



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ
ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ
ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**



Γεώργιος Πράσσας

A.M: 1114201800101

Επιβλέπων: Δρ. Ευστράτιος Κελεπερτζής

Επικ. Καθηγητής

Αθήνα 2022

Στη μνήμη του παππού μου του Γιώργου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των πιθανών κινδύνων στην υγεία των κατοίκων από την παρουσία νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα της ευρύτερης περιοχής της Αταλάντης. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν διαθέσιμα δεδομένα χημικών αναλύσεων για 41 δείγματα υπόγειου νερού, τα οποία προέρχονται από γεωτρήσεις. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων υπερβαίνουν το όριο των 50 mg/L, οπότε υπάρχει σοβαρό πρόβλημα νιτρορύπανσης στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα του δείκτη νιτρορύπανσης έδειξαν ότι το 90% των δειγμάτων είναι ρυπασμένα από νιτρικά, αποδεικνύοντας έτσι ότι η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Στην εν λόγω εργασία εφαρμόζεται η μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας στην ανθρώπινη υγεία, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις που αναμένονται από τη διαρκή έκθεση σε νιτρικά ιόντα μέσω του ρυπασμένου νερού. Εξετάστηκαν 8 σενάρια στα οποία υπολογίστηκαν οι συντελεστές και ο δείκτης κινδύνου. Αν αυτές οι παράμετροι λαμβάνουν τιμές μεγαλύτερες του 1 αναμένονται μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ενώ αν είναι μικρότερες θεωρούνται αμελητέες. Το ένα από τα σενάρια εφαρμόστηκε με βάση τις οδηγίες της EPA (Environmental Protection Agency), ενώ τα υπόλοιπα σε τοπικό επίπεδο. Το πιο δυσμενές για την υγεία διαπιστώθηκε πως είναι αυτό της EPA, εξαιτίας του πιο αυξημένου ρυθμού κατανάλωσης νερού, αλλά και της μεγαλύτερης διάρκειας έκθεσης στον ρύπο. Τέλος, στην προαναφερθείσα περίπτωση, έγινε διαχωρισμός του πληθυσμού της περιοχής μελέτης σε ενήλικες και παιδιά και εξετάστηκαν δύο οδοί έκθεσης: η προφορική και η δερματική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα παιδιά είναι πιο ευάλωτα στην εμφάνιση μη - καρκινογενών επιπτώσεων, λόγω του μικρού σωματικού τους βάρους και του πιο αδύναμου ανοσοποιητικού τους συστήματος. Επίσης προέκυψε ότι η επίδραση στην υγεία λόγω δερματικής επαφής με το νερό είναι αμελητέα και άρα οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προέρχονται από την κατανάλωση του ρυπασμένου νερού.

Λέξεις - κλειδιά: Νιτρικά ιόντα, ρύπανση υπόγειου νερού, δείκτης νιτρορύπανσης, συντελεστής κινδύνου, δείκτης κινδύνου, μη- καρκινογενείς επιπτώσεις, εκτίμηση επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας.

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the potential health risks to residents from the presence of nitrate ions in groundwater of the greater Atalanti area. More specifically, available chemical analysis data were used for 41 groundwater samples, obtained from boreholes. In most of the samples, the concentrations of nitrate ions exceeded the 50 mg/L limit, indicating that there is a serious nitrate groundwater pollution concern in the study area. Furthermore, the results of nitrate pollution index showed that 90% of the samples are polluted by nitrates, proving that the degradation of water quality is due to the human activities.

In this study, the methodology of human health risk assessment is applied to determine the effects expected from long-term exposure to nitrate ions through polluted water. Eight scenarios were investigated in which the hazard quotients and hazard index were calculated. If these variables are higher than 1, non-carcinogenic effects on human health are expected, and if they are less than 1, they consider insignificant. One of the scenarios was based on EPA (Environmental Protection Agency) guidelines, while the others were applied at a local scale. The most adverse to human health was found to be the EPA scenario, due to the higher rate of water intake, but also the longer exposure duration to the pollutant. Finally, in the case mentioned above, the population of the study area was divided into adults and children and two routes of exposure were examined: oral and dermal. The results showed that children are more prone to non-carcinogenic effects due to their low body weight and weaker immune system. It was also found that the health effect due to dermal contact with water is insignificant and therefore the human health effects come from the consumption of polluted water.

Keywords: Nitrate ions, groundwater pollution, nitrate pollution index, hazard quotient, hazard index, non - carcinogenic effects, human health risk assessment.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευστράτιο Κελεπερτζή για τη συνεργασία, τις χρήσιμες υποδείξεις του καθώς και για τη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και την υπομονή τους όλο αυτό το διάστημα.

Πίνακας περιεχομένων

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ | 7 |
| 1.1 | Εισαγωγή - Στόχοι της εργασίας | 7 |
| 1.2 | Γενικές πληροφορίες για την περιοχή έρευνας | 8 |
| 1.3 | Γεωλογία της περιοχής | 11 |
| 1.4 | Χρήσεις Γης | 14 |
| 2. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ | 16 |
| 2.1 | Ο κύκλος του αζώτου | 16 |
| 2.2 | Ο κύκλος του αζώτου στο έδαφος και το υπόγειο νερό | 20 |
| 2.3 | Όρια συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και επικινδυνότητα | 20 |
| 2.4 | Πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από νιτρικά ιόντα | 21 |
| 2.5 | Επίδραση των νιτρικών ιόντων στην ανθρώπινη υγεία | 25 |
| 2.6 | Μέθοδος αξιολόγησης της επικινδυνότητας (Risk Assessment Method) | 30 |
| 3. | ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 43 |
| 3.1 | Δειγματοληψία και ανάλυση | 43 |
| 3.2 | Δείκτης νιτρορύπανσης (Nitrate Pollution Index) | 44 |
| 3.3 | Μεθοδολογία εκτίμησης επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας λόγω χρήσης ρυπασμένου νερού από νιτρικά ιόντα (Nitrate Risk Assessment) | 45 |
| 3.4 | Σενάρια | 47 |
| 3.5 | Στατιστική επεξεργασία των δεδομένων | 49 |
| 4. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 52 |
| 4.1 | Γενικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων νερού | 52 |
| 4.2 | Αποτελέσματα συντελεστών κινδύνου | 56 |
| 4.2.1 | Επιρροή μέσω της κατανάλωσης νερού | 56 |
| 4.2.2 | Επιρροή από δερματική επαφή | 65 |
| 4.3 | Αποτελέσματα δείκτη κινδύνου | 67 |
| 5. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 70 |
| 5.1 | Συμπεράσματα | 70 |
| 5.2 | Προτάσεις | 72 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 74 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 79 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 Εισαγωγή - Στόχοι της εργασίας

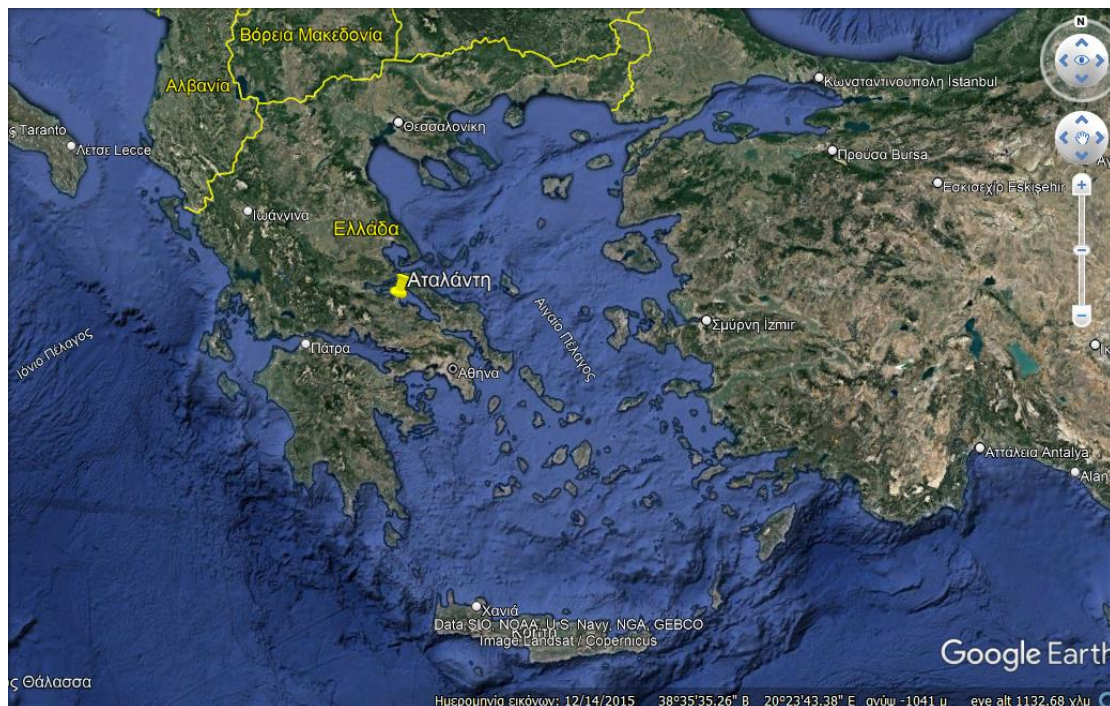
Το υπόγειο νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά για τους ανθρώπους, γιατί με αυτό καλύπτουν τις βασικές τους ανάγκες. Οι χρήσεις του είναι κυρίως δύο, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υδρευτικούς σκοπούς, όπως λόγου χάρη, η κατανάλωση ή το πλύσιμο των χεριών, αλλά και για αρδευτικούς, οι οποίοι σχετίζονται με την παραγωγή καλλιεργειών.

Τα τελευταία χρόνια, η ποιότητα του υπόγειου νερού έχει υποβαθμιστεί σε εξαιρετικά σημαντικό βαθμό. Το φαινόμενο αυτό είναι ευρύτερα γνωστό ως ρύπανση του υπόγειου νερού (groundwater pollution) στο οποίο έχει συμβάλει κατά κύριο λόγο ο ανθρώπινος παράγοντας, μέσω πρακτικών όπως η εφαρμογή λιπασμάτων προκειμένου να παραχθούν οι καλλιέργειες σε μικρό χρονικό διάστημα. Όταν όμως χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες ποσότητες αγροχημικών προϊόντων (λιπάσματα, εντομοκτόνα) από αυτές που απαιτούνται, αντιπροσωπεύουν μη - σημειακές πηγές ρύπων. Οι ρύποι αυτοί είναι δυνατό να μεταφερθούν από το έδαφος μέσω του βρόχινου νερού και του νερού της άρδευσης, και έτσι να καταλήξουν στους ταμιευτήρες των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων, ρυπαίνοντάς τους (Barakat, 2020). Ένα παράδειγμα ρύπων που μεταφέρονται με αυτόν τον τρόπο αποτελούν τα νιτρικά ιόντα. Άλλου είδους ανθρωπογενείς δραστηριότητες που προκαλούν τη ρύπανση υπόγειων υδάτων σχετίζονται με τις εσφαλμένες μεθόδους διάθεσης οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων.

Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας στην υγεία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής της Αταλάντης, εξαιτίας της εμφάνισης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) στο υπόγειο νερό. Συγκεκριμένα, στην περιοχή αυτή έχει βρεθεί πως σε δείγματα υπόγειων υδάτων οι συγκεντρώσεις της συγκεκριμένης χημικής παραμέτρου υπερβαίνουν το όριο ποσिमότητας που είναι τα 50 mg/L. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε νιτρικά, αρχικώς καθιστούν το υπόγειο νερό ακατάλληλο ως προς την αξιοποίηση υδρευτικών αναγκών και επιπλέον μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Άρα, οι υψηλές συγκεντρώσεις ενώσεων του αζώτου στα υδάτινα συστήματα, είναι μια μεγάλη απειλή, τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία των ανθρώπων.

1.2 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή έρευνας

Η Αταλάντη βρίσκεται στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί κωμόπολη του Νομού Φθιώτιδας και έδρα του Καλλικρατικού Δήμου Λοκρών. Είναι εμπορικό, γεωργοκτηνοτροφικό και βιομηχανικό κέντρο της πρώην επαρχίας Λοκρίδας. Είναι χτισμένη στους πρόποδες του βουνού Ρόδα (Χλωμό). Απέχει 78,5 χιλιόμετρα από τη Λαμία και 146 χιλιόμετρα από την πρωτεύουσα της Ελλάδας, την Αθήνα. Ο πληθυσμός της, σύμφωνα με την Απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 4.978 κατοίκους.



Εικόνα 1.1: Η θέση της Αταλάντης στον χάρτη.

Δημογραφικά στοιχεία

Ο Δήμος Λοκρών περιέχει τις εξής Δημοτικές Ενότητες (Δ.Ε):

- Δημοτική Ενότητα Αταλάντης
- Δημοτική Ενότητα Δαφνουσιών
- Δημοτική Ενότητα Μαλεσίνας
- Δημοτική Ενότητα Οπουντίων

Σύμφωνα με την απογραφή του μόνιμου πληθυσμού στη χώρα μας, το 2011, από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) ο πληθυσμός για τον Καλλικρατικό Δήμο Λοκρών διαμορφώθηκε ως εξής:

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

Πίνακας 1.1: Δημογραφικά στοιχεία για τον Δήμο Λοκρών με βάση την απογραφή του μόνιμου πληθυσμού το 2011 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

| Περιγραφή | Μόνιμος Πληθυσμός | Ποσοστό κατανομής πληθυσμού (%) |
|--|-------------------|---------------------------------|
| ΔΗΜΟΣ ΛΟΚΡΩΝ (Έδρα: Αταλάντη) | 19.623 | 100,00 |
| ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ | 8.267 | 42,13 |
| ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΑΦΝΟΥΣΙΩΝ | 3.629 | 18,50 |
| ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΛΕΣΙΝΗΣ | 4.526 | 23,06 |
| ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΠΟΥΝΤΙΩΝ | 3.201 | 16,31 |

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, παρατηρούμε πως το 42% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου Λοκρών ζει στη Δημοτική Ενότητα Αταλάντης. Αντίστοιχα, στη Δημοτική Ενότητα Μαλεσίνας, κατοικεί περίπου το 23% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου. Μικρότερα ποσοστά καταγράφουν οι Δημοτικές Ενότητες Δαφνουσίων (Λιβανάτες) και Οπουντίων (Μαρτίνο), οι οποίες αποτελούν το 19% και το 16% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου Λοκρών.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 1.2), παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή του πληθυσμού των Δημοτικών Ενοτήτων του Δήμου Λοκρών κατά τη χρονική περίοδο 1941-2011, με βάση τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ.

| Δήμος / Δ.Ε. | Ποσοστιαία μεταβολή πληθυσμού | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|---------------|
| | 1941-1951 | 1951-1961 | 1961-1971 | 1971-1981 | 1981-1991 | 1991-2001 | 2001-2011 |
| Δήμος Λοκρών | 11.10 | 10.14 | 2.33 | 9.91 | 10.25 | 4.20 | -20.46 |
| Δ.Ε. Αταλάντης | 13.68 | 6.83 | -3.13 | 9.59 | 10.33 | 1.24 | -20.22 |
| Δ.Ε. Δαφνουσίων | 11.97 | 5.98 | -1.92 | 11.24 | 6.74 | 11.55 | -14.72 |
| Δ.Ε. Μαλεσίνας | 15.57 | 15.24 | -0.97 | 14.41 | 22.99 | 4.45 | -17.91 |
| Δ.Ε. Οπουντίων | -1.01 | 18.80 | 25.09 | 5.47 | 0.58 | 4.35 | -29.57 |
| Μέσος Όρος | 10.26 | 11.40 | 4.28 | 10.12 | 10.18 | 5.16 | -20.58 |

Εικόνα 1.2: Ποσοστιαία μεταβολή πληθυσμού στις Δ.Ε του Δήμου Λοκρών. (Πηγή: Ι. Λάππας, 2018, Διδακτορική Διατριβή).

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

Από την παραπάνω εικόνα, συμπεραίνουμε πως γενικά υπήρχε μια αυξητική τάση στην κατανομή του πληθυσμού την περίοδο 1941 - 2001, ενώ κατά την απογραφή του 2011, η συγκέντρωση στον πληθυσμό του Δήμου Λοκρών παρουσιάζει σημαντική πτώση, της τάξης του 20%. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της υπογεννητικότητας, διότι στην Ελλάδα τα παιδιά που γεννιούνται είναι λιγότερα από τον μέσο όρο γεννήσεων που αντιστοιχεί στην Ευρώπη.

Κλίμα

Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Köppen, η περιοχή της Αταλάντης χαρακτηρίζεται από κλίμα τύπου **Csa**. Πρόκειται δηλαδή για εύκρατο μεσογειακό κλίμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά θέρη, καθώς και από υγρούς, αλλά ήπιους χειμώνες.

Στον παρακάτω πίνακα, απεικονίζονται τα κλιματικά δεδομένα για τη διάρκεια του έτους 2021, από τον μετεωρολογικό σταθμό στην Τραγάνα Φθιώτιδας.

Πίνακας 1.2: Κλιματικά δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό της Τραγάνας, για το έτος 2021. (Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

| ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΡΑΓΑΝΑΣ | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| Μήνας | Ιαν | Φεβ | Μαρ | Απρ | Μάϊ | Ιουν | Ιουλ | Αυγ | Σεπτ | Οκτ | Νοε | Δεκ | Έτος |
| Μέση υψηλότερη θερμοκρασία (°C) | 16,3 | 15,7 | 16,1 | 20,6 | 28,3 | 32,6 | 35,7 | 36,4 | 29,4 | 20,8 | 18,3 | 14,8 | 23,8 |
| Μέση χαμηλότερη θερμοκρασία (°C) | 5,9 | 5,0 | 5,1 | 7,8 | 13,9 | 17,8 | 21,8 | 21,8 | 17,5 | 13,3 | 10,7 | 6,0 | 12,2 |
| Μέση θερμοκρασία (°C) | 11,4 | 10,1 | 10,4 | 14,0 | 21,2 | 25,1 | 29,0 | 29,0 | 23,2 | 16,8 | 14,4 | 10,4 | 17,9 |
| Βροχόπτωση (mm) | 12,6 | 37,4 | 37,6 | 52,0 | 1,4 | 17,6 | 0,0 | 0,6 | 23,8 | 111,8 | 54,4 | 61,2 | 410,4 |
| Μέση ταχύτητα ανέμου (km/h) | 9,9 | 6,8 | 5,8 | 5,2 | 5,7 | 5,6 | 7,2 | 7,3 | 8,1 | 7,7 | 6,7 | 7,6 | 7,0 |
| Επικρατούσα διεύθυνση ανέμου | S | SE | SE | SE | WNW | NE | ESE | ESE | NE | SE | SE | SE | |

Επιβεβαιώνονται οι παραπάνω διαπιστώσεις αναφορικά με το κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης, διότι αν παρατηρήσουμε

τον παραπάνω πίνακα θα δούμε πως τους θερινούς μήνες όλων των ειδών οι θερμοκρασίες καταγράφουν τις μέγιστες τιμές τους, ενώ κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο τα ποσά της βροχόπτωσης είναι ίσα με 0 και 0,6 mm. Συνεπώς πρόκειται για μια ξηρή περίοδο. Στη διάρκεια των φθινοπωρινών και των χειμερινών μηνών σημειώνεται αύξηση των βροχοπτώσεων, οπότε είναι πιο υγροί, αλλά η μέση μηνιαία θερμοκρασία παρουσιάζει βαθμιαία πτώση και όχι απότομη. Επιλογικά, οι άνεμοι από τα μέσα του Φθινοπώρου, μέχρι και την αρχή της Άνοιξης πνέουν κυρίως από τα Νοτιοανατολικά, τον Μάιο πνέουν από Βορειοδυτικά, στην αρχή του Καλοκαιριού και του Φθινοπώρου από τα Βορειοανατολικά και τέλος, στα μέσα του Καλοκαιριού η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου είναι η Νότια - Νοτιοανατολική.

Υδρογεωλογικές συνθήκες

Το υπόγειο υδατικό σύστημα της Αταλάντης αναπτύσσεται στα Τεταρτογενή ιζήματα του πεδινού τμήματος της ομώνυμης παράκτιας προσχωματικής λεκάνης που σχηματίζεται μεταξύ των ορεινών όγκων Κνημίδας (βόρεια), Χλωμού (νότια) και των απολήξεων του Καλλίδρομου (δυτικά). Η υδροφορία του συστήματος είναι κοκκώδης, φρεάτια σε μικρό βάθος και υπό-πίεση σε μεγαλύτερα βάθη. Η τροφοδοσία της προέρχεται από την κατεισδυση του μετεωρικού νερού, καθώς και από πλευρικές μεταγγίσεις που συντελούνται υπόγεια από τους καρστικούς σχηματισμούς της περιβάλλουσας ορεινής περιοχής. (Υ.Π.ΕΝ, 2013).

Η λεκάνη της Αταλάντης είναι μία τριγωνικής μορφής πεδινή έκταση και έχει παράκτια έκθεση στα Ανατολικά, στο Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο. Η λεκάνη διαρρέεται από το ρέμα Αλαργινό, που είναι περιοδικής απορροής και πηγάζει από την ορεινή ζώνη στα Δυτικά. (ΥΠ.Α.Α.Τ, 2020). Τα στοιχεία του ρέματος, σύμφωνα με το χαρακτηρισμό της 1^{ης} Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Υ.Π.ΕΝ, 2017) έχουν ως εξής: Μήκος απορροής: 21,45 km, Λεκάνη απορροής: 203,7 km², Μέση ετήσια απορροή: 44.700.000 m³.

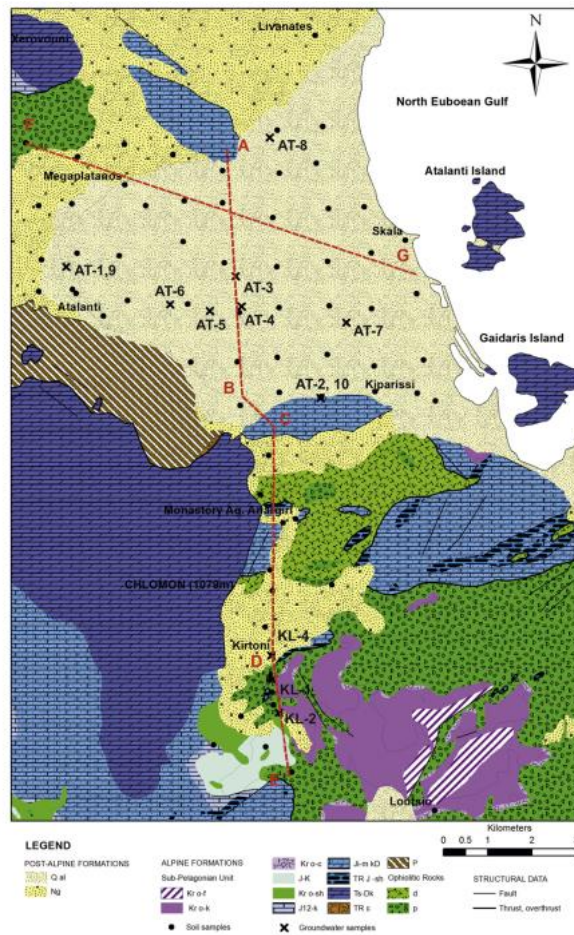
Επιπροσθέτως, το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Αταλάντης σχετίζεται με την προτεινόμενη για ένταξη στις ευπρόσβλητες ζώνες (περιοχή της Αταλάντης), λόγω νιτρορρύπανσης γεωργικής προέλευσης σύμφωνα με την Οδηγία 91/676/ΕΟΚ. (Υ.Π.ΕΝ, 2013).

1.3 Γεωλογία της περιοχής

Η περιοχή της Αταλάντης υπάγεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες, και πιο συγκεκριμένα στην Υποπελαγονική Ενότητα. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1.3), απεικονίζεται το γεωλογικό φύλλο του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε), στον οποίο αναγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντάμε στην περιοχή μελέτης.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ

Σημειώνεται πως στο γεωλογικό φύλλο έχουν γίνει τροποποιήσεις από τους (Kanelloroulos et al., 2015), διότι εκτός από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης, απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων εδάφους και υπόγειου νερού που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνά τους.



Εικόνα 1.3: Γεωλογικό φύλλο της περιοχής έρευνας σε κλίμακα 1:50.000. (Πηγή: I.G.M.E, 1965, τροποποιημένο από τους (Kanelloroulos et al., 2015)).

Από την εικόνα 1.3 βλέπουμε πως οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή της Αταλάντης είναι οι ακόλουθοι:

- Μεταλπικοί σχηματισμοί, όπως τα αλλούβια (Q.al) τα οποία προέρχονται από το υλικό της αποσάθρωσης των περιβαλλόντων πετρωμάτων και οι νεογενείς αποθέσεις (Ng) οι οποίες περιλαμβάνουν άργιλο, μάργες, κροκαλοπαγή, χαλίκια, ψαμμίτες καθώς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους στην περιφέρεια της κοιλάδας (Kanelloroulos et al., 2015).

- Ο Ανωκρητιδικός φλύσχης (Kr o-f) εντοπίζεται στο Νοτιοανατολικό μέρος του χάρτη. Περιέχει αργιλικούς ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους.
- Τους ασβεστόλιθους της επίκλυσης του Ανώτερου Τριαδικού (Kr o-k) καθώς και κροκαλοπαγή (Kr o-c), τα οποία συναντώνται επίσης στο Νοτιοανατολικό τμήμα του χάρτη.
- Ασβεστόλιθους του Κατώτερου Κρητιδικού, στο νότιο τμήμα του χάρτη (J-K).
- Τη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (mélange), ηλικίας Ανώτερου Ιουραϊκού (Kr o-sh). Ο σχηματισμός αυτός συνίσταται από σχιστόλιθους, κερατόλιθους, μάργες, ψαμμίτες. Ουσιαστικά, τα παραπάνω είναι λεπτόκοκκα ιζημάτα, που βρίσκονται σε συνεχείς εναλλαγές και έτσι σχηματίζεται μια σειρά ιζημάτων μεγάλου πάχους που συγκροτούν τον παραπάνω σχηματισμό. Εμφανίζεται στο Νοτιοδυτικό μέρος του παραπάνω χάρτη.
- Ασβεστόλιθους του Ανώτερου Ιουραϊκού (J12-k), καθώς και του Κατώτερου με Μέσου Ιουραϊκού (Ji-m kD). Οι πρώτοι εμφανίζονται μόνο ένα μικρό τμήμα στο Νότιο μέρος του χάρτη, ενώ οι δεύτεροι καταλαμβάνουν ένα σημαντικό τμήμα της περιοχής μελέτης, από το κεντρικό μέρος του χάρτη προς το νότιο.
- Σχιστόλιθους του Κατώτερου - Μέσου Τριαδικού (TR J s-h) που περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους οι οποίοι παρεμβάλλονται από οφιόλιθους και σερπεντινίτες. Εντοπίζονται στο Ανατολικό προς το Νότιο μέρος του παραπάνω χάρτη.
- Δολομίτες ηλικίας Μέσου - Ανώτερου Τριαδικού. (Ts-Dk) Τους συναντάμε στο Δυτικό και το Νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής, στο όρος Χλωμό καθώς και στο Αταλαντονήσι και το νησάκι Γάιδaros στα ανατολικά.
- Κροκαλοπαγή επίκλυσης του Τριαδικού που περιέχουν σχηματισμούς ηλικίας Πέρμιου - Λιθανθρακοφόρου και πιο συγκεκριμένα από γραουβάκες, ψαμμίτες, σχίστες και μαύρους ασβεστόλιθους (TR-c).

Παρατηρούμε μια πολύ μικρή εμφάνιση του παραπάνω σχηματισμού προς το Δυτικό τμήμα του χάρτη.

- Ο αρχαιότερος σχηματισμός έχει ηλικία Πέρμιο – Λιθανθρακοφόρο και αποτελείται από στρώματα γραουβάκων, κροκαλοπαγών, μαργαϊκών ψαμμιτών, σχιστόλιθων, και κερατοφυρικούς πράσινους τόφφους. (P) Ο εν λόγω σχηματισμός βρίσκεται στα Δυτικά.
- Επιπλέον, η γεωλογία της περιοχής περιλαμβάνει υπερβασικά πετρώματα, όπως διαβάσες, δολερίτες (d) αλλά και περιδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες και ολιβινίτες (p). Επιπροσθέτως, σύμφωνα με την εικόνα 1.3, βλέπουμε πως οι σχηματισμοί αυτοί έχουν επωθηθεί πάνω στους ασβεστόλιθους.

1.4 Χρήσεις Γης

Οι κάτοικοι της περιοχής κατά κύριο λόγο, ασχολούνται με τη γεωργία και πιο αναλυτικά, με τις καλλιέργειες σιταριού, καθώς και λοιπών σιτηρών προϊόντων, οσπριοειδών, ζωοτροφών και ρυζιού. Επιπλέον, υπάρχουν αμπελώνες, οι οποίοι καλλιεργούνται για την παραγωγή οίνου όπως και ελαιώνες πιστοποιημένης ελαιοκαλλιέργειας.

Με βάση το δίκτυο CORINE Land Cover, 2018, το οποίο παρουσιάζει την κατανομή των χρήσεων γης στο χώρο, οι επικρατέστερες χρήσεις γης στην περιοχή έρευνας είναι οι παρακάτω:

- Σκληροφυλλική βλάστηση, δηλαδή εκτάσεις με θαμνώδη και ποώδη βλάστηση.
- Μη - αρδευόμενη αρόσιμη Γη.
- Μόνιμες καλλιέργειες, όπως οι ελαιώνες.
- Σύνθετα συστήματα καλλιεργειών.

Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι οι κύριες χρήσεις Γης στην περιοχή της Αταλάντης σχετίζονται με τη γεωργία. Η ανάπτυξη των καλλιεργειών στην περιοχή έρευνας αναμένεται να επιφέρει σημαντικές πιέσεις στους υδατικούς πόρους τόσο στο ποσοτικό κομμάτι, λόγω των αυξημένων αρδευτικών αναγκών, όσο και στο ποιοτικό κομμάτι, λόγω της διάχυτης ρύπανσης, που καταλήγει στους υδατικούς πόρους από τις καλλιεργητικές πρακτικές (λιπάσματα, φυτοφάρμακα). Το γεγονός αυτό, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στις περιοχές αυτές θα πρέπει να αναμένεται σημαντική περιβαλλοντική πίεση (Λάππας, 2018).

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

Στην περιοχή της Αταλάντης , επίσης υπάρχει μια μονάδα σαπουνιών-απορρυπαντικών, μονάδες τροφίμων και ποτών, καθώς και 3 ελαιοτριβεία. Επιπλέον, βρίσκονται δύο Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) και η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Αταλάντης που δεν λειτουργεί. (Υ.Π.ΕΝ, 2013).

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Ο κύκλος του αζώτου

Το άζωτο (N) περιέχεται στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 78,09%. Στην ατμόσφαιρα υφίσταται ως μοριακό άζωτο (N₂) σε αέρια μορφή και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τους ανθρώπους ή να το προσλάβουν τα φυτά. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει το άζωτο να ενωθεί με το οξυγόνο ή το υδρογόνο και να δημιουργήσει ενώσεις με τη μορφή ιόντων. Το άζωτο είναι ένα στοιχείο που μπορεί να λάβει διάφορους αριθμούς οξειδωσης και έτσι μπορεί να σχηματίσει διάφορες ενώσεις (Canter, 1997). Η μετατροπή από τη μια ένωση αζώτου στην άλλη επιτυγχάνεται μέσω της δράσης μικροοργανισμών που δρουν σαν καταλύτες, επιταχύνοντας τον ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις. Οι πιο συνηθισμένες ενώσεις του αζώτου στα εδάφη και στα υδάτινα συστήματα είναι οι εξής: Τα νιτρικά ιόντα (NO₃⁻), τα νιτρώδη ιόντα (NO₂⁻), η αμμωνία (NH₃) και τα κατιόντα του αμμωνίου (NH₄⁺). Ο αριθμός οξειδωσης του αζώτου στις ενώσεις αυτές είναι: +5 στα νιτρικά ιόντα, όπου αυτός είναι και ο ανώτερος αριθμός οξειδωσης που μπορεί να λάβει, +3 στα νιτρώδη ιόντα και -3 για την αμμωνία και τα κατιόντα του αμμωνίου.

