



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μεθοδολογία Πολυδιάστατης Ανάλυσης Δεδομένων Ποιότητας Πόσιμου Νερού σε Συνδυασμό με τον Δείκτη Ποιότητας CCME

ΑΝΘΕΝΑΪΣ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ-ΑΡΜΑΔΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αμαλία Μωρίκη

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2023

**Μεθοδολογία Πολυδιάστατης Ανάλυσης
Δεδομένων Ποιότητας Πόσιμου Νερού σε Συνδυασμό
με τον Δείκτη Ποιότητας CCME**

**Methodology for Multivariate Analysis of Drinking
Water Quality Data in Combination with the CCME
Quality Index**

ANTHENAIS PANTAZOPOULOU-ARMADA

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Ελεγχθείσες παράμετροι	8
1.2 Νομικό πλαίσιο δειγματοληψιών.....	8
1.3 Σημασία ύπαρξης δεικτών ποιότητας νερού.....	10
1.4 Δείκτης ποιότητας νερού CCME	10
1.5 Ανάλυση συστάδων	13
2. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	16
3.1 Μεθοδολογία του δείκτη CCME και MWQI	16
3.2 Μεθοδολογία της Ανάλυσης Συστάδων κατά Ward	17
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	19
4.1 Ανάλυση δεδομένων με τη βοήθεια του δείκτη MWQI.....	19
4.2 Στατιστική Ανάλυση - Ανάλυση Συστάδων.....	30
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	35
5.1 Χρησιμότητα στατιστικής ανάλυσης	35
5.2 Χρησιμότητα δείκτη ποιότητας νερού	36
5.3 Πολυπλοκότητα των δειγμάτων φυσικού νερού	37
5.4 Σημαντικότερες παράμετροι	37
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή κ. Δημήτρη Πετρίδη, για τη βοήθεια και τη συμβολή του στην εφαρμογή της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων της εργασίας.

Τα δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου, αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του Δήμου Αριστοτέλη, Διεύθυνση Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Πόσιμου Νερού:

http://www.dimosaristoteli.gr/gr/municipality/water_resources.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δείκτες ποιότητας νερού αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της ποιότητας του πόσιμου νερού. Μια τροποποίηση του Canadian Water Quality Index (CWQI) εφαρμόστηκε σε δεδομένα ποιότητας νερού από μια περιφερειακή περιοχή της Χαλκιδικής, στην Ελλάδα, προκειμένου να παρέχει ένα απλό εργαλείο για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Πραγματοποιήθηκε επίσης πολυπαραγοντική στατιστική ανάλυση, η ανάλυση συστάδων, ως συμπληρωματικό εργαλείο για τη διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των πηγών νερού της περιοχής. Τα υδάτινα σώματα που ελέγχθηκαν αφορούσαν τόσο σημεία παροχής νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όσο και υπόγεια ύδατα. Οι παράμετροι που αναλύθηκαν ήταν η αγωγιμότητα, το Ph και η σκληρότητα του νερού, τα κατιόντα μετάλλων, το υπολειμματικό χλώριο, τα ολικά κολοβακτηρίδια και ο συνολικός αριθμός αερόβιων μικροοργανισμών (ΟΜΧ) στους 22οC και στους 36οC.

Ο CWQI βασίζεται στον υπολογισμό των τιμών που υπερβαίνουν τα νόμιμα όρια και πληροί τις απαιτήσεις της πρόσφατης Οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2020/2184 για την ποιότητα του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Η νέα Οδηγία εισάγει δύο σημαντικά ζητήματα α) την αξιολόγηση κινδύνου της ασφάλειας και β) την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων της ποιότητας του νερού στο κοινό.

Η παρούσα εργασία παρέχει ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για την ανάλυση ενός συνόλου δεδομένων ποιότητας νερού, προσεγγίζοντάς τη βάσει του κινδύνου της ασφάλειας του νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση. Ο Δείκτης Ποιότητας Νερού και η μεθοδολογία ανάλυσης συστάδων μπορούν να διευκολύνουν και να προάγουν διορθωτικές ενέργειες, προγράμματα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού και κοινοποίηση των αποτελεσμάτων στους ενδιαφερόμενους φορείς και τους καταναλωτές.

Λέξεις κλειδιά: δείκτης ποιότητας νερού, ανάλυση συστάδων, ασφάλεια πόσιμου νερού

ABSTRACT

Water Quality indices are a useful tool in assessing environmental impacts and drinking water quality. A modification of the Canadian Water Quality Index (CWQI) has been applied in water quality data from a regional area in Halkidiki, Greece, in order to provide a simple tool for assessing water quality. Multivariate statistical analysis, cluster analysis, was also performed as a complementary tool for the investigation of the physicochemical characteristics of water sources in the area. Water supplies concerned both community water supplies and ground water. The parameters analyzed were conductivity, pH, hardness, metal cations, residual chloride, total coliforms and total number of aerobic microorganisms at 22oC and 36oC.

The CWQI is based on the calculation of the values that exceed the legal limits and meets the requirements of the recent European Union Directive 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption. The new Directive introduces two important issues a) safety risk assessment and b) communication of water quality results to the public.

The present work provides a comprehensive tool for the analysis of water quality data sets on a risk-based approach to water safety for human consumption. Water Quality Index and cluster analysis methodology can support and facilitate remedial actions, quality monitoring programs and communication of the results to stakeholders and consumers.

Keywords: water quality index, cluster analysis, drinking water safety

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα του νερού αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα παγκοσμίως. Ο όρος «ποιότητα» του νερού περιγράφει τις φυσικές, χημικές, βιολογικές και αισθητικές ιδιότητες του νερού. Αυτές καθορίζουν και την καταλληλότητα του νερού για τις διάφορες χρήσεις του. Καταρχάς, το νερό στην καθαρή του μορφή περιέχει μόνο μόρια νερού (H₂O) και όχι άλλες ουσίες. Επειδή όμως το νερό διαθέτει την ικανότητα να διαλύει ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα ουσιών, σπάνια συναντάται στη φύση με αυτή του την μορφή. Έτσι, συνήθως, περιέχει και άλλες επιπρόσθετες ουσίες, στις οποίες περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων μικροοργανισμοί, όπως ιοί, πρωτόζωα και βακτήρια, ανόργανοι ρύποι, παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα καθώς και άλλοι ραδιενεργοί ρύποι. Και φυσικά, η παρουσία αυτών των ουσιών – ρύπων επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του νερού. (Uddin et al., 2021)

Η ρύπανση των υδάτων έχει διάφορες αιτίες όπως οι βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η κτηνοτροφία, η παραγωγή και η διάθεση των απορριμμάτων καθώς και φυσικές διεργασίες όπως η αυξημένη απορροή ιζημάτων και η διάβρωση του εδάφους. Επιπλέον, οι εποχιακές αλλαγές και οι μη σημειακές πηγές ρύπανσης που προκύπτουν από επιφανειακές απορροές και υπόγεια νερά σε αστικές περιοχές μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του νερού. Συνεπώς, η αξιολόγηση της ποιότητάς του είναι πολύ σημαντική για τη δημόσια υγεία και ασφάλεια. (Bilgin, 2018)

Για την προστασία του πόσιμου νερού έχουν καθιερωθεί διεθνώς πρότυπα ποιότητας από σημαντικούς διεθνείς οργανισμούς και υπηρεσίες. Μεταξύ αυτών ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ), ο οποίος έχει εκδώσει κατευθυντήριες οδηγίες, οι οποίες αφορούν στους μικροβιακούς και χημικούς ρύπους στο πόσιμο νερό και περιγράφουν με λεπτομέρεια τις επιστημονικές διαδικασίες καθιέρωσης των οδηγιών αυτών. Επίσης, τα όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και πρωτοβουλίες ευρωπαϊών πολιτών με πρόσφατη την Right2Water, έχουν ασχοληθεί ενεργά με την προστασία του πόσιμου νερού. (European Union, 2018)

1.1 Ελεγχθείσες παράμετροι

Στα δείγματα νερού που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία έχουν ελεγχθεί εικοσιτέσσερες (24) παράμετροι, οι οποίες είναι:

- α) Φυσικοχημικές:** η αγωγιμότητα, το pH, η σκληρότητα, το αμμώνιο, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, το υπόλειμμα ελεύθερου χλωρίου, τα χλωριούχα, το Ασβέστιο και το Μαγνήσιο,
- β) Μέταλλα και Τοξικά Στοιχεία:** το Βάριο, ο Χαλκός, ο Σίδηρος, το Μαγγάνιο, ο Ψευδάργυρος, το Αρσενικό, το Κάδμιο, το Χρώμιο, το Νικέλιο, ο Μόλυβδος και
- γ) Μικροβιολογικές:** τα Ολικά Κολοβακτηριοειδή, η E.Coli, οι Εντερόκοκκοι και η O.M.X.

1.2 Νομικό πλαίσιο δειγματοληψιών

Τα σημεία τήρησης (δηλαδή σημεία από τα οποία βγαίνει νερό ανθρώπινης κατανάλωσης) έχουν επιλεγεί και η δειγματοληψία έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις που ορίζει η οδηγία 2020/2184. Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς της παρακολούθησης και της απόδειξης της συμμόρφωσης με την οδηγία, με εξαίρεση τη θολότητα, επικυρώνονται και τεκμηριώνονται σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO/IEC 17025 ή άλλα ισοδύναμα πρότυπα που είναι αποδεκτά σε διεθνές επίπεδο.

Η ποιότητα του νερού παρακολουθείται τακτικά προκειμένου να ελέγχεται αν το νερό που διατίθεται στους καταναλωτές πληροί τις απαιτήσεις της οδηγίας, και ιδίως τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται. Δείγματα νερού, τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητάς του, λαμβάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Διερευνάται αμέσως κάθε παράλειψη της τήρησης των παραμετρικών τιμών, ώστε να εντοπίζονται τα αίτια.

Αν τυχόν σε κάποια μέτρηση το νερό δεν συμμορφώνεται με τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται από την οδηγία 2020/2184, λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ο κίνδυνος, όπως κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας, προκειμένου να μεταβληθεί η φύση ή οι ιδιότητες του νερού πριν από τη διάθεσή του. Επιπλέον, οι ενδιαφερόμενοι καταναλωτές ενημερώνονται δεόντως και λαμβάνουν οδηγίες για ενδεχόμενες πρόσθετες επανορθωτικές ενέργειες που θα πρέπει να αναλάβουν.

Στις εξεταζόμενες περιοχές διασφαλίζεται επίσης ότι τα υλικά που έρχονται σε επαφή με το νερό δεν:

- α) θέτουν σε κίνδυνο άμεσα ή έμμεσα την προστασία της ανθρώπινης υγείας, όπως προβλέπει η οδηγία
- β) επηρεάζουν αρνητικά το χρώμα, την οσμή ή τη γεύση του νερού
- γ) ενισχύουν την ανάπτυξη μικροβίων
- δ) επιμολύνουν το νερό σε επίπεδα υψηλότερα από τα αναγκαία για τον επιδιωκόμενο σκοπό του υλικού

καθώς χρησιμοποιούνται μόνο εκείνα που περιλαμβάνονται στους ευρωπαϊκούς θετικούς καταλόγους.

