

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ, ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ MANN-KENDALL, ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ.

¹ΡΗΓΑΣ Μ., ¹ΧΡΙΣΤΟΦΗ ΧΡ., ¹ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Κ.

¹Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, mrigas@gsd.moa.gov.cy, cchristophi@gsd.moa.gov.cy, cconstantinou@gsd.moa.gov.cy

Λέξεις Κλειδιά: Υπόγεια νερά, Οδηγία 1991/676/ΕΟΚ, νιτρορύπανση, παρακολούθηση.

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζουν τα υπόγεια ύδατα της Κύπρου, είναι οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων (NO_3^-), συνεπεία της έντονης γεωργικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας. Στην παρούσα γίνεται ανάλυση των τάσεων της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα της Κύπρου με τη μέθοδο της δοκιμής Mann-Kendall. Γίνεται επίσης σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με αυτά της μεθόδου των μέσων ετήσιων τιμών τετραετίας (METT), η οποία αποτελεί τη μέθοδο που καθορίζεται για το σκοπό αυτό από σχετικό καθοδηγητικό έγγραφο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Από τα αποτελέσματα προκύπτει, ότι η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της Κύπρου παρουσιάζεται σταθερή ή/και πτωτική με εξαίρεση τις ENZ, στις οποίες υπάρχει εντονότερη η αυξητική τάση. Επίσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων προκύπτει απόκλιση αποτελεσμάτων σε ποσοστό περίπου 48% η οποία περιορίζεται πρωτίστως στις περιοχές εκτός των ENZ. Τέλος φαίνεται, πως η μέθοδος METT είναι πιο συντηρητική από τη δοκιμή Mann-Kendall σε ποσοστό 61,2% των σημείων παρακολούθησης.

TREND ANALYSIS OF NITRATE CONCENTRATION IN CYPRUS GROUNDWATERS WITH THE USE OF MANN-KENDALL TEST.

¹RIGAS MICHAEL., ¹CHRISTOFI CHRISTOS., ¹CONSTANTINOU COSTAS.

Kew words: Groundwater, Directive 1991/676/EEC, nitropollution, monitoring.

Abstract

One of the most pressing issues in Cyprus, as in many countries around the globe, is groundwater nitropollution induced by agriculture and stock-farming activities. Cyprus implements the Nitrate Directive (1991/676) through which Nitrate Vulnerable Zones (NVZs) are identified, measures aiming in improving groundwater quality status, monitoring and reporting are obligatory. Groundwater quality status, in terms of nitrate concentration, as well as the effectiveness of the measures are evaluated through yearly monitoring and quadrennial trend analysis. In this paper the trends were estimated by the Mann-Kendall method by using all available historical and current data from 247 monitoring stations (wells) covering all major groundwater bodies. A total of 7053 groundwater samples that span from 1972 up to 2016 have been subjected to Mann-Kendall test analysis. The resulting trends have been compared with those identified from the four year mean annual method, used within the framework of Nitrate Directive (1991/676) monitoring and reporting. The former shows that the trend is stable and/or decreasing for all groundwater in Cyprus, with exception those in the nitrate vulnerable areas, where the upward trend is more intense. A total of 124 out of 247 monitoring stations (50,2%) show no trend while 23,5% and 26,3% exhibit increasing and decreasing trends, respectively. Confined and fractured aquifers, exhibit the greatest number of monitoring stations with no trend. On the contrary, unconfined aquifers have more stations with increasing trend. Furthermore, most of the monitoring stations (49%) within the nitrate vulnerable areas show an upward trend, whereas in the non-vulnerable areas such increasing trend is only 17,5%. When comparing the abovementioned trends with those obtained by applying the four year mean

annual method, discrepancies have been identified, mostly outside the NVZs. More specifically, almost 48% of the stations show inconsistencies in the identified trends. It appears that the four year mean annual method, used in reporting under the Nitrates Directive, is more conservative than the Mann-Kendall test method at ~ 61,2% of the cases. The term “conservative” is used when the resulting trend of a specific method is qualitatively inferior when compared to the results of the other; i.e. increasing instead of no-trend.

1. Εισαγωγή

Στο πλαίσιο υλοποίησης των προνοιών της Οδηγίας 1991/676/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στην Κύπρο, που αφορά την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης παρακολουθεί τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) σε 222 γεωτρήσεις, στις οποίες γίνεται δειγματοληψία δύο φορές το χρόνο. Από τη διαχρονική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης (Κυπριακή Δημοκρατία, 2008, 2012, 2016) καθορίστηκαν έξι (6) ENZ, που καλύπτουν περιοχές των υπόγειων υδατικών συστημάτων των Κοκκινοχωριών, Ακρωτηρίου, Πάφου, Κίτι – Περβολιών, Πόλεως Χρυσοχούς καθώς επίσης μέρος του υπόγειου υδατικού σώματος της Κεντρικής και Δυτικής Μεσαορίας και πιο συγκεκριμένα της περιοχής Ορούντας (Κ.Δ.Π 41/2011). Η παρακολούθηση καλύπτει όλους τους κύριους υδροφόρους με ιδιαίτερη έμφαση στις ENZ. Οι περιοχές αυτές καθώς επίσης τα σημεία παρακολούθησης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1 πιο κάτω. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης γίνεται με σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών τετραετίας, σύμφωνα με καθορισμένη διαδικασία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011) και υποβάλλεται εθνική έκθεση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Μέχρι σήμερα υποβλήθηκαν εκθέσεις αξιολόγησης για τις περιόδους 2005-2008, 2009-2012 και 2013-2016. Για σκοπούς σύγκρισης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της καθορισμένης μεθοδολογίας, στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται η δοκιμή Mann Kendall (Belle et al, 1984, Berryman et al, 1988, Gibbons, R.D., 1995, Gilbert, 1987, Harcum et al, 1992, Hirsch et al, 1982, Hirsch et al, 1991, Holander and Wolfe 1973), χρησιμοποιώντας συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων από 7.150 δείγματα υπόγειου νερού, από 264 σημεία παρακολούθησης (γεωτρήσεις), που καλύπτουν την περίοδο 1972-2016.

