

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Συγκριτική Μελέτη Δεικτών Ποιότητας Νερού

Διπλωματική εργασία
ΔΟΥΚΑΣ Ι. ΓΑΒΡΙΗΛ

Επιβλέπων: Τσιχριντζής Βασίλειος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιότητα του νερού αξιολογείται με σύγκριση των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων με τα αντίστοιχα κριτήρια της νομοθεσίας. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, εάν υπερβούν τα καθορισμένα όρια. Οι Δείκτες Ποιότητας Νερού (Water Quality Index-WQI) είναι ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους για να περιγραφεί η καταλληλότητα του για διάφορες χρήσεις. Οι δείκτες ποιότητας υδάτων χρησιμοποιούν τα δεδομένα για την ποιότητα του νερού και βοηθούν στην τροποποίηση των πολιτικών, οι οποίες διατυπώνονται από διάφορους φορείς παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Για την καλύτερη ερμηνεία της ποιοτικής κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων νερών, οι παράμετροι ποιότητας νερού έχουν ομαδοποιηθεί σε δείκτες ποιότητας νερού (WQI). Η ομαδοποίηση αυτή προβλέπει τον υπολογισμό μίας μόνο αριθμητικής τιμής με εύρος συνήθως από 0-100 για το υποεξέταση υδατικό σώμα και επιτρέπει την εποπτική σύγκριση των υδατικών σωμάτων μεταξύ τους καθώς και την παρακολούθηση της κατάστασής τους. Οι δείκτες ποιότητας νερού αυξάνουν την ικανότητα κατανόησης των θεμάτων ποιότητας του νερού από τους φορείς χάραξης πολιτικής, καθώς και από το ευρύ κοινό, καθώς και από τους χρήστες των υδατικών πόρων. Η παρούσα μελέτη εξετάζει συγκριτικά τους περισσότερους δείκτες ποιότητας υδάτων που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων και παρέχει τη μαθηματική δομή τους, το σύνολο των παραμέτρων και των υπολογισμών, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

ABSTRACT

Water quality can be assessed by comparing physical, chemical and biological parameters, with the corresponding criteria of legislation. The values of these parameters are harmful for human health if they exceed the defined limits. WQI utilizes the water quality data and helps in the modification of the policies, which are formulated by various environmental monitoring agencies. For the best interpretation of the quality status of surface and groundwater, the water quality parameters have been grouped into Water Quality Indices (WQI). This regrouping forecasts the calculation of only one numerical value with breadth 0-100 for the aquatic system under review and allows the supervisory comparison of aquatic bodies between each other, as well as the follow-up of their condition. The indices increase the understanding ability of highlighted water quality issues by the policy makers, and the general public as users of the water resources. The present study reviews some of the important water quality indices used in water quality assessment and provides their mathematical structure, the required set of parameters and calculations along with their merits and demerits.

Κατάλογος περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 2. Η χρησιμότητα των δεικτών ποιότητας υδάτων.....	8
2.1 Η ποιότητα των υδάτων.....	8
2.2 Ο υδρολογικός κύκλος.....	10
2.3 Παράμετροι της ποιότητας νερού.....	12
2.3.1 Φυσικές παράμετροι.....	13
2.3.2 Χημικές παράμετροι.....	14
2.3.3 Βιολογικές παράμετροι.....	27
Κεφάλαιο 3. Περιγραφή δεικτών ποιότητας υδάτων.....	29
3.1 Ιστορική επισκόπηση της εξέλιξης των δεικτών ποιότητας υδάτων.....	29
3.1.1 Πλεονεκτήματα της χρήσης των δεικτών ποιότητας υδάτων.....	32
3.2 Η πρώτη σύγχρονη προσπάθεια δημιουργίας δείκτη ποιότητας υδάτων – Δείκτης Horton.....	33
3.3 Δείκτης NSF.....	35
3.4 Δείκτης Oregon (OWQI).....	43
3.4.1 Κατάταξη	45
3.4.2 Επιλογή μεταβλητών και μετατροπή	45
3.5 Δείκτης Prati.....	53
3.6 Δείκτης Dinius.....	56
3.7 Δείκτης Walski και Parker.....	57
3.8 Δείκτης Stoner.....	61
3.9 Δείκτης Prakash.....	62
3.10 Δείκτης CCME και Δείκτης British Columbia	64
3.10.1 Προηγούμενοι δείκτες στον Καναδά.....	66
3.10.2 Εννοιολογικό μοντέλο του δείκτη CCME.....	67
3.10.3 Διαμόρφωση του δείκτη CCME.....	68
3.10.4 Κατάταξη των τιμών του δείκτη CCME.....	70
3.11 Δείκτης Universal WQI.....	72
3.11.1 Επιλογή των καθοριστικών παραγόντων του δείκτη UWQI.....	73
3.11.2 Δημιουργία συναρτήσεων υποδεικτών και βαρών του UWQI.....	76
3.11.3 Υπολογισμός βαρών, συνολικού δείκτη και κατάταξης UWQI.....	78
3.12 Δείκτης New WQI (NWQI).....	79
3.13 Δείκτης Said.....	84
3.14 Δείκτης Pesce.....	87
3.15 Ο σταθμισμένος αριθμητικός δείκτης.....	89
3.16 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εξεταζόμενων δεικτών.....	92
3.17.Εφαρμογή Δείκτη NSF.....	110
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.....	111
Αναφορές.....	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	116

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Νερό, ένας χαρακτηριστικός φυσικός πόρος και πολύτιμο εθνικό κεφάλαιο, αποτελεί το πρωτεύον συστατικό του οικοσυστήματος. Πέρα από την ανάγκη για πόσιμο νερό, η επάρκεια των υδατικών πόρων είναι ζωτικής σημασίας για διάφορους τομείς της οικονομίας, όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία, η δασοκομία, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η αλιεία και άλλες δημιουργικές δραστηριότητες. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του νερού είτε επιφανειακών ή υπογείων, έχει υποστεί πιέσεις λόγω κάποιων σημαντικών παραγόντων όπως η αύξηση του πληθυσμού, η εκβιομηχάνιση, η αστικοποίηση κλπ.

Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι, ποτάμια, λίμνες, θάλασσα, δέχονται ποσότητες ρύπων με φυσικές διεργασίες ή με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα που έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της ποιοτικής κατάστασής τους. Η ποιότητα του νερού των υδατικών συστημάτων στα κατάντι επηρεάζεται τόσο από τις υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και ανάμιξης του νερού, αλλά και από τις επικρατούσες χημικές, βιολογικές και φυσικές συνθήκες. Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση με τη μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας, και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Οι ουσίες που περιέχονται στο νερό διακρίνονται σε ανόργανες, οργανικές, ραδιενεργές, μέταλλα και ιχνοστοιχεία. Η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται σε σχέση με ορισμένες παραμέτρους, που είναι είτε οι ουσίες, είτε οι ομάδες ουσιών, είτε χαρακτηριστικά του νερού (φυσικά, χημικά και βιολογικά). Ο χαρακτηρισμός του νερού σε καλής ή κακής ποιότητας γίνεται σε σχέση με τις τιμές των παραμέτρων αυτών και τη χρήση του νερού.

Η ποιότητα του νερού οποιασδήποτε συγκεκριμένης περιοχής ή συγκεκριμένης πηγής μπορεί να αξιολογηθεί με τη χρήση φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, εάν υπερβούν τα καθορισμένα όρια. Ως εκ τούτου, η καταλληλότητα των πηγών νερού για ανθρώπινη κατανάλωση μπορεί να

περιγραφεί σε όρους δείκτη ποιότητας υδάτων (WQI), που είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να περιγραφεί η ποιότητα του νερού. Οι δείκτες ποιότητας υδάτων χρησιμοποιούν τα δεδομένα για την ποιότητα του νερού και βοηθούν στην τροποποίηση των πολιτικών, οι οποίες διατυπώνονται από διάφορους φορείς παρακολούθησης του περιβάλλοντος.

Έχει γίνει πλέον κατανοητό ότι η χρήση μεμονωμένων μεταβλητών ποιότητας υδάτων προκειμένου να γίνει περιγραφή των συνθηκών μίας πηγής νερού, δεν είναι εύκολα κατανοητή διαδικασία. Οι δείκτες έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τον όγκο των πληροφοριών σε μία εννιαία τιμή για να εκφράσουν τα δεδομένα σε μία απλοποιημένη και λογική μορφή. Παίρνουν πληροφορίες από διάφορες πηγές και τις συνδυάζουν για να αναπτύξουν μία συνολική εικόνα της κατάστασης του συστήματος νερού. Αυξάνουν την ικανότητα κατανόησης των θεμάτων ποιότητας του νερού από τους φορείς χάραξης πολιτικής, καθώς και από το ευρύ κοινό και τους χρήστες των υδατικών πόρων. Η παρούσα μελέτη εξετάζει τους περισσότερους δείκτες ποιότητας υδάτων που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων και παρέχει τη μαθηματική δομή τους, το σύνολο των παραμέτρων και των υπολογισμών, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή. Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται η χρησιμότητα των δεικτών ποιότητας υδάτων και οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του νερού στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους. Στη συνέχεια, το Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει την ανάλυση των δεικτών ποιότητας υδάτων που βρέθηκαν μετά από αναλυτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας, έναν συγκριτικό πίνακα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε δείκτη καθώς και μία εφαρμογή ενός δείκτη με βάση μετρήσεις που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία. Τέλος, στο 4ο Κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

Κεφάλαιο 2. Η χρησιμότητα των δεικτών ποιότητας υδάτων

2.1 Η ποιότητα των υδάτων

Από όλους τους φυσικούς πόρους, αναμφισβήτητα, το νερό είναι το πιο σημαντικό και πολύτιμο. Η ζωή άρχισε με το νερό, και η ζωή τροφοδοτείται από το νερό. Υπάρχουν οργανισμοί, όπως οι αναερόβιοι, οι οποίοι μπορούν να επιβιώσουν χωρίς οξυγόνο. Αλλά δεν μπορεί να επιβιώσει κανένας οργανισμός για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα χωρίς νερό.

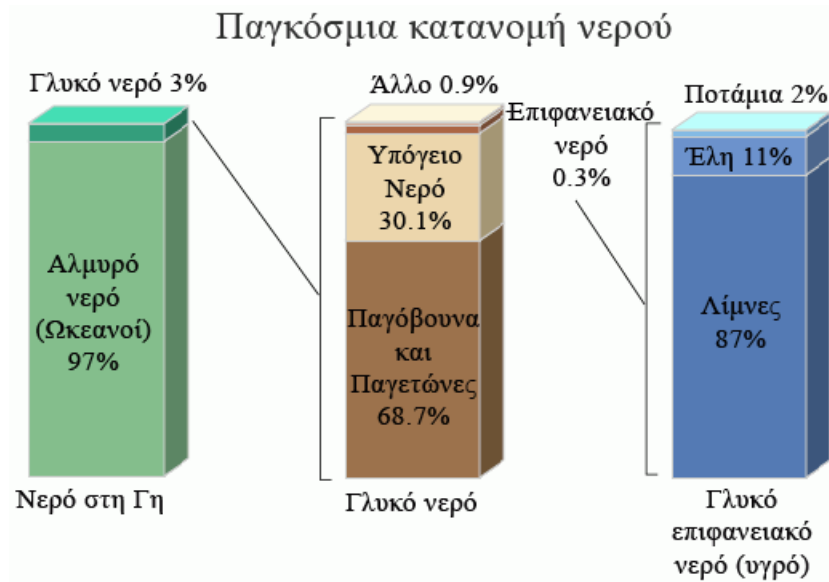
Στον Εικόνα 2.1 και στον Πίνακα 2.1 αντίστοιχα, παρουσιάζεται μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού της Γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Παρατηρούμε πως από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών (Πανώριος, 2013).

Ο κρίσιμος ρόλος του νερού ως έναυσμα και υποστηρικτής των πολιτισμών έχει παρατηρηθεί σε όλη την ανθρώπινη ιστορία. Αλλά, ως το 1960, η παράμετρος που ενδιέφερε τον άνθρωπο σχετικά με το νερό, ήταν η ποσότητα και όχι η ποιότητα του.

Μόνο κατά τη διάρκεια των 4-5 τελευταίων δεκαετιών του εικοστού αιώνα, η ανησυχία για την ποιότητα του νερού έγινε εξαιρετικά αισθητή, έτσι ώστε, από τα τέλη του 1960, η ποιότητα του νερού να έχει αποκτήσει τόση σημασία όση και η ποσότητα του νερού.

Αλλά πώς μπορούμε να εκφράσουμε την ποιότητα των υδάτων του ίδιου ποταμού; Η ποιότητα μπορεί να είναι αρκετά καλή για πόσιμο νερό, αλλά να

μην είναι κατάλληλη για χρήση ως ψυκτικό μέσο σε έναν κλάδο. Το νερό μπορεί να είναι κατάλληλο για την άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, αλλά να μην είναι κατάλληλο για κάποιες άλλες καλλιέργειες. Μπορεί να είναι κατάλληλο για τα ζώα, αλλά όχι για ιχθυοκαλλιέργειες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ποσότητα του νερού καθορίζεται από μια μόνο παράμετρο, τη μάζα του νερού, η ποιότητα του νερού είναι συνάρτηση όλων όσων το νερό θα μπορούσε να έχει συλλέξει κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του από τα σύννεφα στη γη, στο υδατικό σώμα: σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή (Πανώριος, 2013).



Εικόνα 2.1 Παγκόσμια κατανομή νερού (Πηγή water.usgs.gov)

Πίνακας 2.1 Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού (Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.)

Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

2.2 Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος (Εικ. 2.2), ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται απ' αυτόν.



Εικόνα 2.2 Ο υδρολογικός κύκλος (Πηγή: <http://alliancebhi.com/>)

Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή (Πανώριος, 2013).

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που

σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια άλλη μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς.

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς (Πανώριος, 2013).

2.3 Παράμετροι της ποιότητας νερού

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού χωρίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές. Ακολουθεί περιγραφή τους.

2.3.1 Φυσικές παράμετροι

Θερμοκρασία (T)

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στη λειτουργία του οικοσυστήματος επειδή επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών αλλά και τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν. Είναι ακόμη απαραίτητη στη διαδικασία μέτρησης ορισμένων χαρακτηριστικών του νερού, όπως το pH, την αγωγιμότητα, την αλατότητα, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο και άλλα (Λουκάς, 2007).

Η πιο επιθυμητή διακύμανση θερμοκρασίας για το νερό είναι μεταξύ 4.4 °C και 10 °C. Τα φυσικά νερά σπάνια βρίσκονται κάτω από τους 4.4 °C. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται άνω από τους 10 °C, το νερό γίνεται λιγότερο εύγεστο και λιγότερο κατάλληλο για διάφορες χρήσεις, όπως ο κλιματισμός. Θερμοκρασίες πάνω από 27 °C είναι ανεπιθύμητες, και πάνω από 32-35 °C το νερό είναι ακατάλληλο για τη δημόσια τροφοδοσία. Μεταξύ των αποτελεσμάτων λόγω των υψηλών θερμοκρασιών του νερού, περιλαμβάνονται και τα ακόλουθα: α) Οι αριθμοί θανάτων ορισμένων βακτηρίων - όπως το βακτήριο που προκαλεί τον τυφοειδή πυρετό - αυξάνονται, 2) Οι τιμές πολλαπλασιασμού κάποιων άλλων βακτηρίων, όπως αυτών της σήψης, αυξάνονται, 3) Η τιμή της αύξησης πολλών μικροσκοπικών οργανισμών αυξάνεται πάνω από μια περιοριστική θερμοκρασία από 32 °C έως 37.8 °C, 4) Η αποτελεσματικότητα των απολυμαντικών γενικά αυξάνεται, 5) Πάνω από 4 °C, το ιξώδες και η πυκνότητα αυξάνεται, 6) Η κροκίδωση με χημικά και διαδοχική ιζηματοποίηση μπορεί να βελτιωθεί (Λουκάς, 2007).

Χρώμα (color)

Το χρώμα στο νερό έχει μικρή σπουδαιότητα όσον αφορά την υγιεινή, ωστόσο όμως μας πληροφορεί για την πηγή του νερού. Το χρώμα είναι αισθητικώς ανεπιθύμητο. Μπορεί να βάψει κάποια υλικά ή να επηρεάσει βιομηχανικές διαδικασίες και μπορεί να περιπλέξει τη θρόμβωση στην επεξεργασία. Τα πρότυπα της αμερικανικής υπηρεσίας δημόσιας υγείας, περιορίζουν την

ένταση του χρώματος στο αποδεκτό νερό σε 20 mg L^{-1} και κατά προτίμηση σε λιγότερο από 10 mg L^{-1} .

Το χρώμα στο νερό οφείλεται συνήθως στην οργανική ύλη σε κολλοειδή αιώρηση, αλλά και σε ανόργανη ύλη σε διάλυση, σαν κολλοειδές, ή σε αιώρηση. Το χρώμα των επιφανειακών νερών επηρεάζεται λόγω της μεταφοράς αιωρούμενων στερεών κατά τη διάρκεια πλημμυρών (Λουκάς, 2007).

2.3.2 Χημικές παράμετροι

Ενεργός οξύτητα (pH)

Το pH εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών στοιχείων που περιέχονται στο νερό, ρυθμίζει τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε αυτό και επιταχύνει ή παρεμποδίζει τις βιοχημικές διεργασίες. Ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου και επηρεάζει όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις. Η επιβίωση των κυττάρων είναι εφικτή σε pH με εύρος τιμών 5 έως 9, ενώ υψηλή τιμή pH μειώνει την διαλυτότητα των ουσιών στο νερό, οπότε καθιζάνουν στον πυθμένα. Το κατάλληλο εύρος για τη διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι συνήθως μεταξύ 6 και 9 (Χαραλάμπους, 2006).

Το pH χαρακτηρίζει τόσο τα φυσικά νερά όσο και τα υγρά απόβλητα τα οποία είναι συνήθως αλκαλικά. Πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά απόβλητα είναι δύσκολο έως αδύνατο να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Η αναερόβια επεξεργασία της ιλύος απαιτεί σταθερές τιμές pH (7.0 έως 7.5) για να υπάρξει ισορροπία μεταξύ της όξινης και της αλκαλικής ζύμωσης. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6.5 έως 8.5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών (Νταρακάς, 2011).

Οι υψηλές τιμές pH μπορούν να έχουν έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία, αφού μειώνουν την απολυμαντική ικανότητα της χλωρίωσης και συντελούν στην αύξηση της διάβρωσης των σωλήνων, αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις των

διαλυμένων αλάτων στο νερό. Υψηλές τιμές pH μπορούν να προκαλέσουν επίσης, προβλήματα αισθητικής, όπως έντονο χρωματισμό και πικρή γεύση (Κουϊμτζής & Σαμαρά, 1994).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Ηλεκτρική αγωγιμότητα καλείται η ικανότητα ενός υλικού να είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει - άγει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, από τη συγκέντρωσή τους, την ευκινησία, το σθένος και τη θερμοκρασία.

Η αγωγιμότητα όγκου νερού ίσου με 1cm^3 , στη θερμοκρασία των 25°C ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και μονάδα μέτρησης της είναι το $\mu\text{-Siemens/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$). Έτσι, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί την αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα (Τσακίρης, 2010).

Απόβλητα και ρύποι που εισέρχονται σε ένα οικοσύστημα (λίμνη, ποταμό) τροποποιούν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλωρίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και φωσφόρου.

Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Η αύξηση της αγωγιμότητας συνδέεται με την ενηλικίωση (παλαίωση) μιας υδάτινης μάζας εξαιτίας της αύξησης των θρεπτικών συστατικών της (ευτροφισμός). Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα στα γλυκά νερά τόσο μεγαλύτερη είναι η βιολογική παραγωγικότητα. Συνήθως στα φυσικά γλυκά νερά η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 - 1500 $\mu\text{S/cm}$ (μονάδα αγωγιμότητας είναι το mho/cm , δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/m).

Ολικά στερεά (TS)

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους του νερού είναι η συγκέντρωση των ολικών στερεών σωματιδίων που συνίσταται από αιωρούμενη, κolloειδή και

διαλυμένη μάζα. Ως ολικά στερεά σωματίδια ορίζεται όλη εκείνη η μάζα που παραμένει ως στερεό υπόλειμμα, όταν ένα δείγμα νερού ή υγρών αποβλήτων υποστεί εξάτμιση στους 105°C (Χαραλάμπους, 2006).

Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)

Τα αιωρούμενα στερεά (λεπτομερή σωματίδια και κολλοειδή) είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης και έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα ύδατα οδηγεί στη δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπει ή απορροφά το ηλιακό φως. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι πέρα από την αισθητική υποβάθμιση του νερού, η παρεμπόδιση της διέλευσης του ηλιακού φωτός και ο περιορισμός των διαδικασιών φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Επιπλέον, τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν τη μεταφορά συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Ο διαχωρισμός γίνεται με διήθηση και ξήρανση στους 105°C (Τσακίρης, 2010).

Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Με την παράμετρο των ολικών διαλυμένων στερεών εκφράζεται η συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων χλωριούχων, θειικών, νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών αλάτων. Είναι όλα τα σωματίδια τα οποία διέρχονται από ηθμό που αποτελείται από γυάλινες ίνες οπής διαμέτρου 1μm και παραμένουν μετά από ξήρανση του ηθμού σε θερμοκρασία 180°C.

Μία αναλυτική έκφραση που συνδέει με ικανοποιητική ακρίβεια (της τάξης του 10%) την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) είναι η ακόλουθη :

$$\text{TDS}\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) = 640 \times \text{EC}\left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}\right) \quad (2.1)$$

Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Η αλκαλικότητα είναι το όνομα που δίνεται στην ποσοτική ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος για την εξουδετέρωση ενός οξέος. Η μέτρηση της αλκαλικότητας είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της ικανότητας μίας ροής νερού να εξουδετερώσει τα οξέα ρύπανσης από βροχόπτωση ή λύματα. Είναι ένα από τα καλύτερα μέτρα της ευαισθησίας του ρεύματος προς τις όξινες εισόδους. Μπορεί να υπάρχουν μακροχρόνιες μεταβολές στην αλκαλικότητα των ποταμών και των ρευμάτων λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης. Η αλκαλικότητα δεν μετρά την ίδια ιδιότητα με το pH (δηλαδή την οξύτητα).

Η αλκαλικότητα μετρά την ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώσει τα οξέα στο σημείο ισοδυναμίας του ανθρακικού ή όξινου ανθρακικού άλατος. Η αλκαλικότητα είναι ίση με το στοιχειομετρικό άθροισμα των βάσεων στο διάλυμα. Στο φυσικό περιβάλλον η ανθρακική αλκαλικότητα τείνει να ισούται με το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής αλκαλικότητας, γεγονός που οφείλεται στην κοινή εμφάνιση και διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων και τη παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Άλλα κοινά φυσικά συστατικά που μπορούν να συνεισφέρουν στην αλκαλικότητα περιλαμβάνουν τα βορικό, υδροξείδιο, φωσφορικό άλας, πυριτικό, διαλυμένη αμμωνία, τις συζυγείς βάσεις ορισμένων οργανικών οξέων, και το θειικό άλας. Διαλύματα που παράγονται σε ένα εργαστήριο μπορεί να περιέχουν ένα ουσιαστικά απεριόριστο αριθμό βάσεων που συμβάλλουν στην αλκαλικότητα. Η αλκαλικότητα δίνεται συνήθως στη μονάδα mEq / L (χιλιοστοϊσοδύναμο ανά λίτρο) (Τσακίρης, 2010).

Η αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης εκφράζει την ποσότητα του οξέος που πρέπει να προστεθεί στο δείγμα για την εξουδετέρωση την τιμή pH 8.3, όπου αλλάζει χρώμα ο δείκτης φαινολοφθαλείνης. Παρακάτω δίνονται οι δύο εκφράσεις της αλκαλικότητας.

$$[\text{HCO}_3^-] + 2 \times [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (2.2)$$

$$\text{Αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης} = [\text{CO}_3^{2-}] \quad (2.3)$$

Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα του νερού είναι σημαντική για την ποιότητα των υδάτων. Η σκληρότητα είναι ένα μέτρο της ποσότητας των δισθενών ιόντων, όπως είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο και/ή το σίδηρο στο νερό. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά δισθενή άλατα, ωστόσο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι οι πιο κοινές πηγές της σκληρότητας του νερού (Κουϊμτζής & Σαμαρά, 1994).

Η σκληρότητα παραδοσιακά μετριέται με χημική τιτλοδότηση. Η σκληρότητα του δείγματος ύδατος αναφέρεται σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (μέρη ανά εκατομμύριο, ppm) σε ανθρακικό ασβέστιο ($\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$). Η σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου είναι ένας γενικός όρος που δηλώνει την συνολική ποσότητα των παρόντων δισθενών αλάτων και δεν εντοπίζει ειδικά αν το ασβέστιο, το μαγνήσιο ή κάποια άλλα δισθενή άλατα προκαλούν τη σκληρότητα του νερού. Η σκληρότητα μπορεί να προκύπτει από ένα μίγμα δισθενών αλάτων. Θεωρητικά, είναι δυνατό να έχουμε νερό με υψηλή σκληρότητα που δεν περιέχει ασβέστιο.

Μια χαμηλή τιμή σκληρότητας CaCO_3 είναι μια αξιόπιστη ένδειξη ότι η συγκέντρωση του ασβεστίου είναι χαμηλή. Ωστόσο, η υψηλή σκληρότητα δεν σημαίνει κατ' ανάγκη υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου. Μια υψηλή μέτρηση σκληρότητας θα μπορούσε να προκύψει από τις υψηλές συγκεντρώσεις μαγνησίου με μικρή ή χωρίς τη παρουσία ασβεστίου.

Η σκληρότητα συχνά συγχέεται με την αλκαλικότητα. Η αλκαλικότητα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι ένα μέτρο της ποσότητας των οξέων (ιόντα υδρογόνου) που μπορεί να απορροφήσει το νερό (buffer) πριν από την επίτευξη ενός καθορισμένου pH. Το πρόβλημα σχετίζεται με τον όρο που χρησιμοποιείται για να αναφερθούμε σε αυτούς τους δύο παράγοντες, CaCO_3 σε mg L^{-1} . Ακριβώς όπως με τη σκληρότητα, η αλκαλικότητα σε $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη συνολική ποσότητα βάσης (δέκτες ιόντος υδρογόνου). Αν ο ασβεστόλιθος είναι υπεύθυνος τόσο για τη σκληρότητα όσο και για την αλκαλικότητα, οι τιμές αυτές θα είναι παρόμοιες, αν όχι ταυτόσημες. Ωστόσο, όταν το διττανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) είναι υπεύθυνο για την υψηλή αλκαλικότητα, είναι δυνατόν

να έχουμε χαμηλή σκληρότητα και χαμηλά επίπεδα ασβεστίου. Το όξινο έδαφος ή το νερό πηγής έχει ελάχιστη ή καμία αλκαλικότητα και μπορεί να έχει χαμηλή ή υψηλή σκληρότητα (Κουϊμτζής & Σαμαρά, 1994).

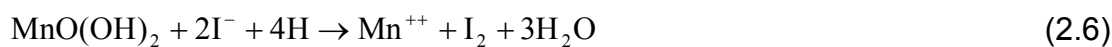
Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο σχετίζεται με τη χημική ρύπανση των υδάτων και ο προσδιορισμός του αποτελεί βασικό στοιχείο για τον έλεγχο της ρύπανσης. Υψηλές τιμές της παραμέτρου, ως τις τιμές κορεσμού, σημαίνει ότι τα νερά είναι καθαρά, ενώ οι μικρότερες τιμές δείχνουν ότι στο νερό υπάρχουν οργανικές ουσίες που ρυπαίνουν το νερό (Λουκάς, 2007).

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό γίνεται χημικά ή ηλεκτροχημικά με ειδικά όργανα (κατά Winkler). Η χημική μέθοδος βασίζεται στην προσθήκη στο δείγμα ιόντων Mn^{++} , σε αλκαλικό περιβάλλον, τα οποία οξειδώνονται από το ελεύθερο οξυγόνο του νερού σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Η ποσότητα του μαγγανίου που οξειδώθηκε προσδιορίζεται ιωδιομετρικά. Από την κατανάλωση του S_2O_3 υπολογίζεται το διαλυμένο οξυγόνο.



Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅)

Με τον όρο βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, εννοείται η ποσότητα του οξυγόνου η οποία καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για να

αποικοδομήσουν οξειδωτικά τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό σε διάστημα 5 ημερών, χωρίς φως σε σταθερή θερμοκρασία 20 °C.

Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται έμμεσα το φορτίο σε οργανικές ουσίες που υπάρχουν στο νερό. Αν οι ουσίες αυτές είναι τοξικές και νεκρώνουν τους μικροοργανισμούς, τότε τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται στο πραγματικό φορτίο (Λουκάς, 2007).

Οι τιμές BOD μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ολική φόρτιση των νερών με οργανικές ενώσεις, καθώς επίσης και για την απόδοση των συστημάτων βιολογικού καθαρισμού. Στον Πίνακα 2.2 δίνονται τιμές BOD₅ για διάφορα νερά.

Το BOD₅ προσδιορίζεται κυρίως με τις παρακάτω μεθόδους: την ογκομετρική, την ηλεκτροχημική, τη βαρομετρική και τη μέθοδο αραίωσης.

Η μέθοδος αραίωσης είναι η απλούστερη και εφαρμόζεται κατά κανόνα στον έλεγχο των ρυπασμένων νερών. Βασίζεται στον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου DO πριν και μετά την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων σε διάστημα πέντε ημερών, ύστερα από κατάλληλη αραίωση του δείγματος.

Το δείγμα αραιώνεται με αποσταγμένο νερό που έχει εμπλουτισθεί με οξυγόνο, ώστε μετά την επώαση να περιέχει το εξεταζόμενο δείγμα τουλάχιστον 2mg L⁻¹ οξυγόνου, όπου είναι και η ακριβής περιοχή μετρήσεων. Συνοπτικά το δείγμα αραιώνεται όσο πρέπει, μετρούμε το διαλυμένο οξυγόνο και στη συνέχεια επωάζεται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (Λουκάς, 2007).

Πίνακας 2.2 Τιμές BOD και COD σε διάφορα νερά και απόβλητα (Λουκάς, 2007).

Προέλευση	COD με $K_2Cr_2O_7$ (O_2 mg/l)	BOD (O_2 mg/l)
Νερά ποταμών χωρίς ρύπανση	-	< 1
Νερά ποταμών που έχουν ρυπανθεί	-	> 10
Νερά αποβλήτων μετά την κατεργασία	-	10-20
Νερά οικιακών ή βιομηχ. αποβλήτων	-	300-5000
Επιτρεπτά όρια στη Β. Ελλάδα (1978)	90	30
Επιτρεπτά όρια στη Β. Ελλάδα (1983)	250	80
Ακατέργαστα λύματα (οικιακά)	420	360
Βιομηχανία γάλακτος	700-5600	500-4200
Βιομηχανία κυτταρίνης	800	300
Βιομηχανία ζάχαρης	2000	1800
Βιομηχανία κονσερβ. λαχανικών	-	100-300
Βαφεία	-	500-600
Σφαγεία (αίμα μόσχου)	234000	167000
Οινοπνευματοποιία	90000	50000

Ο υπολογισμός του BOD γίνεται βάσει της σχέσης:

$$BOD (mgL^{-1}) = (D_1 - D_2)/A \quad (2.8)$$

όπου:

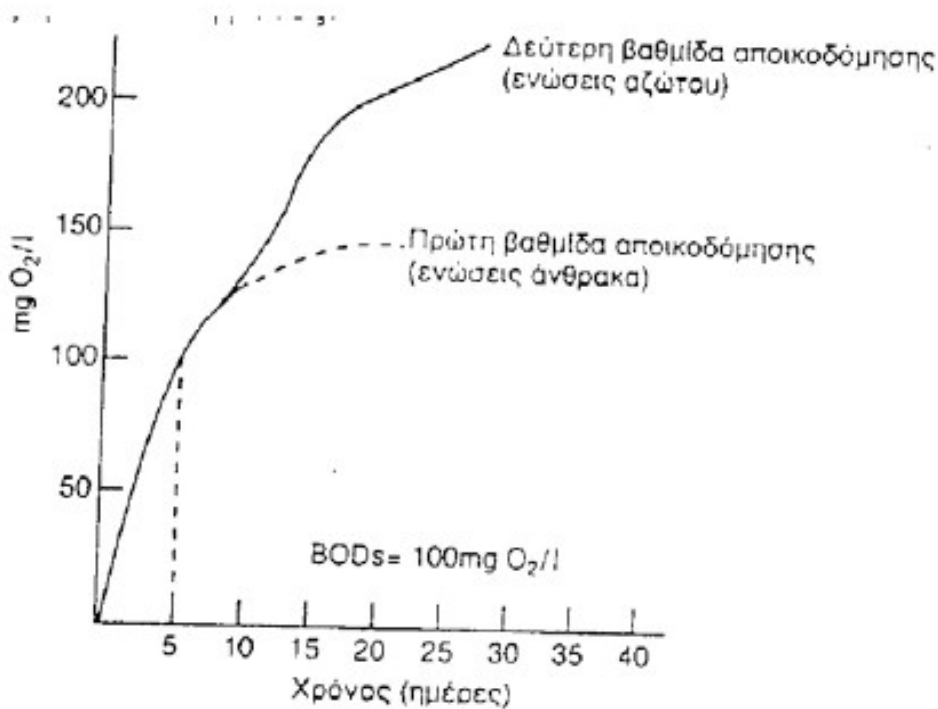
D_1 = είναι το αρχικά διαλυμένο O_2 σε $mg L^{-1}$

D_2 = είναι το τελικά διαλυμένο O_2 και

A = είναι ο συντελεστής αραίωσης

Η τιμή του BOD για το νερό αραίωσης πρέπει να είναι αμελητέα (μικρότερη από $0.5mg L^{-1}$). Εάν η τιμή D_2 είναι μικρότερη του $1.0mg L^{-1}$,

ο προσδιορισμός επαναλαμβάνεται διότι η αραίωση ήταν ανεπαρκής.



Εικόνα 2.3 Καμπύλη αποικοδόμησης οικιακών λυμάτων (Λουκάς, 2007).

Επίσης επαναλαμβάνουμε τον προσδιορισμό εάν η τιμή $D_1 - D_2 < 2 \text{ mg L}^{-1}$ διότι η αραίωση ήταν πολύ μεγάλη. Τα συγκριτικά αποτελέσματα έχουν αξία μόνο εάν οι προσδιορισμοί γίνονται κάτω από ίδιες ακριβώς συνθήκες. Οι παράμετροι που επιδρούν είναι: το είδος και ο αριθμός των υπαρχόντων μικροοργανισμών - το είδος των περιεχομένων οργανικών ουσιών - η προσφορά του οξυγόνου - η διάρκεια του προσδιορισμού - (διάρκεια δράσης μικροοργανισμών επί των οργανικών ουσιών) - η θερμοκρασία - ο φωτισμός και οι παρεμποδίσεις των βιολογικών διεργασιών λόγω της παρουσίας δηλητηριωδών ή παρεμποδιστικών ουσιών. Έτσι, όταν αναφερόμαστε π.χ. σε προσδιορισμό 5 ημερών συμβατικά το δηλώνουμε με ένα δείκτη, δηλ. BOD_5 .

Στην Εικόνα 2.3 απεικονίζεται η πορεία της αποικοδόμησης οικιακών λυμάτων. Η καμπύλη παριστάνει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο. Η πρώτη βαθμίδα αποικοδόμησης (διακοπτόμενη γραμμή) αντιστοιχεί στις ενώσεις του άνθρακα, ενώ η δεύτερη (συνεχής γραμμή) στις ενώσεις αζώτου. Το οξυγόνο

που καταναλώνεται στις πρώτες πέντε μέρες (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την τιμή BOD₅ του εξεταζόμενου δείγματος.

Ολικό άζωτο (TN)

Το ολικό άζωτο είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για τα φυτά και τα ζώα. Ωστόσο, μία περίσσεια ποσότητας αζώτου στο δείγμα ύδατος μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου και αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορα είδη φυτών και οργανισμών. Οι ενώσεις του αζώτου αποτελούν σημαντική παράμετρο στην αξιολόγηση της ρύπανσης των υδάτων. Το άζωτο συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτων, ιδιαίτερα σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Πηγές αζώτου περιλαμβάνουν: εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, απορροές από καλλιεργήσιμες εκτάσεις, την απορροή από την κοπριά των ζώων και αποθηκευτικούς χώρους, και βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν αναστολές διάβρωσης.

Το άζωτο βρίσκεται με τρεις κύριες μορφές στα υδάτινα σώματα: αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά άλατα. Το ολικό άζωτο είναι το άθροισμα της αμμωνίας, του οργανικού και μειωμένου αζώτου και των νιτρικών-νιτρώδων αλάτων. Μπορεί να προκύψει από τη μέτρηση των οργανικών ενώσεων του αζώτου, της ελεύθερης αμμωνίας και των νιτρικών-νιτρώδων αλάτων χωριστά και το άθροισμα των συγκεντρώσεων. Ένα αποδεκτό εύρος του ολικού αζώτου είναι από 2 mg L^{-1} έως 6 mg L^{-1} , αν και συνιστάται να γίνεται έλεγχος των προτύπων της κάθε χώρας και περιοχής.

Φώσφορος

Ο φώσφορος είναι το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψή του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε μια υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις όπου ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας, η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξεργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη

φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυτών ή μακρόφυτων που με τη σειρά τους προκαλούν ευτροφισμό. Ο ευτροφισμός αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο πρόβλημα σε ποταμούς, λίμνες, εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές.

Όταν τα νερά είναι καθαρά, τα ορθοφωσφορικά ιόντα ανιχνεύονται σε μικρές μόνο ποσότητες. Τα ιόντα αυτά προέρχονται κατά το πλείστον από τις βροχές και από την αποσάθρωση φωσφοριτών και έκπλυση λιπασμάτων. Η παρουσία τους οφείλεται και σε πολλές άλλες πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρημένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δε δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου.

Μία από τις μεγαλύτερες πηγές ορθοφωσφορικών ως ρυπαντές των νερών είναι τα απορρυπαντικά. Η αντίδραση συνθετικών απορρυπαντικών με ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου για να σχηματίσουν σύμπλοκα ιόντα, ελαττώνει την ικανότητα καθαρισμού των απορρυπαντικών. Τα πολυφωσφορικά ιόντα, τα οποία είναι ανιόντα που περιέχουν διάφορες φωσφορικές ομάδες ενωμένες με κοινό άτομο οξυγόνου, προστίθενται στα απορρυπαντικά ως πρόσθετα, σχηματίζοντας έτσι ευδιάλυτα σύμπλοκα με τα μέταλλα αυτά.

Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα, ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών και πολυορθοφωσφορικών ιόντων και ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Φαινόλες – Διοξίνες

Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων με φαινόλες είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και τα αστικά λύματα. Κατά την χλωρίωση, αν το νερό περιέχει φαινόλες, το χλώριο αντικαθιστά τα άτομα υδρογόνου του φαινολικού δακτυλίου και σχηματίζονται χλωροφαινόλες, οι οποίες προσδίδουν δυσάρεστη γεύση και οσμή στο νερό. Στο σύνολο τους είναι αδιάλυτες στο νερό, μεταφέρονται όμως με τον αέρα και το νερό και δεσμεύονται στον λιπαρό ιστό των ζώων και των ψαριών από όπου εισέρχονται στην τροφική

αλυσίδα. Είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες και έχουν χαμηλό ρυθμό βιοαπικοδόμησης (Χαραλάμπους, 2006).

Ιχνοστοιχεία

Τα βαρέα μέταλλα στο νερό μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ανεπιθύμητες ενέργειες, που περιλαμβάνουν μειωμένη σωματική και νοητική ανάπτυξη, καρκίνο, βλάβη των οργάνων, βλάβη του νευρικού συστήματος, και σε ακραίες περιπτώσεις, θάνατο. Η έκθεση σε ορισμένα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, μπορεί επίσης να προκαλέσει την ανάπτυξη αυτοανοσίας, στην οποία το ανοσοποιητικό σύστημα ενός ατόμου προσβάλλει τα δικά του κύτταρα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ασθένειες των αρθρώσεων όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα, και ασθένειες των νεφρών, του κυκλοφορικού συστήματος και του νευρικού συστήματος.

Τα νεαρά άτομα είναι πιο επιρρεπή στις τοξικές επιδράσεις των βαρέων μετάλλων, καθώς και τα ταχέως αναπτυσσόμενα συστήματα του σώματος στο έμβρυο, στα βρέφη και τα μικρά παιδιά είναι πολύ πιο ευαίσθητα. Η έκθεση των παιδιών σε μερικά μέταλλα μπορεί να οδηγήσει σε δυσκολίες μάθησης, εξασθένηση της μνήμης, βλάβες στο νευρικό σύστημα, καθώς και προβλήματα συμπεριφοράς όπως επιθετικότητα και υπερκινητικότητα. Σε υψηλότερες δόσεις, τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες στον εγκέφαλο. Τα παιδιά μπορούν να λαμβάνουν υψηλότερες δόσεις των μετάλλων από τα τρόφιμα από τους ενήλικες, διότι καταναλώνουν περισσότερη τροφή για το σωματικό βάρος τους από τους ενήλικες (Χαραλάμπους, 2006).

Τα ιχνοστοιχεία μπορούν να βρεθούν σε βιομηχανικά, δημοτικά και αστικά απόβλητα, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και τους υδρόβιους οργανισμούς. Η ένταση της αστικοποίησης και της εκβιομηχάνισης ευθύνεται για την αύξηση του επιπέδου των ιχνοστοιχείων, ειδικά των βαρέων μετάλλων, στους υδροφόρους ορίζοντες. Υπάρχουν πάνω από 50 στοιχεία που μπορούν να ταξινομηθούν ως βαρέα μέταλλα, 17 από τα οποία θεωρούνται ότι είναι πολύ τοξικά και σχετικά προσβάσιμα. Το επίπεδο

τοξικότητας εξαρτάται από το είδος του μετάλλου, το βιολογικό ρόλο, και το είδος των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτό.

Τα ιχνοστοιχεία που προκαλούν βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το αρσενικό και το κάδμιο. Άλλα ιχνοστοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του χαλκού, ψευδαργύρου και του χρωμίου, στην πραγματικότητα απαιτούνται από το σώμα σε μικρές ποσότητες, αλλά μπορεί επίσης να είναι τοξικά σε μεγαλύτερες δόσεις.

Τα ιχνοστοιχεία απελευθερώνονται στο περιβάλλον από εκπομπές στην ατμόσφαιρα από την καύση του άνθρακα στα εργοστάσια, χυτήρια και άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αποτεφρωτήρες αποβλήτων, απόβλητα της διαδικασίας από την εξόρυξη και τη βιομηχανία, και το μόλυβδο σε υδραυλικά νοικοκυριών. Η βιομηχανία δεν είναι η μόνη υπεύθυνη, καθώς τα βαρέα μέταλλα μπορεί μερικές φορές να εισέλθουν στο περιβάλλον μέσω φυσικών διεργασιών. Για παράδειγμα, οξειδία αρσενικού μπορεί να διαλυθούν και να καταλήξουν στα υπόγεια ύδατα, με πιθανό αποτέλεσμα την υπέρβαση της παραμετρικής τιμής των βαρέων μετάλλων στα αποθέματα πόσιμου ύδατος της περιοχής (Χαραλάμπους, 2006).

Εκτός από πόσιμο νερό, μπορούμε να εκτεθούν σε βαρέα μέταλλα μέσω της εισπνοής των ατμοσφαιρικών ρύπων, την έκθεση σε μολυσμένα εδάφη ή βιομηχανικά απόβλητα, ή την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων. Λόγω του μολυσμένου νερού, πηγές τροφίμων όπως λαχανικά, δημητριακά, φρούτα, ψάρια και οστρακοειδή μπορεί επίσης να μολυνθούν.

Μεταφερόμενα στερεά και συστατικά

Η αποδοτικότητα της αρδευόμενης γεωργίας εξαρτάται εκτός των άλλων και από τα μεταφερόμενα οργανικά και ανόργανα υλικά. Είναι χαρακτηριστικό ότι τόσο στα δίκτυα αρδεύσεως όσο και στα δίκτυα μεταφοράς (π.χ. διάβρωση και εναπόθεση) και αποθήκευσης (π.χ. μείωση του ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρων) τα μεταφερόμενα υλικά έχουν αρνητικές συνέπειες.

Για τα επιφανειακά ρέοντα ύδατα και πάντα σε σχέση με την πηγή νερού που

χρησιμοποιείται, τα πιο συνηθισμένα ανιόντα είναι τα Διπτανθρακικά (HCO_3^-) και τα θειικά (SO_4^{2-}), ενώ το Ασβέστιο (Ca^{2+}) και το Νάτριο (Na^+) αποτελούν τα κύρια κατιόντα. Το νερό της βροχής περιέχει διαλυμένα αέρια (N_2 , O_2 , CO_2) και διαλυμένα άλατα που προέρχονται από τη γήινη επιφάνεια ή τη θάλασσα.

Έπειτα, επισημαίνεται το πλήθος άλλων ουσιών οι οποίες δύναται να βρεθούν σε νερό για άρδευση σε πολύ μικρές ποσότητες. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την κατάταξη σε κατηγορίες και είναι το Φθόριο, το Βρώμιο, το Ιώδιο, το Λίθιο και άλλα.

2.3.3 Βιολογικές παράμετροι

Ολικά κολοβακτηρίδια

Τα κολοβακτηρίδια είναι βακτήρια που είναι πάντα παρόντα στο πεπτικό σύστημα των ζώων, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, και βρίσκονται στα απόβλητα τους. Βρίσκονται επίσης στα φυτά και στο έδαφος. Το πιο βασικό τεστ για τη βακτηριακή μόλυνση της παροχής νερού είναι η μέτρηση για ολικά κολοβακτηρίδια. Η μέτρηση για ολικά κολοβακτηρίδια δίνει μια γενική ένδειξη της κατάστασης υγιεινής του δείγματος νερού (Λουκάς, 2007).

Τα ολικά κολοβακτηρίδια περιλαμβάνουν βακτηρίδια που βρίσκονται στο έδαφος, στο νερό που έχει επηρεαστεί από το επιφανειακό νερό, και στα απόβλητα των ανθρώπων ή των ζώων.

Εντερικά κολοβακτηρίδια

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια είναι η ομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών που βρίσκονται ειδικά στο έντερο και τα περιττώματα των θερμόαιμων ζώων. Επειδή η προέλευση των κολοβακτηριδίων αυτών είναι πιο ειδική από αυτή των ολικών κολοβακτηριδίων, τα κολοβακτηριοειδή αυτά θεωρείται ότι εντοπίζουν την ύπαρξη των αποβλήτων ζώων ή ανθρώπων αντίθετα με τα

ολικά κολοβακτηρίδια (Λουκάς, 2007).

Τα *Escherichia coli* (*E. Coli*) είναι τα κύρια είδη βακτηριδίων στην ομάδα κολοβακτηριδίων κοπράνων. Από τις πέντε γενικές ομάδες των βακτηρίων που περιλαμβάνονται στο σύνολο των κολοβακτηριδίων κοπράνων, μόνο τα *E. coli* δεν μπορούν να καλλιεργηθούν και να αναπαραχθούν στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα *E. coli* θεωρούνται το είδος των κολοβακτηριδίων που είναι ο καλύτερος δείκτης της κοπρανώδους μόλυνσης και η πιθανή παρουσία παθογόνων (Λουκάς, 2007)

Τα περισσότερα κολοβακτηρίδια δεν προκαλούν ασθένεια. Ωστόσο, ορισμένα σπάνια στελέχη του *E. coli*, ιδιαίτερα το στέλεχος 0157:H7, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ασθένεια. Πρόσφατα κρούσματα της νόσου που προκαλείται από *E. coli* 0157: H7 έχουν προκαλέσει μεγάλη δημόσια ανησυχία για τον οργανισμό αυτό. Το *E. coli* 0157: H7 έχει βρεθεί σε βοοειδή, κοτόπουλα, χοίρους και πρόβατα. Οι περισσότερες από τις ανθρώπινες περιπτώσεις οφείλονται στην κατανάλωση υπό-μαγειρεμένων χάμπουργκερ. Περιπτώσεις μόλυνσης με *E. coli* 0157: H7 που προκαλείται από μολυσμένο πόσιμο νερό είναι σπάνιες. Η μόλυνση των υδάτων που προκαλείται από τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, λόγω της πιθανότητας να μολυνθεί με ασθένειες από παθογόνα. Συχνά, οι συγκεντρώσεις των παθογόνων είναι μικρές, και ο αριθμός των διάφορων πιθανών παθογόνων είναι μεγάλος. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι πρακτικό να μετρά κανείς τα παθογόνα σε κάθε δείγμα νερού που συλλέγεται. Αντ' αυτού, η παρουσία παθογόνων προσδιορίζεται με την έμμεση απόδειξη με τη μέτρηση ενός «δείκτη» οργανισμών όπως τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια.

Τα κολοβακτηρίδια προέρχονται από τις ίδιες πηγές με τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα κολοβακτηριοειδή είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστούν, συνήθως υπάρχουν σε μεγαλύτερους αριθμούς από ό,τι τα πιο επικίνδυνα παθογόνα και αντιδρούν στο περιβάλλον, την επεξεργασία λυμάτων, καθώς και την επεξεργασία νερού, με τον ίδιο τρόπο όπως πολλά παθογόνα. Ως αποτέλεσμα, οι δοκιμές για κολοβακτηρίδια μπορεί να είναι μια λογική ένδειξη του κατά πόσον είναι παρόντα άλλα παθογόνα βακτήρια (Λουκάς, 2007).

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή δεικτών ποιότητας υδάτων

3.1 Ιστορική επισκόπηση της εξέλιξης των δεικτών ποιότητας υδάτων

Οι δείκτες ποιότητας υδάτων αποσκοπούν στο να δώσουν μια ενιαία τιμή για την ποιότητα υδάτων της πηγής με βάση κάποιο σύστημα που μεταφράζει τον κατάλογο των συστατικών και των συγκεντρώσεων ενός δείγματος σε μια ενιαία τιμή. Τότε μπορεί κανείς να συγκρίνει διαφορετικά δείγματα για την ποιότητα, με βάση την τιμή του δείκτη του κάθε δείγματος.

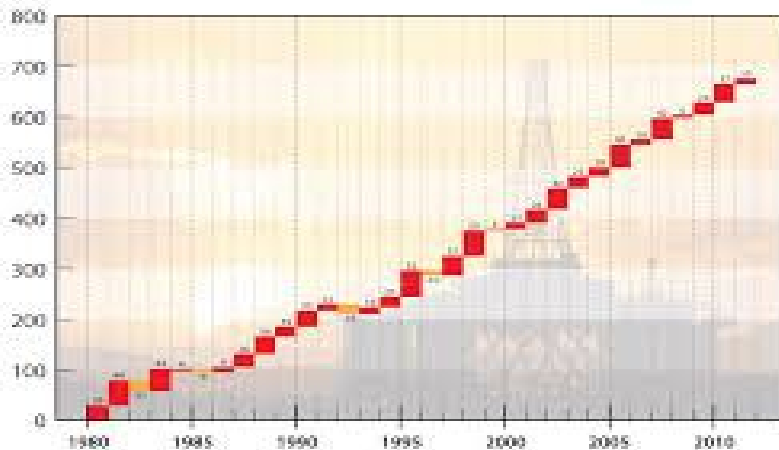
Η ιδέα της χρήσης ενός δείκτη, για να εκπροσωπήσει σε μια ενιαία τιμή την κατάσταση πολλών μεταβλητών δεν είναι μια νέα ιδέα. Για παράδειγμα στην οικονομία και το εμπόριο, οι περισσότερες χώρες έχουν έναν «δείκτη τιμών καταναλωτή», ο οποίος, με βάση την ενσωμάτωση των τιμών ορισμένων βασικών προϊόντων, αποτελεί μία τιμή που λαμβάνεται για να καθοριστεί αν η αγορά είναι, σε γενικές γραμμές, υψηλότερα ή χαμηλότερα σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη στιγμή του παρελθόντος (Abbasi, 2012). Τα προϊόντα που συμμετέχουν στους εν λόγω δείκτες επιλέγονται βάσει της δύναμης του οδηγού, με άλλα λόγια, τη δύναμη ή την επιρροή του εμπορεύματος έναντι των τιμών πολλών άλλων εμπορευμάτων. Εάν ένα σαμπουάν γίνει ακριβότερο ή φθηνότερο, δεν θα επηρεάσει τις τιμές των άλλων βασικών προϊόντων σημαντικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε μεταβολή της τιμής του τσιμέντου ή πετρελαίου θα έχει σημαντική επίδραση στην αγορά.

Στη συνέχεια, έχουμε δείκτες μεριδίου αγοράς, όπως ο δείκτης Dow Jones του χρηματιστηρίου της Νέας Υόρκης και ο δείκτης Sensex του χρηματιστηρίου της Βομβάης. Οι δείκτες αυτοί αποτελούνται επίσης από τις τιμές ορισμένων μετοχών υψηλής ισχύος οδηγού (όπως το τσιμέντο). Με τον καιρό οι δείκτες αυτοί έχουν γίνει μέτρα όχι απλώς του αποθέματος που διαπραγματεύονται στα αντίστοιχα χρηματιστήρια, αλλά και των οικονομιών των αντίστοιχων

χωρών. Όταν οι δείκτες των οικονομικά ανεπτυγμένων χωρών, όπως ο δείκτης Dow Jones, υποστούν πτώση, υπάρχει αντίκτυπο στα χρηματιστήρια των περισσότερων άλλων χωρών (Abbasi, 2012).

Δείκτες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στην οικολογία ώστε να εκπροσωπήσουν τον πλούτο των ειδών, την ομαλότητα, την ποικιλία κ.λπ. Ως εκ τούτου, έχουμε τον δείκτη Shannon, τον δείκτη Simpson, και ούτω καθεξής. Στην Εικόνα 3.1 απεικονίζεται η διακύμανση του δείκτη της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη τα τελευταία 30 χρόνια, παρουσιάζει την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ένα διαφορετικό εργαλείο ελέγχου. Μπορεί να ειπωθεί ότι οι δείκτες είναι σύνθετες αναπαραστάσεις μιας κατάστασης που προέρχεται από το συνδυασμό, που γίνεται με συγκεκριμένους τρόπους, μεταξύ πολλών άλλων κρίσιμων και παρατηρήσιμων γεγονότων / μετρήσεων. Ο συνδυασμός οδηγεί σε έναν ενιαίο αδιάστατο αριθμό που διευκολύνει την κατανόηση και την ερμηνεία της γενικής εισαγωγής των γεγονότων που συνέβαλαν σε αυτόν τον αριθμό (Abbasi, 2012).

Climate Change Index



Εικόνα 3.1 Δείκτης κλιματικής αλλαγής (Πηγή www.igbp.net)

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες, στους οποίους κατατάσσονται και οι δείκτες ποιότητας υδάτων, αποτελούν ένα σημαντικό συστατικό και χρησιμοποιούνται ως εργαλεία επικοινωνίας με τους ρυθμιστικούς οργανισμούς για να περιγράψουν την «ποιότητα» ή «υγεία» ενός συγκεκριμένου περιβαλλοντικού

συστήματος (π.χ., του αέρα, του νερού, το έδαφος και τα ιζήματα) και για την αξιολόγηση του αντίκτυπου των ρυθμιστικών πολιτικών σε διάφορες πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Οι περιβαλλοντικοί δείκτες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής και στην κατηγοριοποίηση διαφόρων τύπων περιβαλλοντικών ζημιών, συμπεριλαμβανομένης της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Abbasi, 2012).

Οι δείκτες ποιότητας υδάτων (Water Quality Indices - WQIS) μπορεί να έχουν αποκτήσει αξία κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών αλλά η πρωταρχική ιδέα σε πρώιμη μορφή εμφανίστηκε για πρώτη φορά πάνω από 150 χρόνια πριν, το 1848 στη Γερμανία (Abbasi, 2012), όπου η παρουσία ή η απουσία ορισμένων οργανισμών στο νερό, χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης της καταλληλότητας ή μη μιας πηγής νερού.

