέρονται παρακάτω, κατά τις διεργασίες επεξεργασίας των επιφανειακών νερών.

2.1.4 - Κροκίδωση – Συσσωμάτωση – Καθίζηση

Η κροκίδωση (coagulation) και η συσσωμάτωση (flocculation) είναι διεργασίες κατά τις οποίες τα κολλοειδή και αδρομερή αιωρούμενα σωματίδια του νερού προετοιμάζονται με κατάλληλα αντιδραστήρια για την αποσταθεροποίηση, τη συνένωση (συσσωμάτωση) και την απομάκρυνσή τους π.χ. με καθίζηση. Τα κύρια στάδια της

διεργασίας είναι τα εξής:

- Η προσθήκη χημικών μέσων, γνωστών ως κροκιδωτικών. Το στάδιο αυτό είναι το βασικό στάδιο της κροκίδωσης (coagulation).
- Η συνένωση των κολλοειδών σωματιδίων που προσεγγίζουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ορατών συσσωματωμάτων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται συσσωμάτωση ή θρόμβωση (flocculation).
- Απομάκρυνση των σχηματισμένων μεγάλων συσσωματωμάτων με καθίζηση (sedimentation) ή διήθηση.

Τα συνήθη κροκιδωτικά (coagulants) υλικά είναι το θεικό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) και τα άλατα του σιδήρου (τριχλωριούχος σίδηρος $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ και θειικός σίδηρος $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Χρησιμοποιείται ακόμα η υδράσβεστος ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), διάφοροι πολυηλεκτρολύτες (πολυοξέα και πολυαμίδια με ηλεκτρικά ενεργές ομάδες όπως COOH- , $\text{CH}_2\text{COH-CO-}$, NH_2- , κ.λ.π. που κυκλοφορούν με διάφορες εμπορικές ονομασίες) σαν βοηθητικά συσσωμάτωσης. Η ποσότητα των κροκιδωτικών υλικών καθώς επίσης και το περιβάλλον στο οποίο δρουν καλύτερα (θερμοκρασία, pH, ανάδευση κ.λ.π.) ελέγχεται με εργαστηριακές δοκιμές (Jartest).

Η κροκίδωση - συσσωμάτωση είναι φυσικοχημική – ηλεκτροχημική διεργασία και στοχεύει στην απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών του νερού, ώστε αυτά στη συνέχεια να καθιζάνουν στο πυθμένα της δεξαμενής και να απομακρυνθούν από το νερό με τη μορφή ιλύος. Όταν το θεικό αργίλιο (γνωστό ως Alum) προστεθεί στο νερό προκύπτουν ιόντα αργιλίου (Al_3+) τα οποία εξουδετερώνουν τα αρνητικά φορτία των κολλοειδών διευκολύνοντας έτσι τη συσσωμάτωσή τους σχηματίζοντας χαλαρές μάζες αδιάλυτων υδροξειδίων του αργιλίου ($\text{Al}(\text{OH})_3$), οι οποίες εμπλέκουν και συμπαρασύρουν στην καθίζησή τους στο πυθμένα της δεξαμενής, τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά.

2.1.5 - Απολύμανση του νερού

Το νερό απολυμαίνεται (χλωριώνεται) και διανέμεται στους καταναλωτές μέσω των δικτύων ύδρευσης. Η παρουσία υπολειμματικού χλωρίου στο νερό κρίνεται σκόπιμη και συνεχής για την προστασία της υγείας των καταναλωτών. Περισσότερα για την απολύμανση αναφέρονται στην επόμενη ενότητα, η οποία αφορά τις διεργασίες επεξεργασίας των επιφανειακών νερών.

2.1.6 - Χημική Κατακρήμνιση/ Ιζηματοποίηση

Η χημική κατακρήμνιση / ιζηματοποίηση (precipitation) είναι ταυτόχρονα φυσική και χημική διεργασία που εφαρμόζεται στην επεξεργασία του νερού. Πρόκειται για διεργασία αδιαλυτοποίησης ορισμένων ανεπιθύμητων συστατικών του νερού με σχηματισμό αδιάλυτων ενώσεων, λόγω αλλαγής της διαλυτότητάς τους. Επιτυγχάνεται συνήθως με μεταβολή του pH (αύξηση ή μείωση) και αλλαγή του αριθμού οξειδωσης των στοιχείων που μετατρέπονται σε ίζημα. Πρωτεύοντα ρόλο στη διεργασία αυτή παίζει η ιονική ισχύς του νερού και η οξειδωτική βαθμίδα των περιεχομένων στοιχείων. Οι μεταβολές του pH παίζουν σπουδαιότατο ρόλο στην ιζηματοποίηση, η οποία πολλές

φορές, εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τις διεργασίες της κροκίδωσης - συσσωμάτωσης, στην ελάττωση της σκληρότητας του νερού (απομάκρυνση αλάτων Ca, Mg), στην απομάκρυνση των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-), των βαρέων μετάλλων, των φθοριούχων (F^-), των φωσφορικών (PO_4^{4-} , PO_3^{3-}) και των θειούχων ιόντων (S^{2-}) με τη μορφή ιζημάτων.

2.1.7 - Διήθηση – Διεργασίες μεμβρανών

Στις εφαρμογές διήθησης (μεμβράνες) ανήκει η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF), η νανοδιήθηση (NF) και η αντίστροφη ώσμωση (RO). Η εφαρμογή των μεμβρανών στην προχωρημένη επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία αλλά πολλά υποσχόμενη και κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι άλλων διεργασιών. Βασικό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Τα αποτελέσματα όμως είναι εκπληκτικά.

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη (rayon) ή από ιδιοσκευάσματα πολυμερών όπως τα πολυαμίδια. Κάθε μεμβράνη παρουσιάζει βέλτιστες τιμές απόδοσης σε ορισμένο εύρος θερμοκρασίας, pH και ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός υγρού, γεγονός που απαιτεί πειραματικά στοιχεία για την επιλογή της. Ενδεικτικά στις μεθόδους διαχωρισμού στερεών με μεμβράνες αναφέρεται η μικροδιήθηση (MF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,05 – 2,0 μm , η υπερδιήθηση (UF), με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 2,0 – 0,05 μm , και η νανοδιήθηση (NF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,5 – 2,0 nm. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους.

Με τις μεμβράνες επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση διαλυτών οργανικών και ανόργανων ρύπων από το νερό. Το νερό διαβιβάζεται σε συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, οπότε τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και συμπυκνώνεται.

2.1.8 - Αντίστροφη ώσμωση

Οι (ημιπερατές) μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους. Μ' αυτές επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση διαλυτών αλάτων και οργανικών μικρορυπαντών από το νερό, το οποίο διαβιβάζεται σε συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, οπότε τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και συμπυκνώνεται. Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ύπαρξη πολλών κολλοειδών και αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης.

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται ώσμωση. Είναι μια διεργασία κατά την οποία μια μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό διαλυτών συστατικών του νερού. Ωθούσα δύναμη είναι η πίεση που εφαρμόζεται σε ένα υδατικό διάλυμα η οποία υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση του διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης. Η δύναμη αυτή εξαναγκάζει τη διέλευση καθαρού νερού διαμέσου της ημιπερατής

μεμβράνης και όχι των διαλυτών συστατικών του. Το νερό που προκύπτει είναι εξαιρετικά καθαρό.

Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ύπαρξη κολλοειδών και αιωρουμένων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης. Σε περίπτωση υψηλών απαιτήσεων απομάκρυνσης σωματιδίων και κολλοειδών οι διατάξεις αντίστροφης ώσμωσης ακολουθούν τις διατάξεις διαύγασης που είναι οι διεργασίες κροκίδωσης – συσσωμάτωσης - καθίζησης, αμμοδιύλισης και προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η κύρια εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης είναι η αφαλάτωση του νερού. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται προκατεργασία του νερού για την αποφυγή σχηματισμού επικαθίσεων από κολλοειδή σωματίδια, διαλυμένα άλατα (CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SiO_2 κ.ά.) και μικροοργανισμούς. Επίσης, συχνά απαιτείται και μετεπεξεργασία (π.χ. διόρθωση pH του νερού). Η πίεση λειτουργίας για τα υφάλμυρα νερά είναι περίπου 10-30 bar και για τα θαλασσινά περίπου 60 bar. Το κόστος της διεργασίας είναι πολύ υψηλό.

2.1.9 – Αφαλάτωση

Η αφαλάτωση είναι μια διεργασία διαχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά, αλατούχα διαλύματα και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση (οικιακή, βιομηχανική, αγροτική). Η αφαλάτωση ίσως αποτελεί την μελλοντική ελπίδα της ανθρωπότητας, όχι πιθανώς για την παραγωγή γλυκού νερού σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν πηγές φυσικού νερού, αλλά για όλες τις περιοχές της γης και κυρίως για τα μεγάλα αστικά κέντρα όπου το υπάρχον μολυσμένο νερό θα καθαρίζεται πλέον με μια από τις μεθόδους αφαλάτωσης.

Μέθοδοι αφαλάτωσης:

- Η εξάτμιση ή όπως συνήθως αναφέρεται, απόσταξη
- Η ηλεκτροδιάλυση
- Η αντίστροφη ώσμωση
- Οι υβριδικές μέθοδοι
- Η ψύξη

2.1.10 – Ιοντοεναλλαγή

Η ιοντοεναλλαγή είναι μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού. Πρόκειται για μια φυσικοχημική διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται μεταφορά ιόντων από ένα αδιάλυτο στερεό σε μια υγρή φάση και αντίστροφα. Πιο απλά, ιόντα ενός είδους που βρίσκονται σε ένα αδιάλυτο μέσο ανταλλαγής αντικαθίστανται από ιόντα διαφορετικού είδους που βρίσκονται στο διάλυμα. Το αδιάλυτο στερεό διαθέτει ευκίνητα ανιόντα ή κατιόντα ικανά για αντιστρεπτή και στοιχειομετρική εναλλαγή με ιόντα ίδιου φορτίου από το διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η διεργασία αυτή βασίζεται στην ικανότητα κάποιων υλικών - ορυκτών (ζεόλιθοι) ή συνθετικών (ρητίνες) - να δεσμεύουν εκλεκτικά διάφορα ιόντα. Μέσα από μια υψίκορμη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει τον ιοντοεναλλάκτη, διέρχεται το νερό και ο ιοντοεναλλάκτης δεσμεύει τα προς

απομάκρυνση ιόντα. Ένα ιόν ανταλλάσσεται με κάποιο άλλο, κρατείται προσωρινά στο μέσο και κατόπιν απελευθερώνεται στο διάλυμα αναγέννησης. Μετά από πολλές χρήσεις ο ιοντοεναλλάκτης (η ρητίνη) αναγεννιέται για να επαναχρησιμοποιηθεί.