2. Μεθοδολογία

Οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων που αξιολογήθηκαν χωρίζονται σε δύο περιόδους, η πρώτη αφορά την περίοδο 1972 - 2003 και η δεύτερη την περίοδο 2004 - 2016. Κατά την πρώτη περίοδο τα δείγματα συλλέχθηκαν σε μη τακτικά διαστήματα και σε διάφορα σημεία παρακολούθησης στο πλαίσιο εφαρμογής διαφόρων προγραμμάτων και κατατάσσονται στην κατηγορία των ιστορικών δεδομένων. Κατά τη δεύτερη περίοδο η συλλογή των δειγμάτων γινόταν, κατά κύριο λόγο, δύο φορές το χρόνο από ένα δίκτυο 222 σημείων παρακολούθησης, στο πλαίσιο εφαρμογής την Οδηγίας 1991/676 ΕΟΚ. Για τη στατιστική ανάλυση των τάσεων εφαρμόστηκε η δοκιμή Mann Kendall (Belle et al, 1984, Berryman et al, 1988, Gibbons, R.D., 1995, Gilbert, 1987, Harcum et al, 1992, Hirsch et al, 1982, Hirsch et al, 1991, Holander and Wolfe 1973) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα και από τις δύο περιόδους δειγματοληψίας με τη χρήση του λογισμικού AquaChem 2014.1.

Η δοκιμή Mann Kendall χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των τάσεων για συγκεκριμένη παράμετρο και για καθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Μπορεί να εφαρμοστεί σε μη-κανονικά κατανομημένα δεδομένα και σε δεδομένα τα οποία παρουσιάζουν μη-ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις (ND) καθώς αντικαθιστούνται χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.1, δηλαδή το ήμισυ του ελάχιστου ορίου ανίχνευσης (MDL).

$$ND = MDL * 0.5 \quad (2.1)$$

Αρχικά, γίνεται ταξινόμηση των δεδομένων σε χρονολογική σειρά x_1, x_2, \dots, x_n . Στη συνέχεια υπολογίζεται το «S» χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.2,

$$S = \sum_k \sum_j * \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.2)$$

$$\Sigma_k [1, n-1], \quad \Sigma_j [k+1, n]$$

όπου « x_j » και « x_k » είναι οι συγκεντρώσεις στις χρονιές « j » και « k » αντίστοιχα, $j > k$ και

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = 1 \text{ αν } x_j - x_k > 0, \quad \text{sgn}(x_j - x_k) = 0 \text{ αν } x_j - x_k = 0, \quad \text{sgn}(x_j - x_k) = -1 \text{ αν } x_j - x_k < 0 \quad (2.3)$$

Θετική τιμή του « S » δεικνύει αυξητική τάση. Η τάση είναι ανάλογη της τιμής του « S », με τις θετικές τιμές να δεικνύουν αυξητική τάση ενώ οι αρνητικές, πτωτική τάση. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η πιθανότητα « H_0 », η πιθανότητα δηλαδή της μη ύπαρξης τάσης για τις συγκεκριμένες τιμές « S » και του αριθμού δειγμάτων « n » (Gilbert 1987, Holander and Wolfe 1973). Η πιθανότητα αυτή συγκρίνεται με την επιθυμητή αξιοπιστία « α », που στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης καθορίστηκε στο 95% ($\alpha=0,05$). Στις περιπτώσεις που η πιθανότητα μη ύπαρξης τάσης « H_0 » είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή αξιοπιστία « α » τότε θεωρείται ότι δεν υπάρχει τάση και το αντίστροφο.

Η δοκιμή Mann Kendall χρησιμοποιήθηκε αρχικά για πλήθος μετρήσεων « n » μεγαλύτερο του 40. Παρά ταύτα αποδείχτηκε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πολύ χαμηλότερο πλήθος μετρήσεων (με ελάχιστο πλήθος μετρήσεων 10) αν και εφόσον δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός ίδιων μετρήσεων (Gilbert 1987). Σε αυτή την περίπτωση, πέραν από τον υπολογισμό της παραμέτρου « S », υπολογίζονται και οι παράμετροι VAR(S) και Z,

$$\text{VAR}(S) = 1/18 [n(n-1)(2n+5) - \Sigma_p t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (2.4)$$

$$\Sigma_p [1, q]$$

$$Z = (S-1)/\sqrt{\text{VAR}(S)} \quad \text{αν } S > 0 \quad (2.4)$$

$$Z = 0 \quad \text{αν } S = 0 \quad (2.4)$$

$$Z = 1/\sqrt{\text{VAR}(S)} \quad \text{αν } S < 0 \quad (2.4)$$

όπου « q » είναι ο αριθμός των ομάδων που περιέχουν ίδιες τιμές και « t_p » είναι ο αριθμός των ίδιων τιμών που περιέχονται στην p -ομάδα.