Από τότε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει διαφορετικά συστήματα για την ταξινόμηση της ποιότητας των υδάτων στις περιοχές τους. Αυτά τα συστήματα ταξινόμησης των υδάτων συνήθως είναι δύο τύπων (Abbasi, 2012) :

1. Εκείνα που ασχολούνται με την ποσότητα της ρύπανσης στο δείγμα
2. Εκείνα που ασχολούνται με τις ζωντανές κοινότητες των μακροσκοπικών ή μικροσκοπικών οργανισμών.

Αντί να εκχωρήσουν μια αριθμητική τιμή στην ποιότητα του νερού, τα συστήματα ταξινόμησης κατηγοριοποιούν τα υδατικά συστήματα σε μία από τις αρκετές κατηγορίες ή επίπεδα ρύπανσης. Αντίθετα, οι δείκτες που χρησιμοποιούν μια αριθμητική κλίμακα για να αντιπροσωπεύουν διαβαθμίσεις των επιπέδων της ποιότητας των υδάτων είναι ένα πρόσφατο φαινόμενο, που αρχίζει με το δείκτη Horton το 1965, όπως περιγράφεται παρακάτω (Abbasi, 2012).

3.1.1 Πλεονεκτήματα της χρήσης των δεικτών ποιότητας υδάτων

Η διαμόρφωση και η χρήση των δεικτών έχει υποστηριχθεί σθεναρά από οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού.

Μόλις τα δεδομένα της ποιότητας του νερού συλλεχθούν μέσω δειγματοληψίας και ανάλυσης, προκύπτει η ανάγκη για τη μετάφραση τους σε μια μορφή που είναι εύκολα κατανοητή.

Οι WQIS χρησιμεύουν ως ένα βολικό εργαλείο που εξετάζει τις τάσεις, επισημαίνει συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, και βοηθά κυβερνητικούς φορείς λήψης αποφάσεων στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ρυθμιστικών προγραμμάτων (Abbasi, 2012).

Φυσικά, δεν αποτελούν την μόνη πηγή πληροφορίας που χρησιμοποιείται σε αποφάσεις που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους. Πολλοί άλλοι παράγοντες λαμβάνονται υπόψη, εκτός από τους δείκτες και τα δεδομένα παρακολούθησης στα οποία βασίζονται αυτοί.

Πράγματι, σχεδόν όλοι οι σκοποί για τους οποίους παρακολουθείται η ποιότητα των υδάτων αξιολόγηση, αξιοποίηση, επεξεργασία, κατανομή των πόρων, την ενημέρωση του κοινού, έρευνα και ανάπτυξη και περιβαλλοντικός σχεδιασμός - όλοι εξυπηρετούνται από δείκτες. Επιπλέον, οι δείκτες καθιστούν τη μεταφορά και αξιοποίηση των στοιχείων ποιότητας υδάτων πιο εύκολη και διαυγή. Οι δείκτες ποιότητας του νερού βοηθούν στα εξής (Abbasi, 2012) :

1. Κατανομή των πόρων

Οι δείκτες που σχετίζονται με αποφάσεις μπορούν να εφαρμοστούν για να βοηθήσουν τους διαχειριστές στην κατανομή κεφαλαίων και τον καθορισμό των προτεραιοτήτων.

2. Κατάταξη των χορηγήσεων

Δείκτες μπορούν να εφαρμοστούν για να βοηθήσουν στην σύγκριση της ποιότητας του νερού σε διαφορετικές περιοχές ή γεωγραφικές περιοχές.

3. Τήρηση των κανόνων

Δείκτες μπορούν να εφαρμοστούν σε συγκεκριμένες θέσεις για να καθορίσουν το βαθμό στον οποίο πληρούνται τα νομοθετικά πρότυπα και τα υφιστάμενα κριτήρια ποιότητας.

4. Ανάλυση τάσεων

Δείκτες μπορούν να εφαρμοστούν σε δεδομένα ποιότητας υδάτων σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα για τον προσδιορισμό των αλλαγών στην ποιότητα (αποδόμηση ή βελτίωση) που έχουν επέλθει με την πάροδο του χρόνου.

5. Ενημέρωση του κοινού

Καθώς η τιμή του δείκτη είναι ένα εύκολο στην κατανόηση μέτρο του επιπέδου της ποιότητας του νερού, οι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κρατήσουν το κοινό ενήμερο για τη συνολική ποιότητα των υδάτων της κάθε πηγής, ή κάθε διαφορετικής πηγής.

6. Επιστημονική έρευνα

Η εγγενής ποιότητα ενός δείκτη που μεταφράζει μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων σε μια ενιαία τιμή είναι εξαιρετικά πολύτιμη στην επιστημονική έρευνα, για παράδειγμα για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας των διάφορων μέτρων επεξεργασίας νερού με αναφορά σε ένα σώμα νερού, τον αντίκτυπο των αναπτυξιακών δραστηριοτήτων σχετικά με την ποιότητα των υδάτων κ.λπ.

3.2 Η πρώτη σύγχρονη προσπάθεια δημιουργίας δείκτη ποιότητας υδάτων – Δείκτης Horton

Ο Horton (1965), έθεσε για τον εαυτό του τα ακόλουθα κριτήρια κατά την ανάπτυξη του πρώτου σύγχρονου WQI:

1. Ο αριθμός των μεταβλητών που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον δείκτη θα πρέπει να περιορίζεται για να αποφευχθεί η πολυπλοκότητα του δείκτη.

2. Οι μεταβλητές πρέπει να είναι ιδιαίτερης σημασίας στις περισσότερες περιοχές.
3. Θα πρέπει να συμπεριληφθούν μόνο τέτοιες μεταβλητές των οποίων τα δεδομένα είναι διαθέσιμα, ή μπορούν να ληφθούν αξιόπιστα στοιχεία.

Ο Horton επέλεξε δέκα (10) από τις πιο συχνά μετρούμενες μεταβλητές ποιότητας του νερού για το δείκτη του, συμπεριλαμβανομένων των παραμέτρων: διαλυμένο οξυγόνο (DO), pH, κολοβακτηρίδια, ειδική αγωγιμότητα, αλκαλικότητα και χλώριο. Η ειδική αγωγιμότητα επρόκειτο να χρησιμεύσει ως ένα κατά προσέγγιση μέτρο των συνολικών διαλυμένων στερεών (TDS), και το χλωροφόρμιο συμπεριλήφθηκε για να προσεγγίσει την επιρροή της οργανικής ύλης. Μία από τις μεταβλητές, η επεξεργασία των λυμάτων (ποσοστό του πληθυσμού που εξυπηρετείται), σχεδιάστηκε για να δείξει την αποτελεσματικότητα των δραστηριοτήτων μείωσης με την παραδοχή ότι οι χημικές και βιολογικές μετρήσεις της ποιότητας έχουν μικρή σημασία μέχρι να υπάρξει ουσιαστική πρόοδος στην εξάλειψη των απορρίψεων ακατέργαστων λυμάτων. Το βάρος του δείκτη κυμαίνεται από 1 έως 4. Ειδικότερα, ο δείκτης Horton δεν περιλαμβάνει τυχόν τοξικές χημικές ουσίες.

Τα αποτελέσματα του δείκτη λαμβάνονται με μια γραμμική αθροιστική συνάρτηση. Η συνάρτηση αποτελείται από το σταθμισμένο άθροισμα των υποδεικτών I_i που διαιρείται με το άθροισμα των βαρών W_i και πολλαπλασιάζεται με δύο συντελεστές M_1 και M_2 , οι οποίοι αντανakλούν τη θερμοκρασία και την προφανή ρύπανση, αντίστοιχα:

$$QI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i} M_1 M_2 \quad (3.1)$$

Ο δείκτης Horton είναι εύκολο να υπολογιστεί, ακόμη και αν και οι συντελεστές M_1 και M_2 απαιτούν κάποια προσαρμογή ανάλογα με την εφαρμογή. Η δομή του δείκτη, τα βάρη του, και η κλίμακα διαβάθμισης είναι πολύ υποκειμενικά, δεδομένου ότι βασίζονται στην κρίση του συγγραφέα και μερικούς από τους συνεργάτες του.

Η πρωτοποριακή προσπάθεια του Horton, αποτέλεσε αφετηρία για

διάφορους συγγραφείς που αγωνίστηκαν για την ανάπτυξη λιγότερο υποκειμενικών, αλλά περισσότερο λεπτομερών και χρησιμων δεικτών ποιότητας υδάτων.

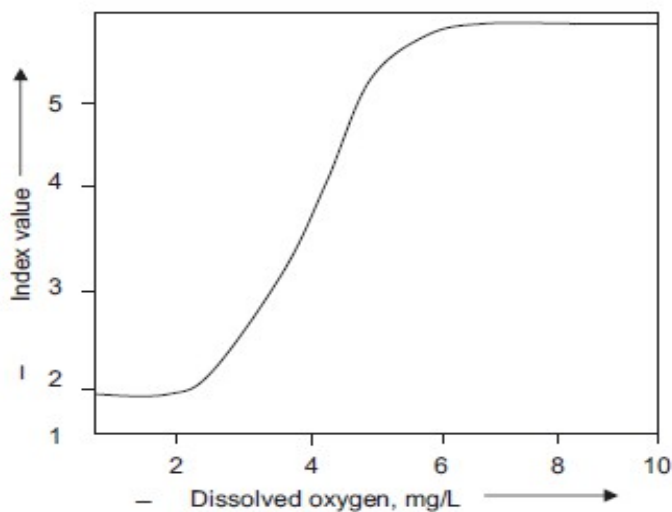
3.3 Δείκτης NSF (National Sanitation Foundation)

Ο Brown et al. (1970) ανέπτυξε ένα δείκτη ποιότητας υδάτων με δομή παρόμοια με τον δείκτη Horton, αλλά με πολύ μεγαλύτερη αυστηρότητα στην επιλογή παραμέτρων, την ανάπτυξη μιας κοινής κλίμακας και τον καθορισμό των συντελεστών, για τον καθορισμό των οποίων εφαρμόστηκε η μέθοδος Delphi. Η προσπάθεια αυτή υποστηρίχθηκε από το Εθνικό Ίδρυμα Υγιεινής (NSF). Για το λόγο αυτό, ο δείκτης Brown επίσης αναφέρεται ως NSF-WQI.

Μια ομάδα από 142 ειδικούς με εμπειρία στον τομέα της διαχείρισης της ποιότητας του νερού σχηματίστηκε για τη μελέτη. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να εξετάσουν 35 παραμέτρους για πιθανή ένταξη στο ευρετήριο. Ήταν ελεύθεροι να προσθέσουν στη λίστα οποιαδήποτε παράμετρο της επιλογής τους. Σε κάθε παράμετρο μπορούσε να ανατεθεί μία από τις ακόλουθες επιλογές: «δεν περιλαμβάνεται», «αναποφάσιστος» ή «περιλαμβάνεται». Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να κατατάξουν τις παραμέτρους που πρότειναν να συμπεριληφθούν, σύμφωνα με τη σημασία τους στη συμβολή στη συνολική ποιότητα. Η βαθμολόγηση έγινε με κλίμακα από το 1 (υψηλότερη) έως το 5 (χαμηλότερη). Οι απαντήσεις του πάνελ περιήλθαν στη γνώση του κάθε μέλους της ομάδας και τα μέλη είχαν τη δυνατότητα να αναθεωρήσουν την ατομική απόφαση τους υπό το πρίσμα της απάντησης του συνολικού πάνελ (Abbasi, 2012). Τέλος, από τα μέλη του πάνελ ζητήθηκε να επιλέξουν όχι περισσότερες από 15 παραμέτρους που θεωρούν ότι είναι οι πιο σημαντικές. Ο πλήρης κατάλογος των παραμέτρων που διοργανώθηκε κατά φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας, όπως καθορίστηκε από τη μέση βαθμολογία του πίνακα, παρουσιάστηκε σε κάθε μέλος. Συνεχίζοντας με αυτόν τον τρόπο, οριστικοποιήθηκε ένας κατάλογος με έντεκα παραμέτρους (Πίνακας 3.1).

Στα μέλη του πάνελ ζητήθηκε να εκχωρήσουν τιμές για τη μεταβολή του επιπέδου της ποιότητας του νερού που παράγεται από διαφορετικές

συγκεντρώσεις των παραμέτρων που επιλέγονται ως ανωτέρω. Η σχέση συγκέντρωσης-τιμής της κάθε παραμέτρου λήφθηκε με τη μορφή ενός γραφήματος. Αυτά τα γραφήματα παρήχθησαν από τους ομιλητές για να υποδηλώσουν τις καμπύλες που, κατά την κρίση τους, αντιπροσώπευουν καλύτερα τη διακύμανση της στάθμης της ποιότητας των υδάτων που παράγεται από πιθανές μετρήσεις της κάθε αντίστοιχης παραμέτρου. Οι απόφασεις του συνόλου των ερωτηθέντων σταθμίστηκαν για να παραχθεί μια σειρά από καμπύλες, μία για κάθε παράμετρο. Η Εικόνα 3.2 δείχνει την καμπύλη διαβάθμισης για το διαλυμένο οξυγόνο DO. Για τα φυτοφάρμακα και τα τοξικά στοιχεία, προτάθηκε ότι, εάν το σύνολο των περιεχομένων σε φυτοφάρμακα ή τοξικά στοιχεία (όλων των τύπων) που ανιχνεύονται υπερβαίνει τα $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ο δείκτης της ποιότητας του νερού γίνεται αυτόματα μηδενικός (Abbasi, 2012).



Εικόνα 3.2 Υποδείκτης διαλυμένου οξυγόνου NSF (Abbasi, 2012)

Πίνακας 3.1 Πίνακας με τις σημαντικότερες παραμέτρους κατά τη μέθοδο Delphi για τον δείκτη NSF (Abbasi, 2012)

Παράμετρος	Βαθμός Σημαντικότητας
Διαλυμένο Οξυγόνο	1
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου	2
Θολερότητα	3
Ολικά Στερεά	4
Νιτρικά Άλατα	5
Φωσφορικά Άλατα	6
pH	7
Θερμοκρασία	8
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια	9
Εντομοκτόνα	10
Τοξικά Στοιχεία	11

Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να συγκρίνουν σχετική συνολική ποιότητα του νερού χρησιμοποιώντας μια κλίμακα από το 1 (υψηλότερο) έως το 5 (χαμηλότερη) για τις τελικές επιλεγμένες παραμέτρους. Ο αριθμητικός μέσος όρος υπολογίστηκε από τις αξιολογήσεις των εμπειρογνομώνων.

Για να μετατραπεί η αξιολόγηση σε βάρη, ένα προσωρινό βάρος 1,0 ανατέθηκε στην παράμετρο που έλαβε την υψηλότερη βαθμολογία σημασίας. Όλα τα άλλα προσωρινά βάρη λήφθηκαν διαιρώντας την υψηλότερη βαθμολογία με τη μέση βαθμολογία. Κάθε προσωρινό βάρος διαιρείται μετά με το άθροισμα όλων των προσωρινών βαρών για να φθάσει στο τελικό βάρος. Ο Πίνακας 3.3 δίνει τη μέση τιμή, τα προσωρινά βάρη και τελικά βάρη των επιλεγμένων παραμέτρων.

Ο δείκτης NSF αντιπροσωπεύει τη γενική ποιότητα του νερού. Δεν αναγνωρίζει και ενσωματώνει συγκεκριμένες λειτουργίες του νερού, όπως η παροχή πόσιμου νερού, γεωργία, βιομηχανία, κλπ. Σχετικά με αυτή τη δυσκολία υπήρξε μια εμφανής τάση ορισμένοι από τους ερωτηθέντες να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό στην κρίση της καταλληλότητας των παραμέτρων για την καταχώριση στον WQI, από παράγοντες όπως η

διαθεσιμότητα δεδομένων και οι υφιστάμενες αναλυτικές μέθοδοι για τη μέτρηση των διαφόρων παραμέτρων.

Ο δείκτης υπολογίζεται από τη σχέση που προτάθηκε από τον Brown (1970):

$$WQI = \sum_{i=1}^9 w_i T_i(p_i) = \sum_{i=1}^9 w_i q_i \quad (3.2)$$

όπου

p είναι η τιμή μέτρησης της παραμέτρου i

T_i είναι η καμπύλη μετασχηματισμού της παραμέτρου i στον αδιάστατο υποδείκτη (βαθμός ποιότητας) q_i

w_i είναι το σχετικό βάρος της παραμέτρου i ώστε το άθροισμα όλων των βαρών και των εννέα παραμέτρων να ισούται με τη μονάδα.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι παράμετροι και οι αντίστοιχες μονάδες μέτρησής τους, που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του δείκτη NSF.

Πίνακας 3.2 Παράμετροι και μονάδες μέτρησες δείκτη NSF (Abbasi, 2012)

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης
pH	pH units
Αλλαγή Θερμοκρασίας	degrees C
Διαλυμένο οξυγόνο	% saturation
Βιοχημική Απαιτήση Οξυγόνου	mg L ⁻¹
Θολότητα	NTU
Φωσφορικά Άλατα	mg L ⁻¹ P
Ολικό άζωτο	mg L ⁻¹ NO ₃ -N
E. coli*	CFU/100 mL
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια*	CFU/100 mL

- Να σημειωθεί ότι μόνο μία από τις δύο παραμέτρους, ή τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, ή τα E.coli, μπαίνουν στην εξίσωση, όχι και τα δύο μαζί.

Πίνακας 3.3 Συντελεστής σημαντικότητας, προσωρινά και τελικά βάρη για τον δείκτη NSF (Abbasi, 2012)

Παράμετροι	Μέση Τιμή Σημαντικότητας	Προσωρινά Βάρη	Τελικά Βάρη
Διαλυμένο Οξυγόνο	1,4	1	0,17
pH	1,5	0,9	0,16
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου	2,1	0,7	0,11
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια	2,3	0,6	0,11
Νιτρικά Άλατα	2,4	0,6	0,1
Φωσφορικά Άλατα	2,4	0,6	0,1
Θερμοκρασία	2,4	0,6	0,1
Θολερότητα	2,9	0,5	0,08
Ολικά Στερεά	3,2	0,4	0,07
Σύνολο			1

Η κατάταξη των τιμών για τον δείκτη NSF είναι η εξής:

- NSF<25: πολύ κακή κατάσταση
- 25<NSF<50: κακή κατάσταση
- 50<NSF<70: μέση κατάσταση
- 70<NSF<90: καλή κατάσταση
- 90<NSF<100: άριστη κατάσταση

Το pH δίνεται σε standard units (κανονικές μονάδες) και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$2 < pH < 6 : \\ SI_{pH} = -0,292 pH^4 + 5,750 pH^3 - 34,708 pH^2 + 85,250 pH - 71$$

$$\begin{aligned}
& 6 < pH < 9: \\
SI_{pH} &= -0,86 pH^6 + 37,53 pH^5 - 680,556 pH^4 + 6551,40 pH^3 \\
& - 35335,67 pH^2 + 101370,54 pH - 120990,17 \\
& 9 < pH < 12: \\
SI_{pH} &= -0,67 pH^3 + 27pH^2 - 361,33 pH + 1602 \\
& pH = 12: \\
SI_{pH} &= -0,67 pH^3 + 27pH^2 - 361,33 pH + 1602 \\
& pH > 12: \\
SI_{pH} &= 0
\end{aligned}$$

Η διαφορά θερμοκρασίας (dT) δίνεται σε βαθμούς Κελσίου (°C) και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& dT < 0: \\
SI_{dT} &= -4,77E-5 dT^6 - 3,16E-3 dT^5 - 5,48E-2 dT^4 - 0,39 dT^3 - 1,39 dT^2 + 0,91 dT + 93 \\
& 0 < dT < 10: \\
SI_{dT} &= 1,03E-3 dT^6 - 2,93E-2 dT^5 + 0,31 dT^4 - 1,50 dT^3 + 2,92 dT^2 - 4,73 dT + 93,01 \\
& 10 < dT < 30: \\
SI_{dT} &= -1,70E-3 dT^3 + 0,18 dT^2 - 6,75 dT + 95,12 \\
& dT = 30: \\
SI_{dT} &= 1,67E-3 dT^3 + 0,18 dT^2 \\
& - 6,75 dT + 95,12
\end{aligned}$$

Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) δίνεται ως ποσοστό του κορεσμένου οξυγόνου (%) και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& DO < 100: \\
SI_{DO} &= 1,02E-11 DO^6 - 2,51E-7 DO^5 + 1,81E-5 DO^4 - 1,99E-4 DO^3 \\
& - 8,52E-3 DO^2 + 0,76 DO + 1,06
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 100 < DO < 140: \\
SI_{DO} &= -1,25E-5 DO^4 + 5,92E-3 DO^3 - 1,05 DO^2 + 82,01 DO - 2281 \\
& DO = 140: \\
SI_{DO} &= -1,25E-5 DO^4 + 5,92E-3 DO^3 - 1,05 DO^2 + 82,01 DO - 2281 \\
& DO > 140: \\
SI_{DO} &= 50
\end{aligned}$$

Το απαιτούμενο βιοχημικό οξυγόνο (BOD) δίνεται σε mg L^{-1} και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & BOD < 30: \\
 SI_{BOD} &= -2,34E-6 BOD^6 + 2,22E-4 BOD^5 - 7,85E-3 BOD^4 + 0,12 BOD^3 \\
 & \quad - 0,51 BOD^2 - 7,58 BOD + 97,63 \\
 & BOD = 30: \\
 SI_{BOD} &= -2,34E-6 BOD^6 + 2,22E-4 BOD^5 - 7,85E-3 BOD^4 + 0,12 BOD^3 \\
 & \quad - 0,51 BOD^2 - 7,58 BOD + 97,63 \\
 & BOD > 30: \\
 SI_{BOD} &= 2
 \end{aligned}$$

Η θολερότητα (TURB) δίνεται σε μονάδες (NTU) και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & TURB < 100: \\
 SI_{TURB} &= 5,14E-10 TURB^6 + 1,18E-7 TURB^5 - 6,89E-6 TURB^4 \\
 & \quad - 2,60E-4 TURB^3 + 4,61E-2 TURB^2 - 2,53 TURB + 96,99 \\
 & TURB = 100: \\
 SI_{TURB} &= -5,14E-10 TURB^6 + 1,18E-7 TURB^5 - 6,89E-6 TURB^4 \\
 & \quad - 2,60E-4 TURB^3 + 4,61E-2 TURB^2 - 2,53 TURB + 96,99 \\
 & TURB > 100: \\
 SI_{TURB} &= 5
 \end{aligned}$$

Ο ολικός φώσφορος (P) υπολογίζεται σε mg L^{-1} και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& P < 0,1: \\
& SI_p = 3818,51 P^2 + 34,20 P + 98,23 \\
& 0,1 < P < 0,4: \\
& SI_p = 250P^2 - 215P + 83 \\
& 0,4 < P < 3: \\
& SI_p = 1,78 P^4 - 14,93 P^3 + 48,77 P^2 - 77,87 P + 60,89 \\
& P = 3: \\
& SI_p = 1,78 P^4 - 14,93 P^3 + 48,77 P^2 - 77,87 P + 60,89 \\
& P > 3: \\
& SI_p = 5
\end{aligned}$$

Το ολικό άζωτο (N) υπολογίζεται σε mg L⁻¹ και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& N < 2: \\
& SI_N = -12,32 N^4 + 54,05 N^3 \\
& \quad -73,48 N^2 + 6,93 N + 97,82 \\
& 2 < N < 20: \\
& SI_N = 1,75E-4 N^4 + 3,07E-3 N^3 \\
& + 0,22 N^2 - 7,34 N + 65,86 N = 20: \\
& SI_N = -1,75E-4 N^4 + 3,07E-3 N^3 \\
& \quad + 0,22 N^2 - 7,34 N + 65,86 \\
& N > 20: \\
& SI_N = 1
\end{aligned}$$

Τα βακτήρια E.coli μετρώνται σε CFU/100 mL και ανάλογα με την τιμή αυτή, η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
& FC < 2 \\
& SI_{FC} = 97 \\
& 2 < FC < 165 \\
& SI_{FC} = -10,40 \ln(FC) + 89,21
\end{aligned}$$

$$165 < FC < 7564$$

$$SI_{FC} = -5,56 \ln(FC) + 59,41$$

$$7564 < FC < 96127$$

$$SI_{FC} = -2,38 \ln(FC) + 31,04$$

$$FC = 96127$$

$$SI_{FC} = -2,38 \ln(FC) + 31,04$$

$$FC > 96127$$

$$SI_{FC} = 2$$

3.4 Δείκτης Oregon (OWQI)

Ο δείκτης OWQI αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1970 από το Τμήμα Ποιότητας Περιβάλλοντος του Όρεγκον στις ΗΠΑ, με σκοπό τη συγκέντρωση και την αξιολόγηση της κατάστασης των υδάτων, την ποιότητα και τις τάσεις για τις εκθέσεις νομοθετικής εντολής αξιολόγησης της κατάστασης ποιότητας του νερού. Διαμορφώθηκε μετά τον WQI του Εθνικού Ιδρύματος Καθαριότητας (NSF) (Brown et al., 1970, 1973) και χρησιμοποίησε την τεχνική Delphi για την επιλογή των μεταβλητών ποιότητας του νερού. Οι μεταβλητές της ποιότητας του νερού ταξινομήθηκαν ανάλογα με τις κατηγορίες απομείωσης, δηλαδή μείωση του οξυγόνου, ευτροφισμός ή πιθανότητα περίσσειας βιολογικής ανάπτυξης, διαλυμένες ουσίες και κίνδυνοι για την υγεία. Ωστόσο, ο αρχικός OWQI σταμάτησε το 1983 λόγω των τεράστιων πόρων που απαιτούνταν για τον υπολογισμό και την υποβολή εκθέσεων με τα αποτελέσματα. Με τις προόδους στην τεχνολογία των υπολογιστών, τα ενισχυμένα εργαλεία υπολογισμού και απεικόνισης δεδομένων και την καλύτερη κατανόηση της ποιότητας των υδάτων, ο OWQI ενημερώθηκε το 1995 από την βελτίωση των αρχικών υποδεικτών προσθέτοντας τους υποδείκτες της θερμοκρασίας και του ολικού φωσφόρου και τη βελτίωση του υπολογισμού του ενιαίου αθροίσματος (Cude, 2001). Ο δείκτης που προκύπτει εκφράζει την ποιότητα των υδάτων των ρεμάτων του Όρεγκον σε σχέση με τη γενική χρήση αναψυχής όπως το ψάρεμα και το κολύμπι.

Η συνολική ποιότητα του νερού εκφράζεται με ένα μονοψήφιο αριθμό, με την ενσωμάτωση των μετρήσεων των οκτώ διαφορετικών μεταβλητών της ποιότητας του νερού, δηλαδή τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, τη βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο, το pH, την αμμωνία, το νιτρικό άζωτο, τον ολικό φωσφόρο, τα ολικά στερεά και τα κολοβακτηρίδια κοπράνων. Οι τύποι μετασχηματισμού των υποδεικτών προέκυψαν με τη χρήση μη γραμμικής παλινδρόμησης, από τον πίνακα μετασχηματισμού που αναπτύχθηκε από τις αρχικά χειρόγραφες καμπύλες μετασχηματισμού υποδεικτών του OWQI για κάθε παράμετρο (Dunnette, 1980). Θεωρήθηκε ότι ο ελάχιστος τελεστής αθροίσματος είχε αποδειχθεί ότι είναι πολύ ευαίσθητος στις πιο επηρεασμένες μεταβλητές και δεν ενσωματώνει τις άλλες μεταβλητές (Cude, 2002). Κατά συνέπεια, η μη σταθμισμένη αρμονική τετραγωνική μέση συνάρτηση χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της συνάθροισης των βαθμολογιών των υποδεικτών ως βελτίωση σε σχέση με το σταθμισμένο αριθμητικό μέσο όρο που χρησιμοποιούταν αρχικά:

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (3.3)$$

όπου n είναι ο αριθμός των υποδεικτών και SI_i είναι ο υποδείκτης i .

