



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων στα νερά: κίνδυνοι και μέθοδοι
απομάκρυνσης»**

Δανάη Παππά, 20679127

Επιβλέπων: Ιωάννης Παπαδάς

ΑΘΗΝΑ, 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων στα νερά: κίνδυνοι και μέθοδοι
απομάκρυνσης»**

Δανάη Παππά, 20679127

Επιβλέπων: Ιωάννης Παπαδάς

Η εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του ΠΠΣ για τη λήψη του
πτυχίου της Κατεύθυνσης Δημόσιας Υγείας
του Τμήματος Δημόσιας και Κοινοτικής Υγείας
της Σχολής Δημόσιας Υγείας, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

ΑΘΗΝΑ, 2025



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF PUBLIC HEALTH
DEPARTMENT OF PUBLIC AND COMMUNITY
HEALTH

THESIS

**«Determination of nitrate ions in waters: hazards and removal
methods»**

Danai Pappa, 20679127

Supervisor: Ioannis Papadas

ATHENS, 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

«Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων στα νερά: κίνδυνοι και μέθοδοι απομάκρυνσης»

Μέλη Επιτροπής Εξέτασης συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε από την κάτωθι Επιτροπή Εξέτασης:

A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Βασσάλου Ευδοκία	Επίκουρη Καθηγήτρια	
2	Ντελέζος Κωνσταντίνος	Επίκουρος Καθηγητής	
3	Παπαδάς Ιωάννης	Επίκουρος Καθηγητής	

Athens, 2025

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παππά Δανάη του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 20679127 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Τμήματος Δημόσιας και Κοινωνικής Υγείας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό του, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα
ΠΑΠΠΑ ΔΑΝΑΗ



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Ιωάννη Παπαδά τόσο για την υποστήριξή όσο και για τη συνεργασία του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμεριστή συμπαράσταση και υπομονή κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο πρακτικής άσκησης μου αλλά και προϊστάμενο του Εργαστηρίου Ποιότητας Νερού του Γενικού Χημείου του Κράτους κ. Νικόλαο Νικόλη, τόσο για την μεταλαμπάδευση εμπειρίας και γνώσης αλλά και για τη βοήθεια ως προς τη διεκπαιρέωση της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το άζωτο αλλά και οι ενώσεις που σχηματίζει μπορούν να βρεθούν φυσικά στο νερό ή να παραχθούν μέσω ποικίλων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, κυρίως σε περιοχές με αυξημένη γεωργική δραστηριότητα. Μέσω αυτών μπορεί να επηρεάσει τα επιφανειακά ύδατα και να επιδράσει αρνητικά στην ποιότητα του νερού. Ακόμα, έχει την ικανότητα να θέσει σε κίνδυνο όχι μόνο τη χλωρίδα και την πανίδα αλλά και την υγεία των ανθρώπων και να προκαλέσει νιτρορύπανση. Η νιτρορύπανση των υδάτων αποτελεί ακόμα αιτία σοβαρής ανησυχίας σε πολλά κράτη μέλη της Ε.Ε. Σήμερα στο σύνολο των κρατών μελών το 14,1% των υπόγειων υδάτων υπερβαίνει ακόμη το όριο συγκέντρωσης σε νιτρικά ιόντα που έχει καθοριστεί για το πόσιμο νερό. Οι επιπτώσεις της νιτρορύπανσης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τους κατάλληλους τρόπους απομάκρυνσης νιτρικών και νιτρώδων ιόντων. Οι τεχνολογίες και οι τεχνικές απομακρύνσης των νιτρικών ιόντων αναπτύσσονται και βελτιώνονται όσο προχωράει η τεχνολογία αλλά και η έρευνα του ανθρώπου πάνω στα θέματα περιβάλλοντος. Οι τρόποι απομάκρυνσης νιτρικών ιόντων περιλαμβάνουν την ηλεκτροκατάλυση, τη φωτοκατάλυση αλλά και τη νεά αναπτυσσόμενη μέθοδο που αφορά την προσρόφιση μέσω νανοϋλικών, η οποία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο έρευνας. Τα όρια ανίχνευσης των νιτρικών αλλά και των νιτρώδων ιόντων ορίζονται από την εκάστοτε νομοθεσία σε εθνικό και κατ'έκταση σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Οι νομοθεσίες αυτές μπορεί κατ'εξαιρεση να αναθεωρηθούν ανάλογα με τα περιστατικά ανίχνευσης νιτρικών ιόντων εκτός των καθορισμένων ορίων σε δειγματοληψίες που λαμβάνουν χώρα σε επιφανειακά νερά. Η έκθεση στα νιτρικά ιόντα μπορεί να προκληθεί με διάφορους τρόπους και είναι πιθανό να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Λόγω της χρησιμότητας τους στη γεωργία αλλά και στην ιατρική κρίνεται απαραίτητη η λήψη μέτρων για αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης αλλά και για την επίτευξη του στόχου της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας σχετικά με τη μείωση των απειλών θρεπτικών ουσιών κατά τουλάχιστον 50% έως το 2030.

Λέξεις κλειδιά: νιτρικά ιόντα, άζωτο, πόσιμο νερό, υγεία, περιβάλλον, ρύπανση, κίνδυνοι, μέθοδοι απομάκρυνσης

ABSTRACT

Nitrogen and its compounds can be found naturally in the environment or produced by anthropogenic activities, mainly in areas with increased agricultural activity. Through these, it can affect surface waters and have a negative impact on water quality. Moreover, it has the ability to endanger not only the flora and the fauna but also human health and cause nitrate pollution. Water pollution from nitrates is still a cause of serious concern in many E.U. member states. Today, across all member states, 14,1% of groundwater still exceeds the concentration limit for nitrate ions set for drinking water. The impacts of nitrate pollution can be minimized for removing nitrate and nitrite ions. The technologies and techniques for removing nitrate ions are developing and improving as technology and human research on environmental issues progress. The methods for removing nitrate ions include electrocatalysis, photocatalysis and the new developing method involving absorption through nanomaterials, which is still in the early stages of research. The detection limits of nitrates and nitrites are defined by the respective legislation at the national level and, consequently, at the European and global levels. These legislations may, in exceptional cases, be revised depending on incidents of nitrate ions detection beyond the established limits in samples taken from surface waters. The exposure to nitrate ions can occur in various ways and is likely to have adverse effects on human health. Due to their usefulness in agriculture as well as in medicine, it is deemed necessary to take measures to avoid further pollution and to achieve the goal of the European Green Deal regarding the reduction of nutrient pollution by at least 50% by 2030.

Key-words: nitrate ions, nitrogen, drinking water, health, environment, pollution, hazards, removal methods

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1: Νερό και Δημόσια Υγεία.....	11
1.1. Επεξεργασία του νερού.....	13
1.1.1. Επεξεργασία στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού(MEN).....	14
1.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.....	15
1.2.1. Χημικά συστατικά στο νερό.....	16
1.2.2. Πηγή προέλευσης χημικών συστατικών στο νερό.....	17
1.2.3. Απομάκρυνση χημικών ουσιών από το νερό.....	18
Κεφάλαιο 2: Στοιχεία του Αζώτου.....	18
2.1. Χαρακτηριστικά και χρήσεις του αζώτου.....	18
2.2. Φυσικός κύκλος του αζώτου.....	20
2.3. Ενώσεις του αζώτου	22
Κεφάλαιο 3:Νιτρικά ιόντα και νιτρορύπανση.....	23
3.1.Νιτρικών ιόντων.....	23
3.2. Νιτρορύπανση.....	24
3.3. Πηγές νιτρορύπανσης.....	24
3.3.1. Ανθρωπογενείς πηγές.....	25
3.3.2. Γεωγονικές πηγές.....	26
Κεφάλαιο 4: Επιπτώσεις νιτρικών ιόντων στην υγεία του ανθρώπου.....	26
4.1. Τρόποι έκθεσης ανθρώπων σε νιτρικά.....	26
4.1.1. Έκθεση μέσω τροφών.....	27
4.1.2. Έκθεση μέσω πόσιμου νερού.....	28
4.2. Επιπτώσεις νιτρικών ιόντων στον ανθρώπινο οργανισμό.....	29
4.2.1. Αιματολογικές διαταραχές.....	29
4.2.2. Καρκίνος.....	30
4.2.3. Θυρεοειδής αδένας.....	31
4.2.4. Εγκυμοσύνη.....	32
Κεφάλαιο 5: Επιπτώσεις νιτρικών ιόντων στο περιβάλλον.....	32
5.1. Επίδραση των νιτρικών ιόντων στα οικόσιτα ζώα.....	32
5.2. Επίδραση των νιτρικών ιόντων στο νερό.....	33
5.2.1. Επιπτώσεις στα υπόγεια νερά.....	33
5.2.2. Επιπτώσεις στα επιφανειακά νερά.....	34
5.2.3. Επιπτώσεις στο πόσιμο νερό.....	34

Κεφάλαιο 6: Ανίχνευση και απομάκρυνση νιτρικών ιόντων από το νερό.....	35
6.1. Μέθοδοι ανίχνευσης νιτρικών ιόντων.....	35
6.1.1. Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες.....	35
6.1.2. Βιοαισθητήρες.....	36
6.1.3. Φασματοσκοπικοί μέθοδοι.....	37
6.2. Τρόπο απομάκρυνσης νιτρικών ιόντων.....	37
6.2.1 Ανταλλαγή ιόντων.....	37
6.2.2.Αντίστροφη ώσμωση.....	38
6.2.3. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι.....	39
6.2.4 Μέθοδος προσρόφησης.....	41
6.2.5. Βιολογική απονιτροποίηση.....	41
Κεφάλαιο 7: Νομοθεσία ελέγχου ποιότητας νερού.....	41
7.1. Όρια ανίχνευσης νιτρικών ιόντων.....	41
7.2. Νομοθετικό πλαίσιο για την ποιότητα του νερού.....	42
7.3. Υγειονομικός έλεγχος νερού.....	43
7.4. Νομοθετικό πλαίσιο για διαχείριση αποβλήτων.....	45
7.5. Κανονισμός REACH.....	45
7.6. Κανονισμός CLP.....	46
7.7. Οριακές τιμές.....	46
Κεφάλιο 8: Μετρήσεις νιτρικών ιόντων.....	47
8.1. Στοιχεία μετρήσεων.....	47
8.2. Μέθοδος ανάλυσης.....	49
Κεφάλαιο 9: Μέτρα προστασίας και πρόληψη.....	51
9.1. Μέτρα πρόληψης στη γεωργία.....	51
9.2. Μέτρα πρόληψης στην οικία.....	53
Συμπεράσματα.....	54
Συζήτηση.....	54
Μελλοντική πρόταση για τους Επόπτες Υγείας.....	54
Βιβλιογραφία.....	56
Βιβλιογραφία εικόνων.....	60
Βιβλιογραφία πινάκων.....	60

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο περιβάλλον εκλύονται διάφορες χημικές ουσίες οι οποίες προέρχονται είτε φυσικά είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία αλλά και να επιδράσουν στην ποσότητα χημικών στοιχείων στο έδαφος, στα φυτά και κυριώς στο νερό. Τα τελευταία χρόνια αποτελεί βασική ανησυχία του παγκόσμιου ερευνητικού πληθυσμού η διασφάλιση έγκαιρης και ασφαλής παροχής νερού αλλά και βιώσιμης διαχείρισης των υπάρχοντων υδατικών πόρων προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της παγκόσμιας λειψιδρίας. Τόσο στα επιφανειακά νερά όσο και στα υπόγεια εντοπίζονται συγκεντρώσεις άφθονων διαλυμένων συστατικών μεταξύ αυτών και διάφορα ιόντα όπως τα νιτρικά. (Nieder and Benbi, 2022)

Το άζωτο (N) αποτελεί ένα πολύ βασικό χημικό στοιχείο της ζωής και είναι το τέταρτο στοιχείο που βρίσκεται σε αφθονία σε βιομάζα και συμμετέχει στην περιβαλλοντική οξειδοαναγωγική χημεία. Ένα από τα πιο βασικά προϊόντα του αζώτου είναι το νιτρικό ιόν ή νιτρικό άλας. Τα νιτρικά ιόντα είναι ένα από τα κυριότερα παράγωγα του αζώτου και μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο άμεσα αλλά και έμμεσα την ποιότητα του νερού και κατ'επέκταση την υγεία του ανθρώπου, κυριώς σε περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα. Ο άνθρωπος μπορεί να έρθει κατά τη διάρκεια της ζωής του, με ποικίλους τρόπους, σε επαφή με αυτά και γι αυτό τον λόγο έχουν θεσπιστεί από τους αρμόδιους φορείς και νομοθεσίες τα όρια ανίχνευσης των νιτρικών ιόντων αλλά και των νιτρωδών ιόντων που απορρέουν από αυτά. Λόγω των επικίνδυνων επιδράσεων που έχουν στην πανίδα και στη χλωρίδα και στην ανθρώπινη υγεία, ανακαλύπτονται όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία όλο και πιο νέοι μέθοδοι για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων από τους υδατικούς πόρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Μέχρι και πριν 15 χρόνια η χρήση πόσιμου νερού αλλά και η πρόσβαση σε συστήματα αποχέτευσης δεν αποτελούσαν δικαίωμα αλλά προνόμιο λίγων ανθρώπων που είχαν την οικονομική δυνατότητα να τα χορηγούνται. Συγκεκριμένα, στις 28 Ιουλίου του 2010 η Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών αναγνώρισε πλέον επίσημα «το δικαίωμα σε ασφαλές και καθαρό πόσιμο νερό ως ανθρώπινο δικαίωμα, το οποίο είναι απαραίτητο για την πλήρη απόλαυση της ζωής και όλων των ανθρωπίνων δικαιωμάτων». Ακόμα, τέθηκε ως στόχος βιώσιμης ανάπτυξης (SDG) το 2030 να έχουν όλοι οι άνθρωποι καθολικά ανεξαρτήτως οικονομικής και κοινωνικής τάξης ισότιμη πρόσβαση σε υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης παγκοσμίως. (Amebelu *et al.*, 2021)

Το νερό αποτελεί τη βάση για την ύπαρξη ζωής και θα πρέπει για αυτό τον λόγο να είναι όχι μόνο πόσιμο αλλά και άμεσα διαθέσιμο παντού και πάντα. Αυτό θα πρέπει να ισχύει ασχέτως από τον λόγο χρήσης του (οικιακή χρήση, παραγωγή τροφίμων, ψυχαγωγία κλπ.). Η σωστή αξιοποίηση αλλά και διαχείριση των υπαρχόντων υδατικών πόρων σε μία χώρα συμβάλλει σταδιακά στην ακμή της οικονομίας και στη μείωση των επιπέδων φτώχειας, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων. (Nieder and Benbi, 2022)

Ωστόσο, η κακή ποιότητα του νερού, δηλαδή η ύπαρξη μικροοργανισμών, καθιστά το νερό τη βασική πηγή μετάδοσης ασθενειών όπως η χολέρα, η ηπατίτιδα Α, η διάρροια, η δυσεντερία, η πολιομυελίτιδα και ο τύφος. Η λανθασμένη διαχείριση ή ακόμα και η απουσία βασικών υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης θέτουν σε καθημερινό κίνδυνο την υγεία των ατόμων, ιδιαίτερα του προσωπικού σε εγκαταστάσεις υγειονομικού ενδιαφέροντος. Ακόμα, σε πολλά μέρη του κόσμου το νερό αποτελεί τη βάση για επιβίωση ή πολλαπλασιασμό εντόμων τα οποία μεταφέρουν και μεταδίδουν επικίνδυνες ασθένειες όπως ο Δάγγειος Πυρετός. Πολλά από αυτά δεν αναπαράγονται σε μολυσμένο νερό αλλά σε καθαρό με βασικό παράδειγμα τα σκευή πόσιμου νερού οικιακής χρήσης, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την κάλυψη τους με κάποιον τρόπο. (WHO, 2023). Η μειωμένη πρόσβαση σε καθαρό και πόσιμο νερό καθορίζεται και από κοινωνικούς παράγοντες όπως είναι η κοινωνικές και φυλετικές ανισότητες, η κλιματική αλλαγή, η αστικοποίηση αλλά και το ατομικό και οικογενειακό εισόδημα. Αντιθέτως, το προτέρημα της πρόσβασης σε παροχές υγιεινής και κυρίως σε πόσιμο νερό συμβάλλει: στην πρόληψη λοιμωδών νοσημάτων και στον περιορισμό των επιπτώσεων του, στον περιορισμό έκθεσης σε τοξικές χημικές ουσίες, στην αποσυμφόρηση του Συστήματος Υγείας αλλά και στον υγιεινό τρόπο ζωής των ανθρώπων. (WHO, 2023)

Επιπροσθέτως, η απώλεια πρόσβασης σε βασικές υπηρεσίες υγιεινής όπως είναι το λειτουργικό σύστημα αποχέτευσης και το πόσιμο νερό επηρεάζεται σημαντικά όχι μόνο από το επίπεδο δημόσιας υγείας αλλά και από κοινωνικούς παράγοντες όπως είναι οι κοινωνικές και φυλετικές ανισότητες, η κλιματική αλλαγή, η αστικοποίηση αλλά και το ατομικό και οικογενειακό εισόδημα. Αντιθέτως, τα άτομα που κατοικούν σε περιοχές που πληρούν τις σωστές συνθήκες υγιεινής υπερτερούν καθώς αυτές συμβάλλουν: στην πρόληψη λοιμωδών νοσημάτων και περιορισμό των επιπτώσεων του, στην περιορισμένη έκθεση των ατόμων σε τοξικές χημικές ουσίες, στην αποσυμφόρηση του συστήματος υγείας και τέλος στη σωστή διαβίωση των ανθρώπων. (Amebelu *et al.*, 2021)

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από διάφορες χημικές ουσίες όπως είναι τα νιτρικά ιόντα στις βιομηχανικές χώρες έχει προκαλέσει έντονη ανησυχία παγκοσμίως. Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν στο περιβάλλον και στην υγεία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες, όπως προαναφέρθηκε.