Η εκλεκτικότητα των ρητινών εξαρτάται από το σθένος, τον ατομικό αριθμό και την ακτίνα των ενυδατωμένων ιόντων, καθώς και από τη συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών (TDS). Η σειρά εκλεκτικότητας μιας ισχυρά κατιονικής ρητίνης για TDS<1000 mg/L είναι: $Sr^{2+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}>NH_4^+>Na^+$. Αυτό σημαίνει ότι όταν δεσμευθούν όλα τα ιόντα στην κλίση, τα πρώτα ιόντα που θα εμφανιστούν στην έξοδο θα είναι NH_4^+ και Na^+ . Η σειρά εκλεκτικότητας μιας ισχυρά ανιοντικής ρητίνης είναι: $SO_4^{4-}, SO_3^{2-}>NO_3^->Br^->Cl^->HCO_3^->HSiO_3^-$. Η σειρά εκλεκτικότητας δείχνει ότι το SiO_2 θα είναι το πρώτο συστατικό που θα εμφανιστεί στην έξοδο.

Ο κύκλος λειτουργίας μιας κλίσης ρητινών περιλαμβάνει τη δέσμευση ιόντων, την αντίστροφη πλύση, την αναγέννηση, την εκτόπιση - αργή έκπλυση και την έκπλυση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ιοντοεναλλαγής αποτελεί ο απιονισμός και η αποσκλήρυνση του νερού. Κατά τον απιονισμό απομακρύνονται όλα τα διαλυμένα ιόντα με συνδυασμένη χρήση κατιονικών και ανιοντικών ρητινών. Κατά την αποσκλήρυνση απομακρύνονται τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) από το νερό με τη χρήση ισχυρά κατιονικών ρητινών σε κύκλο νατρίου.

2.1.11 - Αποσκλήρυνση του νερού

Εάν το νερό είναι σκληρό πραγματοποιείται στη συνέχεια απομάκρυνση της σκληρότητάς του. Απομακρύνονται δηλαδή τα άλατα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) με την προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου ($Ca(OH)_2$). Το υδροξείδιο του ασβεστίου αντιδρά με το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα επίσης διαλυμένα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου [$Ca(HCO_3)_2$] και του μαγνησίου [$Mg(HCO_3)_2$] που περιέχει το νερό. Το αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών είναι η χημική κατακρήμνιση των αδιάλυτων αλάτων όπως το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) και το ανθρακικό μαγνήσιο ($MgCO_3$), δηλαδή των αλάτων που είναι υπεύθυνα για τη σκληρότητα του νερού. Η κατακρήμνιση της μη ανθρακικής σκληρότητας απαιτεί προσθήκη σόδας (Na_2CO_3), δηλαδή ανθρακικού ασβεστίου και οδηγεί στη δημιουργία ιζήματος $Mg(OH)_2$. Η αποσκλήρυνση του νερού έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη παραγωγή ιλύος, ίση περίπου σε ξηρό βάρος με το διπλάσιο της σκληρότητας ως $CaCO_3$ που απομακρύνεται.

2.1.12 - Προσρόφηση

Οι επιφάνειες των στερεών είναι λίγο ή πολύ πηγές ελκτικών δυνάμεων, διότι τα άτομα ή τα ιόντα τους είναι μονόπλευρα κεκορεσμένα. Απομένουν έτσι ελεύθερες μονάδες συγγενείας στις επιφάνειες ή διεπιφάνειες των στερεών που μπορούν να συγκρατήσουν ισχυρά ξένα άτομα ή μόρια άλλων ουσιών, που βρίσκονται σε επαφή με αυτά. Το φαινόμενο στις επιφάνειες των στερεών να συγκρατούνται άτομα, μόρια και ιόντα άλλων ουσιών, ονομάζεται προσρόφηση.

Η προσρόφηση στην επιφάνεια στερεών υλικών έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία, κυρίως για την αποτελεσματική απομάκρυνση ρύπων από υδάτινα και αέρια ρεύματα. Οφείλεται δε, στην παρουσία ατόμων στην επιφάνεια του στερεού υλικού τα οποία είναι ακόρεστα δεδομένου ότι συνορεύουν μονόπλευρα με άλλα άτομα στο εσωτερικό του στερεού πλέγματος.

Έτσι, αναπτύσσονται ελεύθερες μονάδες συγγένειας στην επιφάνεια των στερεών με τις οποίες μπορούν να συγκρατηθούν ξένα άτομα, μόρια ή ιόντα.

Η διεργασία της προσρόφησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αλλά οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα εκροών από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της τοξικότητας, έχουν οδηγήσει στην εντατική εξέταση και χρήση της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα. Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με προσροφητικά υλικά συνήθως θεωρείται ως στάδιο τριτοβάθμιας επεξεργασίας για νερό το οποίο έχει ήδη υποστεί βιολογική επεξεργασία .

2.1.12.1 - Παράγοντες που επιδρούν στην προσρόφηση

Η προσρόφηση ουσιών από υδατικά διαλύματα στην επιφάνεια ενός στερεού εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά του προσροφητικού μέσου και της προσροφημένης ουσίας καθώς επίσης και από τις ιδιότητες του διαλύματος (pH, θερμοκρασία, παρουσία άλλων ουσιών). Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τόσο την έκταση όσο και την ταχύτητα προσρόφησης της ουσίας στην στερεή επιφάνεια. Πιο συγκεκριμένα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία της προσρόφησης έχουν ως εξής :

α) Η ειδική επιφάνεια του προσροφητικού (επιφάνεια ανά μονάδα μάζας), και ειδικότερα το κλάσμα της που είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από την προσροφούμενη ουσία. Η κάλυψη της επιφάνειας με μόρια ήδη προσροφημένων ουσιών μειώνει την προσροφητική ικανότητα του προσροφητικού .

β) Η κατανομή μεγέθους των πόρων του προσροφητικού και το μέγεθος των μορίων της προσροφούμενης ουσίας. Συγκεκριμένα, μεγάλος όγκος μικροπόρων (διαμέτρου < 2nm), συνεπάγεται μεγάλη επιφάνεια μικροπόρων και σχετίζεται με μεγάλη προσροφητική ικανότητα μικρών μορίων. Αντίθετα, μεγάλος όγκος μακροπόρων (διαμέτρου > 50nm) συνεπάγεται μεγάλη προσροφητική ικανότητα μεγάλων μορίων.

γ) Οι ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού και της προσροφούμενης ουσίας μπορούν να επηρεάσουν την προσρόφηση. Για παράδειγμα, ορισμένοι ερευνητές απέδειξαν ότι η οξειδωση της επιφάνειας του ενεργού άνθρακα με διάφορα οξειδωτικά, όπως υδατικό διάλυμα χλωρίου, προκαλεί ελάττωση της προσρόφησης αρωματικών ενώσεων (φαινόλων, βενζολίου κ.ά.). Επίσης η προσρόφηση χημικών ουσιών προσδίδει αρνητικό επιφανειακό φορτίο στον ενεργό άνθρακα, επομένως μειώνει την προσροφητική του ικανότητα. Αντίθετα, η εκρόφηση των χημικών ουσιών με την επίδραση αλκαλικού διαλύματος, μειώνει το αρνητικό φορτίο της επιφάνειας του ενεργού άνθρακα και επαναφέρει την προσροφητική του ικανότητα. Το pH του διαλύματος, επίσης, επηρεάζει το επιφανειακό φορτίο του προσροφητικού και των μορίων της προσροφούμενης ουσίας.

δ) Η χημική συνάφεια της προσροφούμενης ουσίας με το νερό και με το προσροφητικό επηρεάζει την προσρόφηση. Η χημική συνάφεια ασθενών οργανικών οξέων ή βάσεων προς τον ενεργό άνθρακα επηρεάζεται από το pH του διαλύματος. Σε τιμές του pH όπου τα μόρια βρίσκονται σε ιονισμένη μορφή ευνοείται η διάλυσή τους στο νερό, ενώ σε pH όπου βρίσκονται σε ουδέτερη μορφή ευνοείται η προσρόφησης τους από τον ενεργό άνθρακα. Αντίθετα, στην περίπτωση πιο υδρόφιλων προσροφητικών

υλικών, όπως η ενεργή αλουμίνα και ο ενεργός βωξίτης, ευνοείται η προσρόφηση πιο υδρόφιλων και ευδιάλυτων στο νερό ουσιών.

ε) Η παρουσία ανόργανων αλάτων στο νερό μπορεί, επίσης, να επιδράσει στην προσρόφηση ορισμένων ουσιών θετικά, λόγω της δημιουργίας συμπλόκων των κατιόντων με τις οργανικές ουσίες σε ανιονική μορφή, τα οποία προσροφούνται ευκολότερα (π.χ. κατιόντα ασβεστίου με ανιόντα φουλβικού οξέος σε ενεργό άνθρακα). Ανόργανα άλατα σιδήρου, μαγγανίου και ασβεστίου ή ιζήματα μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την προσρόφηση με την καθίζησή τους στην επιφάνεια του προσροφητικού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προ-επεξεργασία για την απομάκρυνσή τους.