Δημιουργούνται, και στη συνέχεια επικαιροποιούνται ετησίως, σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα παρακολούθησης σε περιπτώσεις υπέρβασης των παραμετρικών τιμών και πληροφορίες σχετικά με τις επανορθωτικές ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν. Οι φορείς ύδρευσης και οι αρμόδιες αρχές έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες, ιδίως δε, οι σχετικοί φορείς ύδρευσης έχουν πρόσβαση και στα αποτελέσματα της παρακολούθησης.

Τέλος, τα ακόλουθα σημεία είναι προσβάσιμα και από τους καταναλωτές ηλεκτρονικά, με εξατομικευμένο και φιλικό προς τον χρήστη τρόπο, προκειμένου να καθίστανται γνώστες όλων των πληροφοριών που τους ενδιαφέρουν:

1) προσδιορισμός του σχετικού φορέα ύδρευσης, της περιοχής και του αριθμού των ατόμων στους οποίους παρέχεται το νερό, και της μεθόδου παραγωγής νερού, συμπεριλαμβανομένων γενικών πληροφοριών σχετικά με τους τρόπους επεξεργασίας και απολύμανσης νερού που εφαρμόζονται

2) τα πλέον πρόσφατα αποτελέσματα παρακολούθησης για τις παραμέτρους που απαριθμούνται στην οδηγία 2020/2184, συμπεριλαμβανομένης της συχνότητας παρακολούθησης, μαζί με την παραμετρική τιμή που καθορίζεται

3) πληροφορίες και οι σχετικές τους τιμές για τις παραμέτρους: α) σκληρότητα και β) ανόργανα στοιχεία, ανιόντα/κατιόντα διαλυμένα σε νερό: Ασβέστιο, Μαγνήσιο, Κάλιο

4) πληροφορίες σχετικά με τους δυνητικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και τις συναφείς συμβουλές για την υγεία και την κατανάλωση

5) πληροφορίες σχετικές με την εκτίμηση κινδύνου του συστήματος υδροδότησης. (Eur-lex, 2022)

1.3 Σημασία ύπαρξης δεικτών ποιότητας νερού

Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται μαθηματικά υπολογιζόμενοι δείκτες (WQIs) για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού στα υδάτινα σώματα, καθώς στο παρελθόν οι διάφορες μελέτες ανέλυαν διαφορετικές παραμέτρους καθιστώντας έτσι δύσκολη τη σύγκριση των υδάτινων πόρων. Οι δείκτες ποιότητας νερού είναι εργαλεία ή μεθοδολογίες που συνδυάζουν μια λίστα παραμέτρων ποιότητας νερού και τις τιμές αυτών, σε μια ενιαία τιμή (βαθμολογία) η οποία, μετά από σύγκριση με γνωστά εύρη αυτής της τιμής, επιτρέπει τον προσδιορισμό της κατάστασης ποιότητας του νερού του υδάτινου συστήματος και την ταξινόμηση ως προς αυτήν. (Khan H. et al., 2005). Οι τιμές των παραμέτρων μετρούνται σε ένα δείγμα νερού, το οποίο λαμβάνεται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία από ένα υδάτινο σώμα. Το κύριο πλεονέκτημα της εφαρμογής δεικτών ποιότητας νερού είναι η απλοποίηση που παρέχουν στη συγχώνευση μεγάλου όγκου ποιοτικών δεδομένων σε μια μοναδική τιμή και στην παρουσίαση μιας κατανοητής από όλους περιγραφής της ποιότητας (π.χ. εξαιρετική, μέτρια, κακή κ.λπ.). Έτσι, ο δείκτης ποιότητας νερού είναι ένα αποτελεσματικό και χρήσιμο εργαλείο που αντανακλά την ποιότητα του νερού σε μια τοποθεσία δειγματοληψίας. (Al-Janabi & Al-Obaidy, 2015), (Alexakis et al., 2016).

1.4 Δείκτης ποιότητας νερού CCME

Το Καναδικό Υπουργείο Περιβάλλοντος (Canadian Council of Ministers of the Environment-CCME) ανέπτυξε τον CCME Water Quality Index (CCME WQI), ο οποίος είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός δείκτης, με σκοπό την επικοινωνία ζητημάτων ποιότητας νερού σε επιστήμονες, υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και ενδιαφερόμενους φορείς. Ο CCME WQI χρησιμοποιείται ευρέως παγκοσμίως και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων. Μερικά απ' αυτά είναι η συμμόρφωση με διαφορετικές νομικές απαιτήσεις και διαφορετικές χρήσεις νερού, η δυνατότητα για αξιολόγηση της ποιότητας του νερού σε συγκεκριμένες περιοχές, η ευελιξία στα κριτήρια επιλογής, η ανοχή σε ελλιπή δεδομένα, ενώ δεν απαιτεί συγκεκριμένες μεταβλητές-παραμέτρους, στόχους και περιόδους για να προσδιοριστεί και μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τις τοπικές

συνθήκες και ιδιαιτερότητες. Συνεπώς καθίσταται εύχρηστος και προσφέρει ευκολία στον υπολογισμό, την ανάγνωση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. (Mukatea et al., 2019)

Χρειάζεται τουλάχιστον τέσσερα δείγματα για να υπολογιστεί, αλλά δεν υπάρχει μέγιστος αριθμός μεταβλητών και δειγμάτων - είναι στην ευχέρεια του ερευνητή. Είναι όμως προφανές ότι η επιλογή ενός μικρού αριθμού μεταβλητών, οι οποίες δεν επιτυγχάνουν τους στόχους, θα παρέχει μια διαφορετική εικόνα από ότι εάν ληφθεί υπόψη ένας μεγάλος αριθμός μεταβλητών, από τις οποίες μόνο μερικές δεν πληρούν τους στόχους. Εναπόκειται στην επαγγελματική κρίση του χρήστη να καθορίσει ποιές και πόσες μεταβλητές θα πρέπει να περιλαμβάνονται στον CCME WQI για να συνοψίσει καλύτερα την ποιότητα του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. (Limited, 2014).

Για τους υπολογισμούς της ποιότητας του νερού στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο MWQI (Modified WQI), ο οποίος είναι ένας δείκτης που, σε αντίθεση με άλλους, παρουσιάζει ανεξαρτησία από κάποιο συγκεκριμένο σετ ποιοτικών παραμέτρων και ευαισθησία σε ατομικές κακές παραμέτρους. Ο MWQI αποτελεί τροποποίηση και μοιάζει στη συμπεριφορά με τον CCME WQI, αλλά δίνει πιο δίκαια αποτελέσματα σε περιπτώσεις που οι στατιστικοί παράγοντες του CCME WQI παρουσιάζουν λανθασμένα την πραγματικότητα. Ο CCME WQI, και κατά συνέπεια ο MWQI, παίρνει τιμές 0 έως 100, όπου το 100 δείχνει ότι οι μεταβλητές είναι πολύ κοντά στα σημεία αναφοράς (άριστο). Ισχύει πάντα $CCME\ WQI \leq MWQI$.

Εύρος Τιμών	Κατάταξη	Λεπτομέρειες Κατάταξης
95-100	Άριστη	Η ποιότητα του νερού εξασφαλίζεται, αφού πρακτικά δεν απειλείται από τίποτα, με τις συνθήκες που επικρατούν να είναι πολύ κοντά στα φυσιολογικά επίπεδα.
80-94	Καλή	Η ποιότητα του νερού παραμένει εξασφαλισμένη, με μία μικρή πιθανότητα να απειληθεί ή να μειωθεί.

		Οι συνθήκες σπάνια αποκλίνουν από τα φυσιολογικά ή επιθυμητά επίπεδα.
65-79	Μέτρια	Συνήθως η ποιότητα του νερού είναι εξασφαλισμένη αλλά κατά καιρούς μπορεί να απειληθεί ή να χειροτερεύσει. Οι συνθήκες μερικές φορές αποκλίνουν από τα φυσιολογικά ή επιθυμητά επίπεδα
45-64	Οριακή	Πολύ συχνά η ποιότητα του νερού απειλείται ή χειροτερεύει. Οι συνθήκες αρκετές φορές αποκλίνουν από τα φυσιολογικά ή επιθυμητά επίπεδα
0-44	Κακή	Το νερό είναι σχεδόν πάντα υπό απειλή ή αλλοιωμένο. Οι συνθήκες συνήθως αποκλίνουν από τα φυσιολογικά ή επιθυμητά επίπεδα.

Εικόνα 1 Πεδία τιμών, κατηγοριοποίηση και επεξήγηση κατηγοριών του δείκτη CCME WQI

Η χρήση του MWQI έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- ως παγκόσμιος δείκτης ποιότητας για όλες τις μεμονωμένες παραμέτρους, μπορεί να δίνει μια κατάταξη ποιότητας καλύτερη από τη χειρότερη μεμονωμένη παράμετρο
- αντιπροσωπεύει περισσότερο έναν μέσο όρο σχετικά με τις μετρούμενες τιμές όλων των παραμέτρων ποιότητας και, ως εκ τούτου, δεν είναι ευαίσθητος σε μία κακή παράμετρο
- αν υπάρχει μία παράμετρος ποιότητας που χαρακτηρίζει το νερό ως «κακό», ο MWQI είναι πιο κατάλληλος
- έχει μεγαλύτερη μνήμη, συνεπώς αποφεύγεται το Pathological Memory Effect, δηλαδή δεν «ξεχνιέται» κάποιο κακό τεστ ακόμα κι αν έγινε τον πρώτο χρόνο των μετρήσεων και υπήρξε βελτίωση στη συνέχεια, σε αντίθεση με τον CCME WQI

- επιτρέπει την ευελιξία στην επιλογή παραμέτρων έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν εύκολα να τον τροποποιήσουν και να τον προσαρμόσουν σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες και ζητήματα. (Bich et al., 2020)

1.5 Ανάλυση συστάδων

Η ανάλυση συστάδων είναι μία στατιστική ανάλυση η οποία διευθετεί ένα σύνολο μεταβλητών ή παρατηρήσεων σε συγκεκριμένες ομάδες που διαθέτουν κατ' ιδίαν κοινά χαρακτηριστικά, ευκρινώς διαφοροποιημένα από εκείνα των άλλων ομάδων. Η απόσταση των στοιχείων στο χώρο μετρείται με τους ειδικούς συντελεστές ομοιότητας και η σύνδεσή τους προς δημιουργία συστάδων με ομοειδές περιεχόμενο τιμών εκάστη πραγματοποιείται με ειδικές μεθόδους διασύνδεσης, ιεραρχικού ή μη χαρακτήρα. Η ανάλυση συστάδων δρα επικουρικά με τις αναλύσεις κοινών παραγόντων και κύριων συνιστωσών, και η μελέτη περίπτωσης της ανάλυσης συστάδων αποτελεί επέκταση και συγκερασμό των παραπάνω αναλύσεων. Η μελέτη ταξιδόμησης των στοιχείων, απαιτεί επιτακτικά τη συνδυαστική γνώση των αναλύσεων κοινών παραγόντων και κύριων συνιστωσών και επιπρόσθετα την ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των ομάδων για την στατιστική εκτίμηση των διαφορετικών δράσεων των μεταβλητών μεταξύ των ομάδων.