Γι' αυτόν τον λόγο ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) έδωσε κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες (Guidelines), οι οποίες έχουν θέσει ως κύριο στόχο την διατήρηση όχι μόνο ενός καλού επιπέδου δημόσιας υγείας αλλά και τον περιορισμό των ποικίλων επιδράσεων που έχουν παράγοντες στο πόσιμο νερό. Οι οδηγίες αυτές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας έχουν ως βάση στρατηγικές και νομοθεσίες και καθορίστηκαν από ομάδα ειδημόνων επιστημόνων που θέσπιζαν την αρμόδια υγειονομική αρχή. Εμπεριέχουν μέσα τους, αυτές οι οδηγίες, τη διαχείριση του συστήματος υγείας δηλαδή τον ορθό τρόπο λειτουργίας των διαφόρων υποδομών, αλλά και την παρακολούθηση αυτών προκειμένου να διασφαλίζεται ο αποδοτικό σχεδιασμός του. Ωστόσο, οι οδηγίες αυτές θα πρέπει να προσαρμόζονται στις ανάγκες της εκάστοτε χώρας και εποχής δηλαδή στα καιρικά φαινόμενα που προκύπτουν ως απόρροιας από την κλιματική αλλαγή (ξηρασία, έντονες βροχοπτώσεις, πλημμύρες κ.λπ.), στις δημογραφικές αλλαγές που επηρεάζουν την ποιότητα του πόσιμου νερού. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θέσει τέσσερις κατηγορίες χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Αυτές περιλαμβάνουν:

1. Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά. Δηλαδή η ύπαρξη ή μη παθογόνων στο πόσιμο νερό αλλά και η συγκέντρωσή τους (παθογόνα βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα και ελμίνθες). Κύρια προέλευση των μικροβίων αυτών αποτελούν τα κόπρανα.
2. Χημικά χαρακτηριστικά. Την ποιότητα του πόσιμου νερού προς κατανάλωση μπορεί να την επηρεάσει η ύπαρξη αλλά και η συγκέντρωση συγκεκριμένων χημικών ουσιών όπως: το ακρυλαμίδιο (acrylamide), τοalachlor (ζιζανιοκτόνο), το aldicarb (καρβαμιδικό εντομοκτόνο), aldrin και dieldrin (εντομοκτόνα), το αλουμίνιο, η αμμωνία, ανατοξίνες (κυανοβακτηριδιακές τοξίνες), αρσενικό κ.ά.
3. Ραδιενεργά χαρακτηριστικά. Δηλαδή η δόση ραδιενέργειας που έχει περάσει στο νερό κυρίως διαμέσου του εδάφους.
4. Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Δηλαδή η εμφάνιση, η οσμή αλλά και η γεύση του νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση.
(WHO, 2022)

Ο ρόλος των Εποπτών Δημόσιας Υγείας (Υγεινολόγων)

Η ποιότητα του πόσιμου νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση και κατ'επέκταση η διαφύλαξη της δημόσιας υγείας αποτελεί βασικό μέλημα των εποπτών δημόσιας υγείας. Γι' αυτόν τον λόγο τους έχουν ανατεθεί διάφορες αρμοδιότητες όπως:

1. Η επιτήρηση των συνθηκών και προτύπων υγείας, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται ο εντοπισμός και η εξέταση εστιών μόλυνσης αλλά και διερεύνηση των κρουσμάτων.
2. Η εφαρμογή των κανόνων αλλά και των προτύπων από τους αρμόδιους φορείς δημόσιας υγείας, οι οποίοι έχουν ως βασικό ρόλο την επιτήρηση της ποιότητας του πόσιμου νερού και κατ'επέκταση την επίτευξη των στόχων της Ε.Ε. για το πόσιμο νερό.
3. Η σωστή διαχείριση των υπαρχόντων υδάτινων πόρων, βοηθώντας έχοντας υποστηρικτικό ρόλο για την βελτίωση της παροχής του πόσιμου νερού.
4. Η έγκαιρη επέμβαση συνδυαστικά με τις αρμόδιες περιφερειακές και τοπικές αρχές, ώστε υπάρχει συνεχής επιτήρηση στα αποθέματα πόσιμου νερού.
5. Η συμμετοχή σε σχετικές έρευνες και μελέτες που αφορούν την αξιολόγηση του πόσιμου νερού αλλά και την αποφυγή της μετάδοσης ασθενειών και των βλαπτικών ως προς το νερό παραγόντων.
6. Η διαμόρφωση αναφορών για την κατάσταση της ποιότητας των υδατικών πόρων, συντάσσοντας ταυτόχρονα τις προτεραιότητες που είναι ωφέλιμο να δοθούν για την τήρηση ενός καλού επιπέδου δημόσιας υγείας.
(WHO, 2022)

1.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νερό υφίσταται κάποια βασικά στάδια επεξεργασίας, μέσω των οποίων καταλήγει στην τελική μορφή του και να καταστεί πόσιμο και έτοιμο για ανθρώπινη κατανάλωση.

1.1.1.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ (Μ.Ε.Ν.)

Η επεξεργασία του νερού πραγματοποιείται σε ειδικές εγκαταστάσεις που ονομάζονται Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Μ.Ε.Ν), οι οποίες έχουν αθροιστική διυλιστική ικανότητα 1.900.000 κ.μ. καθημερινά. Οι βασικές Μ.Ε.Ν. στο λεκανοπέδιο Αττικής υπάρχουν:

- Στο Γαλάτσι
 - Στις Αχαρνές
 - Στο Πολυδένδρι
 - Στη Μάνδρα Ασπροπύργου
- (ΕΥΔΑΠ, 2020)

Στάδια Επεξεργασίας Νερού

Τα στάδια επεξεργασίας νερού στις Μ.Ε.Ν. περιλαμβάνουν τα εξής στάδια:

➤ 1^ο στάδιο: Προσθήκη χλωρίου (Απολύμανση)

Η προχλωρίωση του νερού (προσθήκη χλωρίου) συμβάλλει στη θανάτωση των διάφορων μικροβίων που ήδη υπάρχουν στο προς επεξεργασία νερό, με απώτερο σκοπό την ευκολότερη μετέπειτα επεξεργασία τους.

➤ 2^ο στάδιο: Προσθήκη θεικού αργιλίου (Κροκίδωση)

Η κροκίδωση, δηλαδή η προσθήκη του θεικού αργιλίου, βοηθάει στην ένωση των στερεών σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στο νερό και κατ'έκταση στην καθίζηση τους.

➤ 3^ο στάδιο: Καθίζηση

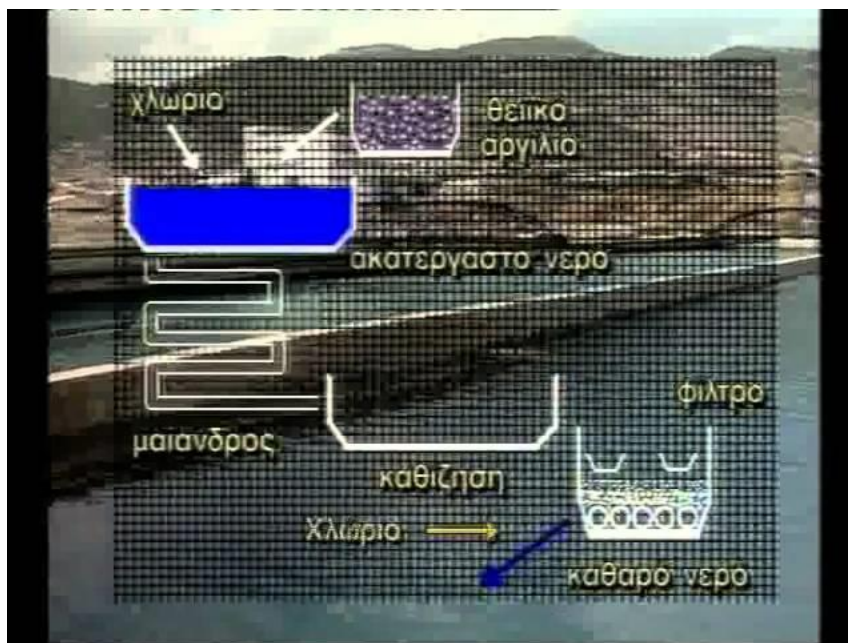
Αφού τα πλέον συσσωματωμένα στερεά περάσουν το στάδιο της κροκίδωσης κατακάθονται στον πυθμένας της δεξαμενής όπου διενεργείται η καθίζηση. Μέσω αυτής της διαδικασίας το νερό καθαρίζει από τα σωματίδια κατά 80%.

➤ 4^ο στάδιο: Φίλτραυση

Μετά την καθίζηση υπάρχει και ένα ποσοστό 20% ελαφρών σωματιδίων τα οποία λόγω σχεδόν μηδενικού βάρους δεν μπορούν να κατακάτσουν στον πυθμένα. Γι' αυτό κατακρατούνται σε ειδικά αμμοφίλτρα, μέσω των οποίων το νερό εξέρχεται καθαρό για ανθρώπινη κατανάλωση

➤ 5^ο στάδιο: Μεταχλωρίωση

Προκειμένου να είμαστε σίγουρη για την ποιότητα του νερού που προορίζεται για κατανάλωση, εφαρμόζεται συμπληρωματική χλωρίωση κατά την είσοδο του επεξεργασμένου νερού σε κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης και πριν την είσοδο στο δίκτυο ύδρευσης.
(ΕΥΔΑΠ, 2020)



Εικόνα 1: Στάδια επεξεργασίας νερού στις Μ.Ε.Ν.(ΕΥΔΑΠ,2023)

1.2. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νερό διαθέτει κάποια βασικά χαρακτηριστικά τα οποία κατατάσσονται σε τρεις Κατηγορίες όπως αναφέρεται παρακάτω:

1. Φυσικά χαρακτηριστικά
2. Χημικά χαρακτηριστικά
3. Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

(Kambale V., 2020)

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Αιωρούμενα στερεά (λάσπη, λίπη λαδιού, περίσσεια οργανικών ουσιών)	Διαλυμένα στερεά	Escherichia coli(όριο 100mL)
Θολότητα	pH (6.5-8.5)	Κολοβακτηριοειδή (0/100mL)
Χρώμα	Αλκαλικότητα (όριο ποσίμου νερού 200mg/L)	Clostridium perfringens (0/100mL)
Γεύση	Σκληρότητα (όριο: 300mg/L)	Εντερόκοκκοι (0/100mL)
Οσμή	Φθοριούχα (όριο: 1mg/L)	

Θερμοκρασία (1°C-25°C)	Χλωριώδη (όριο 0,25 mg/L)	
	Νιτρικά Ιόντα (όριο 50 mg/L)	
	BOD, COD	
	Μέταλλα <ul style="list-style-type: none"> • Αρσενικό (10 µg/L) • Βόριο (1 µg/L) • Νικέλιο (20 µg/L) • Χρώμιο (50 µg/L) • Χαλκός (2 µg/L) • Μόλυβδος (10 µg/L) • Υδράργυρος(1 µg/L) • Αντιμόνιο (5 µg/L) • Σελήνιο (10 µg/L) 	

Πίνακας 1: Κατηγορίες ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού (Kambale V.,2020 &ΕΥΑΘ,2024)

Θεσμικό πλαίσιο παρακολούθησης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης

Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση ΑΔΑ:9Ρ6Α465ΦΥΟ-ΥΕ3 του Υπουργείου Υγείας το θεσμικό πλαίσιο για την παρακολούθηση της ποιότητας νερού για ανθρώπινη κατανάλωση διαμορφώνεται από τις εξής διατάξεις:

- Τη Δ1(δ)/ ΓΠ οικ. 27829/15.5.2023 ΚΥΑ με θέμα «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2020 (L435/1, 23.12.2020) (Β' 3525).
- Την Π/112/1057/1.2.2016 (Β' 241) ΚΥΑ με την οποία προσαρμόζεται η Ελληνική Νομοθεσία στην Οδηγία 2013/51/ΕΥΡΑΤΟΜ του Συμβουλίου της 22ας Οκτωβρίου 2013, π(ερί «Θέσπισης απαιτήσεων προστασίας της υγείας του πληθυσμού από ραδιενεργές ουσίες που περιέχονται στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης», όπως ισχύει.
- Την Γ3α/761/1968 Υγ. Διάταξη, (Β' 189, Β' 988) όπως ισχύει σε ότι αφορά στις συμπληρωματικές διατάξεις για τους υπεύθυνους ύδρευσης καθώς και τις υποχρεώσεις τους.
- Την ΥΜ/5673/57 (ΦΕΚ Β' 5/1958) Υγ. Διάταξη που αναφέρεται στις μεθόδους απολύμανσης του νερού ύδρευσης.
- Τα άρθρα 8 έως 17 του Υγειονομικού Κανονισμού, που αναφέρονται σε μέτρα προστασίας πηγών υδροληψίας και συστημάτων ύδρευσης.
- Την Α5/2280/83 (ΦΕΚ Β' 720) Υγ. Διάταξη «Προστασία των νερών που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση της περιοχής πρωτεύουσας από ρυπάνσεις και μολύνσεις», όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.
(Υπουργείο Υγείας,2023)

1.2.1. ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Οι διάφοροι υδατικοί πόροι όπως είναι τα επιφανειακά ύδατα και οι υδροφόροι ορίζοντες μπορεί να απειληθούν από ποικίλες χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς. Εάν στο νερό που

προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση εντοπιστούν υψηλά και μη ασφαλή επίπεδα χημικών ουσιών μπορεί να υπάρξει αρνητικός αντίκτυπος στην υγεία των ανθρώπων. Η χημική έκθεση μπορεί να έχει τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Γι' αυτόν τον λόγο έχουν θεσπιστεί από τις αρμόδιες αρχές συγκεκριμένα όρια για τις χημικές ουσίες προκειμένου να διατηρηθεί το πόσιμο νερό σε ασφαλή επίπεδα για την υγεία των ανθρώπων. (EPA,2024)

1.2.2. ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Τα χημικά συστατικά τα οποία εντοπίζονται στο πόσιμο νερό μπορούν να έχουν διάφορες πηγές προέλευσης όπως:

- Φυσικές πηγές (βράχοι, περίσσεια εδάφους, διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί, υδατικά συστήματα)

Συνήθως εντοπίζονται στο πόσιμο νερό διάφορες χημικές ουσίες και συστατικά τα οποία προέρχονται από φυσικές πηγές, δηλαδή από τα υπάρχοντα πετρώματα και από το έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Οι οργανικές ουσίες προέρχονται είτε από τη διάσπαση φυτικού υλικού είτε από φύκια και άλλους μικροοργανισμούς που πολλαπλασιάζονται στο νερό ή στα ιζήματα.

- Βιομηχανικές και αστικές πηγές (εξορύξεις εδάφους, λύματα βιομηχανικής προέλευσης, διαρροή καυσίμων, στερεά και αστικά απόβλητα, περίσσεια πετρελαίων)

Υπάρχει η περίπτωση να καταλήξουν στο πόσιμο νερό διάφορες χημικές ουσίες που προκύπτουν από τα λύματα βιομηχανικών πηγών. Αλλιώς μπορεί να προέλθουν από τη χρήση ή απόρριψη υλικών που περιέχουν χημικές ουσίες. Κάποιες από αυτές τις ουσίες που είναι ανόργανες αποτελούν τη βασική εστία ρύπανσης ειδικά αν είναι απόρροια βιομηχανιών εγκατεστημένων σε μικρή απόσταση από οικισμό.

- Αγροτικές-γεωργικές δραστηριότητες (χρήση λιπασμάτων, εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα)

Οι χημικές ουσίες που έχουν γεωργική ή κτηνοτροφική προέλευση και απελευθερώνονται κυρίως από γεωργικές διαδικασίες έχουν ως αποτέλεσμα την περίσσεια οργανικής και ανόργανης ύλης στα λιπάσματα. Αυτές οι ουσίες είναι βασικά συστατικά των φυτοφαρμάκων και κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων ή λανθασμένης χρήσης τους καταλήγουν σε μεγάλη συγκέντρωση στο πόσιμο νερό.

- Διάφορα υλικά τα οποία μπορεί να περάσουν ή να έρθουν σε επαφή με το πόσιμο νερό (είδη απολύμανσης του νερού όπως χλώριο, υλικά κατασκευής των σωληνώσεων της παροχής νερού)

Υπάρχουν κάποια είδη υλικών τα οποία συμπεριλαμβάνονται στην επεξεργασία του νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση και εν τέλει μπορεί να γίνει κατακράτησή τους. Κατά το στάδιο της χλωρίωσης, ειδικότερα, δημιουργούνται μέσω χημικών αντιδράσεων κάποια παραπροϊόντα τα οποία περνάνε στο πόσιμο νερό.

- Χρήση απολυμαντικών-μυοκτόνων για θέματα δημόσιας υγείας (κυρίως προνυμοκτόνων)

Μια από τις πιο βασικές πηγές χημικής ρύπανσης του νερού είναι η χρήση απολυμαντικών και ειδικά προνυμοκτόνων που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των κουνουπιών τα οποία πολλαπλασιάζονται σε μέρη με πόσιμο νερό.

(WHO,2022)

Ο περιορισμός και η διαχείριση των χημικών ουσιών που μπορεί να επηρεάσουν στο πόσιμο νερό, διενεργείται μέσω της συνεχούς επίβλεψης του υλικού και της χημικής ουσίας. Τα στάδια της επεξεργασίας του νερού θα πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργούν με τη βέλτιστη ορθότητα ώστε να υπάρχει μόνιμος έλεγχος των υπολειμμάτων των χημικών ουσιών. (WHO,2022)

1.2.3. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ

Η απομάκρυνση των χημικών ουσιών από το νερό μπορεί να πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Κάποιοι από αυτούς είναι:

- **Φιλτράρισμα**

Το φιλτράρισμα είναι από τις πιο απλές τεχνικές που χρησιμοποιείται στη διαδικασία επεξεργασίας του πόσιμου νερού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται πορώδη φίλτρα για να επιτρέπεται να εξέλθει το νερό αλλά να συγκρατηθούν οι χημικά συστατικά όπως άμμος, θρυμματισμένη πέτρα και ενεργός άνθρακας. (Al-Ghouti M.A., 2019)

- **Χημική πήξη**

Η χημική πήξη θεωρείται η καλύτερη μέθοδος απομάκρυνσης χημικών ουσιών και κυρίως κολλοειδών σωματιδίων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ως πηκτικά άλατα αλουμινίου λόγω της αποτελεσματικότητάς τους στην απομάκρυνση ενός μεγάλου φάσματος χημικών ουσιών. (Panhwar A. et al.,2021)

- **Οξονισμός**

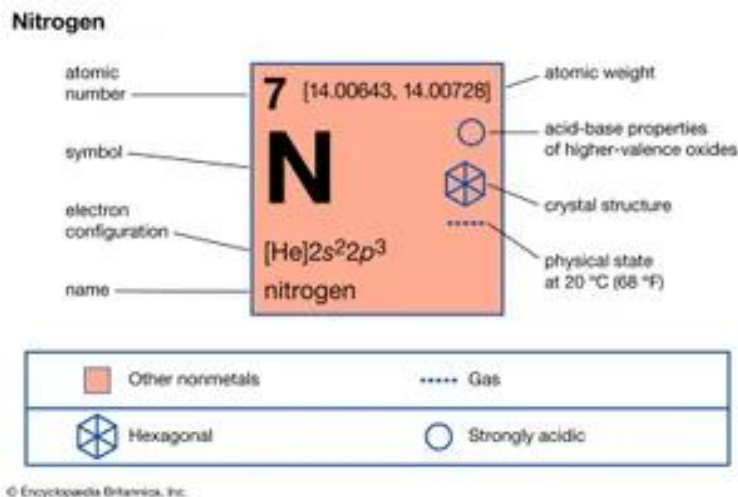
Ο οξονισμός είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται στην επεξεργασία νερού καταρχάς για απολύμανση και οξείδωση προκειμένου να απομακρυνθούν οργανικές και ανόργανες χημικές ουσίες. (Lim S. et al.,2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Χαρακτηριστικά

Το άζωτο (N=Nitrogen) είναι ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 7, το οποίο ανήκει στη 15^η ομάδα (V₅) του περιοδικού πίνακα των στοιχείων. Ειδικότερα, αποτελεί ένα αμέταλλο στοιχείο το οποίο είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο και βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στην ατμόσφαιρά του πλανήτη. Το γεγονός αυτό το καθιστά ένα πολύ βασικό δομικό στοιχείο για τη διατήρηση και διαίωσιση των έμβιων πλασμάτων της Γης. (Sanderson T.,2024).



Εικόνα 2: Το χημικό στοιχείο του αζώτου (Sanderson T.,2025)

Στον πλανήτη Γη το 80% της ατμόσφαιρας είναι άζωτο, το οποίο μετέπειτα απομονώθηκε από τα υπόλοιπα στοιχεία και αναγνωρίστηκε ως ουσία. Το 1772, ένας Σουηδός χημικός, ονόματι Carl Wilhelm Scheele, απέδειξε μέσα από προσωπική έρευνα πως η ατμόσφαιρα είναι μείγμα δύο αερίων, οξυγόνου και αζώτου. Ως χημικό στοιχείο ορίστηκε από τον Antoine-Laurent Lavoisier.

Η ποσότητα του αζώτου στη Γη είναι πολύ μεγάλη και αυτό το κατατάσσει το έκτο σε αφθονία χημικό στοιχείο του πλανήτη. Στην ατμόσφαιρα εντοπίζεται και σε άλλες μορφές του, σε μικρότερες ποσότητες, όπως η αμμωνία (NH₃), τα άλατα αμμωνίου, τα οξείδια του αζώτου και το νιτρικό οξύ. Στην ελεύθερη μορφή του από θεμελιώδες συστατικό σε μετεωρίτες, αέρια ηφαιστειών, ορυχείων και ορισμένων πηγών μετάλλων στον Ήλιο.