Κεφάλαιο 3 - Προσρόφηση ως φυσική μέθοδο επεξεργασίας

3.1 - Η προσρόφηση στην κατεργασία του νερού

Το νερό είναι ένας διαλύτης ο οποίος χρησιμοποιείται σε κάθε βιομηχανική διεργασία. Περιέχει για τον λόγο αυτό μια μεγάλη ποικιλία ρυπαντών, οργανικών, ανόργανων μεταλλικών, βιολογικών, επιβάλλοντας τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας μεθόδων καθαρισμού.

Η μέθοδος του αερισμού χρησιμοποιείται εδώ και σχεδόν 60 χρόνια. Με αυτή την μέθοδο απομακρύνεται ο πτητικός οργανικός άνθρακας με την μεταφορά του από την φάση του διαλύματος, στην αέρια φάση. Είναι μια οικονομική και αποδοτική μέθοδος παρόλο που εφαρμόζεται μόνο στην απομάκρυνση των πτητικών.

Η μέθοδος της χημικής οξειδωσης είναι μια διαδεδομένη διεργασία στην οποία χρησιμοποιούνται ως αντιδραστήρια το όζον, το υπερμαγγανικό, το υπεροξείδιο του χλωρίου. Σε αυτήν τα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από μια ουσία για την αύξηση της οξειδωτικής κατάστασης. Δυστυχώς όμως έχει περιορισμένες εφαρμογές εφόσον δεν είναι ανεξάρτητη διεργασία και επίσης είναι δαπανηρή ενώ ταυτόχρονα τα προϊόντα της οξειδωσης είναι τοξικά και επικίνδυνα.

Η μέθοδος της προσρόφησης σε σχέση με τις άλλες παρουσιάζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα, χαμηλότερο κόστος για την επεξεργασία των αποβλήτων και γενικά υπόσχεται πολλά για το μέλλον. Ειδικότερα φαντάζει πιο ελκυστική για την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων και συγκεκριμένα για την απομάκρυνση των τοξινών. Εφαρμόζεται στην απομάκρυνση χρωμάτων από τις εκροές βιομηχανιών που βάφουν υφάσματα παρασκευάζουν χρώματα βαφής. Τα χρώματα αποτελούνται από μεγάλα μόρια τα οποία επηρεάζουν και διαταράσσουν το φυσικό περιβάλλον.

3.2 - Προσροφητικά Υλικά

Η προσρόφηση λαμβάνει χώρα με την χρήση διάφορων πορωδών στερεών προσροφητικών υλικών. Οι ιδιότητες των πορωδών στερεών που τα καθιστούν ιδανικά για την κατεργασία των υδάτων, συμπεριλαμβάνουν το υψηλό πορώδες, την μεγάλη ειδική επιφάνεια και την φυσική και χημική φύση των εσωτερικών επιφανειών προσρόφησης. Μεταξύ των παραμέτρων που ελέγχονται για την διαπίστωση ότι ένα υλικό στερεό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προσροφητικό υλικό είναι οι εξής:

- Η ειδική επιφάνεια
- Το πορώδες
- Η επιφανειακή του χημεία

Αν και η διεργασία της προσρόφησης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται αρκετά χρόνια, εντούτοις η μέθοδος αυτή θεωρείται η πιο νέα στην χημική μηχανική. Μεγάλη προσοχή δίνεται στον χαρακτηρισμό των προσροφητικών και ειδικότερα στο πορώδες και το εμβαδόν της επιφάνειας.

Αυτές οι πληροφορίες οδηγούν στην ανάπτυξη νέων προσροφητικών με καλύτερη ποιότητα. Ανάμεσα στα προσροφητικά υλικά που παρουσιάζουν εμπορικό αλλά και εργαστηριακό ενδιαφέρον είναι ο ενεργός άνθρακας, ο ζωικός άνθρακας, η αλουμίνα, ο φυτικός άνθρακας, η πηκτή πυριτίου, ο βωξίτης, ο μπετονίτης, τα μοριακά κόσκινα, ο

Λιγνίτης, η αποχρωστική γαία, οι ιοντοανταλλακτικές ρητίνες, τα συνθετικά πολυμερικάπροσροφητικά, η χητίνη.

3.2.1 - Ενεργός άνθρακας

Εφαρμόζεται στην κατεργασία υγρών αποβλήτων και θεωρείται το πιο διαδεδομένο προσροφητικό υλικό. Σε σκόνη ή σε κόκκους χρησιμοποιείται για την βελτίωση της γεύσης ή την απομάκρυνση των οσμών και του χρώματος των ρυπασμένων υδάτων. Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυτών, για τον αποχρωματισμό και την κατεργασία των μεταλλευμάτων.

3.2.2 - Αλουμίνα

Είναι ένα σκληρό ένυδρο οξείδιο του αργιλίου το οποίο ενεργοποιείται με θέρμανση για την απομάκρυνση της υγρασίας. Διατίθεται σε κόκκους ή σκόνη και χρησιμοποιείται κυρίως σαν ξηραντικό μέσο για υγρά ή αέρια. Αναγεννάται με εξάτμιση των προσροφημένων σωματιδίων.

3.2.3 - Τα ενεργά αργιλώδη εδάφη

Μπετονίτες ή άλλα αργιλώδη εδάφη τα οποία δεν παρουσιάζουν προσροφητική ικανότητα αν δεν ενεργοποιηθούν με κατεργασία από θειικό οξύ (H_2SO_4) ή υδροχλωρικό οξύ (HCl). Εφαρμόζονται κυρίως στον αποχρωματισμό προϊόντων του πετρελαίου.

3.2.4 - Βωξίτης

Είναι η κύρια μορφή της φυσικά απαντώμενης ένυδρης αλουμίνας η οποία ενεργοποιείται με θέρμανση σε θερμοκρασία περίπου $230-815^\circ C$. Χρησιμοποιείται για τον αποχρωματισμό των προϊόντων του πετρελαίου και για την ξήρανση των αερίων.

3.2.5 - Ζεόλιθος

Με τον όρο «φυσικός ζεόλιθος» χαρακτηρίζεται το πέτρωμα που περιέχει ορυκτά της ομάδας των ζεόλιθων. Οι ζεόλιθοι ανακαλύφθηκαν το 1756, όταν ο Cronstedt ανακάλυψε πως κάποια ορυκτά χάνουν νερό όταν θερμαίνονται, χωρίς να αλλάζει η δομή τους. Το όνομά τους προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις ζέον και λίθος, λόγω της τάσης που έχουν να αφρίζουν με τη θέρμανση. Συγκεκριμένα, οι ζεόλιθοι είναι τεκτοπυριτικά ορυκτά, επομένως αναπτύσσονται τρισδιάστατα στο χώρο, στα οποία ο λόγος $(Si + Al)/O$ ισούται με $1/2$. Είναι ιζηματογενούς προέλευσης αλλά απαντώνται και σε μεταμορφωσιγενήπετρώματα, με ποικίλους χρωματισμούς, από ελαφρώς κόκκινοι έως λευκοί ή εντελώς άχρωμοι και διαφανείς. Εμφανίζουν τρισδιάστατη δομή η οποία αποτελείται από τετράεδρα πυριτίου και οκτάεδρα αργιλίου, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με κοινά οξυγόνα σχηματίζοντας τρισδιάστατους σχηματισμούς (130 διαφορετικοί σχηματισμοί δομών είναι μέχρι τώρα γνωστοί).

Είναι αρνητικά φορτισμένοι με αποτέλεσμα να έλκουν κατιόντα τα οποία και δεσμεύουν στο εσωτερικό τους. Σε αντίθεση με άλλα τεκτοπυριτικά ορυκτά οι ζεόλιθοι

στη δομή τους φέρουν κενούς χώρους (κοιλότητες ή κανάλια) τα οποία έχουν μέγεθος από 0,3 έως 0,8nm. Οι μεγάλοι κενοί χώροι στη δομή των ζεόλιθων επιτρέπουν την είσοδο (αλλά και την εύκολη έξοδο και ανταλλαγή) κατιόντων μεγάλων διαστάσεων όπως νατρίου, καλίου, βαρίου, ασβεστίου καθώς και μορίων όπως νερού, αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων. Λόγω της δομής τους έχουν σχετικά μικρό ειδικό βάρος. Ο όγκος των πόρων στην κρυσταλλική δομή των ζεόλιθων φτάνει έως και το 50 % του αφυδατωμένου ορυκτού. Οι ζεόλιθοι χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να απορροφούν και να αποβάλλουν νερό χωρίς να καταστρέφεται η κρυσταλλική δομή τους. Διαφέρουν από τα ορυκτά της αργίλου, παρόλο που η σύνθεση τους είναι παρόμοια αφού τόσο οι ζεόλιθοι όσο και τα ορυκτά της αργίλου είναι αργιλιοπυριτικές ενώσεις. Η διαφορά τους έγκειται στην κρυσταλλική τους δομή. Τα περισσότερα ορυκτά της αργίλου έχουν φυλλώδη κρυσταλλική δομή και κάποια από αυτά υπόκεινται σε συρρίκνωση και διόγκωση όταν υγραίνονται. Αντίθετα, οι ζεόλιθοι έχουν σταθερή τρισδιάστατη, κρυσταλλική δομή (κυψελοειδή) η οποία αποτελείται από τετράεδρα πυριτίου και οκτάεδρα αργιλίου καθώς και από πόρους και κανάλια που συνδέονται μεταξύ τους.

Το νερό διέρχεται ελεύθερα σε αυτά τα κανάλια χωρίς όμως να αλλάζει η δομή και ο σχηματισμός του ζεόλιθου.

Η δομική μονάδα των ζεόλιθων είναι ένα περιοδικό πλέγμα ατόμων πυριτίου που περιβάλλονται από τέσσερα άτομα οξυγόνου έτσι ώστε να σχηματίζονται τετράεδρα όπως στην καθαρή μορφή του διοξειδίου του πυριτίου, τον χαλαζία. Η διαφορά είναι ότι στους ζεόλιθους μερικά άτομα πυριτίου έχουν αντικατασταθεί από άτομα αλουμινίου, τα οποία έχουν ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από το πυρίτιο.