Η τάση είναι ανάλογη της τιμής του « Z », με τις θετικές τιμές να δεικνύουν αυξητική τάση ενώ οι αρνητικές, πτωτική τάση. Τέλος, όπως και πιο πάνω, υπολογίζεται η πιθανότητα « H_0 » η πιθανότητα δηλαδή της μη ύπαρξης τάσης η οποία συγκρίνεται με την επιθυμητή αξιοπιστία « α », που στα πλαίσια της παρούσας μελέτης καθορίστηκε στο 95% ($\alpha=0,05$). Στις περιπτώσεις που η πιθανότητα μη ύπαρξης τάσης « H_0 » είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή αξιοπιστία « α » τότε θεωρείται ότι δεν υπάρχει τάση και το αντίστροφο.

3. Αποτελέσματα

Τα δεδομένα που αξιολογήθηκαν αφορούν συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων για 7.150 δείγματα νερού από 264 σημεία παρακολούθησης, για την περίοδο 1972 έως 2016. Οι σχετικοί προσδιορισμοί έγιναν στα εργαστήρια του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης και η στατιστική περιγραφή τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Ο υπολογισμός των τάσεων έγινε με το λογισμικό AquaChem 2014.1, τα δε ποιοτικά κριτήρια και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1: Στατιστική περιγραφή αποτελεσμάτων

Table 2: Statistical description of results

Μικρότερη συγκέντρωση NO_3^-	0 mg/l
Μεγαλύτερη συγκέντρωση NO_3^-	793 mg/l
Εύρος συγκεντρώσεων NO_3^-	793 mg/l
Μέση συγκέντρωση NO_3^-	21,6 mg/l
Τυπική απόκλιση	45,1
$Q_{75} - Q_{25}$	20,9 mg/l
Αριθμός δειγμάτων	7.150
Αριθμός μη ανιχνεύσιμων δειγμάτων	714

Διακύμανση	2.035,2
------------	---------

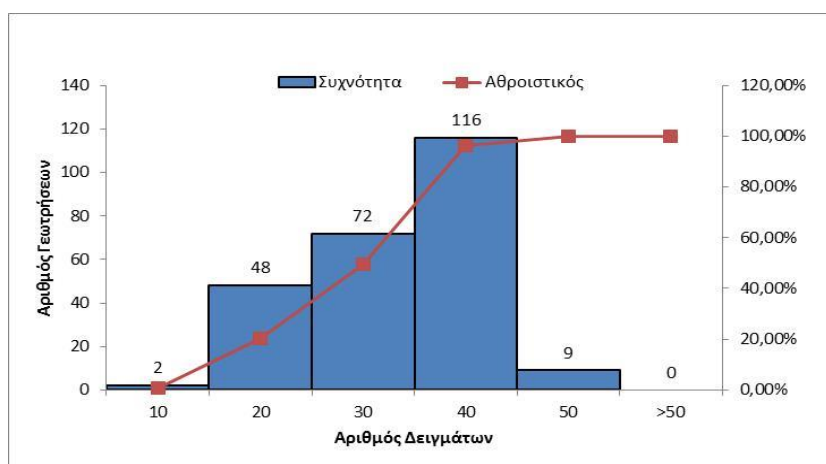
Πίνακας 3: Παράμετροι και ποιοτικά κριτήρια της ανάλυσης τάσεων

Table 4: Parameters and quality criteria of the trend analysis

Ελάχιστος αριθμός ετών με μετρήσεων, ανά σημείο παρακολούθησης	5
Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων ¹ , ανά σημείο παρακολούθησης	10
Υπολογισμός μη-ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων	ND=0.5*MDL
Μέγιστο ποσοστό μη-ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων ¹	80%
Επίπεδο εμπιστοσύνης	95%

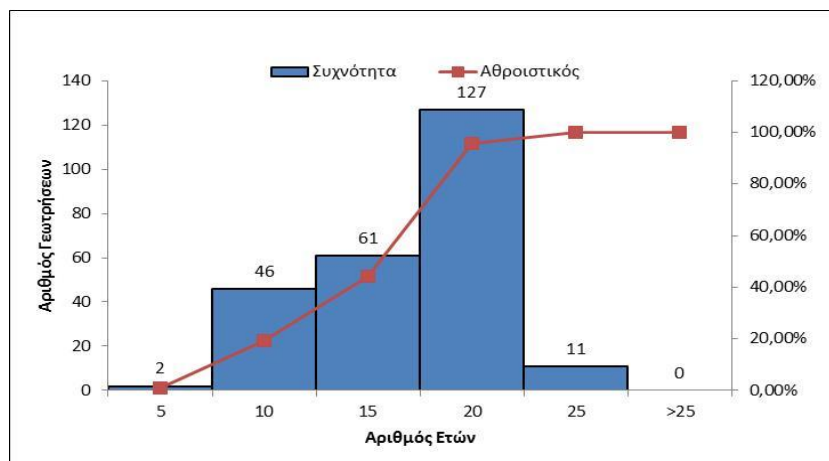
Από τα δεδομένα αυτά, 17 σημεία παρακολούθησης δεν ικανοποιούσαν τα ποιοτικά κριτήρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και συνεπώς εξαιρέθηκαν 97 μετρήσεις συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων. Έτσι στην ανάλυση των τάσεων χρησιμοποιήθηκαν 7.053 μετρήσεις συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων, από 247 σημεία παρακολούθησης, από τις οποίες 701 (9,94%) αφορούσε αποτελέσματα κάτω από τα όρια ανίχνευσης.