Αποτελεί, ακόμα, κατά μέσο όρο το 16% των πρωτεϊνών, οι οποίες είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που υπάρχουν σε κάθε ζωντανό οργανισμό. Η συμπαντική αφθονία του αζώτου ορίζεται, βάσει ενός προτύπου, μεταξύ τριών και επτά ατόμων πυριτίου. Ενώ, η Ινδία, η Ρωσία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το Τρινιντάντ και Τοπάγκο, καθώς και η Ουκρανία κατατάσσονται ως οι πέντε πιο βασικές χώρες στην παραγωγή αζώτου (κυρίως με τη μορφή αμμωνίας) για τον 21^ο αιώνα. (Sanderson T.,2025)

Χρήσεις αζώτου

Το άζωτο έχει ποικίλες χρήσεις, κυρίως βιομηχανικές.

Χημική Βιομηχανία

Στην χημική βιομηχανία χρησιμοποιείται προληπτικά για αποφυγή τυχών οξειδωσης ή φθοράς κάποιου προϊόντος, ως αδρανές αραιωτικό σε αντιδρών αερίου, ως μέσο απομάκρυνσης θερμότητας και χημικών ουσιών και κατ'επέκταση αποφυγή πυρκαγιάς ή εκρήξεων.

Βιομηχανία Τροφίμων

Στις βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιείται το άζωτο με τη μορφή αερίου προκειμένου να αποφευχθεί η αλλοίωση των τροφίμων λόγω πιθανής οξείδωσης, παρουσίας εντόμων και μούχλας. (Sanderson T.,2025)

Ηλεκτρική Βιομηχανία

Στην ηλεκτρική βιομηχανία, το άζωτο βρίσκει εφαρμογή στην αποφυγή περιστατικών οξείδωσης προκειμένου να διασφαλιστεί τόσο η συμπίεση των καλωδίων όσο και η θωράκιση των κινητήρων. (Sanderson T.,2025)

Βιομηχανία μετάλλων

Στη βιομηχανία μετάλλων το άζωτο βοηθά στη συγκόλληση και στη χαλκοσυγκόλληση, όπου συμβάλλει στην πρόληψη της οξείδωσης, της ενανθράκωσης και στις απανθράκωσης. (Sanderson T.,2025)

Ιατρική

Στον τομέα της ιατρικής το άζωτο χρησιμοποιείται υπό υγρή μορφή στη διαδικασία κατάψυξης για τη διατήρηση των συστατικών του αίματος, του μυελού των οστών, των ιστών του οργανισμού, των βακτηρίων και του σπέρματος. (Sanderson T.,2025)

2.2 ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Το άζωτο όπως και τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία που βρίσκονται στην Γη κάνει και αυτό τον δικό του κύκλο προκειμένου να συνεχιστεί η διαθεσιμότητα του στον πλανήτη. Οι διάφοροι βιότοποι του εδάφους αποτελούν τη βάση για τη συσσώρευση, την παραμονή αλλά και την απώλειά του από τα οικοσυστήματα του πλανήτη. Το επίπεδο κατανόησης των επιστημών για τον κύκλο του αζώτου στο έδαφος έχει μεταβληθεί πολύ τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της ανακάλυψης νέων μικροβιακών ταξινομικών κατηγοριών, οι οποίες προέκυψαν από τις νέες τεχνολογίες γονιδιώματος. Ακόμα, σε αυτό έχει συμβάλει και οι νέες προσεγγίσεις αλλά και γνώσεις γύρω από τη βιοποικιλότητα του εδάφους. (Robertson G.M. et al, 2023)

Ο κύκλος του αζώτου αποτελείται από τα εξής στάδια:

- **Δέσμευση αζώτου**
- **Αφομοίωση αζώτου**
- **Αμμωνοποίηση**
- **Νιτροποίηση**
- **Απονιτροποίηση**

(Sanderson T.,2024)

Δέσμευση αζώτου

Δέσμευση αζώτου είναι η διαδικασία κατά την οποία το άζωτο (N_2) μετατρέπεται σε κάποιες βασικές ανόργανες χημικές ενώσεις όπως: NH_3 (αμμωνία), NO_3^- (νιτρικό ιόν) και NO_2^- (νιτρώδες ιόν). Η δημιουργία των χημικών αυτών ενώσεων υποβοηθείται από συγκεκριμένα βακτήρια αλλά και γαλαζοπράσινα φύκια, ενώ μια αμελητέα ποσότητα ελεύθερου αζώτου επιτυγχάνεται από αβιοτικά μέσα (π.χ. υπεριώδης ακτινοβολία, κεραυνοί, ηλεκτρικά μέσα κ.λπ.) (Dolla T.H. et al., 2023 & Rafferty J.P., 2024)

Αφομοίωση αζώτου

Τα νιτρικά ιόντα αλλά και η αμμωνία που απορρέουν από τη δέσμευση αζώτου προσροφώνται από συγκεκριμένες ιστικές ενώσεις των φυκών και των ανώτερων φυτών. Έπειτα, τα ζώα τρέφονται από αυτά τα φύκια και τα φυτά, αφομοιώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις ενώσεις καθιστώντας τες ενώσεις του οργανισμού τους. (Rafferty J.P., 2024)

Αμμωνοποίηση

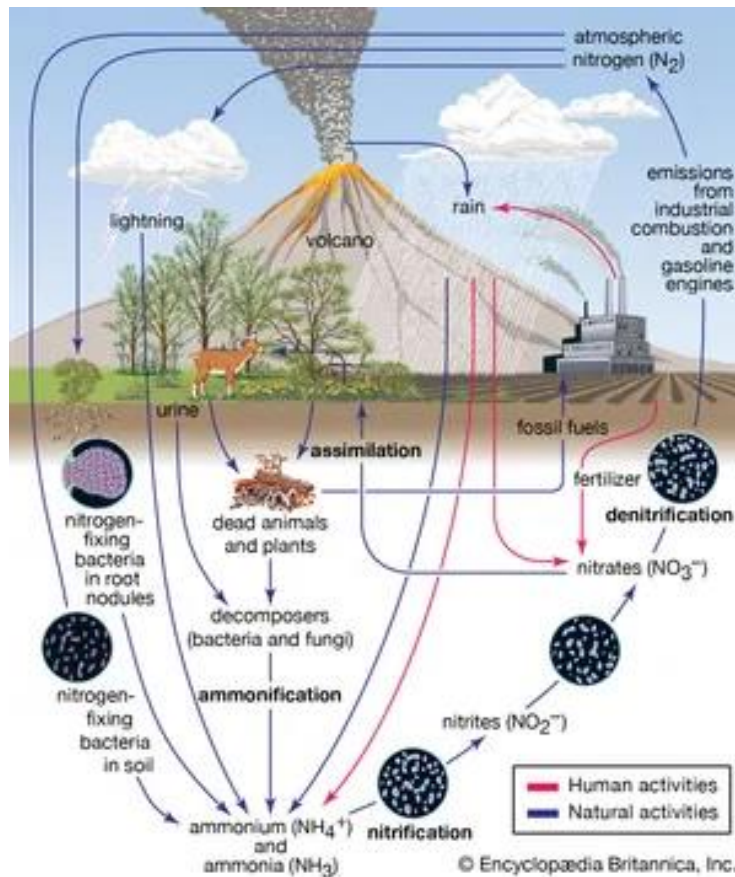
Κατά την αμμωνοποίηση, τα υπολείμματα των ζωντανών οργανισμών που έλαβαν τις ανόργανες ενώσεις αλλά και τα απόβλητα αυτών αποσυντίθενται μέσω διάφορων μικροοργανισμών. Μέσω αυτής της διαδικασίας παράγεται αμμωνία (NH_3) αλλά και αμμώνιο (NH_4^+). Υπό αναερόβιες συνθήκες ή χωρίς οξυγόνο υπάρχει περίπτωση τα προϊόντα να παρουσιάσουν δυσοσμία είτε σήψη. Ωστόσο, ακόμα και αυτά τα προϊόντα θα μετατραπούν σε αμμωνία με την πάροδο του χρόνου. (Rafferty J.P., 2024)

Νιτροποίηση

Η νιτροποίηση είναι μια διαδικασία η οποία διεκπεραιώνεται από νιτροποιητικά βακτήρια τα οποία μετατρέπουν την αμμωνία που βρίσκεται στο έδαφος σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) τα οποία με τη σειρά τους αφομοιώνονται από τα φυτά μέσα στους ιστούς τους. (Rafferty J.P., 2024)

Απονιτροποίηση

Η απονιτροποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα αλλά και τα νιτρικά άλατα μεταβολίζονται από τα απονιτροποιητικά βακτήρια που είναι αρκετά ενεργά σε αναερόβια εδάφη κατακλυσμένα από νερό. Τα βακτήρια αυτά με τη δράση τους συνήθως οδηγούν στην εξάντληση των εδαφικών νιτρικών ιόντων, διαμορφώνοντας έτσι ελεύθερο ατμοσφαιρικό άζωτο. (Rafferty J.P., 2024)



Εικόνα 3: Ο κύκλος του αζώτου (Rafferty J.P., 2024)

2.3. ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Το άζωτο είναι ένα χημικό στοιχείο με πάρα πολλές χρήσεις και αρκετές εφαρμογές, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Ωστόσο, η κυριότερη και πιο σημαντική δυνατότητα του αζώτου είναι ο σχηματισμός συγκεκριμένων παραγώγων με ποικίλες εφαρμογές. (Sanderson T., 2025)

NH_3

Η αμμωνία προκύπτει ως προϊόν από την αντίδραση του αζώτου με το υδρογόνο. Αποτελεί ένα άχρωμο αέριο με ερεθιστική οσμή. Η αμμωνία κυρίως συντίθεται μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch. Χρησιμοποιείται με ποικίλους τρόπους με βασικότερο τη σύνθεση και άλλων σημαντικών αζωτούχων ενώσεων. (Sanderson T., 2025)

HNO_3

Το νιτρικό οξύ προκύπτει από την αμμωνία και είναι επίσης μια γνωστή εμπορική ένωση του αζώτου. Είναι ένα άχρωμο αλλά πάρα πολύ διαβρωτικό υγρό και χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή λιπασμάτων, βαφών, φαρμάκων και εκρηκτικών.

Οξείδια αζώτου

Το άζωτο αντιδρά επίσης με το οξυγόνο σχηματίζοντας οξυγονούχες ενώσεις, τα οξείδια. Τα οξείδια είναι ιδιαίτερα πτητικές οξυγονούχες ενώσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για ρυπάνσεις της ατμόσφαιρας. Κάποια από αυτά είναι:

- N_2O (υποξείδιο του αζώτου)
- NO (μονοξείδιο του αζώτου)
- NO_2 (διοξείδιο του αζώτου)

(Sanderson T., 2025)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΚΑΙ ΝΙΤΡΟΡΥΠΑΝΣΗ

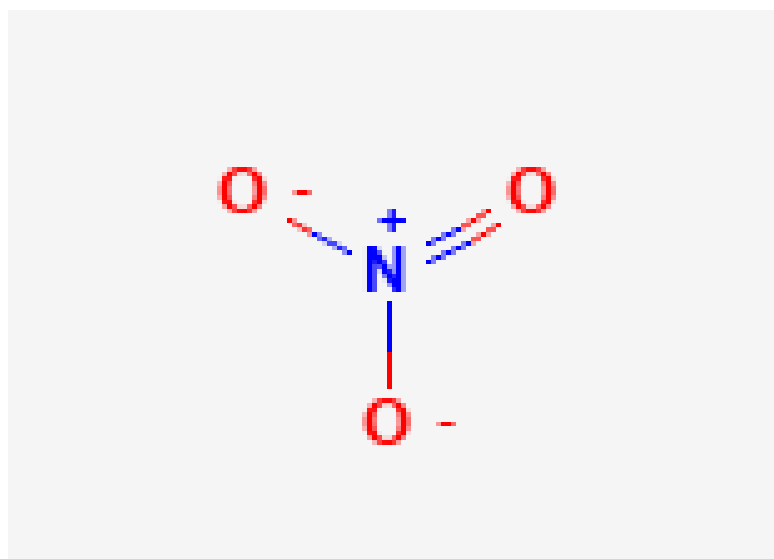
3.1 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Το νιτρικό ιόν (NO_3^-) αποτελεί ένα πολυατομικό ανιόν αζώτου το οποίο προέρχεται από την αφαίρεση ενός πρωτονίου από το νιτρικό οξύ (HNO_3). Αποτελείται από ένα κεντρικό άτομο αζώτου και περιβάλλεται από τρία πανομοιότυπα άτομα οξυγόνου. Τα τρία αυτά άτομα διατάσσονται σε ένα επίπεδο τρίγωνο. (PubChem,2025)

Χαρακτηριστικά νιτρικών ιόντων

- $pH= 7,3$
- μπορεί να είναι τοξικά
- αρνητικό φορτίο

(PubChem,2025)



Εικόνα 4: Δομή νιτρικού ιόντος (PubChem,2025)

Πηγές νιτρικών ιόντων

Περίπου το 50% του πόσιμου νερού παγκοσμίως προέρχεται από τα υπόγεια ύδατα, τα οποία περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα NO_3^- . Οι κύριες πηγές νιτρικών ιόντων στον πλανήτη είναι οι εξής:

- Καλλιεργήσιμες γεωργικές εκτάσεις (60%)
- Οικιακά λύματα και σηπτικές δεξαμενές (20%)
- Βιομηχανικά λύματα (13%)
- Αποψίλωση δασών (7%)
- Διατροφικές πηγές: πράσινα φυλλώδη λαχανικά (σπανάκι, μαϊντανός, μαρούλι) αλλά και το λάχανο, το κουνουπίδι, το σέλινο, η αγκινάρα, το λάχανο και το πράσο. (Nieder R. et al., 2022)

3.2 ΝΙΤΡΟΡΥΠΑΝΣΗ

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν φυσιολογικά μέρος του υδάτινου οικοσυστήματος. Ωστόσο, μπορεί να είναι υπεύθυνα για την πρόκληση μιας πολύ σοβαρής μορφής μόλυνσης που ορίζεται ως νιτρορύπανση.

Νιτρορύπανση ονομάζεται, σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, η άμεση ή έμμεση απόρριψη αζωτούχων ενώσεων στο υδάτινο περιβάλλον, με κρισιμότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη υγείας και την υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων (Υ.Π.Ε.,2024)

Μορφές νιτρορύπανσης

1. Επιφανειακά νερά

Στα επιφανειακά νερά, ειδικότερα στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους, η ύπαρξη αζωτούχων ενώσεων σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις σε συνδυασμό με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει αντίκτυπο στο υδάτινο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, ενισχύει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πανίδα των υδάτινων οικοσυστημάτων αλλά και τον φυτικών υδρόβιων μικροοργανισμών οδηγώντας έτσι σταδιακά στο φαινόμενο του ευτροφισμού. (Υ.Π.Ε.,2024)

2. Υπόγεια νερά

Στα υπόγεια νερά, η μορφή νιτρορύπανσης που κυριαρχεί είναι η μαζική συσσώρευση νιτρικών ιόντων. Συγκεκριμένα, τα επίπεδα νιτρικών ιόντων φτάνουν τιμές εκτός ορίων τα οποία καθιστούν απαγορευτικό το νερό για σκοπούς ανθρώπινης κατανάλωσης. (Υ.Π.Ε.,2024)

3.3. ΠΗΓΕΣ ΝΙΤΡΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Υπάρχουν διάφορες πηγές αλλά και διεργασίες που μπορεί να προκαλέσουν νιτρορύπανση στο περιβάλλον. Στα υδάτινα οικοσυστήματα, ο εντοπισμός υπερβολικά αυξημένης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων απορρέει από τη συσσώρευση αζώτου στο οικοσύστημα τόσο

από ανθρωπογενείς όσο και από γεωλογικές πηγές. Πολύ μεγάλες ποσότητες ανόργανων και οργανικών αποβλήτων, που περιέχουν ανόργανες αζωτούχες ενώσεις ή οργανικό άζωτο, παράγονται κυρίως από τα ζώα, τις εργασίες του νοικοκυριού, τις διάφορες βιομηχανίες κλπ. Οι συγκεντρώσεις αυτές, συνήθως, υπάρχουν σε ποσότητες εκτός των επιτρεπόμενων τιμών και είναι εκτός των ορίων αφομοίωσης τους από τα διάφορα οικοσυστήματα (Singh S. et al., 2022)

3.3.1 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

Οι ποικίλες δραστηριότητες του ανθρώπου μπορεί να αποβούν απειλητικές για το περιβάλλον και ειδικότερα για το υδάτινό οικοσύστημα. Συγκεκριμένα, η άρδευση, οι βιομηχανίες, η γεωργική δραστηριότητα και η χρήση λιπασμάτων και κοπριάς σε αυτές ενισχύουν απευθείας στην συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο έδαφος. Κάποιες από τις ανθρωπογενείς πηγές νιτρορύπανσης είναι η εφαρμογή λιπασμάτων, τα ανθρώπινα καζωικά απόβλητα, η βιομηχανία και η αποψίλωση των δασών. (Singh S. et al., 2022)

- Εφαρμογή λιπασμάτων

Τα περισσότερα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες έχουν ως βάση το άζωτο. Τα λιπάσματα έχουν ως βασικό στόχο την καλύτερη απόδοση καρπών στις καλλιέργειες. Ως εκ τούτου, η υπερβολική χρήση των λιπασμάτων στη γεωργία αλλά και η εφαρμογή τους σε λανθασμένο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει απόπλυση των νιτρικών ιόντων κατευθείαν στα υπόγεια νερά λόγω απορροής. (Shukla S. et al., 2022)

- Ζωικά και ανθρώπινα απόβλητα

Οι γεωγραφικές εκτάσεις με αυξημένο πληθυσμό αλλά και μεγάλη ποσότητα ζώων, υπάρχουν διαφόρων ειδών αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά αποτελούν τη βασική εστία νιτρορύπανσης. Τα απόβλητα που προέρχονται από βιομηχανίες γαλακτοκομικών, κοπριά από την εκτροφή ζώων, στάβλοι, χώροι εκτροφής βοοειδών αλλά και τα συστήματα εκτροφής πουλερικών είναι μια πολύ ισχυρή πηγή διήθησης νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά. (Singh S. et al., 2022)

- Διαφόρων ειδών βιομηχανικές δραστηριότητες με νιτρικά ιόντα

Οι ποικίλες βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως τα εργοστάσια παραγωγής και επεξεργασίας διαφόρων ειδών μετάλλων αλλά και ειδών βαφής κάνουν χρήση ποικίλων αζωτούχων ενώσεων όπως η ουρία, το νιτρικό οξύ και η άνυδρη αμμωνία. Αυτές οι αζωτούχες ενώσεις, με την πάροδο του χρόνου, μετατρέπονται σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα. Η μεγάλη εναπόθεση νιτρικών ιόντων στα υδάτινα οικοσυστήματα, μέσω ακατάλληλης διάθεσης αποβλήτων μπορεί να αποβεί επιβλαβής τόσο για την χλωρίδα όσο και την πανίδα του υποθαλάσσιου οικοσυστήματος. (Singh S. et al., 2022)

- Αποψίλωση των δασών

Κατά τη διάρκεια του κύκλου του αζώτου οι διάφοροι φυτικοί οργανισμοί διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Συγκεκριμένα, τα δέντρα στα δάση έχουν τη δυνατότητα να

συσσωρεύσουν αλλά και να συγκρατήσουν το άζωτο που εκκρίνεται στον κύκλο του αζώτου. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλλουν στη διατήρηση του στοιχείου. Γι αυτόν τον λόγο, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επεμβαίνουν στο περιβάλλον όπως: η κοπή των δέντρων, μπορεί να προκαλέσουν έκπλυση αζωτούχων ενώσεων. Αυτές οι ενώσεις με τη σειρά τους μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μετέπειτα μόλυνση των υδάτων. (Singh S. et al., 2022)