Η ανάλυση συστάδων ή ταξιδόμησης των στοιχείων (Cluster analysis) εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εντάσσονται σε ίδιες συστάδες (ομάδες) στοιχεία (παρατηρήσεις) περισσότερο όμοια μεταξύ τους παρά σε οποιοσδήποτε άλλες. Αυτό επιτυγχάνεται με την επισταμένη επιλογή και διευθέτηση των στοιχείων σε ομάδες παρατηρήσεων με συγγενικά χαρακτηριστικά και με τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Κάθε ομάδα διαθέτει ομοειδή σύσταση σε σχέση με κάποια χαρακτηριστικά, δηλαδή οι παρατηρήσεις σε αυτές έχουν τιμές σχεδόν όμοιες μεταξύ τους
- Κάθε ομάδα οφείλει να διαφέρει από τις υπόλοιπες ως προς ίδια χαρακτηριστικά, δηλαδή οι τιμές μιας ομάδας θα πρέπει να διαφέρουν σε μέγεθος κλίμακας από τις τιμές άλλων ομάδων.

Η ανάλυση συστάδων πραγματοποιείται με τη χρήση πολυάριθμων αλγορίθμων με τελείως διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους ως προς τον τρόπο λειτουργίας και το βαθμό απόδοσής τους και επεξεργάζεται συστάδες οι οποίες εννοιολογικά σημαίνουν αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων, πυκνές περιοχές με σημεία στο χώρο, ειδικές κατανομές στοιχείων

κτλ. Η διαλογή των στοιχείων στις ομάδες γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η σύνδεση μεταξύ δύο στοιχείων να μεγιστοποιείται στην περίπτωση που ανήκουν στην ίδια ομάδα, ειδικά να ελαχιστοποιείται. Με τον τρόπο αυτόν η ανάλυση συστάδων προάγει την ανεύρεση ειδικών σχέσεων μεταξύ των στοιχείων, χωρίς να παρέχει ανάλογες εξηγήσεις ή ερμηνείες, χωρίς δηλαδή να εξηγεί την ύπαρξη σχέσεων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτεί καμία *a priori* υπόθεση για να ξεκινήσει τη διερευνητική διαδικασία στα στοιχεία γι' αυτό και δεν απαιτείται η εφαρμογή στατιστικών ελέγχων για τη σημαντικότητα των αποτελεσμάτων που εξάγονται.

Ο τρόπος ταξινόμησης των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η ομαδοποίηση κατά Ward. Βασίζεται στην εφαρμογή της ανάλυσης της διακύμανσης στις παρατηρήσεις των ομάδων με σκοπό την εκτίμηση των αποστάσεων μεταξύ των ομάδων. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας μεταξύ δύο εξεταζόμενων ομάδων που σχηματίζονται σε κάθε διαδοχικό στάδιο της ιεραρχικής ταξινόμησης των ομάδων. Θεωρείται ως η πλέον αποτελεσματική μέθοδος, έχει όμως το μειονέκτημα να σχηματίζει ομάδες πολύ μικρού μεγέθους. (Πετρίδης, 2019)

2.ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της εφαρμογής δείκτη ποιότητας του νερού και μεθόδων πολυδιάστατης ανάλυσης σε βάσεις δεδομένων ελληνικών περιοχών και η εκτίμηση της επάρκειας τους για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την επικοινωνία τους στους αρμόδιους για τη λήψη αποφάσεων και τους πολίτες.

3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Μεθοδολογία του δείκτη CCME και MWQI

Ο υπολογισμός του δείκτη CCME βασίζεται σε τρεις παράγοντες:

- 1) **Scope** (Πεδίο): συμβολίζεται με F1 και αντιπροσωπεύει τον αριθμό των μεταβλητών των οποίων οι στόχοι δεν επιτυγχάνονται ("αποτυχημένες μεταβλητές") σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των μεταβλητών που μετρήθηκαν:

F1 = αποτυχημένες μεταβλητές/συνολικές μεταβλητές*100

- 2) **Frequency** (Συχνότητα): συμβολίζεται με F2 και αντιπροσωπεύει τη συχνότητα με την οποία δεν επιτυγχάνονται οι στόχοι ("αποτυχημένες δοκιμές"):

F2 = αποτυχημένα τεστ/συνολικά τεστ *100

- 3) **Amplitude** (Πλάτος): συμβολίζεται με F3, αντιπροσωπεύει το ποσό κατά το οποίο δεν επιτυγχάνονται οι στόχοι και υπολογίζεται σε τρία βήματα:

Βήμα 1: υπολογίζουμε τις αποκλίσεις (excursions):

-αν η τιμή δεν έπρεπε να *υπερβαίνει* ένα συγκεκριμένο όριο τότε η απόκλιση ορίζεται ως:
(τιμή/όριο)-1

-αν η τιμή δεν έπρεπε να *πέφτει κάτω* από ένα συγκεκριμένο όριο τότε η απόκλιση ορίζεται ως: (όριο/τιμή)-1

Στην περίπτωση που το όριο είναι 0 και η τιμή δεν πρέπει να υπερβεί το όριο (πρώτη περίπτωση υπολογισμού) τότε ως όριο λαμβάνεται η τιμή 0.001 .

Βήμα 2: υπολογίζουμε το normalized sum of excursions ή *nse*:

$nse = \text{άθροισμα αποκλίσεων} / \text{αριθμό τεστ}$

Βήμα 3: υπολογίζουμε το F3:

F3 = $nse / (0,01 * nse + 0,01) = (nse / nse + 1) * 100$

Τελικά:

- $CCME\ WQI = 100 - \frac{\sqrt{f1^2+f2^2+f3^2}}{1.732}$

και

- $MWQI = 100 - \sqrt[3]{f1 * f2 * f3}$ ή $100 - (f1 * f2 * f3)^{1/3}$

Όλα τα παραπάνω ισχύουν στην περίπτωση που υπήρχε μία τουλάχιστον μέτρηση βρέθηκε εκτός ορίου. Σε αντίθετη περίπτωση όπου καμία μεταβλητή δεν βρίσκεται εκτός ορίων, θα ισχύει $F1=F2=F3=0$ και $CCME\ WQI = MWQI = 100$, δηλαδή το νερό αξιολογείται ως «άριστο».

Στις ειδικές περιπτώσεις που υπάρχει μόνο μία ελεγχόμενη παράμετρος σε τουλάχιστον δύο δείγματα ή περισσότερες από μία παράμετροι σε ένα μόνο δείγμα τότε ο υπολογισμός του δείκτη τροποποιείται ως εξής:

$$CCME\ WQI = 100 - \frac{\sqrt{f2^2+f3^2}}{\sqrt{2}}$$

Και αντίστοιχα ο MWQI:

$$MWQI = 100 - \sqrt{f2 * f3}$$

Ο MWQI βελτιώνει τον CCME WQI και βασίζεται στην αντίληψη ότι τα F1, F2 και F3 είναι περισσότερο διαφορετικές οπτικές της ποιότητας του νερού παρά ανεξάρτητες συντεταγμένες ενός διανύσματος. (Bich et al., 2020)

3.2 Μεθοδολογία της Ανάλυσης Συστάδων κατά Ward

Η μέθοδος αυτή δεν υπολογίζει αποστάσεις μεταξύ των ομάδων αλλά σχηματίζει ομάδες μεγιστοποιώντας την ομοιογένεια μέσα στις ομάδες. Αυτό σημαίνει ότι ελαχιστοποιεί τη μεταβλητότητα μεταξύ των τιμών σε κάθε ομάδα με μία υπολογιστική διαδικασία γνωστή και ως σφάλμα μέσα στις ομάδες.

$$ESS = \sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

Ακολουθεί η τεχνική σύνθεσης δενδρογράμματος. Η λειτουργία των αλγόριθμων ταξιδόμησης στηρίζεται στη συνένωση στοιχείων (παρατηρήσεων) σε ολοένα μεγαλύτερες ομάδες χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύνδεσης την ομοιότητα ή αλλιώς την απόσταση μεταξύ των στοιχείων. Ένα τυπικό αποτέλεσμα της ταξιδόμησης είναι η δημιουργία του ιεραρχικού δέντρου. Στο γράφημα που προκύπτει και στα αριστερά αυτού, κάθε στοιχείο αποτελεί και μία ιεραρχική κλάση (ομάδα). Στη συνέχεια, τα στοιχεία συνδέονται όλο και περισσότερο μεταξύ τους, έτσι συγχωνεύονται σταδιακά σε μεγαλύτερες ομάδες με ολοένα και περισσότερα ανόμοια πλέον στοιχεία και τελικά όλα τα στοιχεία συνενώνονται μαζί. Ο οριζόντιος άξονας περιγράφει την κλίμακα σύνδεσης και σε κάθε κόμβο (σημείο συνένωσης δύο ομάδων) αναγνωρίζουμε την τιμή της σύνδεσης στην οποία τα συγκεκριμένα στοιχεία συνδέθηκαν μαζί για να δημιουργήσουν μία νέα ομάδα. Όταν τα στοιχεία περιέχουν μία φανερή δομή σχετικά με ομάδες ομοειδών στοιχείων τότε αυτή η δομή καταφαίνεται στο ιεραρχικό δέντρο με τη μορφή διακριτών κλάδων. Με τον τρόπο αυτό εύκολα διακρίνουμε τις ομάδες (κλάδους) και μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα με βάση την ιδιομορφία αυτή. (Πετρίδης, 2019)

4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ανάλυση δεδομένων με τη βοήθεια του δείκτη MWQI