Στα Γραφήματα 1 και 2 παρουσιάζεται το πλήθος των σημείων παρακολούθησης σε σχέση με το πλήθος και την χρονική διάρκεια των προσδιορισμών, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, στα πλείστα των σημείων παρακολούθησης υπάρχουν πέραν των 20 μετρήσεων, ενώ υπάρχουν κατά μέσο όρο περίπου 35 μετρήσεις συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ανά σημείο. Παρόλο που μόνο 125 από τα συνολικά 247 σημεία παρακολούθησης έχουν 40 ή περισσότερες μετρήσεις συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων εκτιμάται, πως η δοκιμή Mann-Kendall μπορεί να εφαρμοστεί επειδή το πλήθος των δειγμάτων, με ίδιες παρατηρούμενες τιμές ανά σημείο παρακολούθησης, είναι αμελητέο (Γράφημα 1). Επιπλέον, υπάρχουν δεδομένα πέραν των πέντε (5) ετών, για όλα τα σημεία παρακολούθησης, με μεγαλύτερη συχνότητα αυτή των 15 έως 20 έτη (Γράφημα 2).



Γράφημα 1: Ιστόγραμμα αριθμού δειγμάτων ανά αριθμό σημείων παρακολούθησης.

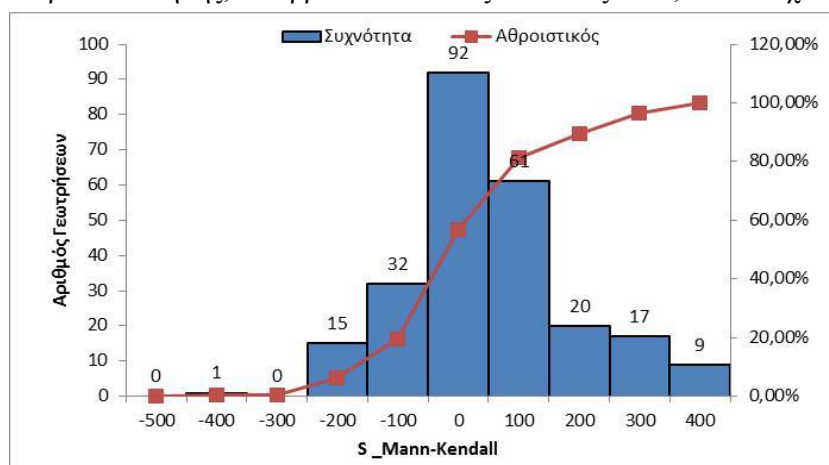
Graph 2: Histogram of the number of samples per number of monitoring station.



Γράφημα 3: Ιστογράμμα αριθμού ετών ανά αριθμό σημείων παρακολούθησης.

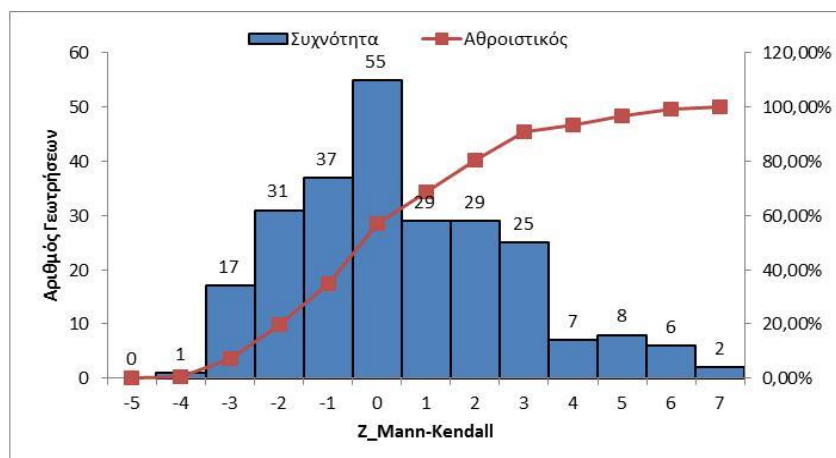
Graph 2: Histogram of the number of years per number of monitoring stations.