Ο μετασχηματισμός από τη μία ένωση στην άλλη μπορεί να συμβεί μέσω των παρακάτω διεργασιών:

- της **αζωτοδέσμευσης** (nitrate fixation)
- της **αμμωνιοποίησης** (ammonization)
- της **νιτροποίησης** (nitrification)
- της **αφομοίωσης** (assimilation)
- της **απονιτροποίησης** (denitrification)

Αζωτοδέσμευση (Nitrate fixation)

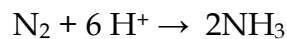
Η δέσμευση του αζώτου είναι η μετατροπή του μοριακού αζώτου (N₂) της ατμόσφαιρας σε μια ένωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά και τα ζώα όπως για παράδειγμα τα νιτρικά ιόντα (NO₃⁻).

Το άζωτο μπορεί να δεσμευτεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- **βιολογικά:** Η βιολογική αζωτοδέσμευση επιτυγχάνεται χάρη στη βοήθεια ετερότροφων ή/και αυτότροφων μικροοργανισμών. Τα φυτά δεν μπορούν να δεσμεύσουν απευθείας το ατμοσφαιρικό άζωτο, όμως επειδή για αυτά αποτελεί θρεπτικό συστατικό, είναι απαραίτητο να το προσλάβουν αλλά αυτό είναι δυνατό μόνο αν βρίσκεται σε διαλυτή μορφή. Ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορούν τα φυτά να αξιοποιήσουν

το άζωτο είναι μέσω της συμβίωσης αυτών με μικροοργανισμούς που μπορούν να το δεσμεύσουν και να το μετατρέψουν σε ανόργανες ενώσεις του N, που είναι και οι χρήσιμες για τα φυτά. Τέτοιου είδους μικροοργανισμοί είναι αυτοί του γένους *Rhizobium*, οι οποίοι εισέρχονται στις ρίζες των ψυχανθών (φασόλια, μπιζέλια κ.α.) και συμβιώνουν με αυτά. Επομένως, τα ψυχανθή αξιοποιούν το άζωτο υπό τη μορφή ιόντων, αλλά προσφέρουν στα αζωτοδεσμευτικά βακτηρίδια την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να αναχθεί το δεσμευμένο μοριακό άζωτο (N₂), σε ενώσεις του αμμωνίου.

Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η ακόλουθη:



Στην αντίδραση αυτή συμμετέχει και ένα ένζυμο η νιτρογενάση, η οποία συντίθεται από τους συμβιωτικούς μικροοργανισμούς και δρα σαν καταλύτης, επιταχύνοντας τον ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιείται η αντίδραση.

Επιπλέον, υπάρχουν μερικά συμβιωτικά βακτήρια που ανήκουν στην κατηγορία των κυανοφυκών, τα οποία έχουν την ικανότητα να δεσμεύσουν το άζωτο, αλλά η διαφορά τους με αυτά του *Rhizobium* έγκειται στην πρόσληψη της απαιτούμενης ενέργειας για την πραγματοποίηση της αντίδρασης. Τα κυανοβακτήρια είναι αυτότροφοι οργανισμοί οπότε η απαιτούμενη ενέργεια για την αναγωγή του μοριακού αζώτου λαμβάνεται μέσω της φωτοσύνθεσης. Τέλος, μη συμβιωτικά βακτήρια που μπορούν να δεσμεύσουν βιολογικώς το άζωτο είναι το αζωτοβακτήριο (*Azotobacter*) και το κλωστρηίδιο (*Clostridium*). (Evans & Barber, 1977).

- **ατμοσφαιρικά:** Το μοριακό άζωτο δεσμεύεται από τους κεραυνούς.
- **μέσω βιομηχανικών δραστηριοτήτων** όπως η παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες οι βιομηχανικές δραστηριότητες έχουν αυξησει κατά πολύ την ποσότητα δεσμευμένου αζώτου, διότι γίνεται αλόγιστη χρήση λιπασμάτων από τους γεωργούς, ώστε να έχουν αυξημένη παραγωγή.

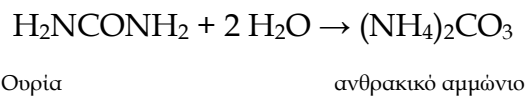
Σημειώνεται ότι η ατμοσφαιρική δέσμευση από τους κεραυνούς και η δέσμευση από βιομηχανικές δραστηριότητες έχουν πολύ μικρότερη συμμετοχή στη δέσμευση του μοριακού αζώτου, σε σχέση με τη βιολογική αζωτοδέσμευση. (Carter, 1997).

Αμμωνιοποίηση (Ammonization)

Είναι η μετατροπή οργανικών ενώσεων του αζώτου (όπως η ουρία, οι πρωτεΐνες) σε ανόργανες, όπως η αμμωνία ή το κατιόν του αμμωνίου ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κατά την αποσύνθεση των ζώων και των φυτών.

Η αμμωνιοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών ενζύμων (π.χ.: η ουρεάση) και μικροοργανισμών, οι οποίοι βοηθούν στη μετατροπή των οργανικών ενώσεων του αζώτου σε ανόργανες. (Canter, 1997).

Ένα παράδειγμα της αμμωνιοποίησης είναι το ακόλουθο:

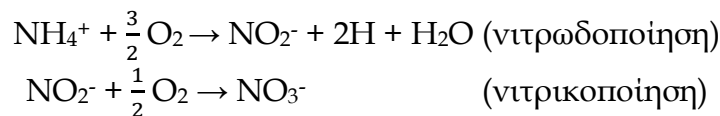


Κατά την αποσύνθεση των ζωικών και φυτικών οργανισμών, οι οργανικές ενώσεις του αζώτου μετατρέπονται σε ανόργανες, με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Δηλαδή λαμβάνει χώρα η παρακάτω αντίδραση



Νιτροποίηση (Nitrification)

Είναι η διαδικασία κατά την οποία τα κατιόντα του αμμωνίου (NH_4^+) οξειδώνονται σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), τα οποία με τη σειρά τους οξειδώνονται προς νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Στις αντιδράσεις αυτές εμπλέκονται δύο βακτηρίδια τα νιτροσομονάδα (*Nitrosomonas bacteria*) και τα νιτροβακτηρίδια (*Nitrobacter bacteria*). Τα στάδια στα οποία πραγματοποιείται η νιτροποίηση είναι τα ακόλουθα:



Οι αντιδράσεις αυτές είναι συνεχόμενες και έτσι γίνεται γρήγορα η μετατροπή σε νιτρικά ιόντα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή ποσότητα νιτρωδών ιόντων. Τα σχηματιζόμενα νιτρικά ιόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα φυτά για την ανάπτυξη τους ή για τον σχηματισμό πρωτεϊνών, επειδή μπορούν να τα προσλάβουν πολύ εύκολα από τις ρίζες τους. (Canter, 1997).

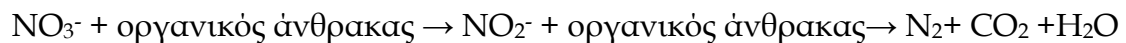
Αφομοίωση (Assimilation)

Είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά προσλαμβάνουν τις ενώσεις του αζώτου (NO_3^- , NH_4^+), οι οποίες έχουν προκύψει από τις διεργασίες της δέσμευσης του αζώτου και της νιτροποίησης. Η πρόσληψη των παραπάνω ενώσεων πραγματοποιείται από το ριζικό σύστημα των φυτών, ώστε να

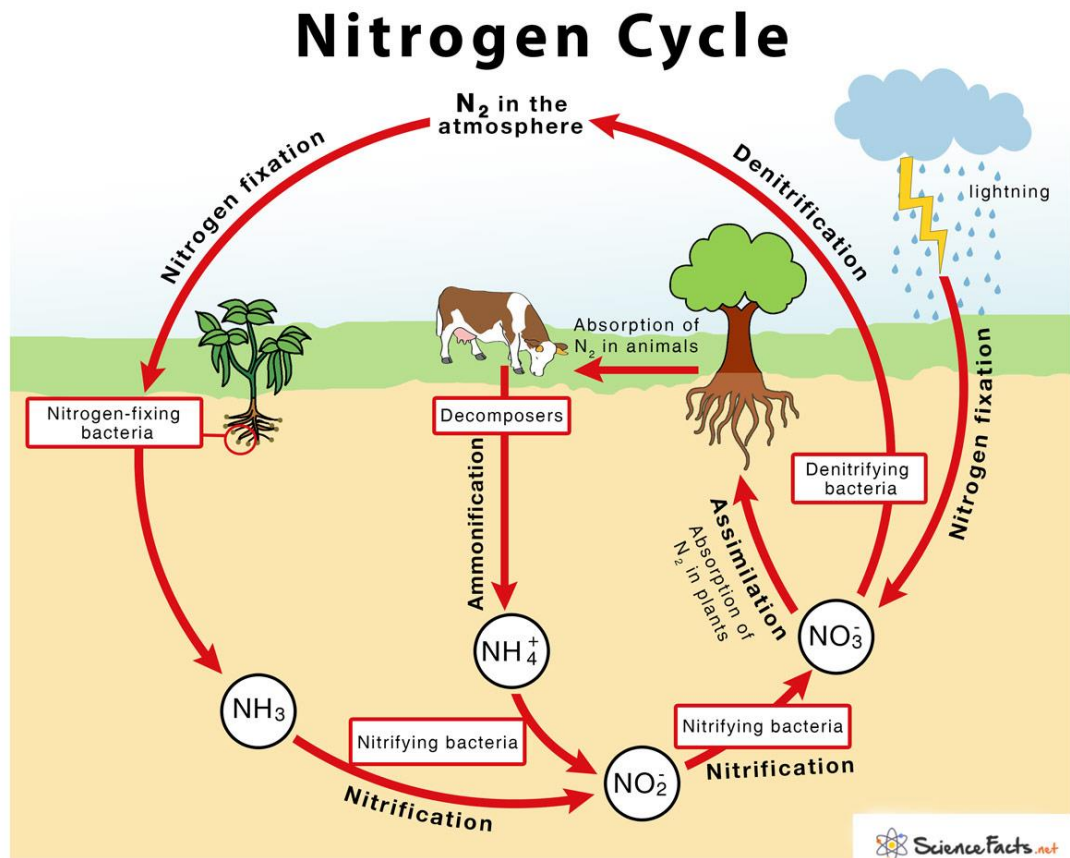
δημιουργηθούν πρωτεΐνες ή ενώσεις όπως οι αμίνες, που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξή τους. (Masclaux-Daubresse et al., 2010).

Απονιτροποίηση (Denitrification)

Κατά την απονιτροποίηση τα νιτρικά ιόντα ανάγονται σε αέριο άζωτο (N_2). Η αναγωγή αυτή είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσω πολλών βημάτων και στις αντιδράσεις αυτές συμμετέχουν ετερότροφα βακτηρίδια τα οποία απαιτούν ως πηγή ενέργειας οργανικό άνθρακα.



Στην απονιτροποίηση θα πρέπει να υπάρχουν αναερόβιες συνθήκες, διότι εάν το οξυγόνο συνυπάρχει με τα νιτρικά ιόντα, τα βακτήρια θα προτιμήσουν να το χρησιμοποιήσουν για την οξείδωση του οργανικού υλικού, επειδή αποδίδεται περισσότερη ενέργεια. (Canter, 1997).



Εικόνα 2.1 Ο κύκλος του αζώτου. Πηγή:(sciencefacts.net).

2.2 Ο κύκλος του αζώτου στο έδαφος και το υπόγειο νερό

Το άζωτο μπορεί να εισέλθει στο έδαφος από την επεξεργασία λυμάτων ή αποβλήτων, από την εφαρμογή λιπασμάτων, από την αποσύνθεση των ζώων και των φυτών (αποσυντιθέμενο οργανικό υλικό), τα κατακρημνίσματα και τη σκόνη που πέφτει στο έδαφος. Επιπλέον, τα βακτήρια που δεσμεύουν το αέριο άζωτο στο έδαφος, το μετατρέπουν σε ενώσεις που είναι χρήσιμες για την ανάπτυξη των φυτών.

Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου στο έδαφος είναι οργανικής προέλευσης, το οποίο βρίσκεται στα φυτά και τα ζώα ή στο οργανικό υλικό που προέρχεται από την αποσύνθεση ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων.

Η περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα στα εδάφη είναι γενικά χαμηλή και αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η πρόσληψη από τα φυτά, η έκπλυσή τους από νερό και η διεργασία της απονιτροποίησης. (Canter,1997).

Επιπρόσθετα, το άζωτο είναι ένα στοιχείο με υψηλή κινητικότητα, με αποτέλεσμα όση ποσότητα παραμένει στα εδάφη, να μεταναστεύει προς τον υδροφόρο ορίζοντα και να τον ρυπαίνει. Είναι δύσκολη η απορρύπανσή του καθώς μπορεί να παραμείνει εκεί για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

2.3 Όρια συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και επικινδυνότητα

Το μέγιστο αποδεκτό όριο συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) στα ύδατα είναι ίσο με $50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ για την Ελλάδα, με βάση την οδηγία 98/83/ΕΚ. Συνεπώς, όταν σε δείγματα νερών, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων ξεπερνούν την παραπάνω τιμή, τότε θεωρούνται πως έχουν ρυπανθεί και είναι ακατάλληλα για πόση. Εάν χρησιμοποιηθούν για πόση δείγματα με υψηλό ποσοστό σε νιτρικά για ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα, είναι πολύ πιθανή η εμφάνιση μη - καρκινογόνων επιπτώσεων στην υγεία, όπως η μεθαιμοσφαιριναιμία (methemoglobinemia), η οποία επηρεάζει περισσότερο τα μικρά παιδιά και όχι τους ενήλικες. Επιπλέον, η κατανάλωση νερού με υψηλό περιεχόμενο σε νιτρικά ιόντα μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του θυροειδούς αδένος, πονοκέφαλο, δυσπεψία (Ahada & Suthar, 2018). Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την κατανάλωση νερού με υψηλό περιεχόμενο σε νιτρικά ιόντα θα αναλυθούν λεπτομερώς στην υποενότητα 2.5.

2.4 Πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από νιτρικά ιόντα

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από νιτρικά ιόντα είναι οι παρακάτω:

- **Αγροτικές δραστηριότητες**, όπως εκτεταμένη χρήση **αζωτούχων λιπασμάτων**
- **Οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα (λύματα)**
- **Σηπτικές δεξαμενές (βόθροι)**
- Η **κοπριά**, η οποία είναι φυσικό οργανικό λίπασμα που δημιουργείται από τα περιττώματα των ζώων.
- **Αποσυντιθέμενα φυτά**

Από τις παραπάνω πηγές, αυτή που είναι η πιο υπεύθυνη για τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων από νιτρικά ιόντα είναι η εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων.

Λιπάσματα

Τα λιπάσματα είναι φυσικές ή τεχνητές ουσίες που χρησιμεύουν για τη βέλτιστη απόδοση των καλλιεργειών και την ανάπτυξη των φυτών.

Ομαδοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Massri & Labban, 2014).

- Τα **ανόργανα** ή χημικά λιπάσματα τα οποία περιλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο (N), το κάλιο (K) και ο φώσφορος (P). Μπορεί να είναι απλά, δηλαδή να περιέχουν μόνο ένα συστατικό ή σύνθετα, τα οποία αποτελούνται από παραπάνω του ενός συστατικού.
- Τα **οργανικά** λιπάσματα που είναι ζωικής ή οργανικής προέλευσης, όπως για παράδειγμα η κοπριά, το οστεάλευρο κ.α.

Ως προς τη χημική τους σύσταση, περιέχουν δευτερεύοντα συστατικά όπως το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na), το θείο (S) και το μαγνήσιο (Mg), ενώ μπορούν να περιέχουν ως ιχνοστοιχεία βόριο (B), κοβάλτιο (Co), χαλκό (Cu), σίδηρο (Fe), μαγγάνιο (Mn), μολυβδαίνιο (Mo) και ψευδάργυρο (Zn). (Πατρικαλάκη, 2003).

Η έκπλυση των νιτρικών ιόντων συνδέεται με γεωργικές πρακτικές όπως η λίπανση και η καλλιέργεια. Το άζωτο εφαρμόζεται ως λίπασμα κατά κύριο λόγο την άνοιξη και το καλοκαίρι διότι τότε είναι η περίοδος που αναπτύσσονται γρήγορα τα φυτά και άρα οι ανάγκες σε άζωτο είναι υψηλότερες. Η κοπριά είναι φυσικό οργανικό λίπασμα, αλλά πρέπει το οργανικό άζωτο που περιέχει να μετατραπεί σε ανόργανο, ώστε να γίνει εφικτή η πρόσληψή του από τα φυτά. Τους θερινούς μήνες, οι χαμηλές βροχοπτώσεις και η υψηλή εξάτμιση εμποδίζουν τα νιτρικά να φτάσουν στα υπόγεια ύδατα, οπότε η έκπλυση των

νιτρικών από το νερό δεν συμβαίνει συχνά κατά την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών. Το φθινόπωρο, μετά τη συγκομιδή των καλλιεργειών, τα διαθέσιμα νιτρικά δεν προσλαμβάνονται πλέον από τα φυτά. Ωστόσο, τα μικρόβια του εδάφους συνεχίζουν να μεταβολίζουν την οργανική ύλη, παράγοντας νιτρικά, τα οποία παραμένουν στο έδαφος (υπολειμματικά). Κατά τη χειμερινή περίοδο εξαιτίας των βροχοπτώσεων, το νερό εκπλένει τα υπολειμματικά νιτρικά και έτσι μεταφέρονται στον υδροφόρο ορίζοντα του υπόγειου νερού.

Επιπλέον είναι σήνηθες να δίνεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων από την απαιτούμενη, με αποτέλεσμα να υπάρχει περίσσεια αζώτου είτε με τη μορφή νιτρικών ιόντων ή ιόντων του αμμωνίου στο εδαφικό διάλυμα. Ακόμη και στις πιο ιδανικές συνθήκες, τα φυτά χρησιμοποιούν το 50% των αζωτούχων λιπασμάτων που εφαρμόζονται στο έδαφος, ενώ το 2-20% χάνεται με εξάτμιση, το 15-25% αντιδρά με οργανικές ενώσεις στο έδαφος και το υπόλοιπο 2-10% εισχωρεί στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. (Savci, 2012).

Η εντατικοποίηση των γεωργικών δραστηριοτήτων σε συνδυασμό με την εκτεταμένη και πολλές φορές ανορθολογική εφαρμογή τεχνητών λιπασμάτων έχει σαν αποτέλεσμα τη διαταραχή στο ισοζύγιο του αζώτου, δηλαδή οι εισροές (λιπάσματα, ατμοσφαιρική απόθεση, δέσμευση αζώτου) είναι περισσότερες από τις εκροές (συγκομιδή καλλιεργειών). Τα υπόγεια νερά επηρεάζονται από την έκπλυση του αζώτου στο έδαφος, διότι η περίσσεια του μεταναστεύει στον υδροφόρο ορίζοντα και συνεπώς μπορεί να τον ρυπάνει (Iversen et al., 1998). Καθώς κινείται το ρυπασμένο νερό, θα καταλήξει σε έναν υδάτινο αποδέκτη (λίμνη ή θάλασσα) και έτσι πραγματοποιείται το φαινόμενο του ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός είναι η προσθήκη περισσειας θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P) στα υδάτινα συστήματα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Όμως, η υπερβολική ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, αυξάνει και την ποσότητα οργανικής ύλης που καταβυθίζεται στον πυθμένα. Έτσι, απαιτούνται μεγαλύτερα ποσοστά οξυγόνου για να αποικοδομηθεί η οργανική ύλη από τα βακτήρια, με αποτέλεσμα να επικρατούν ανοξικές συνθήκες, οι οποίες οδηγούν στη δημιουργία νεκρών ζωνών στα υδάτινα συστήματα, σε θανάτωση των ψαριών, στη μεταβολή της βιοποικιλότητας των φυτικών ειδών και σε διαταραχή της τροφικής αλυσίδας. Επομένως ο ευτροφισμός έχει αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία των οικοσυστημάτων, την επισιτιστική ασφάλεια και την αλιεία. (Ngatia et al., 2019).

Αστικά λύματα

Με τον όρο αστικά λύματα εννοούμε τόσο τα οικιακά απόβλητα, που προκύπτουν από τις καθημερινές ανάγκες των ανθρώπων όσο και τα απόβλητα που παράγονται από τις βιομηχανίες. Επιπλέον, με τον όρο αυτό αναφερόμαστε και στα απόβλητα που παράγονται από δημόσια κτήρια, όπως τα νοσοκομεία.

Είναι επίσης γνωστό ότι πολλές βιομηχανίες απορρίπτουν τα απόβλητα χωρίς να έχουν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία. Τέτοιου είδους απόβλητα πρέπει να επεξεργάζονται προτού καταλήξουν στις χωματερές γιατί αφενός περιέχουν τοξικές ουσίες και αφετέρου αν δεν επεξεργαστούν είναι αρκετά πιθανό να μολυνθεί το έδαφος ή να ρυπανθεί το νερό, όταν έρθει σε επαφή με αυτά τα απόβλητα. Κυρίως τα οικιακά αλλά και τα βιομηχανικά λύματα περιέχουν άζωτο, συνεπώς η λανθασμένη διαχείριση και επεξεργασία τους προτού οδηγηθούν στους τελικούς χώρους διάθεσης, ενδέχεται να προκαλέσει τη ρύπανση του επιφανειακού ή/και του υπόγειου νερού από ενώσεις του αζώτου, όταν αλληλοεπιδράσει με τα απόβλητα. Επιπλέον, στους χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων που είναι αρκετά πιο οργανωμένοι από τους ανοιχτούς σκουπιδότοπους, τα χημικά στραγγίσματα μπορούν να αποτελέσουν πηγή ρύπανσης των υδάτων. Τα στραγγίσματα είναι υγρά που δημιουργούνται από διήθηση, όταν το νερό κατεισδύει ή κινείται πλευρικά και υπόγεια μέσα στα απορρίμματα. Συγκριτικά με τα ακατέργαστα απόβλητα, τα στραγγίσματα της υγειονομικής ταφής έχουν πιο αυξημένες συγκεντρώσεις ρυπαντών, αλλά τα στραγγίσματα από τα αστικά απόβλητα παράγονται σε μικρότερες ποσότητες, σε σχέση με αυτά των ακατέργαστων αποβλήτων. (Λέκκας, 1998).

Σηπτικές δεξαμενές (βόθροι)

Οι σηπτικές δεξαμενές ή αλλιώς βόθροι, είναι σωλήνες που βρίσκονται κάτω από το έδαφος, στους οποίους διοχετεύονται τα απορρίμματα των ανθρώπων. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές περιοχές, όπου δεν υπάρχει οργανωμένο αποχετευτικό σύστημα όπως στα αστικά κέντρα. Τα απορρίμματα των ανθρώπων που συγκεντρώνονται στους βόθρους περιέχουν άζωτο (N) και φώσφορο (P), εάν όμως οι βόθροι δεν είναι στεγανοί θα υπάρξει διαρροή των απορριμμάτων με αποτέλεσμα να ρυπανθεί ο υδροφόρος ορίζοντας του υπόγειου νερού.

Κοπριά

Η κοπριά είναι ένα φυσικό οργανικό λίπασμα που παράγεται από τα στερεά απόβλητα (περιττώματα) των ζώων. Για να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα για την ανάπτυξη των φυτών, θα πρέπει να έχει υποστεί καλή χώνευση, δηλαδή να μην περιέχει άλατα, σπόρους και παθογόνους μικροοργανισμούς. Συνήθως η

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

εφαρμογή της ως λίπασμα πραγματοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο, διότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι καλλιέργειες ενδέχεται να καταστραφούν αφού επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Η χημική σύσταση της κοπριάς περιλαμβάνει κυρίως άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Η εικόνα 2.2 απεικονίζει την επί τοις εκατό περιεκτικότητα της στερεής κοπριάς σε άζωτο επί ξηρού. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα παρατηρούμε πως έχει αυτή των πουλερικών. Στη διπλανή στήλη αναγράφονται και οι τιμές του συντελεστή ανοργανοποίησης, καθώς τα φυτά μπορούν να προσλάβουν τα μακροθρεπτικά στοιχεία μόνο όταν αυτά βρίσκονται σε ανόργανες ενώσεις.

| Είδος στερεής κοπριάς | Εκτιμώμενη Συγκέντρωση N (%) επί ξηρού (b) | Συντελεστής ανοργανοποίησης (Σ.Α.) |
|-----------------------|--|------------------------------------|
| Αγελάδες | 2 | 0,25 |
| Χοίροι | 3 | 0,30 |
| Πουλερικά | 4 | 0,50 |
| Αιγοπρόβατα | 2 | 0,25 |
| Άλογα | 2 | 0,25 |

Εικόνα 2.2 Συγκέντρωση αζώτου (N) στα διάφορα είδη στερεών αποβλήτων και συντελεστής ανοργανοποίησης (Πηγή: ΚΔΠ 258/2013).

Εάν εφαρμοστούν μεγάλες ποσότητες κοπριάς στο έδαφος, θα διοχετευτούν αντίστοιχα μεγάλες ποσότητες αζώτου, οι οποίες ενδέχεται να οδηγήσουν σε διάφορων ειδών περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ρύπανση των υδροφόρων οριζώντων. Επιπλέον, το άζωτο που βρίσκεται στην οργανική ουσία μπορεί να μετατραπεί στην αμμωνιακή του μορφή από τα βακτήρια. Στη συνέχεια, αν το pH είναι βασικό και δεν υπάρχει άλλος ανασταλτικός παράγοντας για την αμμωνιοποίηση, το κατιόν του αμμωνίου μετατρέπεται σε αέριας μορφής αμμωνία, η οποία εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς, η περιεκτικότητα της κοπριάς σε άζωτο μειώνεται, αλλά εάν οι συγκεντρώσεις της αέριας αμμωνίας είναι υψηλές, θα προκληθεί ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα από εκπομπές NH_3 ή οξειδίων του αζώτου (NRCS, 2007).

Αποσυντιθέμενα φυτά

Οι απαιτήσεις των φυτών σε άζωτο είναι υψηλές καθότι το χρειάζονται για να συνθέσουν πρωτεΐνες και να αναπτυχθούν. Η κύρια πηγή αζώτου για τα φυτά είναι το οργανικό υλικό που προκύπτει από την αποσύνθεση γηραιότερων φυτών και ζώων. Η ύλη αυτή έχει οργανική προέλευση, αλλά τα φυτά δεν μπορούν να προσλάβουν το άζωτο όταν βρίσκεται σε οργανικές ενώσεις. Εξαιτίας της δράσης των μικροοργανισμών του εδάφους, επιτυγχάνεται η μετατροπή των οργανικών ενώσεων σε ανόργανες, που είναι αξιοποιήσιμες από τα φυτά, τα οποία συνήθως λαμβάνουν το άζωτο με τη μορφή νιτρικών ή/και κατιόντων του αμμωνίου. Όταν αποσυντεθούν τα φυτά, το οργανικό υλικό που θα προστεθεί στο έδαφος θα περιέχει άζωτο, το οποίο αν είναι με τη μορφή των νιτρικών, λόγω υψηλής κινητικότητας, θα περάσει στον υδροφόρο ορίζοντα και θα τον ρυπάνει.

Συμπερασματικά, οι πηγές ρύπανσης των νιτρικών ιόντων στα υδάτινα συστήματα μπορούν να διακριθούν σε **φυσικές** και **ανθρωπογενείς**. Στις φυσικές πηγές συμπεριλαμβάνονται τα αποσυντιθέμενα φυτά, ενώ στις ανθρωπογενείς συγκαταλέγονται η εφαρμογή χημικών λιπασμάτων και κοπριάς, η ελλιπής ή ακατάλληλη επεξεργασία λυμάτων προτού καταλήξουν στους χώρους διάθεσης καθώς και οι σηπτικές δεξαμενές.

2.5 Επίδραση των νιτρικών ιόντων στην ανθρώπινη υγεία

Το πόσιμο νερό είναι γενικά χαμηλή πηγή πρόσληψης νιτρικών ιόντων συγκριτικά με το φαγητό, όταν οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι χαμηλές. Νιτρικά περιέχονται κυρίως σε πράσινα φυλλώδη λαχανικά όπως στο μαρούλι, το σπανάκι ή στα λάχανα και επίσης μπορούν να περιέχονται ως συντηρητικά σε άλλα τρόφιμα. Όμως, εάν οι συγκεντρώσεις των νιτρικών υπερβούν τα $50 \frac{mg}{L}$, τότε το πόσιμο νερό είναι η κυριότερη πηγή πρόσληψης και οι επιπτώσεις στην υγεία είναι αρκετά σημαντικές.

Γενικά

Περίπου το 5-10% της συνολικής ποσότητας πρόσληψης των νιτρικών αλάτων μετατρέπονται σε νιτρώδη από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο σάλιο και το στομάχι.

Τα νιτρικά άλατα που προσλαμβάνονται μέσω της τροφής απορροφώνται λόγω της βιοδιαθεσιμότητάς τους στο στομάχι και το λεπτό έντερο, ενώ περίπου ένα 60-70% αποβάλλεται από τα ούρα μέσα σε 24 ώρες. Η υπόλοιπη ποσότητα

ξανά απορροφάται από τα νεφρά, τη χολή και τους σιελογόνους αδένες.
(ATSDR, 2013).

Νιτρικά ιόντα και καρκίνος

Όταν τα νιτρικά άλατα εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της κατάποσης νερού, μέρος αυτών μετατρέπεται σε νιτρώδη άλατα από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο σάλιο, ενώ ένα άλλο μέρος τους ανάγεται σε νιτρώδη στο στομάχι. Τα νιτρώδη στη συνέχεια αντιδρούν με τις αμίνες προς σχηματισμό νιτροζαμινών. Αυτή η ενδογενής νίτρωση ,μπορεί να συμβεί στο στομάχι, στο λεπτό έντερο και σε άλλα μέρη του σώματος, όπου η βακτηριακή χλωρίδα ανάγει τα νιτρικά ιόντα σε νιτρώδη (Nuji & Habuda, 2017). Η παρουσία των νιτροζαμινών ενδέχεται να αυξήσει την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου, αν και είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο για διάφορα ζώα και όχι για τους ανθρώπους. Συνεπώς, τα νιτρικά από μόνα τους δεν είναι καρκινογόνα, αλλά εξαιτίας της ενδογενούς νίτρωσης, παράγονται οι νιτροζαμίνες, οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης καρκινογενών επιπτώσεων, όπως ο καρκίνος του οισοφάγου και του στομάχου (Qasemi et al., 2018).

Μεθαιμοσφαιριναιμία (methemoglobinemia)

Η μεθαιμοσφαιριναιμία (methemoglobinemia) είναι μια διαταραχή στο αίμα που προκαλείται από την αλληλεπίδραση των νιτρώδων αλάτων και της αιμοσφαιρίνης. Η αιμοσφαιρίνη είναι μια πρωτεΐνη που βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και μεταφέρει το οξυγόνο μέσω της κυκλοφορίας του αίματος, απελευθερώνοντάς το στα κύτταρα.