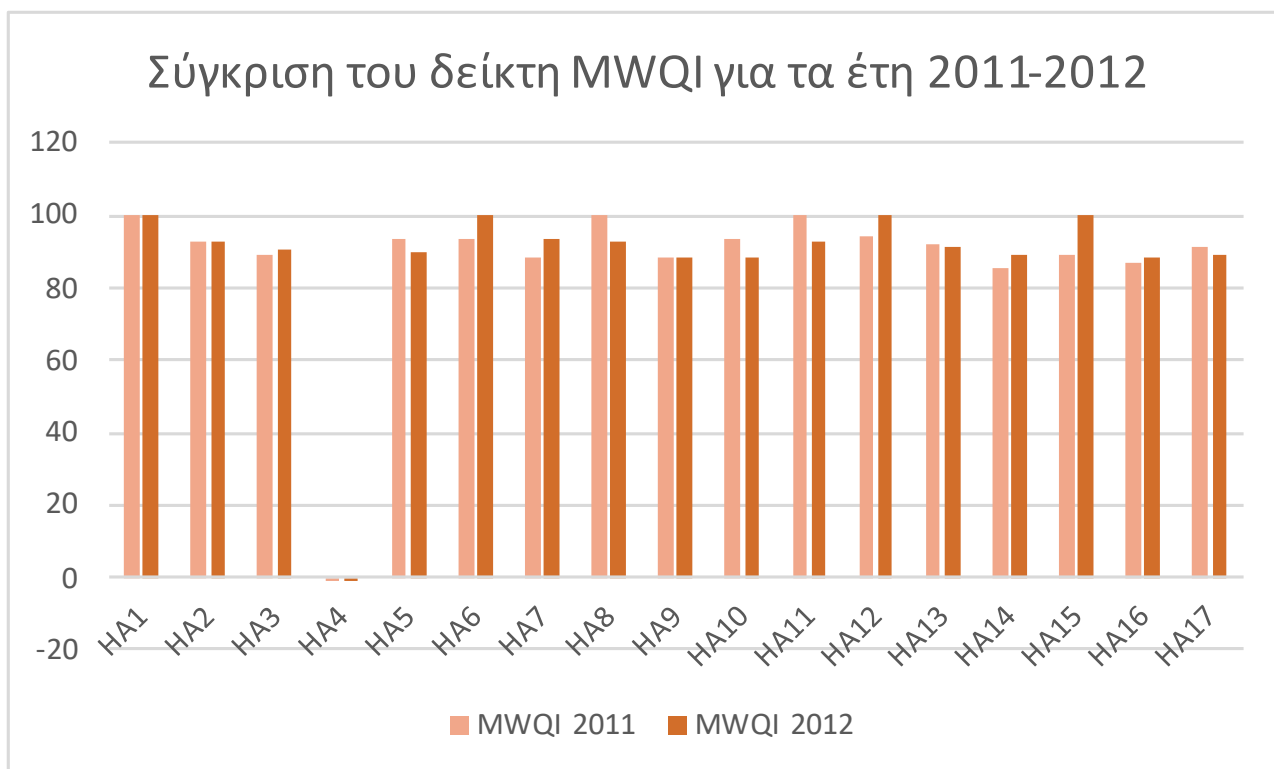
Ο δείκτης MWQI εφαρμόστηκε στα δεδομένα μετρήσεων των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων, μετάλλων και τοξικών στοιχείων του νερού, από δεκαεφτά περιοχές - δημοτικά διαμερίσματα της Χαλκιδικής, για τα έτη 2011-2019. Τα δείγματα έχουν ληφθεί από σημεία (κτήρια/εγκαταστάσεις) στα οποία από τις βρύσες βγαίνει νερό για ανθρώπινη κατανάλωση. Από τις περιοχές HA3,HA7,HA9 έχουν ληφθεί δείγματα και από πηγές. Παρατίθενται οι πίνακες των αποτελεσμάτων και γραφικές συγκρίσεις αυτών.

2011		
Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	100	Άριστη
HA2	92,54	Καλή
HA3	89,14	Καλή
HA4	(δεν έγινε μέτρηση)	-
HA5	93,49	Καλή
HA6	93,57	Καλή
HA7	88,21	Καλή
HA8	100	Άριστη
HA9	88,13	Καλή
HA10	93,35	Καλή
HA11	100	Άριστη
HA12	94,11	Καλή
HA13	92,41	Καλή
HA14	85,81	Καλή
HA15	88,96	Καλή
HA16	87,28	Καλή
HA17	91,65	Καλή

Πίνακας 1 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2011

2012		
Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	100	Άριστη
HA2	93,14	Καλή
HA3	90,65	Καλή
HA4	(δεν έγινε μέτρηση)	-
HA5	89,6	Καλή
HA6	100	Άριστη
HA7	93,38	Καλή
HA8	93	Καλή
HA9	88,42	Καλή
HA10	88,65	Καλή
HA11	93,17	Καλή
HA12	100	Άριστη
HA13	91,64	Καλή
HA14	89,47	Καλή
HA15	100	Άριστη
HA16	88,11	Καλή
HA17	88,87	Καλή

Πίνακας 2 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2012



Εικόνα 1 Σύγκριση των τιμών του δείκτη MWQI κατά τα έτη 2011 και 2012

Μεταξύ των ετών 2011-2012 παρατηρούμε πως σε έξι περιοχές ο δείκτης παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητος, επομένως και η κατάταξη του νερού σε αυτές. Παρουσίασε αύξηση σε πέντε περιοχές που είχαν τον χαρακτηρισμό «καλή», εκ των οποίων τρεις μετέβησαν σε κατάταξη «άριστη» και μείωση σε ισάριθμες περιοχές, εκ των οποίων 2 μετέβησαν σε κατάταξη «καλή». Δεν υπάρχουν καταχωρημένες μετρήσεις για την περιοχή HA4 κατ' αυτήν τη διετία. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως η συνολική εικόνα βελτιώθηκε το 2012 με τέσσερις περιοχές να αξιολογούνται ως «άριστες» και όλες οι υπόλοιπες ως «καλές», σε αντίθεση με το 2011 που οι «άριστες» περιοχές ήταν τρεις. Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί πως ο δείκτης δεν έπεσε ποτέ κάτω από το 80 και την κατάταξη «καλή», χαρακτηρίζοντας έτσι μια πολύ καλή διετία όσον αφορά την ποιότητα του νερού.

Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
---------------------------------------	------	----------

HA1	100	Άριστη
HA2	100	Άριστη
HA3	92,26	Καλή
HA4	(δεν έγινε μέτρηση)	-
HA5	92,86	Καλή
HA6	100	Άριστη
HA7	100	Άριστη
HA8	90,85	Καλή
HA9	88,57	Καλή
HA10	90,69	Καλή
HA11	92,46	Καλή
HA12	100	Άριστη
HA13	90,76	Καλή
HA14	90,99	Καλή
HA15	87,38	Καλή
HA16	87,99	Καλή
HA17	89,34	Καλή

Πίνακας 3 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον ΜWQI για το έτος 2013

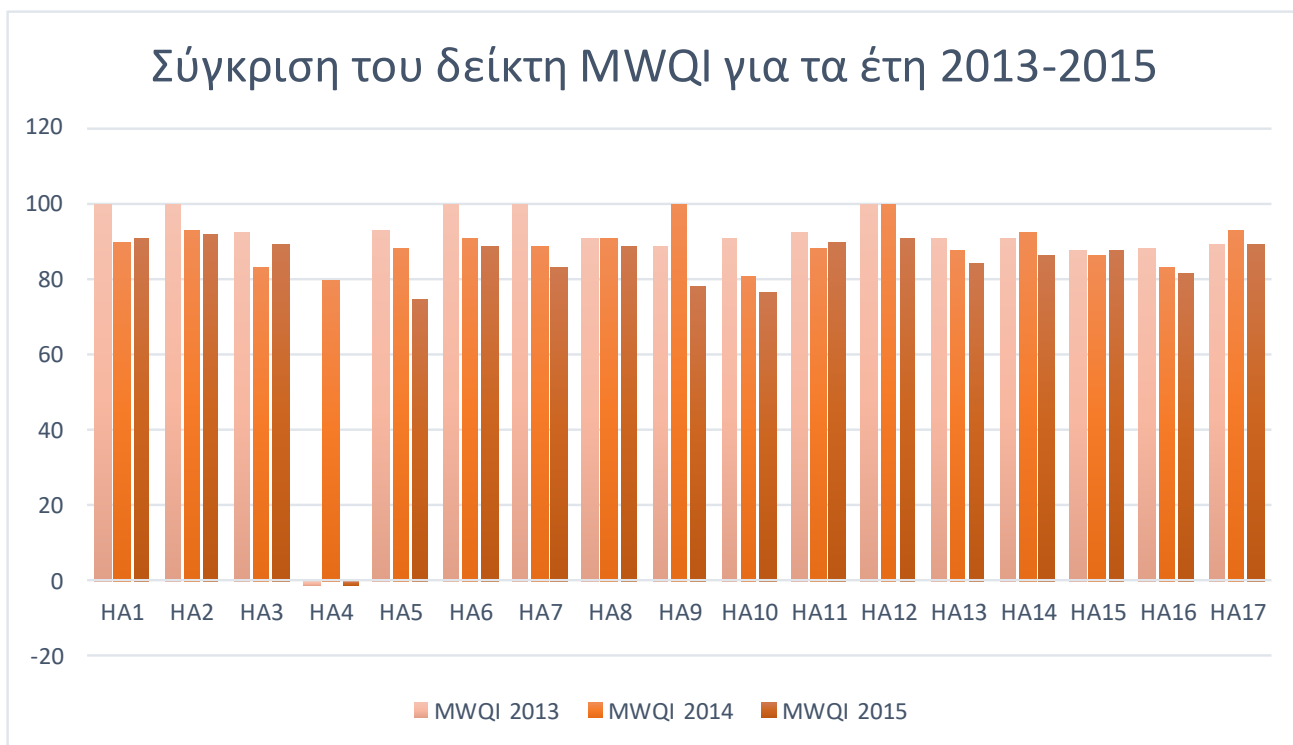
Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	ΜWQI	Κατάταξη
HA1	89,67	Καλή
HA2	93,07	Καλή
HA3	83,11	Καλή
HA4	79,59	Μέτρια
HA5	88,05	Καλή
HA6	91,11	Καλή
HA7	88,79	Καλή
HA8	90,67	Καλή
HA9	100	Άριστη
HA10	81,11	Καλή

HA11	87,99	Καλή
HA12	100	Άριστη
HA13	87,48	Καλή
HA14	92,65	Καλή
HA15	86,54	Καλή
HA16	83,09	Καλή
HA17	92,83	Καλή

Πίνακας 4 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2014

Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	90,73	Καλή
HA2	92,07	Καλή
HA3	89,40	Καλή
HA4	(δεν έγινε μέτρηση)	-
HA5	75,03	Μέτρια
HA6	88,54	Καλή
HA7	82,88	Καλή
HA8	88,53	Καλή
HA9	77,90	Μέτρια
HA10	76,45	Μέτρια
HA11	90,02	Καλή
HA12	90,69	Καλή
HA13	84,36	Καλή
HA14	86,39	Καλή
HA15	87,64	Καλή
HA16	81,39	Καλή
HA17	89,16	Καλή

Πίνακας 5 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2015



Εικόνα 2 Σύγκριση των τιμών του δείκτη MWQI κατά τα έτη 2013-2015

Παρατηρούμε ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι υψηλότερες τιμές του δείκτη παρουσιάζονται το 2013, όπου υπάρχουν και πέντε περιοχές με κατάταξη «άριστη», ενώ οι υπόλοιπες έχουν «καλή». Ο δείκτης φαίνεται ότι ακολούθησε καθοδική πορεία τα επόμενα δύο χρόνια, αφού το 2014 υπάρχουν δύο περιοχές που αξιολογούνται ως «άριστες», μία ως «μέτρια» και οι υπόλοιπες ως «καλές», ενώ το 2015 αξιολογούνται ως «μέτριες» τρεις περιοχές και οι υπόλοιπες ως «καλές».

Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	91,11	Καλή
HA2	90,77	Καλή
HA3	86,27	Καλή
HA4	85,21	Καλή
HA5	76,64	Μέτρια

HA6	93,64	Καλή
HA7	91,67	Καλή
HA8	77,51	Μέτρια
HA9	86,87	Καλή
HA10	73	Μέτρια
HA11	83,68	Καλή
HA12	81,23	Καλή
HA13	75,71	Μέτρια
HA14	89,1	Καλή
HA15	91,29	Καλή
HA16	93,34	Καλή
HA17	89,64	Καλή

Πίνακας 6 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον ΜWQI για το έτος 2016

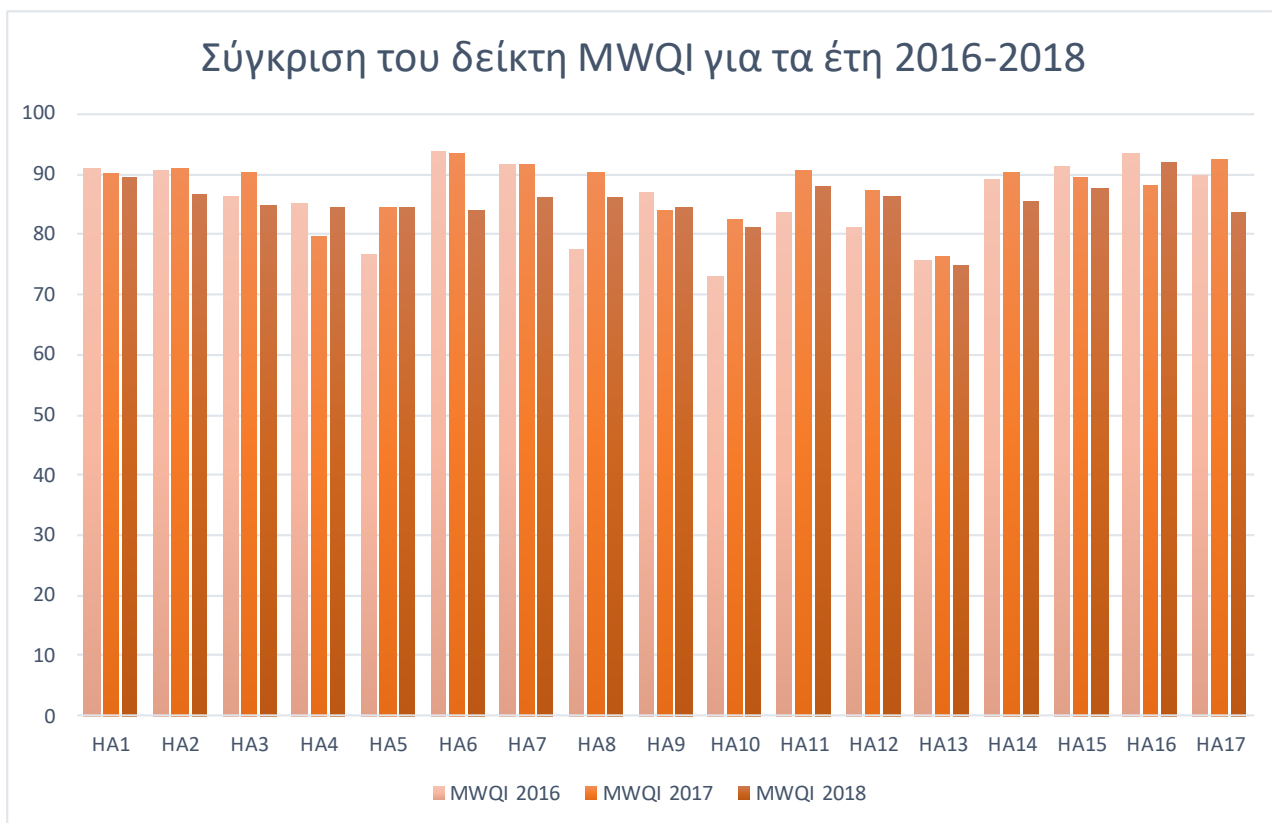
Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	ΜWQI	Κατάταξη
HA1	90	Καλή
HA2	91	Καλή
HA3	90,5	Καλή
HA4	79,6	Μέτρια
HA5	84,56	Καλή
HA6	93,5	Καλή
HA7	91,6	Καλή
HA8	90,3	Καλή
HA9	84	Καλή
HA10	82,55	Καλή
HA11	90,61	Καλή
HA12	87,32	Καλή
HA13	76,24	Μέτρια
HA14	90,4	Καλή
HA15	89,47	Καλή

HA16	88,27	Καλή
HA17	92,58	Καλή

Πίνακας 7 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2017

Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	89,47	Καλή
HA2	86,72	Καλή
HA3	84,8	Καλή
HA4	84,62	Καλή
HA5	84,44	Καλή
HA6	83,81	Καλή
HA7	86,22	Καλή
HA8	86	Καλή
HA9	84,6	Καλή
HA10	81,13	Καλή
HA11	87,81	Καλή
HA12	86,36	Καλή
HA13	74,82	Μέτρια
HA14	85,53	Καλή
HA15	87,67	Καλή
HA16	92	Καλή
HA17	83,52	Καλή

Πίνακας 8 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2018

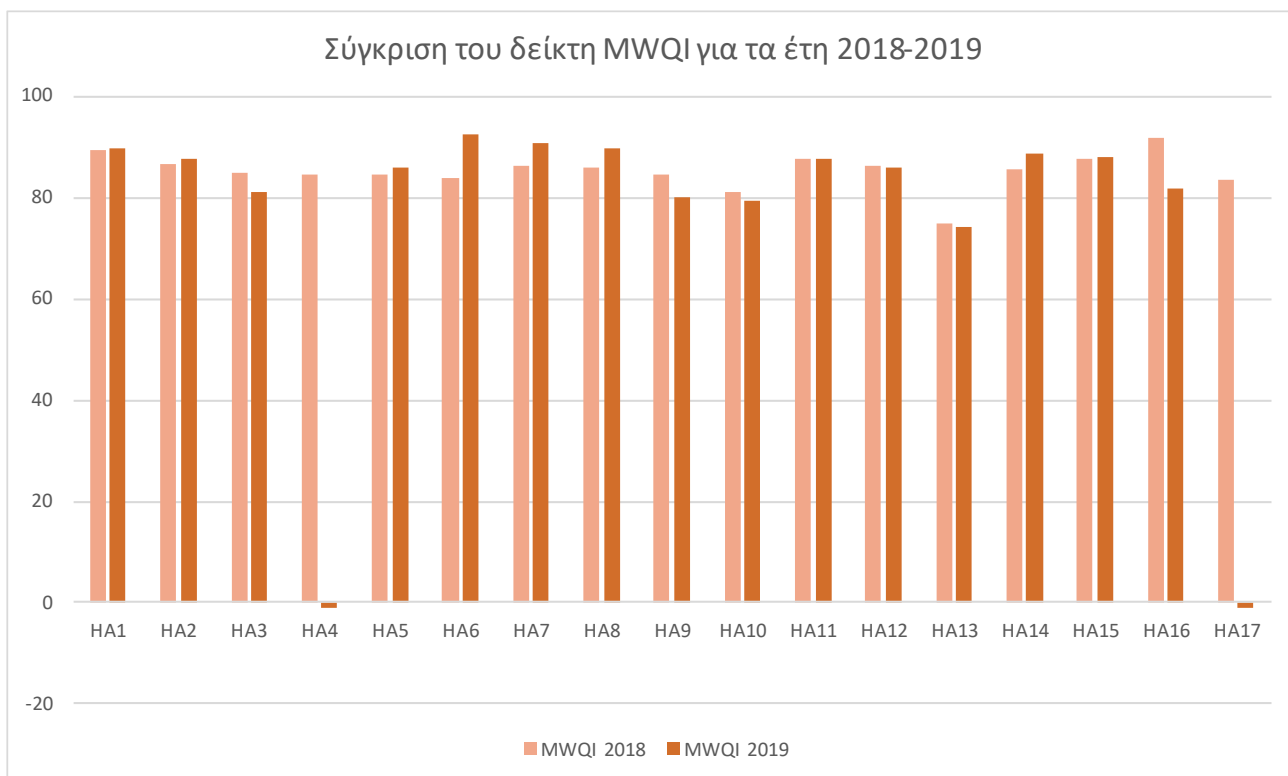


Εικόνα 3 Σύγκριση των τιμών του δείκτη MWQI κατά τα έτη 2016-2018

Παρατηρούμε ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη παρουσιάζονται το 2016, όπου υπάρχουν τέσσερις περιοχές με κατάταξη «μέτρια», ενώ οι υπόλοιπες έχουν «καλή». Στα επόμενα έτη παρατηρείται αύξηση, με τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη να προκύπτουν για το 2017 και μόνο δύο περιοχές να αξιολογούνται ως «μέτριες». Το 2018 διαπιστώνεται και πάλι μείωση των τιμών του δείκτη, χωρίς ωστόσο αυτό να συνεπάγεται και πτώση στην κατάταξη της ποιότητας, αφού μόλις μία περιοχή χαρακτηρίζεται ως «μέτρια», ενώ όλες οι υπόλοιπες ως «καλές». Παρατηρείται λοιπόν πως υπάρχει σταδιακή βελτίωση στην ποιότητα του νερού των συγκεκριμένων περιοχών με την πάροδο της τριετίας. Σημειώνεται ότι ο δείκτης δεν έπεσε σε καμία περιοχή και καμία χρονιά κάτω από το 65 και, συνεπώς, η ποιότητα του νερού δεν χαρακτηρίστηκε ποτέ λιγότερο από «μέτρια».

Κωδικός Δημοτικού Διαμερίσματος	MWQI	Κατάταξη
HA1	89,79	Καλή
HA2	87,87	Καλή
HA3	81	Καλή
HA4	(δεν έγινε μέτρηση)	-
HA5	85,97	Καλή
HA6	92,42	Καλή
HA7	91	Καλή
HA8	89,96	Καλή
HA9	79,97	Μέτρια
HA10	79,46	Μέτρια
HA11	87,55	Καλή
HA12	85,95	Καλή
HA13	74,38	Μέτρια
HA14	88,68	Καλή
HA15	87,91	Καλή
HA16	81,72	Καλή
HA17	(δεν έγινε μέτρηση)	-

Πίνακας 9 Κατάταξη δημοτικών διαμερισμάτων με βάση τον MWQI για το έτος 2019



Εικόνα 4 Σύγκριση των τιμών του δείκτη MWQI κατά τα έτη 2018-2019

Παρατηρούμε ότι σε επτά από τις δεκαεφτά περιοχές υπήρξε βελτίωση του δείκτη από το 2018 στο 2019, χωρίς ωστόσο να αλλάξει η κατάταξη της ποιότητας του νερού. Σε τέσσερις περιοχές ο δείκτης έμεινε σχεδόν σταθερός, ενώ σε ισάριθμες περιοχές μειώθηκε-πέφτοντας μάλιστα και στην κατάταξη από «καλή» σε «μέτρια» σε δύο από αυτές. Για δύο περιοχές (HA4, HA17) δεν καταγράφηκαν δεδομένα για 2019. Η συνολική εικόνα λοιπόν, φαίνεται χειρότερη για το 2019, αφού τουλάχιστον τρεις περιοχές χαρακτηρίζονται ως «μέτριες» σε αντίθεση με το 2018 που υπήρχε μόνο μία.