Τα ιστογράμματα των τιμών «S» και «Z» της δοκιμής Mann-Kendall παρουσιάζονται στα Γραφήματα 3 και 4, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής Mann-Kendall, καθώς επίσης για σκοπούς σύγκρισης, οι τάσεις της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων σύμφωνα με τη μέθοδο METT, όπως αυτές καθορίζονται στην Εθνική Έκθεση της Κύπρου για την εφαρμογή της Οδηγίας 1991/676/ΕΟΚ, για την Περίοδο 2012-2015 (Κυπριακή Δημοκρατία, 2016). Στη συγκεκριμένη έκθεση η ανάλυση των τάσεων έγινε συγκρίνοντας τις μέσες τιμές τετραετίας (\bar{y}), ανά σημείο παρακολούθησης, για τις περιόδους 2008-2011 και 2012-2015. Η μέση τιμή τετραετίας (\bar{y}) είναι η μέση τιμή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων ανά σημεία παρακολούθησης. Η εκτίμηση της Τάσης (τ) έγινε σύμφωνα με την εξίσωση 2.5 πιο κάτω. Οι τύποι υδροφόρου που αναφέρονται στον Πίνακα 3 είναι σύμφωνα με τη μέθοδο METT, ως ακολούθως: τύπος «1a»: ελεύθερος υδροφόρος βάθους 5-15 μέτρα, τύπος «1b»: ελεύθερος υδροφόρος βάθους 15-30 μέτρα, τύπος «1c»: ελεύθερος υδροφόρος βάθους >30 μέτρα, τύπος «2»: υπό πίεση υδροφόρος, τύπος «2a»: υδροφόρος σε διαρρηγμένα πετρώματα και τύπος «3»: καρστικός υδροφόρος. Περαιτέρω, στον ίδιο πίνακα οι τάσεις παρουσιάζονται με τα ακόλουθα σύμβολα: «↑»: ανοδική, «↓»: καθοδική και «↔»: μη ανιχνεύσιμη, το δε σύμβολο «n» είναι ο αριθμός των σημείων παρακολούθησης. Στο μέρος Γ του Πίνακα 3, η σύγκριση των τάσεων στη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων έγινε για 207 κοινά σημεία παρακολούθησης ενώ οι τιμές στην παρένθεση, στο μέρος Γ2, δεικνύουν τον αριθμό των σημείων παρακολούθησης, που βρίσκονται εντός και εκτός ENZ, αντίστοιχα.



Γράφημα 4: Ιστογράμμα της τιμής S της δοκιμής Mann-Kendall.

Graph 5: Histogram of the value S of the Mann-Kendall test.



Γράφημα 6: Ιστόγραμμα της τιμής Z της δοκιμής Mann-Kendall

Graph 7: Histogram of the value S of the Mann-Kendall test.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα δοκιμής Mann-Kendall σε σχέση με τη μέθοδο METT.

Table 6: Results of Mann-Kendall test in comparison to the MQAV method.

3A																				
Ανάλυση τάσεων με την δοκιμή Mann-Kendall																				
3A1: Σε σχέση με τον τύπο του υδροφορέα																				
τύπος υδροφ.	1a		1b		1c		2		2a		3		Σύνολο							
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%						
↑	0	0	21	8,5	15	6,07	6	2,4	15	6,07	1	0,4	58	23,5						
↓	0	0	14	5,67	9	3,64	12	4,9	30	12,1	0	0	65	26,3						
↔	3	1,2	25	10,1	16	6,48	21	8,5	57	23,1	2	0,8	124	50,2						
Σύνολο	3	1,2	60	24,2	40	16,2	39	15,8	102	41,3	3	1,2	247	100						
3A2: Σε σχέση με την τοποθεσία του σημείου παρακολούθησης																				
Εντός ENZ							Εκτός ENZ													
n							n													
%							%													
↑	23						49						35						17,5	
↓	8						17						57						28,5	
↔	16						34						108						54	
Σύνολο	47						100						200						100	
3B																				
Ανάλυση τάσεων με τη μέθοδο METT																				
3B1: Σε σχέση με τον τύπο του υδροφορέα																				
τύπος υδροφ.	1a		1b		1c		2		2a		3		Σύνολο							
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%						
↑	1	0,5	22	10,6	15	7,2	11	5,3	11	5,3	1	0,5	61	29,4						
↓	2	1	21	10,1	7	3,4	4	1,9	11	5,3	0	0	45	21,7						
↔	0	0	12	5,8	10	4,8	14	6,8	63	30,4	2	1	101	48,8						
Σύνολο	3	1,5	55	26,5	32	15,4	29	14,0	85	41,0	3	1,5	207	100						
3B2: Σε σχέση με την τοποθεσία του σημείου παρακολούθησης																				
Εντός ENZ							Εκτός ENZ													
n							n													
%							%													
↑	19						46,3						42						25,3	
↓	18						43,9						27						16,3	
↔	4						9,8						97						58,4	

Σύνολο	41		100		166		100				
3Γ1	Σύγκριση τάσεων που δίνουν η δοκιμή Mann-Kendall και η μέθοδος METT										
	Δοκιμή Mann-Kendall				Μέθοδος METT						
	n		%		n		%				
↑	54		26,1		61		29,5				
↓	54		26,1		45		21,7				
↔	99		47,8		101		48,8				
Σύνολο	207		100		207		100				
3Γ2	Είδος μεταβολής της τάσης μεταξύ της δοκιμής Mann-Kendall και της μεθόδου METT										
	Mann-Kendall	METT	n	Mann-Kendall	METT	n	Mann-Kendall	METT	n	Σύνολο	
										n	%
	↑	↑	38 (17, 21)	↓	↓	15 (7, 8)	↔	↔	56 (2, 54)	109 (26,83)	52
	↑	↔	8 (1, 7)	↓	↔	37 (1, 36)	↔	↓	22 (7, 15)	98	48
	↑	↓	8 (4, 4)	↓	↑	2 (0, 2)	↔	↑	21 (2, 19)	(15,83)	