Για να διατηρηθεί λοιπόν η δομή των τετραέδρων χρειάζεται ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο αυτό το συνεισφέρει ένα άτομο νατρίου, το οποίο έτσι καθίσταται θετικά φορτισμένο και «εγκαθίσταται» μέσα στο αρχικό πλέγμα. Τα παραλλαγμένα έτσι τετράεδρα των ζεόλιθων διευθετούνται με ποικίλους τρόπους σε κυκλικές διατάξεις σχηματίζοντας κοιλότητες (πόρους) σε μια ποικιλία διαμέτρων και γεωμετρίας. Στις κοιλότητες αυτές παγιδεύονται ένα ή περισσότερα μόρια νερού, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ένυδρα μόρια, όπου το νερό δεν βρίσκεται σε συγκεκριμένη αναλογία. Λόγω της πορώδους δομής τους οι ζεόλιθοι μοιάζουν με σφουγγάρια αλλά έχουν μηχανική αντοχή και σκληρότητα ανόργανων υλικών.

Θα έλεγε κανείς ότι μοιάζουν με ελαφρόπετρα, μόνο που οι κοιλότητες του ζεόλιθου είναι χιλιάδες φορές μικρότερες από τις κοιλότητες της ελαφρόπετρας.

Οι ζεόλιθοι αποκαλούνται και «μοριακά κόσκινα» επειδή μέσω αυτών μπορούμε να «κοσκινίσουμε ανάποδα» ένα μείγμα μορίων: τα μικρότερα μόρια συγκρατούνται στις κοιλότητες των ζεόλιθων, ενώ τα μεγαλύτερα διέρχονται ελεύθερα. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως αφυγραντικά μέσα για την απομάκρυνση της υγρασίας π.χ. από το φυσικό αέριο. Επίσης συγκρατούν διάφορες αέριες ουσίες από βιομηχανικά απόβλητα δρώντας σαν αποσμητικά φίλτρα. Επειδή μάλιστα είναι τελείως αβλαβείς, προστίθενται σε ζωοτροφές για να δεσμεύουν τοξικές ουσίες μικρής μοριακής μάζας. Οι ζεόλιθοι διατηρούν την ικανότητα δέσμευσης μικρών μορίων ακόμη και μέσα στο νερό. Γι' αυτό τοποθετούνται στα ενυδρεία για να συγκρατούν την αμμωνία που παράγεται από τον μεταβολισμό των ψαριών. Η ευκολία εισόδου ουσιών συνοδεύεται και από σχετική ευκολία εξόδου, με θέρμανση ή μεταβολή της πίεσης, οπότε οι ζεόλιθοι «αδειάζουν» και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Ο ζεόλιθος με τις καλύτερες ιδιότητες είναι ο *κλινοπτιλόλιθος* ή *ευλανδίτης*, που δεσμεύει βακτήρια, μύκητες, αέρια, ανόργανες, οργανικές και οργανομεταλλικές ενώσεις και ρυθμίζει προς το ουδέτερο τα όξινα και

αλκαλικά εδάφη. Στην Ελλάδα υπάρχει κλινοπτιλόλιθος πολύ καλής ποιότητας και σε μεγάλες ποσότητες στον Νομό Εβρου.

Το φυσικό τους περιβάλλον είναι ηφαιστειακοί σχηματισμοί, που διαμορφώθηκαν υπό την επίδραση ατμών και αερίων, αλμυρές αλκαλικές λίμνες καθώς και ωκεανοί. Ορισμένοι από τους παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο του ζεόλιθου που θα σχηματισθεί είναι η σύνθεση του πετρώματος, το pH του περιβάλλοντος στο οποίο σχηματίζεται το ορυκτό, η θερμοκρασία, η πίεση καθώς και η διάρκεια του σχηματισμού.

Σήμερα, εκτός από τους φυσικούς ζεόλιθους (περίπου 50), (κλινοπτιλόλιθος, χαβασίτης, χεϋλανδίτης κ.α.) έχουν παρασκευαστεί περισσότερα από 150 είδη συνθετικών ζεόλιθων, κάθε ένας από αυτούς με διαφορετική δομή. Οι πιο συχνά απαντούμενοι συνθετικοί ζεόλιθοι είναι οι ζεόλιθοι τύπου A, X, B, Y και SZM-5.

Οι διαφορές μεταξύ φυσικών και συνθετικών ζεόλιθων είναι:

- Οι συνθετικοί ζεόλιθοι κατασκευάζονται από χημικές ενώσεις με κατανάλωση ενέργειας ενώ οι φυσικοί είναι αποτέλεσμα πολύχρονων φυσικών διεργασιών.

- Στους συνθετικούς ζεόλιθους ο λόγος πυρίτιο / αργίλιο είναι 1 / 1 ενώ στους φυσικούς κυμαίνεται από 5 / 1 έως 2 / 1.

- Η δομή των φυσικών ζεόλιθων είναι σταθερότερη σε όξινο περιβάλλον.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά των ζεόλιθων τα οποία είναι αυτά που τους κάνουν να αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον (Πίνακας 1.4.):

- Μέσα στους πόρους τους εγκλωβίζονται μόρια και ιόντα, ανάλογα το μέγεθός τους, παρουσιάζουν δηλαδή το φαινόμενο της εκλεκτικής προσρόφησης,

- έχουν μεγάλη Εναλλακτική Ικανότητα Κατιόντων (C.E.C.),

- έχουν μικρό ειδικό βάρος, λόγω καναλιών,

- λειτουργούν ως καλοί καταλύτες,

- είναι θερμικά πολύ σταθεροί, κάποια είδη αντέχουν σε αρκετά αλκαλικό και κάποια άλλα σε αρκετά όξινο περιβάλλον, ενώ κάποια άλλα είδη είναι ανθεκτικά στη ραδιενέργεια.

Ευρεία είναι και η χρήση των ζεόλιθων στη γεωργία και στην κτηνοτροφία, όπου χρησιμοποιούνται ως φορείς θρεπτικών για τα φυτά, και τα κτηνοτροφικά ζώα. Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται ως καταλύτες. Η προσθήκη ζεόλιθων σε ζωοτροφές συμβάλλει επίσης στην απορρόφηση τοξικών ουσιών, που θεωρούνται βλαβερές για τα ζώα, ενώ η βασική δομή των ζεόλιθων είναι βιολογικά ουδέτερη. Χρησιμοποίηση ζεόλιθων σε ενυδρεία επίσης, συμβάλλει στην απομάκρυνση αμμωνιακών ιόντων και τοξινών, που είναι επιβλαβείς για τους ιχθύες και συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του νερού στα ενυδρεία.

Λόγω της ορυκτολογικής τους σύστασης αλλά και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους έχουν χρησιμοποιηθεί για την απορρόφηση αερίων, απομάκρυνση οσμών και χημικών ενώσεων, για τη βελτίωση υγρατοπικών συστημάτων, την αποσκλήρυνση υδάτων, για τη βελτίωση και τον καθαρισμό του πόσιμου νερού και του νερού άρδευσης, για την απομάκρυνση κατιόντων, βαρέων μετάλλων, αμμωνιακών ιόντων, και ραδιενεργών στοιχείων (Cs^+ , Sr^{2+}) από υγρά απόβλητα. Χρησιμοποιούνται επίσης και για την αποκατάσταση εδαφών που έχουν ρυπανθεί από ραδιενεργά στοιχεία. Επιπλέον, οι φυσικοί ζεόλιθοι δεσμεύουν μέταλλα, και οργανικές ενώσεις από τα υδατικά τους διαλύματα. Το ποσοστό απομάκρυνσης μετάλλων και ραδιονουκλιδίων κυμαίνεται από 20 έως 99 %, ενώ αυτό των οργανικών ενώσεων από 30 έως 53 %. Επίσης, οι φυσικοί

ζεόλιθοι ρυθμίζουν το pH των υδάτων προς το ουδέτερο και με τη χρήση τους ως φυσικά φίλτρα επιτυγχάνεται ικανοποιητική μείωση των τιμών της αλατότητας, της συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών και κατά συνέπεια και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε νερά άρδευσης.

Η προσθήκη των φυσικών ζεόλιθων σε τεχνητούς υγροτόπους, σε μονάδες διαχείρισης υδάτων και σε αγροτικές καλλιέργειες, μπορεί να συμβάλλει θετικά στη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, στη μείωση της έκπλυσης ιχνοστοιχείων και μετακίνησης αυτών από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον, στη μετρίαση του προβλήματος του ευτροφισμού των υδάτων, καθώς επίσης στην εξοικονόμηση, έως και 50 %, του ύδατος άρδευσης στις αγροτικές καλλιέργειες.

Όσον αφορά τα ανιόντα, ο φυσικός ζεόλιθος παρουσιάζει αμελητέα προσροφητική ικανότητα.

3.2.6 - Κλινοπτιλόλιθος- $(Ca, Mg, Na, K)_6(Al_6Si_{30}O_{72})_{20}H_2O$

Υπάρχουν περίπου 50 είδη φυσικών ζεόλιθων. Ο πιο συνηθισμένος από αυτούς είναι ο κλινοπτιλόλιθος με χημικό τύπο $(Ca, Mg, Na, K)_6(Al_6Si_{30}O_{72})_{20}H_2O$. Ο κλινοπτιλόλιθος μαζί με τον μορντενίτη είναι τα πιο συχνά είδη ζεόλιθων που συναντά κανείς στην Ελλάδα, με ποσοστό που κυμαίνεται από 23 έως 79% .