Η μεθαιμοσφαιριναιμία προκαλείται από την οξεία έκθεση σε νιτρικά, κυρίως από την κατανάλωση του πόσιμου νερού, αλλά και μερικών τροφίμων ή φαρμάκων. Τα νιτρικά άλατα όταν φτάσουν στο στομάχι μετατρέπονται σε νιτρώδη άλατα χάρη στους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο στομάχι. Εν συνεχεία, τα νιτρώδη άλατα περνούν στην κυκλοφορία του αίματος και οξειδώνουν τον δισθενή σίδηρο (Fe^{2+}) που βρίσκεται στην αιμοσφαιρίνη σε τρισθενή (Fe^{3+}). Επομένως η αιμοσφαιρίνη μετατρέπεται σε μεθαιμοσφαιρίνη, η οποία περιέχει τρισθενή σίδηρο, άρα δεν μπορεί να μεταφέρει το οξυγόνο στον οργανισμό και κατά συνέπεια να το απελευθερώσει στα κύτταρα.

Στην ασθένεια αυτή είναι πιο επιρρεπή τα νεογνά και όχι τόσο τα παιδιά ή οι ενήλικες, για αυτό και η μεθαιμοσφαιριναιμία ονομάζεται αλλιώς ως <<σύνδρομο των κυανών βρεφών>> (blue baby syndrome).

Το φυσιολογικό επίπεδο της μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα είναι 1-1,5 %. Η νόσος διαγιγνώσκεται όταν η μεθαιμοσφαιρίνη ξεπεράσει σε ποσοστό το 5% της συνολικής αιμοσφαιρίνης , ενώ τα συμπτώματα εμφανίζονται σε επίπεδα >10-

20 % της συνολικής αιμοσφαιρίνης και σε επίπεδα >30-40 % θεωρούνται απειλητικά για τη ζωή. (Gao et al., 2021).

Όταν αυξάνονται τα επίπεδα της μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα, και πιο συγκεκριμένα όταν η μεθαιμοσφαιρίνη βρίσκεται σε ποσοστό >10%, της συνολικής αιμοσφαιρίνης, η ικανότητα του να μεταφέρει και να απελευθερώσει την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου στα κύτταρα μειώνεται δραματικά.

Το πρώτο σύμπτωμα που εκδηλώνεται στην ασθένεια αυτή είναι η κυάνωση, μια πάθηση κατά την οποία το δέρμα αποκτά μελανή απόχρωση στο στόμα και τα άκρα καθώς και το καφέ χρώμα στο αίμα. Ένα ακόμα σύνηθες σύμπτωμα αποτελεί ο μειωμένος κορεσμός του αίματος σε οξυγόνο. Καθώς τα επίπεδα της μεθαιμοσφαιρίνης αυξάνονται, παρουσιάζονται συμπτώματα δύσπνοιας, πονοκεφάλου και ζάλης. Σε ποσοστά άνω του 50% μπορεί να εκδηλωθούν αρρυθμίες, επιληπτικές κρίσεις, κόμα, ακόμη και θάνατος. (Skold et al., 2011).

Υπάρχουν δύο τύποι μεθαιμοσφαιριναιμίας (Skold et al., 2011).

- Η συγγενής μεθαιμοσφαιριναιμία (congenital methemoglobinemia)
- Η επίκτητη μεθαιμοσφαιριναιμία (acquired methemoglobinemia)

Συγγενής μεθαιμοσφαιριναιμία (congenital methemoglobinemia)

Τα άτομα που πάσχουν από συγγενή μεθαιμοσφαιριναιμία έχουν γεννηθεί με αυτή την πάθηση, καθώς την έχουν κληρονομήσει από τους γονείς τους. Πιο συγκεκριμένα, κληρονομείται μια γενετική ανωμαλία που οδηγεί σε ανεπάρκεια ενός ενζύμου της αναγωγής του κυτοχρώματος b5 (CYB5R) το οποίο ανάγει τη μεθαιμοσφαιρίνη σε αιμοσφαιρίνη. Γενικά, είναι λιγότερο συχνή σε σχέση με την επίκτητη μεθαιμοσφαιριναιμία.

Η συγγενής μεθαιμοσφαιριναιμία κατηγοριοποιείται σε δύο τύπους (Viršilas et al., 2019):

- Τύπου I : Είναι ο πιο κοινός και χαρακτηρίζεται από ανεπάρκεια της αναγωγής του κυτοχρώματος b5 (CYB5R) μόνο στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Γενικά, οι ασθενείς που πάσχουν από αυτό τον τύπο είναι ασυμπτωματικοί ή εκδηλώνουν ως μοναδικό σύμπτωμα αυτό της κυάνωσης.
- Τύπου II: Η ανεπάρκεια του ενζύμου εκδηλώνεται σε όλα τα κύτταρα. Το προσδόκιμο όριο ζωής για άτομα που πάσχουν από αυτή την ασθένεια είναι σύντομο, διότι τα περισσότερα πεθαίνουν στη βρεφική ηλικία. Επιπλέον, εκτός από τα συνήθη συμπτώματα, τα προσβεβλημένα βρέφη παρουσιάζουν νοητική υστέρηση και αργή ανάπτυξη σε νεαρή ηλικία.

Επίκτητη μεθαιμοσφαιριναμία (acquired methemoglobinemia)

Η επίκτητη μεθαιμοσφαιριναμία είναι ο πιο κοινός τύπος της νόσου. Εκδηλώνεται από την έκθεση των ατόμων σε νιτρικά που περιέχονται είτε στο πόσιμο νερό, είτε στις τροφές, είτε σε κάποια φάρμακα. Εάν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα, μπορεί να προκαλέσει λειτουργική αναιμία, υποξία ιστών ακόμα και θάνατο.

Τα βρέφη είναι πιο επιρρεπή σε αυτή τη νόσο, διότι το επίπεδο των ενζύμων στο σώμα τους είναι πολύ χαμηλότερο. Αυτό έχει σαν επακόλουθο, η μετατροπή της μεθαιμοσφαιρίνης σε αιμοσφαιρίνη να είναι πολύ αργή, συγκρινόμενη με αυτή στο σώμα των ενηλίκων (Fossen Johnson, 2019). Ένας ακόμη παράγοντας είναι το αυξημένο pH στο στομάχι των βρεφών, γεγονός το οποίο οδηγεί στον πολλαπλασιασμό των βακτηριδίων και στην παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας νιτρώδους άλατος, η οποία με τη σειρά της αυξάνει τα επίπεδα της μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα και άρα τα βρέφη θα εκδηλώσουν συμπτώματα (π.χ.: κυάνωση). Τα πιο κοινά συμπτώματα της ασθένειας αναγράφονται στην ακόλουθη εικόνα. (Εικόνα 2.3).

Table 2. Clinical symptoms in relation to MetHb blood concentration.

| MetHb % of total Hb | Symptoms |
|---------------------|---|
| <10 | Asymptomatic |
| 10-20 | Cyanosis |
| 20-40 | Headache, fatigue, weakness, tachycardia, and dizziness |
| 40-50 | Dyspnea and lethargy |
| 50-70 | Acidosis, arrhythmias, hypoxia, seizures and coma |
| >70 | Death |

MetHb, methemoglobin; Hb, hemoglobin.

Εικόνα 2.3: Συμπτώματα μεθαιμοσφαιριναμίας. (Πηγή: Viršilas et al., 2019).

Με βάση την εικόνα 2.3, παρατηρούμε πως όταν η μεθαιμοσφαιρίνη στο αίμα βρίσκεται σε ποσοστά χαμηλότερα του 10% δεν εμφανίζονται συμπτώματα. Καθώς τα επίπεδα αυξάνονται εκδηλώνονται επιπτώσεις όπως κυάνωση, πονοκέφαλος, ταχυκαρδία και ζαλάδες. Τα σχετικά υψηλά επίπεδα μεθαιμοσφαιρίνης συνδέονται με αρρυθμίες, υποξία, κόμμα, ενώ σε ποσοστά άνω του 70%, οι ασθενείς πεθαίνουν.

Θεραπεία

Εάν η διάγνωση της ασθένειας γίνει αρκετά νωρίς, τότε η θεραπεία απλώς περιλαμβάνει χρήση πόσιμου νερού με χαμηλό περιεχόμενο σε νιτρικά, ώστε να μειωθεί το ποσοστό μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα. Σε περίπτωση που είναι αρκετά υψηλό το ποσοστό μετατροπής της αιμοσφαιρίνης σε μεθαιμοσφαιρίνη,

μπορεί να χορηγηθεί ενδοφλεβίως ενέσιμο διάλυμα χλωριούχου μεθυλοθειονινίου (Methylthioninium chloride Proveblue) , το οποίο βοηθάει να επιταχυνθεί η μετατροπή της μη φυσιολογικής αιμοσφαιρίνης σε φυσιολογική αιμοσφαιρίνη. (Gao et al., 2021).

Πρόληψη

Σύμφωνα με την EPA (Environmental Protection Agency), έχει τεθεί ως μέγιστο όριο ρύπων $\text{NO}_3\text{-N}$ τα $10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ (U.S EPA, 1991), ενώ σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ) τα $11,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ και για τα $\text{NO}_2\text{-N}$ το $1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ (Π.Ο.Υ 1985).

Τα όρια για τις ενώσεις του αζώτου στο υπόγειο νερό, όσο και για τους υπόλοιπους ρύπους έχουν προκύψει από τοξικολογικές έρευνες που έγιναν σε πειραματόζωα. Συνεπώς, εάν χρησιμοποιείται νερό που περιέχει νιτρικά κάτω από τα προβλεπόμενα όρια, τότε δεν αναμένονται να εκδηλωθούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Επιπτώσεις στον θυροειδή αδέν

Η κατανάλωση νερού ή λαχανικών που περιέχουν υψηλή ποσότητα νιτρικών αλάτων, ενδέχεται να προκαλέσει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως η δυσλειτουργία του θυροειδούς αδέν. Πιο συγκεκριμένα, τα νιτρικά άλατα δρουν ανταγωνιστικά στην πρόσληψη του ιωδίου από τον θυροειδή, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται δυνητικά η λειτουργία του. (Ward et al., 2010). Σημειώνεται ότι το ιώδιο είναι ένα αρκετά σημαντικό στοιχείο για τον θυροειδή αδέν καθώς με την παρουσία του μπορούν και παράγονται οι απαραίτητες ορμόνες για τη σωστή λειτουργία του.

Η αναστολή της πρόσληψης ιωδίου από τον θυροειδή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση στα επίπεδα των ορμονών της τριωδοθυρονίνης (T_3) και της θυροξίνης (T_4), η οποία αυξάνει τη θυροειδοτρόπο ορμόνη (TDH). Η παραπάνω ορμόνη, ελέγχει την παραγωγή των υπόλοιπων ορμονών του θυροειδούς και η χρόνια διέγερσή του από τη θυροειδοτρόπο ορμόνη μπορεί να οδηγήσει, σε φαινόμενα πολλαπλασιασμού των κυττάρων όπως η υπερπλασία και η νεοπλασία. (Ward et al., 2010). Επίσης έχει μελετηθεί πως η κατανάλωση νερού με υψηλή ποσότητα νιτρικών μπορεί να οδηγήσει σε υπερτροφία του θυροειδούς, δηλαδή σε αύξηση του όγκου του. Η υπερτροφία είναι πιο κοινή στις γυναίκες, ενώ στα παιδιά ενδέχεται να εμφανιστούν φαινόμενα υποθυροειδισμού, αν και για τον οποίο είναι υπεύθυνη η κατανάλωση τροφών που περιέχουν νιτρικά και όχι η κατανάλωση νερού (Ward et al., 2007). Για τον λόγο αυτό σε κάποιες χώρες της Ευρώπης αλλά όχι στην Ελλάδα, έχουν οριστεί χαμηλότερα όρια ποσότητας για τα NO_3^- στο νερό από τα 50 mg/L για τις εγκύους, τις θηλάζουσες γυναίκες,

τα βρέφη και τα μικρά παιδιά. Συνήθως, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή ανέρχεται στα 10 mg/L. Όσον αφορά στις καρκινογενείς επιπτώσεις του θυροειδούς αδένος, δεν έχει αποδειχθεί ότι αποκλειστικά και μόνο τα νιτρικά είναι καρκινογόνα για τους ανθρώπους. Εάν όμως προσλαμβάνεται μεγάλη ποσότητα νιτρικών αλάτων, τότε θα αναχθούν σε νιτρώδη και θα σχηματιστούν ενδογενώς νιτροζαμίνες, οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν καρκινογενείς επιπτώσεις σε πειραματόζωα, άρα μπορούν να προκαλέσουν δυνητικά καρκίνο στους ανθρώπους ή προβλήματα με τον θυροειδή.

Άλλες επιπτώσεις στην υγεία

Από την κατανάλωση νερού που περιέχει υψηλή ποσότητα νιτρικών ιόντων είναι δυνατό να παρουσιαστούν δυσάρεστες καταστάσεις στην υγεία των ανθρώπων όπως πονοκέφαλος ή δυσπεψία. Επιπλέον, από την έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών είναι αρκετά πιθανή η παρουσία λοιμώξεων του αναπνευστικού συστήματος ή επαναλαμβανόμενων επεισοδίων διάρροιας (Gurta et al., 2001). Επίσης, η παρουσία νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει συνδεθεί και με επεισόδια στοματίτιδας (S. K. Gurta et al., 2000). Τα παραπάνω συμπτώματα εμφανίζονται στους ενήλικες αλλά και σε παιδιά άνω των 6 ετών.

2.6 Μέθοδος αξιολόγησης της επικινδυνότητας (Risk Assessment Method)

Η εκτίμηση κινδύνου είναι μια διαδικασία κατά την οποία εξετάζονται, αναλύονται και περιγράφονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με επικίνδυνες ουσίες, δραστηριότητες ή καταστάσεις. Σημειώνεται ότι οι κίνδυνοι αυτοί εκτιμώνται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά (Korre et al., 2002).

Γενικώς οι μεθοδολογίες αυτές περιλαμβάνουν δύο συνιστώσες οι οποίες αφορούν στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών κινδύνων (Environmental Risk Assessment) και στην αξιολόγηση των επιπτώσεων που μπορεί να προκληθούν στην ανθρώπινη υγεία (Human Health Risk Assessment). Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τη σωστή διαχείριση μολυσμένων τοποθεσιών, ενώ η δεύτερη εξετάζει τις πιθανές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων, ως αποτέλεσμα της έκθεσής τους σε μολυσματικές ουσίες των εδαφών ή ρυπαντών των υδάτων.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης του οικολογικού κινδύνου έχουν τεθεί σε δεύτερη μοίρα, συγκριτικά με αυτές της εκτίμησης της επικινδυνότητας στην ανθρώπινη υγεία. Ο κυριότερος από τους λόγους που συμβαίνει αυτό έγκειται στη δυσκολία της αποκατάστασης μολυσμένων χώρων, ειδικότερα εάν δεν λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν στους ζώντες οργανισμούς. Για παράδειγμα, ο περιβαλλοντικός κίνδυνος σε ένα εγκαταλελειμμένο μεταλλείο προέρχεται κυρίως από απορρίμματα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε δυνητικά επιβλαβή ιχνοστοιχεία όπως το

αρσενικό, ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, με αποτέλεσμα να προκληθεί εκτεταμένη μόλυνση στα εδάφη, ρύπανση των υδάτων ή τοξικότητα στα φυτά (Moreno-Jiménez et al., 2011). Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι η εξόρυξη αντιμονίου αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, διότι μπορεί να οδηγήσει στη ρύπανση των υδάτων και τη μόλυνση του εδάφους. Η έκθεση των ανθρώπων στον ρύπο αυτό είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσω της εισπνοής, της κατάποσης και της δερματικής επαφής, με αποτέλεσμα οξείες τοξικές επιδράσεις στο δέρμα, τα μάτια, τους πνεύμονες, τα έντερα, το στομάχι, το συκώτι και τα νεφρά. Το αντιμόνιο συνδέεται επίσης με χρόνιες τοξικές επιδράσεις στο αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα, ενώ χαρακτηρίζεται ως δυνητικά καρκινογόνο στοιχείο για τον άνθρωπο. (Fei et al., 2017).

Επομένως κρίνεται απαραίτητο να δοθεί μεγαλύτερη σημασία στην εφαρμογή μεθόδων αξιολόγησης του οικολογικού κινδύνου προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Μέθοδος εκτίμησης της επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας (Human Health Risk Assessment)

Η μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας είναι η διαδικασία κατά την οποία αξιολογείται η φύση και η πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία ανθρώπων που ενδέχεται να εκτεθούν σε χημικές ουσίες, οι οποίες βρίσκονται σε μολυσμένα περιβαλλοντικά μέσα (αέρας, νερό, έδαφος) στο παρόν ή στο μέλλον (U.S EPA, 2021).

Υπάρχουν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για την εκτίμηση των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία. Η πρώτη αφορά σε μια ημι-ποσοτική μεθοδολογία, που έχει προκύψει από αντίστοιχη Ευρωπαϊκή ερευνητική προσπάθεια. Η μεθοδολογία αυτή σχετίζεται με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων, τα οποία αφορούν στους περιβαλλοντικούς αποδέκτες (επιφανειακά και υπόγεια νερά, αέρα, κ.λπ.) και στην ανθρώπινη υγεία. (Δαμίγος & Καλιαμπάκος, 1998).

Η δεύτερη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι αυτή που προτείνεται από τις οδηγίες της U.S EPA, οι οποίες αφορούν σε ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου, με τη μορφή πιθανότητας να προκληθούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία, χάρη στην παρουσία συγκεκριμένων ρυπαντών. Οι οδηγίες αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως και θεωρούνται από τις πλέον αξιόπιστες μεθοδολογίες για την εκπόνηση μελετών αξιολόγησης κινδύνων από ρυπασμένες περιοχές. Οι δύο μεθοδολογίες διακατέχονται από διαφορετική «φιλοσοφία». Η μεθοδολογία της U.S. EPA είναι πλήρως ποσοτική και ιδιαίτερα αναλυτική (εξετάζει διαφορετικές οδούς και εναλλακτικά σενάρια πρόσληψης των ρύπων, διαχωρίζει τις επιπτώσεις στην υγεία σε καρκινογενείς

και μη-καρκινογενείς κλπ.), ενώ εκφράζει τον κίνδυνο ως πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων στον εκτιθέμενο πληθυσμό (π.χ. πιθανότητα εκδήλωσης καρκινογενέσεων). Η ημι-ποσοτική μεθοδολογία δεν παρουσιάζει το συγκεκριμένο επίπεδο ανάλυσης, στηρίζεται σε ερευνητικά και εμπειρικά δεδομένα αναφορικά με αποδεκτά όρια ρύπανσης, δεν έχει θεσμοθετημένη ισχύ και αξιολογεί τον κίνδυνο σε μια αυθαίρετη κλίμακα, μη συνδεδεμένη με την πιθανότητα εκδήλωσης δυσάρεστων συμβάντων στον εκτιθέμενο πληθυσμό. Από την άλλη πλευρά, όμως, απαιτεί σημαντικά μικρότερο πλήθος δεδομένων, είναι ιδιαίτερα απλή και εύχρηστη, ενώ καλύπτει με τα όρια που παραθέτει, όλους τους βασικούς ρύπους. (Δαμίγος & Καλιαμπάκος, 1998).

Όπως προαναφέρθηκε, για την εκτίμηση της επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας λόγω έκθεσης σε διαφόρων ειδών ρύπους, χρησιμοποιείται ευρέως η μεθοδολογία της U.S EPA. Η εν λόγω μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής 4 στάδια:

1. Αξιολόγηση πηγών κινδύνου (Hazard Identification)
2. Εκτίμηση δόσης - απόκρισης (Dose - Response Assessment)
3. Εκτίμηση της έκθεσης (Exposure Assessment)
4. Χαρακτηρισμός κινδύνου (Risk Characterization)

Οι διαδικασίες που εκτελούνται για όλα αυτά τα στάδια αναλύονται στις επόμενες παραγράφους:

Αξιολόγηση πηγών κινδύνου (Hazard Identification)

Αρχικά, απαιτείται να συλλεχθούν και να αξιολογηθούν τα δεδομένα τόσο για το συγκεκριμένο όσο και για τα επόμενα στάδια. Ειδικότερα πρέπει: Να εντοπιστεί η περιοχή μελέτης, να γίνει η κατάλληλη βιβλιογραφική έρευνα για το περιβαλλοντικό πρόβλημα που εντοπίζεται σε αυτήν καθώς και να συγκεντρωθούν και να αναλυθούν τα δεδομένα που χρειάζονται. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικός ο καθορισμός των πηγών των ρυπαντών και πιο συγκεκριμένα το είδος τους, δηλαδή αν τα στοιχεία έχουν φυσική ή ανθρωπογενή προέλευση. Πρέπει να γνωρίζουμε επίσης και το περιβαλλοντικό μέσο στο οποίο εντοπίζονται (στο έδαφος, στα υδάτινα συστήματα ή τον αέρα). Για τη διάκριση των πηγών εμπλουτισμού είναι πολύ χρήσιμες οι στατιστικές μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα με τη βοήθεια προγραμμάτων που αναλύουν στατιστικά δεδομένα. Αφού καθοριστούν επακριβώς οι πηγές των ρύπων και η προέλευσή τους, εξετάζεται ο τρόπος μεταφοράς των ρυπαντών στους αποδέκτες, δηλαδή αν μεταφέρονται μέσω του ανέμου, της επιφανειακής απορροής ή προσλαμβάνονται από τα φυτά. Για να ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας, θα πρέπει να προσδιοριστεί με ποιόν τρόπο οι άνθρωποι εκτίθενται στις ουσίες που ενδέχεται να απειλούν την ανθρώπινη υγεία, δηλαδή αν η έκθεση σε αυτές πραγματοποιείται μέσω της κατάποσης, της δερματικής επαφής ή της εισπνοής. Επιπλέον, είναι αναγκαίο

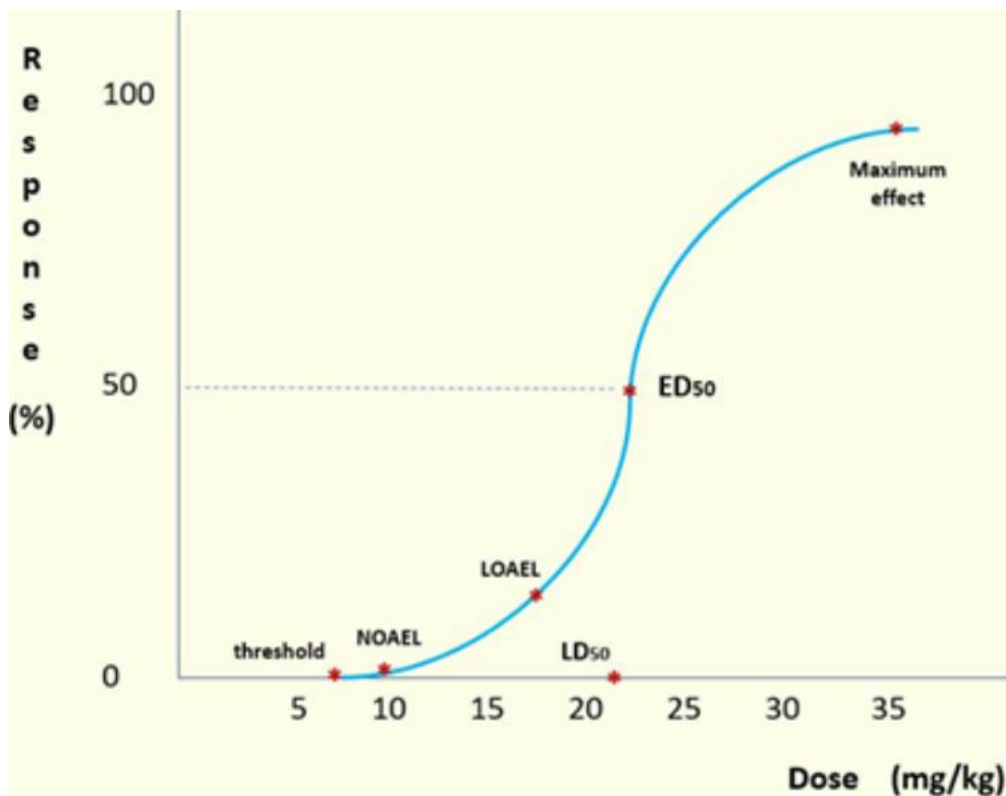
να οριστεί με ακρίβεια αν ο ρύπος (ή οι ρύποι) προκαλούν καρκινογενείς ή μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των οργανισμών.

Εκτίμηση δόσης - απόκρισης (Dose - Response Assessment)

Αναφέρεται και ως εκτίμηση τοξικότητας (toxicity assessment) διότι στο στάδιο αυτό πραγματοποιούνται τοξικολογικές έρευνες σε πειραματόζωα. Η εκτίμηση της δόσης - απόκρισης χαρακτηρίζει την ποσοτική σχέση μεταξύ της έκθεσης και της εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία. (Locey, 2005). Σύμφωνα με την U.S EPA υπάρχουν δύο κατηγορίες επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία: οι μη- καρκινογενείς και οι καρκινογενείς.

Οι **μη- καρκινογενείς επιπτώσεις (non - carcinogenic effects)**, παρατηρούνται όταν υπάρξει υπέρβαση μιας οριακής τιμής (threshold value). Για να γίνει σωστά η αξιολόγηση του κινδύνου, έχουν τεθεί από την EPA τιμές αναφοράς (reference doses), οι οποίες είναι από 10 έως 1.000 φορές χαμηλότερες από τις αντίστοιχες οριακές τιμές, ώστε να προσφέρουν σημαντικό επίπεδο ασφάλειας. (Δαμίγος & Καλιαμπάκος, 1998). Σύμφωνα με την EPA ως δόση αναφοράς ορίζεται η εκτιμώμενη ποσότητα έκθεσης του πληθυσμού (συμπεριλαμβανομένων και ευπαθών ατόμων), σε ημερήσιο επίπεδο, όπου κάτω από την οποία είναι πιθανό να μην υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αντίστοιχα, οι **καρκινογενείς επιπτώσεις (carcinogenic effects)** προκαλούνται από την έκθεση του ανθρώπου σε ουσίες οι οποίες παρουσιάζουν ενδεχομένους κινδύνους για καρκινογένεση. Από την U.S. EPA, για τις καρκινογόνες ουσίες έχει υιοθετηθεί η πολιτική της μη-οριακής τιμής (no-threshold value). Δηλαδή, γίνεται η παραδοχή ότι η έκθεση σε ουσίες που θεωρούνται καρκινογόνες σχετίζεται με κίνδυνο καρκινογένεσης ανεξάρτητα από το επίπεδο συγκέντρωσης της ουσίας. Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος αυτός θεωρείται αθροιστικός, δηλαδή αυξάνεται όσο η διάρκεια έκθεσης και η συγκέντρωση της ουσίας αυξάνουν (Δαμίγος & Καλιαμπάκος, 1998). Για τις καρκινογενείς επιπτώσεις, ο αντίστοιχος δείκτης αξιολόγησης του κινδύνου είναι ο **συντελεστής κλίσης (slope factor)**, ο οποίος σύμφωνα με την EPA είναι μια εκτίμηση της αυξανόμενης πιθανότητας εμφάνισης καρκινογενών επιπτώσεων, ως αποτέλεσμα της έκθεσης του ανθρώπου σε καρκινογόνες ουσίες κατά τη διάρκεια της ζωής του. Ο συντελεστής κλίσης είναι ουσιαστικά η κλίση της καμπύλης δόσης - απόκρισης.

Στην εικόνα 2.4 παρουσιάζεται η καμπύλη δόσης - απόκρισης για μια ουσία που είναι ικανή να προκαλέσει μη - καρκινογενείς επιπτώσεις.



Εικόνα 2.4: Καμπύλη δόσης - απόκρισης για μια μη-καρκινογόνο ουσία. (Πηγή: Tsatsakis et al., 2018).

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε μια σιγμοειδή καμπύλη δόσης - απόκρισης για μια ουσία που προκαλεί μη - καρκινογενείς επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν κάποιες τιμές οι οποίες είναι:

- Η **τιμή κατωφλίου (threshold value)** και άρα δεν υπάρχει κίνδυνος εάν η δόση είναι χαμηλότερη του συγκεκριμένου ορίου.
- Το **επίπεδο μη - παρατηρούμενης δυσμενούς επίδρασης (No-observed adverse effect level/ NOAEL)** περίπου στα 10 mg/kg, και πρόκειται για τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μιας ουσίας που δεν προκαλεί επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού που εκτίθεται σε αυτήν. (Rodriguez-Proteau & Grant, 2006).
- Το **κατώτατο επίπεδο δόσης με παρατηρούμενη δυσμενή επίδραση (Lowest observed adverse effect level/LOAEL)**, δηλαδή είναι η χαμηλότερη συγκέντρωση μιας ουσίας όπου μπορούν να εκδηλωθούν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων ή των ζώων που εκτίθενται σε αυτήν. (Rodriguez-Proteau & Grant, 2006).

Επιπλέον, η τιμή **LD₅₀ (μέση θανατηφόρα δόση)** είναι μια υπολογισμένη δόση μιας ουσίας που αναμένεται να προκαλέσει τον θάνατο του 50% ενός καθορισμένου πληθυσμού πειραματόζωων. (UNL, 2003). Αντίστοιχα, η **μέση θανατηφόρα συγκέντρωση (LC₅₀)** είναι η συγκέντρωση μιας ουσίας

η οποία θα είναι θανατηφόρα για το 50% του πληθυσμού των υπό μελέτη οργανισμών. (University of Colorado Colorado Springs, 2018).

Τέλος, γίνεται φανερό από την εικόνα 2.4, πως όσο αυξάνεται η δόση αυξάνεται αντιστοίχως και η απόκριση, επομένως όταν χορηγηθεί μια ποσότητα τοξικής ουσίας αρκετά πιο μεγάλη από τα ασφαλή όρια, θα προκληθεί η θανάτωση όλων των οργανισμών.

Εκτίμηση της έκθεσης (Exposure Assessment)

Η έκθεση ορίζεται ως << η επαφή σε βάθος χώρου και χρόνου μεταξύ ενός ατόμου και ενός ή περισσότερων βιολογικών, χημικών ή φυσικών παραγόντων.>> (U.S NRC, 1991).

Υπάρχουν τρεις <<οδοί>> από τις οποίες μια ουσία μπορεί να εισέλθει στο ανθρώπινο σώμα. Αυτές είναι:

- Μέσω της **εισπνοής (inhalation)**: Για τις χημικές ουσίες που έχουν τη μορφή ατμών, αερίων ή σωματιδίων η εισπνοή είναι η κύρια οδός εισόδου. Μετά την εισπνοή, οι χημικές ουσίες είτε εκπνέονται, είτε εναποτίθενται στην αναπνευστική οδό. Στην περίπτωση όπου εναποτίθενται, μπορεί να προκληθούν ήπιες ή πιο σοβαρές ζημιές στους ιστούς του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος (π.χ.: πνεύμονες) λόγω της άμεσης επαφής τους με την εκτιθέμενη ουσία. Αν όμως το αίμα απορροφήσει τις ουσίες και περάσουν στην κυκλοφορία του, ενδέχεται να προκληθούν επιπτώσεις στα όργανα που είναι ευαίσθητα σε μια συγκεκριμένη (τοξική) ουσία. (UNL, 2003).
- Μέσω της **δερματικής απορρόφησης (dermal absorption)**: Η δερματική επαφή μπορεί να προκαλέσει αβλαβή συμπτώματα όπως ερυθρότητα ή ήπιες μορφές δερματίτιδα. Οι πιο σοβαρές επιπτώσεις είναι η καταστροφή των ιστών του δέρματος ή η βλάβη των εσωτερικών οργάνων καθώς πολλές χημικές ουσίες έχουν την ικανότητα να διαπερνούν το δέρμα και να απορροφώνται από το αίμα, περνώντας έτσι στο κυκλοφορικό σύστημα. (UNL, 2003).
- Δια της **προφορικής οδού (ingestion)**: Οι χημικές ουσίες που καταπίνονται κατά λάθος δεν βλάπτουν τον πεπτικό σωλήνα, παρά μόνο τον ερεθίζουν. Οι ουσίες που δεν διαλύονται από τα υγρά του στομάχου, απεκκρίνονται, ενώ οι διαλυτές ουσίες απορροφώνται από το αίμα και μεταφέρονται στο εσωτερικό των οργάνων, όπου μπορούν να τα βλάψουν. (UNL, 2003).