	Πιο συντηρητική η Mann-Kendall
	Πιο συντηρητική η μέθοδος METT

$$\tau = \text{αύξηση όταν } \bar{y}_{2012-2015} - \bar{y}_{2008-2011} > 1 \quad (2.5)$$

$$\tau = \text{μείωση όταν } \bar{y}_{2012-2015} - \bar{y}_{2008-2011} < -1 \quad (2.5)$$

$$\tau = \text{σταθερή όταν } \bar{y}_{2012-2015} - \bar{y}_{2008-2011} < 1 \text{ και } > -1 \quad (2.5)$$

4. Συζήτηση

Από τα 247 σημεία παρακολούθησης οι 124, ή ένα ποσοστό 50,2%, δεν παρουσιάζουν τάση, ενώ στο υπόλοιπο ποσοστό παρατηρείται ανοδική ή πτωτική τάση σε περίπου ίδιο ποσοστό και συγκεκριμένα 23,5% και 26,3%, αντίστοιχα (Πίνακας 3Α1, Εικόνα 1 και Γραφήματα 3 και 4). Επιπλέον, το μεγαλύτερο ποσοστό των σημείων παρακολούθησης, που παρουσιάζουν κάποιες μορφής τάση (ανοδική ή πτωτική), η τάση αυτή δεν είναι έντονη με εξαίρεση το 17% των περιπτώσεων, όπου χαρακτηρίζεται ως έντονη. Περαιτέρω, έντονη τάση παρατηρείται σε μεγαλύτερη συχνότητα στις περιπτώσεις ανοδικών τάσεων παρά πτωτικών (Γράφημα 3 και 4). Λόγω του περιορισμένου αριθμού σημείων παρακολούθησης, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τους ελεύθερους υδροφόρους πολύ ψηλής στάθμης (<15 μέτρων) και για τους καρστικούς υδροφόρους (τύποι 1a και 3). Οι υπό πίεση υδροφόροι (τύπος 2) καθώς επίσης οι υδροφόροι που αναπτύσσονται στα διαρρηγμένα πετρώματα της οφιολιθικής ακολουθίας του Τροόδους (τύπος 2α), παρουσιάζουν το μεγαλύτερο αριθμό σημείων με μη ανιχνεύσιμη τάση (21 και 57, αντίστοιχα). Οι υδροφόροι που αναπτύσσονται σε πετρώματα της οφιολιθικής ακολουθίας του Τροόδους παρουσιάζονται στις πλείστες των περιπτώσεων ως υπό πίεση υδροφόροι, πρωτίστως κατάντη της περιοχής εμπλουτισμού. Συνεπώς, τόσο σε αυτές τις περιπτώσεις όσο και στους υπό πίεση κλαστικούς υδροφόρους, φαίνεται να επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες για αποτροπή της άμεσης / γρήγορης ρύπανσης του υπόγειου νερού με νιτρικά ιόντα. Αντίθετα, στην περίπτωση των ελεύθερων υδροφόρων με στάθμη 15-30 μέτρα και >30 μέτρων (τύποι 1b και 1c) παρουσιάζονται αθροιστικά τα μεγαλύτερα ποσοστά ανοδικών τάσεων στις συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων, ακολουθούμενοι από τους υδροφόρους στα διερρηγμένα πετρώματα (Πίνακας 3Α1). Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της υψηλής τρωτότητας τόσο των ελεύθερων υδροφόρων όσο και αυτών που αναπτύσσονται στα διερρηγμένα πετρώματα, ιδιαίτερα στις περιοχές άμεσου εμπλουτισμού τους. Περαιτέρω, τα

πλείστα των σημείων παρακολούθησης εντός ENZ (49%) παρουσιάζουν ανοδική τάση, κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται είτε σε ιστορική ρύπανση ή/και σε υστέρηση στην απόδοση των μέτρων προστασίας, που έχουν ληφθεί μέχρι σήμερα (Πίνακας 3Α2). Παρά ταύτα σημειώνεται, ότι η αύξηση αυτή είναι πολύ μικρότερη (17,5%) στις μη ευπρόσβλητες περιοχές. Τάσεις μείωσης στη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά παρατηρούνται σχεδόν σε όλους τους τύπους των υδροφόρων σε παρόμοια ποσοστά με εξαίρεση τους υδροφόρους στα διεργημένα πετρώματα, όπου η μείωση είναι διπλάσια και φτάνει το 12,1% (Πίνακας 3Α1). Περαιτέρω, οι πτωτικές τάσεις παρατηρούνται σε μεγαλύτερα ποσοστά στις περιοχές εκτός ENZ και πρωτίστως στο οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους, όπου ενδεχόμενα να υπάρχει μείωση των πιέσεων, ως αποτέλεσμα της μείωσης του πληθυσμού των κοινοτήτων της περιοχής, με παράλληλη μείωση των γεωργικών δραστηριοτήτων.