3.3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Οι φυτικοί οργανισμοί του περιβάλλοντος τείνουν να αποθηκεύουν άζωτο από το έδαφος, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στις αποθήκες των οικοσυστημάτων. Υπάρχουν κάποιες φυσικές διεργασίες όπως οι καταιγίδες με κεραυνούς και διάφορες γεωλογικές πηγές οποίες οδηγούν στη μόλυνση των υδάτων από νιτρικά ιόντα. (Shukla S. et al. , 2022)

- **Βροχοπτώσεις**

Κατά τη διάρκεια των καταιγίδων με κεραυνούς, το άζωτο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα αλλάζει μορφή. Συγκεκριμένα, το άζωτο μετατρέπεται αρχικά σε αμμωνία, έπειτα σε νιτρικό ιόν και κατ'έκταση διηθείται στο έδαφος μέσω των βροχών και των κατακρημνίσεων. (Singh S. et al., 2022)

- **Γεωλογικές πηγές**

Καθώς εναποτίθεται το άζωτο στο έδαφος με τη μορφή νιτρικών ιόντων, περνάει στα ορυκτά του εδάφους. Αυτές οι γεωλογικές πηγές του εδάφους περιέχουν ορυκτά νιτρικών αλάτων. Των οποίων η κύρια συστατική ουσία είναι το άζωτο. Αυτό με τη σειρά του μετατρέπεται σε νιτρικό ιόν και περνάει μέσα από τα υδάτινα στρώματα μολύνοντας το νερό προς ανθρώπινη κατανάλωση. (Singh S. et al., 2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΤΩΞΕΙΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

4.1.ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΕ ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΚΑΙ ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Τα νιτρικά ιόντα βρίσκονται παντού στη φύση και εισέρχονται μέσω του κύκλου του αζώτου σε διάφορες φάσεις. Η έκθεση των ατόμων τόσο στα νιτρικά ιόντα όσο και στα νιτρώδη ιόντα μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Αυτή η είσοδος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της διατροφής, του πόσιμου νερού ή και με τη χρήση ιατροφαρμακευτικής αγωγής. (Nieder R. et al., 2022)

4.1.1. ΕΚΘΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τα νιτρικά ιόντα βρίσκονται φυσιολογικά σε πολλών ειδών τροφές και αποτελούν βασικό θρεπτικό συστατικό του οργανισμού μας. Όμως, η χορήγηση υπερβολικής ποσότητας νιτρικών ιόντων μέσω τροφίμων μπορεί να προκαλέσει διάφορες επιπλοκές στην ανθρώπινη υγεία αλλά και να αποτελέσουν πηγή ασθενειών. (Yousefi H. et al., 2023)

Εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης ζήτησης γεωργικών προϊόντων γίνεται μεγάλη και ευρεία χρήση χημικών λιπασμάτων. Τα λιπάσματα αυτά περιέχουν σε αρκετά μεγάλη ποσότητα άζωτο και κυρίως νιτρικά ιόντα, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο συσσώρευση νιτρικών ιόντων σε επικίνδυνο επίπεδο. Έπειτα, τα νιτρικά ιόντα μέσω της γεωργικής απορροής διοχετεύονται στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει είτε απευθείας μέσω των φυτών είτε μέσω βροχοπτώσεων και κατακρημνίσεων. (Yousefi H. et al., 2023)

Κατανάλωση τροφών υψηλής επικινδυνότητας

Τα νιτρικά ιόντα μπορεί να αποτελέσουν φυσικό συστατικό πολλών τροφών. Ωστόσο, υπάρχουν συγκεκριμένες τροφές φυτικής προέλευσης οι οποίες περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων. Οι τροφές αυτές είναι κυρίως λαχανικά όπως: το ωμό σπανάκι, τα παντζάρια, η ρόκα, το σέλινο αλλά και το μαρούλι. Μπορεί όμως να εντοπιστούν και νιτρικά ιόντα σε παιδικές βρεφικές τροφές με βάση τα δημητριακά. Ακόμα, μια επιπρόσθετη πηγή νιτρικών ιόντων αποτελούν τα επεξεργασμένα κρέατα. Η βιομηχανία των κρεάτων χρησιμοποιεί τόσο τα νιτρικά ιόντα όσο και τα νιτρώδη ιόντα ως πρόσθετα συντηρητικά κατά το στάδιο της ωρίμανσης του κρέατος. Μπορεί η κύρια πηγή νιτρικών ιόντων στη διατροφή να είναι τα λαχανικά και τα φρούτα και όχι η κρεατοβιομηχανία, όμως λόγω των διαφόρων νομοθεσιών αλλά και του φόβου για καρκινογένεση έχει ασκηθεί μεγάλη πίεση για την αποφυγή χρήσης νιτρικών ιόντων στη συντήρηση κρεάτων. (Yousefi H. et al., 2023 & Karwowska M. et al., 2020)

Μεταβολισμός νιτρικών ιόντων

Ένα πολύ σημαντικό μέρος του κύκλου των νιτρικών ιόντων στην διατροφή είναι ο μεταβολισμός τους. Τα νιτρικά αλλά και τα νιτρώδη ιόντα απεκκρίνονται από τον ανθρώπινο οργανισμό και κυκλοφορούν με τη μορφή νιτρωδών ιόντων και οξειδίων του αζώτου. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται μια στοιχειώδης ισορροπία μεταξύ νιτρικών ιόντων και νιτρωδών ιόντων. Συγκεκριμένα τα νιτρικά ιόντα παράγονται μέσω L-αργινίνης/NO-συνθάσης και είναι ένα από τα προϊόντα οξείδωσης του οξειδίου του αζώτου. Μετά την παραγωγή οξειδίου του αζώτου επέρχεται η αναστολή της κάτω από συνθήκες υποξίας και ισχαιμίας. Τα νιτρικά ιόντα που βρίσκονται τόσο στις τροφές όσο και στο σάλιο μετατρέπονται σε νιτρώδη ιόντα και μετά σε βιολογικά ενεργά οξείδια του αζώτου (Karwowska M. et al., 2020)

Όριο πρόσληψης νιτρικών ιόντων στη διατροφή

Προκειμένου να αποφευχθούν οι επιπλοκές στην υγεία του ανθρώπου από την υπέρμετρη κατανάλωση νιτρικών ιόντων στην διατροφή έχουν αποφασιστεί συγκεκριμένα όρια. Η ποσότητα των νιτρικών ιόντων που είναι αποθηκευμένη στην τροφή θα πρέπει να είναι ανάλογη με την ποσότητα των νιτρικών ιόντων που βρίσκονται στο έδαφος, ώστε να είναι σε θέση να συγκριθεί με το επιτρεπτό όριο νιτρικών ιόντων εκεί. Σύμφωνα με έκθεση της Επιτροπής Επιστήμης Τροφίμων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας η ημερήσια πρόσληψη νιτρικών ιόντων ήταν 3,6 mg/kg για ενήλικες με μέσο βάρος 60 kg.

Λόγω όμως, του ότι η μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών ιόντων εντοπίζεται κυρίως σε λαχανικά τα οποία είναι αναπόσπαστο μέρος της υγιεινής διατροφής, έχουν θεσπιστεί εδώ και σχεδόν μισό αιώνα παγκόσμια πρότυπα για τα όρια νιτρικών ιόντων σε διαφόρων ειδών λαχανικά.(Yousefi H. et al., 2023)

ΕΙΔΟΣ ΛΑΧΑΝΙΚΟΥ	ΟΡΙΟ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ (mg/kg FM)
Ρόκα	>2500
Παντζάρι, Λάχανο, Ραπανάκι, Σέλινο, Μαρούλι, Μαϊντανος, Σπανάκι	2500-1000
Μπρόκολο	1000-500
Πράσινο κρεμμύδι, Καρότο, Αντίδια, Κουνουπίδι, Σπαράγγια, Ραδίκι	500-200
Καρότο, Σκόρδο, Κρεμμύδι, Γλυκοπατάτα	<200

Πίνακας 2: Όρια για περίσσεια νιτρικών ιόντων σε λαχανικά (Yousefi H. et al., 2023)

4.1.2. ΕΚΘΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η έκθεση του ανθρώπου σε μεγάλη ποσότητα νιτρικών ιόντων μπορεί να επιτευχθεί, επίσης, μέσω της κατανάλωσης πόσιμου νερού πλούσιο σε νιτρικά. Ο εντοπισμός των νιτρικών ιόντων στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης μπορεί να είναι αποτέλεσμα δραστηριοτήτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Κύρια αιτία αυτού είναι η χρήση αζωτούχας λίπανσης στη γεωργία και η διήθηση των λιπασμάτων αυτών στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και η μετέπειτα μεταφορά τους στο νοικοκυριό. Ωστόσο, στο νερό τα νιτρικά ιόντα και νιτρώδη απορροφώνται πολύ εύκολα από τον ανθρώπινο γαστρεντερικό σωλήνα. Μετά την απορρόφηση, τα νιτρικά ιόντα συσσωρεύονται στους σιελογόνους αδένες και μεταφέρεται στο

σάλιο, στο οποίο η τοπική στοματική χλωρίδα τα μετατρέπει σε νιτρώδη ιόντα. (Van der Brand A.D. et al.,2020)

Όριο νιτρικών ιόντων στο νερό

Όπως και στα τρόφιμα, έτσι έχει θεσπιστεί και μέγιστο επιτρεπόμενο όριο νιτρικών ιόντων και στο πόσιμο νερό. Η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο νερό στην Ευρώπη ορίζεται στα 50 (mg/L) και στις ΗΠΑ στα 10 νιτρικά ιόντα-άζωτο (mg/L). Τα νιτρικά ιόντα στο νερό συσσωρεύονται κυρίως από τη βακτηριακή δέσμευση αζώτου αλλά και από την αποσύνθεση οργανικής ύλης. (Yousefi H. et al., 2023)

4.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Η υπέρμετρη κατανάλωση νιτρικών ιόντων μέσω της διατροφής αλλά και η έκθεση του ανθρώπου σε νερό που περιέχει νιτρικά ιόντα μπορεί να έχει πολύ αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία του με ποικίλους τρόπους. (Nieder R. et al., 2021)

4.2.1. ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

Η υπερβολική αφομοίωση νιτρικών ιόντων μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα στη λειτουργία και την ποιότητα του αίματος με κυριότερη την μεθαιμοσφαιριναιμία. Η μεθαιμοσφαιριναιμία, γνωστή και ως σύνδρομο μπλε μωρού, είναι μια πολύ σοβαρή πάθηση του αίματος που μπορεί να επιφέρει μέχρι και θάνατο.(MDH,2025)

Η ασθένεια αυτή πραγματοποιείται όταν τα νιτρικά ιόντα μετατραπούν σε νιτρώδη ιόντα επεμβαίνοντας στη λειτουργία της αιμοσφαιρίνης. Συγκεκριμένα, τα νιτρώδη ιόντα έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματίσουν την αιμοσφαιρίνη (Hb) σε μεθαιμοσφαιρίνη (MetHb). Με αυτόν τον τρόπο, παύει η αιμοσφαιρίνη να λειτουργεί και ο σίδηρος οξειδώνεται από Fe^{2+} σε Fe^{3+} , και περιορίζεται η τροφοδότηση του οργανισμού με το απαραίτητο οξυγόνο. (Nieder R. et al.,2021)

Συμπτωματολογία

Τα κλινικά συμπτώματα της μεθαιμοσφαιριναιμίας συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

- Μπλε χείλη
- Μπλε χρώμα στο δέρμα
- Κυάνωση (επίπεδα MetHb σε 10-20%)
- Υποξία (επίπεδα MetHb σε 20-35%)
- Κώμα
- Αρρυθμίες
- Σοκ (επίπεδα MetHb σε 35-55%)
- Περίπτωση θανάτου (σε συγκέντρωση MetHb μεγαλύτερη από 70%)

(Nieder R. et al.,2021)

Ευπαθείς ομάδες

Η ηλικιακή ομάδα η οποία κινδυνεύει περισσότερο είναι τα βρέφη τα οποία τρέφονται μέσο μπιμπερό και είναι κάτω από έξι μηνών. Ωστόσο, σε τόσο μικρές ηλικίες δύσκολα εντοπίζεται (MDH,2025). Η μεθαιμοσφαιριναιμία στα βρέφη προκύπτει κυρίως από την πρόσληψη μεγάλης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων αλλά και νιτρωδών ιόντων μέσω της διατροφής (κυρίως κατανάλωση φρούτων όπως φράουλα) (Brender J.D.,2020)

Επίσης, υψηλό κίνδυνο για εμφάνιση της μεθαιμοσφαιριναιμίας αντιμετωπίζουν και άτομα με ανεπάρκεια γλυκόζης-6-φωσφορικής-αφυδρογονάσης ή άλλες μεταβολικές παθήσεις. (MDH,2025)

4.2.2. ΚΑΡΚΙΝΟΣ

Τα τελευταία χρόνια, μετά από ποικίλες έρευνες διαφόρων επιστημών, διαπιστώθηκε σχέση ανάμεσα στη χρόνια έκθεση σε νιτρικά ιόντα και την ανάπτυξη μορφών καρκίνου.

Έχουν υποστηριχθεί δύο εκδοχές για την καρκινογένεση μέσω των νιτρικών ιόντων. Η πρώτη στηρίζει πως αφού εισέρθουν τα νιτρικά ιόντα στον οργανισμό, τα βακτήρια του γαστρεντερικού συστήματος τους αλλάζουν μορφή σε νιτρώδη ιόντα. Αυτά με τη σειρά τους συνδέονται με δευτερογενείς αμίνες, σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο καρκινογόνες ουσίες όπως NAD (δινουκλεοτίδιο νικοτιναμίδης αδενίνης) και NOC(ενώσεις N-nitroso). Η δεύτερη εκδοχή είναι πως τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρώδη ιόντα. Στη συνέχεια τα νιτρώδη ιόντα δημιουργούν την απαραίτητη θρεπτική ύλη για να τραφούν τα καρκινικά κύτταρα. Ακόμα φέρουν το σηματοδοτικό μόριο NO το οποίο είναι κρίσιμο για τον πολλαπλασιασμό των καρκινικών κυττάρων, ενώ επιταχύνουν την ανάπτυξη της ασθένειας διεγείροντας τα καρκινικά κύτταρα. (Yousefi H. et al.,2022)

Καρκίνος του παχέος εντέρου και του ορθού

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που απορρέουν από την ακανόνιστη έκθεση του ανθρώπου σε νιτρικά ιόντα είναι η σχέση μεταξύ των νιτρικών ιόντων στο νερό και η εμφάνισή καρκίνου του παχέος εντέρου και του ορθού. Ο καρκίνος του παχέος εντέρου, όπως ονομάζεται εν συντομογραφία, είναι ο τρίτος πιο συχνός καρκίνος παγκοσμίως ανεξαρτήτως φύλου. (Elwood M.J. et al.,2022)

Στη Δανία διεξήχθη μελέτη κόορτης για την πιθανή συσχέτιση μεταξύ καρκίνου του παχέος εντέρου και την έκθεση σε πόσιμο νερό με μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων. Χρησιμοποιώντας όλο τον πληθυσμό της Δανίας παρατηρήθηκαν στατιστικά αυξημένοι κίνδυνοι του παχέος εντέρου. Συγκεκριμένα, η μελέτη έδειξε πως το 8% του νερού από δημόσιους παρόχους νερού στη Δανία έχουν περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα πάνω από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, δηλαδή πάνω από 9,25 mg/L. Μέσα από την ανάλυση αποδείχθηκε πως η μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών κάτω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο, θα μείωνε τον καρκίνο του παχέος εντέρου κατά 72 περιπτώσεις ετησίως. (Jacobsen B.H. et al.,2024)

Γαστρεντερικοί καρκίνοι

Οι καρκίνοι του γαστρεντερικού συστήματος σύμφωνα με αποτελέσματα στατιστικών ερευνών, αποτελούσαν το 50% των καρκίνων παγκοσμίως για το έτος 2020. Συγκεκριμένα, οφείλονται στις ενώσεις N-Nitroso (NOCs), οι οποίες είναι μια κατηγορία χημικών καρκινογόνων ουσιών που εντοπίζονται σε διάφορα μέρη του περιβάλλοντος όπως: τρόφιμα,

πόσιμο νερό και καπνός από τσιγάρο. Οι ενώσεις αυτές έχουν την ικανότητα να προκαλέσουν μεταλλάξεις που θα οδηγήσουν μελλοντικά σε καρκινογένεση. Μια από αυτές τις ενώσεις είναι η νιτροσοδιμεθυλαμίνη που εντοπίζεται σε τρόφιμα όπως: επεξεργασμένα κρέατα αλλά και καπνιστά ψάρια. Τα νιτρικά ιόντα που μετατρέπονται σε νιτρώδη αντιδρούν με αμίνες και αμιδία σχηματίζοντας ενώσεις όπως νιτροσοδιμεθυλαμίνη προκαλώντας τον καρκίνο στο στομάχι. (Seyyedsalehi, M. S. et al., 2023)

Μέσω μελέτης που διεξήχθη για τη σχέση νιτρικών ιόντων και νιτρωδών ιόντων με τους γαστρεντερικούς καρκίνους επήλθαν κάποια πορίσματα. Τα αποτελέσματα της μελέτης απέδειξαν πως τα νιτρικά και τα νιτρώδη ιόντα ως βάση ουσιών NOCs είναι ύποπτα ότι διαδραματίζουν τον κύριο ρόλο στην καρκινογένεση μέσω επαγωγής μεταβολιτών που αλλάζουν τη σύνθεση του γενετικού κώδικα και τον καταστρέφουν. (Seyyedsalehi, M. S. et al., 2023)

4.2.3. ΘΥΡΕΟΕΙΔΗΣ ΑΔΕΝΑΣ

Ο θυρεοειδής αδένας είναι ο πρώτος ενδοκρινής αδένας ο οποίος αναπτύσσεται από την ενδομήτρια κατάσταση και ξεκινάει να λειτουργεί σωστά στους 3 πρώτους μήνες της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Προκειμένου να λειτουργήσει ορθά απαιτεί ιώδιο, ώστε να συνθέσει αλλά και να απεκκρίνει θυρεοειδικές ορμόνες (THs) οι οποίες διαδραματίζουν τον ρόλο του ρυθμιστή της φυσιολογίας του οργανισμού.

Ο θυρεοειδής αδένας επηρεάζεται συνήθως από μια κατηγορία ενδοκρινικών διαταρακτών που είναι γνωστοί και ως χημικοί διαταράκτες του θυρεοειδούς αδένου. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται τα υπερχλωρικά, τα θειοκυανικά, το αρσενικό και κυρίως τα νιτρικά ιόντα.

Σύμφωνα με μελέτες, όχι μόνο *in vivo* αλλά και *in vitro*, που έλαβαν χώρα ανέφεραν πως ο μηχανισμός με τον οποίον δρουν τα νιτρικά ιόντα στον οργανισμό, λειτουργεί ως εμπόδιο για την απορρόφηση του ήδη υπάρχοντος γαστρεντερικού ιωδίου μέσω αναστολής της $Na + /K + ATPase$ και της παραγωγής ενέργειας για τη μεταφορά του ιωδίου μέσω των μεμβρανών. Ακόμα, η κατανάλωση νερού μολυσμένου με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων έχει αποδειχθεί πως μπορεί να επιφέρει υπερτροφία του θυρεοειδούς αδένου. Αυτό κατ' επέκταση προκαλεί μείωση της θυρεοτρόπου ορμόνης (TSH) και αύξηση της θυροξίνης. (García Torres, E. et al., 2020)

Μελέτη που έλαβε τόπο στην Σλοβακία σε παιδιά σχολικής ηλικίας (10 με 13 ετών) έφερε σχετικά αποτελέσματα για τη σχέση θυρεοειδούς αδένου και κατανάλωση νιτρικών ιόντων. Ειδικότερα, ανέφερε πως τα παιδιά που είχαν καταναλώσει πόσιμο νερό με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων (50-274 mg/L) είχαν αυξημένες περιπτώσεις όγκων στον θυρεοειδή αδένου αλλά και σημεία υποκλινικού υποθυρεοειδισμού.