Ο κλινοπτιλόλιθος ανήκει στην οικογένεια του χεϋλανδίτη. Υπάρχουν ερευνητές οι οποίοι θεωρούν ότι τα δύο ορυκτά δεν θα έπρεπε να θεωρούνται ως διαφορετικά ορυκτά. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι ο κλινοπτιλόλιθος είναι περισσότερο εμπλουτισμένος με κάλιο και ελαφρώς πιο πλούσιος σε πυρίτιο. Παρουσιάζει 16 % περισσότερο κενό όγκο και οι πόροι του είναι 0,2 nm μεγαλύτεροι από τον αναλκίμη, έναν άλλο συχνά απαντούμενο ζεόλιθο. Μακροσκοπικά, το ορυκτό περιγράφεται ως μικρή, κοκκώδης, ομοιογενής, ελαφρώς πράσινη μάζα. Οι κρύσταλλοί του έχουν αιχμηρές ακμές και είναι τελείως καθαροί χωρίς ορατές προσμίξεις. Οι κρύσταλλοί του αποτελούνται από τετράεδρα πυριτίου και οκτάεδρα αργιλίου τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με κοινά οξυγόνα, σχηματίζοντας τρισδιάστατους σχηματισμούς, με μικρούς και μεγάλους κενούς χώρους (κανάλια), χαρακτηριστικό της δομής των ζεόλιθων. Η αναλογία Si / Al στον κλινοπτιλόλιθο ποικίλει από 4 έως 5,3. Οι κενοί χώροι καταλαμβάνονται από μόρια νερού αλλά και από εναλλακτικά κατιόντα, κυρίως Na^+ , Ca^{2+} , K^+ τα οποία εναλλάσσονται εύκολα με κατιόντα του εξωτερικού διαλύματος. Τα κύρια εναλλακτικά κατιόντα του κλινοπτιλόλιθου είναι το Na^+ και το K^+ . Τα κανάλια του κλινοπτιλόλιθου έχουν μέγεθος από 0.44 – 0.72 nm. Παρουσιάζει επίσης χημική σταθερότητα στους 600 - 800 οC και η C.E.C. του είναι της τάξης των 200 C mol kg^{-1} .

3.2.7 - Χρήσεις Κλινοπτιλόλιθου

Ο κλινοπτιλόλιθος είναι τελείως ακίνδυνος, σύμφωνα με τοξικολογικές μελέτες, και έχει πολλές εφαρμογές. Όσον αφορά τις εφαρμογές του στη γεωργία και την κτηνοτροφία, έχει χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση αμμωνιακών ιόντων από γεωργικά και αστικά απόβλητα, αλλά και από το νερό άρδευσης και ύδρευσης, λόγω της δομής του, η οποία επιτρέπει στα αμμωνιακά ιόντα να εισέρχονται στα εσωτερικά του κανάλια.

Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από νερά άρδευσης και ύδρευσης, αλλά και από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Χρησιμοποιείται επίσης σαν προσθετικό αζώτου σε εδάφη που είναι φτωχά σε άζωτο ταυτόχρονα με αζωτούχα λιπάσματα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό, εφόσον εκτός από N ελευθερώνει με αργό ρυθμό και τα κατιόντα που είναι δεσμευμένα στη δομή του, αλλά και για τη δέσμευση τοξικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων, όπως στρόντιο, καίσιο, βάριο, χαλκός, ψευδάργυρος, νικέλιο. Στην κτηνοτροφία έχει χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα διατροφής ζώων, ως μέσο απομάκρυνσης της αμμωνίας από απόβλητα ζώων και ως μέσο περιορισμού των οσμών από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

Έχει αποδειχθεί ότι ο κλινοπτιλόλιθος, μετά από χημική μετατροπή του, μπορεί να προσροφήσει ανιόντα από υδατικά διαλύματα, όπως χρωμικά, αρσενικά, νιτρικά, θειικά και ιόντα σεληνίου αλλά και οργανικές ενώσεις.

Πειραματικό μέρος

Κεφάλαιο 4 - Υλικά και μέθοδοι

4.1 - Έλεγχος Φυσικοχημικών Παραμέτρων Ποιότητας Πόσιμου Νερού

Ο έλεγχος φυσικοχημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού που αναλύθηκαν πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας του Γενικού τμήματος σε δείγματα πριν και μετά την διεργασία της αποσκλήρυνσης. Οι αναλύσεις περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω και τα αποτελέσματα αποδίδονται στον Πίνακα 2 και στα γραφήματα που ακολουθούν.

4.1.1 - Σκληρότητα του νερού

Όταν λέμε σκληρότητα νερού εννοούμε το σύνολο των αλάτων του νερού και κυρίως των αλάτων των δισθενών κατιόντων του ασβεστίου, Ca^{++} και του μαγνησίου, Mg^{++} .

Είδη σκληρότητας

α) ανθρακική ή παροδική (Α. Σ.)

β) μόνιμη (Μ. Σ.)

γ) ολική σκληρότητα (Ο. Σ.)

$$(Ο. Σ.) = (Α. Σ.) + (Μ. Σ.)$$

Η σκληρότητα μετράται σε **βαθμούς γερμανικούς ($^{\circ}\text{D}$)** , **γαλλικούς ($^{\circ}\text{F}$)** ή σε **μονάδες p. p. m CaCO_3 ή mg CaCO_3 / lt** .

$$1^{\circ}\text{D} = 1 \text{ mgCaO} / 100 \text{ ml νερού}$$

$$^{\circ}\text{F} = 1 \text{ mgCaCO}_3 / 100 \text{ ml νερού}$$

4.1.1.1 - Διαδικασία μέτρησης Ολικής Σκληρότητας (Ο.Σ.)

Σε κωνική φιάλη των 250 ml φέρονται ακριβώς 100 ml δείγματος νερού . Προστίθεται 1 δισκίο δείκτη - Buffer και διαλύεται στο νερό .

- Προσθέτουμε 1 ml πυκνής NH_3 και το διάλυμα χρωματίζεται κόκκινο .
- Ογκομετρούμε με το πρότυπο διάλυμα **0. 2NEDTA (Titriplex A)** μέχρι το διάλυμα να γίνει πράσινο
- Επαναλαμβάνουμε την μέτρηση (τα τρία προηγούμενα στάδια) τουλάχιστον δύο ακόμη φορές ή μέχρις ότου οι μετρήσεις μ ας έχουν καλή επαναληψιμότητα.
- Από την μέση τιμή των καταναλωθέν των ml διαλύματος E DTA

Υπολογίζουμε την **ολική σκληρότητα (Ο. Σ)** του νερού με βάση την αναλογία :

1ml διαλύματος EDTA αντιστοιχεί σε 5,6°D

4.1.1.2 - Διαδικασία μέτρησης ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας (Α.Σ)

- Σε κωνική φιάλη των 250 ml φέρουμε 100 ml δείγματος νερού.
- Προσθέτουμε 2 - 3 σταγόνες ηλιανθίνης και ογκομετρούμε με διάλυμα 0,1 N HCl, μέχρι ελαφρώς ροζέ χρώμα.
- Επαναλαμβάνουμε την μέτρηση (τα δύο προηγούμενα στάδια) τουλάχιστον δύο ακόμη φορές ή μέχρις ότου οι μετρήσεις μ ας έχουν καλή επαναληψιμότητα.
- Συμπληρώνουμε με τις μετρήσεις αντίστοιχο πίνακα όπως και προηγουμένως και εξάγουμε την μέση τιμή των καταναλωθέντων ml διαλύματος 0. 1 N HCl
- Υπολογίζουμε την **ανθρακική σκληρότητα (Α. Σ)** του νερού με βάση την αναλογία : **1ml διαλύματος 0. 1 N HCl αντιστοιχούν σε 2. 8°D**
- Υπολογίζουμε τα ppm HCO_3^- στο δείγμα με βάση την σχέση :
ml 0. 1 N HCl αντιστοιχεί με 6. 1 mg HCO_3

4.1.1.3- Προσδιορισμός Μόνιμης Σκληρότητας (Μ.Σ)

Υπολογίζουμε την **μόνιμη σκληρότητα (Μ . Σ)** από την σχέση : (Ο.Σ) – (Α.Σ) =
(Μ.Σ) σε Γερμανικούς Βαθμούς °D

4.2 - Διαδικασία μέτρησης αγωγιμότητας

Η μέτρηση της k ενός δείγματος γίνεται απλούστατα βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο στο δείγμα και αναδεύοντας, ώστε να μην παγιδευτούν φυσαλίδες αέρα στην κυψελίδα. Το όργανο μας δίνει αυτόματα την k, με ακρίβεια 0,1 - 10 μ S/ cm, κάνοντας αντιστάθμιση της θερμοκρασίας στους 25 ° C (Εικόνα 1).

4.3 - Διαδικασία μέτρησης θερμοκρασίας

Το θερμομόμετρο βυθίζεται στο σημείο δειγματοληψίας και περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη (περίπου 1 min) .

4.4 - Διαδικασία μέτρησης pH

Το ηλεκτρόδιο του οργάνου βυθίζεται στο δείγμα με μικρή ανάδευση και καταγράφεται η ένδειξη που μένει σταθερή 1 min περίπου (Εικόνα 1).