Στην Εικόνα 5 φαίνεται συνοπτικά το πλήθος των περιοχών που η ποιότητα του νερού τους χαρακτηρίστηκε ως «άριστη», «καλή» και «μέτρια» για τα έτη 2011-2019.

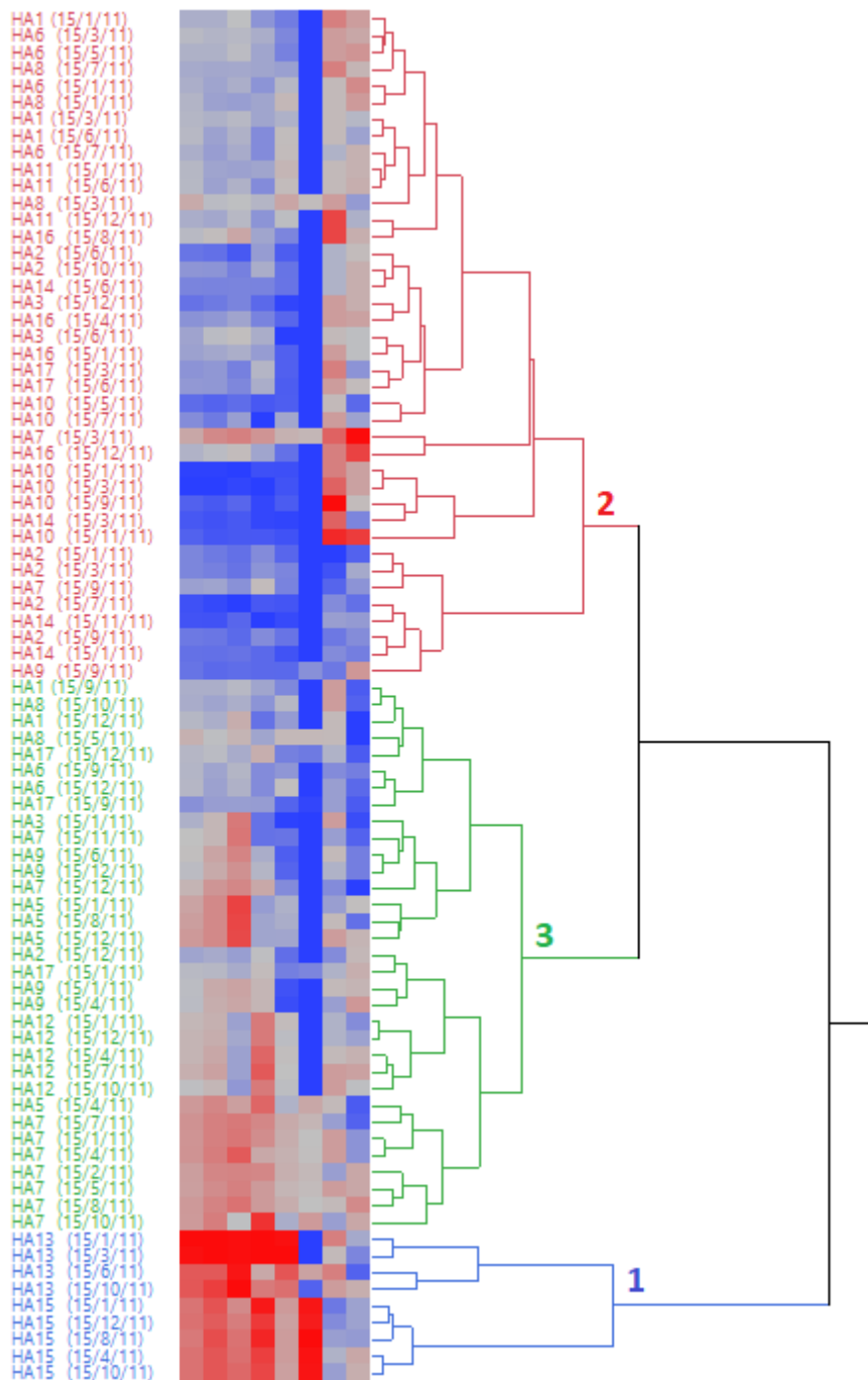


Εικόνα 5 Κατανομή του πλήθους των περιοχών με βάση την κατάταξη ποιότητας κατά τα έτη 2011-2019.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τον δείκτη MWQI, η ποιότητα του νερού στις ελεγχθείσες περιοχές ήταν συνολικά καλύτερη το 2013 (με 5 «άριστες», 11 «καλές» και 0 «μέτριες» περιοχές) και χειρότερη το 2016 (με 0 «άριστες», 13 «καλές» και 4 «μέτριες» περιοχές).

4.2 Στατιστική Ανάλυση - Ανάλυση Συστάδων

Στα δεδομένα από το έτος 2011 εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης συστάδων με τα ακόλουθα αποτελέσματα.



Εικόνα 6 Δενδρόγραμμα ταξινόμησης κατά Ward με βάση τις μεταβλητές των μετρήσεων ποιότητας νερού των 17 περιοχών

Η τεχνική της ταξινόμησης κατά Ward κατέδειξε τη δημιουργία τριών ομάδων δειγμάτων. Η πρώτη διάκριση απομονώνει τα δείγματα της ομάδας 1 από τα υπόλοιπα, που χωρίζονται σε δύο υποομάδες 2 και 3. Τα χρωματιστά κελιά αντιστοιχούν στις τιμές των δειγμάτων για κάθε μία εκ των οκτώ μεταβλητών που εξετάστηκαν. Το βαθύ κόκκινο συμβολίζει τις υψηλές τιμές, το βαθύ μπλε τις χαμηλές τιμές, ενώ οι πιο αχνές-γκρί

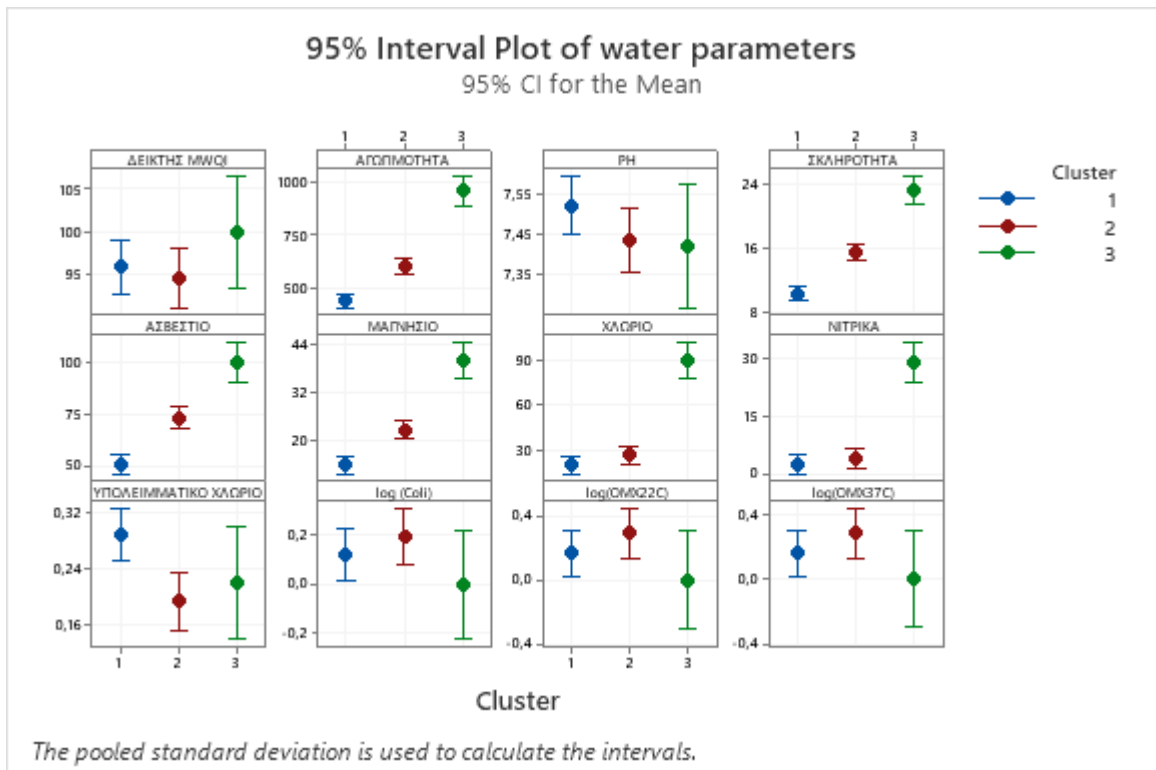
αποχρώσεις τις ενδιαμέσες τιμές. Η επιλογή των παραπάνω ταξιδιομήσεων σε τρεις ομάδες πραγματοποιήθηκε κυρίως με τον οπτικό έλεγχο των διακλαδώσεων των δειγμάτων, αποτελεί δηλαδή προσωπική εκτίμηση του ερευνητή. Η επιλογή του καταλληλότερου αριθμού των ομάδων υποβοηθήθηκε και με τη θεώρηση των κριτηρίων που επιβάλλει η ανάλυση συστάδων.

Σύμφωνα με τους παραπάνω διαχωρισμούς εξάγονται και οι μέσες τιμές των μεταβλητών της μελέτης στις συγκεκριμένες ομάδες, μαζί με τα 95% όρια εμπιστοσύνης αυτών ανά ομάδα.

	ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΩQI	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	PH	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	ΑΣΒΕΣΤΙΟ	ΜΑΓΝΗΣΙΟ	ΧΛΩΡΙΟ	ΝΙΤΡΙΚΑ
Cluster	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
1	95,87	441,70	7,52	10,33	51,05	13,83	19,97	2,56
2	94,53	605,09	7,44	15,46	73,42	22,61	26,53	4,13
3	99,95	956,78	7,42	23,20	100,11	40,11	90,43	29,07

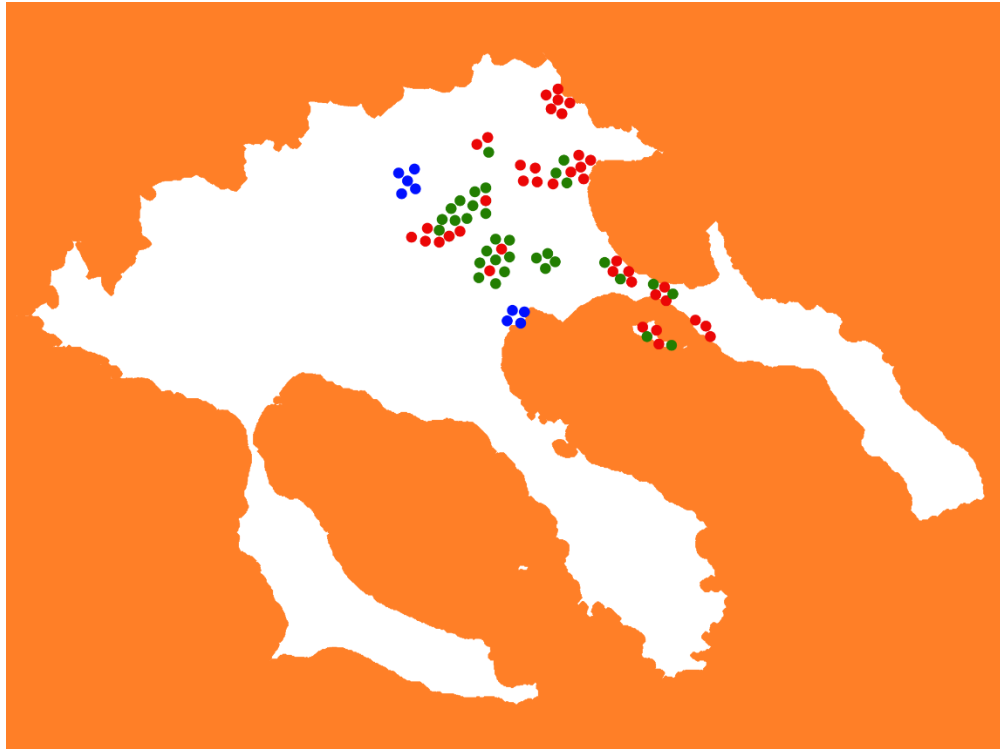
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΟ ΧΛΩΡΙΟ	Log[OMX 22C + 1]	Log[ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ + 1]	Log[OMX 37C + 1]
Mean	Mean	Mean	Mean
0,29	0,39	0,28	0,37
0,19	0,68	0,45	0,67
0,22	0,00	0,00	0,00

Εικόνα 7 Μέσες τιμές των μεταβλητών στις τρεις ομάδες ταξιδόμησης των δειγμάτων



Εικόνα 8 Κατανομή των μέσων τιμών των μεταβλητών στις τρεις ομάδες ταξιδόμησης με βάση τα 95% όρια εμπιστοσύνης αυτών, υπολογισμένα από το μέσο σφάλμα της ανάλυσης της διακύμανσης. Μέσες τιμές των οποίων τα όρια εμπιστοσύνης δεν επικαλύπτονται δηλώνουν στατιστική σημαντικότητα.

Η ομάδα 3 χαρακτηρίζεται από μέγιστες τιμές εμφάνισης της αγωγιμότητας, της σκληρότητας, του ασβεστίου, του μαγνησίου, του χλωρίου και των νιτρικών στο νερό. Αντιθέτως, η αγωγιμότητα, η σκληρότητα, το ασβέστιο και το μαγνήσιο εμφανίζουν ελάχιστες συγκεντρώσεις στην ομάδα 1. Η ομάδα 2 δεν χαρακτηρίζεται μοναδιαία από υψηλά ή χαμηλά επίπεδα τιμών, παρά το μεγαλύτερο αριθμό συμμετοχής δειγμάτων σε αυτήν την ομάδα. Αυτό βέβαια το μαρτυρά και η ύπαρξη δύο «υποομάδων» με αντίθετα γνωρίσματα χρωμάτων στην ομάδα 2, μίας με ενδιάμεσες τιμές και μίας με χαμηλές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης MWQI δεν αποδείχθηκε στατιστικά σημαντικός παράγοντας σε καμία από τις ομάδες, δηλαδή καμία ομάδα δεν χαρακτηρίζεται από υψηλές ή χαμηλές τιμές του δείκτη.



Εικόνα 9 Χάρτης δειγμάτων

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στην περιοχή που αντιστοιχούν στο χάρτη, με χρώμα ανάλογο της ομάδας στην οποία ανήκουν.

Διαπιστώνεται πως η πλειοψηφία των δειγμάτων της ομάδας 3 βρίσκεται κοντά γεωγραφικά, περιγράφοντας μια περιοχή όπου το νερό εμφανίζει υψηλές τιμές αγωγιμότητας, σκληρότητας, ασβεστίου, μαγνησίου, χλωρίου και νιτρικών. Οι περιοχές από τις οποίες προέρχονται τα δείγματα της ομάδας 3 είναι γειτονικές, ορεινές περιοχές με πηγές και αγροτικές δραστηριότητες.

Τα δείγματα της ομάδας 1 εντοπίζονται σε δύο μη γειτονικές περιοχές του χάρτη, ωστόσο είναι ξεκάθαρα συγκεντρωμένα σε αυτές και το κοινό τους χαρακτηριστικό είναι οι χαμηλές τιμές αγωγιμότητας, σκληρότητας, ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό. Οι περιοχές από τις οποίες προέρχονται τα δείγματα της ομάδας 1 είναι αγροτικές περιοχές με γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες.

Τα δείγματα της ομάδας 2 φαίνονται διασκορπισμένα στο χάρτη, κάτι που συνάδει και με την απουσία διακριτών μεταβλητών στην ομάδα, όπως φάνηκε από την κατανομή των μέσων τιμών των μεταβλητών με βάση τα 95% όρια εμπιστοσύνης.

5.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στις περιοχές που εξετάζονται λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα, σύμφωνα με την οδηγία 2020/2184 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, ώστε να διασφαλίζεται ότι το νερό είναι υγιεινό και καθαρό. Δηλαδή, διασφαλίζεται ότι το νερό είναι απαλλαγμένο από οποιουδήποτε μικροοργανισμούς και παράσιτα, καθώς και από ουσίες, οι οποίες, σε αριθμούς ή συγκεντρώσεις, σε ορισμένες περιπτώσεις, συνιστούν δυνητικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, όπως επίσης κι ότι πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις που ορίζει η οδηγία. Ακολουθείται μια πλήρης προσέγγιση της ασφάλειας του νερού, βασισμένη στην εκτίμηση κινδύνου, που καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα υδροδότησης, από τη λεκάνη απορροής, την υδροληψία, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διανομή έως το σημείο τήρησης.

Η προσέγγιση βάσει κινδύνου περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία: α) εκτίμηση κινδύνου και διαχείριση κινδύνου των λεκανών απορροής για σημεία υδροληψίας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, η οποία διενεργείται κι επανεξετάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα λαμβανομένων υπόψη των απαιτήσεων που προβλέπονται στην οδηγία 2000/60/ΕΚ, β) εκτίμηση κινδύνου και διαχείριση κινδύνου για κάθε σύστημα υδροδότησης που περιλαμβάνει την υδροληψία, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διανομή του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης έως το σημείο παροχής που διενεργούν οι φορείς ύδρευσης και γ) εκτίμηση κινδύνου για τα οικιακά συστήματα διανομής. Με βάση τα αποτελέσματα της εκτίμησης κινδύνου που διενεργείται, λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη ή τον έλεγχο των κινδύνων που εντοπίζονται, ξεκινώντας με τα προληπτικά μέτρα.

5.1 Χρησιμότητα στατιστικής ανάλυσης

Στα δεδομένα των μετρήσεων των παραμέτρων ποιότητας νερού που εξετάστηκαν, εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης συστάδων ή ταξιδόμησης των στοιχείων (Cluster analysis), και ειδικότερα ιεραρχική ταξιδόμηση και ανάλυση ταξιδόμησης του Ward. Η μέθοδος αυτή εντάσσει σε ίδιες συστάδες (ομάδες) τα στοιχεία (παρατηρήσεις) που είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους. Έχει γίνει δηλαδή επισταμένη επιλογή και διευθέτηση των στοιχείων σε ομάδες παρατηρήσεων με συγγενικά χαρακτηριστικά και με τις ακόλουθες ιδιότητες: α) κάθε ομάδα διαθέτει ομοειδή σύσταση σε σχέση με κάποια χαρακτηριστικά,

δηλαδή οι τιμές των παραμέτρων σε αυτήν έχουν τιμές σχεδόν όμοιες μεταξύ τους, και β) κάθε ομάδα διαφέρει από τις υπόλοιπες ως προς ίδια χαρακτηριστικά, δηλαδή οι τιμές μιας ομάδας διαφέρουν σε μέγεθος κλίμακας από τις τιμές άλλων ομάδων.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάδειξη παραμέτρων που εμφανίζουν υψηλές τιμές στην κάθε ομάδα και συνεπώς χαρακτηρίζουν το νερό των περιοχών που συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν. Συγχρόνως, κατέστησε δυνατό να τοποθετηθούν χρωματικά τα δείγματα πάνω στο χάρτη οπτικοποιώντας έτσι την αντιστοιχία των συστάδων με τις γεωγραφικές περιοχές και παρουσιάζοντας την κατανομή στο χάρτη των περιοχών που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά. Επιπροσθέτως, αποδίδει ευκολονόητα τα αποτελέσματα γνωστοποιώντας στους αρμόδιους φορείς τα κυριότερα χαρακτηριστικά του νερού κάθε περιοχής. Παρουσιάζει δηλαδή, με σαφή τρόπο τις παραμέτρους που εμφανίζουν μέγιστες ή ελάχιστες τιμές σε κάθε περιοχή, χωρίς ωστόσο να συνεπάγεται και αξιολόγηση της ποιότητας του νερού της περιοχής ανάλογα με τη συστάδα στην οποία ανήκει, αφού ο δείκτης MWQI δεν θεωρήθηκε στατιστικά σημαντικός παράγοντας σε καμία ομάδα. Η αξιολόγηση και η κατάταξη της ποιότητας του νερού προκύπτουν κοιτώντας την τιμή του δείκτη MWQI για την καθεμία περιοχή ξεχωριστά.

5.2 Χρησιμότητα δείκτη ποιότητας νερού

Η ύπαρξη ενός δείκτη ποιότητας νερού, όπως ο CWQI, είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι χρησιμοποιεί τεχνικές οι οποίες συγκεντρώνουν και συνδυάζουν δεδομένα από πολλαπλές μεταβλητές ποιότητας για να δώσουν σαν αποτέλεσμα μία μοναδική τιμή, η οποία μεταφράζει τα ποσοτικά δεδομένα σε διακριτές και ποιοτικές τιμές (εξαιρετική, καλή, μέτρια κλπ). Σε τεχνικό επίπεδο, αυτό δίνει μια πρώτη ματιά αλλά και ένα μέτρο σύγκρισης στην ποιότητα του εκάστοτε νερού που μπορεί να συνοδεύει μια δευτερεύουσα, πιο λεπτομερή ανάλυση των υδάτων μιας περιοχής, χωρίς παρ' όλ' αυτά να υστερεί άλλων τεχνικών ανάλυσης.

