



## Η μέθοδος εκτίμησης της ολοκληρωμένης τρωτότητας υπόγειων υδροφόρων σε νιτρικά ιόντα, ως εργαλείο οριοθέτησης ευαίσθητων ζωνών νιτρορύπανσης

Δρ Ενάγγελος Τζιρίτης, Γεωλόγος, Επιστημονικός Συνεργάτης  
 Δρ Γεώργιος Αραμπατζής, Αναπληρωτής Ερευνητής  
 Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων (ΙΕΠ)

**Τ**ο άζωτο αποτελεί ένα αναγκαίο θρεπτικό στοιχείο που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Παράλληλα όμως, αποτελεί και έναν εν δυνάμει σοβαρό περιβαλλοντικό κίνδυνο, καθώς η μη ορθολογική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κόπρου έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση νιτρορύπανσης στο υδατικό περιβάλλον, με σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα υδατικά οικοσυστήματα. Οι πηγές της νιτρορύπανσης στα υπόγεια ύδατα είναι πρωτίστως ανθρωπογενείς και προέρχονται κυρίως από την έκλυση της περίσσειας αζώτου που δημιουργείται από τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Επίσης, σημαντικό πρόβλημα προκύπτει και από την άρδευση καλλιεργειών με νερό υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών, το οποίο κατά την επιστροφή του στο υδροφόρο στρώμα το εμπλουτίζει συνεχώς υποβαθμίζοντάς το ποιοτικά. Το περιβαλλοντικό πρόβλημα της νιτρορύπανσης ενισχύεται αν αναλογιστεί κανείς ότι η πλειονότητα των παραγωγικών υπόγειων υδροφόρων στην Ελλάδα αναπτύσσεται σε καρστικούς σχηματισμούς, οι οποίοι από τη φύση τους χαρακτηρίζονται από μεγάλη επιδεκτικότητα σε μόλυνση και μειωμένη φυσική ικανότητα εξασθένησης ρύπων.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου είναι σημαντικές τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Οι σπουδαιότερες εξ' αυτών σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) είναι η μεθεμογλοβινεμία στα νεογνά και ο αυξημένος κίνδυνος καρκινογένεσης στους ενήλικες. Επιπλέον, οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά δύνανται υπό προϋποθέσεις (υδραυλική επικοινωνία και τροφοδοσία μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδατικών σωμάτων) να επιφέρουν δευτερογενείς επιπτώσεις στους επιφανειακούς αποδέκτες, δημιουργώντας ή/και ενισχύοντας το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Σημαντικές επίσης είναι και οι οικονομικές προεκτάσεις, καθώς η ποιοτική επιβάρυνση ελαχιστοποιεί τα συνολικά διαθέσιμα υδατικά αποθέματα που πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές που θέτει η κείμενη νομοθεσία και τα διεθνή πρότυπα για τις διάφορες χρήσεις, ενώ παράλληλα η Ελλάδα υπόκειται σε σειρά νομικών και οικονομικών κυρώσεων για τη μη θέσπιση αποτελεσματικών μέτρων. Οι προαναφερθείσες επιπτώσεις αναμένεται να επηρεαστούν δυσμενώς από τη μεταβολή των υδρολογικών και εδαφολογικών συνθηκών λόγω της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής τις επόμενες δεκαετίες, όπου με βάση τα επικρατούντα σενάρια εκτιμάται ότι θα έχει έντονες επιπτώσεις στις ελληνικές υδρολογικές λεκάνες.

Το πρόβλημα της νιτρορύπανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε χώρες με αναπτυγμένη αγροτική παραγωγή, όπως η Ελλάδα, στην οποία τον αναπτυξιακό μοντέλο των επόμενων δεκαετιών φαίνεται να είναι στενά συνδεδεμένο με τον πρωτογενή τομέα. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων προς την κατεύθυνση της ολοκληρωμένης γεωργίας, όπως αυτή υπαγορεύεται από τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΕΚ, 2013). Αναγνωρίζοντας τη σπουδαιότητα του φαινομένου της νιτρορύπανσης η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω σειράς οδηγιών (91/676/ΕΚ, 2000/60/ΕΚ, 2006/118/ΕΚ) έχει καθορίσει ως βασικό περιβαλλοντικό στόχο τη μείωση της μόλυνσης που προκαλείται από τα νιτρικά ιόντα και συνδέεται με αγροτικές δραστηριότητες, καθώς και τη λήψη μέτρων για την αποφυγή της.