4.5 - Προσδιορισμός Ca^{++} σε νερά

- 100 ml δείγματος νερού σε κωνική φιάλη των 250 ml
- Προσθέτουμε 4 ml NaOH 1M ($\text{pH} \approx 12 - 13$)
- Προσθέτουμε 0. 2 gr δείκτη Μουρεξιδιο (μίγμα 100 gr γλυκόζης με 0. 5 gr Murexid)
- Ογκομετρούμε με EDTA 0. 2 N (Titriplex A) μέχρι το ροδόχρουν διάλυμα μετατραπεί σε μωβ. Η μέτρηση επαναλαμβάνεται 3 φορές .
- Υπολογίζουμε την μέση τιμή των ppm Ca^{++} από τη σχέση:

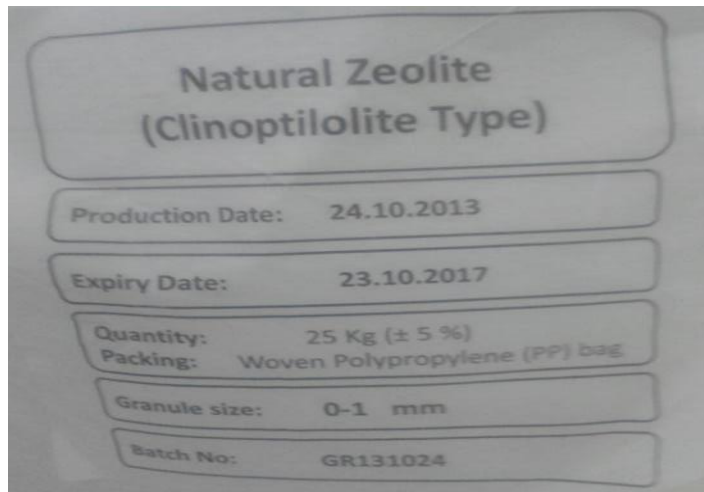
1ml 0. 2 N EDTA αντιστοιχεί σε 4. 01 mg Ca^{+2}

4.6 - Προσδιορισμός Na^+

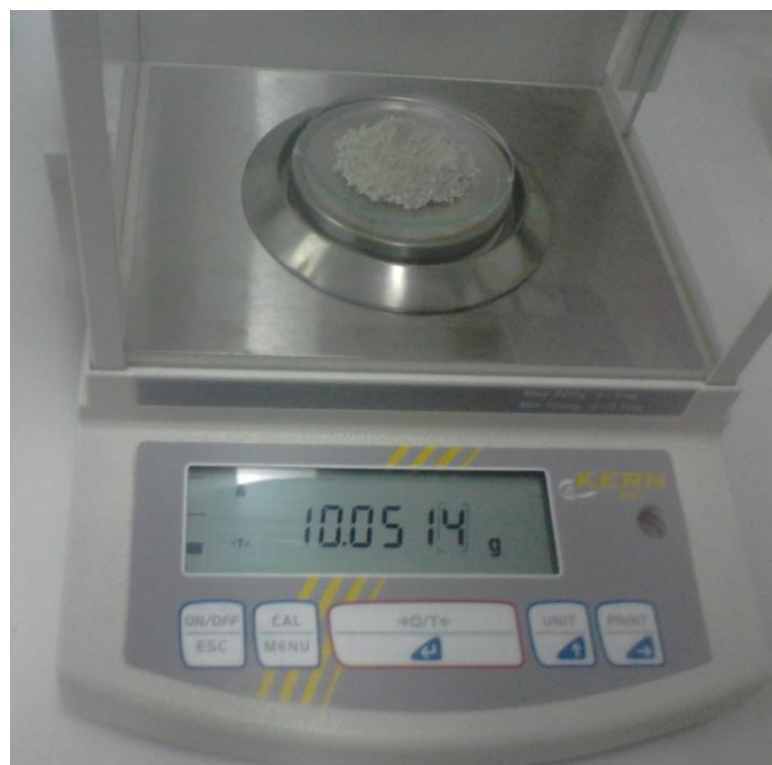
Ο προσδιορισμός του νατρίου (μέθοδος 10 - 300 ppm) στα δείγματα νερού που εξετάστηκαν έγινε με Test - kit και χρήση φασματοφωτομέτρου.



Εικόνα 1. Όργανο μέτρησης pH, αγωγιμότητας και διαλυμένου οξυγόνου στο νερό



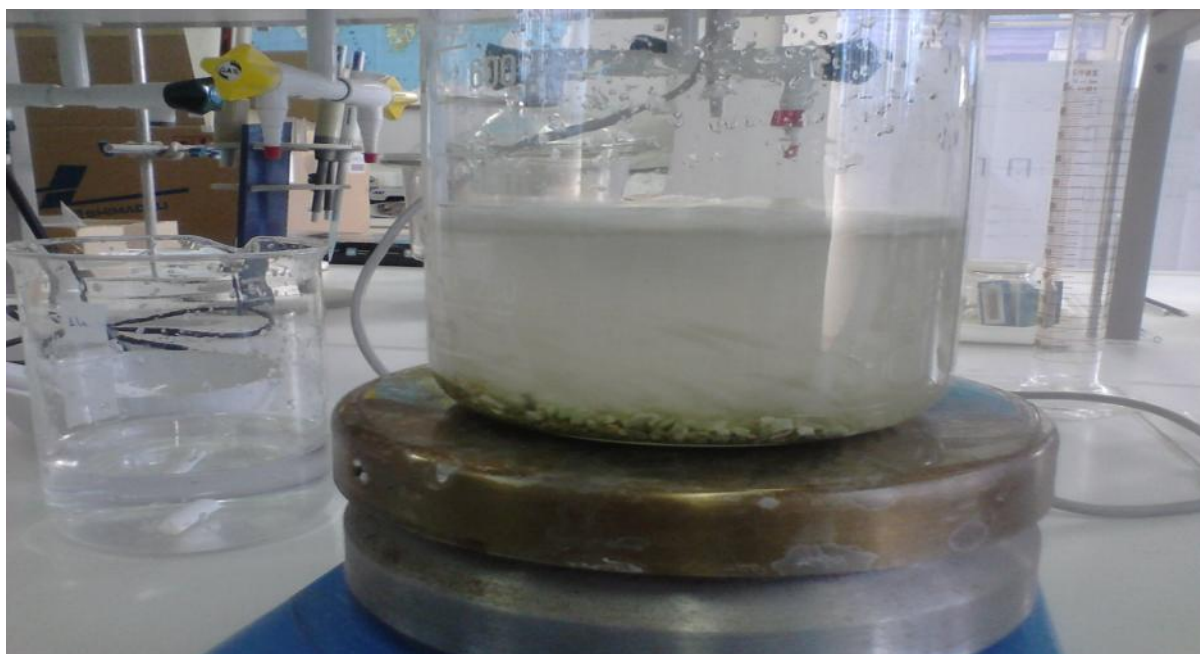
Εικόνα 2. Ζεόλιθος κοκκομετρίας 0 – 1mm



Εικόνα 3. Ζύγιση ζεόλιθου



Εικόνα 4. Χρήση Jar tester για μηχανική ανάδευση συστήματος νερού-ζεόλιθου



Εικόνα 5. Σύστημα νερού - ζεόλιθου

Κεφάλαιο 5 - Αποτελέσματα – Συζήτηση

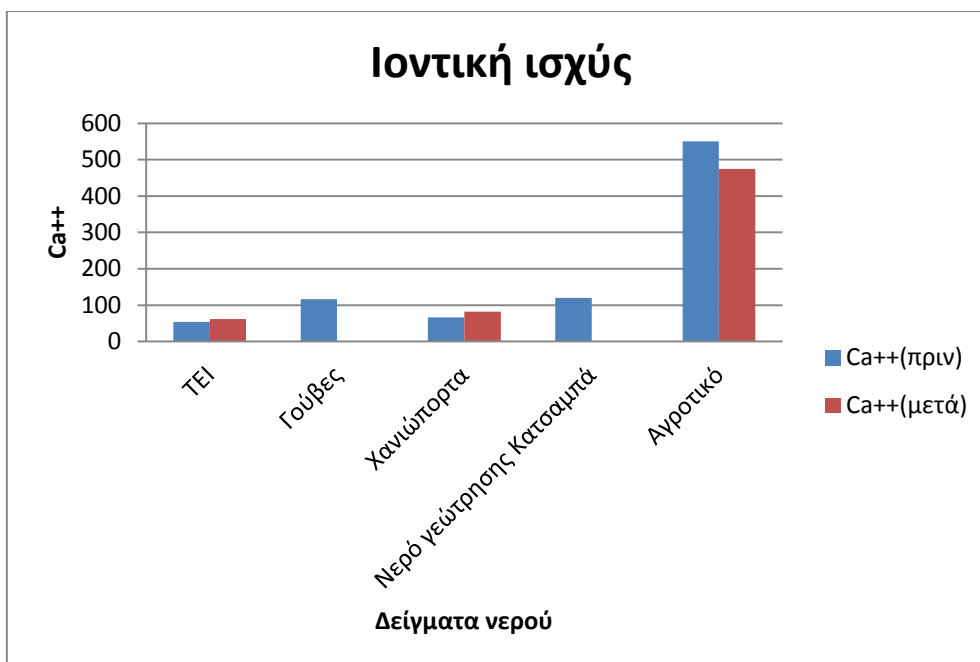
Πραγματοποιήθηκαν πέντε διαφορετικά πειράματα αποσκλήρυνσης νερού με χρήση ζεόλιθου με νερό από πέντε διαφορετικές περιοχές της Κρήτης. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα είναι:

- Κοκκομετρία 0-1mm: Κοκκομετρία είναι η μέτρηση των διαστάσεων των κόκκων ενός μείγματος και η μελέτη της κατανομής τους στη μάζα του συνδεδετικού υλικού μέσα στο οποίο περιέχονται.
- Συγκέντρωση υλικού: 10 gr ζεόλιθου
- Δείγματα νερού: νερά σε φυσικές συνθήκες δηλαδή σε φυσικό pH χωρίς να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία.
- Χρόνος ανάδευσης: 20 ώρες
- Στροφές ανάδευσης: 140 rpm (στροφές /λεπτό)

5.1 - Ιοντική Ισχύς

1^ο πείραμα: Ιοντική ισχύς – δοκιμή σε πέντε διαφορετικά δείγματα νερού με πέντε διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας, κάτω από φυσικές συνθήκες

Ιοντική ισχύς	ΠΡΙΝ				ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
	Ca ⁺⁺ (πριν)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Φυσικό pH	(Α.Σ) (D)	Ca ⁺⁺ (μετά)	Α.Σ (D)	Αγωγιμότητα (μS/cm) με διήθηση	χωρίς διήθηση
ΤΕΙ	54,1	384	8,26	8,68	61,5		385	392
Γούβες	116,29	3190	7,05				2585	
Χανιώπορτα	66,1	1412	8,15	9,43	82	9,38	1541	
Νερό γεώτρησης Κατσαμπά	120,3	3770	7,66	16,66	93	18,48		
Αγροτικό	550,7	2632	7,13		475		2536	