Ο OWQI βοηθά στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δραστηριοτήτων διαχείρισης της ποιότητας του νερού. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη περιβαλλοντικών δεικτών, όπως το ποσοστό των σημείων παρακολούθησης των ποταμών με σημαντική βελτίωση της ποιότητας του νερού, ή το ποσοστό των τόπων με εξαιρετική ποιότητα του νερού. Ο OWQI δεν μπορεί να προσδιορίσει την ποιότητα των υδάτων για συγκεκριμένες χρήσεις ούτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των υδάτων χωρίς να ληφθούν υπόψη όλα τα απαραίτητα χημικά, βιολογικά και φυσικά δεδομένα. Ο OWQI δεν μπορεί επίσης να αξιολογήσει όλους του κινδύνους για την υγεία. Έχει σχεδιαστεί για τους ποταμούς του Όρεγκον και η εφαρμογή του σε άλλες γεωγραφικές περιοχές ή δείγματα υδάτων θα πρέπει να προσεγγίζεται με

προσοχή (Cude, 2001).

3.4.1 Κατάταξη

Για να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός κατάταξης των αποτελεσμάτων του OWQI, αναλύθηκε μία καμπύλη κατανομής των αποτελεσμάτων του OWQI από 136 θέσεις στο Όρεγκον στην περίοδο 1986-1995. Οι ροές υδάτων με προβλήματα κακής ποιότητας παρακολουθούνται περισσότερο και υπάρχουν έτσι περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα. Για να γίνει κανονικοποίηση για κάθε θέση και διάφοροποίηση της συχνότητας δειγματοληψίας, λήφθηκε μία τιμή ανά τρίμηνο (προσεγγίστηκε η τιμή στη μέση του τριμήνου). Για κάθε κανονικοποιημένο σύνολο δεδομένων υπολογίστηκαν δύο “εποχές”, μία χαμηλής και μία υψηλής ροής – καλοκαίρι και χειμώνας αντίστοιχα. Οι μήνες χαμηλής ροής είναι από τον Ιούνιο ως τον Σεπτέμβριο. Η κατανομή των τιμών του OWQI αναλύθηκε και για τις 136 θέσεις και προέκυψε η παρακάτω κατάταξη (Cude, 2001):

- $OWQI < 60$: Πολύ κακή κατάσταση
- $60 < OWQI < 79$: Κακή κατάσταση
- $80 < OWQI < 84$: Μέτρια κατάσταση
- $85 < OWQI < 89$: Καλή κατάσταση
- $90 < OWQI < 100$: Άριστη κατάσταση

3.4.2 Επιλογή μεταβλητών και μετατροπή

Οι υποδείκτες δημιουργούνται από τις τιμές των μεταβλητών ποιότητας υδάτων που έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Χρησιμοποιούνται λογαριθμικοί μετασχηματισμοί. Οι μεταβλητές επιλέγονται με τη μεθοδολογία Delphi (Dalkey, 1968) και μετά από επεξεργασία η ανάλυση κατέληξε σε οκτώ μεταβλητές:

- Θερμοκρασία

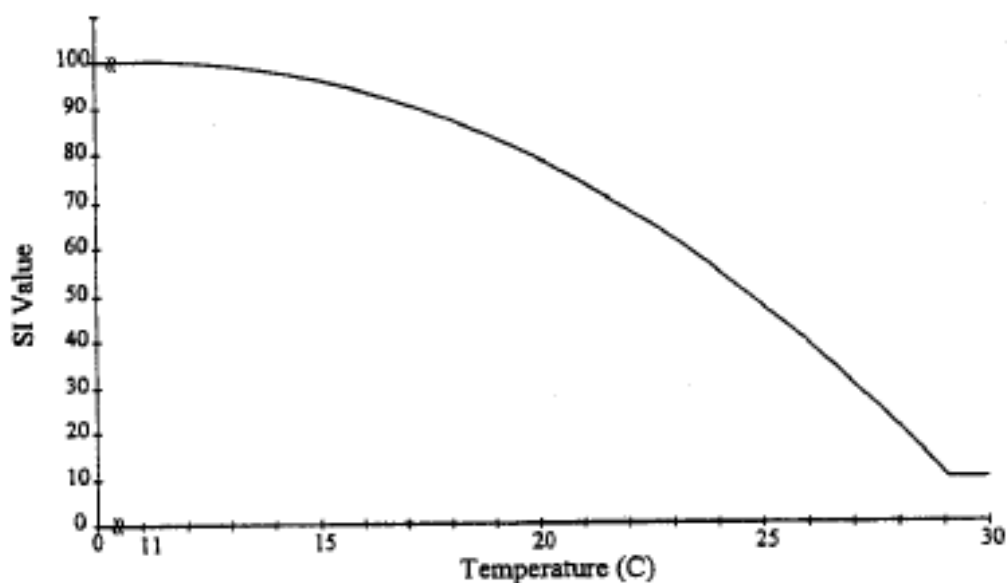
- Κορεσμός οξυγόνου - Διαλυμένο οξυγόνο
- Απαιτούμενο οξυγόνο βιοχημικών
- pH
- Αμμωνία και νιτρικό άζωτο
- Φώσφορος
- Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια
- Ολικά στερεά

Ο αρχικός OWQI μοντελοποιήθηκε όπως και ο NSF όπου οι μεταβλητές επιλέχθηκαν βάση της μεθόδου Delphi, δηλαδή με τη σύγκλιση της γνωμοδότησης από εμπειρογνώμονες και επιστήμονες του τομέα ποιότητας των υδάτων. Και οι δύο δείκτες, χρησιμοποίησαν λογαριθμικούς μετασχηματισμούς για να μετατρέψουν τις τιμές των παραμέτρων σε αδιάστατες τιμές υποδεικτών. Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί, έχουν το πλεονέκτημα ότι η αλλαγή του μεγέθους σε χαμηλότερα επίπεδα θα έχει μεγαλύτερη επίδραση από μία ίση μεταβολή σε υψηλότερα επίπεδα της τιμής της μεταβλητής.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του αρχικού δείκτη Όρεγκον, μία ομάδα ειδικών της ποιότητας υδάτων ερωτήθηκαν με τη μεθοδολογία Delphi ώστε να διαλέξουν τις μεταβλητές που θα συμμετέχουν στη διαμόρφωση του δείκτη. Διάλεξαν τελικά τις παραπάνω μεταβλητές, χωρίς τον φώσφορο και τη θερμοκρασία, μεταβλητές που προστέθηκαν αργότερα, με τη βελτίωση του δείκτη. Στόχος ήταν να περιλαμβάνονται οι σημαντικότερες μεταβλητές αλλά ο δείκτης να παραμένει απλός και περιεκτικός.

Οι συναρτήσεις μετατροπής για τους υποδείκτες προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή από τους πίνακες μετασχηματισμού που λήφθηκαν από τις αρχικές καμπύλες μετασχηματισμού που σχεδιάστηκαν για τον δείκτη. Για κάθε υποδείκτη, η αναλυτική μέτρηση μετατρέπεται σε μια τιμή μεταξύ του 10 (χειρότερη τιμή) και του 100 (ιδανική τιμή). Στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά (Εικ. 3.3 - 3.10) και υπολογιστικά οι συναρτήσεις των

υποδεικτών για κάθε παράμετρο.



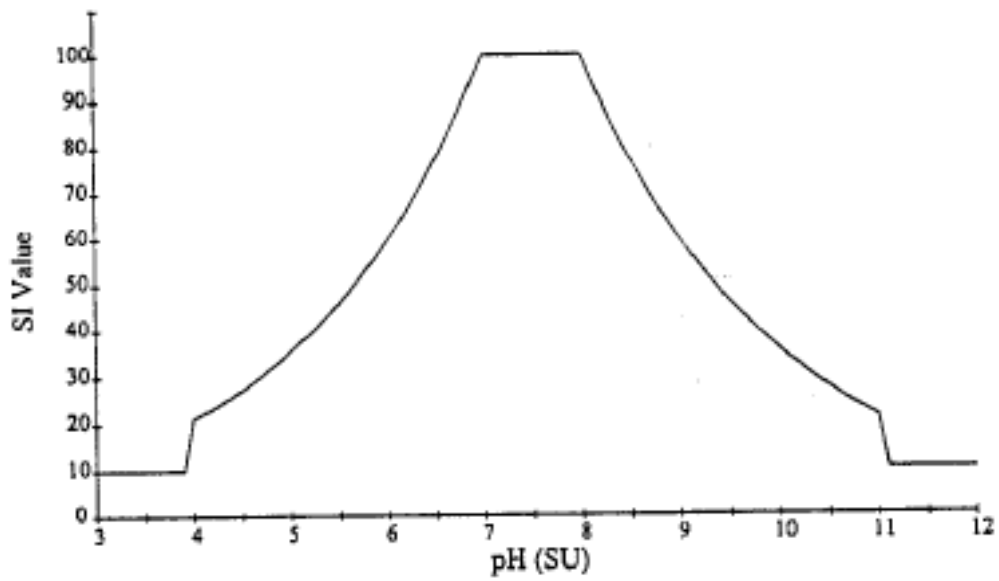
Εικόνα 3.3 Υποδείκτης θερμοκρασίας OWQI (Cude, 2001)

Η θερμοκρασία του δείγματος μετράται σε βαθμούς Κελσίου. Ανάλογα με την τιμή της θερμοκρασίας ο υποδείκτης δίνεται από την ανάλογη συνάρτηση:

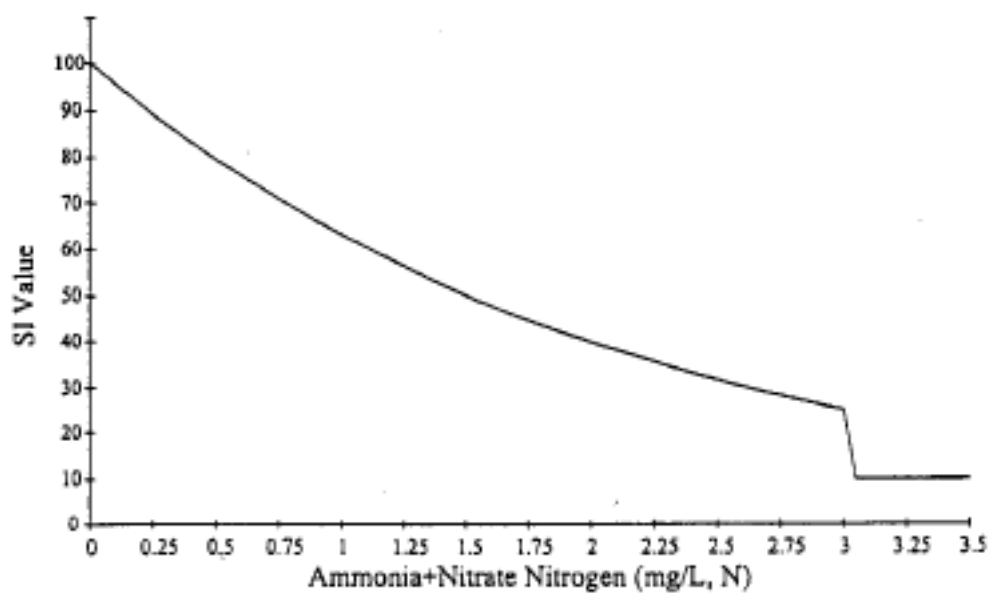
$$\begin{array}{ll}
 T \leq 11C & SI_T = 100 \\
 11C < T \leq 29C & SI_T = 76,54 + 4,172T - 0,1623 T^2 - 2,05E-3 T^3 \\
 29C < T & SI_T = 10
 \end{array}$$

Το pH δίνεται σε standard units (κανονικές μονάδες) και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{array}{ll}
 pH < 4 & SI_{pH} = 10 \\
 4 \leq pH < 7 & SI_{pH} = 2,628 \exp(pH0,52) \\
 7 \leq pH \leq 8 & SI_{pH} = 100 \\
 8 < pH \leq 11 & SI_{pH} = 100 \exp((pH-8)^{-0,518}) \\
 11 < pH & SI_{pH} = 10
 \end{array}$$



Εικόνα 3.4 Υποδείκτης pH OWQI (Cude, 2001)



Εικόνα 3.5 Υποδείκτης αμμωνίας και νιτρικού αζώτου OWQI (Cude, 2001)

Η συγκέντρωση της αμμωνίας και του νιτρικού αζώτου (N) εκφράζεται σε mg L^{-1} και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

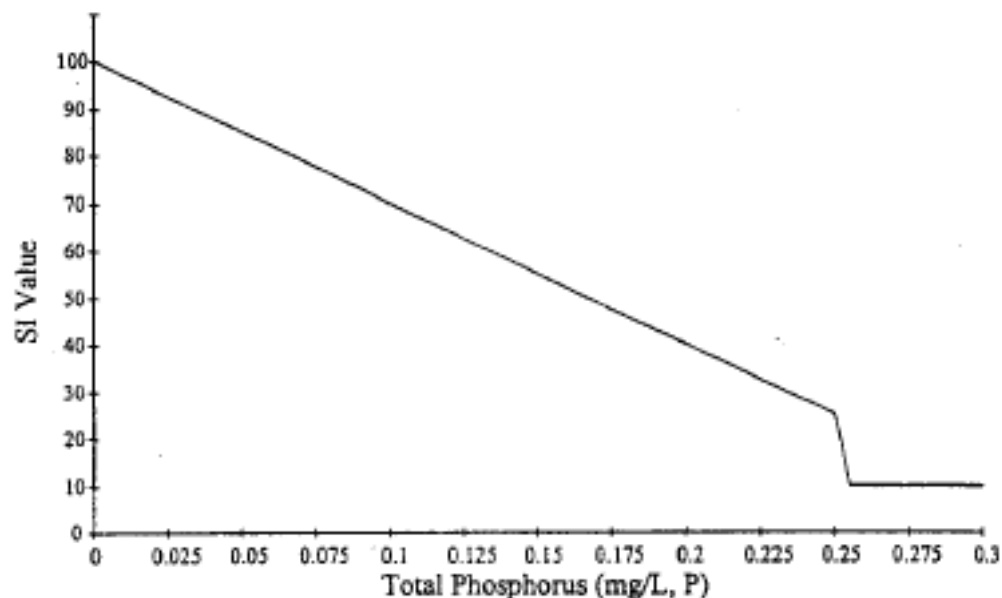
$$\begin{aligned} N \leq 3 \text{ mg/L} & \quad SI_N = 100 \exp(N^{-0,46}) \\ N > 3 \text{ mg/L} & \quad SI_N = 10 \end{aligned}$$

Η παράμετρος του ολικού φωσφόρου (P) μετράται σε mg L^{-1} και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

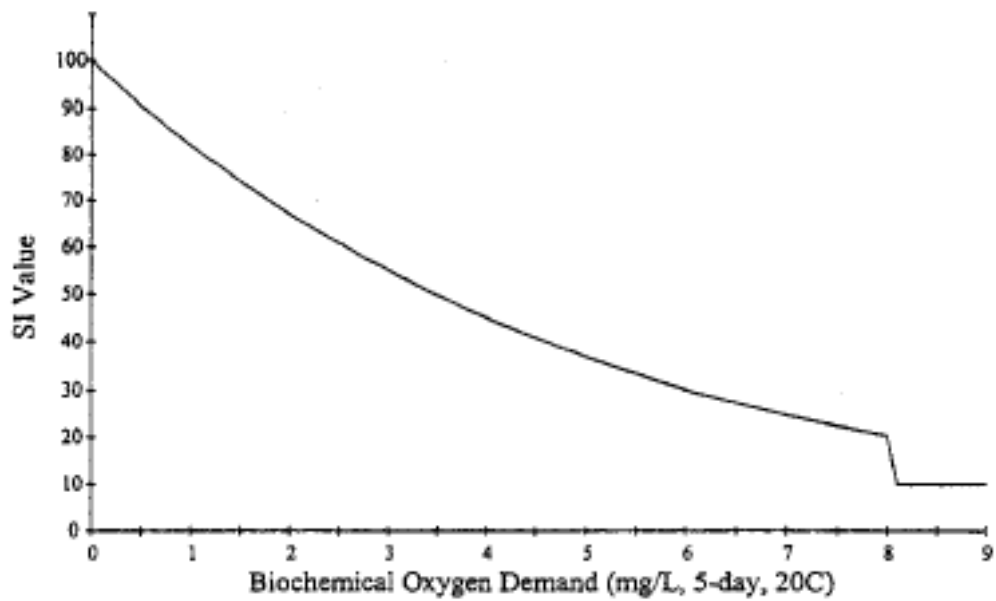
$$\begin{aligned} P \leq 0,25 \text{ mg/L} & \quad SI_P = 100 - 299,5 P - 0,1384 P^2 \\ P > 0,25 \text{ mg/L} & \quad SI_P = 10 \end{aligned}$$

Η παράμετρος των κολοβακτηριδίων κοπράνων μετράται σε στοιχεία (αριθμό) ανά 100 mL (No/100mL) και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

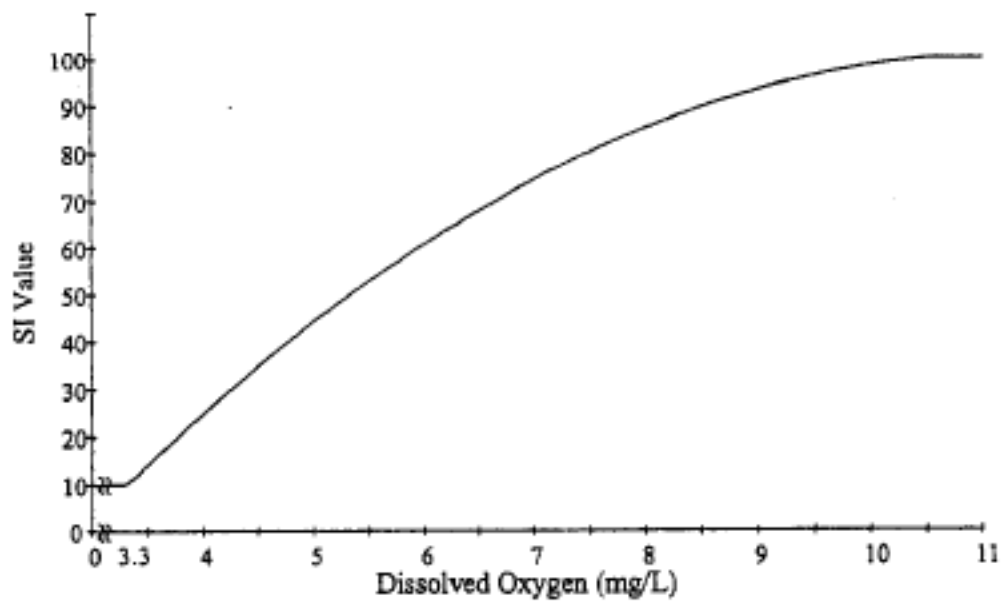
$$\begin{aligned} FC \leq 50 \text{ No/100mL} & \quad SI_{FC} = 98 \\ 50 \text{ No/100mL} < FC < 1600 \text{ No/100mL} & \quad SI_{FC} = 98 \exp((FC - 50)^{-9,918E-4}) \\ 1600 \text{ No/100mL} < FC & \quad SI_{FC} = 10 \end{aligned}$$



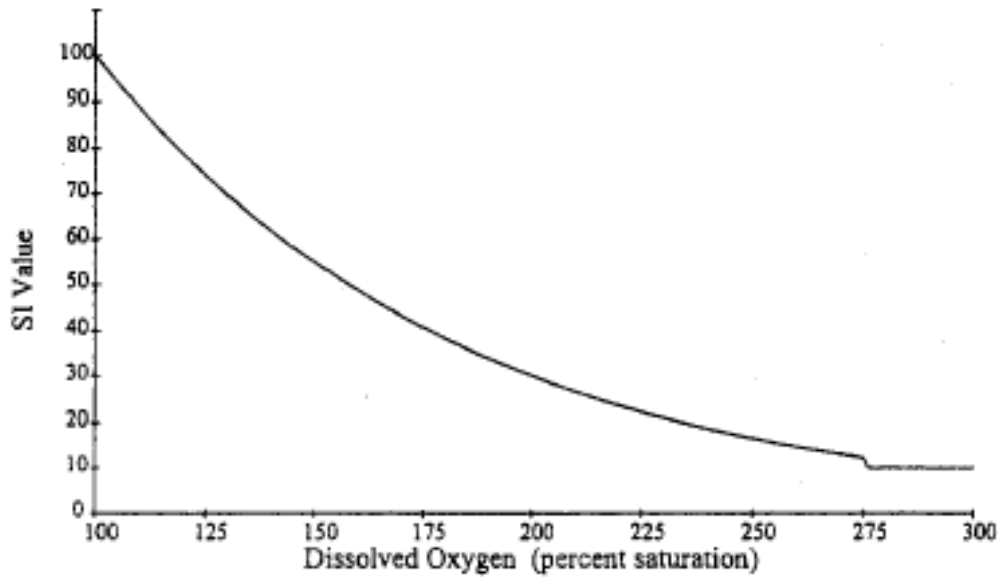
Εικόνα 3.6 Υποδείκτης συνολικού φωσφόρου OWQI (Cude, 2001)



Εικόνα 3.7 Υποδείκτης απαιτούμενου βιοχημικού οξυγόνου OWQI (Cude, 2001)



Εικόνα 3.8 Υποδείκτης διαλυμένου οξυγόνου OWQI (Cude, 2001)



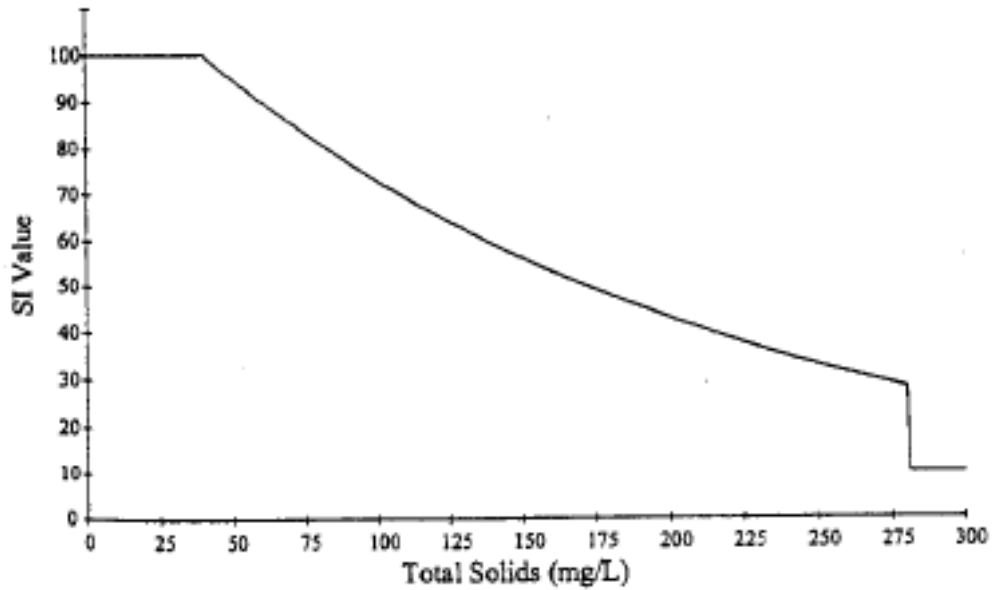
Εικόνα 3.9 Υποδείκτης κορεσμού οξυγόνου OWQI (Cude, 2001)

Η παράμετρος του διαλυμένου οξυγόνου (DO_c) μετράται σε $mg L^{-1}$ και ανάλογα με την τιμή μέτρησης και την τιμή του κορεσμού του οξυγόνου (DO_s) που μετράται σε ποσοστό (%) η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & DO_s \leq 100 : \\
 & \quad DO_c \leq 3,3 \text{ mg/L} \quad SI_{DO} = 10 \\
 & \quad 3,3 \text{ mg/L} < DO_c < 10,5 \text{ mg/L} \quad SI_{DO} = -80,29 + 31,88 DO_c - 1,4 DO_c^2 \\
 & \quad DO_c = 10,5 \text{ mg/L} \quad SI_{DO} = 100 \\
 & \quad 100 < DO_s \leq 275 : \\
 & \quad SI_{DO} = 100 \exp((DO_s - 100)^{-1,192E-2}) \\
 & \quad 275 < DO_s : \\
 & \quad SI_{DO} = 10
 \end{aligned}$$

Η παράμετρος του απαιτούμενου βιοχημικού οξυγόνου μετράται σε $mg L^{-1}$ και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & BOD \leq 8 \text{ mg/L} \quad SI_{BOD} = 100 \exp(BOD^{-0,1998}) \\
 & \quad BOD > 8 \text{ mg/L} \quad SI_{BOD} = 10
 \end{aligned}$$



Εικόνα 3.10 Υποδείκτης συνολικών στερεών OWQI (Cude, 2001)

Η παράμετρος των συνολικών στερεών σε παράκτιες και αμμώδεις/δασώδεις λεκάνες μετράται σε $\text{mg } L^{-1}$ και ανάλογα με την τιμή μέτρησης η τιμή του υποδείκτη καθορίζεται ως εξής:

Παράκτιες λεκάνες:

$$\begin{array}{ll} TS \leq 40 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 100 \\ 40 \text{ mg/L} < TS \leq 220 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 100 \exp(TS^{-8,86E-2}) \\ TS > 220 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 10 \end{array}$$

Αμμώδεις και δασώδεις λεκάνες:

$$\begin{array}{ll} TS \leq 40 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 100 \\ 40 \text{ mg/L} < TS \leq 280 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 123,4 \exp(TS^{-5,29E-3}) \\ TS > 280 \text{ mg/L} & SI_{TS} = 10 \end{array}$$

3.5 Δείκτης Prati

Αυτός ο δείκτης αναπτύχθηκε από τους Prati et al. (1970) με βάση τα πρότυπα της ποιότητας υδάτων. Οι μαθηματικές εκφράσεις κατασκευάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε οι νέες μονάδες να είναι ανάλογες προς τις ρυπογόνες επιδράσεις σε σχέση με άλλους παράγοντες. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμη και αν ένας ρύπος είναι παρών σε μικρότερες συγκεντρώσεις από άλλους ρύπους, θα έχει μεγάλη επίπτωση στην τιμή του δείκτη εάν η ρύπανση που προκαλεί είναι μεγαλύτερη.

Στο πρώτο στάδιο, επελέγησαν 13 παράμετροι και η ποιότητα των υδάτων κατετάγη έναντι των τιμών των παραμέτρων αυτών βάσει των προτύπων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4

Στο δεύτερο στάδιο, ένας ρύπος λήφθηκε ως σημείο αναφοράς και η πραγματική τιμή του θεωρήθηκε άμεσα ως δείκτης αναφοράς. Στο τρίτο βήμα, μαθηματικές εκφράσεις σχηματίστηκαν ώστε να μετατρέψουν κάθε μία από τις τιμές των άλλων ρύπων σε υποδείκτες. Αυτή η μετατροπή έλαβε υπόψη τη ρυπαντική ικανότητα των παραμέτρων που σχετίζονται με μια επιλεγμένη παράμετρο αναφοράς. Στην κατασκευή αυτών των συναρτήσεων, οι αναλυτικές ιδιότητες των διαφόρων καμπυλών χρησιμοποιήθηκαν για να διασφαλιστεί ότι η προκύπτουσα συνάρτηση μετασχηματισμού θα μπορούσε να εφαρμοστεί όχι μόνο σε μικρές τιμές των συγκεντρώσεων των ρύπων, αλλά και σε εκείνες που αφορούν την κατηγορία πολύ μολυσμένων συνθηκών. Οι προκύπτουσες συναρτήσεις (υποδείκτες) δίνονται στον Πίνακα 3.5. Ο συνολικός δείκτης Prati υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος όρος των 13

$$\text{υποδείκτων : } I = 1/13 \sum_{i=1}^{13} I_i \quad (3.4)$$

Ο δείκτης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0-14 (και άνω) και εφαρμόστηκε από τους Prati et al. (1970) στα δεδομένα που αφορούν επιφανειακά ύδατα στην περιοχή Φεράρα, της Ιταλίας. Όσο πιο καλή ποιότητα έχει το νερό που εξετάζεται, τόσο μικρότερη τιμή λαμβάνει ο δείκτης.

Πίνακας 3.4 Παράμετροι δείκτη Prati και αντιπαραβολή των αναλυτικών τιμών τους με την ποιότητα υδάτων (Prati et al., 1970).