Μια ακόμα μελέτη στην Αϊόβα των ΗΠΑ, σε 21.977 γυναίκες αποκάλυψε τη σχέση νιτρικών ιόντων και θυρεοειδή αδένου. Οι γυναίκες που είχαν προσλάβει μέσω της διατροφής τους αλλά και μέσω πόσιμου νερού μεγάλα ποσοστά νιτρικών ιόντων (53,8 mg/L αντί για 12,4 mg/day) είχαν εμφανίσει υψηλό κίνδυνο υποθυρεοειδισμού. (García Torres, E. et al., 2020)

4.2.4. ΕΓΚΥΜΟΣΥΝΗ

Όπως έχει προαναφερθεί, τόσο τα νιτρικά ιόντα όσο και τα νιτρώδη ιόντα έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν τις ενώσεις N-Nitroso (NOC). Οι ενώσεις NOC πέρα από καρκινογόνες, είναι και τερατογόνες, προκαλούν δηλαδή συγγενείς ανωμαλίες. (Royal H. et al., 2024)

Έχουν εμφανιστεί ενδείξεις πως τα νιτρικά ιόντα στο πόσιμο νερό και τη διατροφή που έχει καταναλώσει η μητέρα, κατά τη διάρκεια της κύησης, μπορεί να έχουν αρνητικό αντίκτυπο. Συγκεκριμένα, τα νιτρικά ιόντα αυτά περνάνε διαμέσου του πλακούντα, καταλήγοντας στην μήτρα που αναπτύσσεται το έμβryo και να προκαλέσουν αποβολή, γενετικές ανωμαλίες, γαστροσχισία, μικροφθαλμία, ανοφθαλμία αλλά και κρανιοπροσωπική υποπλασία.

Αυτό μπορεί να συμβεί καθώς τα νιτρικά ιόντα μπορούν να μετατραπούν σε νιτρώδη ιόντα και να επηρεάσουν την εμβρυϊκή αιμοσφαιρίνη πολύ εύκολα, καθώς είναι ευαίσθητη στην οξειδωση. Επιπροσθέτως, τα νεογνά δεν έχουν αναπτύξει πλήρως την αντιοξειδωτική άμυνα του οργανισμού τους και ακόμα και αν υπάρχουν συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικών στον οργανισμό τους δεν έχουν τη δυνατότητα, σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης, να περιορίσουν το οξειδωτικό στρες από τα νιτρικά ιόντα και τις συνέπειες του. Ενώ, επειδή το πόσιμο νερό δεν συμπεριλαμβάνει αντιοξειδωτικά, η αφομοίωση νιτρικών ιόντων από το πόσιμο νερό που έχει προσληφθεί μέσω της μητέρας, μπορεί να είναι ακόμα πιο επιβλαβής από αυτή που γίνεται μέσω των τροφίμων που διαπερνούν τον πλακούντα τα οποία περιέχουν αντιοξειδωτικά. (Lin L. et al., 2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα νιτρικά ιόντα εντοπίζονται, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες, κυρίως στο νερό και στην τροφή, δύο πράγματα που είναι απαραίτητα για κάθε είδους έμβιας ζωής. Επομένως, δεν επηρεάζουν μόνο το έδαφος, τα φυτά και το νερό αλλά και τα οικόσιτα ζώα τα οποία τρέφονται από αυτά.

5.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΙΤΑ ΖΩΑ

Τα νιτρικά ιόντα είναι ευδιάλυτα στο νερό και αποτελούν βασικό θρεπτικό συστατικό για τα είδη φυτό από τα οποία φτιάχνονται οι ζωοτροφές. Υπό όξινο περιβάλλον, τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρώδη ιόντα, τα οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν τις καρκινογόνες και τοξικές ενώσεις N-Nitroso (NOCs) όταν βρεθούν στο στομάχι του ζώου μέσω της τροφής. Ο όγκος των πληροφοριών σχετικά με την απέκκριση και τον μεταβολισμό νιτρικών ιόντων στα οικόσιτα ζώα είναι περιορισμένος, ωστόσο από μελέτες που έχουν διεξαχθεί έχουν βγει πορίσματα. (Schrenk D. et al., 2020)

Μηρυκαστικά

Στα μηρυκαστικά, η απορρόφηση των νιτρικών ιόντων και των νιτρωδών ιόντων είναι πολύ γρήγορη και υπάρχει μια αλληλομετατροπή μεταξύ δύο ανιόντων την οποία ακολουθεί απέκκριση αυτών μέσω των ούρων. Η μεταβολική οδός που ακολουθούν τα νιτρικά ιόντα προς

το στομάχι περιλαμβάνει βακτηριακές NADH- ή FADH- νιτρορεδουκτάσες. Αυτές με τη σειρά τους μειώνουν τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων αλλάζοντας τους μορφή, αρχικά σε νιτρώδη ιόντα και τέλος σε αμμωνία η οποία οδηγεί στην πρωτεϊνική σύνθεση. Η τοξικότητα και η επίδραση των νιτρικών ιόντων είναι πιο έντονη στα μηρυκαστικά των οποίων η διατροφή βασίζεται σε φρέσκα βότανα(Schrenk D. et al.,2020)

Χοίροι

Στους χοίρους, η μετάτροπη των νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη ιόντα είναι πολύ περιορισμένη σε σχέση με τα μηρυκαστικά. Αυτό το φαινόμενο εντοπίζεται κυρίως σε κοιλότητες όπως το έντερο και η στοματική κοιλότητα λόγω τις σιελικής επανακυκλοφορίας. (Schrenk D. et al.,2020)

Τα δεδομένα και οι έρευνες γύρω από άλλα οικόσιτα ζώα είναι πολύ περιορισμένα.

5.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν τον πιο κοινό ρύπο όχι μόνο στα επιφανειακά αλλά και στα υπόγεια νερά. Τα νιτρικά ιόντα έχουν την ικανότητα να απορροφώνται από τις ρίζες των φυτών. Έτσι, διαπερνούν το έδαφος και αφομοιώνονται στα ύδατα. Η υπετροφοδότηση του υδάτινου οικοσυστήματος με νιτρικά ιόντα οδηγεί στην υπαρξη νιτρορύπανσης η οποία πρώτα από όλα έχει αρνητικό οικολογικό αντίκτυπο στις λίμνες, στα ποτάμια και στις ακτές αλλά και στα υπόγεια νερά.(Aquamonitrix,2024)

5.2.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

Τα υπόγεια νερά αποτελούν την κύρια πηγή τροφοδότησης νερού για μια περιοχή αλλά είναι και μια βασική εστία νιτρορύπανσης. Κατά τη διάρκεια του κύκλου του αζώτου, οι πηγές προέλευσης αζώτου συσσωρεύονται στο έδαφος όπου υπάρχει άφθονο άζωτο και σχηματίζουν τα νιτρικά ιόντα. Η υπερβολική συσσώρευση νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα μπορεί να αποτελέσει απειλή για το ίδιο το νερό. (Aquamonitrix,2024)

Σε αρχικό στάδιο, κινδυνεύουν περισσότερο οι υδροφόροι ορίζοντες που είναι πιο ρηχί λόγω λεπτότερης επιφάνειας νερού. Όσο, ο υδροφόρος ορίζοντας είναι βαθύτερος τόσο πιο μακροπρόθεσμος θα είναι ο αντίκτυπος. Με τη χρόνια και εντατική χρήση λιπασμάτων στην γεωργία δημιουργείται σε αυτούς του ορίζοντες ένα μεγάλο απόθεμα νιτρικών ιόντων το οποίο τους βλάπτει σταδιακά. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε «Ωρολογιακή βόμβα νιτρικών ιόντων» η οποία θα έχει αντίκτυπο στον πλανήτη για πολλά χρόνια ακόμα, μολύνοντας το νερό προς ανθρώπινη κατανάλωση που προέρχεται από τα υπόγεια νερά. (Aquamonitrix,2024)

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που απορρέει από τη νιτρορύπανση των υπόγειων νερών εντοπίζεται κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η βασική προέλευση του νερού προς πόση και προς γενικότερη ανθρώπινη κατανάλωση είναι τα πηγάδια. Ωστόσο, το κύριο πρόβλημα είναι πως τα πηγάδια αυτά συχνά δεν έχουν υποστεί επεξεργασία ούτε έλεγχο ως προς την υγιεινή τους. Στα πηγάδια η συσσώρευση υψηλής

συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων προέρχεται από την ακατάλληλη απόθεση απορριμμάτων, τα κτηνοτροφικά απόβλητα και χρήση επικίνδυνων αζωτούχων λιπασμάτων. (Yu G. et al.,2020)

Το διάστημα από το 2020 έως το 2019 τα Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC) διεξήγαγαν στην πόλη Yantai της Κίνας μια έρευνα για τη σχέση νιτρικών ιόντων και υπόγειων υδάτων. Στις μελέτες συμπεριλήφθηκαν αγροτικές περιοχές της περιφέρειας Yantai, ειδικότερα στην επαρχία Shandong. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως η αυξημένη πρόσληψη νιτρικών ιόντων σε νερό φρεατίων ενέχει μεγάλο κίνδυνο για τους ενήλικες που το καταναλώνουν. Η πηγή πρόκλησης νιτρορύπανσης σε αυτές τις περιοχές οφείλεται κυρίως σε έναν συνδυασμό γεωλογικών παραγόντων (νιτρικά ιόντα σε πετρώματα και έδαφος) και χημικών λιπασμάτων (ακατάλληλη και εντατική χρήση αζωτούχων λίπασμάτων). (Yu G. et al.,2020)

5.2.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

Η εναπόθεση λυμάτων από τις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων ή από γεωργικές πηγές και σηπτικές δεξαμενές οδηγούν στην αύξηση συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων προκαλώντας το φαινόμενο του ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός με τη σειρά του οδηγεί στον απότομο πολλαπλασιασμό φυκών και φυτοπλαγκτόν, τα οποία συχνά έχουν έντονη άσχημη οσμή και εκδηλώνονται με άνθιση φυκών επί της επιφάνειας του νερού. (Aquamonitrix,2024)

Οι ανθίσεις αυτές των φυκών μπορεί να αποδειχθούν τοξικές. Ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις καθιστούν το νερό προς κατανάλωση μη ασφαλές. Επιπλέον, είναι δηλητηριώδεις για την πανίδα των υδάτινων οικοσυστημάτων κυρίως για τα ψάρια, τα θαλάσσια πτηνά αλλά και για τα θαλάσσια θηλαστικά τα οποία τρέφονται με αυτά. (Aquamonitrix,2024)

Το 2019 διεξήχθη έρευνα για την επίδραση της νιτρορύπανση και την επίδραση της στην ποιότητα του νερού ποταμών της Κίνας. Συγκεκριμένα, από το 2009 έως και το 2019 συλλέχθηκαν δείγματα και δεδομένα για την ποιότητα του νερού από 71 μεγάλους ποταμούς της χώρας οι οποίοι βρίσκονται σε 30 επαρχίες. Στα δείγματα αυτά, έγινε χημική ανάλυση για την εύρεση των συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων. Μέσω των συγκεντρώσεων αλλά και τον εντοπισμό ισοτόπων του αζώτου αποκαλύφθηκαν οι πηγές νιτρορύπανσης των ποταμών αυτών. Τα αποτελέσματα της δεκαετούς έρευνας έδειξαν πως το 7,83% των δειγμάτων είχαν υπερβεί κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια της εθνικής νομοθεσίας για τα νιτρικά ιόντα (45 mg/L). Μέσα από τη δειγματοληψία βρέθηκε πως η βασική εστία μόλυνσης προερχόταν από το ανόργανο λίπασμα, την διάθεση κοπριάς και τα σηπτικά απόβλητα. (Zhang X. et al., 2021)

5.2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Το πόσιμο νερό και γενικότερα το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης προέρχεται από την επεξεργασία των επιφανειακών και των υπόγειων νερών. Όταν η μόλυνση από νιτρικά ιόντα όχι μόνο των επιφανειακών αλλά και των υπόγειων νερών είναι μεγάλη, υπάρχει περίπτωση να εισέλθει και στο πόσιμο νερό. Τα νιτρικά ιόντα όταν περάσουν στο πόσιμο νερό και καταναλωθούν από τον άνθρωπο του προκαλούν μια ευρεία ποικιλία ασθενειών αλλά και μη

αναστρέψιμων καταστάσεων όπως: η μεθαιμοσφαιριναιμία, ο καρκίνος, η διακοπή κύησης αλλά και διάφορα αναπτυξιακά προβλήματα. (Aquamonitrix,2024)

Προκειμένου να γίνεται πιο αυστηρός έλεγχος των πηγών πόσιμου νερού και να περιοριστούν οι απειλές της νιτρορύπανσης ορίστηκαν όρια για τη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. Οι αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιόρισαν το μέγιστο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων σε 50 mg/L και 0,5 mg/L για τα νιτρώδη ιόντα στο πόσιμο νερό. Οι ΗΠΑ ακολουθούν το ίδιο μοντέλο τιμών. (Aquamonitrix,2024)

Μεγάλη ανησυχία ωστόσο αναπτύσσεται σε πολλές χώρες λόγω της εγκατάστασης και της ιδιωτικής χρήσης πηγαδιών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, έπειτα από έλεγχο, κατέγραψε πως τα τελευταία χρόνια αρκετές περιπτώσεις μεθαιμοσφαιριναιμίας συσχετίζονται με τη χρήση ιδιωτικού πηγαδιού. Αυτό συμβαίνει, καθώς πολλές φορές οι ιδιώτες δεν είναι γνώστες της σωστής διατήρησης της υγιεινής του πηγαδιού, ούτε απευθύνονται σε ειδικούς για δειγματοληψίες για διασφάλιση της ποιότητας του νερού. Τέλος, οι αρχές είναι πολύ πιο ελαστικές με την παρακολούθηση αλλά και την επιβολή των ορίων σε ιδιώτες. (Aquamonitrix,2024)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ

Σύμφωνα με μελέτες η εναπόθεση αζώτου έχει διπλασιαστεί τον τελευταίο αιώνα λόγω της υπέρμετρης αύξησης ανθρωπογενών δραστηριοτήτων όπως οι βιομηχανίες, η γεωργία και η κτηνοτροφία. Ωστόσο, λόγω των ποικίλων αρνητικών επιπτώσεων που έχει η συσσώρευση νιτρικών ιόντων τόσο στον άνθρωπο όσο και στην πανίδα και το νερό των υδάτινων οικοσυστημάτων έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι τόσο για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των επιπέδων των νιτρικών ιόντων αλλά και τρόποι απομάκρυνσης τους όταν κριθεί απαραίτητο. (Singh S. et al.,2022)

6.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας γύρω από περιβαλλοντικά θέματα μείζονος σημασίας, όπως η νιτρορύπανση, έχουν ανακαλυφθεί κάποιοι μέθοδοι ανίχνευσης και παρακολούθησης νιτρικών ιόντων στα νερά. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι είναι οι εξής:

6.1.1. ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Τα τελευταία χρόνια υπήρξε πλήρης ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη χημεία και στην ανάλυση ποιότητας υδάτων. Με αυτόν τον τρόπο ανακαλύφθηκαν φορητές συσκευές για τον προσδιορισμό νιτρικών ιόντων σε οποιαδήποτε στιγμή και οποιαδήποτε περιοχή χρειαστεί. Αυτές οι συσκευές είναι πλέον γνωστές και ως ηλεκτροχημικοί αισθητήρες.

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες φημίζονται για την ταχύτητα τους στην μέτρηση νιτρικών ιόντων, την υψηλή ευαισθησία αλλά και την ευκολία της προς τον χρήστη. Οι αισθητήρες

αυτοί, ακόμα, καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια, απαιτούν μια μικρή προετοιμασία του δείγματος και διαθέτουν μεγάλο εύρος μικρογραφίας για φορητότητα. Τα ηλεκτρόδια των αισθητήρων κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως ο χρυσός, η πλατίνα, το διαμάντι και ο υαλώδης άνθρακας τα οποία όμως μπορούν εύκολα να καταστραφούν από παρεμβολείς που έχουν αντίκτυπο τόσο στην ευαισθησία όσο και στην ακρίβειά τους. Ενώ κατατάσσονται σε κατηγορίες βάσει του σχεδιασμού τους. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- Ποτενσιομετρικοί (χωρίς ροή ρεύματος)
- Βολταμετρικοί/Αμπερομετρικοί (ροή ρεύματος βάσει εφαρμοσμένου βιομετρικού) (Singh S. et al.,2022)

Όταν τα νιτρικά ιόντα έρθουν σε επαφή με τα μεταλλικά ηλεκτρόδια, αρχίζουν να δημιουργούνται διάφορα ενδιάμεσα υποπροϊόντα άζωτου όπως η αμμωνία, οι υδροξυλαμίνες, οι υδραζίνες και άλλα οξείδια. Για αυτόν τον λόγο, η ευαισθησία και τα αποτελέσματα από μετρήσεις με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες εξαρτώνται από κάποιες παραμέτρους . Αυτές οι παράμετροι συμπεριλαμβάνουν το pH, τα ιόντα παρεμβολής αλλά και τη τεχνική δομή των ηλεκτροδίων.(Singh S. et al.,2022)

Ιοντοεκλεκτικά ηλεκτρόδια

Υπάρχει μια πολύ σημαντική υποκατηγορία ηλεκτροχημικών αισθητήρων που ονομάζονται ιοντοεκλεκτικά ηλεκτρόδια. Τα ιοντοεκλεκτικά ηλεκτρόδια ανήκουν στην κατηγορία των ποτενσιομετρικών αισθητήρων και η χρήση τους αναφέρεται στην μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ δυο ηλεκτροδίων. Το ένα ηλεκτρόδιο ονομάζεται ηλεκτρόδιο επιλογής ιόντων και το άλλο ηλεκτρόδιο αναφοράς. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας ηλεκτροχημικών αισθητήρων είναι η μεγάλη ευκολία ως προς τη λειτουργία του. (Singh S. et al.,2022)

Παρόλο που η τεχνολογία των ηλεκτροχημικών αισθητήρων έχει αναπτυχθεί πολύ, η απόδοση του αισθητήρα συνεχίζει να είναι πολύ πιο περιορισμένη από άλλες βελτιωμένες τεχνικές όπως η φασματοσκοπία και η χρωματογραφία. (Singh S. et al.,2022)

6.1.2. ΒΙΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι βιοαισθητήρες αποτελούν αισθητήρες οι οποίοι βασίζονται στο ένζυμο νιτρική αναγωγή και ανιχνεύουν μέσω αυτού τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων. Οι βιοαισθητήρες εντοπίζουν τα νιτρικά ιόντα με πολύ υψηλή ειδικότητα αλλά και μεγάλη ευαισθησία σε ουδέτερο pH.