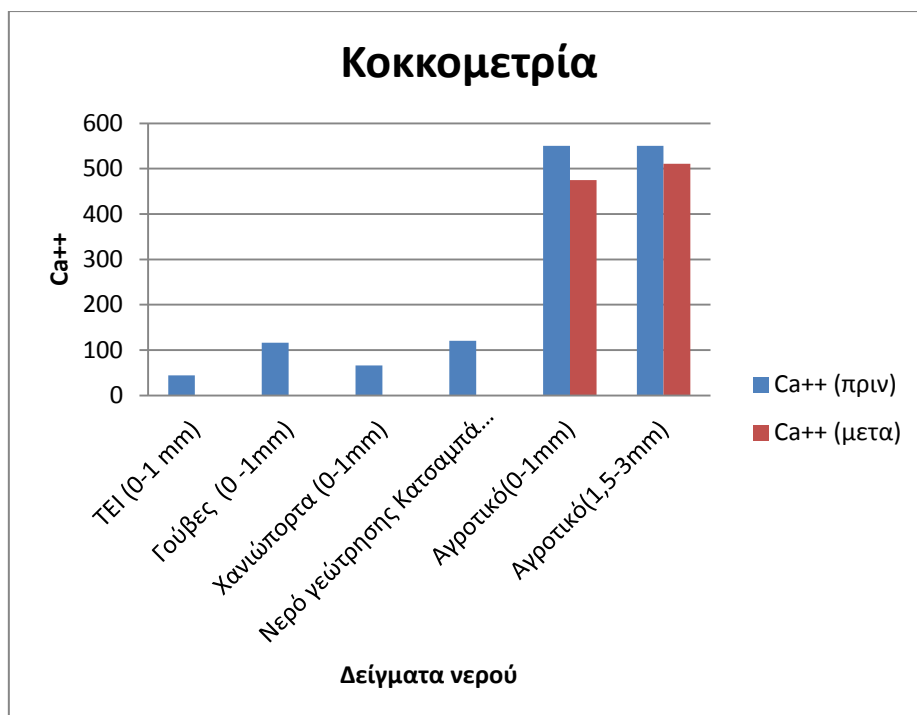
Διάγραμμα 1- Μεταβολή ασβεστίου σε διαφορετικά δείγματα νερού (διαφορετικής ιοντικής ισχύος) με χρήση ζεόλιθου

Στο διάγραμμα παραπάνω παρατηρούμε ότι σε φυσικές συνθήκες, δηλαδή χωρίς την αλλαγή κάποιας παραμέτρου των δειγμάτων δεν φάνηκε να γίνεται ορατή αποσκλήρυνση .

5.2 -Κοκκομετρία

2^ο πείραμα: Αλλαγή κοκκομετρίας – Η αλλαγή κοκκομετρίας έγινε στο αγροτικό νερό από την περιοχή των Βουτών με τιμή 0-1mm στο πρώτο δείγμα και 1,5-3mm στο δεύτερο δείγμα.

Δείγμα νερού	Ασβέστιο		Φυσικό pH	Πριν	Μετά
	Ca ⁺⁺ (πριν)	Ca ⁺⁺ (μετά)		Αγωγιμότητα (μS/cm)	
Αγροτικό (0-1mm)	550,7	475	7,13	2632	2536
Αγροτικό (1,5-3mm)	550,7	511	7,13	2632	2533



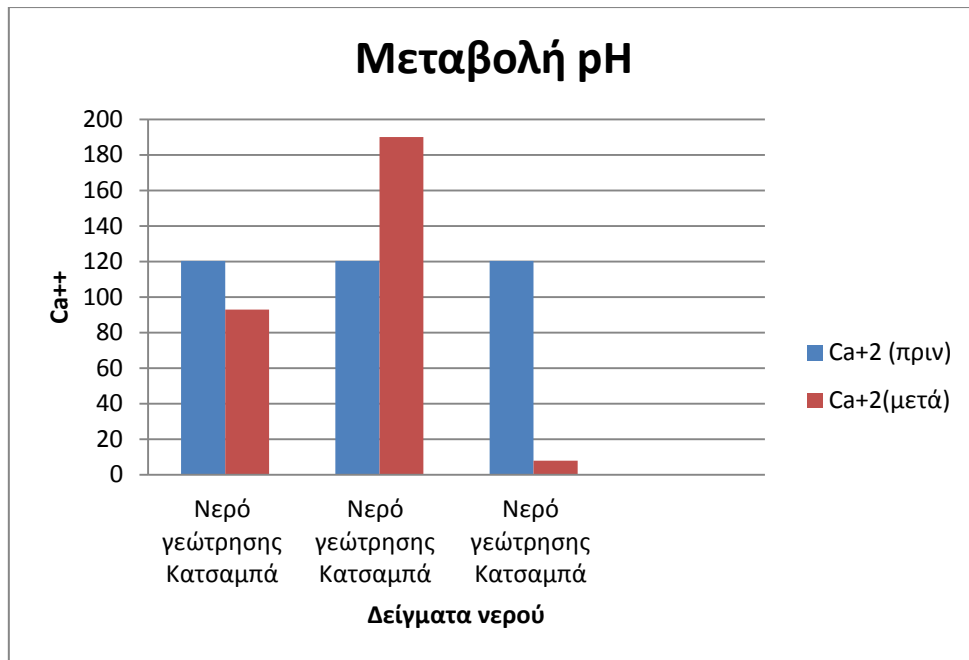
Διάγραμμα 2 – Μεταβολή ασβεστίου με χρήση διαφορετικής κοκκομετρίας ζεόλιθου στο νερό αγροτικής χρήσης

Στο Διάγραμμα 2 παρατηρούμε ότι από την αλλαγή κοκκομετρίας ζεόλιθου, καλύτερη απόδοση ως προς την μείωση ασβεστίου στο νερό αγροτικής χρήσης παρουσιάστηκε να δίνει αυτή των 0-1mm, η οποία και εφαρμόστηκε στα επόμενα πειράματα. Πιθανή αιτία η αύξηση της ενεργής επιφάνειας της μικρότερης κοκκομετρίας, με αποτέλεσμα να είναι πιο δραστική.

5.3 - Μεταβολή pH

3^ο πείραμα: Αλλαγή pH – Η αλλαγή pH έγινε στο νερό της Νερό γεώτρησης Κατσαμπά, πριν την προσθήκη ζεόλιθου κοκκομετρίας 0-1mm.

Δείγμα νερού	pH	Ca ⁺⁺ (πριν)	Ca ⁺⁺ (μετά)	pH(μετά)
Νερό γεώτρησης Κατσαμπά	7,66	120,3	93	7,65
Νερό γεώτρησης Κατσαμπά	4,96	120,3	190	7,62
Νερό γεώτρησης Κατσαμπά	12	120,3	8,02	10,5



Διάγραμμα 3. Ρύθμιση αρχικού pH (7,66, 4,96 κ 12) στο νερό γεώτρησης Κατσαμπά και συσχέτισή της με την μείωση ασβεστίου με χρήση ζεόλιθου

Στο Διάγραμμα 3 παρατηρούμε ότι από την αλλαγή του pH αυξάνοντας την τιμή του από 7,66 (φυσικό pH) σε 12,01, μειώθηκε η συγκέντρωση του ασβεστίου σε 8,02 ppm άρα επετεύχθη αποσκλήρυνση λόγω της ιοντοανταλλακτικής ικανότητας του ζεόλιθου, η οποία λειτουργεί καλύτερα σε υψηλές τιμές pH.

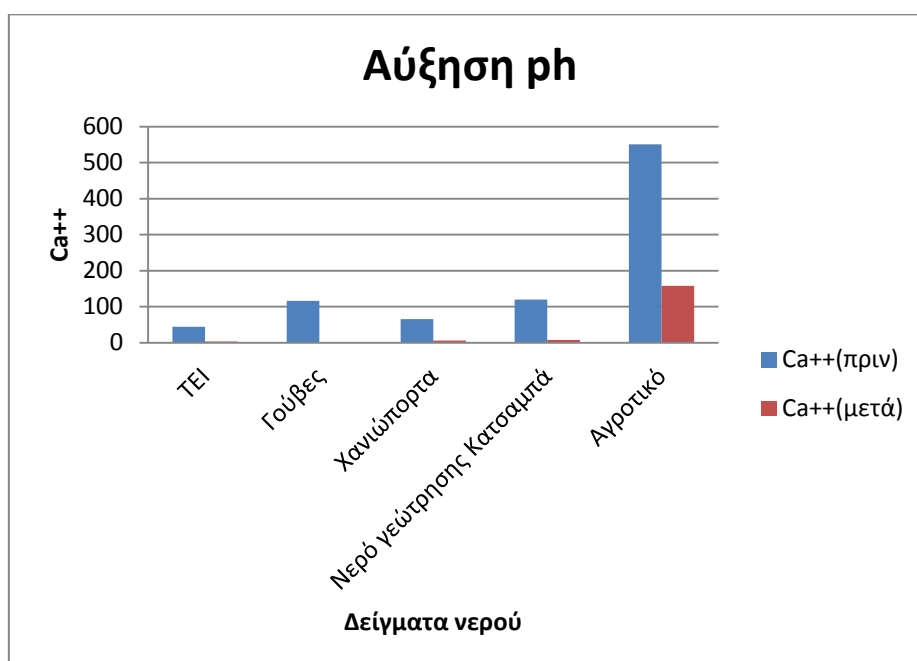
Αντίθετα, μειώνοντας την τιμή του pH από 7,66 (φυσικό pH) σε 4,96, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου σε 190 ppm, άρα δεν έγινε αποσκλήρυνση.

5.4 - Αύξηση pH σε όλα τα δείγματα

4^ο πείραμα: Αύξηση του pH σε 12 σε όλα τα διαφορετικά δείγματα.