Τα μέτρα αυτά κινούνται σε τρεις βασικούς άξονες:

- α)** την περιβαλλοντική παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων,
- β)** την κατάρτιση, προώθηση και εφαρμογή κωδικών ορθής γεωργικής πρακτικής και
- γ)** το χαρακτηρισμό και οριοθέτηση ευπρόσβλητων ζωνών ρύπανσης σε νιτρικά ιόντα.

Η Ελλάδα έχει ήδη προχωρήσει στους δυο πρώτους άξονες



μέσω της λειτουργίας του εθνικού δικτύου περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτων, αλλά και της επικαιροποίησης του κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής. Όσον αφορά τον 3<sup>ο</sup> άξονα, παρόλο που αρχικά έχουν χαρακτηριστεί με γενικά κριτήρια ορισμένες περιοχές ως ευπρόσβλητες ζώνες νιτρορύπανσης, εντούτοις, είναι απαραίτητη η επικαιροποίηση τους και η βελτιστοποίηση των κριτηρίων αξιολόγησης, σύμφωνα με τα όσα υπαγορεύονται στο άρθρο 3 (παρ. 4) της Οδηγίας για τη νιτρορύπανση (91/676/EC). Προς αυτή την κατεύθυνση, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ζητήσει την επέκταση του χαρακτηρισμού «ευπρόσβλητων ζωνών νιτρορύπανσης» και για άλλες περιοχές, θεωρώντας ότι η Ελλάδα έχει εκπληρώσει ανεπαρκώς τις υποχρεώσεις που ορίζει η σχετική οδηγία 91/676/EEC, θέτοντας το ζήτημα στην κρίση του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου.

Είναι σαφές ότι το πρόβλημα της επικαιροποίησης και επέκτασης των ευπρόσβλητων ζωνών νιτρορύπανσης είναι πλέον επιτακτικό, και απαιτούνται τεκμηριωμένες προσεγγίσεις, οι οποίες θα μπορέσουν να προσδιορίσουν με αξιοπιστία τις ευπρόσβλητες περιοχές στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη συνεισφορά μιας ολοκληρωμένης μεθόδου εκτίμησης της τρωτότητας των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων σε νιτρικά ιόντα, η οποία μπορεί να λειτουργήσει συνδυαστικά με την υπάρχουσα αξιολόγηση της τρωτότητας των επιφανειακών αποδεκτών, με στόχο την ολιστική θεώρηση και χωροθέτηση των ζωνών για το σύνολο των υδατικών πόρων της χώρας.

Η N-RIVA είναι μια νέα μεθοδολογία, που αναπτύσσεται στο Ινστιτούτο Εδαφοδατικών Πόρων του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ με το έργο «Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδου εκτίμησης της ολοκληρωμένης τρωτότητας των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων σε νιτρικά ιόντα - AqVulN», στο πλαίσιο της Πράξης «Εκπόνηση σχεδίων Ερευνητικών και Τεχνολογικών Αναπτυξιακών έργων Καινοτομίας (ΑγροΕΤΑΚ)». Η νέα μέθοδος λαμβάνει υπόψη τη σημαντική συνεισφορά των προηγούμενων μεθόδων τρωτότητας που έχουν αναπτυχθεί (COP, PI, DRASTIC, SINTACS, GOD κ.λπ.), βελτιστοποιώντας όμως τα δομικά τους χαρακτηριστικά και προσαρμόζοντάς τα ικανοποιητικότερα στις ελληνικές συνθήκες.