Υπάρχουν δύο τύποι έκθεσης η οξεία (acute) και η χρόνια (chronic). Στην οξεία έκθεση, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προκαλούνται μετά από ένα μεμονωμένο γεγονός έκθεσης μέσω οποιασδήποτε οδού, για ένα σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ.: λιγότερο από 1 ημέρα). (University of Colorado Colorado Springs, 2018). Ένα παράδειγμα οξείας έκθεσης είναι η κατανάλωση νερού με υψηλή περιεκτικότητα νιτρικών, η οποία σε μικρό χρονικό διάστημα προκαλεί μεθαιμοσφαιριναιμία (blue baby syndrome) στα βρέφη. Αντίστοιχα, η χρόνια έκθεση σχετίζεται με τις επιδράσεις που προκύπτουν στην υγεία από την επαναλαμβανόμενη ημερήσια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις της ουσίας, κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου ή ενός ζώου. (University of Colorado Colorado Springs, 2018).

Πιο συγκεκριμένα στην τοξικολογία, ο βαθμός της οξείας έκθεσης εκφράζεται με τη βοήθεια των εξής τιμών:

- Της **LD_{LO} (Lethal Dose Low - χαμηλή θανατηφόρα δόση)**: Πρόκειται για τη χαμηλότερη δόση μιας ουσίας που εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό με οποιαδήποτε <<οδό>> εκτός της εισπνοής, για μια οποιαδήποτε δεδομένη χρονική περίοδο και αναφέρεται ότι προκαλεί θάνατο στους ανθρώπους ή τα πειραματόζωα. (University of Colorado Colorado Springs, 2018).
- Της **LD₅₀ (Lethal Dose Fifty - θανατηφόρα δόση 50)**: Είναι μια υπολογισμένη δόση μιας ουσίας που αναμένεται να προκαλέσει τον θάνατο του 50% ενός καθορισμένου πληθυσμού πειραματόζωων. Και αυτή η δόση καθορίζεται από την έκθεση στην ουσία με οποιαδήποτε άλλη <<οδό>> εκτός της εισπνοής. (UNL, 2003).
- Της **LC_{LO} (Lethal Dose Concentration - χαμηλή θανατηφόρα συγκέντρωση)**: Η χαμηλότερη συγκέντρωση μιας ουσίας στον αέρα που αναφέρεται ότι προκαλεί θάνατο στους ανθρώπους ή τα πειραματόζωα. (UNL, 2003).
- Της **LC₅₀ (Lethal Concentration Fifty - θανατηφόρα συγκέντρωση 50)**: Πρόκειται για τη συγκέντρωση ενός αερομεταφερόμενου ρύπου, η οποία θα είναι θανατηφόρα για το 50% του πληθυσμού των υπό μελέτη οργανισμών (πειραματόζωα). Η παραπάνω συγκέντρωση χρησιμοποιείται ως δείκτης τοξικότητας (University of Colorado Colorado Springs, 2018).

Σημειώνεται ακόμα ότι όσο πιο χαμηλές είναι οι τιμές των LD₅₀ και LC₅₀, η ουσία θα χαρακτηρίζεται τοξικότερη. Επιπλέον, οι έρευνες τοξικότητας είναι προφανές ότι δεν πραγματοποιούνται σε ανθρώπους, αλλά σε πειραματόζωα.

Η χρόνια έκθεση δεν χαρακτηρίζεται με βάση συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και δόσεις, αλλά περιγραφικά, δηλαδή ανάλογα με τον τρόπο έκθεσης (εισπνοή, δερματική επαφή κ.α.).

Χαρακτηρισμός κινδύνου (Risk Characterization)

Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να εκτεθούν οι άνθρωποι σε βλαβερές ουσίες για την υγεία τους είναι οι εξής:

- Μέσω της κατανάλωσης πόσιμου νερού (oral intake).
- Μέσω της δερματικής επαφής (π.χ.: κατά το πλύσιμο των χεριών ή του σώματος) (dermal contact).
- Μέσω της εισπνοής (inhalation) του αέρα ή και σκόνης.

Κατά το στάδιο χαρακτηρισμού του κινδύνου γίνεται η ποσοτικοποίησή του, δηλαδή χρησιμοποιούνται εξισώσεις για την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης είτε αυτή προσλαμβάνεται μέσω της κατανάλωσης, είτε μέσω της δερματικής επαφής. Οι εξισώσεις αυτές, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, χρησιμοποιούν διάφορους παράγοντες όπως το σωματικό βάρος των ανθρώπων, τη συγκέντρωση του ρύπου στο περιβαλλοντικό μέσο, τη συχνότητα έκθεσης, τη διάρκεια έκθεσης και άλλους. Σημειώνεται ότι αυτές οι εξισώσεις έχουν δημιουργηθεί από την U.S EPA είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας.

Η εξίσωση (2.6.1) χρησιμοποιείται για την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης (chronic daily intake) μέσω της κατάποσης (είτε πόσιμου νερού, είτε εδάφους)

$$CDI_{\text{ingestion}} = \frac{C_{\text{exp}} \cdot R_{\text{ing}} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (2.6.1)$$

Όπου $CDI_{\text{ingestion}}$: η χρόνια ημερήσια δόση μέσω της προφορικής οδού, η οποία μετράται σε mg/kg·day.

C_{exp} : η συγκέντρωση της ουσίας στο περιβαλλοντικό μέσο σε ppm ($1 \text{ ppm} = 1 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$ ή $1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$).

R_{ing} : ο ρυθμός πρόσληψης σε λίτρα/ημέρα (L/day).

EF : η συχνότητα της έκθεσης (exposure frequency) σε ημέρες/έτος (days/yr).

ED : η διάρκεια της έκθεσης (exposure duration) σε έτη (yrs.).

BW : το βάρος του σώματος σε κιλά (kg) (body weight).

AT : η μέση διάρκεια έκθεσης (averaging day) σε έτη (years). Όμως το μετατρέπουμε σε ημέρες μέσω αυτής της σχέσης $AT = ED \cdot 365 \text{ days}$.

Υπάρχουν και αντίστοιχες εξισώσεις για τη χρόνια ημερήσια δόση μέσω της δερματικής επαφής. Οι εξισώσεις αυτές όμως διαφοροποιούνται ανάλογα με το περιβαλλοντικό μέσο στο οποίο βρίσκονται οι ρύποι. Πιο συγκεκριμένα για τα εδάφη χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση (EPA, 1989).

$$CDI_{\text{dermal}} = \frac{C_{\text{exp}} \cdot SA \cdot SAF \cdot ABS \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6} \quad (2.6.2)$$

Όπου CDI_{dermal} : η χρόνια ημερήσια δόση από την επαφή του δέρματος με το έδαφος (mg/kg·day).

C_{exp} : η συγκέντρωση της ουσίας στο περιβαλλοντικό μέσο σε ppm.

SA: η επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται (surface area).

SAF: ο παράγοντας προσκόλλησης του δέρματος (skin adherence factor).

ABS: ο παράγοντας δερματικής απορρόφησης (dermal absorption factor), ο οποίος είναι ίσος με 0,001.

EF: η συχνότητα της έκθεσης (exposure frequency) σε ημέρες/έτος (days/yr).

ED: η διάρκεια της έκθεσης (exposure duration) σε έτη (yrs.).

BW: το βάρος του σώματος σε κιλά (kg) (body weight).

AT: η μέση διάρκεια έκθεσης (averaging day) σε έτη (years) όπου το μετατρέπουμε σε ημέρες μέσω της σχέσης $AT = ED \cdot 365 \text{ days}$.

Η αντίστοιχη εξίσωση για τη δερματική επαφή με ρυπασμένο νερό είναι η ακόλουθη (εξίσωση 2.6.3) (Rahman et al., 2021):

$$DAD = \frac{C_{\text{exp}} \cdot TC \cdot K_i \cdot CF \cdot EV \cdot ED \cdot EF \cdot SSA}{BW \cdot AT} \quad (2.6.3)$$

Όπου DAD: η απορροφημένη δόση από το δέρμα. (dermal absorbed dose). Είναι το αντίστοιχο CDI_{dermal} . Μονάδα μέτρησης σε mg/kg·day.

C_{exp} : η συγκέντρωση της ουσίας στο περιβαλλοντικό μέσο σε ppm.

TC: χρόνος επαφής με το νερό (contact time).

K_i : παράμετρος δερματικής απορρόφησης (dermal absorption parameter).

CF: παράγοντας μετατροπής μονάδων (conversion factor). Θεωρείται ίσος με 0,001.

EV: η συχνότητα με την οποία κάνουμε μπάνιο (bathing frequency).

EF: η συχνότητα της έκθεσης (exposure frequency) σε ημέρες/έτος (days/yr).

ED: η διάρκεια της έκθεσης (exposure duration) σε έτη (yrs.).

SSA: η επιφάνεια του δέρματος που εκτίθεται (skin surface area).

BW: το βάρος του σώματος σε κιλά (kg) (body weight).

AT: η μέση διάρκεια έκθεσης (averaging day) σε έτη (years) όπου το μετατρέπουμε σε ημέρες μέσω της σχέσης $AT = ED \cdot 365 \text{ days}$.

Τέλος, για τη χρόνια ημερήσια δόση μέσω εισπνοής, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση (2.6.4) (EPA,1989).

$$CDI_{inh} = \frac{C_{exp} \cdot R_{inh} \cdot EF \cdot ED}{PEF \cdot BW \cdot AT} \quad (2.6.4)$$

Όπου: CDI_{inh} : η χρόνια ημερήσια δόση μέσω της εισπνοής. Μετρείται σε mg/kg·day.

C_{exp} : η συγκέντρωση της ουσίας στο περιβαλλοντικό μέσο σε ppm.

R_{inh} : ρυθμός εισπνοής (inhalation rate).

EF: η συχνότητα της έκθεσης (exposure frequency) σε ημέρες/έτος (days/yr).

ED: η διάρκεια της έκθεσης (exposure duration) σε έτη (yrs.).

PEF: (Particle Emission Factor) Συντελεστής όπου σχετίζει τη συγκέντρωση ενός ρύπου στο έδαφος με αυτή των αναπνεύσιμων σωματιδίων στον αέρα, λόγω της διαφυγής σκόνης από μολυσμένα εδάφη.

BW: το βάρος του σώματος σε κιλά (kg) (body weight).

AT: η μέση διάρκεια έκθεσης (averaging day) σε έτη (years) η οποία μετατρέπεται σε ημέρες μέσω της σχέσης $AT = ED \cdot 365 \text{ days}$.

Αφού υπολογιστεί η χρόνια ημερήσια δόση, προχωράμε στον ακριβή προσδιορισμό των επιπτώσεων της ανθρώπινης υγείας, δηλαδή αν πρόκειται για καρκινογενείς ή όχι, μέσω του υπολογισμού των συντελεστών κινδύνου (hazard quotients). Από την EPA έχουν καθοριστεί συντελεστές κινδύνου με συγκεκριμένα όρια, για τις καρκινογενείς και τις μη-καρκινογενείς επιπτώσεις ξεχωριστά. Το όριο αυτό είναι μια τιμή όπου κάτω από την οποία δεν υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή και να υπάρχουν είναι σχεδόν αμελητέες. Εάν όμως οι τιμές του συντελεστή κινδύνου υπερβούν τα ανωτέρω όρια, τότε αυξάνεται η πιθανότητα να παρουσιαστούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Για τις **μη-καρκινογενείς επιπτώσεις (non - carcinogenic effects)**, ο συντελεστής κινδύνου υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (2.6.5):

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{CDI}{RfD} \quad (2.6.5)$$

Το CDI είναι η χρόνια ημερήσια δόση, η οποία υπολογίζεται με τη χρήση των ανωτέρω εξισώσεων, με βάση τον τρόπο που γίνεται η έκθεση (κατανάλωση, δερματική επαφή) στον ρύπο και το περιβαλλοντικό μέσο στο οποίο εντοπίζεται. Ως RfD (reference dose) ορίζεται η εκτιμώμενη ποσότητα έκθεσης του πληθυσμού (συμπεριλαμβανομένων και ευπαθών ατόμων) σε ημερήσιο επίπεδο, όπου κάτω από την οποία είναι πιθανό να μην υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Είναι προφανές ότι για κάθε ρύπο, η τιμή της δόσης της αναφοράς είναι διαφορετική και επίσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τρόπο έκθεσης ακόμα και για τον ίδιο ρύπο. Γενικώς όμως, για τη δόση αναφοράς ορίζονται αρκετά χαμηλότερα όρια από τις οριακές τιμές για να υπάρχει αρκετά μεγάλη ασφάλεια.

Η EPA έχει ορίσει την τιμή 1, ως την οριακή τιμή συντελεστή κινδύνου. Δηλαδή, εάν βρεθεί για οποιονδήποτε ρύπο (ή ρύπους) ότι ο συντελεστής κινδύνου λόγω έκθεσης είναι μεγαλύτερος του 1, τότε ενδέχεται να προκληθούν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (π.χ.: εμφάνιση συμπτωμάτων μεθαιμοσφαιριναιμίας στα βρέφη, ή δυσλειτουργία του θυροειδούς αδένος σε παιδιά, εφήβους και ενήλικες κ.α.). Αντίστοιχα, εάν οι τιμές του συντελεστή είναι μικρότερες του 1 δεν θα απειλείται η ανθρώπινη υγεία.

Επιπλέον, αν ο τρόπος έκθεσης σε μια ουσία που καθίσταται επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία είναι παραπάνω από ένας, για παράδειγμα μέσω της προφορικής οδού και της δερματικής επαφής, τότε υπολογίζεται ο δείκτης κινδύνου (hazard index) που είναι το άθροισμα των συντελεστών κινδύνου για τον κάθε τρόπο έκθεσης

$$HI = HQ_{\text{oral}} + HQ_{\text{dermal}} \quad (2.6.6)$$

Οι συντελεστές κινδύνου για την κατανάλωση (oral) και τη δερματική επαφή (dermal) υπολογίζονται από την εξίσωση (2.6.5)

Στην περίπτωση όπου υπάρχουν περισσότεροι από ένας ρύποι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, ο κίνδυνος ποσοτικοποιείται από τον δείκτη κινδύνου (hazard index), ο οποίος είναι το άθροισμα των συντελεστών κινδύνων των εκάστοτε ρύπων που προκαλούν το πρόβλημα. Δηλαδή:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n \quad (2.6.7)$$

Όταν έχουμε ουσίες που προκαλούν **καρκινογενείς επιπτώσεις (carcinogenic effects)**, για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Risk} = \text{CDI} \cdot \text{SF} \quad (2.6.8)$$

όπου CDI: η χρόνια ημερήσια δόση, η οποία υπολογίζεται με μια από τις προαναφερθείσες εξισώσεις.

SF: είναι ο συντελεστής κλίσης, ο οποίος σύμφωνα με την EPA είναι μια εκτίμηση της αυξανόμενης πιθανότητας εμφάνισης καρκινογόνων επιπτώσεων, ως αποτέλεσμα της έκθεσης του ανθρώπου σε καρκινογόνες ουσίες κατά τη διάρκεια της ζωής του.

Risk: η πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου. Είναι αδιάστατο μέγεθος και οι αποδεκτές τιμές κυμαίνονται στο εξής εύρος: 10^{-6} με 10^{-4} . Αυτό σημαίνει ότι η πιθανότητα εμφάνισης καρκινογόνων επιπτώσεων είναι από 1 στις 10.000 έως 1 στις 1.000.000).

Διευκρινίζεται ότι για τις μη-καρκινογενείς επιπτώσεις δεν ισχύει η παραπάνω σχέση, δηλαδή όταν ο συντελεστής κινδύνου είναι ίσος με 0,001 για παράδειγμα, δεν σημαίνει ότι η πιθανότητα εμφάνισης μη - καρκινογόνων επιπτώσεων είναι 1 στις 1.000.

Όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόπος έκθεσης (π.χ. κατανάλωση και δερματική επαφή), ο συνολικός κίνδυνος καρκινογένεσης υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$(\text{Συνολικός Κίνδυνος Καρκινογένεσης}) = \text{Risk}_1 + \text{Risk}_2 \quad (2.6.9)$$

Το Risk_1 είναι για παράδειγμα ο κίνδυνος καρκινογένεσης από την έκθεση σε μια ουσία μέσω της κατανάλωσης και το Risk_2 είναι ο κίνδυνος καρκινογένεσης ως αποτέλεσμα της έκθεσης στην ουσία λόγω δερματικής επαφής.

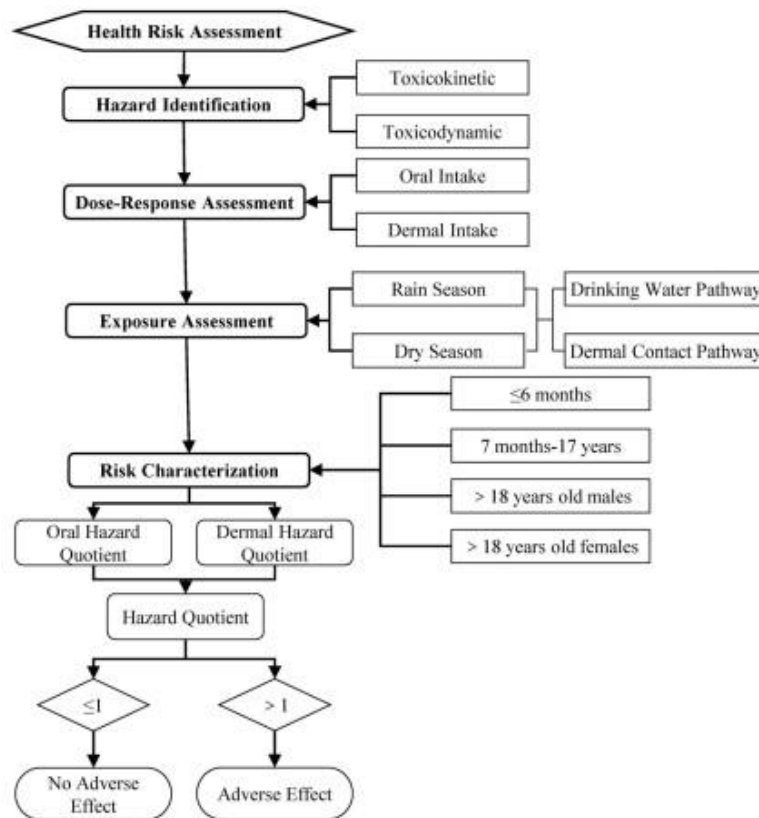
Στην περίπτωση όπου οι άνθρωποι εκτίθενται σε παραπάνω από μια καρκινογόνες ουσίες, ο συνολικός κίνδυνος αξιολογείται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$(\text{Συνολικός Κίνδυνος Καρκινογένεσης} - \text{Risk}_{\text{total}}) = \sum(\text{Risk}_i) \quad (2.6.10)$$

Risk_i : ο κίνδυνος καρκινογένεσης για την i ουσία.

Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται για τη μεθοδολογία της εκτίμησης της επικινδυνότητας.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ



Εικόνα 2.5: Τα 4 στάδια της μεθοδολογίας αξιολόγησης κινδύνου. Η συγκεκριμένη εικόνα αφορά στην εμφάνιση μη - καρκινογενών επιπτώσεων. (Πηγή: Gao et al., 2020).

Με βάση την παραπάνω εικόνα αντιλαμβανόμαστε πως υπάρχουν και άλλοι παράγοντες με τους οποίους μπορούμε να εφαρμόσουμε διάφορα σενάρια ώστε να εξετάσουμε τις επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε διαφόρων ειδών επικίνδυνες ουσίες, είτε μέσω του αέρα, του νερού ή του εδάφους. Για παράδειγμα μπορούμε να χωρίσουμε τον πληθυσμό της υπό εξέταση περιοχής σε δύο ομάδες, σε ενήλικες και παιδιά και να εκτιμήσουμε τις συνέπειες που ενδέχεται να εμφανιστούν αν για παράδειγμα χρησιμοποιούν ρυπασμένα νερά για υδρευτικούς σκοπούς. Τέτοιου είδους σενάρια θα αναπτυχθούν στις επόμενες ενότητες.

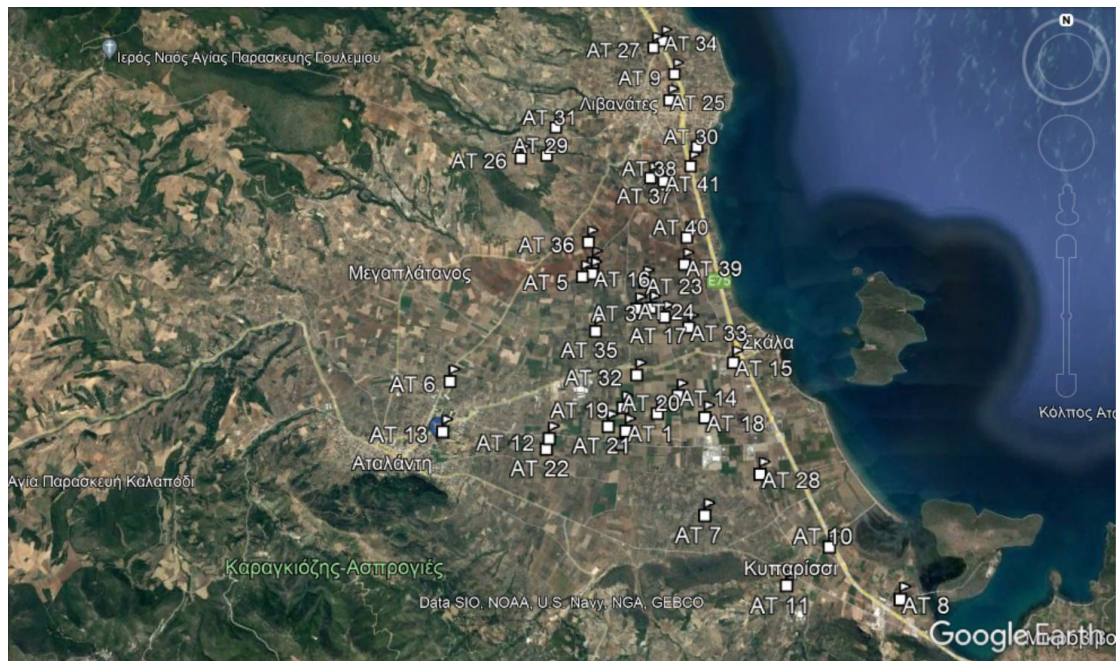
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Δειγματοληψία και ανάλυση

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού από την ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης και αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων (NO_3^-), σε mg/L.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αγροτική περιοχή, κατά την περίοδο Ιουνίου - Ιουλίου του έτους 2021, καθώς το καλοκαίρι είναι υδρολογικά ξηρή περίοδος. Συλλέχθηκαν 41 δείγματα υπόγειων υδάτων από παραγωγικές γεωτρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς (π.χ.: για τις καλλιέργειες). Επειδή τα δείγματα προέρχονται από γεωτρήσεις, θα πρέπει πρώτα να ξεπλυθούν με το αντλούμενο νερό και έπειτα να λάβει χώρα η δειγματοληψία.

Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζονται τα σημεία όπου έγινε η δειγματοληψία στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας από την ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης.

Αφού γίνει η δειγματοληψία, τα δείγματα αποθηκεύονται σε φορητά ψυγεία που περιέχουν παγοκύστες και έπειτα μεταφέρονται για ανάλυση στο εργαστήριο. Κατά την εργαστηριακή ανάλυση, τα νιτρικά ιόντα μετρήθηκαν εντός 48 ωρών, διότι είναι ευαίσθητη χημική παράμετρος.

3.2 Δείκτης νιτρορύπανσης (Nitrate Pollution Index)

Ο δείκτης νιτρορύπανσης είναι χρήσιμος για την αξιολόγηση της ποιότητας των δειγμάτων νερού, αν είναι δηλαδή καθόλου, ελάχιστα ή σοβαρά ρυπασμένα από τα νιτρικά ιόντα. Ο δείκτης αυτός υποδεικνύει επιπλέον ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνεισφέρουν στην υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων, λόγω της ρύπανσης του από νιτρικά. (El Mountassir et al., 2022).

Ο υπολογισμός του δείκτη ρύπανσης των υδάτων από τα νιτρικά ιόντα γίνεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης (Obeidat et al., 2012).

$$NPI = \frac{C_s - HAV}{HAV} \quad (3.2.1)$$

Το C_s εκφράζει τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (NO_3^-), η οποία υπολογίστηκε κατά την ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο. Ως HAV (Human Affected Value) ορίζεται η τιμή κατωφλίου για τα νιτρικά ιόντα λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και θεωρείται ίση με $20 \frac{mg}{L}$.

Αφού υπολογιστεί ο δείκτης ρύπανσης από νιτρικά, τα δείγματα νερού ταξινομούνται σε 5 κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του. Οι κατηγορίες αυτές χαρακτηρίζουν την ποιότητα των δειγμάτων και αναγράφονται στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηρισμός ποιότητας των δειγμάτων υπόγειου νερού ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει ο δείκτης νιτρορύπανσης. (Obeidat et al., 2012).

| Τιμή δείκτη ρύπανσης | Χαρακτηρισμός ποιότητας δείγματος νερού |
|----------------------|--|
| <0 | Καθαρό. Δεν έχει ρυπανθεί από νιτρικά. (clean) |
| 0-1 | Ελαφρά ρυπασμένο. (light pollution) |
| 1-2 | Μετρίως ρυπασμένο. (moderate pollution) |
| 2-3 | Πολύ ρυπασμένο. (significant pollution) |
| >3 | Εξαιρετικά ρυπασμένο. (very significant pollution) |

Τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν για τον δείκτη ρύπανσης νερού από τα νιτρικά ιόντα στα δείγματα υπόγειων υδάτων στην περιοχή της Αταλάντης θα αναλυθούν στην 4^η ενότητα.

3.3 Μεθοδολογία εκτίμησης επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας λόγω χρήσης ρυπασμένου νερού από νιτρικά ιόντα (Nitrate Risk Assessment)

Για την παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας εκτίμησης της επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας που αφορά στον χαρακτηρισμό του κινδύνου. Επειδή στην περίπτωση μας, το περιβαλλοντικό μέσο στο οποίο εντοπίζεται ο ρύπος είναι το νερό, οι εξισώσεις που εφαρμόστηκαν είναι οι ακόλουθες:

Για τον υπολογισμό της χρόνιας ημερήσιας δόσης που οφείλεται στην κατανάλωση νερού:

$$CDI_{\text{ingestion}} = \frac{C_{\text{exp}} \cdot R_{\text{ing}} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$

Για τον υπολογισμό της χρόνιας ημερήσιας δόσης που απορροφάται από το δέρμα (δερματική επαφή - π.χ.: η πλύση των χεριών ή του σώματος-)

$$DAD = \frac{C_{\text{exp}} \cdot TC \cdot K_i \cdot CF \cdot EV \cdot ED \cdot EF \cdot SSA}{BW \cdot AT}$$

Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, έγινε διαχωρισμός του πληθυσμού της περιοχής σε ενήλικες και παιδιά προκειμένου να εξεταστούν επί ακριβώς οι επιπτώσεις που ενδέχεται να προκληθούν στην υγεία της εκάστοτε ομάδας από τη χρήση του ρυπασμένου νερού για υδρευτικούς σκοπούς.

Οι τιμές που λαμβάνει κάθε παράμετρος στην εξίσωση εύρεσης της χρόνιας ημερήσιας δόσης για τους ενήλικες και τα παιδιά απεικονίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.2: Αναγράφονται οι τιμές που λαμβάνει ο κάθε παράγοντας για την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης από την κατανάλωση νερού. (U.S EPA, 1997).

| Σύμβολο | Επεξήγηση | Τιμή για τους ενήλικες | Τιμή για τα παιδιά |
|--------------------------|---|---|---|
| $CDI_{\text{ingestion}}$ | Η χρόνια ημερήσια δόση μέσω της κατανάλωσης νερού. Η τιμή της υπολογίζεται από την παραπάνω εξίσωση. Μονάδες μέτρησης mg/kg·day | | |
| C_{exp} | Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) στο εκάστοτε δείγμα νερού σε mg/L. | | |
| R_{ing} | Ρυθμός πρόσληψης | 2 L/day | 1 L/day |
| EF | Συχνότητα έκθεσης | 365 days/yr. | 365 days/yr. |
| ED | Διάρκεια έκθεσης | 30 years | 6 years |
| BW | Σωματικό βάρος | 70 kg | 20 kg |
| AT | Μέση διάρκεια έκθεσης | $30 \cdot 365 \text{ days} = 10.950 \text{ days}$ | $6 \cdot 365 \text{ days} = 2.190 \text{ days}$ |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

Αντιστοίχως, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.3), αναγράφονται οι τιμές της κάθε παραμέτρου της εξίσωσης για την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης μέσω της δερματικής επαφής:

Πίνακας 3.3: Τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης για τη χρόνια ημερήσια δόση μέσω δερματικής επαφής. (U.S EPA, 2004).

| Σύμβολο | Επεξήγηση | Τιμή για τους ενήλικες | Τιμή για τα παιδιά |
|-----------|--|-------------------------------|------------------------------|
| DAD | Η ημερήσια δόση που απορροφάται από το δέρμα. (dermal absorbed dose). Είναι το αντίστοιχο CDI_{dermal} . Μονάδα μέτρησης σε mg/kg·day. | | |
| C_{exp} | Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) στο εκάστοτε δείγμα νερού σε mg/L. | | |
| TC | Χρόνος επαφής του δέρματος με το νερό. | 0,4 h/day | 0,4 h/day |
| K_i | Παράγοντας δερματικής απορρόφησης | 0,001 cm/h | 0,001 cm/h |
| CF | Παράγοντας μετατροπής μονάδων | 0,001 L/cm ³ | 0,001 L/cm ³ |
| EV | Συχνότητα με την οποία κάνουμε μπάνιο | 1 time/day | 1 time/day |
| EF | Συχνότητα έκθεσης | 365 days/yr. | 365 days/yr. |
| ED | Διάρκεια έκθεσης | 30 years | 6 years |
| SSA | Η εκτιθέμενη επιφάνεια του δέρματος | 18.000 cm ² | 6.600 cm ² |
| BW | Σωματικό βάρος | 70 kg | 20 kg |
| AT | Μέση διάρκεια έκθεσης | 30 · 365 days =10.950 days | 6 · 365 days = 2.190 days |

Αφού υπολογιστούν από τις παραπάνω εξισώσεις οι χρόνιες ημερήσιες δόσεις (CDI) και για τις δύο περιπτώσεις, προχωράμε στον υπολογισμό των συντελεστών κινδύνου HQ (Hazard Quotients), οι οποίοι μπορούν να υπολογιστούν από την παρακάτω σχέση.

$$HQ_{oral} = \frac{CDI_{ingestion}}{RfD} \text{ και } HQ_{dermal} = \frac{CDI_{dermal}}{RfD}$$

Επειδή δεν έχει αποδειχθεί ότι τα νιτρικά ιόντα μπορούν να προκαλέσουν καρκινογενείς επιπτώσεις στους ανθρώπους, για να υπολογίσουμε τους συντελεστές κινδύνου εφαρμόζουμε τις εξισώσεις για τις μη - καρκινογενείς

επιπτώσεις. Ως RfD (reference dose) ορίζεται η δόση αναφοράς, η οποία είναι μια εκτιμώμενη ποσότητα της ημερήσιας έκθεσης σε έναν ρύπο, κάτω από την οποία δεν αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Σύμφωνα με την EPA, η δόση αναφοράς για πρόσληψη νερού με νιτρικά ιόντα από την προφορική οδό είναι ίση με 1,6 mg/kg-day, ενώ από δερματική επαφή είναι ίση με 0,8 mg/kg-day. Όταν οι τιμές των συντελεστών κινδύνου είναι μεγαλύτερες του 1, τότε αναμένεται να εμφανιστούν μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων της περιοχής, ενώ αν είναι μικρότερες της μονάδας, οι επιπτώσεις θεωρούνται αμελητέες.