Παρόλο τα πλεονεκτήματά τους, η συχνή χρήση τους στον πραγματικό κόσμο κρίνεται δύσκολη. Αυτό συμβαίνει καθώς, έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος αγοράς αλλά και συντήρησης, χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης, αλλά και χαμηλή μεταφορά ηλεκτρονίων λόγω της παρεμβολής του οξυγόνου. (Singh S. et al.,2022)

6.1.3. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Η φασματοσκοπία και οι διάφοροι μέθοδοι που χρησιμοποιεί είναι η πιο συχνή εφαρμοσμένη μέθοδος για την ανίχνευση νιτρικών ιόντων στα νερά. Αυτοί οι μέθοδοι προτιμώνται λόγω της υψηλής τους ευαισθησίας που επιφέρει βελτίωση στην ακρίβεια της μέτρησης, της απλότητας, τη χρήση μικρότερου όγκου δείγματος και της ταχύτητας διεξαγωγής μέτρησης. Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση νιτρικών ιόντων είναι οι εξής:

- Φθορισμός
- Χημειοφωταύγεια
- Χρωματομετρία
- Φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Φασματοσκοπία Raman
- Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (NMR)
- Φασματοσκοπία παραμαγνητικού συντονισμού ηλεκτρονίων (EPR)
- Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS)
- Φασματομετρία μάζας
(Singh S. et al.,2022)

Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες

- Άμεση μέθοδος : φασματοφωτομετρία απορρόφησης uV/Vis, χρωματογραφία
- Καταλυτική φασματοσκοπία: προσδιορισμός επίδρασης νιτρικών ιόντων στην οξείδωση δεικτών ή οργανικών χρωστικών
- Συμπλοκοποίηση νιτρικών ιόντων στη μέτρηση της υποκύπτουσας αλλαγής στη συγκέντρωση του συμπλοκοποιητικού παράγοντα
(Singh S. et al.,2022)

6.2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα της νιτρορύπανσης έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις τα τελευταία χρόνια. Η μεγάλη αύξηση της ακατάλληλης και συνεχούς χρήσης τεχνητών αζωτούχων λιπασμάτων αλλά και η διάθεση κτηνοτροφικών και αγροτικών αποβλήτων έχουν αποτελέσει τις βασικές πηγές μόλυνσης. Για αυτόν τον λόγο έχουν αναπτυχθεί ποικίλοι μέθοδοι απομάκρυνσης οι οποίες έχουν αποδειχθεί πως περιορίζουν τον κίνδυνο της νιτρορύπανσης αλλά και τις συνέπειες της.

6.2.1. ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΙΟΝΤΩΝ

Ένας από τους πιο βασικούς τρόπους για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων από το νερό είναι η ανταλλαγή ιόντων. Αυτή είναι μια διαδικασία που συνήθως εφαρμόζεται σε παραδοσιακούς αποσκληρυντές νερού κυρίως για την καταστροφή των μολυσματικών ουσιών πέρα των ορυκτών. Ειδικότερα, οι αποσκληρυντές αυτοί κάνουν χρήση ενός διαλύματος άλμης προκειμένου να δημιουργηθούν σωματίδια ρητίνης συνδυαστικά με ιόντα χλωρίου. Κατά τη

διάρκεια της διαδικασίας αυτής, όταν το νερό ρέει μέσα από την ειδική δεξαμενή, τα σωματίδια ρητίνης απορροφούν τα νιτρικά ιόντα και τα αντικαθιστούν με μη επιβλαβή ιόντα χλωρίου. Η ιοντοανταλλαγή αυτή είναι γνωστή και ως «ανταλλαγή ανιόντων» καθώς τα χλωριούχα ιόντα και τα νιτρικά ιόντα φέρουν αρνητικό φορτίο, γεγονός που τα καθιστά ανιόντα. (Yousefi H. et al,2023 & Woodard J.,2024)

Ωστόσο, για να λειτουργήσει σωστά η ιοντοανταλλαγή θα πρέπει το προς επεξεργασία νερό να μην έχει υψηλά επίπεδα θεικών ιόντων. Η ρητίνη που χρησιμοποιείται μπορεί να προσροφήσει και τα θειικά ιόντα. Αν όμως η συγκέντρωση των θεικών ιόντων είναι μεγαλύτερη από αυτή των νιτρικών ιόντων, η ρητίνη μπερδεύεται και επιλέγει τα θειικά ιόντα για να τα αντικαταστήσει και δε θα είναι πλέον αποτελεσματική ως προς την απομάκρυνση νιτρικών ιόντων. Αυτό συμβαίνει καθώς, η ρητίνη ανταλλαγής τμημάτων ιόντων εμφανίζει συγκεκριμένη τάση ως προς την εκλεκτικότητα των ιόντων. (Singh S. et al.,2022 & Woodard J.,2024)

Επιπλέον, θα πρέπει να πραγματοποιείται καλή και σωστή συντήρηση του αντιδραστήρα με πληρωτικό υλικό τη ρητίνη. Αν γίνεται χρήση δεξαμενής αντίστροφης πλύσης θα πρέπει ανά κάποια διαστήματα χρήσης να ξεπλένεται με χλωριούχο νάτριο ώστε αφενός να διατηρείται η ρητίνη αλλά και να ξεπλένεται και στο διάλυμα της άλμης από τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων.(Woodard J.,2024)

Φίλτρα ιοντοανταλλαγής

Τα ειδικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία ανταλλαγής ιόντων έχουν πολύ συγκεκριμένη χωρητικότητα αλλά και διάρκεια ζωής. Τα φίλτρα αυτά μπορούν να επεξεργαστούν μόνο όγκο αξίας ενός γαλονιού πριν χρησιμοποιηθεί όλη η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου και εξαντληθούν. Όταν τα ιόντα χλωρίου τελειώσουν θα πρέπει είτε να δημιουργηθούν ξανά είτε να αντικατασταθούν με νέα. Το πόσο γρήγορα θα εξαντληθεί η ειδική κασέτα με τα ιόντα χλωρίου εξαρτάται από τη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. Όσο πιο υψηλή η συγκέντρωση, τόσο πιο ταχεία είναι η εξάντληση των ιόντων χλωρίου. (Woodard J.,2024)

6.2.2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Η αντίστροφη ώσμωση (RO) είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία της ex-situ και της in-situ απορρόφησης νιτρικών ιόντων από ποικίλες πηγές λυμάτων .Η διαδικασία αυτή απομακρύνει πολλούς ρύπους ταυτόχρονα, επομένως και τα νιτρικά ιόντα, θέτοντας το νερό υπό πίεση μέσω ημιπερατής μεμβράνης που περιέχει μικροσκοπικούς πόρους. Οι πόροι αυτοί φιλτράρουν το καθαρό υδρογόνο και το οξυγόνο και τα διαχωρίζουν από τα νιτρικά ιόντα και απαλλάσσουν το νερό πλήρως από αυτά.Το μολυσμένο νερό κατά τη διάρκεια του φιλτραρίσματος προωθείται από τις κυψελίδες αυτές με πολύ μεγάλη πίεση. Έπειτα, το καθαρό επεξεργασμένο νερό που απορρέει από το φιλτράρισμα διαπερνά την ημιπερατή μεμβράνη και καταλήγει σε ειδική δεξαμενή αποθήκευσης. Οι ρύποι που κατακρατήθηκαν από τις κυψελίδες απορρίπτονται από τη μεμβράνη και ξεπλένονται σε διάλυμα άλμης. (Singh S. et al.,2022 & Woodard J.,2024)

Η αντίστροφη ώσμωση είναι πολύ αποτελεσματική διαδικασία και μια από τις πιο ισχυρές μεθόδους απονιτροποίησης, ακόμα και για το νερό οικιακής χρήσης, καθώς έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει το 83-92% των νιτρικών ιόντων που βρίσκονται στο νερό. (Woodard J.,2024)

Η τεχνική της αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιείται και για τον καθαρισμό υπόγειων υδάτων που έχουν μολυνθεί με νιτρικά ιόντα. Σε έρευνα που διεξήχθη στην Νότια Αφρική

διαπιστώθηκε πως η τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης συνέβαλε πολύ αποτελεσματικά στην απονιτροποίηση μειώνοντας τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων από 42,5 mg/L σε 0.9 mg/L. (Singh S. et al.,2022)



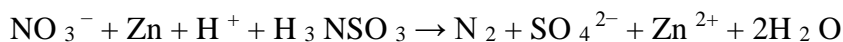
Εικόνα 5: Σύστημα Αντίστροφης Όσμωσης (TEMAK,2020)

6.2.3. ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τρόποι απομάκρυνσης νιτρικών ιόντων από τους διάφορους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν τόσο ως προς συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιούνται όσο και ως προς τις χημικές τους αντιδράσεις. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

Μέθοδος σουλφαμικού οξέος και μετάλλου ψευδαργύρου

Σε αυτού του είδους τη μέθοδο απομάκρυνσης, τα νιτρικά ιόντα τοποθετούνται σε ειδικούς χημικούς αντιδραστήρες. Οι χημικοί αυτοί αντιδραστήρες αποτελούνται από ένα δοχείο πραγματοποίησης αντιδράσεων, έναν αναδευτήρα και ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο. Ο αντιδραστήρας έρχεται σε επαφή με δύο χημικά αντιδραστήρια το σουλφαμικό οξύ και τον ψευδάργυρο. Στο πρώτο στάδιο το νιτρικό ιόν ανάγεται σε αέριο άζωτο με την εξής αντίδραση



Έπειτα τα κατιόντα υδραργύρου, που παράγονται ως προϊόντα της παραπάνω αντίδρασης, ανάγονται σε μέταλλο ψευδαργύρου και επανέρχονται στην αντίδραση προερχόμενα από τη χρήση του ψευδαργύρου ως καταλύτη της αντίδρασης. Το σουλφαμικό οξύ με τη σειρά του είναι το αντιδραστήριο αυτό που καταναλώνεται πλήρως.

Όταν εισέλθουν στον αντιδραστήρα τα νερά τα οποία εμπεριέχουν νιτρικά ιόντα, η αντίδραση ενεργοποιείται αυτόματα και απελευθερώνονται φυσαλίδες υγρού αζώτου. Λίγα λεπτά αφότου ξεκινήσει η αντίδραση το pH στο νερό μειώνεται μέσω του σουλφαμικού οξέος. Μετά το pH αυξάνεται και φτάνει μεταξύ 6,3 και 7,3 λόγω του γεγονότος ότι στην αντίδραση καταναλώνονται πλήρως τα κατιόντα υδρογόνου. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

Μέθοδος ηλεκτροχημικής απονιτροποίησης

Η ηλεκτροχημική απονιτροποίηση είναι μια μέθοδος κατά την οποία χρησιμοποιούνται ειδικά ηλεκτρόδια για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων. Σε αυτή τη μέθοδο διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης, ο τύπος του ηλεκτροδίου, το pH αλλά και η ένταση του ρεύματος. Η πιο βασική παράμετρος όμως, είναι το κατασκευαστικό υλικό του ηλεκτροδίου. Ο σίδηρος, ο χαλκός αλλά και ο ανοξείδωτος χάλυβας χρησιμοποιούνται αρκετά χρόνια στην ηλεκτροαναγωγή των νιτρικών ιόντων σε αέριο άζωτο. Ενώ, πιο αποτελεσματικά έχουν χαρακτηριστεί τα ηλεκτρόδια αλουμινίου, σιδήρου και τιτανίου. Τα λιγότερο αποτελεσματικά ηλεκτρόδια είναι τα ηλεκτρόδια προέλευσης γραφίτη. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

➤ Ηλεκτρόδιο σιδήρου

Ο ρυθμός αναγωγής των νιτρικών ιόντων σε αέριο άζωτο υπολογίζεται ανάλογα το pH του νερού. Σε pH μεταξύ 7 και 9 ο ρυθμός είναι 80% και η παραγωγή αμμωνίας είναι μεγάλη και η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων πολύ μικρή. Όταν το pH παραμένει στο 7 η ποσότητα του αζώτου είναι σταθερή, ενώ μόλις το pH αυξηθεί στο 9 το άζωτο μειώνεται ακαριαία. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

➤ Ηλεκτρόδιο αλουμινίου

Στα ηλεκτρόδια αλουμινίου το μεγαλύτερο ποσοστό νιτρικών ιόντων ανάγεται σε αμμωνία. Σε έρευνα που διεξήχθη χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρόδια αλουμινίου και έγινε μετατροπή σε παραμέτρους που αφορούν το μέγεθος του ηλεκτροδίου και το δυναμικό μεταξύ ανόδου και καθόδου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η απόδοση του αντιδραστήρα ηλεκτροχημικής απονιτροποίησης διαφέρει ανάλογα με την προσαρμογή των παραμέτρων. Η βέλτιστες συνθήκες βρέθηκαν πως είναι : τάση ρεύματος 14V, μήκος ηλεκτροδίων $5 \times 5 \text{ cm}^2$ και χρόνος ηλεκτρόλυσης 120 min. Σε αυτές τις συνθήκες η απόδοση είναι 76%. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

➤ Ηλεκτρόδιο χαλκού

Σε αυτά τα ηλεκτρόδια η προσθήκη νιτρικών ιόντων οδηγεί στην παραγωγή δύο διαφορετικών κυμάτων ρεύματος σε μια πιο αρνητική δυναμική περιοχή υπερδυναμικής εξέλιξης υδρογόνου. Σε περιοχή δυναμικού -0,2V και -1,6V παρατηρήθηκε πως στα -0.6V τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται νιτρώδη ιόντα. Αυτά με τη σειρά τους μετατρέπονται σε μονοξείδιο αζώτου στα -0,7V. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

➤ Ηλεκτρόδιο κασσίτερου

Στην απονιτροποίηση με ηλεκτρόδιο κασσίτερου η αναγωγή των νιτρικών ιόντων υποβοηθάται από αλκάλια . Αυτό επιτυγχάνεται με μικρές ποσότητες ιόντων κασσίτερου. Τα ιόντα κασσίτερου συμπεριλαμβάνονται στην ανταλλαγή δυναμικού μεταξύ καθοδικής εναπόθεσης και καθοδικής διάβρωσης. (El-Lateef, H. M. A. et al. 2022)

6.2.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Η διαδικασία της προσρόφησης έχει μελετηθεί πολύ εκτενώς μέσα στα χρόνια και έχει χαρακτηριστεί ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος. Αυτό συμβαίνει καθώς, χαρακτηρίζεται από ευκολία, απλότητα, χαμηλό κόστος, μεγάλη αποτελεσματικότητα αλλά και μεγάλη διαθεσιμότητα προσροφητικών υλικών. Η ανταλλαγή ιόντων αποτελεί, επίσης, το βασικό μέσο για την προσρόφηση νιτρικών ιόντων, η οποία πραγματοποιείται στην επιφάνεια ενός νανοφύλλου βιο-γραφενίου. (Singh S. et al.,2022)

6.2.5. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Μια ακόμα ευρέως γνωστή μέθοδος απομάκρυνσης νιτρικών ιόντων είναι η βιολογική απονιτροποίηση. Βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι η μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε αέριο άζωτο, το οποίο είναι μη τοξικό, σε αναερόβια περιβάλλοντα. Τα νιτρικά ιόντα χρησιμοποιούνται ως αποδέκτες ηλεκτρονίων από τα βακτήρια μέσω της διαδικασίας της αναπνοής. Οι οργανισμοί οι οποίοι εκτελούν τη βιολογική απονιτροποίηση είναι οργανικοί ή ανόργανοι προαιρετικά αναερόβιοι οργανισμοί. Μέρος των απονιτροποιητικών οργανισμών αποτελούν τόσο ετερότροφοι όσο και αυτότροφοι οργανισμοί. Οι ετερότροφοι χρειάζονται οργανική ύλη για να παράξουν ενέργεια ενώ οι αυτότροφοι ανόργανη ύλη. Ωστόσο, ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η βιολογική απονιτροποίηση έχει να κάνει με το είδος αλλά και την ποσότητα άνθρακα που βρίσκεται στην πηγή και με την αναλογία άνθρακα προς άζωτο. Η διαδικασία μπορεί επίσης να υποβοηθηθεί από την προσθήκη ενώσεων άνθρακα από το γύρω περιβάλλον και από σωματίδια με υψηλή μοριακή μάζα.

Το πιο αποτελεσματικό βακτήριο αποδείχθηκε το *Acinobacter* (SYF26). Συγκεκριμένα, κατάφερε να μειώσει τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κατά 92% με τη χρήση οξικού νατρίου ως πηγή ηλεκτρονίων. Αντί για άνθρακα στη βιολογική απονιτροποίηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μεθάνιο (CH_4) καθώς είναι πιο αποτελεσματικό και οικονομικό. (Singh S. et al.,2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

7.1 ΟΡΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) λόγω των σοβαρών επιπτώσεων που έχουν τα νιτρικά ιόντα και η νιτρορύπανση, έχει θέσει ανώτατα όρια ανίχνευσης τόσο για τα νιτρικά ιόντα όσο και τα νιτρώδη ιόντα. Για τα νιτρικά ιόντα το όριο αυτό είναι 0,009 mg/L και για τα νιτρώδη ιόντα είναι 0,013 mg/L (WHO,2016). Ακόμα, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έθεσε ως επιτρεπόμενη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό τα 50 mg/L. (Yousefi H. et al.,2023). Ο Οργανισμός Υγείας της Νέας Ζηλανδίας όρισε και αυτός το όριο ανίχνευσης των νιτρικών ιόντων στα 50 mg/L. (Health N.Z.,2024)

7.2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787

Στο άρθρο 2 της Οδηγίας 98/83/ΕΚ αναγράφονται οι εξής ορισμοί που αφορούν το νερό:

1. Ως «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης» ορίζεται:

- το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία.
- το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τρόφιμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής»
(Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2015)

Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό εφόσον:

- α) είναι απαλλαγμένο μικροοργανισμών και παρασίτων, και οποιωνδήποτε ουσιών, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και
- β) πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις των κανονισμών και οι αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι σύμφωνο με τις απαιτήσεις της παρούσας διάταξης.»
(Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2015)

Η Εφημερίδα της Κυβερνήσεως ανάρτησε νέα αναθεωρημένη απόφαση τον Μάιο του 2023.

Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2020 (L435/1, 23.12.2020)

Σύμφωνα με το άρθρο 2 της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184 δόθηκαν οι εξής ορισμοί:

1) «Νερό ανθρώπινης κατανάλωσης»:

α) το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις τόσο σε δημόσιες όσο και σε ιδιωτικές εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, παρέχεται από βυτίο ή τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία, συμπεριλαμβανομένων των νερών πηγής,

β) το νερό που χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε επιχείρηση τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τρόφιμου,

παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής.

2) "Οικιακές χρήσεις": χρήσεις του νερού, κατά τρόπο που να έρχεται σε άμεση ή έμμεση επαφή με τον ανθρώπινο οργανισμό.

(Ευρωπαϊκό Συμβολούλιο,2023)

7.3. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΟΥ

Σύγκριση των δύο πιο πρόσφατων ΦΕΚ

Σύμφωνα με την Οδηγία 89/93/ΕΚ

Ανάλογα με τον όγκο του νερού που παράγεται ημερησίως εξαρτάται και ο αριθμός των ελέγχων από τις Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενοτήτων οι οποίοι αρμόδιοι παρακολουθούν συστηματικά την κατάσταση των συστημάτων ύδρευσης της εκάστοτε περιοχής. (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2015)

Όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται ημερησίως εντός της ζώνης παροχής(σε m³)	Αριθμός ελέγχων
≤100	Κατά την κρίση της Υπηρεσίας και τουλάχιστον μία φορά ανά τριετία
100<V≤1000	1 ανά έτος
1000<V≤10.000	2 ανά έτος
10.000<V≤100.000	3 ανά έτος
>100.000	4 ανά έτος

Πίνακας 4: Αντιστοίχιση όγκος νερού ανά συχνότητα ελέγχων (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο,2015)

Ο υγειονομικός έλεγχος της Οδηγίας 98/83/ΕΚ συμπεριλαμβάνει:

- Την κατανομή των τμημάτων που αποτελείται το σύστημα ύδρευσης(από την πηγή ως το σημείο) και ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί

- Τη δειγματοληψία νερού προκειμένου να εξεταστούν οι χημικές, μικροβιολογικές και ενδεικτικές παράμετροι
- Τον έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου
- Και τέλος ολοκληρώνεται με την αποστολή των αποτελεσμάτων στο Υπουργείο Υγείας. (Οδηγία 98/83/ΕΚ)
(Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2015)

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 3525B_2023

Όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται ημερησίως εντός της ζώνης παροχής(σε m ³)	Αριθμός ελέγχων
≤100	Κατά την κρίση της Υπηρεσίας και τουλάχιστον μία φορά ανά τριετία
100<V≤1000	1 ανά έτος
1000<V≤10.000	2 ανά έτος
10.000<V≤100.000	3 ανά έτος
>100.000	4 ανά έτος

Πίνακας 5: Αντιστοίχιση όγκος νερού ανά συχνότητα ελέγχων (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο,2023)

Όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται ημερησίως εντός της ζώνης παροχής(σε m ³)	Συχνότητα παρακολούθησης ουσιών-ενώσεων καταλόγων
≤100	Κατά την κρίση της Υπηρεσίας και τουλάχιστον μία φορά ανά τριετία
100<V≤1000	1 ανά έτος
1000<V≤10.000	2 ανά έτος
10.000<V≤100.000	3 ανά έτος
>100.000	4 ανά έτος

Πίνακας 6: Αντιστοίχιση όγκος νερού ανά συχνότητα παρακολούθησης ουσιών (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο,2023)

Ο υγειονομικός έλεγχος του ΦΕΚ 3525B_2023 περιλαμβάνει:

- υγειονομική αναγνώριση των διαφόρων τμημάτων των συστημάτων ύδρευσης (από την πηγή έως το σημείο τήρησης του άρθρου 6) και του τρόπου λειτουργίας τους,
- δειγματοληψία νερού για εργαστηριακές εξετάσεις όλων των παραμέτρων.
- έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου. Δειγματοληψίες προς ανάλυση των μικροβιολογικών παραμέτρων θα πραγματοποιούνται με συχνότητα διπλάσια της συχνότητας των υγειονομικών ελέγχων.
- Τα αποτελέσματα αποστέλλονται άμεσα στο Υπουργείο Υγείας. 7.