Ποιότητα Υδάτων						
Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Άριστη	Αποδεκτή	Ελαφρώς μολυσμένη	Μολυσμένη	Πολύ Μολυσμένη
pH		6.5-8.0	6.0-8.4	5.0-9.0	3.9-10.1	<3.9->10.1
Διαλυμένο Οξυγόνο	% Κορεσμού	88-112	75-125	50-150	20-200	<20->200
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου	mg L ⁻¹	1,5	3	6	12	>12
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου	mg L ⁻¹	10	20	40	80	>80
Υπερ-μαγγανικό	mg L ⁻¹ O ₂	2,5	5	10	20-200	>20
Αιωρούμενα Στερεά	mg L ⁻¹	20	40	100	278	>278
Αμμωνία	mg L ⁻¹	0,1	0,3	0,9	2,7	>2,7
Νιτρικά Άλατα	mg L ⁻¹	4	12	36	108	>108
Χλώριο	mg L ⁻¹	50	150	300	620	>620
Σίδηρος	mg L ⁻¹	0,1	0,3	0,9	2,7	>2,7
Μαγγάνιο	mg L ⁻¹	0,05	0,17	0,5	1	>108
Σουλφονικά Αλκυλοβενζόλια	mg L ⁻¹	0,09	1	3,5	8,5	>8,5
Χλωροφόρμιο	mg L ⁻¹	1	2	4	8	>8

Πίνακας 3.5 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη Prati (Prati et al., 1970).

Παράμετρος	Υποδείκτης
Διαλυμένο Οξυγόνο (%)	$I_i = -0.08x + 8, 50 \leq x < 100$ $I_i = 0.08x - 8, 100 \leq x$
pH	$I_i = -0.4x^2 + 14, 0 \leq x < 5$ $I_i = -2x + 14, 5 \leq x < 7$ $I_i = x^2 - 14x + 49, 7 \leq x < 9$ $I_i = -0.4x^2 + 11.2x - 64.4, 9 \leq x < 14$
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)	$I_i = 0.66666x$
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)	$I_i = 0.10x$
Υπερμαγγανικό (mg L ⁻¹)	$I_i = 0.04x$
Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)	$I_i = 2^{[2.1 \log(0.1x-1)]}$
Αμμωνία (mg L ⁻¹)	$I_i = 2^{[2.1 \log(10x)]}$
Νιτρικά Άλατα (mg L ⁻¹)	$I_i = 2^{[2.1 \log(0.25)]}$
Χλώριο (mg L ⁻¹)	$I_i = 0.000228x^2 + 0.0314x, 0 \leq x < 50$ $I_i = 0.0000132x^2 + 0.0074x + 0.6, 50 \leq x < 300$ $I_i = 3.75(0.02x - 5.2)^{0.5}, 300 \leq x$
Σίδηρος (mg L ⁻¹)	$I_i = 2^{[2.1 \log(10x)]}$
Μαγγάνιο (mg L ⁻¹)	$I_i = 2.5x + 3.9\sqrt{x}, 0 \leq x < 0.5$ $I_i = 5.25x^2 + 2.75, 0.5 \leq x$
Σουλφονικά Αλκυλοβενζόλια (mg L ⁻¹)	$I_i = -1.2x + 3.2\sqrt{x}, 0 \leq x < 1$ $I_i = 0.8 + 1.2, 1 \leq x$
Χλωροφόρμιο (mg L ⁻¹)	$I_i = x$

3.6 Δείκτης *Dinius*

Ο δείκτης αυτός αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια σχεδιασμού ενός υποτυπώδους λογιστικού συστήματος, το οποίο θα μετρά το κόστος και τον αντίκτυπο των προσπαθειών ελέγχου της ρύπανσης. Υπό την έννοια αυτή, ο δείκτης του *Dinius* αποτελεί τον προάγγελο των δεικτών σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων (Abbasi, 2012).

Επιλέχθηκαν έντεκα παράμετροι. Όπως στο δείκτη του Horton και στον NSF-WQI, ο δείκτης του *Dinius* έχει φθίνουσα κλίμακα, με τιμές που εκφράζονται ως ποσοστό της τέλει ποιότητας του νερού που αντιστοιχεί στο 100%.

Όπως στον Prati, καθώς και στους δείκτες των McDuffie-Haney (Abbasi, 2012), οι υποδείκτες του δείκτη *Dinius* αναπτύχθηκαν από μια ανασκόπηση της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας.

Ο *Dinius* εξέτασε την ποιότητα του νερού που περιγράφεται από διάφορες αρχές σε διαφορετικά επίπεδα των μεταβλητών ρύπων, και από αυτές τις πληροφορίες παράγονται 11 εξισώσεις υποδείκτη (Πίνακας 3.6).

Ο συνολικός δείκτης υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των υποδεικτών, όπως ο δείκτης Horton, και η αθροιστική έκδοση του NSF-WQI:

$$WQI = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{11} w_i I_i \quad (3.5)$$

Τα βάρη κυμαίνονταν από 0,5 έως 5 σε μία βασική κλίμακα σημαντικότητας. Σε αυτή την κλίμακα, τα 1,2,3,4 και 5 δηλώνουν, αντίστοιχα, πολύ λίγη, πολύ, μέση, μεγάλη και πολύ μεγάλη σημασία. Το άθροισμα των βαρών είναι 21, το οποίο είναι ο παρονομαστής στην εξίσωση δείκτη. Ο δείκτης εφαρμόστηκε από τον *Dinius* σε μια απεικονιστική βάση δεδομένων για διάφορα ρεύματα στην Αλαμπάμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Πίνακας 3.6 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη Dinius (Abbasi, 2012).

Παράμετρος	Υποδείκτης
Διαλυμένο Οξυγόνο(% κορεσμού)	$I_1 = x$
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)	$I_2 = 107x^{-0.642}$
Ολικά Κολοβακτηρίδια (MPN/100 ml)	$I_3 = 100(x)^{-0.3}$
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (MPN/100 ml)	$I_4 = 100(5x)^{-0.3}$
Ειδική Αγωγιμότητα (μmho/cm)	$I_5 = 535x^{-0.3565}$
Χλώριο (mg L ⁻¹)	$I_6 = 125.8x^{-0.207}$
Σκληρότητα (CaCO ₃ , mg L ⁻¹)	$I_7 = 10^{1.974-0.00132x}$
Αλκαλικότητα (CaCO ₃ , mg L ⁻¹)	$I_8 = 108x^{-0.178}$
pH	$I_9 = 10^{0.2335+0.44}$, $x < 6.7$ $I_{10} = 100$, $6.7 \leq x < 7.58$ $I_{11} = 10^{4.22-0.293x}$, $x > 7.58$
Θερμοκρασία (°C)	$I_{12} = -4(x_a - x_s) + 112$, $x_a = \text{actual temp}$, $x_s = \text{std.Temp}$
Χρώμα (C units)	$I_{13} = 128x^{-0.288}$

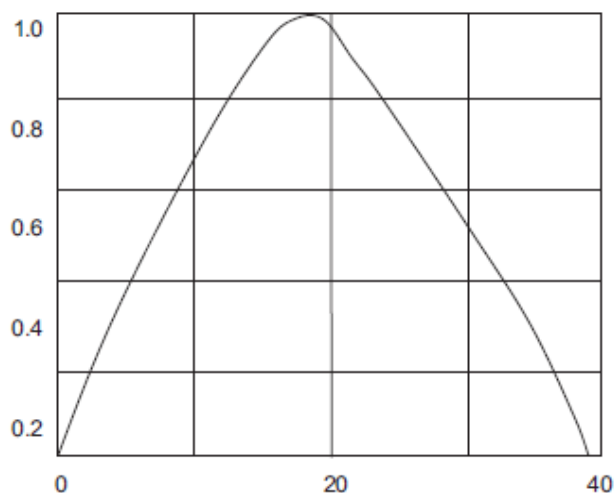
3.7 Δείκτης Walski και Parker

Ο δείκτης αυτός (Walski & Parker, 1974) βασίζεται σε εμπειρικές πληροφορίες σχετικά με το καταλληλότητα του νερού για μια συγκεκριμένη χρήση, και αναπτύχθηκε ειδικά για αυτά που χαρακτηρίζονται ύδατα ψυχαγωγίας (όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για κολύμπι και ψάρεμα). Οι συγγραφείς εισήγαγαν τέσσερις γενικές κατηγορίες μεταβλητών:

1. εκείνες που επηρεάζουν την υδρόβια ζωή (π.χ., το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και τη θερμοκρασία),
2. εκείνες που επηρεάζουν την υγεία (π.χ. κολοβακτηρίδια),
3. εκείνες που επηρεάζουν τη γεύση και την οσμή (π.χ., κατώτατο όριο οσμής) και
4. εκείνες που επηρεάζουν την εμφάνιση του νερού (π.χ., θολότητα και χρώμα).

Στο δεύτερο στάδιο, οι συναρτήσεις ευαισθησίας προσδιορίστηκαν ώστε να αποδώσουν σε κάθε παράμετρο μία τιμή μεταξύ του ένα και του μηδέν, που αντιπροσωπεύοντας τις ιδανικές συνθήκες και τις εντελώς απαράδεκτες συνθήκες, αντίστοιχα. Η φύση της συνάρτησης ευαισθησίας προσδιορίστηκε με την επίδραση μιας μεταβολής της τιμής της παραμέτρου στην ποιότητα του νερού. Για τις ουσίες που σχετίζονται αντίστροφα με την ποιότητα του νερού, μια αρνητική εκθετική καμπύλη θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει καλύτερα την συνάρτηση ευαισθησίας (Walski & Parker, 1974).

Οι συγγραφείς καθόρισαν τιμές για τις παραμέτρους που θα μπορούσαν να θεωρηθούν τέλειες, καλές, κακές και απαράδεκτες, και αποδίδονται σε κάθε μια από αυτές τις τιμές, οι αριθμοί 1, 0.9, 0.1 και 0.01, αντίστοιχα. Με αυτά τα σύνολα τιμών, οι συναρτήσεις ευαισθησίας μπορούν να βρεθούν εύκολα.



Εικόνα 3.11 Ανεστραμμένη παραβολή ως συνάρτηση υποδείκτη για τη θερμοκρασία στον δείκτη Walski & Parker (Abbasi, 2012)

Για παράδειγμα, για να καθοριστεί μια συνάρτηση ευαισθησίας για τη θερμοκρασία, καθώς η διατήρηση της υδρόβιας ζωής είναι δύσκολη τόσο σε πολύ χαμηλές όσο και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, θεωρήθηκε ότι η συνάρτηση ευαισθησίας για τη θερμοκρασία πρέπει να αποτελείται από μία ανεστραμμένη παραβολή (Εικόνα 3.11) περιγράφεται ως εξής:

$$F(T) = \frac{a^2 - (T - a)^2}{a^2} \quad (3.6)$$

Ένα σύνολο 12 διαφορετικών μεταβλητών ρύπων χρησιμοποιήθηκαν στο δείκτη. Οι υποδείκτες αποτελούνται από μη γραμμικές και κατά διαστήματα μη γραμμικές ρητές συναρτήσεις (Πίνακας 3.7). Εκτός από το pH και τη θερμοκρασία, όλοι οι υποδείκτες αντιπροσωπεύονται από αρνητικές εκθετικές εξισώσεις. Το pH και η θερμοκρασία χρησιμοποιούν παραβολική εξίσωση. Δύο υποδείκτες χρησιμοποιήθηκαν για τη θερμοκρασία: ένας για την πραγματική θερμοκρασία και ένας άλλο για την διαφορά από την θερμοκρασία ισορροπίας.

Για να συνδυαστούν οι υποδείκτες, γίνεται χρήση ενός γεωμετρικού μέσου όρου πάνω σε έναν αριθμητικό μέσο όρο για να αποφευχθεί το πρόβλημα της επισκίασης. Συνάρτηση του υπολογισμού του τελικού δείκτη είναι η εξής:

$$I = \left(\prod_{i=1}^{12} I_i^{w_i} \right)^{1/12} \quad (3.7)$$

Όπου I είναι η συνολική τιμή του δείκτη Walski & Parker

I_i είναι ο υποδείκτης για την κάθε παράμετρο, όπως προκύπτει από τις εξισώσεις υπολογισμού στον Πίνακα 3.7

w_i είναι το βάρος που αποδίδεται σε κάθε παράμετρο

Πίνακας 3.7 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη Walski & Parker (Ott, 1978)

Παράμετρος	Υποδείκτης	Εύρος
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	$I = e^{[0.3(x-8)]}$	$0 < x \leq 8$
	$I = 0$	$8 < x$
pH (Std. Units)	$I = 0$	$x < 2$
	$I = 0.04[25 - (x - 7)^2]$	$2 \leq x \leq 12$
	$I = 0$	$12 < x$
Ολικά Κολοβακτηρίδια (no./100ml)	$I = e^{-0.0002x}$	
Θερμοκρασία (°C)	$I = 0.0025[1 - (x - 20)^2]$	$0 \leq x \leq 40$
	$I = 0$	$\Delta x < -10$
	$I = 0.01(100 - \Delta x)^2$	$-10 \leq \Delta x \leq 10$
	$I = 0$	$10 < \Delta x$
Φωσφορικά Άλατα (mg L ⁻¹)	$I = e^{-25x}$	
Νιτρικά Άλατα (mg L ⁻¹)	$I = e^{-0.16x}$	
Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)	$I = e^{-0.02x}$	
Θολερότητα (NTU)	$I = e^{-0.001x}$	
Χρώμα (c units)	$I = e^{-0.002x}$	
Λίπη (Συγκέντρωση) (mg L ⁻¹)	$I = e^{-0.016x}$	
Λίπη (Πυκνότητα, μ)	$I = e^{-0.35x}$	
Οσμή	$I = e^{-0.1x}$	
Δίσκος Διαφάνειας Secchi (m)	$I = \log(x + 1)$	$X \leq 9$
	$I = 1$	$9 < x$

3.8 Δείκτης Stoner

Ο δείκτης αυτός, δημιουργήθηκε με σκοπό τη χρήση στη δημόσια παροχή υδάτων ύδρευσης και άρδευσης, και χρησιμοποιεί μια ενιαία αθροιστική συνάρτηση, η οποία επιλέγει μεταξύ δύο σετ από προτεινόμενα όρια και εξισώσεις υποδεικτών. Παρά το γεγονός ότι ο Stoner (1978) εφάρμοσε το δείκτη σε μόλις δύο χρήσεις υδάτων, ο δείκτης θα μπορούσε να προσαρμοστεί σε πρόσθετες χρήσεις νερού.

Δύο τύποι των παραμέτρων ποιότητας νερού χρησιμοποιούνται στο δείκτη του Stoner:

- Παράμετροι τύπου I που κανονικά θεωρούνται τοξικές σε χαμηλές συγκεντρώσεις (για παράδειγμα, μόλυβδος, chlordane, ράδιο-226)
- Παράμετροι τύπου II που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της υγείας ή την αισθητική (για παράδειγμα, χλωρίδια, θείο, χρώμα, τη γεύση και οσμή)

Οι μεταβλητές ρύπων τύπου I αντιμετωπίστηκαν με δυαδικό τρόπο, δίνοντας στον υποδείκτη βηματική συνάρτηση. Κάθε υποδείκτης παραμέτρου τύπου I λαμβάνει την τιμή μηδέν αν η συγκέντρωση είναι μικρότερη ή ίση με το συνιστώμενο όριο και τιμή 100 σε περίπτωση υπέρβασης του συνιστώμενου ορίου. Οι μεταβλητές ρύπων τύπου II αντιπροσωπεύονται από ρητές μαθηματικές συναρτήσεις. Ο γενικός δείκτης υπολογίστηκε συνδυάζοντας το μη σταθμισμένο άθροισμα των υποδεικτών τύπου I με το σταθμισμένο άθροισμα των υποδεικτών II:

$$I = \sum_{i=1}^m I_i + \sum_{j=1}^n W_j I_j \quad (3.8)$$

όπου I_i είναι ο υποδείκτης για την παράμετρο i τύπου I

W_j είναι το βάρος για την παράμετρο j τύπου II

I_j είναι ο υποδείκτης για την παράμετρο j τύπου II

Πίνακας 3.8 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη Stoner (Abbasi, 2012)

Παράμετρος	Εξίσωση Υποδείκτη
Ομάδα - A (w = 0.111) Ρυθμός Απορρόφησης Νατρίου Ειδική Αγωγιμότητα (μmho) Faecal Coliforms (no./100ml)	100-x ² 100-0.0002x ² 100-0.0001x ²
Ομάδα - B (w = 0.074) Αρσενικό (mg L ⁻¹) Βόριο (mg L ⁻¹) Κάδμιο (mg L ⁻¹)	100-1000x 100-100x ² 100-10 ⁶ x ²
Ομάδα - C (w = 0.0555) Αλουμίνιο (mg L ⁻¹) Βηρύλλιο (mg L ⁻¹) Χρώμιο (mg L ⁻¹) Κοβάλτιο (mg L ⁻¹) Μαγγάνιο (mg L ⁻¹) Βανάδιο (mg L ⁻¹)	100-4x ² 100-10 ⁴ x ² 100-10 ⁴ x ² 100-2000x 100-500x 100-1000x
Ομάδα - D (w = 0.028) Χαλκός (mg L ⁻¹) Φθόριο (mg L ⁻¹) Νικέλιο (mg L ⁻¹) Ψευδάργυρος (mg L ⁻¹)	100-2500x ² 100-100x ² 100-2500x ² 100-25x ²

3.9 Δείκτης *Prakash*

Ο δείκτης αναπτύχθηκε για να αξιολογήσει το προφίλ της ποιότητας των υδάτων του ποταμού Γάγγη σε ολόκληρη τη διαδρομή του και να προσδιορίσει τις ροές, όπου το χάσμα μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής ποιότητας των υδάτων είναι αρκετά σημαντικό ώστε να δικαιολογεί τη λήψη επειγόντων μέτρων ελέγχου της ρύπανσης. Ο δείκτης είχε τη σταθμισμένη μορφή πολλαπλασιασμού (Abbasi, 2012) :

$$WQI = \sum_{i=1}^p W_i I_i \quad (3.9)$$

όπου το I_i δηλώνει τον υποδείκτη που αντιστοιχεί στην i -παράμετρο της

ποιότητας του νερού,

W_i είναι το βάρος που σχετίζεται με την παράμετρο i της ποιότητας των υδάτων και

το p είναι ο αριθμός των παραμέτρων ποιότητας του νερού που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του δείκτη.

Ο δείκτης αυτός βασίστηκε στον δείκτη NSF-WQI (Brown et al., 1970), με ελαφρές τροποποιήσεις όσον αφορά τα βάρη για να σχετίζεται με τα ποιοτικά κριτήρια του νερού για τις διάφορες κατηγορίες χρήσεων, όπως ορίζεται από το Κεντρικό Διοικητικό Συμβούλιο Ρύπανσης των Υδάτων της Ινδίας (Sarkar & Abbasi, 2006).

Για την εκχώρηση βαρών, βαθμονόμηση σημαντικότητας δόθηκε σε όλες τις παραμέτρους που έχουν επιλεγεί. Ένα προσωρινό βάρος ίσο με 1 ανατέθηκε στην παράμετρο που έλαβε την υψηλότερη βαθμολογία σημασίας. Όλες οι άλλες προσωρινές τιμές ελήφθησαν με διαίρεση κάθε μέσης βαθμολογίας με την υψηλότερη τιμή. Κάθε προσωρινό βάρος στη συνέχεια διαιρείται με το άθροισμα όλων των βαρών ώστε να προκύψουν τα τελικά βάρη. Αυτά τα βάρη μεταβάλλονται ανάλογα με τα κριτήρια ποιότητας των υδάτων για τις διάφορες κατηγορίες χρήσεων. Η ταξινόμηση των υδάτων έναντι των τελικών τιμών του δείκτη γίνεται ως εξής (Abbasi, 2012):

- $63 < WQI < 100$: Καλή έως Έξαιρετική
- $50 < WQI < 63$: Μέτρια έως Καλή
- $38 < WQI < 50$: Κακή
- $WQI < 38$: Πολύ Κακή

Ο αριθμός και ο τύπος των παραμέτρων επιλέγονται με τη μέθοδο Delphi. Οι τιμές του υποδείκτη ελήφθησαν με τη χρήση εξισώσεων υποδείκτη όπως απεικονίζονται στον Πίνακα 3.9 (Abbasi, 2012).

Πίνακας 3.9 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη Prakash (Abbasi, 2012).

Παράμετρος	Εύρος Εφαρμογής	Εξίσωση Υποδείκτη	Συσχέτιση
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	0-40% κορεσμού	$IDO = 0.18 + 0.66x(\%sat)$	0.99
	40-100% κορεσμού	$IDO = -13.5 + 1.17x(\%sat)$	0.99
	100-140% κορεσμού	$IDO = 263.34 - 0.62x(\%sat)$	-0.99
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου ($mg L^{-1}$)	0-10	$IDO = 96.67 - 7(BO)$	-0.99
	10-30	$IBOD = 38.9 - 1(BOD)$	-0.95
	>30	$IBOD = 2$	
pH	2-5	$I_{pH} = 16.1 + 7.35 \times (pH)$	0.925
	5-7.3	$I_{pH} = -142.67 + 33.5 \times (pH)$	0.99
	7.3-10	$I_{pH} = 316.96 - 29.85 \times (pH)$	-0.98
	10-12	$I_{pH} = 96.17 - 8.0 \times (pH)$	-0.93
	<2 or >12	$I_{pH} = 0$	
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (counts/100 ml)	$1 - 10^3$	$I_{coli} = 97.2 - 26.60 \times \log(FC)$	-0.99
	$10^3 - 10^5$	$I_{coli} = 42.33 - 7.75 \times \log(FC)$	-0.98
	10^3	$I_{coli} = 2$	

3.10 Δείκτης CCME και Δείκτης British Columbia

Ο Δείκτης Ποιότητας Υδάτων του Καναδά (Canadian Water Quality Index – CCME WQI) είναι ένα εργαλείο για την απλούστευση της υποβολής στοιχείων σχετικά με την ποιότητα του νερού. Οι εκθέσεις σχετικά με την εξέλιξη της ποιότητας του νερού συνήθως αποτελούνταν από στατιστικά δελτία με μεταβλητές που είχαν μετρηθεί σε δείγμα υδάτων. Αυτό το είδος έκθεσης έχει αξία για τους εμπειρογνώμονες της ποιότητας του νερού και τους διαχειριστές,

αλλά είναι συχνά απρόσιτες για τους μη ειδικούς. Έτσι προτάθηκε ο CCME WQI για να καλύψει το κενό, παρέχοντας ουσιαστικές πληροφορίες της συνολικής ποιότητας και των τάσεων των υδάτων, και να παράγει αποτελέσματα που θα είναι προσιτά στα ανώτερα διευθυντικά στελέχη και στους μη τεχνικούς (Bagharouf, 2013).

Είναι σημαντικό κατά τη χρήση δεικτών κανείς να έχει στο νου τα όρια τους. Ενώ ο δείκτης του χρηματιστηρίου είναι ένας καλός δείκτης των συνολικών επιδόσεων της αγοράς, ο καθένας με ένα χαρτοφυλάκιο μετοχών θα ενδιαφερθεί για τις επιδόσεις των μεμονωμένων μετοχών, ή τους τομείς των αποθεμάτων. Ένας περιβαλλοντικός δείκτης είναι παρόμοιος. Ο CCME WQI δεν προορίζεται να αντικαταστήσει μια λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων παρακολούθησης του περιβάλλοντος, ούτε θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως το μόνο εργαλείο για τη διαχείριση των υδατικών σωμάτων. Αυτό που μπορεί να κάνει είναι να παρέχει μια ευρεία επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, και με αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκε (Bagharouf, 2013).

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες στο παρελθόν για την ανάπτυξη αυτού του τύπου δεικτών. Τα πλεονεκτήματα του δείκτη περιλαμβάνουν την ικανότητά του να αντιπροσωπεύει μετρήσεις μιας ποικιλίας μεταβλητών σε έναν μόνο αριθμό, την ικανότητα να συνδυάζει διάφορες μετρήσεις μιας ποικιλίας διαφορετικών μονάδων μέτρησης σε ένα ενιαίο μετρικό, και τη διευκόλυνση της επικοινωνίας των αποτελεσμάτων. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την απώλεια των πληροφοριών σχετικά με επιμέρους μεταβλητές, την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στη διαμόρφωση του δείκτη, την απώλεια των πληροφοριών σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών, καθώς και την έλλειψη δυνατότητας μεταφοράς του δείκτη σε διάφορους τύπους οικοσυστημάτων (Carr, 2008).

Ο WQI CCME δεν προορίζεται να αντικαταστήσει τη λεπτομερή αξιολόγηση των συνθηκών ποιότητας του νερού μέσω συμβατικών μεθόδων αξιολόγησης της ποιότητας των υδάτων. Προϋποθέτει καλής ποιότητας αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τις μετρήσεις της ποιότητας του νερού που σχετίζονται με την θέση που πρόκειται να αξιολογηθεί (Bagharouf, 2013).

3.10.1 Προηγούμενοι δείκτες στον Καναδά

Πριν από την ανάπτυξη του δείκτη CCME, υπήρχε ένας αριθμός δεικτών στον Καναδά για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων. Η Τεχνική Υποεπιτροπή για τους δείκτες ποιότητας των υδάτων σχηματίστηκε από την Επιτροπή Ποιότητας Υδάτων του Καναδικού Συμβουλίου των Υπουργών Περιβάλλοντος το 1997 για να αξιολογήσει τις διαφορετικές προσεγγίσεις στη διαμόρφωση του δείκτη και για την ανάπτυξη ενός δείκτη που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να απλουστευθεί η ποιότητα των υδάτων στον Καναδά.

Θα παρουσιάσουμε εδώ τον πρώιμο δείκτη της British Columbia από τον οποία προήλθε ως συνέχεια και ο CCME.

Η προσέγγιση του δείκτη της British Columbia BC WQI (Βρετανική Κολούμπια, περιοχή στον Καναδά) για τον υπολογισμό του δείκτη της ποιότητας του νερού, περιλαμβάνει τους εξής τρεις παράγοντες (Bagharour, 2013):

$$WQI = (F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)^{1/2} \quad (3.10)$$

Όπου:

F1 είναι το ποσοστό των ορίων ποιότητας υδάτων που έχουν καταπατηθεί.

F2 είναι το ποσοστό των μετρήσεων στις οποίες μια ή περισσότερες οδηγίες έχουν καταπατηθεί.

F3 είναι το μέγιστο (κανονικοποιημένο στα 100) με το οποίο ξεπεράστηκε κάθε μία από τις οδηγίες.

Ο BC WQI είχε την μεγαλύτερη και πιο εκτεταμένη ανάπτυξη και εφαρμογή. Δύο από τους παράγοντες (F2 και F3) είναι ανάλογοι με παράγοντες προηγούμενων δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί στον Καναδά όπως ο δείκτης Alberta και ο δείκτης St Laurent, αντίστοιχα. Ο παράγοντας F1 δεν βρέθηκε σε κανένα από τους άλλους δείκτες. Ο δείκτης BC χρησιμοποιήθηκε από την περιοχή της Βρετανικής Κολούμπια για να δημιουργηθεί μια

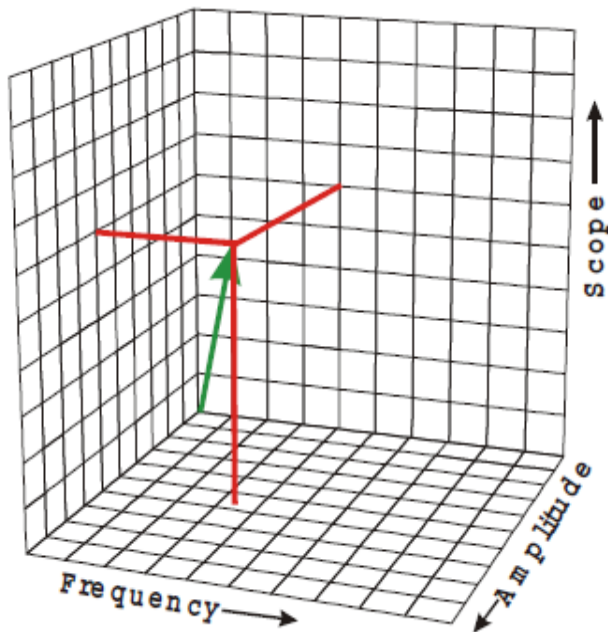
επαρχιακή έκθεση με έμφαση στην ποιότητα των υδάτων.