Στη συνέχεια, αφού υπολογίσουμε και τους συντελεστές κινδύνου, περνάμε στην εύρεση του δείκτη κινδύνου HI (Hazard Index) ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$HI = HQ_{\text{oral}} + HQ_{\text{dermal}}$$

Ουσιαστικά, είναι το άθροισμα του καθενός συντελεστή κινδύνου που προκύπτει από την έκθεση στον ρύπο μέσω οποιασδήποτε <<οδού>>. Στην προκειμένη περίπτωση, η έκθεση στα νιτρικά ιόντα γίνεται μέσω της κατανάλωσης νερού και της δερματικής επαφής οπότε από τους συντελεστές κινδύνου για αυτούς τους τρόπους έκθεσης θα υπολογίσουμε τον δείκτη κινδύνου.

Για τον δείκτη κινδύνου στις μη - καρκινογενείς επιπτώσεις ισχύει ότι και προηγουμένως, δηλαδή αν λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας τότε υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος εμφάνισης μη - καρκινογενών επιπτώσεων, ενώ αν οι τιμές δεν ξεπερνούν την οριακή τιμή 1, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία θεωρούνται αμελητέες.

3.4 Σενάρια

Προκειμένου να αξιολογηθεί η επικινδυνότητα της ανθρώπινης υγείας από τα νιτρικά ιόντα που περιέχονται στα υπόγεια ύδατα της περιοχής της Αταλάντης θα χρησιμοποιηθούν 8 περιπτώσεις (σενάρια), στα οποία εφαρμόζονται οι προαναφερθείσες εξισώσεις ώστε να ποσοτικοποιηθεί και να χαρακτηριστεί ο κίνδυνος. Αυτό θα επιτευχθεί μεταβάλλοντας τον ρυθμό πρόσληψης (ingestion rate) όπου θα παρατηρήσουμε πως μεταβάλλονται ο συντελεστής και ο δείκτης κινδύνου, ο οποίος είναι μέτρο εκτίμησης της επικινδυνότητας της ανθρώπινης υγείας.

Το πρώτο σενάριο εκτιμά την επικινδυνότητα στην ανθρώπινη υγεία από την παρουσία νιτρικών ιόντων στο νερό, με βάση τη μεθοδολογία της U.S EPA.

- **1^ο σενάριο:** Γίνεται η παραδοχή ότι οι γεωτρήσεις είναι υδρευτικές, δηλαδή ότι το υπόγειο νερό μπορεί να αξιοποιηθεί από αυτές για πόση και πλύσιμο του ανθρώπινου σώματος. Επισημαίνεται ότι κανονικά δεν ισχύει αυτό, διότι οι γεωτρήσεις στη συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση. Στην υποπερίπτωση αυτή, γίνεται διαχωρισμός του υπό εξέταση πληθυσμού σε ενήλικες και παιδιά, ανάλογα με την ηλικιακή τους ομάδα. Στο σενάριο αυτό θα εφαρμοστούν οι εξισώσεις για την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης (chronic daily intake) μέσω της προφορικής οδού αλλά και από τη δερματική επαφή για την κάθε ομάδα ξεχωριστά. Υπενθυμίζεται ότι όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στις εξισώσεις αυτές, καθώς και οι τιμές που λαμβάνουν αναγράφονται στους πίνακες 3.2 και 3.3, με μόνο μεταβλητό παράγοντα τη συγκέντρωση των νιτρικών σε κάθε δείγμα. Στη συνέχεια διαιρώντας με τη δόση αναφοράς, θα προκύψει ο συντελεστής κινδύνου για κάθε οδό αντίστοιχα. Έπειτα, από το άθροισμα αυτών των δύο συντελεστών προκύπτει ο δείκτης κινδύνου, ο οποίος αν έχει τιμή μεγαλύτερη του 1 αναμένεται η εμφάνιση μη – καρκινογενών επιπτώσεων στους κατοίκους, ενώ αν λαμβάνει τιμή μικρότερη της μονάδας, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία θεωρούνται σχεδόν αμελητέες.

Τα υπόλοιπα σενάρια που θα εξεταστούν, έχουν εφαρμογή για την περιοχή της Αταλάντης και είναι τα ακόλουθα:

- **2^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης (ingestion rate) 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης (exposure duration) ED= 50 days.
- **3^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 50 days.
- **4^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 70 days.
- **5^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 70 days.
- **6^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.
- **7^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.
- **8^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 1 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.

Στα παραπάνω σενάρια, χρησιμοποιείται μόνο η εξίσωση που υπολογίζει την εύρεση της χρόνιας ημερήσιας δόσης λόγω κατανάλωσης ρυπασμένου

νερού από νιτρικά ιόντα, διότι η επίδραση λόγω δερματικής επαφής στις προκείμενες περιπτώσεις είναι αμελητέα. Ουσιαστικά, αυτό το οποίο εξετάζουμε στις ανωτέρω περιπτώσεις είναι η εμφάνιση αρνητικών επιδράσεων στην υγεία λόγω της κατανάλωσης νερού, μεταβάλλοντας τον ρυθμό πρόσληψης και τη διάρκεια έκθεσης στον ρύπο. Τέλος, κατά τα γνωστά, προχωράμε στον υπολογισμό του δείκτη κινδύνου ο οποίος εδώ είναι ίσος με τον συντελεστή κινδύνου εφόσον η μόνη οδός έκθεσης είναι η προφορική. Δηλαδή ισχύει:

$$HQ_{\text{oral}} = \frac{CDI_{\text{ingestion}}}{RfD} \text{ και } HQ_{\text{oral}} = HI$$

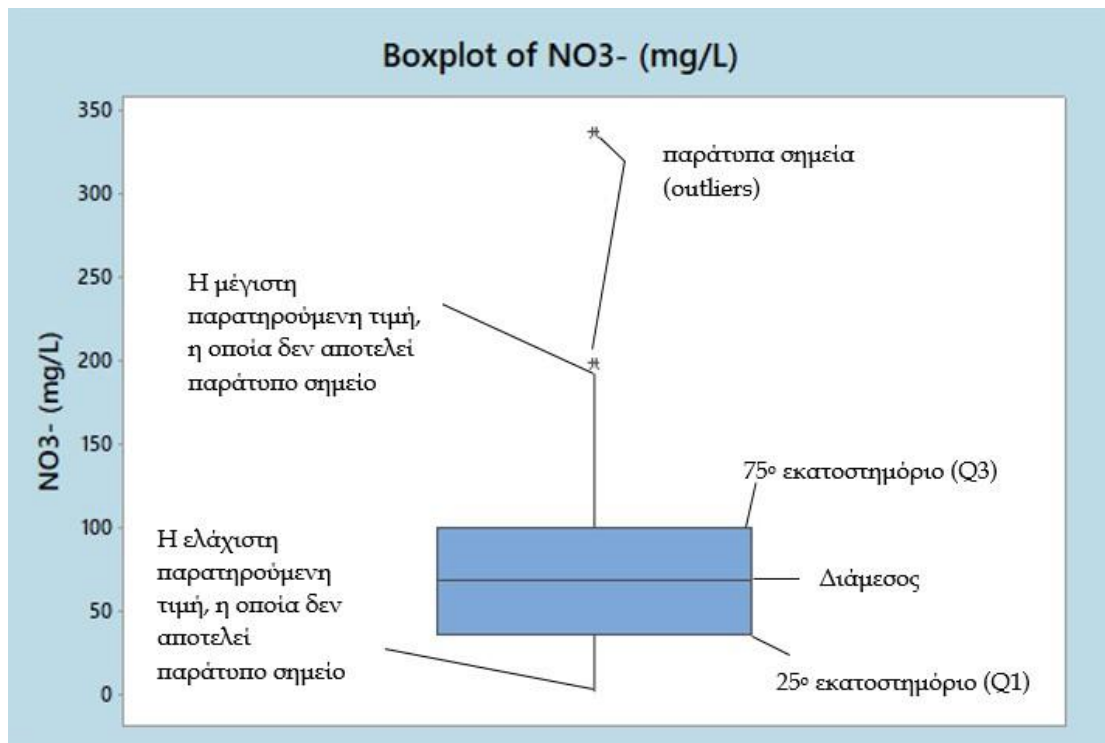
Αν $HI > 1$ τότε είναι αρκετά πιθανό να υπάρξουν μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, ενώ αν $HI < 1$ τότε δεν αναμένονται.

3.5 Στατιστική επεξεργασία των δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Excel για την εφαρμογή των εξισώσεων και το Minitab 17 για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Με τη χρήση του προγράμματος Minitab 17 κατασκευάστηκαν θηκογράμματα (boxplots) τα οποία είναι γραφήματα που απεικονίζουν ευσύνοπτα τα περιγραφικά στατιστικά μιας μεταβλητής.

Επειδή στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και παρουσιάζονται με τη μορφή θηκογραμμάτων, είναι χρήσιμο να αναφερθεί πως απεικονίζονται τα περιγραφικά στατιστικά μιας παραμέτρου σε ένα θηκόγραμμα.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.3), χρησιμοποιείται ως παράδειγμα το θηκόγραμμα της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (NO_3^-), προκειμένου να γίνει αντιληπτό ποιες πληροφορίες μπορούμε να αντλήσουμε από αυτό.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση ενός θηκογράμματος.

Παρατηρούμε πως το θηκόγραμμα συγκεντρώνει όλες τις τιμές των περιγραφικών στατιστικών για μια μεταβλητή. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία αυτά είναι η διάμεσος, τα τεταρτημόρια και οι ακραίες τιμές. Το θηκόγραμμα έχει το σχήμα ενός ορθογωνίου παραλληλογράμμου του οποίου η κάτω βάση ανήκει στο 25^ο εκατοστημόριο (first quartile). Το 25^ο εκατοστημόριο ή πρώτο τεταρτημόριο είναι μια τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 25% των παρατηρήσεων και πάνω το 75%. Αντίστοιχα, η πάνω βάση αντιστοιχεί στο 75^ο εκατοστημόριο ή τρίτο τεταρτημόριο (third quartile) το οποίο αντιστοιχεί σε μια τιμή της μεταβλητής κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% των παρατηρήσεων και πάνω το 25%. Το ύψος του παραλληλογράμμου είναι ίσο με το ενδοτεταρτημοριακό εύρος ($Q_3 - Q_1$), ενώ υπάρχει και μια εσωτερική γραμμή παράλληλη ως προς τις βάσεις, η οποία αντιστοιχεί στη διάμεσο τιμή (median), όπου αποτελεί τη μεσαία παρατήρηση, αφού προηγηθεί η ταξινόμησή τους κατά αύξουσα σειρά. Δηλαδή η διάμεσος ορίζεται ως μια τιμή όπου κάτω από αυτήν βρίσκεται το 50% των παρατηρήσεων και πάνω από αυτήν το υπόλοιπο 50%. Εκφράζει επομένως την κεντρική θέση της κατανομής των παρατηρήσεων. Σημειώνεται ότι η διάμεσος δεν ισαπέχει πάντα από τα τεταρτημόρια (δηλαδή δεν είναι πάντοτε στο μέσο του ενδοτεταρτημοριακού εύρους), αλλά μπορεί και να βρίσκεται πλησιέστερα στο ένα από τα δύο τεταρτημόρια. Πάντα όμως θα βρίσκεται εντός του θηκογράμματος.

Επίσης υπάρχουν γραμμές που ξεκινούν από το μέσο των βάσεων του παραλληλογράμμου και φτάνουν εκτός του θηκογράμματος. Η τιμή στην οποία φτάνει η γραμμή που ξεκινά από το μέσο της πάνω βάσης του ορθογωνίου παραλληλογράμμου, είναι η μέγιστη οριακή τιμή η οποία είναι ίση με $Q_3 + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$, ενώ η τιμή στην οποία φτάνει η γραμμή που ξεκινά από το μέσο της κατώτερης βάσης του παραλληλογράμμου και εκτείνεται προς τις χαμηλότερες τιμές ονομάζεται ελάχιστη οριακή τιμή, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή $Q_1 - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$. Αυτές οι γραμμές ονομάζονται φράγματα (whiskers) και στην περίπτωση που η μέγιστη τιμή είναι μικρότερη της τιμής $Q_3 + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$ και η ελάχιστη μεγαλύτερη της τιμής $Q_1 - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$, τα φράγματα φέρονται ως το ύψος αυτών των τιμών και όχι των οριακών. Τέλος, υπάρχουν και τιμές που είναι αρκετά μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις αντίστοιχες οριακές, οι οποίες ονομάζονται παράτυπα σημεία (outliers).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Γενικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων νερού

Αρχικά, αναφέρεται ότι οι εξισώσεις για την εύρεση των συντελεστών και των δεικτών κινδύνου εφαρμόστηκαν στα 40 από τα 41 δείγματα, διότι η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο δείγμα ΑΤ 34 ήταν μικρότερη των 0,5 mg/L, όπου αυτό σημαίνει ότι δεν ανιχνεύτηκαν νιτρικά ιόντα στο συγκεκριμένο δείγμα. Επομένως, τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στο παρόν κεφάλαιο έχουν προκύψει από τα 40 δείγματα νερού της περιοχής της Αταλάντης.

Η ποιότητα των δειγμάτων νερού θα χαρακτηριστεί με βάση τη συγκέντρωση τους σε νιτρικά ιόντα καθώς και από τις τιμές που λαμβάνει ο δείκτης νιτρορύπανσης στο εκάστοτε δείγμα.

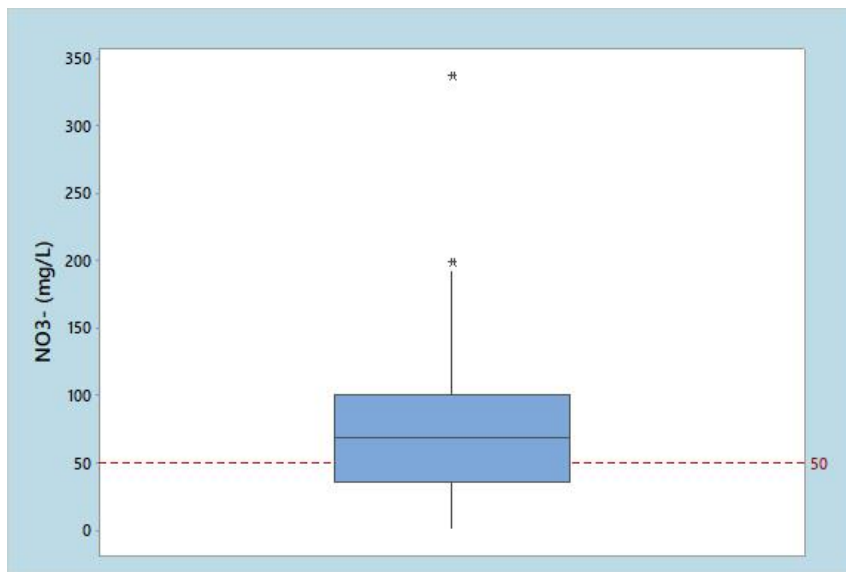
Με τη βοήθεια του προγράμματος Minitab 17, υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά, για τις παραμέτρους που θέλουμε να εξετάσουμε (συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, δείκτης νιτρορύπανσης συντελεστές και δείκτες κινδύνου). Ειδικότερα υπολογίστηκαν η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή καθώς και το 25^ο και 75^ο εκατοστημόριο.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των δειγμάτων σε νιτρικά ιόντα, τα περιγραφικά στατιστικά που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 4.1: Περιγραφικά στατιστικά συγκεντρώσεων NO₃⁻ σε mg/L.

| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25 ^ο εκατοστημόριο | Διάμεσος | 75 ^ο εκατοστημόριο | Μέγιστη τιμή |
|-------------------------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 83 | 67 | 2 | 36 | 69 | 101 | 337 |

Επιπλέον, στην εικόνα 4.1 έχει κατασκευαστεί και το θηκόγραμμα (boxplot) για τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα δείγματα υπόγειου νερού.



Εικόνα 4.1: Θηκόγραμμα συγκέντρωσης NO₃⁻ στα δείγματα νερού.

Από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων βρέθηκε ότι η μέση τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων είναι ίση με 83mg/L , η οποία είναι υψηλότερη από το όριο ποσιμότητας που είναι τα 50 mg/L. Σημειώνεται επίσης ότι η επιτρεπόμενη μέγιστη συγκέντρωση των 50 mg/L έχει προστεθεί ως γραμμή αναφοράς (reference line) προκειμένου να δοθεί μια σαφέστερη εικόνα για το ποσοστό των δειγμάτων που θεωρούνται ακατάλληλα για πόση. Επιπλέον, η διάμεσος είναι ίση με 69 mg/L κάτι το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι παραπάνω από το ήμισυ των δειγμάτων κρίνονται ακατάλληλα για πόση. Το εύρος των συγκεντρώσεων είναι αρκετά μεγάλο διότι η ελάχιστη συγκέντρωση νιτρικών είναι ίση με 2 mg/L, ενώ η μέγιστη τιμή ανέρχεται στα 337 mg/L NO₃⁻, δηλαδή σχεδόν 7 φορές μεγαλύτερη από τα όρια ασφαλείας. Τέλος, βλέπουμε από το θηκόγραμμα ότι οι συγκεντρώσεις σε 2 από τα 40 δείγματα αποτελούν παράτυπο σημείο, το οποίο σημαίνει ότι είναι πάρα πολύ υψηλές και υποδηλώνουν σημαντικό πρόβλημα νιτρορύπανσης στην περιοχή μελέτης.

Γενικώς, η ποιότητα του υπόγειου νερού στην περιοχή της Αταλάντης έχει υποβαθμιστεί καθώς το υψηλό περιεχόμενο των δειγμάτων σε νιτρικά ιόντα οδηγεί στη ρύπανση των υδάτων και τα καθιστά ακατάλληλα για υδρευτικούς σκοπούς. Στο φαινόμενο αυτό συντελούν ως επί το πλείστον ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων και η ακατάλληλη διαχείριση των λυμάτων (Qasemi et.al, 2018).

Δείκτης νιτρορύπανσης (Nitrate Pollution Index)

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο δείκτης ρύπανσης των υδάτων από τα νιτρικά ιόντα σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$NPI = \frac{C_s - HAV}{HAV}$$

Υπενθυμίζεται ότι η μεταβλητή C_s αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των νιτρικών στο κάθε δείγμα, ενώ ως HAV (Human Affected Value) ορίζεται ως το χαμηλότερο όριο συγκέντρωσης των νιτρικών λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και είναι ίσο με 20 mg/L.

Αφού εφαρμόστηκε η παραπάνω εξίσωση για τα δείγματα της ευρύτερης περιοχής της Αταλάντης καταλήξαμε στα εξής αποτελέσματα:

Αρχικά, έγινε η ταξινόμηση των 40 δειγμάτων της περιοχής έρευνας, στις 5 κατηγορίες που ορίζονται με βάση την τιμή του δείκτη νιτρορύπανσης. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2):

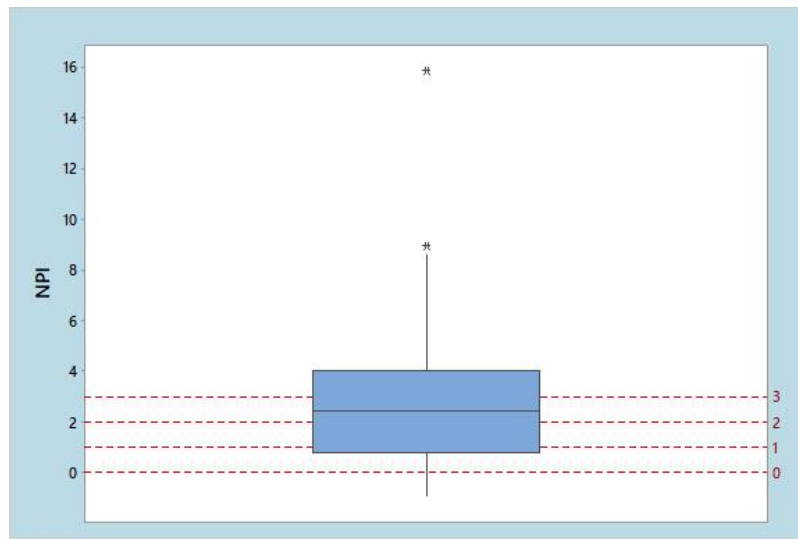
Πίνακας 4.2: Χαρακτηρισμός της ρύπανσης των δειγμάτων υπόγειου νερού από νιτρικά ιόντα, ανάλογα με την τιμή του συγκεκριμένου δείκτη.

| NPI | Δείγματα | Ποσοστό (%) | Χαρακτηρισμός δειγμάτων |
|---------------|-----------------|--------------------|--|
| <0 | 4 | 10 | Καθαρά. Δεν έχουν ρυπανθεί από νιτρικά. |
| 0-1 | 8 | 20 | Ελαφρώς ρυπασμένα από νιτρικά ιόντα. |
| 1-2 | 3 | 7,5 | Μέτρια ρύπανση. |
| 2-3 | 8 | 20 | Έχουν ρυπανθεί σε μεγάλο βαθμό από νιτρικά . |
| >3 | 17 | 42,5 | Εξαιρετικά ρυπασμένα από νιτρικά ιόντα. |
| Σύνολο | 40 | 100 | |

Με μια πρώτη εκτίμηση παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των υπό εξέταση δειγμάτων έχει ρυπανθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από νιτρικά ιόντα. Παρακάτω, απεικονίζονται το θηκόγραμμα για τον δείκτη νιτρορύπανσης (Εικόνα 4.2) καθώς και τα περιγραφικά στατιστικά που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα Minitab 17 (Πίνακας 4.3), τα οποία επιβεβαιώνουν τον πολύ μεγάλο βαθμό ρύπανσης των δειγμάτων νερού από νιτρικά ιόντα.

Πίνακας 4.3: Περιγραφικά στατιστικά για τον δείκτη νιτρορύπανσης.

| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25 ^ο εκατοστημόριο | Διάμεσος | 75 ^ο εκατοστημόριο | Μέγιστη τιμή |
|-----------|-----------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|
| NPI | 3,2 | 3,4 | -0,9 | 0,8 | 2,4 | 4,0 | 15,9 |



Εικόνα 4.2: Θηκόγραμμα του δείκτη νιτρορύπανσης.

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.3, η μέση τιμή του δείκτη νιτρορύπανσης υπολογίστηκε ίση με 3,2 και η διάμεσος τιμή της ανωτέρω μεταβλητής με 2,4. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει σοβαρό πρόβλημα ρύπανσης του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας, αφού σχεδόν στα μισά δείγματα ο δείκτης νιτρορύπανσης λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 3, οπότε θεωρούνται εξαιρετικώς ρυπασμένα. Η παραπάνω διαπίστωση επαληθεύεται επίσης και από τον πίνακα 4.2, όπου παρατηρούμε πως μόνο των 10% των συνολικών δειγμάτων είναι καθαρά. Επιπρόσθετα, εντοπίζουμε και εδώ την παρουσία ενός δείγματος με πολύ υψηλό δείκτη ρύπανσης, κοντά στο 16, ο οποίος οφείλεται στην πάρα πολύ μεγάλη συγκέντρωση των νιτρικών στο δείγμα. Συνεπώς, η έκθεση των κατοίκων σε ένα τέτοιας ποιότητας δείγμα νερού ενέχει σοβαρές απειλές για την υγεία τους και άρα τα δείγματα κρίνονται ακατάλληλα για πόση.

4.2 Αποτελέσματα συντελεστών κινδύνου

Εξετάστηκαν συνολικά 8 περιπτώσεις (σενάρια) στις οποίες ερευνώνται οι επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων από τη χρήση του ρυπασμένου υπόγειου νερού

4.2.1 Επιρροή μέσω της κατανάλωσης νερού

1^ο σενάριο

Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται η μεθοδολογία της U.S EPA, και πιο συγκεκριμένα έγινε η παραδοχή ότι οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για υδρευτικούς σκοπούς όπως η πόση, η χρήση του μπάνιου κ.α. Επιπλέον, ο πληθυσμός της περιοχής κατηγοριοποιήθηκε σε ενήλικες και παιδιά προκειμένου να προσδιοριστούν σαφέστερα οι επιδράσεις στην υγεία, ανά ηλικιακή ομάδα.

Κατά την εφαρμογή των εξισώσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της EPA που αναγράφονται στον πίνακα 3.2 της παρούσας εργασίας.

Από τις εξισώσεις αυτές προέκυψε ο συντελεστής κινδύνου δια της προφορικής οδού, του οποίου τα περιγραφικά στατιστικά για την εκάστοτε ηλικιακή ομάδα αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4: Περιγραφικά στατιστικά των συντελεστών κινδύνου λόγω κατανάλωσης ρυπασμένου νερού από νιτρικά ιόντα για ενήλικες και παιδιά.

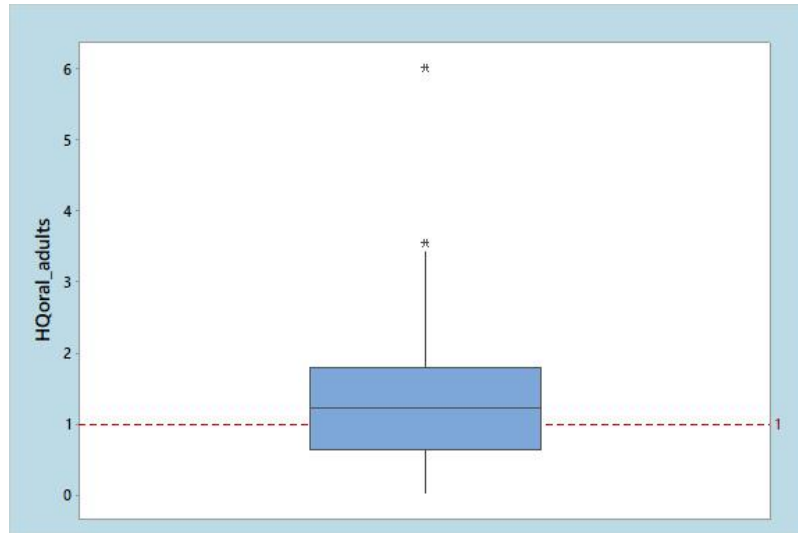
| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25 ^ο εκατοστημόριο | Διάμεσος | 75 ^ο εκατοστημόριο | Μέγιστη τιμή |
|-----------------|-----------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|
| HQoral_adults | 1,48 | 1,20 | 0,03 | 0,65 | 1,23 | 1,79 | 6,02 |
| HQoral_children | 2,60 | 2,10 | 0,05 | 1,14 | 2,15 | 3,14 | 10,54 |

Σχολιασμός για τις επιπτώσεις στους ενήλικες

Από τον πίνακα των περιγραφικών στατιστικών (Πίνακας 4.4), παρατηρούμε πως η μέση τιμή του συντελεστή κινδύνου λόγω κατανάλωσης ρυπασμένου νερού από νιτρικά ιόντα είναι ίση με 1,48, ενώ η διάμεσος ανέρχεται στην τιμή 1,23. Ως γνωστόν, αναμένονται να εμφανιστούν μη – καρκινογενείς επιπτώσεις στους κατοίκους αν η τιμή του συντελεστή κινδύνου είναι μεγαλύτερη του 1, ενώ αν δεν υπερβαίνει τη μονάδα, οι δυσμενείς στην ανθρώπινη υγεία θεωρούνται αμελητέες.

Συνεπώς, ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορούμε να εξαγάγουμε είναι ότι παραπάνω από το 50% των δειγμάτων ενδέχεται να προκαλέσουν μη – καρκινογενείς επιπτώσεις στους ενήλικες.

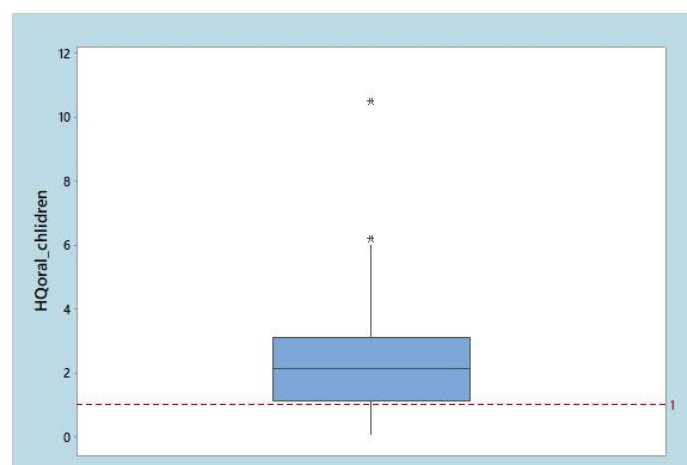
Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται το θηκόγραμμα για τον συντελεστή κινδύνου λόγω κατάποσης νερού με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, για τους ενήλικες.



Εικόνα 4.3: Θηκόγραμμα συντελεστή κινδύνου δια της προφορικής οδού για τον ενήλικο πληθυσμό.

Από το θηκόγραμμα (Εικόνα 4.3), επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα πως παραπάνω από τα μισά δείγματα είναι ικανά να προκαλέσουν μη-καρκινογενείς επιπτώσεις αφού η διάμεσος είναι μεγαλύτερη του 1. Επιπρόσθετα, βλέπουμε πως η μέγιστη τιμή που παρουσιάζει ο συντελεστής κινδύνου είναι 6,02, δηλαδή 6 φορές μεγαλύτερη από το όριο ασφαλείας. Αυτή η μεγάλη απόκλιση οφείλεται στην πολύ υψηλή συγκέντρωση NO_3^- που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο δείγμα.

Σχολιασμός για τις επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών



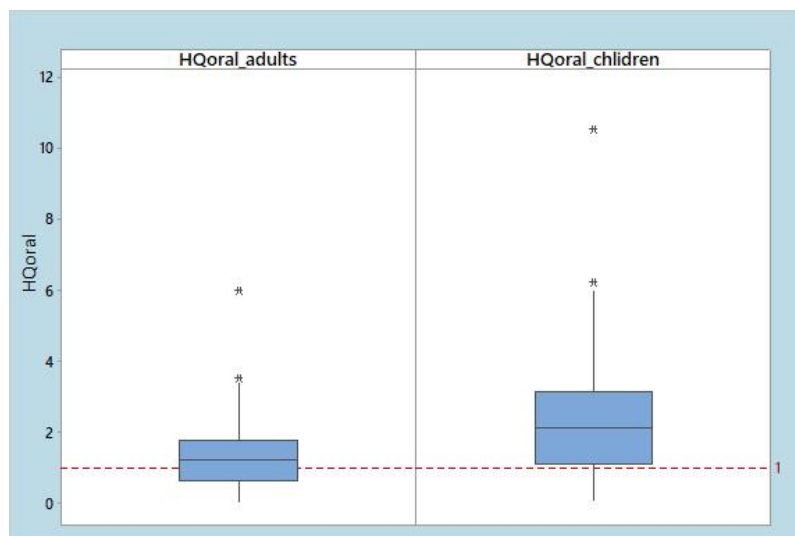
Εικόνα 4.4: Θηκόγραμμα του συντελεστή κινδύνου λόγω κατανάλωσης ρυπασμένου νερού δια της προφορικής οδού για τα παιδιά.