Η φιλοσοφία της N-RIVA λαμβάνει υπόψη τις σημαντικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την κίνηση των νιτρικών ιόντων από την επιφάνεια προς τον υδροφόρο ορίζοντα και τη συγκέντρωσή τους στην κορεσμένη ζώνη, όπως:

- 1) τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής
- 2) την αρδευτική πρακτική
- 3) το τοπογραφικό ανάγλυφο και τη βλάστηση
- 4) τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά
- 5) τη γεωλογία
- 6) το είδος και τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα
- 7) τις χρήσεις γης
- 8) τις βιογεωχημικές διεργασίες στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη

Οι βασικοί άξονες στηρίζονται στις έννοιες της εσωτερικής και ειδικής τρωτότητας, που λαμβάνουν υπόψη τα εγγενή (εσωτε-

ρικά) χαρακτηριστικά του συστήματος και τις ιδιότητες του υπό εξέταση ρύπου (νιτρικά ιόντα) αντίστοιχα. Ως πιλοτικές περιοχές εφαρμογής της νέας μεθόδου έχουν επιλεγεί το ανατολικό Κωπαϊδικό πεδίο και η λεκάνη ανατολικής Θεσσαλίας.

Απώτερος στόχος της μεθόδου είναι να αποτελέσει ένα εργαλείο για τον επικαιροποιημένο, αξιόπιστο και επιστημονικά πληρέστερο προσδιορισμό των ευπρόσβλητων ζωνών νιτρορύπανσης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, στο πλαίσιο της αειφόρου αγροτικής ανάπτυξης και τη νέας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (EC, 2013), καθώς και της προστασίας των φυσικών υδατικών πόρων, όπως αυτή υπαγορεύεται από τη σχετική νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Οδηγίες 91/676/EEC, 2000/60/EC, 2006/118/EC).

Ο προσδιορισμός των νέων NVZ με τα παραπάνω κριτήρια, αναμένεται να έχει πολλά και σημαντικά οφέλη, ορισμένα εκ των οποίων είναι:

- Η συνδρομή στην εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας που αποτελεί συμβατική δέσμευση της Ελλάδας.
- Η μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης.
- Η ανάπτυξη τεχνογνωσίας που θα συμβάλλει στη διαμόρφωση και εφαρμογή της αγροτικής πολιτικής από τους διάφορους φορείς.
- Η εφαρμογή της νέας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ), η οποία μεταξύ άλλων προβλέπει την ορθολογική και βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και γενικότερα την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η μείωση των κινδύνων περιβαλλοντικής υποβάθμισης και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής αειφορίας, μέσω της σύνδεσης των κωδικών ορθών γεωργικών πρακτικών και της τρωτότητας του φυσικού συστήματος σε ρύπανση.
- Η προστασία των υπόγειων υδροφόρων, οι οποίοι αποτελούν μια ιδιαίτερα σημαντική πηγή υδατικού δυναμικού για τον αγροτικό τομέα και είναι εκ φύσεως ευάλωτοι σε περιβαλλοντικές πιέσεις (ιδιαίτερα οι καρστικοί και οι αβαθείς υδροφόροι).
- Η βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου υδατικού δυναμικού, που παράλληλα θα επιφέρει και βελτίωση στη διαθέσιμη ποσότητα με ποιοτικά αποδεκτά χαρακτηριστικά για τις διάφορες χρήσεις.
- Η έμμεση συνδρομή στην ελάττωση του φαινομένου του ευτροφισμού των επιφανειακών πόρων, που προκύπτει δευτερογενώς εξαιτίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Συμπερασματικά, η νέα μέθοδος N-RIVA μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό και την οριοθέτηση των ευαίσθητων ζωνών νιτρορύπανσης. Επίσης, η μέθοδος αυτή είναι προσαρμοσμένη στις ελληνικές συνθήκες και δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εντούτοις, δεν πρέπει να θεωρηθεί ως η μοναδική προσέγγιση προς αυτή την κατεύθυνση, καθώς σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη η επιστημονική γνώση και εμπειρία από τους ειδικούς επιστήμονες (γεωλόγους, γεωπόνους, μηχανικούς κ.λπ.) που θα πρέπει να πλαισιώσει το όποιο μεθοδολογικό εργαλείο. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της μεθόδου δε θα πρέπει να αξιολογούνται μονοσήμαντα και μονοδιάστατα, αλλά μέσα από μια ολιστική διεπιστημονική προσέγγιση η οποία θα επιτρέπει τη σωστή και βέλτιστη διασύνδεση μεταξύ των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου και της επιστημονικής κριτικής θεώρησης που στηρίζεται σε μετρήσεις, παρατηρήσεις και πραγματικά δεδομένα.