Όπως και με τους άλλες δείκτες, η Βρετανική Κολούμπια χρησιμοποιεί το δείκτη της σε πληθώρα χρήσεων των υδάτων. Κάθε σώμα νερού αξιολογείται σε σχέση με καθορισμένες χρήσεις και για διαφορετικούς στόχους όπως πόση, αναψυχή, άρδευση, πότισμα ζώων και την υδρόβια ζωή. Επίσης υπάρχει και ξεχωριστή κατάταξη του αποτελέσματος της τιμής του δείκτη βάσει κάθε χρήσης σχετικά με το σώμα του νερού (Bagharour, 2013).

3.10.2 Εννοιολογικό μοντέλο του δείκτη CCME

Η Τεχνική Υποεπιτροπή Δεικτών Ποιότητας Υδάτων ενέκρινε το εννοιολογικό μοντέλο του δείκτη της Βρετανικής Κολούμπια. Η προσέγγιση «Delphi» είχε εξεταστεί σοβαρά για την ενσωμάτωση στο δείκτη, αλλά απορρίφθηκε λόγω του χρόνου και αποθήκευσης δεδομένων που εμπλέκονται στην ανάπτυξη των καμπυλών «Delphi» για ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών.

Υπάρχουν τρεις παράγοντες στο δείκτη, καθένας από τους οποίους έχει βαθμονομηθεί ώστε να κυμαίνεται μεταξύ 0 και 100. Η Εικόνα 3.12 δείχνει το εννοιολογικό μοντέλο του δείκτη. Οι τιμές των τριών μέτρων διακύμανσης από επιλεγμένους στόχους για την ποιότητα του νερού συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα διάνυσμα σε ένα φανταστικό χώρο αντικειμενικής υπέρβασης. Το μήκος του διανύσματος συνέχεια κλιμακώνεται ώστε να κυμαίνεται μεταξύ μηδέν και 100, και αφαιρείται από το 100 για την παραγωγή ενός δείκτη ο οποίος είναι μηδέν ή κοντά στο μηδέν για πολύ κακή ποιότητα του νερού, και κοντά στο 100 για άριστη ποιότητα του νερού. Δεδομένου ότι ο δείκτης είναι σχεδιασμένος να μετρά την ποιότητα του νερού, θεωρήθηκε ότι ο δείκτης θα πρέπει να παράγει υψηλότερα νούμερα όταν πρόκειται να εκφράσει την καλύτερη ποιότητα νερού (Bagharour, 2013).



Εικόνα 3.12 Εννοιολογικό μοντέλο του δείκτη CCME (Bagharour, 2013)

Η Τεχνική Υποεπιτροπή ανέπτυξε μια παλαιότερη έκδοση του δείκτη που βασίζεται σε αυτό το εννοιολογικό μοντέλο. Αυτή η παλαιότερη έκδοση αξιολογήθηκε σε συνθετικά σύνολα δεδομένων, και σύνολα δεδομένων από τη Βρετανική Κολούμπια, και τη Νέα Γη. Μαζί με εκτιμήσεις στην Αλμπέρτα και το Οντάριο, οι αξιολογήσεις αυτές αποκάλυψαν ότι σημαντικά προβλήματα προέκυψαν λόγω των συναρτήσεων για την εκτίμηση της συχνότητας και πλάτους.

Ως αποτέλεσμα αυτών των προβλημάτων, η περιοχή της Αλμπέρτα χρηματοδότησε έρευνα στις εναλλακτικές συναρτήσεις των παραγόντων συχνότητας και η πλάτους. Η τεχνική υποεπιτροπή βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό σε αυτό το έργο, και το χρησιμοποίησε ως βάση για την τελική διαμόρφωση του WQI CCME.

3.10.3 Διαμόρφωση του δείκτη CCME

Παράγοντας F1: Σκοπός

Ο F1 (Σκοπός) αντιπροσωπεύει το βαθμό της μη συμμόρφωσης με τα

προτεινόμενα όρια ποιότητας του νερού κατά το χρονικό διάστημα που μας ενδιαφέρει. Έχει υιοθετηθεί άμεσα από τον δείκτη British Columbia (Bagharour, 2013):

$$F_1 = \frac{\text{Αριθμός μεταβλητών που αστόχησαν}}{\text{Συνολικός αριθμός μεταβλητών}} \times 100 \quad (3.11)$$

Ως μεταβλητές θεωρούνται οι μεταβλητές της ποιότητας υδάτων τα χαρακτηριστικά των οποίων ελέγχθηκαν ή μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου για τον υπολογισμό του δείκτη.

Παράγοντας F2: Συχνότητα

Ο F2 (Συχνότητα) αντιπροσωπεύει το ποσοστό των συνολικών δοκιμών (τεστ) που δεν κατάφεραν να περάσουν τα κριτήρια που θέτουν οι οδηγίες ποιότητας υδάτων:

$$F_2 = \frac{\text{Αριθμός δοκιμών που αστόχησαν}}{\text{Συνολικός αριθμός δοκιμών}} \times 100 \quad (3.12)$$

Η διαμόρφωση αυτού του παράγοντα και η συνάρτηση του, λήφθηκε κατευθείαν από τον δείκτη British Columbia.

Παράγοντας F3: Πλάτος

Ο F3 (Πλάτος) αντιπροσωπεύει το ποσό κατά το οποίο οι μη-συμβατές με τα πρότυπα τιμές δοκιμών δεν πληρούν τους στόχους τους. Ο F3 υπολογίζεται σε τρία βήματα. Η σύνθεση του τρίτου παράγοντα λήφθηκε από την εργασία που έγινε υπό την αιγίδα της περιοχής της Alberta.

Ο αριθμός των φορών κατά τον οποίον μία συγκέντρωση βρέθηκε μεγαλύτερη από (ή μικρότερη από, όταν ο στόχος είναι ένα ελάχιστο) τον στόχο, ονομάζεται μια «υπέρβαση» και εκφράζεται ως ακολούθως. Όταν η τιμή της

δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει το στόχο (Bagharour, 2013) :

$$\text{υπερβαση}_i = \frac{\text{Αριθμός δοκιμών που αστόχησαν}_i}{\text{Στόχος}_j} - 1 \quad (3.13)$$

Για τις περιπτώσεις στις οποίες η τιμή της δοκιμής δεν πρέπει να πέφτει κάτω από το στόχο:

$$\text{υπερβαση}_i = \frac{\text{Στόχος}_j}{\text{Αριθμός δοκιμών που αστόχησαν}_i} - 1 \quad (3.14)$$

Το συλλογικό ποσό κατά το οποίο οι ατομικές δοκιμές είναι εκτός συμμόρφωσης υπολογίζεται αθροίζοντας τις “υπερβάσεις” των μεμονωμένων δοκιμών από τους στόχους τους και διαιρώντας με τον συνολικό αριθμό των δοκιμών (και αυτές που επιτυγχάνουν και αυτές που δεν επιτυγχάνουν τους στόχους). Αυτή η μεταβλητή, που αναφέρεται ως το κανονικοποιημένο άθροισμα των υπερβάσεων, ή NSE, υπολογίζεται ως εξής:

$$NSE = \frac{\text{Άθροισμα υπερβάσεων}}{\text{Αριθμός δοκιμών}} \quad (3.15)$$

Ο F3 υπολογίζεται μετά από μια ασυμπτωτική συνάρτηση που βαθμονομεί το κανονικοποιημένο άθροισμα των υπερβάσεων από τους στόχους (NSE) για να αποδώσει ένα εύρος μεταξύ 0 και 100.

$$F_3 = \frac{NSE}{0,01 NSE + 0,01} \quad (3.16)$$

Ο δείκτης CCME WQI υπολογίζεται από τη σχέση:

$$CCMEWQI = 100 - \frac{\sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)}}{1,732} \quad (3.17)$$

3.10.4 Κατάταξη των τιμών του δείκτη CCME

Η εκχώρηση των τιμών του WQI CCME σε κατηγορίες ποιότητας υδάτων ονομάζεται «κατηγοριοποίηση» και αντιπροσωπεύει μια κρίσιμη, αλλά κάπως

υποκειμενική διαδικασία. Η κατηγοριοποίηση θα πρέπει να βασίζεται στις βέλτιστες διαθέσιμες πληροφορίες, στη κρίση εμπειρογνομόνων, και τις προσδοκίες του κοινού όσον αφορά την ποιότητα των υδάτων (Carr, 2008).

Λόγω της φύσης του δείκτη, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί από ένα εύρος τιμών του δείκτη εάν η κατάταξη οφείλεται σε ακραίες τιμές “εξόδων” μίας μεταβλητής, ή σε συχνές μικρές τιμές “εξόδων” μίας ή περισσοτέρων μεταβλητών. Ο πρότυπος υπολογισμός του Δείκτη Ποιότητας Υδάτων που αναπτύχθηκε με την υποστήριξη του τμήματος Γεωργίας, Τροφίμων και Αγροτικής Ανάπτυξης της Αλμπέρτα επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν τις μεταβλητές που θεωρούν υπεύθυνες για τη συμπεριφορά του δείκτη (Carr, 2008).

Μόλις έχει προσδιορισθεί η τιμή του CCME WQI, η ποιότητα των υδάτων μπορεί να κατατάσσεται συσχετίζοντας τη με μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

Εξαιρετική: (CCME WQI μεταξύ 95-100) – η ποιότητα του νερού είναι προστατευμένη με απουσία απειλής ή δυσλειτουργίας, οι συνθήκες πολύ κοντά στην φυσική τους κατάσταση. Αυτές οι τιμές του δείκτη μπορεί να επιτευχθούν μόνο εάν όλες οι μετρήσεις είναι μέσα στο πλαίσιο των στόχων σχεδόν όλο το χρόνο.

Καλή: (CCME WQI μεταξύ 80-94) - η ποιότητα του νερού είναι προστατευμένη με ένα μικρό μόνο βαθμό απειλής ή δυσλειτουργίας, οι συνθήκες σπάνια παρεκκλίνουν από τα φυσικά ή επιθυμητά επίπεδα.

Μέτρια: (CCME WQI μεταξύ 60-79) – η ποιότητα του νερού είναι συνήθως προστατευμένη, αλλά περιστασιακά απειλείται ή απομειώνεται, οι συνθήκες μερικές φορές αποκλίνουν από τα φυσικά ή επιθυμητά επίπεδα.

Οριακή: (CCME WQI μεταξύ 45-59) – η ποιότητα του νερού συχνά απειλείται ή απομειώνεται, οι συνθήκες συχνά αποκλίνουν από τα φυσικά ή επιθυμητά επίπεδα.

Κακή: (CCME WQI μεταξύ 0-44) – η ποιότητα του νερού σχεδόν πάντα απειλείται ή απομειώνεται, οι συνθήκες συνήθως αποκλίνουν από τα φυσικά ή

επιθυμητά επίπεδα.

3.11 Δείκτης *Universal WQI*

Ο Οικουμενικός Δείκτης Ποιότητας Υδάτων (*Universal Water Quality Index*) αναπτύχθηκε για να παρέχει μια απλούστερη μέθοδο για την περιγραφή της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που χρησιμοποιούνται για την παροχή πόσιμου νερού. Ο *UWQI* έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με προϋπάρχοντες δείκτες αντικατοπτρίζοντας την καταλληλότητα του νερού για τη συγκεκριμένη χρήση - παροχή πόσιμου νερού και όχι τη γενική προσφορά - και έχει αναπτυχθεί από τη μελέτη σε υπερεθνικό επίπεδο. Προηγούμενοι δείκτες έχουν αναπτυχθεί κυρίως για την εκτίμηση της ποιότητας ρευμάτων για γενικές και ψυχαγωγικές χρήσεις. Επιπλέον, οι προηγούμενοι δείκτες βασίζονται σε εθνικά πρότυπα της κάθε συγκεκριμένης χώρας. Ο *UWQI* αναπτύχθηκε με βάση τα ακόλουθα πρότυπα ποιότητας των υδάτων (Boyacioglu, 2007):

- “The quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States 75/440/EEC” (EC, 1991)
- “The classification of inland waters according to quality - Turkish Water Pollution Control Regulation - WPCR” (Official Gazette, 1988)

Σύμφωνα με τη νομοθεσία (75/440/EEC) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος ταξινομείται σε τρεις ομάδες. Για κάθε κατηγορία, το επίπεδο της θεραπείας που απαιτείται για να μετατρέψει την επιφάνεια του νερού σε πόσιμο νερό είναι διαφορετικό και μπορεί να συνοψιστεί ως εξής (Boyacioglu, 2007) :

- Κατηγορία I: Απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. ταχεία διήθηση και απολύμανση
- Κατηγορία II: Κανονική φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. προ-χλωρίωση, πύκνωση, καθίζηση, διήθηση, απολύμανση (τελική χλωρίωση)

- Κατηγορία III: Εντατική φυσική και χημική επεξεργασία, τελική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. χλωρίωση μέχρι σημείου ρήξεως, πήξη, κροκίδωση, απόχυση, διήθηση, προσρόφηση (ενεργός άνθρακας), απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση) (EC, 1991).

Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στην εκτίμηση περίπου 45 παραμέτρων της ποιότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένων φυσικών, χημικών και μικροβιολογικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, το pH, το χρώμα, νάτριο, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, υδράργυρο, μόλυβδο, σίδηρο και ολικά κολοβακτηρίδια κ.λπ. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από αριθμητικές τιμές για τις παραμέτρους αυτές. Ο τουρκικός κανονισμός ελέγχου ρύπανσης υδάτων, Turkish Water Pollution Control Regulation (WPCR) (Official Gazette, 1988) έχει επίσης ένα αρκετά παρόμοιο σύστημα κατηγοριοποίησης, η βασική διαφορά είναι ότι προστίθεται μια κατηγορία IV στις τουρκικές τυποποιημένες παραμέτρους ποιότητας του νερού, στην οποία οι τιμές υπερβαίνουν εκείνα που καθορίζονται για την κατηγορία III. Οι παράμετροι του UWQI (καθοριστικοί παράγοντες για την ποιότητα του νερού) επιλέχθηκαν ανάμεσα από αυτές τις 45 παραμέτρους. Τα εύρη συγκέντρωσης των μεταβλητών για τις τρεις κατηγορίες καθορίστηκαν με αναφορά στην οδηγία 75/440/EEC του Συμβουλίου και της τουρκικής WPCR. Σε γενικές γραμμές μεταξύ των δύο προτύπων, η πιο περιορισμένη τιμή για κάθε κατηγορία έγινε δεκτή ως τιμή αναφοράς.

Αφού καθορίστηκαν οι μεταβλητές ποιότητας των υδάτων του δείκτη, επελέγησαν οι μαθηματικές εξισώσεις που μετατρέπουν τις πραγματικές τιμές συγκέντρωσης στους επιμέρους δείκτες ποιότητας για όλες τις παραμέτρους. Στη συνέχεια γίνεται ανάθεση βαρών για τις μεταβλητές και ακολουθεί η συνάθροιση των επιμέρους δεικτών, χρησιμοποιώντας την μέθοδο του σταθμισμένου αθροίσματος (Boyacioglu, 2007).

3.11.1 Επιλογή των καθοριστικών παραγόντων του δείκτη UWQI

Στο πλαίσιο της παρακολούθησης της ποιότητας του πόσιμου νερού, θα

πρέπει να δοθεί προτεραιότητα σε εκείνες τις ουσίες που είναι γνωστό ότι είναι σημαντικές για την υγεία και οι οποίες είναι γνωστό ότι είναι παρούσες σε σημαντικές συγκεντρώσεις στις υδάτινες πηγές. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι μικροβιακοί κίνδυνοι εξακολουθούν να είναι το πρωταρχικό μέλημα τόσο στις αναπτυσσόμενες όσο και στις αναπτυγμένες χώρες. Με βάση το γεγονός ότι οι μικροβιολογικές προσμείξεις έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην υγεία η κατηγορία αυτή έχει την υψηλότερη προτεραιότητα στην παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Επιπλέον, είναι σημαντικό ότι η παρακολούθηση της χημικής ποιότητας του νερού συνδέεται με μια διαδικασία εκτίμησης κινδύνου. Υπάρχει ένας αριθμός παραμέτρων που, όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την εκτίμηση πηγής ρύπανσης, παρέχουν μια καλή γενική ένδειξη της χημικής ποιότητας του νερού. Αυτές οι παράμετροι και άλλες των οποίων οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου ή στο περιβάλλον είναι μεγάλη θα πρέπει να περιλαμβάνονται στην αρχική δοκιμή. Η παρουσία σε υψηλά επίπεδα αυτών των ρύπων στο νερό μπορεί να υποδεικνύει ότι απαιτούνται και άλλες αναλύσεις. Αυτές οι μεταβλητές περιλαμβάνουν τα νιτρικά, το pH, το φθόριο και το διαλυμένο οξυγόνο. Επιπλέον, κατά την εκτίμηση της χημικής ποιότητας του νερού, είναι επίσης σημαντικό να εξεταστεί το αρσενικό και το σελήνιο. Η εκτεταμένη διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι όταν υπάρχουν σε υπερβολικές ποσότητες το αρσενικό, σελήνιο, φθόριο και νιτρικό προκαλούν εκτεταμένες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, ως επακόλουθο της έκθεσης μέσω του πόσιμου νερού. Το αρσενικό, το σελήνιο και το φθόριο διεισδύουν στο νερό με φυσικό τρόπο. Τα νιτρικά άλατα μπορεί να εμφανίζονται φυσικά, αλλά μπορεί επίσης να προέρχεται από γεωργικές πηγές, διάθεση λυμάτων και αστικά απόβλητα. Τοξικές χημικές ουσίες στο πόσιμο νερό, όπως το κάδμιο, το κυάνιο, ο υδράργυρος κ.λπ., θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνονται στην αρχική δοκιμή, επειδή η ύπαρξή τους στο πόσιμο νερό προκαλεί πιο σοβαρές συνέπειες για την υγεία σε σύγκριση με τις άλλες. Ακόμη και μερικές παράμετροι όπως το pH ή το διαλυμένο οξυγόνο που δεν καθορίζονται σε διεθνή πρότυπα πόσιμου νερού, έχουν άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, γι 'αυτό μπορεί να είναι σημαντική η αξιολόγηση της απόδοσης των μέτρων ελέγχου σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα

(Boyacioglu, 2007).

Όλοι αυτοί οι παράγοντες ελήφθησαν υπόψη κατά την επιλογή των καθοριστικών παραγόντων της ποιότητας των υδάτων του UWQI. Τα κολοβακτηρίδια κοπράνων έχουν συμπεριληφθεί ως δείκτης της μικροβιακής μόλυνσης στον UWQI. Προκειμένου να αποφευχθούν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε μολυσματικούς παράγοντες, δόθηκε προτεραιότητα στα νιτρικά άλατα, το αρσενικό, το σελήνιο, φθοριούχο, κάδμιο υδράργυρος και κυάνιο. Λειτουργικές παράμετροι παρακολούθησης, όπως το διαλυμένο οξυγόνο και το pH επιλέχθηκαν επίσης για τον υπολογισμό UWQI. Τέλος, η απαίτηση βιοχημικού οξυγόνου (BOD), ένας δείκτης της οργανικής ρύπανσης στο νερό και το φωσφόρο, συμπεριλήφθηκαν για να ικανοποιούν τις οικολογικές απαιτήσεις ορισμένων τύπων περιβάλλοντος.

Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιεί ο δείκτης μαζί την ταξινόμηση της ποιότητας νερού ανάλογα με τα όρια ανίχνευσής των παραμέτρων.

Πίνακας 3.10 Ταξινόμηση της ποιότητας νερού για τον δείκτη UWQI (Boyacioglu, 2007).

Παράμετρος	M.M.	Κατηγορία I (Εξαιρετική)	Κατηγορία II (Αποδεκτή)	Κατηγορία III (Ρυπασμένη)
Ολικά κολοβακτηρίδια	CFU/100 mL	50	5000	50000
Κάδμιο	mg L ⁻¹	3	5	10
Κυάνιο	mg L ⁻¹	10	50	100
Υδράργυρος	mg L ⁻¹	0.0001	0.0005	2
Σελήνιο	mg L ⁻¹	10	10	20
Αρσενικό	mg L ⁻¹	20	50	100
Φθόριο	mg L ⁻¹	1	01/05/15	2
Νιτρικά άλατα	mg L ⁻¹	5	10	20
Διαλυμένο οξυγόνο	mg L ⁻¹	8	6	3
pH		6.5-8.5	5.5-6.4 8.6-9	<5.5 >9
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου	mg L ⁻¹	<3	<5	<7
Ολικός φώσφορος	mg L ⁻¹	0.02	0.16	0.65

3.11.2 Δημιουργία συναρτήσεων υποδεικτών και βαρών του UWQI

Υποδείκτες είναι συναρτήσεις (καμπύλες) για τη μετατροπή των διαφόρων μονάδων και διαστάσεων των μεταβλητών ποιότητας υδάτων σε μια κοινή κλίμακα. Η ανάπτυξη καμπυλών υποδεικτών είναι άκρως υποκειμενική διαδικασία και βασίζεται κυρίως στην κρίση του συγγραφέα. Σε αυτή τη μελέτη λήφθηκαν γνωμοδοτήσεις 14 εμπειρογνωμόνων ποιότητας υδάτων που εργάζονται σε διάφορα ιδρύματα σχετικά με αυτή τη διαδικασία. Συμφώνησαν να οριστούν σταθερές τιμές στις τιμές συγκέντρωσης αναφοράς για τη διαμόρφωση των εξισώσεων στους επιμέρους δείκτης. Κατά συνέπεια, αν το περιεχόμενο μιας ανιχνευόμενης παραμέτρου ήταν χαμηλότερο από την τιμή που έχει οριστεί για την κατηγορία I, ο υποδείκτης ποιότητας νερού θα καταχωρηθεί αυτόματα στο 100. Ομοίως, για μια μεταβλητή που υπερβαίνει την τιμή που έχει οριστεί για την κλάση III, υποδείκτης ποιότητας νερού θα καταχωρηθεί αυτόματα στο 0. Μια σταθερή τιμή υπο-δείκτη που αντιστοιχεί στις τιμές της αποδεκτής κατηγορίας ορίζεται στο 50 (Boyacioglu, 2007).

Πίνακας 3.11 Εξισώσεις μετατροπής αναλυτικών τιμών παραμέτρων σε τιμές υποδεικτών για τον δείκτη UWQI (Boyacioglu, 2007).

Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)	X < 3 3 ≤ X < 5 5 ≤ X < 7 X ≥ 7	y = 100 y = -25X + 175 y = 22.5X + 162.5 y = 0
Νιτρικά Άλατα (mg L ⁻¹)	X ≤ 5 5 < X ≤ 10 10 < X ≤ 20 X > 20	y = 100 y = -10X + 150 y = -4.5X + 95 y = 0
Αρσενικό (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.02 0.02 < X ≤ 0.05 0.05 < X ≤ 0.1 X > 0.1	y = 100 y = -1666.7X + 133.33 y = -900X + 95 y = 0

Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	X ≥ 8 8 < X ≤ 6 6 < X ≤ 3 X < 3	y = 100 y = 25X - 100 y = 15X - 40 y = 0
Φθόριο (mg L ⁻¹)	X ≤ 1 1 < X ≤ 2 X > 2	y = 100 y = -95X + 194.17 y = 0
Ολικός Φώσφορος (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.02 0.02 < X ≤ 0.16 0.16 < X ≤ 0.65 X > 0.65	y = 100 y = -357.14X + 107.14 y = -91.837X + 64.694 y = 0
Υδράργυρος (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.0001 0.0001 < X ≤ 0.0005 0.0005 < X ≤ 0.002 X > 0.002	y = 100 y = -357.14X + 107.14 y = -91.837X + 64.694 y = 0
Σελήνιο (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.01 0.01 < X ≤ 0.02 X > 0.02	y = 100 y = 4500X + 175 y = 0
Κυάνιο (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.01 0.01 < X ≤ 0.05 0.05 < X ≤ 0.1 X > 0.1	y = 100 y = -1250X + 112.5 y = -900X + 95 y = 0
Κάδμιο (mg L ⁻¹)	X ≤ 0.003 0.003 < X ≤ 0.005 0.005 < X ≤ 0.010 X > 0.010	y = 100 y = -25000X + 175 y = -9000X + 95 y = 0
Ολικά Κολοβακτηρίδια (mg L ⁻¹)	X ≤ 50 50 < X ≤ 5000 5000 < X ≤ 50000 X > 50000	y = 100 y = -10.8571ln X + 142.47 y = -21.7151ln X + 284.95 y = 0
pH	6.5 ≤ X ≤ 8.5 5.5 ≤ X ≤ 6.4and 8.6 ≤ X ≤ 9 X < 5.5 and X > 9	y=100 y=50 y=0

3.11.3 Υπολογισμός βαρών, συνολικού δείκτη και κατάταξης UWQI

Η άθροιση των επιμέρους δεικτών (παράμετρος y στον Πίνακα 3.12) έγινε με βάση τη μέθοδο του σταθμισμένου αθροίσματος. Η ανάθεση των βαρών σε μεταβλητές της ποιότητας υδάτων ήταν ένα άλλο καθήκον. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τη διαδικασία εκχώρησης συνοψίζονται ως εξής (Boyacioglu, 2007) :

- Οι χημικές παράμετροι έχουν χαμηλότερο βάρος από τις μικροβιολογικές παραμέτρους, επειδή οι μικροβιακές προσμείξεις ανήκουν στη κατηγορία μεγαλύτερων επιπτώσεων για την υγεία
- Μεγάλο βάρος δόθηκε σε εκείνες τις παραμέτρους των που επιφέρουν τις γνωστότερες επιπτώσεις στην υγεία

Τα προσωρινά βάρη κυμαίνονταν από 1 έως 4 στη βασική κλίμακα σπουδαιότητας. Μέση, μεγάλη και πολύ μεγάλη σημασία. Κάθε βάρος στη συνέχεια διαιρείται με το άθροισμα όλων των βαρών για να φθάσει στο τελικό συντελεστή βάρους.

Η εξίσωση σταθμισμένου αθροίσματος που δίνει τον τελικό δείκτη είναι (Boyacioglu, 2007) :

$$UWQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad (3.18)$$

όπου:

W_i = βάρος για την παράμετρο i (από τον Πίνακα 3.12)

I_i = υπο-δείκτης για την παράμετρο i (y του Πίνακα 3.11)

Πίνακας 3.12 Ανάθεση βαρών στις τιμές των υποδεικτών για τον δείκτη UWQI (Boyacioglu, 2007)

Παράμετρος	Βάρος
Ολικά κολοβακτηρίδια	0,114
Κάδμιο	0,086
Κυάνιο	0,086
Υδράργυρος	0,086
Σελήνιο	0,086
Αρσενικό	0,113
Φθόριο	0,086
Νιτρικά άλατα	0,086
Διαλυμένο οξυγόνο	0,114
pH	0,029
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου	0,057
Ολικός φώσφορος	0,057

Ανάλογα με την τιμή του δείκτη η ποιότητα των υδάτων κατατάσσεται ως εξής:

- $95 < WQI < 100$: Άριστη
- $75 < WQI < 94$: Καλή
- $50 < WQI < 74$: Σχετικά καλή
- $25 < WQI < 49$: Οριακή
- $WQI < 24$: Κακή

3.12 Δείκτης New WQI (NWQI)

Ο δείκτης NWQI δημιουργήθηκε στη Μαλαισία όταν παρατηρήθηκαν αντιφάσεις μεταξύ του υφιστάμενου δείκτη ποιότητας του νερού (WQI) όπως αυτός δημιουργήθηκε από το υπουργείο περιβάλλοντος της χώρας (DEO) και των προτύπων αποβολής λυμάτων (EQA) (Mamun and Idris, 2008).