Με βάση την εικόνα 4.4, αλλά και τον πίνακα των περιγραφικών στατιστικών (Πίνακας 4.4), οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως παραπάνω από το 75% των συνολικών δειγμάτων της περιοχής μελέτης είναι πιθανό να επιφέρουν μη - καρκινογενείς επιδράσεις στα μικρά παιδιά, διότι η τιμή του 1^{ου} τεταρτημορίου ξεπερνά την οριακή τιμή που ισούται με 1. Επιπλέον, από τον πίνακα των περιγραφικών στατιστικών υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή του συντελεστή είναι 2,6, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη της μονάδας.

Συνήθως στα βρέφη οι μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία τους από την κατανάλωση νερού με υψηλό περιεχόμενο σε νιτρικά ιόντα, σχετίζονται με την εμφάνιση συμπτωμάτων μεθαιμοσφαιριναιμίας (blue baby syndrome), η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την κυανή απόχρωση των άκρων των βρεφών καθώς και το καφέ χρώμα στο αίμα τους.

Τέλος, από την εικόνα 4.4, παρατηρούμε δύο παράτυπα σημεία, το ένα με τιμή κοντά στο 6 και το άλλο αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του συντελεστή και είναι ίση με 10,54. Δηλαδή περίπου 10 φορές παραπάνω από τα αποδεκτά όρια. Άρα, αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης μη - καρκινογενών επιδράσεων.

Στην επόμενη εικόνα ακολουθεί μια σύγκριση μεταξύ των δύο προηγούμενων θηκογραμμάτων.



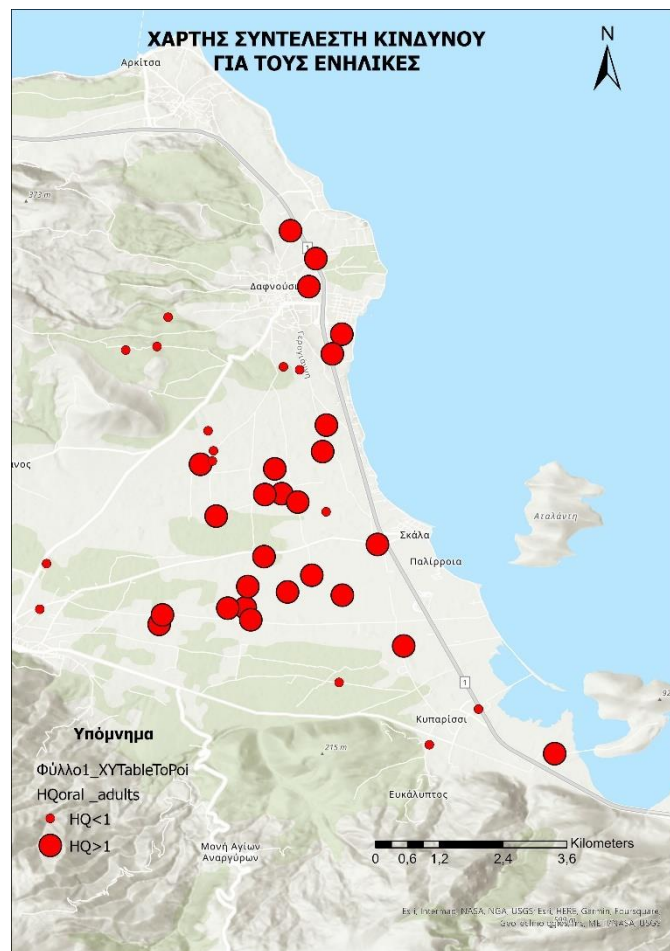
Εικόνα 4.5: Σύγκριση των δυο θηκογραμμάτων συντελεστή κινδύνου μέσω της προφορικής οδού για ενήλικες (αριστερά) και παιδιά (δεξιά).

Όπως προαναφέρθηκε, και στις δύο περιπτώσεις, πολλά από τα δείγματα ξεπερνούν την αποδεκτή τιμή της ΕΡΑ για την εμφάνιση αρνητικών επιδράσεων στην υγεία του υπό εξέταση πληθυσμού. Ωστόσο, παρατηρούμε πως για τα παιδιά, οι τιμές του συντελεστή κινδύνου είναι μεγαλύτερες και τα δείγματα που έχουν τιμή άνω του 1 περισσότερα από αυτά των ενηλίκων. Αυτό μπορεί

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ

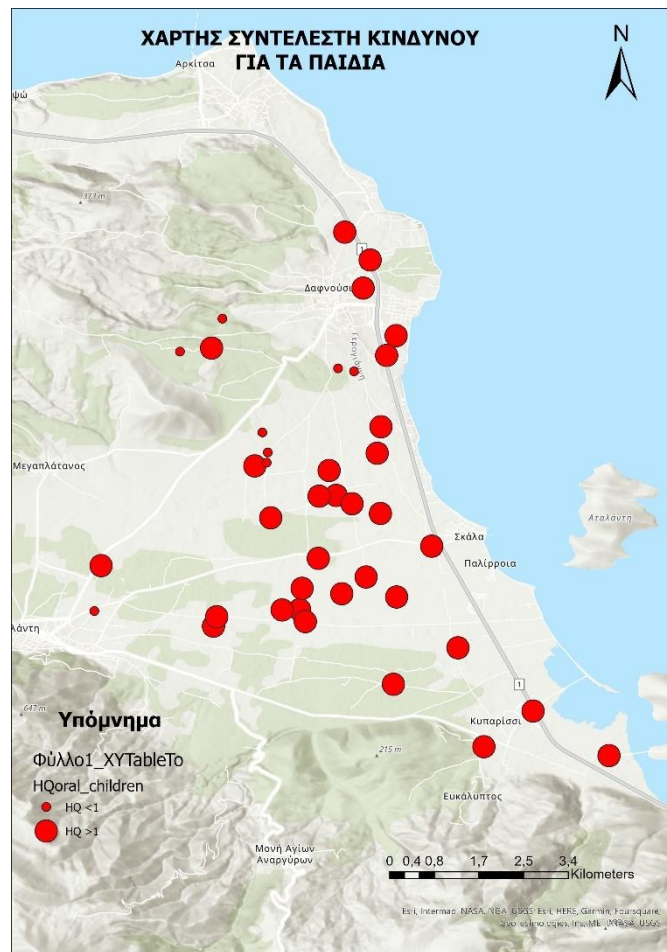
να οφείλεται στο γεγονός ότι τα παιδιά έχουν μικρότερο μέσο βάρος σώματος (20 kg έναντι 70 kg των ενηλίκων) και μέση διάρκεια έκθεσης στον ρύπο.

Τέλος, με τη βοήθεια του προγράμματος Arc Gis Pro κατασκευάστηκαν δυο χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τη χωρική κατανομή των δειγμάτων καθώς και σε ποια από αυτά, ο συντελεστής κινδύνου λόγω κατανάλωσης νερού (HQ_{oral}) έχει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας, και άρα ενδέχεται να εμφανιστούν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων.



Εικόνα 4.6: Χάρτης συντελεστή κινδύνου για τους ενήλικες λόγω κατανάλωσης νερού με μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ



Εικόνα 4.7: Χάρτης συντελεστή κινδύνου για τα παιδιά λόγω κατανάλωσης νερού με υψηλή συγκέντρωση νιτρικών.

Στους παραπάνω χάρτες εμφανίζονται τα σημεία δειγματοληψίας με διαβαθμισμένες κόκκινες κουκκίδες (graduated symbols), οι οποίες ορίζονται με βάση την τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής κινδύνου μέσω της προφορικής οδού. Οι μικρές σε μέγεθος κουκκίδες υποδηλώνουν τιμές συντελεστή κινδύνου μικρότερες της μονάδας και άρα δεν αναμένεται η εμφάνιση μη – καρκινογόνων επιπτώσεων στην υγεία των κατοίκων, ενώ οι μεγαλύτερες απεικονίζουν τα σημεία δειγματοληψίας στα οποία ο συντελεστής βρέθηκε μεγαλύτερος της μονάδας και άρα μπορούσαν να οδηγήσουν στην εκδήλωση επιπτώσεων αν τα δείγματα χρησιμοποιούνταν για κατανάλωση.

Παρατηρούμε από τους χάρτες ότι σε γενικές γραμμές υπάρχει χωρική διαφοροποίηση στις τιμές του HQ, διότι τα δείγματα με τους μεγαλύτερους συντελεστές βρίσκονται τόσο στο κεντρικό τμήμα του χάρτη, όσο και στο βόρειο που βρίσκεται ο οικισμός των Λιβανατών. Ακόμη, και για τους δύο χάρτες υπάρχουν δείγματα με μικρότερες τιμές συντελεστή κινδύνου προς τους οικισμούς της Αταλάντης και του Μεγαπλάτανου. Επομένως, υπάρχει χωρική

κατανομή στις τιμές συντελεστή κινδύνου για τα δείγματα της περιοχής μελέτης.

Συνοψίζοντας, αυτό που συμπεραίνουμε είναι ότι το νερό που προέρχεται από τις συγκεκριμένες γεωτρήσεις κρίνεται ακατάλληλο για υδρευτικούς σκοπούς. Δεύτερον, παρατηρούμε ότι τα παιδιά είναι πιο επιρρεπή στην εμφάνιση μη - καρκινογενών επιπτώσεων συγκριτικά με τους ενήλικες, καθώς τα δείγματα που ενδέχεται να προκαλέσουν επιπτώσεις στην υγεία τους είναι 32, ενώ στην περίπτωση των ενηλίκων 26. Επιπλέον, δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι τα παιδιά βρίσκονται υπό το στάδιο της ανάπτυξης και ενδέχεται να καταναλώνουν ποσότητες τροφής ή νερού ανάλογα με το μέγεθος του σώματός τους. Οπότε, η έκθεσή τους σε ρύπους όπως τα νιτρικά στο υπόγειο νερό μπορεί να είναι μεγαλύτερη. (Vogt et al., 2012).

Τα υπόλοιπα σενάρια που εξετάστηκαν για τη μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας στην υγεία των ανθρώπων, έχουν εφαρμογή σε τοπική κλίμακα, δηλαδή δεν χρησιμοποιούνται ευρέως όπως το προηγούμενο και είναι τα εξής:

- **2^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης (ingestion rate) 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης (exposure duration) ED= 50 days.
- **3^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 50 days.
- **4^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 70 days.
- **5^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 70 days.
- **6^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,5 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.
- **7^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 0,2 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.
- **8^ο σενάριο:** ρυθμός πρόσληψης 1 L/day και διάρκεια έκθεσης ED= 100 days.

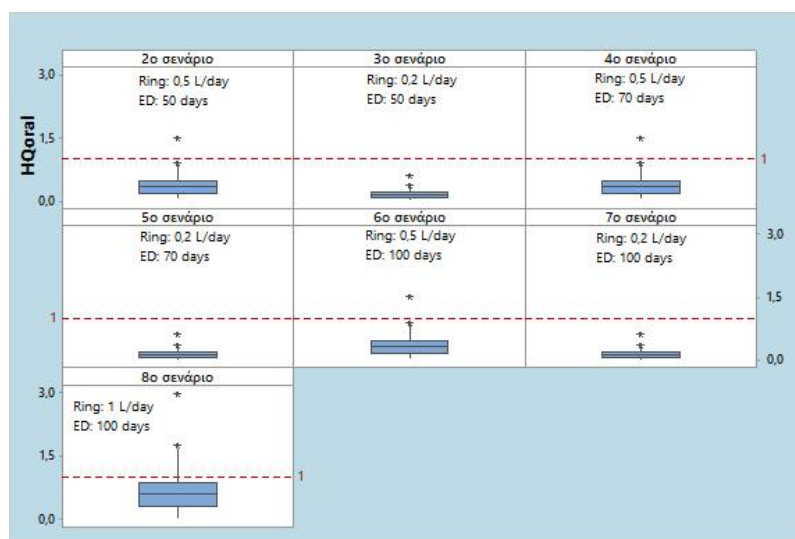
Ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 4.5), περιλαμβάνει τα περιγραφικά στατιστικά του συντελεστή κινδύνου που προέκυψαν και για τα επτά σενάρια, κατά την ανάλυση των δεδομένων.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

Πίνακας 4.5: Περιγραφικά στατιστικά του συντελεστή κινδύνου μέσω της προφορικής οδού.

| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25 ^ο εκατοστημόριο | Διάμεσος | 75 ^ο εκατοστημόριο | Μέγιστη τιμή |
|-----------------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|
| HQ - 2 ^ο σενάριο | 0,37 | 0,30 | 0,01 | 0,16 | 0,31 | 0,45 | 1,51 |
| HQ - 3 ^ο σενάριο | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 0,07 | 0,12 | 0,18 | 0,60 |
| HQ - 4 ^ο σενάριο | 0,37 | 0,30 | 0,01 | 0,16 | 0,31 | 0,45 | 1,51 |
| HQ - 5 ^ο σενάριο | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 0,07 | 0,12 | 0,18 | 0,60 |
| HQ - 6 ^ο σενάριο | 0,37 | 0,30 | 0,01 | 0,16 | 0,31 | 0,45 | 1,51 |
| HQ - 7 ^ο σενάριο | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 0,07 | 0,12 | 0,18 | 0,60 |
| HQ - 8 ^ο σενάριο | 0,74 | 0,60 | 0,01 | 0,33 | 0,61 | 0,90 | 3,01 |

Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και το θηκόγραμμα που περιέχει συγκεντρωτικά και τις 7 περιπτώσεις:



Εικόνα 4.8: Θηκόγραμμα συντελεστή κινδύνου λόγω κατανάλωσης νερού δια της προφορικής οδού και για τις 7 περιπτώσεις.

Σενάριο 2^ο

Στο συγκεκριμένο σενάριο, ο ρυθμός πρόσληψης είναι ίσος με 0,5 L ανά ημέρα και η διάρκεια έκθεσης 50 ημέρες. Από το θηκόγραμμα του σεναρίου που απεικονίζεται στην εικόνα 4.8, παρατηρούμε πως μόνο σε ένα δείγμα η τιμή του συντελεστή κινδύνου είναι μεγαλύτερη του 1 (παράτυπο σημείο) και άρα δύναται να προκαλέσει μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Τα υπόλοιπα δείγματα όμως βρίσκονται στα όρια ασφάλειας.

Σενάριο 3^ο

Στο παραπάνω σενάριο, ο ρυθμός πρόσληψης ισούται με 0,2 L ανά ημέρα, ενώ η διάρκεια έκθεσης με 50 ημέρες τον χρόνο, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Με βάση την εικόνα 4.8, μπορούμε να συμπεράνουμε πως για κανένα από τα δείγματα, ο συντελεστής κινδύνου δεν ξεπερνά τη μονάδα και άρα δεν αναμένονται να εμφανιστούν αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων. Επιπλέον, από τον πίνακα των περιγραφικών στατιστικών του συντελεστή κινδύνου (Πίνακας 4.5), παρατηρούμε πως η μέση τιμή του για αυτή την περίπτωση είναι 0,15, ενώ του 2^{ου} σεναρίου βρέθηκε ίση με 0,37 κάτι που είναι λογικό, εφόσον ο ρυθμός πρόσληψης είναι μικρότερος.

Σενάριο 4^ο

Για το σενάριο αυτό ο ρυθμός πρόσληψης είναι ίσος με 0,5 L ανά ημέρα, ενώ η διάρκεια έκθεσης ισούται με 70 ημέρες. Ουσιαστικά, δεν παρατηρούμε κάποια διαφοροποίηση συγκριτικά με το δεύτερο σενάριο στο οποίο ο ρυθμός πρόσληψης είναι ο ίδιος. Μόνο ένα δείγμα λαμβάνει τιμή συντελεστή κινδύνου άνω του 1, συγκεκριμένα 1,51 και άρα θεωρείται ύποπτο για την παρουσία μη - καρκινογενών επιπτώσεων στους κατοίκους. Είναι αναμενόμενο να μην υπάρχουν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ 2^{ου} και 4^{ου} σεναρίου, αφού ο ρυθμός πρόσληψης παραμένει σταθερός, αλλά η διαφορά στη διάρκεια έκθεσης είναι αρκετά μικρή και άρα δεν μπορεί να επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα.

Σενάριο 5^ο

Στο σενάριο αυτό, ο ρυθμός πρόσληψης θεωρείται ίσος με 0,2 L ανά ημέρα και η διάρκεια έκθεσης με 70 ημέρες. Από το θηκόγραμμα (Εικόνα 4.8) μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα αποτελέσματα είναι ίδια με αυτά του 3^{ου} σεναρίου, διότι ο ρυθμός πρόσληψης είναι ίδιος. Ειδικότερα, δεν υπάρχει κάποιο δείγμα στο οποίο ο συντελεστής κινδύνου δια της προφορικής οδού λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, οπότε για αυτήν την περίπτωση όλα τα δείγματα βρίσκονται στα αποδεκτά όρια και δεν αναμένεται η επικινδυνότητα στην ανθρώπινη υγεία.

Σενάριο 6^ο

Στην προκείμενη περίπτωση, ο ρυθμός πρόσληψης είναι ίσος με 0,5 L ανά ημέρα, ενώ η διάρκεια έκθεσης στον ρύπο αυξάνεται στις 100 ημέρες τον χρόνο. Παρατηρώντας το θηκόγραμμα για το συγκεκριμένο σενάριο (Εικόνα 4.8), μπορούμε να διακρίνουμε πως μόνο για ένα δείγμα ο συντελεστής κινδύνου υπερβαίνει τη μονάδα και άρα μόνο από το συγκεκριμένο δείγμα ενδέχεται να εκδηλωθούν μη- καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Συγκεκριμένα, στο δείγμα αυτό η τιμή του συντελεστή κινδύνου είναι ίση με 1,51, η οποία συμπίπτει και με τη μέγιστη τιμή εφόσον στο θηκόγραμμα

βλέπουμε μόνο ένα παράτυπο σημείο, το οποίο προφανώς αντιστοιχεί στην ανωτέρω τιμή.

Σενάριο 7^ο

Ο ρυθμός πρόσληψης ισούται με 0,2 L ανά ημέρα και η διάρκεια έκθεσης 100 ημέρες τον χρόνο. Από το θηκόγραμμα για το 7^ο σενάριο στην εικόνα 4.8 καθίσταται σαφές πως ο συντελεστής κινδύνου σε όλα τα δείγματα βρέθηκε μικρότερος της μονάδας, αφού κανένα από αυτά δεν ξεπερνά τη γραμμή αναφοράς που αντιστοιχεί στην τιμή 1. Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα περιγραφικών στατιστικών (Πίνακας 4.5), καθώς η μέγιστη τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής κινδύνου είναι 0,60. Άρα, δεν αναμένεται η εκδήλωση δυσάρεστων συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία.

Σενάριο 8^ο

Το όγδοο και τελευταίο σενάριο είναι λίγο πιο συντηρητικό, διότι ως ρυθμός πρόσληψης ορίστηκε η τιμή 1 L ανά ημέρα, ενώ ως διάρκεια έκθεσης οι 100 ημέρες τον χρόνο. Σύμφωνα με το θηκόγραμμα (Εικόνα 4.8), βλέπουμε πως υπάρχει ένα ποσοστό δειγμάτων για τα οποία ο συντελεστής κινδύνου λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, καθώς και δύο παράτυπα σημεία με τιμές, γύρω στο 1,5 και το 3. Επιπλέον, σύμφωνα με τον πίνακα 4.5, η μέση τιμή του συντελεστή κινδύνου βρέθηκε ίση με 0,74, η διάμεσος τιμή 0,61 και το τρίτο τεταρτημόριο ανήλθε στην τιμή 0,90, οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως περίπου ένα 20% των δειγμάτων νερού της περιοχής έχει τιμές συντελεστή κινδύνου μεγαλύτερες της μονάδας και άρα ενδέχεται να θεωρηθούν υπεύθυνα για την παρουσία μη - καρκινογενών επιπτώσεων στην υγεία των ανθρώπων.

Συμπερασματικά, οι αρνητικές επιδράσεις στην υγεία εκδηλώνονται καθώς αυξάνεται το ποσό κατανάλωσης του νερού. Δηλαδή στις περιπτώσεις όπου ήταν 0,2 L την ημέρα, δεν υπήρχε επίδραση από κανένα δείγμα νερού στην ανθρώπινη υγεία. Όταν όμως αυξηθεί ο ρυθμός πρόσληψης σε 0,5 L την ημέρα, υπάρχει ένα δείγμα όπου μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση μη - καρκινογενών επιπτώσεων στους ανθρώπους, χάρη στην υψηλή συγκέντρωσή του σε νιτρικά ιόντα. Επιπρόσθετα, στο τελευταίο σενάριο που ο ρυθμός κατανάλωσης θεωρήθηκε ίσος με 1 L ανά ημέρα, παρατηρήθηκε η αύξηση των δειγμάτων που είναι πιθανό να προκαλέσουν μη - καρκινογενείς επιπτώσεις αν χρησιμοποιηθούν για πόση. Δηλαδή, στην ανωτέρω περίπτωση, ο συντελεστής κινδύνου υπολογίστηκε μεγαλύτερος του 1 σε 7 από τα 40 δείγματα.

Αντιλαμβανόμαστε επομένως πως η αύξηση του ρυθμού πρόσληψης οδηγεί στην αύξηση των συντελεστών κινδύνου, οπότε όση μεγαλύτερη ποσότητα

νερού καταναλώνεται, είναι πιο πιθανή η εκδήλωση μη- καρκινογενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.

Οι μεταβολές στη διάρκεια έκθεσης στον ρύπο, δεν σημείωσαν κάποια αξιολογη μεταβολή στις τιμές των συντελεστών κινδύνου καθότι το διάστημα των 50 ή των 20 ημερών μέσα σε έναν χρόνο είναι αρκετά μικρό.

4.2.2 Επιρροή από δερματική επαφή

Στο παρόν υποκεφάλαιο, εξετάστηκε εάν η επαφή του νερού με το ανθρώπινο δέρμα είναι ικανή να ασκήσει αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των ενηλίκων και των παιδιών.

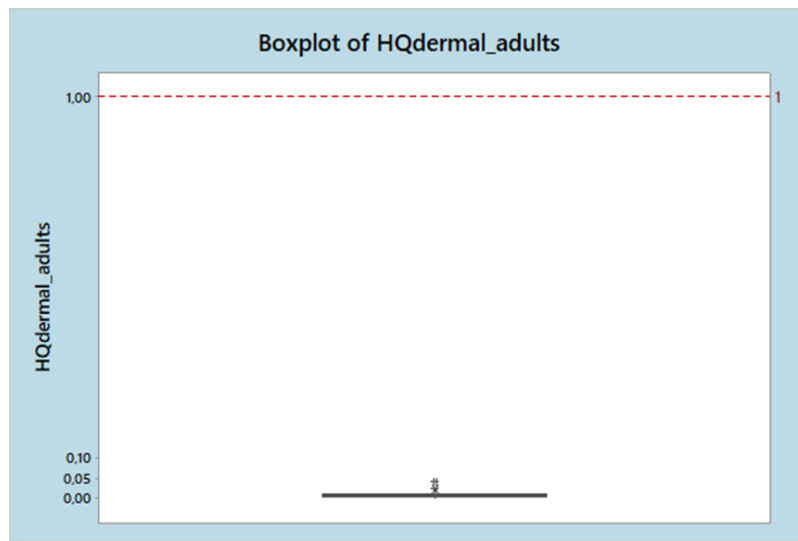
Στον επόμενο πίνακα δίνονται τα περιγραφικά στατιστικά που αφορούν στον συντελεστή κινδύνου εξαιτίας της επαφής του δέρματος με το ρυπασμένο νερό για τους ενήλικες και τα παιδιά.

Πίνακας 4.6: Περιγραφικά στατιστικά συντελεστή κινδύνου λόγω δερματικής επαφής (HQ_{dermal}) με νερό που έχει ρυπανθεί από νιτρικά για ενηλίκους και παιδιά.

| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25 ^ο εκατοστη-μόριο | Διάμεσος | 75 ^ο εκατοστη-μόριο | Μέγιστη τιμή |
|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------|--------------------------------|----------|--------------------------------|--------------|
| HQ _{dermal_adults} | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,04 |
| HQ _{dermal_children} | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,06 |

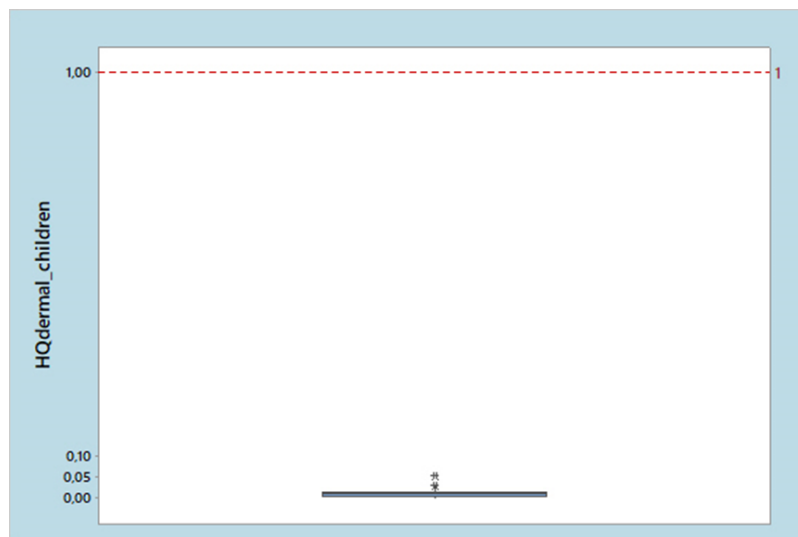
Από τον πίνακα 4.6, μπορούμε να λάβουμε την πληροφορία ότι όλες οι στατιστικές παράμετροι του εξεταζόμενου συντελεστή έχουν τιμές αρκετά μικρότερες του 1 και άρα δεν αναμένονται μη- καρκινογενείς επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων λόγω δερματικής επαφής με νερό που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων.

Ακολουθούν τα θηκογράμματα που κατασκευάστηκαν:



Εικόνα 4.9: Θηκόγραμμα συντελεστή κινδύνου λόγω δερματικής επαφής με ρυπασμένο νερό από νιτρικά ιόντα για τους ενήλικες.

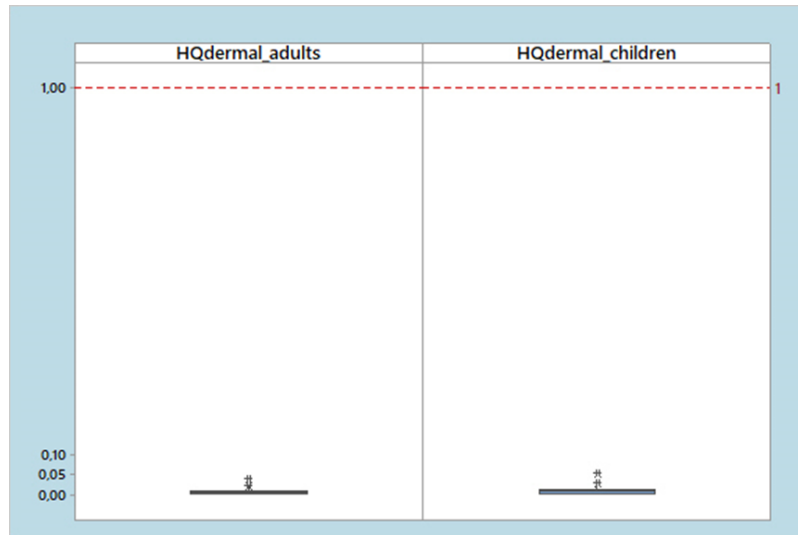
Επαληθεύεται η παραπάνω διαπίστωση, εφόσον σύμφωνα με το θηκόγραμμα (Εικόνα 4.9), κανένα από τα δείγματα δεν ξεπερνά την οριακή τιμή 1 και άρα η επίδραση στην υγεία των ενηλίκων λόγω δερματικής επαφής με το νερό είναι αμελητέα.



Εικόνα 4.10: Θηκόγραμμα συντελεστή κινδύνου λόγω δερματικής επαφής με ρυπασμένο νερό από νιτρικά ιόντα για τα παιδιά.

Όπως και στην περίπτωση των ενηλίκων, παρατηρούμε πως και για τα παιδιά δεν υπάρχει κάποιο δείγμα για το οποίο ο συντελεστής κινδύνου να υπερβαίνει την τιμή της μονάδας που είναι και η μέγιστη αποδεκτή για τα όρια ασφαλείας.

Οπότε και οι επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών λόγω δερματικής επαφής μπορούν να θεωρηθούν μηδαμινές. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζονται και τα δύο θηκογράμματα, σε ίδια κλίμακα, προκειμένου να γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους.



Εικόνα 4.11: Σύγκριση των δύο θηκογραμμάτων συντελεστή κινδύνου λόγω δερματικής επαφής με ρυπασμένο νερό από νιτρικά ιόντα για τους ενήλικες (αριστερά) και για τα παιδιά (δεξιά).

Η μέση τιμή του συντελεστή κινδύνου και στις δύο περιπτώσεις βρέθηκε ίση με 0,01 δηλαδή 100 φορές μικρότερη από την τιμή 1, όπου πάνω από την οποία αναμένεται να εμφανιστούν κίνδυνοι για την υγεία των κατοίκων. Η μέγιστη τιμή στην περίπτωση των ενηλίκων είναι ίση με 0,04, ενώ των παιδιών 0,06, ενώ η ελάχιστη ισούται και στις δύο περιπτώσεις με μηδέν. Η διάμεσος τιμή βρέθηκε ίση με 0,01.

Γίνεται επομένως κατανοητό ότι τόσο για τους ενήλικες όσο και για τα παιδιά, η επιρροή από τη δερματική επαφή με νερό που έχει ρυπανθεί από νιτρικά είναι ουσιαστικά αμελητέα και όποιος κίνδυνος στην υγεία προέρχεται μόνο από την πρόσληψη μέσω της προφορικής οδού.

4.3 Αποτελέσματα δείκτη κινδύνου

Ο δείκτης κινδύνου (hazard index) είναι το άθροισμα των συντελεστών κινδύνου μέσω των <<οδών>> έκθεσης. Για το σενάριο της ΕΡΑ δηλαδή, ο δείκτης κινδύνου θα ισούται με το άθροισμα του συντελεστή κινδύνου λόγω κατανάλωσης (προφορική οδός) αλλά και του συντελεστή δια της δερματικής επαφής.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

$$HI = HQ_{\text{oral}} + HQ_{\text{dermal}}$$

Ακολουθεί ο πίνακας των περιγραφικών στατιστικών για τον συντελεστή κινδύνου.