(Ευρωπαϊκό Συμβούλιο,2023)

7.4. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η βασική πηγή της προέλευσης νιτρικών ιόντων στα νερά είναι η εναπόθεση επικίνδυνων αποβλήτων τόσο στα νερά όσο και στο έδαφος

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/689/ΕΟΚ της 12^{ης} Δεκεμβρίου 1991 για τα επικίνδυνα απόβλητα, δόθηκε ο εξής ορισμός. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή «επικίνδυνο απόβλητο» είναι:

- απόβλητα που περιλαμβάνονται σε κατάλογο που πρέπει να καταρτιστεί σύμφωνα με τη διαδικασία που ορίζεται σε προηγούμενη οδηγία. Ο κατάλογος λαμβάνει υπόψη την προέλευση και τη σύνθεση των αποβλήτων και, όπου χρειάζεται, τις οριακές τιμές συγκέντρωσης. Ο κατάλογος αυτός επανεξετάζεται περιοδικά και, εάν χρειάζεται, με την ίδια διαδικασία.
- κάθε άλλο απόβλητο που θεωρείται από κράτος μέλος ότι εμφανίζει οποιαδήποτε από τις ιδιότητες που αναφέρονται στο παράρτημα ΙΙΙ. Οι περιπτώσεις αυτές κοινοποιούνται στην Επιτροπή και επανεξετάζονται σύμφωνα με τη διαδικασία που ορίζεται στο άρθρο 18 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ με σκοπό την προσαρμογή του καταλόγου.

Συγκεκριμένα τα νιτρικά ιόντα συμπεριλαμβάνονται στο παράρτημα ΙΙ στο σημείο C51: υδρογονάνθρακες και το οξυγόνο τους, ενώσεις αζώτου ή/και θείου που δεν λαμβάνονται διαφορετικά υπόψη στο παρόν παράρτημα. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 1991)

7.5. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ REACH

Ο κανονισμός REACH αποτελεί μέρος της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο οποίος εφαρμόστηκε το 2007 δημιουργήθηκε προκειμένου να προστατεύσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τόσο την υγεία του ανθρώπου όσο και την περιβαλλοντική ισορροπία από διάφορους κινδύνους. Αυτός ο κανονισμός έχει εφαρμογή σε όλες τις χημικές ουσίες τόσο σε αυτές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία όσο και σε αυτές που εντοπίζονται στην καθημερινότητα. Επομένως, ο κανονισμός έχει ισχύ στο μεγαλύτερο μέρος επιχειρήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και μεταφέρει το βάρος σε αυτές. Τα αρχικά REACH σημαίνουν καταχώρηση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί χημικών ουσιών. (ECHA,2006)

Σύμφωνα με τον Κανονισμό REACH οι επιχειρήσεις έχουν καθήκον να καταχωρούν τις ουσίες που χρησιμοποιούν και συνεργάζονται με άλλες επιχειρήσεις που κάνουν χρήση των ίδιων ουσιών. Η Ευρωπαϊκή Αρχή για τις χημικές ουσίες με τη σειρά της αξιολογεί τις καταχωρήσεις των εταιριών για να ελέγξει τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων με τον νόμο. (ECHA,2024)

Οι ρόλοι σε μια επιχείρηση είναι οι εξής:

- **Παρασκευαστής** :Εάν ο παρασκευαστής κατασκευάζει χημικά προϊόντα είτε για την επιχείρησή του είτε για άλλες, οφείλει να υπακούει.
- **Εισαγωγέας**: Εάν προμηθευτεί χημικά προϊόντα, ρούχα, έπιπλα ή πλαστικά προϊόντα από χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, το πιο πιθανό είναι να πρέπει να συμμορφωθεί με συγκεκριμένες υποχρεώσεις.
(ECHA,2006)

7.6. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ CLP

Ο κανονισμός CLP έχει νομική ισχύ για όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας. Συγκεκριμένα, υποχρεώνει τους παρασκευαστές, τους εισαγωγείς αλλά και τους μεταγενέστερους χρήστες να καταγράφουν και να αποθηκεύουν κατάλληλα τις επικίνδυνες και τοξικές χημικές ουσίες πριν τις εναποθέσουν στην ευρεία αγορά. Ο βασικός στόχος του CLP είναι να διασταυρωθεί το πόσο μια ουσία ή ένα μείγμα μπορούν να είναι δυνητικά επικίνδυνα.

Στον κανονισμό CLP διαμορφώνονται ακριβώς τα κριτήρια για να βασικά στοιχεία όπως: εικονογράμματα, προειδοποιήσεις, δηλώσεις επικινδυνότητας, πρόληψης, απόκρισης, αποθήκευσης και απέκκρισης για κάθε τάξη και είδος κινδύνου. Ακόμα, μέσω αυτού του κανονισμού ορίζονται τα πρότυπα συσκευασίας για να διασφαλιστεί με ασφάλεια ο εφοδιασμός επικίνδυνων ουσιών.

(ECHA,2008)

Οι βασικές διεργασίες που αποτελούν μέρη του κανονισμού CLP είναι:

- Ισορροπημένη ταξινόμηση και επισήμανση. Πραγματοποίηση ταξινόμησης και επισήμανσης βασικών επικίνδυνων χημικών ουσιών για να γίνεται όσο πιο κατάλληλα είναι δυνατόν η διαχείριση κινδύνων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Αλλαγή ονομασιών σε χημικές ουσίες μειγμάτων: Αυτό συμβαίνει για να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα και τα πνευματικά δικαιώματα ιδιοκτησίας των μειγμάτων
- Ευρετήριο ταξινόμησης και επισήμανσης: Οι παρασκευαστές αλλά και εισαγωγείς καταθέτουν στο αποθετήριο του ECHA πληροφορίες σχετικά με την ταξινόμηση και την επισήμανση ουσιών που έχουν προωθήσει στην αγορά.

(ECHA,2008)

7.7. ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Οι οριακές τιμές (TLVs) είναι η μέγιστη αερογενώς μεταφερόμενη ποσότητα ενός επικίνδυνου υλικού, στην οποία μπορούν να μείνουν εκτεθειμένοι οι εργαζόμενοι κατά τη

διάρκεια μιας εργάσιμης μέρας (8 ώρες εργασίας), είτε εβδομάδας (40 ώρες), χωρίς να υπάρξει αντίκτυπος στην ανθρώπινη υγεία. Οι τιμές αυτές ορίζονται από την επιτροπή της Αμερικάνικης Διάσκεψης Κυβερνητικών Βιομηχανικών Υγιεινολόγων (ACGIH). (NOAA,2022)

Οι οριακές τιμές αποτελούνται από τρία μέρη:

- Χρονικά σταθμισμένη μέση συγκέντρωση (TWA): Ορίζεται ως ο μέσος όρος συγκέντρωσης ενός ρύπου κατά τη διάρκεια μια εργάσιμης μέρας 8 ωρών. Η μέτρηση της πραγματοποιείται στη ζώνη αναπνοής του εργαζομένου όλη τη μέρα.
- Οριακή τιμή (TLV): Ορίζεται ως η συγκέντρωση επικίνδυνης ουσίας στην ατμόσφαιρα.
- Οριακή τιμή βραχυπρόθεσμης έκθεσης (STEL): Ορίζεται ως η συγκέντρωση TWA σε χρόνο 15 λεπτών που δεν πρέπει να υπερβαίνεται. (NOAA,2022)

Οι οριακές τιμές υπολογίζονται ως εξής:

$$TLV(mg/m^3) = \frac{TLV (ppm) (\text{μοριακό βάρος της ουσίας σε γραμμάρια})}{24.45}$$

όπου 24.45 ο μοριακός όγκος σε λίτρα.

$$TLV(ppm) = \frac{TLV (mg/m^3) \cdot 24.45}{(\text{μοριακό βάρος της ουσίας σε γραμμάρια})}$$

(CCOHS,2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Κατά τη διάρκεια των τεσσάρων μηνών Ιούνιος 2024- Οκτώβριος 2024, πραγματοποιήθηκε πρακτική άσκηση στο Γενικό Χημείο του Κράτους, στην Α΄ Χημική Υπηρεσία Αθηνών, στο Τμήμα Γ΄ Εργαστήριο Ποιότητας Νερού. Στο πλαίσιο της πρακτικής άσκησης, έγιναν μετρήσεις επιφανειακών νερών για μια ευρεία ποικιλία ιόντων μαζί και νιτρικών ιόντων. Παρακάτω παραθέτονται στοιχεία μετρήσεων που παραχωρήθηκαν με τη σύμφωνη γνώμη του Προϊσταμένου Τμήματος Νερού κ. Νικόλαο Νικόλη. Ενώ η μέθοδος ιοντικής χρωματογραφίας που αναλύεται αποτελεί απόρροια σημειώσεων αλλά και τριβής στο συγκεκριμένο αντικείμενο

8.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των νιτρικών ιόντων είναι η ιόντική χρωματογραφία. Η ιοντική χρωματογραφία είναι μια πολύ γνωστή μέθοδος ανάλυσης και διαχωρισμού νιτρικών ιόντων. Πλέον η ιοντική χρωματογραφία με τη χρήση νεότερης τεχνολογίας υπολογιστών έχει αλλάξει ριζικά την πρακτική της χρωματογραφίας καθώς δίνουν

τη δυνατότητα μεγάλου φάσματος χρωματογραφικών διαχωρισμών ιόντων χρησιμοποιώντας μόνο υπερκάθαρο νερό ως φορέα. (Avdalonovic N. et al.,2021)

Το σύστημα ιοντικής χρωματογραφίας που χρησιμοποιείται πλέον είναι το Dionex (ICS-1500). Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από:

- Μια αντλία υψηλής πίεσης
- Υποδοχέα δειγμάτων
- Προστήλη
- Στήλη διαχωρισμού
- Σύστημα συλλογής δεδομένων

(Κοσμά Χ.,2009)

Ο βασικός πυλώνας λειτουργίας του μηχανήματος ιοντικής χρωματογραφίας είναι ο καταστολέας (suppressor). Όταν ξεκινήσει η διαδικασία της χρωματογραφίας τα νιτρικά ιόντα των εξεταζόμενων δειγμάτων διαφεύγουν από τη στήλη και διαπερνούν τον χημικό καταστολέα. Η χρήση του καταστολέα ενισχύει την ευαισθησία του συστήματος μέσω:

- της μείωσης την αγωγιμότητας υποβάθρου του διαλύτη, περιορίζοντας τον θόρυβο
- της αύξησης της αγωγιμότητας του προς ανάλυση ιόντος, συμβάλλοντας στην αύξηση του σήματος
- του περιορισμού των ανταγωνιστικών ιόντων του δείγματος

(Κοσμά Χ.,2009)

Βήματα προσδιορισμού ιόντων μέσω ιοντικής χρωματογραφίας με τη βοήθεια του προγράμματος Chromeleon

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό των ιόντων μέσω της χρωματογραφίας με χρήση υπολογιστή είναι τα εξής

1. Ενεργοποίηση υπολογιστή και άνοιγμα του προγράμματος Chromeleon για εκτέλεση της ιοντικής χρωματογραφίας
2. Έλεγχος των δοχείων εκλουστικών . Στο δοχείο ανιόντων τοποθετούμε υπερκάθαρο νερό και στο δοχείο κατιόντων με το απαιτούμενο εκλουστικό διάλυμα. Το διάλυμα αυτό κατασκευάζεται σε φιάλη των 250 mL με εκλουστικό MSA 5mL και συμπλήρωση με υπερκάθαρο νερό.
3. Έπειτα ενεργοποιούμε στο πρόγραμμα το πλαίσιο Prime και Pump, ανοίγοντας τις βίδες προκειμένου να ξεκινήσει η ενεργοποίηση των εκλουστικών προς στα δείγματα .
4. Όταν ολοκληρωθεί το Prime, κλείνουμε ξανά τις ειδικές βίδες
5. Επιλέγουμε τις κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που θέλουμε προκειμένου να εξελιχθεί σωστά η χρωματογραφία
6. Τοποθετούμε τα δείγματα που εμείς θέλουμε στη θυρίδα μαζί με ένα δείγμα υπερκάθαρου νερού (blank)

7. Ξεκινάμε την διαδικασία
(ΓΧΚ, 2024)

8.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως έχει προαναφερθεί το όριο των νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 50 mg/L. (Yousefi H. et al.,2023). Από τον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε πως όλες οι τιμές είναι εντός ορίων, εκτός από το νερό γεώτρησης στον Άγιο Μερκούριο με τιμή νιτρικών ιόντων 51,5 mg/L . Αυτό μπορεί να συμβαίνει καθώς το έδαφος και τα ορυκτά συγκρατούν μακροπρόθεσμα μεγάλη ποσότητα νιτρικών ιόντων. Από το γράφημα αντιλαμβανόμαστε πως οι μεγαλύτερες τιμές νιτρικών ιόντων εντοπίστηκαν σε μέρη που πραγματοποιεί δειγματοληψίες η Υγειονομική Περιφέρεια Πειραιά και Νήσων.



Πίνακας 6: Γράφημα τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων σε σχέση με τις Υγειονομικές Περιφέρειες (ΓΧΚ,2024)

Η ανάλυση των παραπάνω δειγμάτων έγινε κατά τη διάρκεια των μηνών Ιούνιο με Οκτώβριο του 2024 και αποτελεί ένα μέρος των προς ανάλυση δειγμάτων που αναλύθηκαν από την υπεύθυνη φοιτήτρια αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Τα δείγματα συγκεντρώθηκαν από τέσσερεις Υγειονομικές Περιφέρειες (Δυτικής Αττικής, Ανατολικής Αττικής, Πειραιά και Νήσων, Χανίων) αλλά και από το Υπουργείο Παιδείας και τη Διεύθυνση Υγειονομικού Ελέγχου Πειραιά. Η προέλευση των δειγμάτων είναι κυρίως από νερό δικτύου ύδρευσης που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, πλην ενός δείγματος νερού γεώτρησης. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, παρατηρούμε πως στις περιοχές της Αττικής με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα (εργοστάσια, λιμάνια κλπ) η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων παραμένει σημαντικά κάτω από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, εκτός από το μοναδικό δείγμα νερού γεώτρησης. Αυτό αποδεικνύει πως η ελληνική επιστημονική κοινότητα έχει φροντίσει να ενημερώσει για τη σωστή πρόληψη από τη νιτρορύπανση αλλά και για τη συχνότητα ελέγχου του νερού, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο πολύ χαμηλά επίπεδα νιτρικών ιόντων στο λεκανοπέδιο Αττικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ

Όπως προαναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες τα νιτρικά ιόντα και η επαφή με μεγάλες συγκεντρώσεις αυτών μπορεί να έχει πολύ μεγάλο αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου. Γι' αυτόν τον λόγο κρίνεται απαραίτητη τόσο η λήψη μέτρων αλλά και μετάδοση τους τόσο στους επαγγελματίες αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο προκειμένου να προστατευτούν από τις δυσμενείς συνέπειες της ρύπανσης των υδάτων από τα νιτρικά ιόντα

9.1. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Η βασική πηγή νιτρορύπανσης είναι η γεωργία λόγω της ακατάλληλης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Αζωτούχο λίπασμα είναι κάθε λίπασμα οργανικό ή ανόργανο που περιέχει ως κύριο συστατικό το άζωτο σε στερεή ή υγρή μορφή. Ακόμα, υπάρχουν και τα νιτρικά λιπάσματα τα οποία είναι αζωτούχα λιπάσματα όπου περιέχουν άζωτο με μορφή νιτρικών ιόντων (ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

Λόγω των κινδύνων που υπάρχουν στην γεωργία για νιτρορύπανση δημιουργήθηκε ένας κώδικας, προκειμένου να υπάρξει σωστή καθοδήγηση για την εφαρμογή ορθών πρακτικών στη γεωργία για όσους απασχολούνται στον κλάδο. Ο κώδικας αυτός είναι γνωστός και ως Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης. Στόχος του κώδικα αυτού είναι η πρόληψη της νιτρορύπανσης τόσο των υπόγειων όσο και των επιφανειακών νερών. Τα νερά αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από αγρό που έχει υποστεί αζωτούχος λίπανση είτε από βοσκότοπο που έχει γίνει απόθεση ζωικής κοπριάς. Ο κώδικας αυτός ονομάζεται Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης. (ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

Ο Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης περιλαμβάνει ορθές πρακτικές τόσο για την τοποθέτηση αζωτούχων λιπασμάτων όσο και για την διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων. (ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

Εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων

1. Οι παραγωγοί θα πρέπει να εφαρμόζουν ανάλογα με την καλλιέργεια και το είδος του εδάφους, τις σωστές ποσότητες λιπασμάτων αλλά και τον βέλτιστο τύπο. Αν εφαρμοστούν αυτά θα καλυφθούν και οι ανάγκες των φυτών, χωρίς να επιβαρυνθεί το νερό με νιτρικά ιόντα.
2. Τα αζωτούχα λιπάσματα θα πρέπει να εφαρμόζονται με φειδώ, ώστε το άζωτο και τα νιτρικά ιόντα να παραμένουν εντός ορίων.
3. Οι παραγωγοί που βρίσκονται στις ευαίσθητες ως προς τη νιτρορύπανση ζώνες θα πρέπει να ελέγχουν ώστε το άθροισμα αζώτου στα λιπάσματα και αυτού που βρίσκεται ήδη αποθηκευμένο στα φυτά, να μην υπερβαίνει τα νομοθετικά όρια.
4. Τους καλοκαιρινούς και τους φθινοπωρινούς μήνες, τα επίπεδα χρησιμοποιούμενου αζώτου θα πρέπει να παραμένουν τα ίδια και να μην αυξάνονται παραπάνω από αυτό που μπορεί να αντέξει η καλλιέργεια.
5. Οι παραγωγοί οφείλουν να θέτουν τη μεγαλύτερη δυνατή προσπάθεια, προκειμένου η τοποθέτηση των αζωτούχων λιπασμάτων να γίνει όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα. Έτσι, διασφαλίζεται η ίση εναπόθεση νιτρικών ιόντων ανά τετραγωνικό καλλιεργήσιμη περιοχή.
6. Η εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων θα πρέπει να γίνεται:
 - σε απόσταση μικρότερη των 2 μέτρων από κάθε επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα (ποτάμια, λίμνες, ρέματα, κανάλια ύδρευσης και άρδευσης, τάφρους, διώρυγες) σε περίπτωση έκτασης με κλίση μέχρι 8%, και σε απόσταση μικρότερη των 6 μέτρων σε παρόχθιους αγρούς με κλίση άνω του 8%.
 - σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από πηγές υπόγειου νερού (πηγάδια, γεωτρήσεις)
 - σε απόσταση μικρότερη των 5 μέτρων από κάθε άλλη υδροληψία υπόγειου νερού (πηγές, πηγάδια και γεωτρήσεις).(ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων

1. Οι παραγωγοί προκειμένου να σχεδιάσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο κατάλληλους χώρους αποθήκευσης και επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων, πρέπει να αντιληφθούν πως η τόσο η μορφή όσο και ο όγκος των αποβλήτων αυτών εξαρτώνται από:
 - Το είδος και την ηλικία των ζώων υπό εκτροφή
 - Τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής
 - Το σιτηρέσιο
 - Το είδος του σταυλισμού
 - Τον τρόπο συλλογής και απομάκρυνσης των αποβλήτων σε συνάρτηση με την περιεκτικότητά σε ολικά στερεά.