Αρχικός δείκτης Μαλαισίας (WQI)

Ο αρχικός δείκτης, που παραμένει και ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων στην Μαλαισία, περιελάμβανε έξι παραμέτρους και υπολογιζόταν με βάση την παρακάτω εξίσωση (Mamun & Idris, 2008 και Amneera et al., 2013):

$$WQI=0.22SIDO+0.19SIBOD+0.16SICOD+0.16SISS+0.15SIAN+0.12SIpH$$

(3.19)

όπου SIDO: είναι η εξίσωση υποδείκτη του Διαλυμένου Οξυγόνου σε % κορεσμού και υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$SIDO=0 \quad DO>8 \quad (3.20)$$

$$=100 \quad DO>92 \quad (3.21)$$

$$= -0.935+0.030DO^2 - 0.00020DO^3 \quad 8<DO<92 \quad (3.22)$$

SIBOD: εξίσωση υποδείκτη Βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου σε mg L⁻¹

$$SIBOD=100.4-4.23BOD \quad BOD<5 \quad (3.23)$$

$$=103e^{-0.055BOD} - 0.1BOD \quad BOD>5 \quad (3.24)$$

SICOD: εξίσωση υποδείκτη Χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου σε mg L⁻¹

$$SICOD= -1.33COD+99.1 \quad COD<20 \quad (3.25)$$

$$=103e^{-0.0157COD} - 0.04COD \quad COD>20 \quad (3.26)$$

SIAN: εξίσωση υποδείκτη Αμμωνιακού αζώτου σε mg L⁻¹

$$SIAN=100.5-105AN \quad AN<0.3 \quad (3.27)$$

$$=94e^{-0.573AN} - 5 | AN-2 | \quad 0.3<AN<4 \quad (3.28)$$

$$=0 \quad AN>4 \quad (3.29)$$

SISS: εξίσωση υποδείκτη Αιωρούμενων στερεών σε mg L⁻¹

$$SISS=97.5e^{-0.00676SS} + 0.05SS \quad SS<100 \quad (3.30)$$

$$=71e^{-0.0016SS} - 0.015SS \quad 100<SS<1000 \quad (3.31)$$

$$=0 \quad SS>1000 \quad (3.32)$$

SipH: εξίσωση υποδείκτη Ενεργής οξύτητας (pH)

$$SipH=17.2-17.2pH+5.02pH^2 \quad pH<5.5 \quad (3.33)$$

$$= -242+95.5pH-6.67pH^2 \quad 5.5<pH<7 \quad (3.34)$$

$$= -181+82.4pH-6.05pH^2 \quad 7<pH<8.75 \quad (3.35)$$

$$=536-77.0pH+2.76pH^2 \quad pH>8.75 \quad (3.36)$$

Η ποιότητα των υδάτων ταξινομείται ανάλογα με τις τιμές του δείκτη ως εξής:

- 92.7<WQI Πολύ καλή
- 76.5<WQI<92.7 Καλή
- 76.5<WQI<51.9 Μέτρια
- 51.9<WQI<31.0 Μολυσμένη
- WQI<31.0 Πολύ μολυσμένη

Αναθερωρημένος δείκτης Μαλαισίας (NWQI)

Ο αρχικός δείκτης εφαρμόζοταν στην χώρα χωρίς καμία προτεινόμενη μετατροπή για πάνω από 25 χρόνια, με μία μόνο επισήμανση των αδυναμιών του (Idris et al., 2003). Όπως είναι φυσικό όλη αυτή την περίοδο προέκυψαν νέα δεδομένα σχετικά με την μεθοδολογία ανάπτυξης των δεικτών ποιότητας νερού, κοινωνικοοικονομικές αλλαγές (ραγδαία αστικοποίηση, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οικιακά & βιομηχανικά απόβλητα, εντατικοποίηση καλλιεργειών κλπ) που επέφεραν επιβάρυνση στους υδατικούς αποδέκτες, επικαιροποίηση

των παραμέτρων που θα έπρεπε πλέον να περιλαμβάνει ο νέος δείκτης ανάλογα με την σημαντικότητα αυτών (με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία και μετρήσεις του παρελθόντος) στην αξιολόγηση της κατάστασης των ποταμών της Μαλαισίας.

Για παράδειγμα, το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_3\text{-N}$) αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους ρύπους από τον οποίον πολλά από τα ποτάμια έχουν ρυπανθεί, ενώ δεν υπάρχει όριο στο πρότυπο για αυτήν την παράμετρο. Από την άλλη πλευρά, αυτή η παράμετρος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού. Παρατηρήθηκε από μακροχρόνια δεδομένα ότι το pH δεν αποτελεί πρόβλημα για τους ποταμούς στη Μαλαισία. Ως εκ τούτου, αυτή η παράμετρος θα μπορούσε να αντικατασταθεί με άλλη σημαντική παράμετρο (Mamun and Idris, 2008).

Για την επιλογή των καθοριστικών παραμέτρων της ποιότητας υδάτων λήφθηκαν ιστορικά στοιχεία μετρήσεων και δόθηκαν σε ειδικούς εντός και εκτός Μαλαισίας οι οποίοι γνωμοδότησαν επί των μεταβλητών που θα έπρεπε να συμπεριληφθούν στον NWQI.

Γενικά, οι ερωτηθέντες δεν πρότειναν να συμπεριληφθεί η θολότητα, καθώς το TSS αντιπροσωπεύει έμμεσα τη θολότητα. Ωστόσο, στο μαλαισιανό περιβάλλον υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που το TSS δεν μπορεί να περιγράψει άμεσα τη θολότητα. Εάν τα λύματα περιέχουν οργανικά σωματίδια, τότε η τιμή TSS θα είναι χαμηλή, αλλά η θολότητα θα είναι υψηλή λόγω των λεπτών και ελαφρών αιωρούμενων σωματιδίων (π.χ. οικιακά λύματα). Εκτός από αυτούς τους παράγοντες, η θολότητα κρίθηκε ότι πρέπει να συμπεριληφθεί στο NWQI για να αυξήσει την αισθητική των ποταμών, η οποία θα βοηθήσει την αποστολή της κυβέρνησης να αυξήσει τις τουριστικές δραστηριότητες που έχουν βάση τους ποταμούς. Μερικοί από τους ερωτηθέντες συνέστησαν επίσης να συμπεριληφθούν και τα παθογόνα (*E. Coli*) ως μία από τις παραμέτρους παρακολούθησης του NWQI. Από την επισκόπηση των μακροπρόθεσμων στοιχείων παρατηρήθηκε ότι τα ποτάμια της Μαλαισίας παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο μικροβιακής μόλυνσης. Οι υψηλές μετρήσεις των παθογόνων μπορεί να αποδοθούν στα οικιακά απόβλητα και τα

απόβλητα εκτροφής πουλερικών για τα οποία δεν υπάρχει καμία κατευθυντήρια γραμμή ή νόμος για τη διαδικασία απολύμανσης. Εκτός από αυτό, το κλίμα είναι πολύ κατάλληλο για την ταχεία ανάπτυξη των παθογόνων. Η δειγματοληψία και οι εργαστηριακές δοκιμές για τα παθογόνα βακτήρια είναι επίσης μια επίπονη και δαπανηρή διαδικασία. Ως εκ τούτου, η μελέτη αυτή δεν περιλαμβάνει τα *E. Coli* για την προτεινόμενη NWQI. Τα βαρέα μέταλλα δεν αποτελούν κοινό πρόβλημα για τους ποταμούς της Μαλαισίας. Έτσι, αυτή η παράμετρος δεν θα περιελήφθη στον NWQI (Mamun and Idris, 2008).

Ως εκ τούτου, οι προτεινόμενες παράμετροι NWQI και η κατάταξή τους προτάθηκαν για να ταιριάξει στα τοπικά προβλήματα και τους στόχους της ποιότητας υδάτων. Η ευκολία στη δειγματοληψία και τις δοκιμές ποιότητας υδάτων ήταν ένας άλλος παράγοντας που εξετάστηκε κατά την επιλογή των παραμέτρων για τον προτεινόμενο NWQI. Ο NWQI αποτελείται λοιπόν από τις άνω έξι παραμέτρους που διαμορφώνουν έξι υποδείκτες με τα εξής βάρη :

$$NWQI=0.18SIDO+0.18SITSS+0.17SIBOD+0.17SIAN+0.15SITP+0.15SITUR \quad (3.37)$$

όπου, ο κάθε υποδείκτης διαμορφώνεται από την ανάλογη εξίσωση:

$$SIDO=-9E-05TUR^3+0.0177DO^2+0.2058DO-3.8919 \quad (3.38)$$

$$SITUR=9E-05TUR^3-0.0126TUR^2-0.6332TUR+99.796 \quad (3.39)$$

$$SIBOD=0.0112BOD^3-0.3161BOD^2-3.1537BOD+99.781 \quad * \quad (3.40)$$

$$SIAN=3.4481AN^3-14.791AN^2-19.769AN+99.163 \quad (3.41)$$

$$SITSS=7E-07SS^3-0.0005SS^2-0.1261SS+99.781 \quad (3.42)$$

$$SITP=26.523TP^3-56.201TP^2-42.049TP+99.781 \quad (3.43)$$

όλες οι συγκεντρώσεις είναι σε $mg L^{-1}$ και η θολότητα σε μονάδες NTU.

* Προτείνεται και μία **εναλλακτική μορφή** του NWQI από τους ίδιους συγγραφείς στην ίδια εργασία όπου αντικαθίσταται η Βιοχημική ζήτηση

οξυγόνου (BOD) από την Χημική ζήτηση οξυγόνου (COD), γιατί παρ' όλο που η πρώτη είναι ένας πολύ σημαντικός δείκτης καταλληλότητας των νερών του ποταμού για την υδρόβια πανίδα, η δεύτερη μετράται με υψηλότερη ακρίβεια και γρηγορότερη διαδικασία ελέγχου.

$$*NWQI=0.18SIDO+0.18SITSS+0.17SICOD+0.17SIAN+0.15SITP+0.15SITUR \quad (3.44)$$

$$\text{όπου } SICOD=3E-05COD^3 - 0.0056COD^2 - 0.4205COD+99.781 \quad (3.45)$$

Οι Mamun and Idris (2008) στον New WQI αντικατέστησαν την Ενεργό οξύτητα (pH) και το Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD) με τον Ολικό φώσφορο (TP) και την Θολερότητα (TUR), ακόμη πρότειναν νέα βάρη για κάθε παραμέτρο, νέες εξίσωσεις υπολογισμού των υποδεικτών τους, καθώς και μικρές διαφοροποιήσεις στην κλίμακα κατηγοριοποίησης ανάλογα με τις τιμές του δείκτη όπως παρατίθενται παρακάτω:

- 93.2<WQI Πολύ καλή
- 72.1<WQI<93.2 Καλή
- 47.4<WQI<72.1 Μέτρια
- 22.9<WQI<47.4 Μολυσμένη
- WQI<22.9 Πολύ μολυσμένη

3.13 Δείκτης Said

Η εξίσωση του WQI αναπτύχθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο έγινε κατάταξη των μεταβλητών της ποιότητας των υδάτων, σύμφωνα με τη σημασία τους. Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στον WQI του Said είναι το διαλυμένο οξυγόνο, το σύνολο των φωσφορικών αλάτων, τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, η θολότητα, και η ειδική αγωγιμότητα. Δεύτερον, διάφορες μορφές ελέγχθηκαν για να δώσουν το μεγαλύτερο βάρος στο διαλυμένο οξυγόνο και στη συνέχεια στα κολοβακτηρίδια και τον ολικό φώσφορο. Ο επί

τοις εκατό κορεσμός αντανακλά την επίδραση της θερμοκρασίας. Στη θολερότητα και την ειδική αγωγιμότητα δόθηκε η μικρότερη επίδραση. Η τελική μορφή επελέγη ως μια απλή εξίσωση. Χρησιμοποιήθηκε ο λογάριθμος για να δώσει μικρές τιμές που χρησιμοποιούνται εύκολα από τη διοίκηση και τους φορείς λήψης αποφάσεων, τους ενδιαφερόμενους φορείς, και το ευρύ κοινό. Μια ανάλυση ευαισθησίας διεξήχθη για να δοκιμαστεί η απόδοση και να επαληθεύει ότι δόθηκαν οι κατάλληλες επιρροές στις μεταβλητές ποιότητας υδάτων (Said, 2004).

Στην τελική μορφή, οι δυνάμεις των μεταβλητών επελέγησαν στον δείκτη WQI με βάση την επίδραση της κάθε μεταβλητής στις συνθήκες του νερού. Για παράδειγμα, υψηλότερες τιμές των κοπρανώνδη κολοβακτηρίδια και του ολικού φωσφόρου είναι πολύ επιβλαβείς για την υγεία και την υδρόβια ζωή. Οι συναρτήσεις των κολοβακτηριδίων κοπράνων και του ολικού φωσφόρου στον τύπο δείκτη επιλέχθηκαν για να δώσουν ισχυρές αποκρίσεις σε αυτά τα αποτελέσματα.

Από την άλλη πλευρά, η θολότητα και η ειδική αγωγιμότητα έχουν γραμμικές επιδράσεις, οι οποίες είναι λιγότερο ευαίσθητες στην αλλαγή των τιμών των μεταβλητών, στον τύπο δείκτη. Αυτό είναι διότι, για παράδειγμα, η θολότητα δεν θα ήταν πολύ επικίνδυνη, εκτός εάν συνδέεται με ένα υψηλότερο επίπεδο μικροοργανισμών που προκαλούν ασθένειες (Said, 2004).

Για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για τυποποίηση των μεταβλητών. Οι υπολογισμοί απλοποιούνται περαιτέρω μέσω της εξάλειψης των επιμέρους δεικτών. Ο προτεινόμενος δείκτης είναι (Said, 2004) :

$$WQI = \log \left[\frac{(DO)^{1.5}}{(3.8)^{TP} (Turb)^{0.15} (15)^{FCol/10000} + 0.14(SC)^{0.5}} \right] \quad (3.46)$$

όπου

DO : διαλυμένο οξυγόνο (% κορεσμού)

TURB : θολότητα (NTU)

TP : συνολικός φώσφορος (mg L⁻¹)

FCol : κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (counts/100 mL)

SC : ειδική αγωγιμότητα σε (mS/cm στους 25 ° C)

Ο δείκτης σχεδιάστηκε για να κυμαίνονται από 0 έως 3. Η μέγιστη ή ιδανική τιμή αυτού του δείκτη είναι 3. Σε πολύ καλό νερά που έχουν 100% διαλυμένο οξυγόνο, χωρίς TP, καμία παρουσία από κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, θολερότητα μικρότερη από 1 NTU, και ειδική αγωγιμότητα μικρότερη από 5 mS/cm, η τιμή αυτού του δείκτη θα είναι 3. Από 3 προς 2, το νερό είναι αποδεκτό, και λιγότερο από το 2 είναι οριακή και πιθανόν είναι απαραίτητη η αποκατάσταση. Αν ένα ή δύο μεταβλητές έχουν επιδεινωθεί, η τιμή αυτού του δείκτη θα είναι λιγότερο από 2. Αν περισσότερες από τις μεταβλητές έχουν επιδεινωθεί, ο δείκτης είναι μικρότερος από 1, πράγμα που σημαίνει ότι η ποιότητα του νερού είναι κακή (Said, 2004).

Η εξίσωση του δείκτη λαμβάνει υπόψη δεδομένα για την ποιότητα των υδάτων, όπως η θολερότητα, και συγκρίνει τα δεδομένα αυτά με το ιδανικό επίπεδο της ποιότητας του νερού. Παρά το γεγονός ότι έχει το πλεονέκτημα της μείωσης των μεταβλητών ποιότητας του νερού σε ένα ελάχιστο υποσύνολο, δεν μπορεί να δείξει πάντα την επίδραση τυχαίων βραχυπρόθεσμων αλλαγών, όπως μια διαρροή, εκτός αν εμφανίζεται επανειλημμένα ή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα καλύτερα αποτελέσματα με αυτό του δείκτη μπορούν να ληφθούν σε φυσικές συνθήκες και φυσικές θέσεις μέτρησης. Ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων για γενικές χρήσεις. Ωστόσο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη λήψη αποφάσεων ή για να υποδείξει την ποιότητα του νερού για συγκεκριμένες χρήσεις. Οι εντοπισμένες αλλαγές στην ποιότητα του νερού δεν μπορεί να αντανakλάται αμέσως. Επιπλέον, ο δείκτης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποδεικνύει ρύπανση από μέταλλα, οργανικούς ρύπους, ή άλλες τοξικές ουσίες. Οι παράγοντες της στάθμης των υδάτων ή της ταχύτητας ροής μπορούν να ενσωματωθούν σε έναν φυσικό / χημικό / βιολογικό δείκτη στο μέλλον (Said, 2004).

3.14 Δείκτης *Pesce*

Ο συγκεκριμένος δείκτης περιλαμβάνει της εξής μεταβλητές για τον καθορισμό της τιμής του (Pesce, 2000) :

- Αμμωνία
- Απαίτηση βιοχημικού οξυγόνου
- Ασβέστιο
- Χλώριο
- Απαίτηση χημικού οξυγόνου
- Διαλυμένο οξυγόνο
- Σκληρότητα
- Μαγνήσιο
- Νιτρικά άλατα
- Πετρέλαιο και γράσα
- pH
- Ολικός φώσφορος
- Διαλυμένα στερεά
- Ολικά στερεά
- Θεικό άλας
- Επιφανειοδραστικές ουσίες
- Θερμοκρασία
- Ολικά κολοβακτηρίδια
- Θολότητα

Ο υποκειμενικός δείκτης ποιότητας υδάτων (WQI_{sub}) υπολογίζεται ως

ακολουθως:

$$WQI_{sub} = k \frac{\sum_i C_i \times P_i}{\sum_i P_i} \quad (3.47)$$

όπου k είναι μια υποκειμενική σταθερά. Αντιπροσωπεύει την οπτική εντύπωση της ρύπανση των ποταμών (όπως θα μπορούσε να αξιολογηθεί από ένα άτομο χωρίς εκπαίδευση σε περιβαλλοντικά θέματα). Παίρνει μία από τις ακόλουθες τιμές σύμφωνα με την κατάσταση του ποταμού (Pesce, 2000) :

- 1,00 = νερό χωρίς εμφανή ρύπανση (καθαρό ή με φυσικά αιωρούμενα στερεά).
- 0,75 = ελαφρώς ρυπασμένο νερό (εμφανώς), που υποδεικνύεται από το ελαφρώς μη-φυσικό χρώμα, αφρό, ελαφριά θολότητα που δεν οφείλεται σε φυσικούς λόγους.
- 0,50 = ρυπασμένο νερό (εμφανώς), που υποδεικνύεται από μη φυσικό χρώμα, οσμή, υψηλή θολότητα (όχι φυσική), αιωρούμενα οργανικά στερεά, κ.λπ.
- 0,25 = εξαιρετικά ρυπασμένο νερό (εμφανώς), που υποδεικνύεται από μαυριδερό χρώμα, σκληρή οσμή κ.λπ.

C_i είναι η τιμή που αποδίδεται σε κάθε παράμετρο μετά από τη κανονικοποίηση.

P_i είναι η σχετική βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε παράμετρο. Το εύρος τιμών είναι από 1 έως 4, με το 4 να αντιπροσωπεύει μια παράμετρο που έχει τη μεγαλύτερη σημασία για τη διατήρηση της υδρόβιας ζωής (π.χ. διαλυμένο οξυγόνο), ενώ τιμή 1 σημαίνει ότι η εν λόγω παράμετρος έχει μικρότερη επίδραση (π.χ. Χλώριο) (Pesce, 2000).

Ο αντικειμενικός δείκτης της ποιότητας του νερού (WQI_{obj}) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, αλλά με $k = 1$ σε όλες τις περιπτώσεις ώστε να λάβουμε τιμές μόνο για μεταβολές στις μετρούμενες παραμέτρους (Pesce, 2000).

Τέλος, υπολογίζεται ένας δείκτης ποιότητας του νερού με μόνο τρεις παραμέτρους, που ονομάζεται ελάχιστος δείκτης (WQI_{min}) υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης:

$$WQI_{min} = \frac{C_{DO} + C_{cond} + C_{turb}}{3} \quad (3.48)$$

όπου C_{DO} είναι η τιμή λόγω του διαλυμένου οξυγόνου μετά από κανονικοποίηση, C_{cond} την τιμή που οφείλεται είτε σε αγωγιμότητα ή διαλυμένα στερεά (TDS) μετά από κανονικοποίηση και C_{turb} η τιμή λόγω θολότητας μετά από κανονικοποίηση (Pesce, 2000).

Όλες οι τιμές των παραμέτρων μετρώνται σε $mg L^{-1}$ εκτός του pH που μετράται σε μονάδες pH, της θολότητας σε NTU, της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου °C, τα βακτήρια σε MPN/100ml.

3.15 Ο Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης

Η μεθοδολογία δημιουργίας και ανάπτυξης του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη περιγράφεται από τον Cude (2001) (στον αρχικό Oregon Water Quality Index) και πιο πρόσφατα τροποποιημένη από τον Khwakaram (2012, 2015) και Gangwar et al. (2013), όπου διαφορετικά συστατικά της ποιότητας νερού πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή στάθμισης και στη συνέχεια αθροίζονται χρησιμοποιώντας απλό αριθμητικό μέσο. Για την εκτέλεση του υπολογισμού του WQI η κλίμακα αξιολόγησης ποιότητας (Q_i) για κάθε παράμετρο υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Khwakaram et al., 2015) :

$$Q_i = [C_i - V_i / S_i - V_i] \times 100 \quad (3.49)$$

Όπου,

Q_i = Αξιολόγηση ποιότητας της παραμέτρου (i) για ένα σύνολο παραμέτρων (n) της ποιότητας του νερού.

C_i = Αντιπροσωπεύει τιμές της παραμέτρου ποιότητας του νερού που λαμβάνονται από το εργαστήριο ανάλυσης.

S_i = Αντιπροσωπεύει τις τιμές των παραμέτρων ποιότητας νερού που λαμβάνονται από τα συνιστώμενα πρότυπα WHO, CCME, ICMR, BIS (Πίνακας 3.14) .

V_i = οι ιδανικές τιμές, όπως θεωρείται για παράδειγμα το 7 για το pH.

Στη συνέχεια το σχετικό βάρος (W_i) υπολογίζεται με τιμή αντιστρόφως ανάλογη με τα συνιστώμενα πρότυπα (S_i) για την αντίστοιχη παράμετρο χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$W_i = I / S_i \quad (3.50)$$

Όπου,

W_i = Σχετικό βάρος για την κάθε παράμετρο.

I = σταθερά αναλογίας

Έτσι, το σχετικό βάρος (W_i) για διάφορες παραμέτρους της ποιότητας του νερού είναι αντιστρόφως ανάλογο προς το συνιστώμενο πρότυπο για τις αντίστοιχες παραμέτρους. Τέλος, ο συνολικός WQI υπολογίζεται με την άθροιση των τιμών αξιολόγησης ποιότητας με το βάρος της μονάδας γραμμικά με τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$WQI = \sum Q_i W_i / \sum W_i \quad (3.51)$$

Όπου,

Q_i = Αξιολόγηση ποιότητας

W_i = Σχετικό βάρος

Πίνακας 3.13 Κατάταξης Ποιότητας Υδάτων (Khwakaram et al., 2012, 2015)

Τιμές Δείκτη	Κατάταξη
<50	Εξαιρετική
50-100	Καλή*
100-200	Κακή
200-300	Πολύ κακή
>300	Ακατάλληλη για κάθε χρήση

* WQI<100 είναι το όριο για την κατανάλωση του νερού από τον άνθρωπο

Στην βιβλιογραφία (Gangwar et al., 2013) βρέθηκε και πιο αναλυτική κλίμακα ταξινόμησης των τιμών του δείκτη όταν η χρήση του νερού προορίζεται αποκλειστικά για ανθρώπινη κατανάλωση η οποία έχει ως εξής:

- 0<WQI<25 Εξαιρετική
- 26<WQI<50 Καλή
- 51<WQI<75 Κακή
- 76<WQI<100 Πολύ κακή
- WQI>100 Ακατάλληλη

Πίνακας 3.14 Ιδανικές και πρότυπες τιμές παραμέτρων για τον σταθμισμένο αριθμητικό δείκτη (Khwakaram et al., 2012).

Παράμετροι	Ιδανικές τιμές	Πρότυπες Τιμές (WHO/ICMR/BIS)
pH (units)	7	8,5
Ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0	250
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L^{-1})	14,6	6
Θολρότητα (NTU)	0	5
Ολική Σκληρότητα (mg L^{-1})	0	100
Ασβέστιο (mg L^{-1})	0	100
Μαγνήσιο (mg L^{-1})	0	30
Νάτριο (mg L^{-1})	0	200
Ποτάσιο (mg L^{-1})	0	10
Χλώριο (mg L^{-1})	0	250
Θειικά Άλατα (mg L^{-1})	0	250
Νιτρικά Άλατα (mg L^{-1})	0	50
Φωσφορικά Άλατα (mg L^{-1})	0	0,4

WHO: Water Health Organization

ICMR: Indian Council of Medical Research

BIS: Bureau of Indian Standards (BIS, 2003)

3.16 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εξεταζόμενων δεικτών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά (Πίνακες 3.15 έως 3.28) οι προαναφερθέντες δείκτες μαζί με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούν, την εξίσωση υπολογισμού κάθε δείκτη, την κλίμακα ταξινόμησης των τιμών τους και την αντίστοιχη ποιοτική κατάσταση του νερού, καθώς και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα που προέρχονται από την δομή και την χρήση τους.

Για ορισμένους από τους παρακάτω δείκτες δεν βρέθηκε κλίμακα κατάταξης των τιμών τους στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχει διαχωρισμός των τιμών τους σε κλάσεις.

Επίσης, οι σχετικά λίγες βιβλιογραφικές αναφορές που βρέθηκαν για κάποιους δείκτες δεν επαρκούν για την εξαγωγή αξιόπιστων και επιπρόσθετων συμπερασμάτων σχετικά με τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα που έχουν προκύψει γι' αυτούς από τις περιοχές στις οποίες εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 3.15 Δείκτης National Sanitation Foundation (NSF)

NSF		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$WQI = \sum_{i=1}^9 w_i T_i(p_i) = \sum_{i=1}^9 w_i Q_i$	100-91=Άριστη 90-71 = Καλή 70-51 = Μέση 50-26 = Κακή 25-0 = Πολύ κακή
ρΗ		
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Θολερότητα (NTU)		
Ολικά Στερεά (mg L ⁻¹)		
Θερμοκρασία (°C)		
Ολικό Άζωτο (mg L ⁻¹)		
Φώσφορος (mg L ⁻¹)		
E.coli / Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (CFU/100mL)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Συνοψίζει τα δεδομένα σε μια ενιαία τιμή του δείκτη κατά τρόπο αντικειμενικό, ταχύ και αναπαραγόμενο	Αντιπροσωπεύει τη γενική ποιότητα του νερού, δεν αντιπροσωπεύει συγκεκριμένη χρήση του νερού.	Abbasi (2012), Brown et al. (1970 & 1973)
Αξιολόγηση μεταξύ περιοχών και αναγνώριση των αλλαγών στην ποιότητα του νερού.	Απόκρυψη τάσεων όταν μία τουλάχιστον παράμετρος έχει χαμηλή τιμή.	
Διευκολύνει την επικοινωνία με τον άνθρωπο.	Δεν συμπεριέλαβε ιχνοστοιχεία.	
Η τιμή του δείκτη αφορά τη πιθανή χρήση του νερού.	Δημιουργήθηκε το 1970, πιθανόν να μην ανταποκρίνεται στην πρόσφατη γνώση και τα νέα δεδομένα.	