Παρατηρώντας από το διάγραμμα 3 ότι η αύξηση του pH συντελεί στη μείωση της συγκέντρωσης του ασβεστίου, αυξήσαμε την τιμή του pH σε 12 σε όλα τα δείγματα με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά και των υπολοίπων δειγμάτων και να πιστοποιηθεί η γενικότερα καλύτερη απόδοση του ζεόλιθου σε υψηλές τιμές pH. Παράλληλα για το νερό γεώτρησης Κατσαμπά μετρήθηκε και η περιεκτικότητα του δείγματος σε νάτριο πριν και μετά την χρήση ζεόλιθου.

αύξηση του pH σε 12						
Δείγμα	pH(πριν)	pH(μετά)	Ca ⁺⁺ (πριν)	Ca ⁺⁺ (μετά)	Na ⁺ (πριν)	Na ⁺ (μετά)
ΤΕΙ	12	10,22	44,1	3,609		
Γούβες	12	10,18	116,29	0,401		
Χανιώπορτα	12	10,56	66,1	6,015		
Νερό γεώτρησης Κατσαμπά	12	10,5	120,3	8,02	904	1069
Αγροτικό	12	9,68	550,7	158		



Διάγραμμα 4 – Μεταβολή ασβεστίου στα νερά με αύξηση του pH σε 12 σε όλα τα δείγματα πριν τη χρήση ζεόλιθου

Στο διάγραμμα 4 παρατηρούμε ότι από την αύξηση του pH του νερού, σε 12 αρχικά πριν την προσθήκη ζεόλιθου, ο ζεόλιθος καταφέρνει να μειώσει αποτελεσματικά το ασβέστιο σε όλα τα δείγματα του νερού που δοκιμάστηκαν. Παράλληλα εξετάζοντας το νάτριο πριν και μετά τη δραστική αφαίρεση ασβεστίου από το δείγμα της γεώτρησης Κατσαμπά με χρήση ζεόλιθου, φάνηκε ότι αυξήθηκε προφανώς λόγω της ιοντοανταλλαγής του νατρίου που περιέχεται στο ζεόλιθο, με το ασβέστιο που προσροφήθηκε από το νερό.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε τις ικανότητες του φυσικού ζεόλιθου στην αποσκλήρυνση υπόγειων, σκληρών νερών, εξετάζοντας διάφορες παραμέτρους όπως την ιοντική ισχύ, την αλλαγή του pH και την αλλαγή της κοκκομετρίας. Η τιμή της συγκέντρωσης του ζεόλιθου σε όλα τα πειράματα παρέμεινε σταθερή σε όλα τα δείγματα του νερού και ήταν 10 gr.

Συγκεκριμένα, τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έγιναν κάτω από καθορισμένες συνθήκες οι οποίες είναι:

- 10gr συγκέντρωση ζεόλιθου,
- 140 rpm(στροφές / λεπτό),
- 20 ώρες χρόνος ανάδευσης ,
- Κοκκομετρία 0-1 mm.

Αρχικά έγιναν μετρήσεις σε πέντε διαφορετικά δείγματα νερού με διαφορετικές αγωγιμότητες όπου δεν είχαμε κάποιο αποτέλεσμα όσον αφορά στην τιμή της συγκέντρωσης του ασβεστίου, σημαντικό παράγοντας που υποδεικνύει την σκληρότητα του νερού. Στην συνέχεια δοκιμάσαμε την αλλαγή κοκκομετρίας σε ένα δείγμα νερού 0-1mm και 1,5 - 3 mm όπου διαπιστώσαμε την μείωση της συγκέντρωσης του ασβεστίου εξαιτίας της αύξησης της ενεργής επιφάνειας του ζεόλιθου, στην χαμηλότερη κοκκομετρία. Η χαμηλότερη τιμή 0 – 1mm μεγέθους κόκκου, είναι πιο αποτελεσματική στην συμβολή της αποσκλήρυνσης γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η κοκκομετρία τόσο πιο λίγο διαμοιράζεται ο 'ρύπος' στην επιφάνεια δράσης.

Έπειτα μεταβάλλαμε την τιμή του pH σε ένα δείγμα νερού, αρχικά αυξάνοντάς την στο 12 και στην συνέχεια μειώνοντας την στο 4,96. Η αύξηση αυτή έδειξε αισθητή μείωση στην συγκέντρωση του ασβεστίου του δείγματος νερού λόγω της αυξημένης ιοντοανταλλακτικής ικανότητας του ζεόλιθου σε υψηλές τιμές pH (παρατήρηση σύμφωνα με τη θεωρία) και κατά συνέπεια επετεύχθη ικανοποιητική αποσκλήρυνση, ως προς το ασβέστιο, του νερού. Η μείωση του pH από την άλλη δεν επέφερε κάποιο αποτέλεσμα, το αντίθετο μάλιστα παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου τελικά. Τέλος, αυξήσαμε το pH σε όλα τα δείγματα νερού διατηρώντας την ίδια συγκέντρωση ζεόλιθου (10gr) και την ίδια κοκκομετρία (0-1mm) παρατηρώντας ότι τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά και για τα υπόλοιπα δείγματα.

Οι μεγάλοι κενοί χώροι στη δομή των ζεόλιθων επιτρέπουν την είσοδο (αλλά και την εύκολη έξοδο και ανταλλαγή) κατιόντων μεγάλων διαστάσεων όπως νατρίου, καλίου, βαρίου, ασβεστίου καθώς και μορίων όπως νερού, αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων.

Τα κατιόντα έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται εντός των πόρων του κρυστάλλου και να ανταλλάσσονται με άλλα κατιόντα, χωρίς να επηρεάζεται, σημαντικά, η δομή του πλέγματος, προσδίδοντας στους ζεόλιθους την ικανότητα της ιοντοεναλλαγής. Συνήθως τα κατιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} ανταλλάσσονται από ιόντα Na^+ και K^+ και αντίθετα. Αυξάνοντας την τιμή του pH των δειγμάτων του νερού σε 12 παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της

συγκέντρωσης του ασβεστίου που οφείλεται στην ιοντοανταλλακτική ικανότητα του προσροφητικού μέσου, ζεόλιθου σε υψηλές τιμές pH, παρατήρηση σύμφωνη με την βιβλιογραφία. Επίσης, διαπιστώθηκε η ιοντοανταλλακτική δράση του ζεόλιθου κατά την οποία ασβέστιο από το νερό προσροφήθηκε και ανταλλάχθηκε με νάτριο του ίδιου του ζεόλιθου, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε νάτριο του νερού.

Κεφάλαιο 7- Επίλογος

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη – παρουσίαση της προσροφητικής ικανότητας του φυσικού ζεόλιθου σε δείγματα υπόγειου, σκληρού, νερού.

Λόγω της ορυκτολογικής του σύστασης αλλά και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του, ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται ως φυσικό φίλτρο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική μείωση των τιμών της αλατότητας, της συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών και κατά συνέπεια και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και σε νερά άρδευσης.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τα παραπάνω και τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν συμπεραίνουμε ότι ο φυσικός ζεόλιθος λειτουργεί ικανοποιητικά, χωρίς να υποστεί κάποια χημική τροποποίηση, σαν μέσω αποσκλήρυνσης, και ειδικά μείωσης του ασβεστίου στο νερό. Βέβαια, χημική τροποποίηση και εμπλουτισμός του θα βελτίωνε ακόμα περισσότερο τις ιδιότητες και τη δράση του με αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη μείωση και άλλων μετάλλων πέρα από το ασβέστιο.

Βιβλιογραφία

- Εφημερίς της κυβερνήσεως. (2006), 6–8.
- Ιωαννίδου, Β. (2012). Έλεγχος Βασικών Παραμέτρων Ποιότητας Νερού Στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου. *Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Κρήτης*.
- Νταρακάς, Ε. (2014). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και Διεργασίες επεξεργασίας νερού. *Τομέας Υδραυλικής Και Τεχνικής Περιβάλλοντος. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 1–66.
- Fountoukidis, E. (n.d.). Χημική ανάλυση νερού προσδιορισμός σκληρότητας. *Χημική Ανάλυση Νερού Προσδιορισμός Σκληρότητας. Τμήμα Φυσικής Χημείας Και Τεχνολογίας Υλικών, ΤΕΙ Πειραιά*, 1–33.
- Προστασία των Υπόγειων Υδάτων στην Ευρώπη, Η ΝΕΑ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ - ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΤΙΚΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ. (2008). European Communities. doi:10.2779/83507
- Σιγάλας, Ι. (2012). Ποιότητα νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης στη Σαντορίνη. *Τμήμα Μηχανολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου*, 1–114.
- (http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D)
- (http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/9283-14.1413798679234.pdf)
- Αλετράρη, Μ. (2010). Ποιότητα και ασφάλεια του νερού Χημικός Έλεγχος πόσιμου & εμφιαλωμένου. *Γενικό Χημείο Του Κράτους, Υπουργείο Υγείας*, 1–32.
- http://minos.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY225/lectures/2-Zeolite_NaX.pdf
- <http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%9A%CE%BF%CE%BA%CE%BA%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1>
- <http://www.zeolithos-ellada.gr/>
- Dionisiou, O.-N. (2010). ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΩΣ ΜΕΣΟ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ. *ΤΜΗΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΕΛΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΛΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*, 1–109.
- http://epidem.med.uth.gr/gr/nomoi_/892.pdf
- Μπλέτσα, Α., & Ρεδούκα, Ι. (2010). ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ ΚΑΙ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ. *ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*, 1–69.
- ([http://www.cys.org.cy/applications/assets/231%20\(presentation12\).pdf](http://www.cys.org.cy/applications/assets/231%20(presentation12).pdf))
- (Βάρβογλης Αναστάσιος, Βάρβογλης Χάρης (9 Μαρτίου 2014). *«Ζεόλιθος: ένα ορυκτό, δεκάδες χρήσεις»*. Το Βήμα)
- http://www.deyax.org.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=38
- <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=gdgMvMGigc4%3D&tabid=249&language=el-GR>
- eclass μαθήματος χημική και περιβαλλοντική τεχνολογία