Ειδικά όταν ο παραλήπτης της πληροφορίας δεν είναι επιστημονικά καταρτισμένος ή απλά δεν έχει τον χρόνο για να κατανοήσει και να αναλύσει τις μεταβλητές που συμβάλλουν στην ποιότητα του νερού, ένας δείκτης με συγκεκριμένες και απλές τιμές αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμος. Έτσι, προκύπτει μία μετρική που σέβεται όλα τα δεδομένα ενώ παράλληλα παράγει πληροφορία σε μια μορφή εύληπτη και ευνόητη.

Πέρα από την απλουστευμένη μορφή των αποτελεσμάτων του, ένας τέτοιος δείκτης επιτρέπει την εύκολη διάκριση μεταξύ των μεταβολών που μπορεί να επέλθουν στην ποιότητα του νερού μιας συγκεκριμένης περιοχής, χρονικά και χωρικά, αλλά και την αξιολόγηση των διάφορων πολιτικών και μέτρων που είναι σε ισχύ, ώστε να διατηρηθεί η προαναφερθείσα ποιότητα σε αποδεκτά όρια.

5.3 Πολυπλοκότητα των δειγμάτων φυσικού νερού

Τα δείγματα φυσικών νερών παρουσιάζουν ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και είναι απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση πλήθους παραμέτρων, προκειμένου να παρέχεται στους πολίτες ασφαλές νερό. Η ποιότητα του νερού περιγράφει τα φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά του χαρακτηριστικά, για τα οποία ελέγχονται οι αντίστοιχες παράμετροι. Ορισμένες παράμετροι παρατηρήθηκε να βρίσκονται συχνότερα εκτός ορίων, γεγονός που επηρέαζε αρνητικά το δείκτη. Οι παράμετροι αυτές ήταν από την κατηγορία των μετάλλων και χημικών στοιχείων ο Σίδηρος (Fe), το Μαγγάνιο (Mn), το Αρσενικό (As) και το Νάτριο (Na), ενώ από τις μικροβιολογικές παραμέτρους τα Ολικά Κολοβακτηριοειδή και οι Εντερόκοκκοι.

5.4 Σημαντικότερες παράμετροι

Οι παράμετροι που με τις υψηλές τους συγκεντρώσεις μείωναν την τιμή του δείκτη έχουν τα εξής χαρακτηριστικά και παρουσιάζουν τις ακόλουθες επιπτώσεις:

Το Αρσενικό (As): Μπορεί να εισέλθει στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω βιομηχανικής ρύπανσης ή με φυσικό τρόπο. Τα περισσότερα φυσικά νερά περιέχουν αρσενικό σε συγκεντρώσεις πάνω από 5 $\mu\text{g/l}$. Φθάνει στους αποδέκτες από τα μεταλλεία, αφού υπάρχει σχεδόν σε όλα τα θειούχα ορυκτά, από τα εντομοκτόνα και την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι φυσικές πηγές αρσενικού στο περιβάλλον είναι οι ηφαιστειογενείς δράσεις και η αποσύνθεση της φυτικής οργανικής ύλης. Είναι τοξικό και πιθανόν καρκινογόνο. Η τοξικότητα του αρσενικού εξαρτάται από τη χημική και φυσική του μορφή, τη δόση, το χρόνο έκθεσης και τον τρόπο που εισάγεται στον ανθρώπινο οργανισμό. Προκαλεί βλάβες στο γαστρικό, νευρικό και αναπνευστικό σύστημα και διάφορες αλλοιώσεις στο δέρμα. Δόσεις μεταξύ 70 και 180 mg As είναι θανατηφόρες.

Το Νάτριο (Na): Είναι απαραίτητο στοιχείο σε πολλούς φυσιολογικούς μηχανισμούς του σώματος. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/l. Στα πόσιμα νερά δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει τη γεύση του νερού. Το νάτριο (κυρίως η αναλογία του προς τα άλλα κατιόντα στο νερό) έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο.

Ο Σίδηρος (Fe): Υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Συνεχής κατανάλωση νερού με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο, και ιδιαίτερα στα παιδιά, βλάβες στους ιστούς (αιμοχρωμάτωση). Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και προκαλεί προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια (δημιουργούνται λεκέδες στα υφάσματα) και στους αγωγούς διανομής νερού (ευνοείται η ανάπτυξη βακτηριδίων και δημιουργούνται αποθέσεις).

Το Μαγγάνιο (Mn): Μπορεί να προσδώσει στο νερό δυσάρεστη μεταλλική γεύση. Δεν έχουν διαπιστωθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο και θεωρείται από τα στοιχεία τα λιγότερο τοξικά για τον άνθρωπο. Η απορρόφησή του στον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Το μαγγάνιο προκαλεί λεκέδες στα υφάσματα σε πλυντήρια και υφαντήρια, ενώ διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα με αποτέλεσμα αύξηση της θολότητας, δημιουργία οσμών και αποθέσεων.

Τα Ολικά Κολοβακτηριοειδή: Αποτελούν γενικότερο δείκτη κοπρανώδους μόλυνσης του νερού. Περιλαμβάνουν τα είδη *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* και *Enterobacter* και μπορούν να πολλαπλασιαστούν στο περιβάλλον και σε βιομεμβράνες. Υπάρχει η δυνατότητα πολλαπλασιασμού τους σε συστήματα ύδρευσης κάτω από κατάλληλες συνθήκες και σε θερμοκρασία >15°C. Η ύπαρξη κολοβακτηριδίων φανερώνει κακή συντήρηση του συστήματος ύδρευσης, πιθανή ανάπτυξη βακτηριδίων, ύπαρξη βιομεμβρανών και πιθανόν την εισροή χώματος στο σύστημα ύδρευσης.

Οι Εντερόκοκκοι: Είναι δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης και το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο στο πόσιμο νερό δικτύου ύδρευσης είναι 0 ζώντα κύτταρα ανά 100ml νερού (0 cfu/100 ml). Είναι στρεπτόκοκκοι της ομάδας D και πρόκειται για τους *S. faecalis*, *S. fallium*, *S. gallinarium*, *S. anium*. Ανευρίσκονται στα κόπρανα των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων συνήθως σε ποσότητα μέχρι 10⁶ ανά γραμμάριο κοπράνων. Δεν πολλαπλασιάζονται στο νερό και, αν και ευαίσθητοι στη χλωρίωση, είναι περισσότερο ανθεκτικοί από ότι το κολοβακτηρίδιο. Η παρουσία τους στο νερό, σε συνδυασμό με την απουσία *E.coli*, αποκαλύπτει παλιά κοπρανώδη μόλυνση του ύδατος. (Πιτυρίγκα, 2017), (Biomec, 2017), (Eyath, 2022)

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η συνδυαστική εφαρμογή της στατιστικής ανάλυσης και του δείκτη ποιότητας νερού, ιδιαίτερα σε μεγάλο όγκο δεδομένων παρακολούθησης, δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την αξιολόγηση των δεδομένων και μπορεί να προσφέρει μια εμπειριστατωμένη άποψη σχετικά με την ποιότητα του νερού, οδηγώντας έτσι στην ανάδειξη των προβλημάτων και τη λήψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων. Αυτά τα δύο εργαλεία αλληλοσυμπληρώνονται καθώς, ο δείκτης δίνει βαθμολογικά την κατάταξη του νερού και τον χαρακτηρισμό του ως προς την ποιότητά του, ενώ η στατιστική ανάλυση παρουσιάζει τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την κάθε εξεταζόμενη περιοχή. Καθίσταται λοιπόν δυνατό να επικοινωνήσουν τα δεδομένα με σαφήνεια και απλότητα τόσο στο ευρύ κοινό, που δεν ενδιαφέρεται άμεσα, όσο και στους πολιτικούς αρμόδιους λήψης αποφάσεων, οι οποίοι μπορεί να μην έχουν ούτε τον χρόνο ούτε την εκπαίδευση να μελετήσουν και να κατανοήσουν μια παραδοσιακή, τεχνική ανασκόπηση των δεδομένων ποιότητας του νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexakis D., Tshrintzis V., Tsakiris G. & Gikas G. (2016). Suitability of Water Quality Indices for Application in Lakes in the Mediterranean. *Water Resour Manage*, 30:1621-1633
- Al-Janabi Z. & Al-Obaidy H. (2015). Applied of CCME Water Quality Index for Protection of Aquatic Life in the Tigris River within Baghdad city. *Journal of Al-Nahrain University*, **18**, 99-107
- Bich V., Urban W. & Hazra S. (2020). Introducing the modification of Canadian water quality index. *Groundwater for Sustainable Development*. **11**, 122-142
- Bilgin A. (2018). Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin. *Environ Monit Assess*, **190:554**, 1-9
- Biomec, 2017. Παράμετροι Πόσιμου Νερού. <https://www.biomec.gr/parametroi-posimou-nerou>. (Πρόσβαση στις 2 Οκτωβρίου 2022)
- Eur-lex, 2022. Access to European Union Law. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content>. (Πρόσβαση στις 28 Σεπτεμβρίου 2022)
- European Union, 2018. European Citizens' Initiative Forum. The Right2water Initiative <https://europa.eu/citizens-initiative-forum>. (Πρόσβαση στις 16 Σεπτεμβρίου 2022)
- Eyath, 2022. Έλεγχος Ποιότητας Νερού. <https://www.eyath.gr/elegchos-poiotita-neroy/elegchomenes-parametroi>. (Πρόσβαση στις 2 Οκτωβρίου 2022)
- Khan H., Khan A. & Hall S. (2005). The Canadian water quality index: a tool for water resources management. Proceedings of the International Conference on 'Modeling Tools for Environment and Resources Management (MTERM). 1-9
- Limited G. (2014). A Sensitivity Analysis Of The Canadian Water Quality Index. Report for the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 5-11
- Mukatea S., Wagha V., Panaskara D., Jacobsb J. & Sawantc A. (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological Indicators*, **101**, 348-354
- Uddin G., Nash S. & Olbert A. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, **122**, 1-19
- Δήμος Αριστοτέλη, 2020. Διαχείριση Υδάτινων Πόρων και Πόσιμου Νερού. http://www.dimosaristoteli.gr/gr/municipality/water_resources. (Πρόσβαση Νοέμβριος 2020)

Πετρίδης Δ. (2015). *Ανάλυση Πολυμεταβλητών Τεχνικών*. Ανάλυση Συστάδων. 158-192. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Πιτυρίγκα Β. (2017). *Μικροβιολογία Περιβάλλοντος: Μικροβιακή Ποικιλία Και Οικολογία, Συμβίωση, Οικοσυστήματα, Ποιότητα, Υγιεινή και Ασφάλεια Υδάτινου περιβάλλοντος*. 12-50