Πίνακας 4.7: Περιγραφικά στατιστικά δείκτη κινδύνου (Hazard Index).

| Μεταβλητή | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση | Ελάχιστη τιμή | 25ο εκατοστημόριο | Διάμεσος | 75ο εκατοστημόριο | Μέγιστη τιμή |
|-------------|-----------|-----------------|---------------|-------------------|----------|-------------------|--------------|
| HI_adults | 1,49 | 1,21 | 0,03 | 0,66 | 1,24 | 1,81 | 6,07 |
| HI_children | 2,61 | 2,11 | 0,05 | 1,14 | 2,16 | 3,16 | 10,59 |

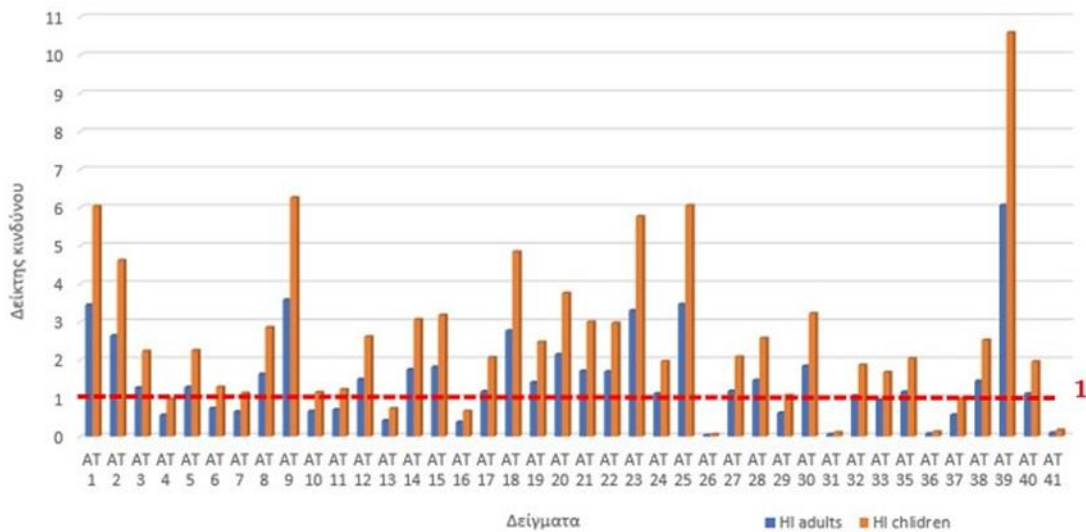
Η τιμή του δείκτη κινδύνου είναι αυτή που υποδηλώνει αν αναμένονται οι όχι αρνητικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Για τον δείκτη κινδύνου ισχύει ότι και με τον συντελεστή κινδύνου, δηλαδή εάν η τιμή του είναι μεγαλύτερη της μονάδας τότε εμφανίζονται μη - καρκινογενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ενώ αν είναι μικρότερη οι επιπτώσεις θεωρούνται σχεδόν αμελητέες. Επειδή, όπως είδαμε, η επίδραση από τη δερματική επαφή είναι ουσιαστικά μηδαμινή, ο δείκτης κινδύνου έχει παραπλήσιες τιμές με τον συντελεστή κινδύνου δια μέσου της κατανάλωσης.

Με βάση τον πίνακα που αποδίδει τα περιγραφικά στατιστικά για τον δείκτη κινδύνου (Πίνακας 4.7), βλέπουμε πως η μέση τιμή του για την περίπτωση των ενηλίκων ισούται με 1,49 και 2,61 στον παιδιών. Οι τιμές αυτές υπερβαίνουν την οριακή που είναι ίση με τη μονάδα, επομένως περιμένουμε την εκδήλωση επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των δειγμάτων υπόγειου νερού σε νιτρικά ιόντα. Ακόμα, παρατηρούμε πως για τα παιδιά το ποσοστό των δειγμάτων που θεωρούνται ακατάλληλα για πόση είναι παραπάνω από το 75%, δεδομένου ότι η τιμή του 25^{ου} εκατοστημορίου βρέθηκε ίση με 1,14. Στους ενήλικες η τιμή που αντιστοιχεί σε αυτή την παράμετρο είναι μικρότερη, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν θα παρουσιαστούν προβλήματα στην υγεία τους από την έκθεση στα συγκεκριμένα δείγματα νερού.

Επιπρόσθετα, οι μέγιστες τιμές που λαμβάνει η εν λόγω μεταβλητή είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τα όρια ασφαλείας, το οποίο αιτιολογείται από την αρκετά αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στο συγκεκριμένο δείγμα νερού.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα διάγραμμα, το οποίο δείχνει την τιμή του δείκτη κινδύνου με τη μορφή στηλών για τους ενήλικες και τα παιδιά, ανά δείγμα νερού από την ευρύτερη περιοχή της Αταλάντης.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ



Εικόνα 4.12: Διάγραμμα στηλών που απεικονίζει την τιμή του δείκτη κινδύνου ανά δείγμα, για κάθε ηλικιακή ομάδα.

Σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 4.12, βλέπουμε πως για την πλειοψηφία των δειγμάτων, ο δείκτης κινδύνου υπολογίστηκε μεγαλύτερος της μονάδας και για τις δύο ομάδες.

Αξιοσημείωτος είναι ο δείκτης κινδύνου για το δείγμα AT 39 που για τους ενήλικες υπολογίζεται γύρω στο 6, ενώ για τα παιδιά ξεπερνά το 10. Υψηλές τιμές του δείκτη κινδύνου εμφανίζονται επίσης και στα δείγματα AT 1, AT 23, AT 9 και AT 25, το οποίο είναι απόρροια των υψηλών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων σε αυτά τα δείγματα υπόγειων υδάτων. Χωρικά, τα δύο πρώτα δείγματα βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, ενώ τα δύο τελευταία στο χωριό Λιβανάτες. Είναι πλέον σαφές πως δεν πρέπει να χρησιμοποιείται αυτό το νερό για υδρευτικούς σκοπούς, καθότι εντείνει την εμφάνιση αρνητικών επιδράσεων στην υγεία των κατοίκων.

Για τα υπόλοιπα σενάρια, επειδή εξετάζεται η επιρροή από μόνο μια οδό έκθεσης, ο δείκτης κινδύνου θεωρείται ίσος με τον συντελεστή κινδύνου, του οποίου τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Για τις συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα:

- Σε 27 από τα συνολικά 40 δείγματα υπόγειων υδάτων από την περιοχή μελέτης, οι συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα ξεπερνούν τα 50 mg/L, το οποίο είναι και το όριο ποσιμότητας. Ενδεικτικά, υπάρχουν δείγματα όπως το ΑΤ 39 με συγκέντρωση 337 mg/L καθώς και τα ΑΤ 1,9, 25 με συγκεντρώσεις περί τα 200 mg/L. Επιβεβαιώνεται επομένως ότι υπάρχει σοβαρό πρόβλημα νιτρορύπανσης στην περιοχή της Αταλάντης.
- Ο δείκτης νιτρορύπανσης (Nitrate Pollution Index) είναι ενδεικτικός για την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ.: εφαρμογή λιπασμάτων, λύματα). Ειδικότερα, από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων, η μέση τιμή του NPI βρέθηκε ίση με 3,2. Συνεπώς, επαληθεύεται η σημαντικότητα της ρύπανσης των υδάτων και η ακαταλληλότητα τους για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών των κατοίκων.

Όσον αφορά στις επιπτώσεις που ενδέχεται να εκδηλωθούν στην ανθρώπινη υγεία, τα συμπεράσματα εξάγονται με βάση το τέταρτο και τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας εκτίμησης της επικινδυνότητας στην ανθρώπινη υγεία, που σχετίζεται με τον χαρακτηρισμό του κινδύνου (risk characterization) και είναι τα ακόλουθα:

- Για το σενάριο που έχει ως βάση τη μεθοδολογία της EPA, διαπιστώθηκε ότι η ηλικιακή ομάδα των παιδιών διατρέχει σημαντικότερο κίνδυνο από την έκθεση σε ρυπασμένο νερό από νιτρικά ιόντα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα παιδιά έχουν πιο αδύναμο ανοσοποιητικό σύστημα και επιπλέον βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη, σε αντίθεση με τους ενήλικες που έχουν αναπτυχθεί πλήρως.
- Στο ίδιο σενάριο, ερευνώνται οι επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων από δύο οδούς έκθεσης, την προφορική μέσω της πρόσληψης νερού και από τη δερματική επαφή. Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων βρέθηκε πως οι τιμές του συντελεστή κινδύνου μέσω της δερματικής επαφής και για τις δύο ηλικιακές ομάδες είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσω της προφορικής οδού.

- Από τα 8 σενάρια που ερευνήθηκαν, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως το σενάριο με βάση τη μεθοδολογία της EPA είναι το πιο βλαβερό για την υγεία των κατοίκων της περιοχής. Αναλυτικότερα, σε αρκετά από τα 40 δείγματα (32 για τα παιδιά και 26 για τους ενήλικες) προέκυψαν δείκτες κινδύνου που υπερβαίνουν το όριο της μονάδας, το οποίο είναι και το μέγιστο αποδεκτό σύμφωνα με τις οδηγίες της EPA. Τόσο η μεγαλύτερη διάρκεια έκθεσης στον ρύπο αλλά και ο πιο μεγάλος ρυθμός πρόσληψης, καθιστούν το εν λόγω σενάριο πιο δυσμενές, για την εμφάνιση μη – καρκινογενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.
- Τα δείγματα που χαρακτηρίζονται από δείκτες κινδύνου άνω του 1, δεν σημαίνει κατ' ανάγκη πως ξεπερνούν και το όριο ποσιμότητας των νιτρικών ιόντων. Αξίζει να τονισθεί ότι στην περίπτωση των ενηλίκων, τα δείγματα στα οποία ο δείκτης κινδύνου έχει τιμές άνω του 1, έχουν αντίστοιχα συγκεντρώσεις σε NO_3^- μεγαλύτερες από 50 mg/L. Στην περίπτωση που ερευνώνται οι επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών δεν ισχύει αυτό. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι για τον υπολογισμό των εξισώσεων της ποσοτικοποίησης του κινδύνου, χρησιμοποιούνται παράμετροι όπως το σωματικό βάρος και η διάρκεια έκθεσης στον ρύπο, οι οποίες για την ομάδα των παιδιών είναι σαφώς μικρότερες από τις αντίστοιχες των ενηλίκων. Απόρροια αυτού είναι οι μεγαλύτεροι δείκτες κινδύνου, για δείγματα με μικρότερες συγκεντρώσεις νιτρικών από το όριο ποσιμότητας.
- Ένα ακόμα συμπέρασμα που προέκυψε αφορά στη χωρική κατανομή των τιμών συντελεστή κινδύνου. Από τους χάρτες που κατασκευάστηκαν διαπιστώθηκε ότι υπάρχει χωρική διαφοροποίηση στις τιμές του HQ, διότι τα δείγματα με τους μεγαλύτερους συντελεστές κινδύνου βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του χάρτη, αλλά και βόρεια στον οικισμό των Λιβανατών. Αντίστοιχα, τα δείγματα με τους πιο μικρούς συντελεστές κινδύνου συναντώνται προς τους οικισμούς της Αταλάντης και του Μεγαπλατάνου, αλλά και προς το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Κατά συνέπεια, υπάρχει χωρική διαφοροποίηση στις τιμές του συντελεστή κινδύνου για τα δείγματα από την περιοχή έρευνας.

5.2 Προτάσεις

Για να περιοριστούν φαινόμενα όπως η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από νιτρικά ιόντα και κατά συνέπεια η εκδήλωση αρνητικών επιδράσεων στην υγεία των κατοίκων της περιοχής έρευνας, προτείνονται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Να μην γίνεται ανεξέλεγκτη χρήση αγροχημικών προϊόντων από τους γεωργούς (π.χ.: λιπάσματα), προκειμένου να έχουν σε πιο γρήγορο χρονικό διάστημα, αυξημένη παραγωγή καλλιεργειών. Ειδικότερα, καλό θα ήταν να αποφεύγεται η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, διότι περιέχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο και επειδή συνήθως δίνεται μεγαλύτερη ποσότητα από την απαιτούμενη, ώστε να υπάρξει αυξημένη παραγωγή, μένει περίσσεια αζώτου στο έδαφος. Το άζωτο όμως είναι ένα πολύ ευκίνητο στοιχείο και διαλυτοποιείται στο νερό, οπότε προτιμά να συγκεντρώνεται στον υδροφόρο ορίζοντα του υπόγειου νερού. Εάν όμως η συγκέντρωση είναι πολύ μεγάλη, τότε το υπόγειο νερό ρυπαίνεται από ενώσεις του αζώτου όπως τα νιτρικά ιόντα και υποβαθμίζεται η ποιότητα του, ενώ παράλληλα κρίνεται ακατάλληλο για κατανάλωση.
- Να πραγματοποιείται επανέλεγχος των συγκεντρώσεων των υπόγειων υδάτων σε νιτρικά ιόντα, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επειδή είναι γνωστό ότι υπάρχει σημαντικό πρόβλημα νιτρορύπανσης στην περιοχή, ο συστηματικός έλεγχος της συγκέντρωσης του υπόγειου νερού σε νιτρικά ιόντα, θα μας δώσει μια ένδειξη για το αν τα επίπεδα των συγκεντρώσεων παραμένουν σταθερά ή μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Στην περίπτωση όπου σημειώνεται αύξηση των συγκεντρώσεων, πέραν του ορίου ποσιμότητας, μια καλή λύση θα ήταν η παύση των καλλιεργειών.
- Η βελτίωση του αποχετευτικού συστήματος. Η περιοχή της Αταλάντης είναι αγροτική και χρησιμοποιούνται σηπτικές δεξαμενές (βόθροι) καθώς δεν υπάρχει κεντρικό αποχετευτικό σύστημα όπως στα αστικά κέντρα. Οι βόθροι αποτελούν πηγές ρύπανσης των υδάτων από νιτρικά ιόντα, όταν δεν είναι στεγανοί, διότι είναι πιθανό να υπάρξει διαρροή και εντέλει διάθεση των αποβλήτων στον υδροφόρο ορίζοντα του υπόγειου νερού. Ως γνωστόν, τα απορρίμματα αυτά έχουν πολύ μεγάλη

περιεκτικότητα σε άζωτο, γεγονός που εντείνει τη ρύπανση του υπόγειου νερού.

- Είναι επίσης εφικτή η αξιοποίηση των δειγμάτων νερού που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, μόνο για αρδευτικούς σκοπούς, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η χρήση λιπασμάτων πλούσιων σε άζωτο, και κατά συνέπεια να μειωθεί η έκπλυση των νιτρικών ιόντων από το νερό (Sehlaoui et al., 2022).
- Καταληκτικά, συστήνεται να μην αξιοποιούνται τα νερά που προέρχονται από τις γεωτρήσεις για κατανάλωση, αφού είναι εξαιρετικώς ρυπασμένα και αν χρησιμοποιηθούν για πόση, συνδέονται με αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των κατοίκων. Επιπρόσθετα, η απορρύπανση του αζώτου είναι πολύ δύσκολη γιατί μπορεί να παραμείνει για πολύ μεγάλο διάστημα στον υδροφόρο ορίζοντα και επίσης πρόκειται για μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή. Οπότε, προτείνεται η εύρεση άλλων πηγών που περιέχουν πόσιμο νερό, προκειμένου να καλυφθούν οι υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adimalla, N., Qian, H., & Tiwari, D. M. (2021). Groundwater chemistry, distribution and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater: A case study from the semi-urban region of South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207(126), 111277.
- Agency for Toxic Substances and Disease. Division of Toxicology and Human Sciences. (2013). ATSDR Case Studies in Environmental Medicine Nitrate / Nitrite Toxicity Nitrate / Nitrite Toxicity. U.S. Department of Health and Human Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Environmental Medicine Branch.
- Ahada, C. P. S., & Suthar, S. (2018). Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 25336–25347.
- Barakat, A. (2020). Groundwater NO₃⁻ concentration and its potential health effects in Beni Moussa perimeter (Tadla plain, Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 7(1).
- Bini, C., Bech, J.: *Potentially harmful elements in the environment and the impact on human health* (2014) - Springer
- Canter, Larry W.: *Nitrates in groundwater* (1997) - Taylor & Francis Group
- CORINE Land Cover (2018) - Διαδικτυακή ιστοσελίδα.
- El Mountassir, O., Bahir, M., Ouazar, D., Chehbouni, A., & Carreira, P. M. (2022). Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate using nitrate pollution index (NPI), groundwater pollution index (GPI), and GIS (case study: Essaouira basin, Morocco). *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 17132–17149.
- EPA. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. I(December), 289.
- Evans, H.J., and Barber, L.E., (1977). Biological nitrogen fixation for food and fiber production. *Science*, 197: 332-339.
- Fei, J. C., Min, X. B., Wang, Z. X., Pang, Z. hua, Liang, Y. J., & Ke, Y. (2017). Health and ecological risk assessment of heavy metals pollution in an antimony mining region: a case study from South China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35), 27573–27586.
- Fossen Johnson, S. (2019). Methemoglobinemia: Infants at risk. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 49(3), 57–67.
- Gao, H., Basri, R., & Tran, M. H. (2021). Acquired methemoglobinemia: A systematic review of reported cases. *Transfusion and Apheresis Science*, 61(2), 103299.

- Gao, S., Li, C., Jia, C., Zhang, H., Guan, Q., Wu, X., Wang, J., & Lv, M. (2020). Health risk assessment of groundwater nitrate contamination: a case study of a typical karst hydrogeological unit in East China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 9274–9287.
- Gupta, S. K., Gupta, R. C., Seth, A. K., Gupta, A. B., Bassin, J. K., & Gupta, A. (2000). Methaemoglobinaemia in areas with high nitrate concentration in drinking water. *National Medical Journal of India*, 13(2), 58–61.
- Gupta, Sunil Kumar, Gupta, R. C., Gupta, A. B., Seth, A. K., Bassin, J. K., Gupta, A., & Sharma, M. L. (2001). Recurrent diarrhea in children living in areas with high levels of nitrate in drinking water. *Archives of Environmental Health*, 56(4), 369–373.
- Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.), (1965). Atalanti Sheet, Geological Map 1:50,000. Department of Geological Maps of IGME, Athens
- Iversen, T. M., Grant, R., & Nielsen, K. (1998). Nitrogen enrichment of European inland and marine waters with special attention to Danish policy measures. *Environmental Pollution*, 102(SUPPL. 1), 771–780.
- Kanellopoulos, C., Argyraki, A., & Mitropoulos, P. (2015). Geochemistry of serpentine agricultural soil and associated groundwater chemistry and vegetation in the area of Atalanti, Greece. *Journal of Geochemical Exploration*, 158, 22–33.
- Kelepertzis, E. (2014). Investigating the sources and potential health risks of environmental contaminants in the soils and drinking waters from the rural clusters in Thiva area (Greece). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100(1), 258–265.
- Korre, A., Durucan, S., & Koutroumani, A. (2002). Quantitative-spatial assessment of the risks associated with high Pb loads in soils around Lavrio, Greece. *Applied Geochemistry*, 17(8), 1029–1045.
- Locey, B. J. (2005). Risk assessment, human health. *Encyclopedia of Toxicology*, 1996, 727–733.
- M., M., Awawdeh, M., Abu, F., & Al-Ajlouni, A. (2012). An Innovative Nitrate Pollution Index and Multivariate Statistical Investigations of Groundwater Chemical Quality of Umm Rijam Aquifer (B4), North Yarmouk River Basin, Jordan. *Water Quality Monitoring and Assessment*.
- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., & Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: Challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105(7), 1141–1157.
- Massri, M., & Labban, L. (2014). Comparison of Different Types of Fertilizers on Growth, Yield and Quality Properties of Watermelon. *Agricultural Sciences*, 05(06), 475–482.

- Moreno-Jiménez, E., García-Gómez, C., Oropesa, A. L., Esteban, E., Haro, A., Carpena-Ruiz, R., Tarazona, J. V., Peñalosa, J. M., & Fernández, M. D. (2011). Screening risk assessment tools for assessing the environmental impact in an abandoned pyritic mine in Spain. *Science of the Total Environment*, 409(4), 692–703.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). (2007). Manure Chemistry- Nitrogen, Phosphorus, & Carbon. *Natural Resource Conservation Service*, August.
- Ngatia, L., M. Grace III, J., Moriasi, D., & Taylor, R. (2019). Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. *Monitoring of Marine Pollution*, 1–17.
- Nuji, M., & Habuda, M. (2017). Nitrates and nitrites, metabolism and toxicity. *Food in Health and Disease*, 6, 63–72.
- Panneerselvam, B., Muniraj, K., Pande, C., Ravichandran, N., Thomas, M., Karuppannan, S. (2021): Geochemical evaluation and human health risk assessment of nitrate-contaminated groundwater in an industrial area of South India. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Pepper, Ian. L, Gerba, Charles P., Brusseau, Mark. L: *Environmental and pollution science* (2006).
- Qasemi, M., Afsharnia, M., Farhang, M., Bakhshizadeh, A., Allahdadi, M., & Zarei, A. (2018). Health risk assessment of nitrate exposure in groundwater of rural areas of Gonabad and Bajestan, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(15), 1–9.
- Rahman, A., Mondal, N. C., & Tiwari, K. K. (2021). Anthropogenic nitrate in groundwater and its health risks in the view of background concentration in a semi arid area of Rajasthan, India. *Scientific Reports*.
- Rodriguez-Proteau, R., & Grant, R. L. (2006). Toxicity evaluation and human health risk assessment of surface and ground water contaminated by recycled hazardous waste materials. *Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5: Water Pollution*, 5 F, 133–189.
- Savci, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia*, 1(January), 287–292.
- Sehlaoui, H., Hassikou, R., Dakak, H., Zouahri, A., El Hasini, S., Iaaich, H., Ghanimi, A., & Douaïk, A. (2022). Nitrate contamination and associated health risks of the Benslimane groundwater, Morocco. *Environmental Geochemistry and Health*, 5.
- Skold, A., Cosco, D. L., & Klein, R. (2011). Methemoglobinemia: Pathogenesis, diagnosis, and management. *Southern Medical Journal*, 104(11), 757–761.
- Tsatsakis, A. M., Vassilopoulou, L., Kovatsi, L., Tsitsimpikou, C., Karamanou, M., Leon, G., Liesivuori, J., Hayes, A. W., & Spandidos, D. A. (2018). The dose response principle from philosophy to modern toxicology: The impact of ancient philosophy and medicine in modern toxicology science. *Toxicology Reports*, 5(September), 1107–1113.

- United States Environmental Protection Agency (US.EPA)(2004). Risk Assessment: Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (*Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment*).
- University of Colorado Colorado Springs. (2018). Toxicity and Hazard Exposure Contents Toxicity and Hazard Exposure 1 Routes of Entry for Chemicals. 1-15.
- University of Nebraska Lincoln - UNL (2003). UNL Environmental Health and Safety - Toxicology and Exposure Guidelines (402), 472-4925.
- U.S EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (1997). *Exposure Factors Handbook (1997 Final Report) EPA/600/P-95/002a-c. I*(August 1997), 1193.
- U.S NRC - United States Nuclear Regulatory Commission. (1991)
- van Maanen, Johannes M.S., van Dijk, Anneke, Mulder, Keja, de Baets, Mark H. , Menheere, Paul C.A., van der Heide, Daan, Mertens, Paul, L.J.M., Kleinjans, Jos C.S. (1994): Consumption of drinking water with high nitrate levels causes hypertrophy of the thyroid. *Toxicology letters*, 72 (1-3), 365-374.
- Viršilas, E., Timukienė, L., & Liubšys, A. (2019). Congenital Methemoglobinemia: Rare Presentation of Cyanosis in Newborns. *Clinics and Practice*, 9(4), 1188.
- Vogt, R., Bennett, D., Cassady, D., Frost, J., Ritz, B., & Hertz-Picciotto, I. (2012). Cancer and non-cancer health effects from food contaminant exposures for children and adults in California: A risk assessment. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11(1), 1.
- Ward, M. H., Kilfoy, B. A., Weyer, P. J., Anderson, K. E., Folsom, A. R., & Cerhan, J. R. (2010). Nitrate intake and the risk of thyroid cancer and thyroid disease. *Epidemiology*, 21(3), 389-395.
- Ward, M.H, Weyer, P. , Wang A. , Cerhan, J R. (2007): Nitrate From Drinking Water and Diet and Thyroid Disorders and Thyroid Cancer Among Women . *Epidemiology*, 18: p.S169.
- Zhang, Q., Qian, H., Xu, P., Li, W., Feng, W., & Liu, R. (2021). Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District. *Journal of Cleaner Production*, 298(2), 126783.
- Δαμίγος, Δ., & Καλιαμπάκος, Δ.. (1998). *Μεθοδολογίες αξιολόγησης κινδύνου*. 1-28.
- Διαδικτυακή ιστοσελίδα Δήμου Λοκρών.
- Διαδικτυακή Σελίδα του << Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών>> - Κλιματικά δεδομένα.
- ΕΛΣΤΑΤ- Απογραφή Μόνιμου Πληθυσμού 2011.
- Θεοφάνους, Γ. *Λιπάσματα Παρουσίαση*.
- Κανελλοπούλου Ε.: <<Εφαρμοσμένη κλιματολογία>>, Αθήνα 2007, Εκδό-

σεις Συμμετρία, σελ. 32-33

- Λάμπας Ι., (2018) *Διδακτορική διατριβή: <<Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογική έρευνα παράκτιων υδατικών συστημάτων: Η περίπτωση του παράκτιου τμήματος Αταλάντης, Ν. Φθιώτιδας>>*. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Λέκκας Ε., <<Γεωλογία και Περιβάλλον>> Αθήνα 1998, σελ. 138.
- Παπαδόπουλος Γ. <<Περιγραφική Στατιστική>> - Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Μαθηματικών & Στατιστικής
- Πατρικαλάκη Ε. (2003), *Διπλωματική Εργασία: Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και της μεταφοράς νιτρικών στην περιοχή Μαλίων Ν. Ηρακλείου, Πολυτεχνείο Κρήτης.*
- Σημειώσεις βιολογικής δέσμευσης ατμοσφαιρικού αζώτου.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠ.Α.Α.Τ) (2020): <<Έλεγχος της χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών της Στερεάς Ελλάδας>> - Η λεκάνη της Αταλάντης.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υ.Π.ΕΝ) - Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013): <<1^ο σχέδιο διαχείρισης των λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας>>.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υ.Π.ΕΝ) - Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017): <<1^η αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης των λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας>>.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1^ο σενάριο για τους ενήλικες- Κατανάλωση(ingestion rate: 2 L/day, ED: 30 years)

| CDI _{ingestion} -Ενήλικες | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|---------------------|----------|---------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg· day) | RfD (mg/kg· day) | HQ _{oral} |
| AT 1 | 192,0 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 5,49 | 1,6 | 3,43 |
| AT 2 | 147,0 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 4,20 | 1,6 | 2,63 |
| AT 3 | 71,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,04 | 1,6 | 1,27 |
| AT 4 | 31,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,89 | 1,6 | 0,56 |
| AT 5 | 71,9 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,05 | 1,6 | 1,28 |
| AT 6 | 41,2 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,18 | 1,6 | 0,74 |
| AT 7 | 36,2 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,03 | 1,6 | 0,65 |
| AT 8 | 91,1 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,60 | 1,6 | 1,63 |
| AT 9 | 199,5 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 5,70 | 1,6 | 3,56 |
| AT 10 | 37,0 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,06 | 1,6 | 0,66 |
| AT 11 | 39,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,12 | 1,6 | 0,70 |
| AT 12 | 83,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,38 | 1,6 | 1,49 |
| AT 13 | 23,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,67 | 1,6 | 0,42 |
| AT 14 | 97,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,79 | 1,6 | 1,74 |
| AT 15 | 101,4 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,90 | 1,6 | 1,81 |
| AT 16 | 21,2 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,61 | 1,6 | 0,38 |
| AT 17 | 65,9 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,88 | 1,6 | 1,18 |
| AT 18 | 154,2 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 4,41 | 1,6 | 2,75 |
| AT 19 | 78,8 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,25 | 1,6 | 1,41 |
| AT 20 | 119,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 3,42 | 1,6 | 2,14 |
| AT 21 | 95,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,73 | 1,6 | 1,71 |
| AT 22 | 94,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,71 | 1,6 | 1,69 |
| AT 23 | 183,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 5,25 | 1,6 | 3,28 |
| AT 24 | 62,7 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,79 | 1,6 | 1,12 |
| AT 25 | 192,9 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 5,51 | 1,6 | 3,44 |
| AT 26 | 1,6 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,05 | 1,6 | 0,03 |
| AT 27 | 66,4 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,90 | 1,6 | 1,19 |
| AT 28 | 82,1 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,35 | 1,6 | 1,47 |
| AT 29 | 34,4 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,98 | 1,6 | 0,61 |
| AT 30 | 102,8 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,94 | 1,6 | 1,84 |
| AT 31 | 3,3 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,09 | 1,6 | 0,06 |
| AT 32 | 59,6 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,70 | 1,6 | 1,06 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|----|----|-------|------|-----|------|
| AT 33 | 53,6 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,53 | 1,6 | 0,96 |
| AT 34 | <0.5 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | | 1,6 | |
| AT 35 | 65,1 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,86 | 1,6 | 1,16 |
| AT 36 | 4,0 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,11 | 1,6 | 0,07 |
| AT 37 | 31,5 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,90 | 1,6 | 0,56 |
| AT 38 | 80,6 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 2,30 | 1,6 | 1,44 |
| AT 39 | 337,2 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 9,63 | 1,6 | 6,02 |
| AT 40 | 62,5 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 1,79 | 1,6 | 1,12 |
| AT 41 | 5,4 | 2,0 | 365 | 30 | 70 | 10950 | 0,15 | 1,6 | 0,10 |

1ο σενάριο για τα παιδιά - Κατανάλωση (ingestion rate: 1 L/day, ED: 6 years)

| CDI _{ingestion} - Παιδιά | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|---------------------|-------------|------------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg·da y) | RfD (mg/kg· day) | HQ _{oral} |
| AT 1 | 192,0 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 9,60 | 1,6 | 6,00 |
| AT 2 | 147,0 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 7,35 | 1,6 | 4,59 |
| AT 3 | 71,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,57 | 1,6 | 2,23 |
| AT 4 | 31,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,57 | 1,6 | 0,98 |
| AT 5 | 71,9 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,60 | 1,6 | 2,25 |
| AT 6 | 41,2 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 2,06 | 1,6 | 1,29 |
| AT 7 | 36,2 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,81 | 1,6 | 1,13 |
| AT 8 | 91,1 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,56 | 1,6 | 2,85 |
| AT 9 | 199,5 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 9,98 | 1,6 | 6,23 |
| AT 10 | 37,0 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,85 | 1,6 | 1,16 |
| AT 11 | 39,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,97 | 1,6 | 1,23 |
| AT 12 | 83,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,17 | 1,6 | 2,60 |
| AT 13 | 23,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,17 | 1,6 | 0,73 |
| AT 14 | 97,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,89 | 1,6 | 3,05 |
| AT 15 | 101,4 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 5,07 | 1,6 | 3,17 |
| AT 16 | 21,2 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,06 | 1,6 | 0,66 |
| AT 17 | 65,9 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,30 | 1,6 | 2,06 |
| AT 18 | 154,2 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 7,71 | 1,6 | 4,82 |
| AT 19 | 78,8 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,94 | 1,6 | 2,46 |
| AT 20 | 119,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 5,99 | 1,6 | 3,74 |
| AT 21 | 95,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,79 | 1,6 | 2,99 |
| AT 22 | 94,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,74 | 1,6 | 2,96 |
| AT 23 | 183,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 9,19 | 1,6 | 5,74 |
| AT 24 | 62,7 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,14 | 1,6 | 1,96 |
| AT 25 | 192,9 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 9,65 | 1,6 | 6,03 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|---|----|------|-------|-----|-------|
| AT 26 | 1,6 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 0,08 | 1,6 | 0,05 |
| AT 27 | 66,4 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,32 | 1,6 | 2,08 |
| AT 28 | 82,1 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,11 | 1,6 | 2,57 |
| AT 29 | 34,4 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,72 | 1,6 | 1,08 |
| AT 30 | 102,8 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 5,14 | 1,6 | 3,21 |
| AT 31 | 3,3 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 0,17 | 1,6 | 0,10 |
| AT 32 | 59,6 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 2,98 | 1,6 | 1,86 |
| AT 33 | 53,6 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 2,68 | 1,6 | 1,68 |
| AT 34 | <0.5 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | | 1,6 | |
| AT 35 | 65,1 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,26 | 1,6 | 2,03 |
| AT 36 | 4,0 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 0,20 | 1,6 | 0,13 |
| AT 37 | 31,5 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 1,58 | 1,6 | 0,98 |
| AT 38 | 80,6 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 4,03 | 1,6 | 2,52 |
| AT 39 | 337,2 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 16,86 | 1,6 | 10,54 |
| AT 40 | 62,5 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 3,13 | 1,6 | 1,95 |
| AT 41 | 5,4 | 1,0 | 365 | 6 | 20 | 2190 | 0,27 | 1,6 | 0,17 |