Τέλος, συγκρίνοντας τις τάσεις που προκύπτουν από τη δοκιμή Mann-Kendall με αυτές που προκύπτουν από τη μέθοδο METT, φαίνεται, πως υπάρχει ταύτιση αποτελεσμάτων σε 109 από τα 207 σημεία παρακολούθησης, δηλαδή σε ποσοστό 52% ενώ υπάρχει απόκλιση σε 98 σημεία παρακολούθησης, δηλαδή σε ποσοστό 48% (Πίνακας 3Γ2). Οι αυξητικές τάσεις επιβεβαιώνονται και από τις δύο μεθόδους σε 38 από τα 207 κοινά σημεία παρακολούθησης (18,4%), οι πτωτικές τάσεις σε 15 σημεία παρακολούθησης (7,2%) και οι μη ανιχνεύσιμη τάση σε 56 σημεία παρακολούθησης (27,1%). Από τα 98 σημεία παρακολούθησης, στα οποία παρατηρείται απόκλιση των δύο μεθόδων, στα 38 σημεία ή ένα ποσοστό 38,8% η δοκιμή Mann-Kendall φαίνεται να είναι πιο συντηρητική μέθοδος ενώ στα υπόλοιπα 60 σημεία ή ένα ποσοστό 61,2% η μέθοδος METT είναι πιο συντηρητική. Σημειώνεται, πως ο όρος συντηρητική χρησιμοποιείται όταν μια μέθοδος δίνει ποιοτικά κατώτερη τάση, σε σχέση με κάποια άλλη μέθοδο. Ποιοτικά κατώτερη τάση είναι η τάση η οποία υποδηλώνει περαιτέρω υποβάθμιση, δηλαδή αυξητική τάση σε αντιπαράθεση με πτωτική ή μη ανιχνεύσιμη τάση. Από την εφαρμογή της δοκιμή Mann-Kendall, αναγνωρίζονται περισσότερες πτωτικές τάσεις και λιγότερες ανοδικές τάσεις σε σχέση με τη μέθοδο METT (Πίνακας 3Γ1). Συγκεκριμένα αναγνωρίζονται 9 περισσότερες πτωτικές τάσεις και 7 λιγότερες ανοδικές τάσεις. Σε ότι αφορά τα σημεία παρακολούθησης στα οποία παρουσιάζονται μη ανιχνεύσιμες τάσεις τόσο η δοκιμή Mann-Kendall όσο και η μέθοδος METT αναγνωρίζουν περίπου τον ίδιο αριθμό, 99 και 101 σημεία αντίστοιχα. Επισημαίνεται επίσης, ότι οι περιοχές εντός ENZ παρουσιάζουν ταύτιση σε 26 από τα 41 σημεία παρακολούθησης, δηλαδή σε ποσοστό περίπου 63% και απόκλιση σε 15 σημεία, ποσοστό περίπου 37%. Αντίθετα, από τα 166 κοινά σημεία εκτός ENZ παρουσιάζεται ταύτιση και απόκλιση σε ακριβώς ίδιο αριθμό σημείων (83 ταύτιση, 83 απόκλιση).

Συμπερασματικά, από τα 207 σημεία παρακολούθησης στα οποία εφαρμόστηκαν και οι δύο μέθοδοι, η μέθοδος METT είναι πιο συντηρητική από τη δοκιμή Mann-Kendall (Πίνακας 3Γ2) συνολικά σε 60 σημεία, πρωτίστως εκτός των ENZ. Αυτό, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός, ότι στη μέθοδο METT δεν λαμβάνονται υπόψη όλα τα διαθέσιμα (ιστορικά) στοιχεία ή/και στο γεγονός ότι το κριτήριο που εφαρμόζεται, η αυξομείωση δηλαδή της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων της τετραετίας κατά μόλις 1mg/l, είναι πολύ μικρή.

Συνοψίζοντας, η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της Κύπρου παρουσιάζεται σταθερή ή/και πτωτική με εξαίρεση τις ENZ, στις οποίες υπάρχει εντονότερη η αυξητική τάση. Επίσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων προκύπτει απόκλιση αποτελεσμάτων σε ποσοστό περίπου 48% η οποία περιορίζεται πρωτίστως στις περιοχές εκτός των ENZ. Τέλος φαίνεται, πως η μέθοδος METT είναι πιο συντηρητική από την δοκιμή Mann-Kendall σε ποσοστό 61,2% των σημείων παρακολούθησης.

5. Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες στο προσωπικό του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης για τη* συλλογή και ανάλυση των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

6. Αναφορές

Εθνική Έκθεση της Κύπρου 2004-2007 σε σχέση με την Εφαρμογή της Οδηγίας για την Προστασία των Νερών από την Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης, Οκτώβριος 2008.

Εθνική Έκθεση της Κύπρου 2008-2011 σε σχέση με την Εφαρμογή της Οδηγίας για την Προστασία των Νερών από την Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης, Οκτώβριος 2012.

Εθνική Έκθεση της Κύπρου 2012-2015 σε σχέση με την Εφαρμογή της Οδηγίας για την Προστασία των Νερών από την Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης, Ιούνιος 2016.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011: Κατάσταση και εξέλιξη του υδάτινου περιβάλλοντος και των γεωργικών πρακτικών. Οδηγός για την σύνταξη των εκθέσεων των κρατών μελών.

Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1991, Οδηγία 91/676/ΕΟΚ για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 375 της 31/12/1991 σ. 0001 – 0008.

Belle V. G. and Hughes P. J. (1984). Nonparametric Tests for Trend in Water Quality. *Water Resources Research*, Vol. 20, NO 1: 127-136.