2. Οι παραγωγοί πρέπει να αποφεύγουν την ακατάλληλη και άσκοπη ανάμιξη νερού με στερεά κτηνοτροφικά απόβλητα. Αν γίνει αποφυγή αυτού και παραμείνουν χωρισμένα είναι πιο εύκολη η επεξεργασία τους
3. Οι παραγωγοί πρέπει να έχουν εκδώσει τις απαιτούμενες άδειες κατασκευής χώρων εναπόθεσης κτηνοτροφικών αποβλήτων σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

9.2. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑ

Προκειμένου να παραμείνουν οι κάτοικοι ενημερωμένοι για τη νιτρορύπανση έχουν εκδοθεί και μέτρα που μπορούν να λάβουν οι ίδιοι πριν εξαπλωθεί το φαινόμενο.

Ιδιοκτησία ιδιωτικού πηγαδιού

Παραθέτονται παρακάτω τύποι ιδιωτικών πηγαδιών οι οποίοι είναι πιο ευαίσθητοι σε μόλυνση από νιτρικά ιόντα:

- Ρηχά πηγάδια
- Πηγάδια σε άμμο με υδροφόρους ορίζοντες που περιέχουν πετρώματα
- Σκαμμένα πηγάδια χωρίς σωστή και κατάλληλη στέγαση
- Φρεάτια με κατεστραμμένα περιβλήματα στα οποία παρουσιάζεται διαρροή

(MDH,2025)

Για αποτροπή νιτρορύπανσης στο ιδιωτικό πηγάδι μπορούν να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Κατασκευή του πηγαδιού σε ασφαλές σημείο
- Τοποθέτηση πηγαδιού μακριά από λιπάσματα και ζωικά απόβλητα
- Τακτικός έλεγχος πηγαδιού για ζημίες
- Ετήσια δοκιμή για νιτρικά ιόντα ανά 2 χρόνια

(MDH,2025)

Πρόληψη εντός της οικίας

Για την πρόληψη της μόλυνσης μέσω νιτρικών ιόντων μπορεί να εγκατασταθεί κάτω από τη βρύση μια μικρή μονάδα επεξεργασίας η οποία ονομάζεται συσκευή σημείου χρήσης. Παραδείγματα συσκευών σημείου χρήσης για απομάκρυνση νιτρικών ιόντων είναι συσκευές ανταλλαγής ιόντων και αντίστροφης ώσμωσης.

- Οι συσκευές ιοντοανταλλαγής διαπερνούν το νερό μέσα από δεξαμενή ρητίνης και απορροφούν σχεδόν το 90% των νιτρικών ιόντων
- Οι συσκευές αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούν μεγάλη πίεση και διηθούν το νερό μέσα από φίλτρο που συγκρατεί τα νιτρικά ιόντα (HNZ,2024)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, τα νιτρικά ιόντα αποτελούν όχι μόνο μεγάλο μέρος της περιβαλλοντικής καταστροφής αλλά και σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Η υψηλή συγκέντρωση αλλά και η συσσώρευση τους στο νερό προς ανθρώπινη κατανάλωση μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες παθήσεις η μεθαιμοσφαιριναιμία (γνωστή ως «σύνδρομο του μπλε μωρού») και σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Επιπλέον, συμβάλλουν στον ευτροφισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων, οδηγώντας σε μείωση του οξυγόνου και καταστροφή της υδρόβιας ζωής.

Γι' αυτόν τον λόγο, Διάφορες μέθοδοι, όπως η αντίστροφη ώσμωση, η ιοντοανταλλαγή και η βιολογική απονιτροποίηση, χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων. Αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στη μείωση των επιπέδων των νιτρικών στο νερό, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία της δημόσιας υγείας. Παρ' όλα αυτά, η πιο αποτελεσματική προσέγγιση είναι η πρόληψη, μέσω της σωστής διαχείρισης των αποβλήτων και της λελογισμένης χρήσης λιπασμάτων. Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού προς όφελος των μελλοντικών γενεών.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Προκειμένου να διατηρηθεί αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού πρέπει να υπάρχουν ειδικές νομοθεσίες και κατευθυντήριες οδηγίες, οι οποίες θα αναθεωρούνται όποτε κρίνεται απαραίτητο. Οι αναθεωρήσεις προέρχονται από δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών και βασίζονται σε διαρκείς επιτηρήσεις. (WHO,2022)

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν ένα οξύ μολυσματικό και τοξικό παράγοντα κυρίως για την υγεία του ανθρώπου. Αυτό σημαίνει πως ο αρνητικός αντίκτυπος στην υγεία μπορεί να κάνει την εμφάνισή του άμεσα, εντός ολίγων ημερών. Η υψηλή, εκτός νομοθετικών ορίων, ποσότητα νιτρικών ιόντων περιορίζει τη μεταφορά οξυγόνου στον οργανισμό μέσω των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Μπορεί οι υγιείς ενήλικες να αναρρώσουν εύκολα. Ωστόσο, οι ευπαθείς ομάδες και τα βρέφη μικρότερα από 6 μηνών θα εμφανίσουν επιπλοκές. (EPA,2024)

Λόγω της κρισιμότητας του φαινομένου της νιτρορύπανσης είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων αλλά και ύπαρξη οδηγιών προς όσους απασχολούνται με τη γεωργία ώστε να περιοριστεί όσο γίνεται το δυνατό η εξάπλωση του φαινομένου. (ΕΛΙΝΥΑΕ,2021)

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΠΟΠΤΕΣ ΥΓΕΙΑΣ

Η νιτρορύπανση ως κύριο κομμάτι της περιβαλλοντικής ρύπανσης των υδάτων έγκειται στο πεδίο των Εποπτών Υγείας, οι οποίο οφείλουν να δράσουν άμεσα. μελλοντική πρόταση για τον ρόλο των Εποπτών Υγείας στην αντιμετώπιση της νιτρορύπανσης επικεντρώνεται στην ενίσχυση της πρόληψης, της παρακολούθησης και της ενημέρωσης του κοινού. Οι Επόπτες Υγείας μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο μέσω τακτικών ελέγχων στην ποιότητα του

πόσιμου νερού και των υδάτινων πόρων, εντοπίζοντας έγκαιρα επικίνδυνα επίπεδα νιτρικών ιόντων. Παράλληλα, η συνεργασία τους με αγρότες και βιομηχανίες μπορεί να προωθήσει ορθές γεωργικές και περιβαλλοντικές πρακτικές, περιορίζοντας τη χρήση χημικών λιπασμάτων. Η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών, όπως η τηλεμετρία και τα συστήματα ανίχνευσης ρύπων, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των ελέγχων και την άμεση ανταπόκριση σε προβλήματα μόλυνσης. Επιπλέον, η εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τη σωστή διαχείριση αποβλήτων και την προστασία των υδάτινων πόρων αποτελεί βασικό πυλώνα της στρατηγικής τους. Ένα ολοκληρωμένο σχέδιο δράσης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη διατήρηση της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

1. Al-Ghouti, M.A. et al. (2019) Produced water characteristics, treatment and reuse: A Review, *Journal of Water Process Engineering*, Vol.28, pp. 222-239. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418306858>
2. Amali R.K.A. et al. (2021) Significance of nanomaterials in electrochemical sensors for nitrate detection: A review, *Trends on Environmental Analytical Chemistry*, Vol.31 (Issue e00135). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.teac.2021.e00135>
3. Amebel, A. et al. (2021) The Lancet Commission on water, sanitation and hygiene, and health, *The Lancet*, Vol.398 (Issue 10310), pp. 1469-1470 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673621020055?via%3Dihub>
4. Aquamonitrix (2024) Environmental impacts of nitrate pollution, Aquamonitrix® - Nitrate and Nitrite Analyser. Available at: <https://aquamonitrix.com/environmental-impacts-nitrate/>
5. Avdalovic N. et al. (2021) Chapter 12 - Capillary ion chromatography, *Separation Science and Technology*, Vol.13 p. 303-322. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813075-9.00015-7>
6. Brender, J.D. (2020). Human Health Effects of Exposure to Nitrate, Nitrite, and Nitrogen Dioxide. In: Sutton, M.A., et al. *Just Enough Nitrogen*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58065-0_18
7. CCOHS (2022) Occupational Hygiene - Occupational Exposure Limits, Canadian Center for Occupational Health and Safety. Available at: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/occ_hygiene/occ_exposure_limits.html
8. Dolla T.H. et al. (2023) Recent advances in transition metal sulfide-based electrocatalysts and photocatalysts for nitrogen fixation, *Journal Of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 928 (Issue 117049). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572665722010438>
9. ECHA (2008) CLP, ECHA European Chemicals Agency. Available at: <https://echa.europa.eu/el/regulations/clp/understanding-clp>
10. ECHA (2006) REACH, ECHA European Chemicals Agency. Available at: <https://echa.europa.eu/el/regulations/reach/understanding-reach>
11. El-Lateef, H. M. A. et al. (2022). Removal of the Harmful Nitrate Anions from Potable Water Using Different Methods and Materials, including Zero-Valent Iron. *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(8), 2552. <https://doi.org/10.3390/molecules27082552>
12. Elwood M.J. et al.(2022) Nitrates in drinking water and cancers of the colon and rectum: a meta-analysis of epidemiological studies. *Cancer Epidemiology*, Vol. 78 (Issue 102148). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.canep.2022.102148>
13. EPA (2024) Drinking Water-What are the trends in the quality of drinking water and their effects on human health?, U.S. Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/report-environment/drinking-water>
14. EPA (2024) Why is nitrate contamination a concern?, U.S. Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/mn/why-nitrate-contamination-concern>
15. García Torres, E. et al. (2020) Consumption of water contaminated by nitrate and its deleterious effects on the human thyroid gland: a review and update, *International*

- Journal of Environmental Health Research, 32(5), pp. 984–1001. Available at: <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1815664>
16. Health New Zealand (2024) Nitrate in Drinking Water, Health Information and Services New Zealand. Available at: <https://info.health.nz/keeping-healthy/activity-diet/nitrate-in-drinking-water>
 17. Jacobsen B.H. et al. (2024) Health-economic valuation of lowering nitrate standards in drinking water related to colorectal cancer in Denmark, *Science of The Total Environment*, Vol.906 (Issue 167368). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167368>.
 18. Kambale, V. (2020) Quality and characteristics of water, SlideShare. Available at: <https://www.slideshare.net/slideshow/ppt-4-quality-of-water/238457335>
 19. Karwowska, M. and Kononiuk, A. (2020) Nitrates/Nitrites in Food-Risk for Nitrosative Stress and Benefits, MDPI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/3/241>
 20. Lim, S. et al. (2022) Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review - sciencedirect, ScienceDirect. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135422000161>
 21. Lin L. et al. (2022) Nitrate contamination in drinking water and adverse reproductive and birth outcomes: a systematic review and meta-analysis, *Scientific Reports*, Vol. 13 (Issue 563). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27345-x>
 22. Nieder, R. and Benbi, D. (2022) Reactive nitrogen compounds and their influence on human health: an overview. *Reviews on Environmental Health*, Vol. 37 (Issue 2), pp. 229-246. Available at: <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0021>
 23. NOAA (2022) Threshold Limit Values (TLVs), Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. Available at: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/threshold-limit-values-tlvs>
 24. Panhwar, A. et al. (2021). Chemical Coagulation: An Effective Treatment Technique for Industrial Wastewater. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*. 2. 10.46592/turkager.2021.v02i02.021 Available at: https://www.researchgate.net/publication/356986593_Chemical_Coagulation_An_Effective_Treatment_Technique_for_Industrial_Wastewater
 25. PubChem(2025) Nitrate. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. US National Library of Medicine. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/com>
 26. Rafferty J.P. et al. (2024) Nitrogen cycle, *Encyclopedia Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/science/nitrogen-fixation>
 27. Robertson G.P. et al. (2023) *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fifth Edition). Elsevier. Pp 407-438. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822941-5.00014-4>
 28. Royal H. et al. (2024) Nitrate in drinking water and pregnancy outcomes: A narrative review of epidemiological evidence and proposed biological mechanisms, *PLOS Water*. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000214>
 29. Sanderson, T. (2024) Nitrogen, *Encyclopedia Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/science/nitrogen>

30. Schrenk D. et al. (2020) Risk assessment of nitrate and nitrite in feed, EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), European Food Safety Authority, Vol.18 (Issue 11). Available at: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6290>
31. Seyyedsalehi, M. S. et al. (2023) Association of Dietary Nitrate, Nitrite, and N-Nitroso Compounds Intake and Gastrointestinal Cancers: A Systematic Review and Meta-Analysis, MDPI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available at: <https://www.mdpi.com/2305-6304/11/2/190>
32. Shukla S. et al. (2020) Sources and Leaching of Nitrate Contamination in Groundwater. Current Science, vol. 118, no. 6, 2020, pp. 883–91. JSTOR, Available at: <https://www.jstor.org/stable/27226382>
33. Singh S. et al. (2022) Nitrates in the environment: A critical review of their distribution, sensing techniques, ecological effects and remediation, Chemosphere, Vol.287, Part 1 (Issue 131996). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131996>
34. Van den Brand, A. D. et al. (2020) ‘Assessment of the combined nitrate and nitrite exposure from food and drinking water: application of uncertainty around the nitrate to nitrite conversion factor’, Food Additives & Contaminants: Part A, 37(4), pp. 568–582. Available at: <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1707294>
35. WHO (2022) Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and Second addenda, World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
36. WHO (2023) Drinking water, World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
37. WHO (2016) Nitrate and Nitrite in Drinking-water, World Health Organization. Available at: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/nitrate-nitrite-background-jan17.pdf?sfvrsn=1c1e1502_4
38. Woodard J. (2024) How to Remove Nitrates from Water, Fresh Water Systems. Available at: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/how-to-remove-nitrates-from-water?srsltid=AfmBOoqWhsnTHQxunFUTo4bKzDMq-FVKDMMbP8KJRQxnIgWhCuTf5Xy2>
39. Yousefi, H. et al.(2023) Risk of Nitrate Residues in Food Products and Drinking Water, Asian Pacific Journal of Environment and Cancer. Available at: <https://www.waocp.com/journal/index.php/apjec/article/view/1036>
40. Yu G. et al. (2020) The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. BMC Public Health, Vol.20 (Issue 437). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08583-y>
41. Zhang X. et al. (2021) The deep challenge of nitrate pollution in river water of China, Science of the Total Environment, Vol.770 (Issue 144674). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144674>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Γενικό Χημείο του Κράτους (2024) Μέθοδος ιοντικής χρωματογραφίας
2. Γενικό Χημείο του Κράτους (2024) Στοιχεία μετρήσεων νιτρικών ιόντων από δειγματοληψίες του 2023 από Υγειονομικές Περιφέρειες της Αττικής

3. ΕΛΙΝΥΑΕ (2021) Υ.Α. 1848/278812/2021 (ΦΕΚ 4855/Β` 20.10.2021) Available at: <https://elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-18482788122021-fek-4855b-20102021>
4. ΕΥΔΑΠ (2020) ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ. Available at: <https://www.eydap.gr/TheCompany/Water/WaterPlants/>
5. Ευρωπαϊκή Ένωση (1991) Οδηγία 91/689/ΕΟΚ . Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/689/oj>
6. Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2015). Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0083-20151027#:~:text=%CE%A3%CF%84%CF%8C%CF%87%CE%BF%CF%82%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CE%B1%CF%82%20%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CF%82,%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CF%8C%CF%84%CE%B9%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CF%85%CE%B3%CE%B9%20%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CF%8C%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%B1%CF%81%CF%8C>.
7. Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2023) ΦΕΚ 3525B_2023. Available at: https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-05/3525%CE%B2_2023.pdf
8. Κοσμά Χ. (2009) Συστηματικός έλεγχος των υπολειμμάτων νιτρικών ιόντων στα φυλλώδη λαχανικά και το περιβάλλον του Νομού Αιτωλοακαρνανίας: Παράγοντες που μειώνουν τη συσσώρευση νιτρικών ιόντων στα φυλλώδη λαχανικά. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης. Available at: <https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/18104?lang=el#page/1/mode/2up>
9. Υπουργείο Υγείας (2023) Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 13 της υπ' αριθμ. Δ1(δ)/ΓΠοικ.27829/15.5.2023 ΚΥΑ (ΦΕΚ Β' 3525), ΕΛΙΝΥΑΕ. Available at: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/egk-d1dgp-oik-445322023-fek-2582023>
10. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2024) Νιτρορύπανση Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/nitroypansi/>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Εικόνα 1:ΕΥΔΑΠ (2013) Μονάδες Επεξεργασίας Νερού Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Z1yHG5S5MNE>
2. Εικόνα 2: Sanderson, T. (2024) Nitrogen, Encyclopedia Britannica. Available at: <https://www.britannica.com/science/nitrogen>
3. Εικόνα 3: Rafferty J.P. (2024) Nitrogen cycle, Encyclopedia Britannica. Available at: <https://www.britannica.com/science/nitrogen-fixation>
4. Εικόνα 4: PubChem (2025) Nitrate. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. US National Library of Medicine. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/com>
5. Εικόνα 5: ΤΕΜΑΚ (2020) Αντίστροφη Ώσμωση (Αφαλάτωση), ΤΕΜΑΚ. Available at: https://www.temak.gr/site/gr/products/water_treatment_systems/reverse_osmosis/

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Πίνακας 1: Kambale, V. (2020) Quality and characteristics of water, SlideShare. Available at: <https://www.slideshare.net/slideshow/ppt-4-quality-of-water/238457335>
ΕΥΑΘ (2024) Ελεγχόμενες Παράμετροι. Available at: <https://www.eyath.gr/elegchos-poiotita-neroy/elegchomenes-parametroi/#1549988433157-a670b26b-4e20>
2. Πίνακας 2: Yousefi, H. et al.(2023) Risk of Nitrate Residues in Food Products and Drinking Water, Asian Pacific Journal of Environment and Cancer. Available at: <https://www.waocp.com/journal/index.php/apjec/article/view/1036>
3. Πίνακας 3: Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2015). Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0083-20151027#:~:text=%CE%A3%CF%84%CF%8C%CF%87%CE%BF%CF%82%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CE%B1%CF%82%20%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CF%82,%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CF%8C%CF%84%CE%B9%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CF%85%CE%B3%CE%B9%20%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CF%8C%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%B1%CF%81%CF%8C>
4. Πίνακας 4:Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2023) ΦΕΚ 3525B_2023. Available at: https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-05/3525%CE%B2_2023.pdf
5. Πίνακας 5:Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2023) ΦΕΚ 3525B_2023. Available at: https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-05/3525%CE%B2_2023.pdf

6. Πίνακας 6: Γενικό Χημείο του Κράτους (2024) Στοιχεία μετρήσεων νιτρικών ιόντων από δειγματοληψίες του 2023 από Υγειονομικές Περιφέρειες της Αττικής.
7. Πίνακας 7: Γενικό Χημείο του Κράτους (2024) Στοιχεία μετρήσεων νιτρικών ιόντων από δειγματοληψίες του 2023 από Υγειονομικές Περιφέρειες της Αττικής