1^ο σενάριο για τους ενήλικες - δερματική επαφή

| CDI _{dermal} -Ενήλικες | | | | |
|---------------------------------|--|--------------------|--------------------|----------------------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | DAD (mg/kg·day) | RfD (mg/kg·day) | HQ _{dermal} |
| AT 1 | 192,0 | 0,02 | 0,8 | 0,02 |
| AT 2 | 147,0 | 0,02 | 0,8 | 0,02 |
| AT 3 | 71,3 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 4 | 31,3 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 5 | 71,9 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 6 | 41,2 | 0,00 | 0,8 | 0,01 |
| AT 7 | 36,2 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 8 | 91,1 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 9 | 199,5 | 0,02 | 0,8 | 0,03 |
| AT 10 | 37,0 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 11 | 39,3 | 0,00 | 0,8 | 0,01 |
| AT 12 | 83,3 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 13 | 23,3 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 14 | 97,7 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 15 | 101,4 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 16 | 21,2 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 17 | 65,9 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 18 | 154,2 | 0,02 | 0,8 | 0,02 |
| AT 19 | 78,8 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 20 | 119,7 | 0,01 | 0,8 | 0,02 |

Για όλα τα δείγματα ισχύουν:
 $K_i = 0,001 \text{ cm/h}$,
 $t = 0,4 \text{ h/day}$,
 $SA = 18.000 \text{ cm}^2$,
 $EV = 1 \text{ time/day}$,
 $ED = 30 \text{ years}$,
 $EF = 365 \text{ days/yr}$,
 $CF = 0,001 \text{ L/cm}^3$,
 $BW = 70 \text{ kg}$,
 $AT = 10.950 \text{ days}$

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | |
|-------|-------|------|-----|------|
| AT 21 | 95,7 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 22 | 94,7 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 23 | 183,7 | 0,02 | 0,8 | 0,02 |
| AT 24 | 62,7 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 25 | 192,9 | 0,02 | 0,8 | 0,02 |
| AT 26 | 1,6 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 27 | 66,4 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 28 | 82,1 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 29 | 34,4 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 30 | 102,8 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 31 | 3,3 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 32 | 59,6 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 33 | 53,6 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 35 | 65,1 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 36 | 4,0 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 37 | 31,5 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |
| AT 38 | 80,6 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 39 | 337,2 | 0,03 | 0,8 | 0,04 |
| AT 40 | 62,5 | 0,01 | 0,8 | 0,01 |
| AT 41 | 5,4 | 0,00 | 0,8 | 0,00 |

1^ο σενάριο για τα παιδιά - δερματική επαφή

| CDI _{dermal} - Παιδιά | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------|--------------------|----------------------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | DAD (mg/kg·day) | RfD (mg/kg·day) | HQ _{dermal} |
| AT 1 | 192,0 | 0,03 | 0,80 | 0,03 |
| AT 2 | 147,0 | 0,02 | 0,80 | 0,02 |
| AT 3 | 71,3 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 4 | 31,3 | 0,00 | 0,80 | 0,01 |
| AT 5 | 71,9 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 6 | 41,2 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 7 | 36,2 | 0,00 | 0,80 | 0,01 |
| AT 8 | 91,1 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |
| AT 9 | 199,5 | 0,03 | 0,80 | 0,03 |
| AT 10 | 37,0 | 0,00 | 0,80 | 0,01 |
| AT 11 | 39,3 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 12 | 83,3 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 13 | 23,3 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |
| AT 14 | 97,7 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |
| AT 15 | 101,4 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |

Για όλα τα δείγματα ισχύουν
 $K_i = 0,001 \text{ cm/h}$,
 $t = 0,4 \text{ h/day}$,
 $SA = 6.600 \text{ cm}^2$,
 $EV = 1 \text{ time/day}$,
 $ED = 6 \text{ years}$,
 $EF = 365 \text{ days/yr}$,
 $CF = 0,001 \text{ L/cm}^3$,
 $BW = 20 \text{ kg}$,
 $AT = 2.190 \text{ days}$

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | |
|-------|-------|------|------|------|
| AT 16 | 21,2 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |
| AT 17 | 65,9 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 18 | 154,2 | 0,02 | 0,80 | 0,03 |
| AT 19 | 78,8 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 20 | 119,7 | 0,02 | 0,80 | 0,02 |
| AT 21 | 95,7 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |
| AT 22 | 94,7 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |
| AT 23 | 183,7 | 0,02 | 0,80 | 0,03 |
| AT 24 | 62,7 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 25 | 192,9 | 0,03 | 0,80 | 0,03 |
| AT 26 | 1,6 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |
| AT 27 | 66,4 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 28 | 82,1 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 29 | 34,4 | 0,00 | 0,80 | 0,01 |
| AT 30 | 102,8 | 0,01 | 0,80 | 0,02 |
| AT 31 | 3,3 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |
| AT 32 | 59,6 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 33 | 53,6 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 35 | 65,1 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 36 | 4,0 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |
| AT 37 | 31,5 | 0,00 | 0,80 | 0,01 |
| AT 38 | 80,6 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 39 | 337,2 | 0,04 | 0,80 | 0,06 |
| AT 40 | 62,5 | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| AT 41 | 5,4 | 0,00 | 0,80 | 0,00 |

Τιμές δείκτη κινδύνου

| 1 ^η περίπτωση | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|----------------------|------|
| Για τους ενήλικες | | | | |
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | HQ _{oral} | HQ _{dermal} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 3,43 | 0,02 | 3,45 |
| AT 2 | 147,0 | 2,63 | 0,02 | 2,64 |
| AT 3 | 71,3 | 1,27 | 0,01 | 1,28 |
| AT 4 | 31,3 | 0,56 | 0,00 | 0,56 |
| AT 5 | 71,9 | 1,28 | 0,01 | 1,29 |
| AT 6 | 41,2 | 0,74 | 0,01 | 0,74 |
| AT 7 | 36,2 | 0,65 | 0,00 | 0,65 |
| AT 8 | 91,1 | 1,63 | 0,01 | 1,64 |
| AT 9 | 199,5 | 3,56 | 0,03 | 3,59 |
| AT 10 | 37,0 | 0,66 | 0,00 | 0,67 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | |
|-------|-------|------|------|------|
| AT 11 | 39,3 | 0,70 | 0,01 | 0,71 |
| AT 12 | 83,3 | 1,49 | 0,01 | 1,50 |
| AT 13 | 23,3 | 0,42 | 0,00 | 0,42 |
| AT 14 | 97,7 | 1,74 | 0,01 | 1,76 |
| AT 15 | 101,4 | 1,81 | 0,01 | 1,82 |
| AT 16 | 21,2 | 0,38 | 0,00 | 0,38 |
| AT 17 | 65,9 | 1,18 | 0,01 | 1,19 |
| AT 18 | 154,2 | 2,75 | 0,02 | 2,77 |
| AT 19 | 78,8 | 1,41 | 0,01 | 1,42 |
| AT 20 | 119,7 | 2,14 | 0,02 | 2,15 |
| AT 21 | 95,7 | 1,71 | 0,01 | 1,72 |
| AT 22 | 94,7 | 1,69 | 0,01 | 1,70 |
| AT 23 | 183,7 | 3,28 | 0,02 | 3,30 |
| AT 24 | 62,7 | 1,12 | 0,01 | 1,13 |
| AT 25 | 192,9 | 3,44 | 0,02 | 3,47 |
| AT 26 | 1,6 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| AT 27 | 66,4 | 1,19 | 0,01 | 1,19 |
| AT 28 | 82,1 | 1,47 | 0,01 | 1,48 |
| AT 29 | 34,4 | 0,61 | 0,00 | 0,62 |
| AT 30 | 102,8 | 1,84 | 0,01 | 1,85 |
| AT 31 | 3,3 | 0,06 | 0,00 | 0,06 |
| AT 32 | 59,6 | 1,06 | 0,01 | 1,07 |
| AT 33 | 53,6 | 0,96 | 0,01 | 0,96 |
| AT 35 | 65,1 | 1,16 | 0,01 | 1,17 |
| AT 36 | 4,0 | 0,07 | 0,00 | 0,07 |
| AT 37 | 31,5 | 0,56 | 0,00 | 0,57 |
| AT 38 | 80,6 | 1,44 | 0,01 | 1,45 |
| AT 39 | 337,2 | 6,02 | 0,04 | 6,06 |
| AT 40 | 62,5 | 1,12 | 0,01 | 1,12 |
| AT 41 | 5,4 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |

| 1 ^η περίπτωση | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|----------------------|------|
| Για τα παιδιά | | | | |
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | HQ _{oral} | HQ _{dermal} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 6,00 | 0,03 | 6,03 |
| AT 2 | 147,0 | 4,59 | 0,02 | 4,62 |
| AT 3 | 71,3 | 2,23 | 0,01 | 2,24 |
| AT 4 | 31,3 | 0,98 | 0,01 | 0,98 |
| AT 5 | 71,9 | 2,25 | 0,01 | 2,26 |
| AT 6 | 41,2 | 1,29 | 0,01 | 1,29 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | |
|-------|-------|-------|------|-------|
| AT 7 | 36,2 | 1,13 | 0,01 | 1,14 |
| AT 8 | 91,1 | 2,85 | 0,02 | 2,86 |
| AT 9 | 199,5 | 6,23 | 0,03 | 6,27 |
| AT 10 | 37,0 | 1,16 | 0,01 | 1,16 |
| AT 11 | 39,3 | 1,23 | 0,01 | 1,23 |
| AT 12 | 83,3 | 2,60 | 0,01 | 2,62 |
| AT 13 | 23,3 | 0,73 | 0,00 | 0,73 |
| AT 14 | 97,7 | 3,05 | 0,02 | 3,07 |
| AT 15 | 101,4 | 3,17 | 0,02 | 3,19 |
| AT 16 | 21,2 | 0,66 | 0,00 | 0,67 |
| AT 17 | 65,9 | 2,06 | 0,01 | 2,07 |
| AT 18 | 154,2 | 4,82 | 0,03 | 4,84 |
| AT 19 | 78,8 | 2,46 | 0,01 | 2,48 |
| AT 20 | 119,7 | 3,74 | 0,02 | 3,76 |
| AT 21 | 95,7 | 2,99 | 0,02 | 3,01 |
| AT 22 | 94,7 | 2,96 | 0,02 | 2,98 |
| AT 23 | 183,7 | 5,74 | 0,03 | 5,77 |
| AT 24 | 62,7 | 1,96 | 0,01 | 1,97 |
| AT 25 | 192,9 | 6,03 | 0,03 | 6,06 |
| AT 26 | 1,6 | 0,05 | 0,00 | 0,05 |
| AT 27 | 66,4 | 2,08 | 0,01 | 2,09 |
| AT 28 | 82,1 | 2,57 | 0,01 | 2,58 |
| AT 29 | 34,4 | 1,08 | 0,01 | 1,08 |
| AT 30 | 102,8 | 3,21 | 0,02 | 3,23 |
| AT 31 | 3,3 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |
| AT 32 | 59,6 | 1,86 | 0,01 | 1,87 |
| AT 33 | 53,6 | 1,68 | 0,01 | 1,68 |
| AT 35 | 65,1 | 2,03 | 0,01 | 2,05 |
| AT 36 | 4,0 | 0,13 | 0,00 | 0,13 |
| AT 37 | 31,5 | 0,98 | 0,01 | 0,99 |
| AT 38 | 80,6 | 2,52 | 0,01 | 2,53 |
| AT 39 | 337,2 | 10,54 | 0,06 | 10,59 |
| AT 40 | 62,5 | 1,95 | 0,01 | 1,96 |
| AT 41 | 5,4 | 0,17 | 0,00 | 0,17 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

2^ο σενάριο (ingestion rate: 0,5 L/day, ED: 50 days/yr ή 0,14 yrs)

| 2 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|---------------------|----------|---------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg· day) | RfD (mg/kg· day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,37 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 2 | 147,0 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,05 | 1,6 | 0,66 | 0,66 |
| AT 3 | 71,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 4 | 31,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,22 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 5 | 71,9 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 6 | 41,2 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 7 | 36,2 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 8 | 91,1 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,65 | 1,6 | 0,41 | 0,41 |
| AT 9 | 199,5 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,43 | 1,6 | 0,89 | 0,89 |
| AT 10 | 37,0 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,26 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 11 | 39,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,28 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 12 | 83,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,60 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 13 | 23,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,17 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 14 | 97,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,70 | 1,6 | 0,44 | 0,44 |
| AT 15 | 101,4 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,72 | 1,6 | 0,45 | 0,45 |
| AT 16 | 21,2 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,15 | 1,6 | 0,09 | 0,09 |
| AT 17 | 65,9 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 18 | 154,2 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,10 | 1,6 | 0,69 | 0,69 |
| AT 19 | 78,8 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,56 | 1,6 | 0,35 | 0,35 |
| AT 20 | 119,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,86 | 1,6 | 0,53 | 0,53 |
| AT 21 | 95,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,68 | 1,6 | 0,43 | 0,43 |
| AT 22 | 94,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,68 | 1,6 | 0,42 | 0,42 |
| AT 23 | 183,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,31 | 1,6 | 0,82 | 0,82 |
| AT 24 | 62,7 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 25 | 192,9 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 1,38 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 26 | 1,6 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 27 | 66,4 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,47 | 1,6 | 0,30 | 0,30 |
| AT 28 | 82,1 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,59 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 29 | 34,4 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,25 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 30 | 102,8 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,73 | 1,6 | 0,46 | 0,46 |
| AT 31 | 3,3 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,43 | 1,6 | 0,27 | 0,27 |
| AT 33 | 53,6 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,38 | 1,6 | 0,24 | 0,24 |
| AT 35 | 65,1 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 36 | 4,0 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,03 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|----|------|-----|------|------|
| AT 37 | 31,5 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 38 | 80,6 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,58 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 39 | 337,2 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 2,41 | 1,6 | 1,51 | 1,51 |
| AT 40 | 62,5 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 41 | 5,4 | 0,5 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,04 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |

3^ο σενάριο (ingestion rate: 0,2 L/day, ED: 50 days/yr ή 0,14 yrs)

| 3 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|-----------------|-------------|------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/yr) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg·day) | RfD (mg/kg·day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 2 | 147,0 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,42 | 1,6 | 0,26 | 0,26 |
| AT 3 | 71,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,20 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 4 | 31,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 5 | 71,9 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,21 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 6 | 41,2 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,12 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 7 | 36,2 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 8 | 91,1 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 9 | 199,5 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,57 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 10 | 37,0 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 11 | 39,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 12 | 83,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,24 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 13 | 23,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,07 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 14 | 97,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,28 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 15 | 101,4 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 16 | 21,2 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,06 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 17 | 65,9 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 18 | 154,2 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,44 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 19 | 78,8 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 20 | 119,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,34 | 1,6 | 0,21 | 0,21 |
| AT 21 | 95,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 22 | 94,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 23 | 183,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,52 | 1,6 | 0,33 | 0,33 |
| AT 24 | 62,7 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 25 | 192,9 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 26 | 1,6 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,00 | 1,6 | 0,00 | 0,00 |
| AT 27 | 66,4 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 28 | 82,1 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,23 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 29 | 34,4 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 30 | 102,8 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|----|------|-----|------|------|
| AT 31 | 3,3 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,17 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 33 | 53,6 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,15 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 35 | 65,1 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 36 | 4,0 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 37 | 31,5 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 38 | 80,6 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 39 | 337,2 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,96 | 1,6 | 0,60 | 0,60 |
| AT 40 | 62,5 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 41 | 5,4 | 0,2 | 365 | 0,14 | 70 | 50 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |

4^ο σενάριο (ingestion rate: 0,5 L/day, ED: 70 days/yr ή 0,19 yrs)

| 4 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------|---------------------|-------------|------------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/ yr) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/k g·day) | RfD (mg/k g·day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,37 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 2 | 147,0 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,05 | 1,6 | 0,66 | 0,66 |
| AT 3 | 71,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 4 | 31,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,22 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 5 | 71,9 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 6 | 41,2 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 7 | 36,2 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 8 | 91,1 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,65 | 1,6 | 0,41 | 0,41 |
| AT 9 | 199,5 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,43 | 1,6 | 0,89 | 0,89 |
| AT 10 | 37,0 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,26 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 11 | 39,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,28 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 12 | 83,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,60 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 13 | 23,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,17 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 14 | 97,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,70 | 1,6 | 0,44 | 0,44 |
| AT 15 | 101,4 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,72 | 1,6 | 0,45 | 0,45 |
| AT 16 | 21,2 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,15 | 1,6 | 0,09 | 0,09 |
| AT 17 | 65,9 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 18 | 154,2 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,10 | 1,6 | 0,69 | 0,69 |
| AT 19 | 78,8 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,56 | 1,6 | 0,35 | 0,35 |
| AT 20 | 119,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,86 | 1,6 | 0,53 | 0,53 |
| AT 21 | 95,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,68 | 1,6 | 0,43 | 0,43 |
| AT 22 | 94,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,68 | 1,6 | 0,42 | 0,42 |
| AT 23 | 183,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,31 | 1,6 | 0,82 | 0,82 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|----|------|-----|------|------|
| AT 24 | 62,7 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 25 | 192,9 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 1,38 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 26 | 1,6 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 27 | 66,4 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,47 | 1,6 | 0,30 | 0,30 |
| AT 28 | 82,1 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,59 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 29 | 34,4 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,25 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 30 | 102,8 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,73 | 1,6 | 0,46 | 0,46 |
| AT 31 | 3,3 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,43 | 1,6 | 0,27 | 0,27 |
| AT 33 | 53,6 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,38 | 1,6 | 0,24 | 0,24 |
| AT 35 | 65,1 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 36 | 4,0 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,03 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |
| AT 37 | 31,5 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 38 | 80,6 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,58 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 39 | 337,2 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 2,41 | 1,6 | 1,51 | 1,51 |
| AT 40 | 62,5 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 41 | 5,4 | 0,5 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,04 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |

5^ο σενάριο (ingestion rate: 0,2 L/day, ED: 70 days/yr ή 0,19 yrs)

| 5 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|-----------------|-------------|------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/yr) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg·day) | RfD (mg/kg·day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 2 | 147,0 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,42 | 1,6 | 0,26 | 0,26 |
| AT 3 | 71,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,20 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 4 | 31,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 5 | 71,9 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,21 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 6 | 41,2 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,12 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 7 | 36,2 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 8 | 91,1 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 9 | 199,5 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,57 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 10 | 37,0 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 11 | 39,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 12 | 83,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,24 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 13 | 23,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,07 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 14 | 97,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,28 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 15 | 101,4 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 16 | 21,2 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,06 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 17 | 65,9 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|----|------|-----|------|------|
| AT 18 | 154,2 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,44 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 19 | 78,8 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 20 | 119,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,34 | 1,6 | 0,21 | 0,21 |
| AT 21 | 95,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 22 | 94,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 23 | 183,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,52 | 1,6 | 0,33 | 0,33 |
| AT 24 | 62,7 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 25 | 192,9 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 26 | 1,6 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,00 | 1,6 | 0,00 | 0,00 |
| AT 27 | 66,4 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 28 | 82,1 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,23 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 29 | 34,4 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 30 | 102,8 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 31 | 3,3 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,17 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 33 | 53,6 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,15 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 35 | 65,1 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 36 | 4,0 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 37 | 31,5 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 38 | 80,6 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 39 | 337,2 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,96 | 1,6 | 0,60 | 0,60 |
| AT 40 | 62,5 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 41 | 5,4 | 0,2 | 365 | 0,19 | 70 | 70 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |

6^ο σενάριο (ingestion rate: 0,5 L/day, ED: 100 days/yr ή 0,27 yrs)

| 6 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|---------------------|----------|---------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg· day) | RfD (mg/kg· day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,37 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 2 | 147,0 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,05 | 1,6 | 0,66 | 0,66 |
| AT 3 | 71,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 4 | 31,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,22 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 5 | 71,9 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,51 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 6 | 41,2 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 7 | 36,2 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 8 | 91,1 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,65 | 1,6 | 0,41 | 0,41 |
| AT 9 | 199,5 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,43 | 1,6 | 0,89 | 0,89 |
| AT 10 | 37,0 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,26 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 11 | 39,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,28 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 12 | 83,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,60 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|-----|------|-----|------|------|
| AT 13 | 23,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,17 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 14 | 97,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,70 | 1,6 | 0,44 | 0,44 |
| AT 15 | 101,4 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,72 | 1,6 | 0,45 | 0,45 |
| AT 16 | 21,2 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,15 | 1,6 | 0,09 | 0,09 |
| AT 17 | 65,9 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 18 | 154,2 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,10 | 1,6 | 0,69 | 0,69 |
| AT 19 | 78,8 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,56 | 1,6 | 0,35 | 0,35 |
| AT 20 | 119,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,86 | 1,6 | 0,53 | 0,53 |
| AT 21 | 95,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,68 | 1,6 | 0,43 | 0,43 |
| AT 22 | 94,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,68 | 1,6 | 0,42 | 0,42 |
| AT 23 | 183,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,31 | 1,6 | 0,82 | 0,82 |
| AT 24 | 62,7 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 25 | 192,9 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,38 | 1,6 | 0,86 | 0,86 |
| AT 26 | 1,6 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 27 | 66,4 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,47 | 1,6 | 0,30 | 0,30 |
| AT 28 | 82,1 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,59 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 29 | 34,4 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,25 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 30 | 102,8 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,73 | 1,6 | 0,46 | 0,46 |
| AT 31 | 3,3 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,43 | 1,6 | 0,27 | 0,27 |
| AT 33 | 53,6 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,38 | 1,6 | 0,24 | 0,24 |
| AT 35 | 65,1 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,47 | 1,6 | 0,29 | 0,29 |
| AT 36 | 4,0 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,03 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |
| AT 37 | 31,5 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 38 | 80,6 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,58 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 39 | 337,2 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,41 | 1,6 | 1,51 | 1,51 |
| AT 40 | 62,5 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 41 | 5,4 | 0,5 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,04 | 1,6 | 0,02 | 0,02 |

7^ο σενάριο (ingestion rate: 0,2 L/day, ED: 100 days/yr ή 0,27 yrs)

| 7 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|---------------------|----------|---------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg· day) | RfD (mg/kg· day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 2 | 147,0 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,42 | 1,6 | 0,26 | 0,26 |
| AT 3 | 71,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,20 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 4 | 31,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 5 | 71,9 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,21 | 1,6 | 0,13 | 0,13 |
| AT 6 | 41,2 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,12 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 7 | 36,2 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|-----|------|-----|------|------|
| AT 8 | 91,1 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,26 | 1,6 | 0,16 | 0,16 |
| AT 9 | 199,5 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,57 | 1,6 | 0,36 | 0,36 |
| AT 10 | 37,0 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 11 | 39,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,11 | 1,6 | 0,07 | 0,07 |
| AT 12 | 83,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,24 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 13 | 23,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,07 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 14 | 97,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,28 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 15 | 101,4 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 16 | 21,2 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,06 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 17 | 65,9 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 18 | 154,2 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,44 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 19 | 78,8 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 20 | 119,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,34 | 1,6 | 0,21 | 0,21 |
| AT 21 | 95,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 22 | 94,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,27 | 1,6 | 0,17 | 0,17 |
| AT 23 | 183,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,52 | 1,6 | 0,33 | 0,33 |
| AT 24 | 62,7 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 25 | 192,9 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,55 | 1,6 | 0,34 | 0,34 |
| AT 26 | 1,6 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,00 | 1,6 | 0,00 | 0,00 |
| AT 27 | 66,4 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 28 | 82,1 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,23 | 1,6 | 0,15 | 0,15 |
| AT 29 | 34,4 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,10 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 30 | 102,8 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,29 | 1,6 | 0,18 | 0,18 |
| AT 31 | 3,3 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 32 | 59,6 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,17 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 33 | 53,6 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,15 | 1,6 | 0,10 | 0,10 |
| AT 35 | 65,1 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,19 | 1,6 | 0,12 | 0,12 |
| AT 36 | 4,0 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,01 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 37 | 31,5 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,09 | 1,6 | 0,06 | 0,06 |
| AT 38 | 80,6 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,23 | 1,6 | 0,14 | 0,14 |
| AT 39 | 337,2 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,96 | 1,6 | 0,60 | 0,60 |
| AT 40 | 62,5 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,18 | 1,6 | 0,11 | 0,11 |
| AT 41 | 5,4 | 0,2 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |

8^ο σενάριο (ingestion rate: 0,2 L/day, ED: 100 days/yr ή 0,27 yrs)

| 8 ^ο σενάριο - Ενήλικες | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------|---------------------|----------|---------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|------|
| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Ring (L/day) | EF (days/y r) | ED (yrs) | BW (kg) | AT (days) | CDI (mg/kg ·day) | RfD (mg/kg ·day) | HQ _{oral} | HI |
| AT 1 | 192,0 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,74 | 1,6 | 1,71 | 1,71 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|------|----|-----|------|-----|------|------|
| AT 2 | 147,0 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,10 | 1,6 | 1,31 | 1,31 |
| AT 3 | 71,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,02 | 1,6 | 0,64 | 0,64 |
| AT 4 | 31,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 5 | 71,9 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,03 | 1,6 | 0,64 | 0,64 |
| AT 6 | 41,2 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,59 | 1,6 | 0,37 | 0,37 |
| AT 7 | 36,2 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,52 | 1,6 | 0,32 | 0,32 |
| AT 8 | 91,1 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,30 | 1,6 | 0,81 | 0,81 |
| AT 9 | 199,5 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,85 | 1,6 | 1,78 | 1,78 |
| AT 10 | 37,0 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,53 | 1,6 | 0,33 | 0,33 |
| AT 11 | 39,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,56 | 1,6 | 0,35 | 0,35 |
| AT 12 | 83,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,19 | 1,6 | 0,74 | 0,74 |
| AT 13 | 23,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,33 | 1,6 | 0,21 | 0,21 |
| AT 14 | 97,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,40 | 1,6 | 0,87 | 0,87 |
| AT 15 | 101,4 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,45 | 1,6 | 0,91 | 0,91 |
| AT 16 | 21,2 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,30 | 1,6 | 0,19 | 0,19 |
| AT 17 | 65,9 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,94 | 1,6 | 0,59 | 0,59 |
| AT 18 | 154,2 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,20 | 1,6 | 1,38 | 1,38 |
| AT 19 | 78,8 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,13 | 1,6 | 0,70 | 0,70 |
| AT 20 | 119,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,71 | 1,6 | 1,07 | 1,07 |
| AT 21 | 95,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,37 | 1,6 | 0,85 | 0,85 |
| AT 22 | 94,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,35 | 1,6 | 0,85 | 0,85 |
| AT 23 | 183,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,62 | 1,6 | 1,64 | 1,64 |
| AT 24 | 62,7 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,90 | 1,6 | 0,56 | 0,56 |
| AT 25 | 192,9 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 2,76 | 1,6 | 1,72 | 1,72 |
| AT 26 | 1,6 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,02 | 1,6 | 0,01 | 0,01 |
| AT 27 | 66,4 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,95 | 1,6 | 0,59 | 0,59 |
| AT 28 | 82,1 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,17 | 1,6 | 0,73 | 0,73 |
| AT 29 | 34,4 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,49 | 1,6 | 0,31 | 0,31 |
| AT 30 | 102,8 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,47 | 1,6 | 0,92 | 0,92 |
| AT 31 | 3,3 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,05 | 1,6 | 0,03 | 0,03 |
| AT 32 | 59,6 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,85 | 1,6 | 0,53 | 0,53 |
| AT 33 | 53,6 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,77 | 1,6 | 0,48 | 0,48 |
| AT 35 | 65,1 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,93 | 1,6 | 0,58 | 0,58 |
| AT 36 | 4,0 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,06 | 1,6 | 0,04 | 0,04 |
| AT 37 | 31,5 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,45 | 1,6 | 0,28 | 0,28 |
| AT 38 | 80,6 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 1,15 | 1,6 | 0,72 | 0,72 |
| AT 39 | 337,2 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 4,82 | 1,6 | 3,01 | 3,01 |
| AT 40 | 62,5 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,89 | 1,6 | 0,56 | 0,56 |
| AT 41 | 5,4 | 1,0 | 365 | 0,27 | 70 | 100 | 0,08 | 1,6 | 0,05 | 0,05 |

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΤΑΛΑΝΤΗΣ

Πίνακας δείκτη νιτρορύπανσης

| sample | NO ₃ ⁻ (mg/L) | Nitrate pollution index |
|--------|--|-------------------------------|
| AT 1 | 192,0 | 8,60 |
| AT 2 | 147,0 | 6,35 |
| AT 3 | 71,3 | 2,57 |
| AT 4 | 31,3 | 0,57 |
| AT 5 | 71,9 | 2,60 |
| AT 6 | 41,2 | 1,06 |
| AT 7 | 36,2 | 0,81 |
| AT 8 | 91,1 | 3,56 |
| AT 9 | 199,5 | 8,98 |
| AT 10 | 37,0 | 0,85 |
| AT 11 | 39,3 | 0,97 |
| AT 12 | 83,3 | 3,17 |
| AT 13 | 23,3 | 0,17 |
| AT 14 | 97,7 | 3,89 |
| AT 15 | 101,4 | 4,07 |
| AT 16 | 21,2 | 0,06 |
| AT 17 | 65,9 | 2,30 |
| AT 18 | 154,2 | 6,71 |
| AT 19 | 78,8 | 2,94 |
| AT 20 | 119,7 | 4,99 |
| AT 21 | 95,7 | 3,79 |
| AT 22 | 94,7 | 3,74 |
| AT 23 | 183,7 | 8,19 |
| AT 24 | 62,7 | 2,14 |
| AT 25 | 192,9 | 8,65 |
| AT 26 | 1,6 | -0,92 |
| AT 27 | 66,4 | 2,32 |
| AT 28 | 82,1 | 3,11 |
| AT 29 | 34,4 | 0,72 |
| AT 30 | 102,8 | 4,14 |
| AT 31 | 3,3 | -0,84 |
| AT 32 | 59,6 | 1,98 |
| AT 33 | 53,6 | 1,68 |
| AT 35 | 65,1 | 2,26 |
| AT 36 | 4,0 | -0,80 |
| AT 37 | 31,5 | 0,58 |

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ**

| | | |
|-------|-------|-------|
| AT 38 | 80,6 | 3,03 |
| AT 39 | 337,2 | 15,86 |
| AT 40 | 62,5 | 2,13 |
| AT 41 | 5,4 | -0,73 |

| NPI | Δείγματα |
|---------------|-----------|
| <0 | 4 |
| 0-1 | 8 |
| 1-2 | 3 |
| 2-3 | 8 |
| >3 | 17 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 40 |