Berryman D., Bobée B., Cluis D., and Haemmerli J (1988). Nonparametric Tests for Trend in Water Quality Time Series. *Water Resources Bulletin*. American Water Resources Association, Vol. 24, NO.3

Gibbons, R.D., (1995): *Statistical Methods for Groundwater Monitoring*.

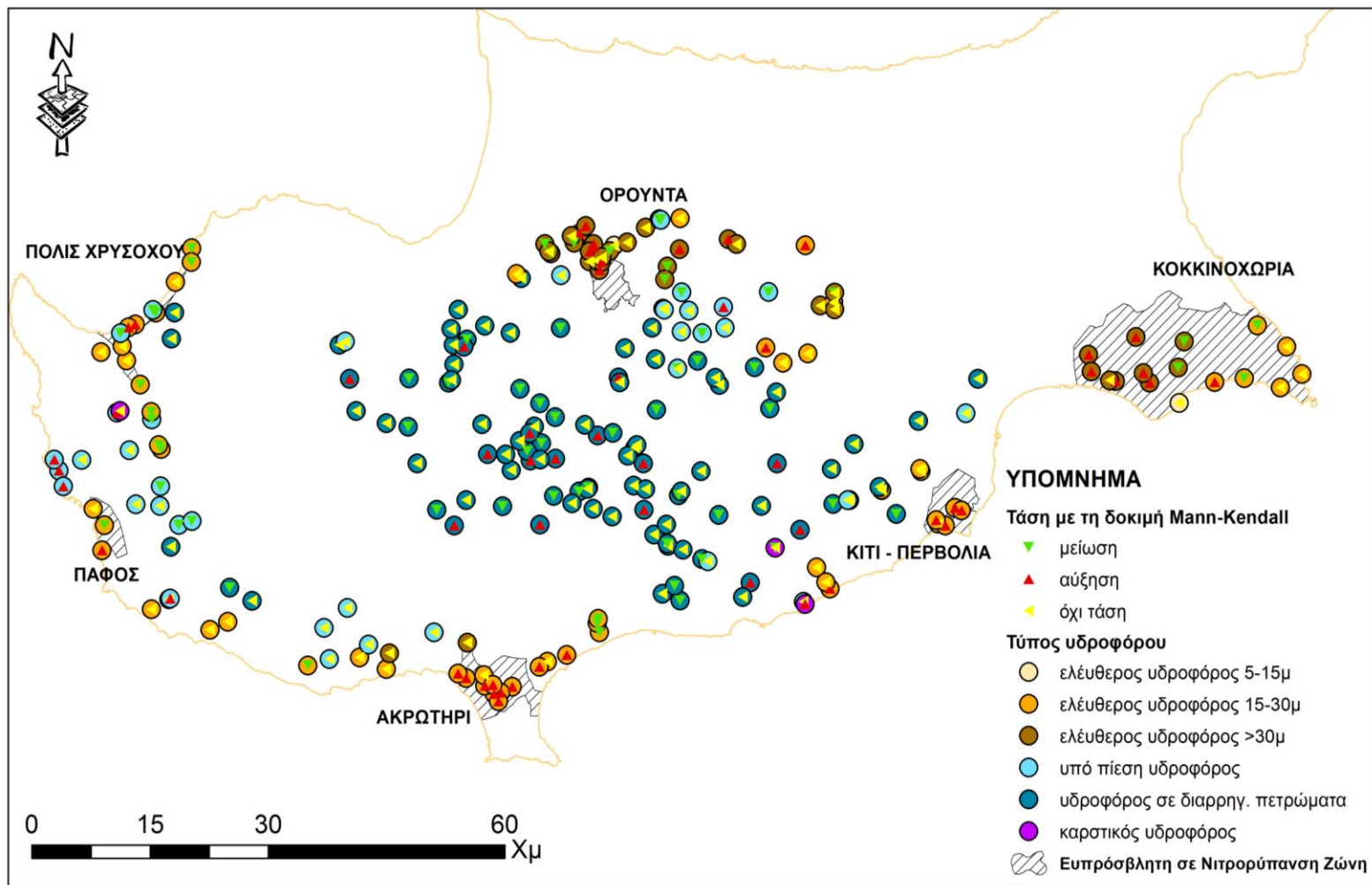
Harcum B. J., Loftis Jim C. J. and Ward C. R. (1992) *Water Resources Bulletin*. Selecting Trend Tests for Water Quality Series with Serial Correlations and Missing Values. American Water Resources Association, Vol. 28, NO.3

Hirsch M. R., Slack R. J. and Smith A. R. (1982). Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research*, Vol. 18, NO 1: 107-121.

Hirsch M. R., Alexander B. R. and Smith A. R. (1991). Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality. *Water Resources Research*, Vol. 27, NO 5: 803-813.

Holander, M.,D. A. Wolfe, (1973). *Nonparametric statistical methods*. John Wiley & Sons, New York-Sydney-Tokyo-Mexico City.

Richard O. Gilbert, (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Pacific Northwest Laboratory.



Εικόνα 1: Κατανομή των τάσεων των συγκεντρώσεων NO_3^- στα υπόγεια ύδατα της Κύπρου ανά τύπο υδροφόρου και ανά σημείο παρακολούθησης.

Map 2: Distribution of NO_3^- concentration trends in Cyprus' groundwaters per aquifer type and monitoring station.