Πίνακας 3.16 Δείκτης Prati

Prati		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλύμενο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$I = 1/13 \sum_{i=1}^{13} I_i$	0-1 Άριστη κατάσταση 1-2 Αποδεκτή 2-4 Ελαφρώς Μολυσμένη 4-8 Μολυσμένη 8> Πολύ Μολυσμένη
ρΗ		
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Υπερμαγγανικό (mg L ⁻¹)		
Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)		
Αμμωνία (mg L ⁻¹)		
Ολικό Άζωτο (mg L ⁻¹)		
Χλώριο (mg L ⁻¹)		
Σίδηρος (mg L ⁻¹)		
Μαγγάνιο (mg L ⁻¹)		
Σουλφονικά Αλκυλοβενζόλια (mg L ⁻¹)		
Χλωροφόρμιο (mg L ⁻¹)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Αν ένας ρύπος είναι παρών σε μικρότερες ποσότητες από ότι οι άλλοι ρύποι, θα εξακολουθεί να ασκεί μεγάλη επίδραση στον τελικό δείκτη,	Έλλειψη αντιμετώπισης της υποκειμενικότητας.	Abbasi (2012) Brown et al. (1970 & 1973)

<p>αν το ρυπογόνο αποτέλεσμα είναι πιο σημαντικό.</p>		
<p>Η μετατροπή σε υποδείκτες λαμβάνει υπόψη τη ρυπογόνο ικανότητα των παραμέτρων που σχετίζονται με μία επιλεγμένη παράμετρο αναφοράς.</p>	<p>Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται σε έρευνες με άμεσο στόχο τον προσδιορισμό του βαθμού της θεραπείας που θα εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα λύματα ή τη χωροθέτηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας για να ληφθεί μια δεδομένη ποιότητα υδάτων των ποταμών.</p>	

Πίνακας 3.17 Δείκτης Dinius

Dinius		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$WQI = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{11} w_i I_i$	$0 \leq IWQ \leq 100$ Δεν βρέθηκε στην διαθέσιμη βιβλιογραφία
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου ($mg L^{-1}$)		
Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)		
pH		
Ειδική Αγωγιμότητα ($\mu mho / cm$)		
Χλώριο ($mg L^{-1}$)		
Σκληρότητα ($mg L^{-1}$)		
Αλκαλικότητα ($mg L^{-1}$)		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)		
Ολικά κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)		
Χρώμα (C units)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Συνοψίζει τα δεδομένα σε μια ενιαία τιμή του δείκτη κατά τρόπο αντικειμενικό, ταχύ και αναπαραγόμενο όπως ο NSF.	Έλλειψη αντιμετώπισης της αβεβαιότητας και της υποκειμενικότητας που υπάρχει στα σύνθετα περιβαλλοντικά ζητήματα.	Abbasi (2012)
Ο Dinius εξέτασε την ποιότητα του νερού που περιγράφεται από διάφορες αρχές σε διαφορετικά επίπεδα μεταβλητών ρύπων, και από τις πληροφορίες αυτές επέλεξε 11 μεταβλητές και δημιούργησε 11 εκθετικές εξισώσεις υποδεικτών.	Απώλεια δεδομένων κατά το χειρισμό των δεδομένων.	
Όπως και στον δείκτη του Prati, οι υποδείκτες του δείκτη Dinius αναπτύχθηκαν από μια ανασκόπηση της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας.		

Πίνακας 3.18 Walski & Parker

Walski & Parker		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	$I = \left(\prod_{i=1}^{12} I_i^{w_i} \right)^{1/12}$	100-91=Άριστη 90-71 = Καλή 70-51 = Μέση 50-26 = Κακή 25-0 = Πολύ κακή
pH		
Θερμοκρασία (° C)		
Ολικά κολοβακτηρίδια (no./100ml)		
Φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Νιτρικά Άλατα (mg L ⁻¹)		
Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)		
Θολερότητα (NTU)		
Χρώμα (C units)		
Λίπος (Συγκέντρωση (mg L ⁻¹))		
Λίπος (Πυκνότητα,μ)		
Οσμή		
Δίσκος Διαφάνειας Secchi (m)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Βασίζεται σε εμπειρικές πληροφορίες σχετικά με την καταλληλότητα του νερού για μια συγκεκριμένη χρήση.	Αντιπροσωπεύει τη γενική ποιότητα του νερού, δεν αντιπροσωπεύει συγκεκριμένη χρήση του νερού.	Abbasi (2012) Walski & Parker (1974) Ott (1978)
Αναπτύχθηκε ειδικά για ψυχαγωγικές χρήσεις του νερού (όπως κολύμπι και ψάρεμα).		
Χρησιμοποιεί παραμέτρους που εκφράζουν την επίδραση στην υδρόβια ζωή, την ανθρώπινη υγεία, την οσμή και την διαύγεια του νερού.		
Με την χρήση του γεωμετρικού μέσου αποφεύγει την απώλεια πληροφοριών όταν ένας υποδείκτης έχει χαμηλή.		

Πίνακας 3.19 Δείκτης Stoner

Stoner		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Αναλογία Προσοφημένου Νατρίου	$I = \sum_{i=1}^m I_i + \sum_{j=1}^n W_j I_j$	Δεν βρέθηκε στην διαθέσιμη βιβλιογραφία.
Ειδική Αγωγιμότητα (μmho)		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (no./100ml)		
Αρσενικό (mg L ⁻¹)		
Βόριο (mg L ⁻¹)		
Κάδμιο (mg L ⁻¹)		
Αλουμίνιο (mg L ⁻¹)		
Βηρύλλιο (mg L ⁻¹)		
Χρώμιο (mg L ⁻¹)		
Κοβάλτιο (mg L ⁻¹)		
Μαγγάνιο (mg L ⁻¹)		
Βανάδιο (mg L ⁻¹)		
Χαλκός (mg L ⁻¹)		
Φθόριο (mg L ⁻¹)		
Νικέλιο (mg L ⁻¹)		
Ψευδάργυρος (mg L ⁻¹)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται στοχευμένα για τα δημόσια ύδατα ύδρευσης και άρδευσης.	Περιορίζεται μόνο σε δύο συγκεκριμένες χρήσεις με λεπτομέρεια. Αν και αναφέρεται ότι μπορεί να παρέχει πληροφορία για άλλες χρήσεις, δεν γνωρίζουμε την απόδοση.	Abbasi (2012) Stoner (1978)
Χρησιμοποιεί μια ενιαία αθροιστική συνάρτηση, η οποία επιλέγει από δύο σετ συνιστώμενων ορίων και των εξισώσεων υποδεικτών	Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται σε έρευνες ή με άμεσο στόχο τον προσδιορισμό του βαθμού της θεραπείας που θα εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα λύματα.	
Ανάλογα με το αν πρόκειται για νερό ύδρευσης ή άρδευσης, οι μεταβλητές, τα βάρη και οι εξισώσεις υποδεικτών διαφέρουν.		
Παρ'όλα αυτά, ο δείκτης θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλες χρήσεις υδάτων		

Πίνακας 3.20 Δείκτης Prakash

Prakash		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$WQI = \sum_{i=1}^p W_i I_i$	100-63 Αριστη εως καλή 63-50 Καλή εως μέτρια 50-38 Κακή 38< Πολύ κακή
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
pH		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (counts/100ml)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Ο δείκτης αυτός βασίστηκε στον NSF-WQI με ελαφρές τροποποιήσεις όσον αφορά τα βάρη, με στόχο να συμμορφώνεται με τα ποιοτικά κριτήρια του νερού για τις διάφορες κατηγορίες χρήσεων	Αντιπροσωπεύει τη γενική ποιότητα του νερού, δεν αντιπροσωπεύει συγκεκριμένη χρήση του νερού.	Abbasi (2012) Sarkar & Abbasi (2006)
Στόχος ήταν και να προσδιορίσει τα σημεία όπου το χάσμα μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής ποιότητας των υδάτων είναι αρκετά σημαντικό ώστε να δικαιολογεί τη λήψη επειγόντων μέτρων ελέγχου της ρύπανσης.	Ο περιορισμένος αριθμός παραμέτρων δεν αντικατοπτρίζει πλήρως την κατάσταση των υδάτων.	

Πίνακας 3.21 Δείκτης Oregon

Oregon		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}}$	100-90 Άριστη 89-85 Καλή 84-80 Μέτρια 79-60 Κακή 59-0 Πολύ κακή
Θερμοκρασία (°C)		
pH		
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Αμμωνία & Νιτρικό Άζωτο (mg L ⁻¹)		
Φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Ολικά Στερεά (mg L ⁻¹)		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (No/100mL)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Η μη σταθμισμένη αρμονική τετραγωνική μέση συνάρτηση που χρησιμοποιείται για να συνδυάσει τους υποδείκτες επιτρέπει στην πιο επηρεαζόμενη παράμετρο να μεταδώσει τη μεγαλύτερη επιρροή στον δείκτη ποιότητας του νερού.	Δεν λαμβάνει υπόψη αλλαγές στις τοξικές συγκεντρώσεις.	Cude (2001) Mrazik (2004) Smith (2002)
Η μέθοδος αναγνωρίζει ότι διαφορετικές παράμετροι ποιότητας του νερού θα έχουν διαφορετική σημασία για τη συνολική ποιότητα των υδάτων σε διαφορετικούς χρόνους και τόπους.	Δεν μπορεί να καθορίσει την ποιότητα των υδάτων για συγκεκριμένες χρήσεις ούτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δοθούν οριστικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του νερού χωρίς να ληφθούν υπόψη όλα τα κατάλληλα δεδομένα, φυσικά, χημικά και βιολογικά.	
Η συνάρτηση είναι ευαίσθητη στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων.	Δεν μπορεί να αξιολογήσει όλους τους κινδύνους για την υγεία (τοξικές ουσίες, βακτήρια, ιχνοστοιχεία κλπ).	

Πίνακας 3.22 Δείκτης CCME

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
<p>Δεν υπάρχουν στάνταρ παράμετροι. Καθορίζονται στην εκάστοτε εφαρμογή, ανάλογα με τον σκοπό της, τις τοπικές συνθήκες και τα διαθέσιμα δεδομένα. Προϋπόθεση η χρήση τουλάχιστον 4 παραμέτρων και 4 μετρήσεων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.</p>	$WQI=100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$	<p>100-95 Άριστη 94-80 Καλή 79-60 Μέτρια 59-45 Οριακή 44-0 Κακή</p>
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Αντιπροσωπεύει μετρήσεις μιας ποικιλίας μεταβλητών σε ένα ενιαίο αριθμό.	Απώλεια πληροφοριών για επιμέρους μεταβλητές.	Bagharour (2013) Carr (2008) CCME (2001)
Ευελιξία στην επιλογή των παραμέτρων εισόδου και των στόχων.	Απώλεια των πληροφοριών σχετικά με τους στόχους σε κάθε θέση και ιδιαίτερη χρήση του νερού.	
Προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές νομικές απαιτήσεις και τις διάφορες χρήσεις νερού.	Ευαισθησία των αποτελεσμάτων για τη διαμόρφωση του δείκτη.	
Στατιστική απλοποίηση των πολύπλοκων δεδομένων πολλών μεταβλητών.	Απώλεια πληροφοριών σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών.	
Σαφές και κατανοητό διαγνωστικό για τα διευθυντικά στελέχη και το ευρύ κοινό.	Αδυναμία της εφαρμογής του δείκτη σε διάφορους τύπους οικοσυστημάτων.	
Κατάλληλο εργαλείο για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού σε μια συγκεκριμένη θέση.	Είναι εύκολο να εισαχθεί μεροληψία.	
Εύκολο να υπολογιστεί	Η ίδια βαρύτητα δίνεται σε όλες τις μεταβλητές.	
Ανοχή στην έλλειψη στοιχείων	Δεν συνδυάζεται με άλλους δείκτες ή βιολογικά δεδομένα.	
Κατάλληλο για την ανάλυση των δεδομένων που προέρχονται από αυτόματα δειγματοληψία.	Μόνο μερική διαγνωστική της ποιότητας του νερού. Ο παράγοντας F1 δεν λειτουργεί σωστά όταν υπάρχουν πολύ λίγες μεταβλητές ή όταν υπάρχει πάρα πολύ συνδιακύμανση μεταξύ τους.	
Συνδυάζει διάφορες μετρήσεις από μια ποικιλία διαφορετικών μονάδων μέτρησης	Μόνο μερική διαγνωστική της ποιότητας του νερού.	

Πίνακας 3.23 Δείκτης Universal

Universal		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	$UWQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i$	100-90 Άριστη 94-75 Καλή 74-50 Σχετικά καλή 49-25 Οριακή 24-0 Κακή
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
pH		
Νιτρικά Άλατα (mg L ⁻¹)		
Αρσενικό (mg L ⁻¹)		
Φθόριο (mg L ⁻¹)		
Ολικός φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Υδράργυρος (mg L ⁻¹)		
Σελήνιο (mg L ⁻¹)		
Κυάνιο (mg L ⁻¹)		
Κάδμιο (mg L ⁻¹)		
Ολικά κολοβακτηρίδια (no./100ml)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Αντανακλά την καταλληλότητα του νερού για τη συγκεκριμένη χρήση, π.χ. παροχή πόσιμου νερού και όχι τη γενική προσφορά.	Απώλεια δεδομένων κατά το χειρισμό των δεδομένων.	Boyacioglu (2007) Official Gazette (1988)
Παρέχει μια απλή απεικόνιση των εκτεταμένων και σύνθετων μεταβλητών (φυσικές, βιολογικές και χημικές) που διέπουν τη συνολική ποιότητα των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για πόσιμη χρήση.	Έλλειψη αντιμετώπισης της αβεβαιότητας και της υποκειμενικότητας που υπάρχει στο σύνθετα περιβαλλοντικά ζητήματα.	
Με βάση τις διεθνείς εμπειρίες, 12 παράμετροι ποιότητας του νερού θεωρούνται ως οι σημαντικότερες παράμετροι του δείκτη UWQI για την		

αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών πηγών νερού.		
Ο δείκτης αυτός θεωρείται ότι θα βοηθήσει τους ιθύνοντες στην αναφορά της κατάστασης της ποιότητας των υδάτων, και τη διερεύνηση των χωρικών και χρονικών μεταβολών.		
Επιπλέον, είναι χρήσιμος για να προσδιοριστεί το επίπεδο αποδοχής για τη κάθε παράμετρο με αναφορά στις περιοχές συγκέντρωσης που ορίζονται στο προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης.		

Πίνακας 3.24 Δείκτης NWQI (Malaysian)

New WQI (Malaysian)		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	NWQI=0.18SIDO+0.18SITSS+0.17SIBOD+ +0.17SIAN+0.15SITP+0.15SITUR	>93.2 Πολύ καλή 93.2-72.1 Καλή 72.1-47.4 Μέτρια 47.4-22.9 Μολυσμένη 22.9< Πολύ μολυσμένη
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)	WQI=0.22SIDO+0.19SIBOD+0.16SICOD+0.16SISS+0.15SIAN+0.12SIpH	>92.7 Πολύ καλή 92.7-76.5 Καλή 76.5-51.9 Μέτρια 51.9-31.0 Μολυσμένη <31.0 Πολύ μολυσμένη
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)		
Αμμωνιακό Άζωτο (mg L ⁻¹)		
Ολικός φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Θολερότητα (NTU)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Ευαίσθητος σε μεταβολές της τιμής των σχετικών μεταβλητών.	Κανένα θρεπτικό συστατικό (φωσφόρου, αζώτου, κλπ) δεν θεωρείται στην υπάρχουσα εξίσωση WQI.	Mamun & Idris (2008) Amneera (2013)
Παρέχει μεγαλύτερη μεταβολή στον WQI από μια αλλαγή της τιμής μιας μεταβλητής, μεγαλύτερη σημασία για την επωφελή χρήση.	Το αμμωνιακό άζωτο (AN) αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους ρύπους των ποταμών, αλλά δεν υπάρχει όριο στο πρότυπο για αυτήν την παράμετρο.	
Επιτυγχάνει μια πολύ χαμηλή τιμή (ίσως μηδέν), όταν μια σχετική μοναδική μεταβλητή φθάνει μία ορισμένη τιμή πέρα από την οποία η ποιότητα του νερού για μια δεδομένη χρήση θεωρείται ακατάλληλο.	Οι συντελεστές βαρύτητας για τις έξι παραμέτρους και την κατανομή των τιμών WQI δεν είναι ενιαίοι για τις πέντε κατηγορίες που καθορίζονται για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων στη Μαλαισία.	
Παραμένει αμετάβλητος όταν μια σχετική μεταβλητή φτάνει σε τιμή, πέραν της οποίας περαιτέρω αλλαγή δεν επηρεάζει τη χρήση του νερού	Οι υπάρχουσες εξισώσεις υπο-δείκτη δεν είναι φιλικές προς το χρήστη και τους γενικούς χρήστες.	
Διακύμανση του δείκτη αντανακλά τα διαφορετικά επίπεδα σημασίας μιας μεταβλητής για τη χρήση.		

Πίνακας 3.25 Δείκτης Said

Said		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$WQI = \log \left[\frac{(DO)^{1.5}}{(3.8)^{TP} (Turb)^{0.15} (15)^{FCol/10000} + 0.14(SC)^{0.5}} \right]$	3=Πολύ καλή 3-2=Αποδεκτή <2 Οριακή <1 = Κακή 0= κατώτατη ποιότητα
Ολικός φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Θολερότητα (NTU)		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (No/100mL)		
Ειδική Αγωγιμότητα (mS/cm στους 25° C)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Έχει το πλεονέκτημα της μείωσης των μεταβλητών ποιότητας του νερού προς ένα ελάχιστο υποσύνολο.	Δεν μπορεί να δείχνει πάντα την επίπτωση τυχαίων βραχυπρόθεσμων αλλαγών.	Said (2004) Abbasi (2012)
Η τελική μορφή επελέγη ώστε να κρατά το δείκτη σε μια απλή εξίσωση και μια εύλογη αριθμητική σειρά.	Τα καλύτερα αποτελέσματα με αυτό του δείκτη μπορούν να ληφθούν σε φυσικές συνθήκες και φυσικές τοποθεσίες μετρήσεων.	
Ο λογάριθμος χρησιμοποιήθηκε για να δώσει μικρές τιμές που χρησιμοποιούνται εύκολα από τη διοίκηση και τους φορείς λήψης αποφάσεων, τους ενδιαφερόμενους φορείς, και το ευρύ κοινό.	Ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για γενική χρήση. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λήψη ρυθμιστικών αποφάσεων ή για να δείξει την ποιότητα του νερού για συγκεκριμένες χρήσεις.	
Στην τελική μορφή, οι εκθετικές δυνάμεις των μεταβλητών επελέγησαν για τον WQI με βάση την επίδραση της κάθε μεταβλητής στις συνθήκες του νερού.	Ο δείκτης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποδεικνύει μόλυνση από τοξικές ουσίες.	

Πίνακας 3.26 Δείκτης Scottish (SDD)

Scottish Development Department Index		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (% κορεσμού)	$WQI = \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^9 q_i w_i \right)^2$	100-91% Πολύ καλή 90-71% Καλή 70-51% Λογική 50-26% Μολυσμένη 25-10% Πολύ μολυσμένη
Θερμοκρασία (°C)		
Αιωρούμενα Στερεά (mg L ⁻¹)		
pH		
Αμμωνία (mg L ⁻¹)		
Αγωγιμότητα (μS cm ⁻¹)		
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια (No/100mL)		
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Η επιλεχθείσα μέθοδος για το άθροισμα των υποδεικτών (σταθμισμένος μέσος όρος) είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την τιμαριθμική αναπροσαρμογή της γενικής ποιότητας του νερού.	Δεν μπορεί να μεταφέρει αρκετές πληροφορίες σχετικά με την πραγματική κατάσταση της ποιότητας του νερού.	Bordalo (2006 & 2007) House (1989) SDD (1976)
Χρήσιμος για την επικοινωνία των συνολικών πληροφοριών για την ποιότητα του νερού στους ενδιαφερόμενους πολίτες και τους φορείς χάραξης πολιτικής.	Πολλές χρήσεις των ποιοτικών στοιχείων των υδάτων δεν μπορούν να καλυφθούν με ένα δείκτη.	
Παρέχει έναν εύκολο τρόπο για την κατανόηση της συνολικής ποιότητας των υδάτων και διαχείρισή τους.	Ένας αριθμός δεν μπορεί να περιγράψει πλήρως τη ποιότητα του νερού, υπάρχουν πολλές άλλες παράμετροι ποιότητας του νερού που δεν περιλαμβάνονται στο δείκτη	

Πίνακας 3.27 Δείκτης Pesce

Pesce		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg L ⁻¹)	$WQI_{sub} = k \frac{\sum_i C_i \times P_i}{\sum_i P_i}$	Δεν βρέθηκε στην διαθέσιμη βιβλιογραφία
Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
Χημική Απαίτηση Οξυγόνου (mg L ⁻¹)		
pH		
Θερμοκρασία (°C)		
Αμμωνία (mg L ⁻¹)		
Θολερότητα (NTU)		
Μαγνήσιο (mg L ⁻¹)		
Νιτρικά άλατα (mg L ⁻¹)		
Νιτρώδη άλατα (mg L ⁻¹)		
Πετρέλαιο και λίπη (mg L ⁻¹)		
Χλώριο (mg L ⁻¹)		
Ολικός φώσφορος (mg L ⁻¹)		
Διαλυμένα στερεά (mg L ⁻¹)		
Ολικά στερεά (mg L ⁻¹)		
Ασβέστιο (mg L ⁻¹)		
Θειικά άλατα (mg L ⁻¹)		
Επιφανειοδραστικές ουσίες (mg L ⁻¹)		
Ολικά κολοβακτηρίδια (MPN/100ml)		
Σκληρότητα (mg L ⁻¹)		
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Η χρήση των διαφόρων WQI παράγει παρόμοιες τάσεις	Η χρήση της υποκειμενικής σταθεράς (k) κατά τον	Pesce (2000)

<p>αλλά διαφορετικές τιμές του δείκτη καθώς και κάποιες διαφορετικές παρατηρήσεις. Οι WQI_{sub} και WQI_{obj} δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές χρονικές μεταβολές από την υγρή στη ξηρά εποχή κατάντη από την απόρριψη λυμάτων.</p>	<p>υπολογισμό WQI_{sub} τείνει να υπερεκτιμά τη ρύπανση που οφείλεται σε μια οπτική εντύπωση.</p>	
<p>Ο WQI_{obj} προβλέπει επίσης τέτοιες διαφορές στο σταθμό αμέσως ανάντη από την απόρριψη λυμάτων.</p>	<p>Η διαδικασία υπολογισμού δεν είναι εύκολη για τον γενικό χρήστη.</p>	
<p>Γενικά προτείνεται η μηνιαία αξιολόγηση του WQI (υποκειμενική, αντικειμενική και ελάχιστη) για τουλάχιστον δύο χρόνια, εφεξής η ποιότητα του νερού θα μπορούσε να εξασφαλιστεί με την αξιολόγηση WQI_{min} μηνιαία (ή και κάθε εβδομάδα) και WQI_{obj} δύο φορές στην εποχή της ξηρασίας και δύο φορές το η υγρή περίοδο.</p>	<p>Απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα παρατηρήσεων και μετρήσεων.</p>	

Πίνακας 3.28 Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης

Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης		
Παράμετροι	Εξίσωση	Κλίμακα Κατάταξης
Ελεύθερη επιλογή παραμέτρων	$WQI = \sum Q_i W_i / \sum W_i$	<p><50 Εξαιρετική 50-100 Καλή 100-200 Κακή 200-300 Πολύ κακή >300 Ακατάλληλη</p> <p>0-25 Εξαιρετική 26-50 Πολύ καλή 51-75 Κακή 76-100 Πολύ κακή >100 Ακατάλληλη για πόσιμο νερό</p>
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Αναφορές
Ενσωματώνει δεδομένα από πολλές παραμέτρους ποιότητας του νερού σε μια μαθηματική εξίσωση, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα τις ιδανικές και τις συνιστώμενες πρότυπες τιμές τους, όπως αυτές καθορίζονται από επίσημους φορείς.	Δεν μπορεί να μεταφέρει αρκετές πληροφορίες σχετικά με την πραγματική κατάσταση της ποιότητας του νερού	Khwakaram et al. (2012 & 2015) Gangwar et al. (2013)
Αντικατοπτρίζει τη σύνθετη επίδραση των διαφόρων παραμέτρων, δηλαδή των σημαντικότερων για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας των υδάτων.	Πολλές χρήσεις των ποιοτικών στοιχείων των υδάτων δεν μπορούν να καλυφθούν με ένα δείκτη.	
Χρήσιμος για την επικοινωνία των συνολικών πληροφοριών για την ποιότητα του νερού στους ενδιαφερόμενους πολίτες και τους φορείς χάραξης πολιτικής.	Ένας αριθμός δεν μπορεί να περιγράψει πλήρως τη ποιότητα του νερού, υπάρχουν πολλές άλλες παράμετροι ποιότητας του νερού που δεν περιλαμβάνονται στο δείκτη	
Περιγράφει την καταλληλότητα των επιφανειακών και των υπόγειων πηγών για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	Ο δείκτης βασίζεται σε ορισμένες πολύ σημαντικές παραμέτρους και μπορεί να παρέχει ένα απλό δείκτη της ποιότητας του νερού.	
Παρέχει έναν εύκολο τρόπο για την κατανόηση της συνολικής ποιότητας των υδάτων και διαχείριση τους.	Μπορεί να υπερτονίσει ή να αποκρύψει την κακή τιμή μιας παραμέτρου.	

3.17 Εφαρμογή Δείκτη NSF

Χρησιμοποιώντας τις 10 πρώτες μετρήσεις (03/10/1993 έως 09/13/1995) που υπάρχουν από τον Mrazik (2004) και έγιναν στην περιοχή του Oregon στον ποταμό "Tillamook River at Bewley Creek Road" (Παράρτημα 1, σελίδα 51) αξιολογήθηκε η ποιότητα νερού σύμφωνα με τον δείκτη NSF. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρατίθενται (Παράρτημα) οι 9 στις 10 μετρήσεις δείχνουν πως η κατάσταση των υδάτων του ποταμού στα συγκεκριμένα σημεία είναι "Καλή", ενώ μόνο μία μέτρηση ταξινομείται στην "Μέση" κατάσταση, δηλαδή το σώμα νερού βρέθηκε πιο επιβαρυνμένο.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του δείκτη NSF με τα αντίστοιχα του δείκτη Oregon, όπως προέκυψαν από τον Mrazik (2004), παρατηρούμε τα εξής :

- Διαφορετική κατηγοριοποίηση ποιότητας νερού. Στον δείκτη Oregon η ποιότητα του νερού για τον συγκεκριμένο ποταμό ταξινομείται στις κατηγορίες "Μέτρια κατάσταση" για τις μετρήσεις που έγιναν από τον Οκτωβρίου έως τον Μάιο (μέσος όρος OWQI=82), ενώ για όσες μετρήσεις έγιναν την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου ταξινομήθηκαν στην κατηγορία της "Κακής κατάστασης" (μέσος όρος OWQI=69), αντιθέτως στον NSF σε "Καλή" και "Μέση".
- Παρόμοια τάση υψηλότερων τιμών του δείκτη και καλύτερης κατάστασης των υδάτων το διάστημα φθινόπωρο-χειμώνας-άνοιξη παρατηρείται και στον NSF (οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε αυτή την περίοδο), κάτι που είναι λογικό αφού είναι η πιο υγρή περίοδος του χρόνου με τις περισσότερες βροχές που ως αποτέλεσμα έχουν την συχνότερη ανανέωση των υδάτων, απομάκρυνση των ρυπογόνων στοιχείων και τον αυτοκαθαρισμό του ποταμού.
- Όπως στον δείκτη Oregon την ξηρή περίοδο (Ιούνιος-Σεπτέμβριος) έτσι και στον NSF παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη και υποβάθμιση της καταστασης ποιότητας του νερού.

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Μετά τη μελέτη των διαφόρων δεικτών ποιότητας υδάτων, μπορεί να συναχθεί ότι ο στόχος των WQI είναι να δώσει μια ενιαία τιμή για την ποιότητα του νερού της πηγής μειώνοντας ταυτόχρονα τον αριθμό των παραμέτρων σε μια απλή έκφραση που προκύπτει με στόχο την εύκολη ερμηνεία των δεδομένων παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη εργασία, έγινε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ώστε να επανεξεταστούν όλοι οι σημαντικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων και παρέχονται συνεκτικές πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και τις μαθηματικές μορφές των δεικτών. Οι δείκτες που παρουσιάστηκαν χρησιμοποιούν διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους και έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα των προσπαθειών και της έρευνας και ανάπτυξης που διεξάγεται από διαφορετικές κυβερνητικές υπηρεσίες και ειδικούς σε αυτόν τον τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρ'όλες τις προσπάθειες και τις διαφορετικές προσεγγίσεις, παρουσιάστηκαν δείκτες που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο, αλλά δεν υπάρχει δείκτης μέχρι στιγμής ο οποίος να έχει γίνει παγκοσμίως αποδεκτός. Έτσι, η αναζήτηση ενός καθολικού δείκτη, τόσο ως προς τις παραμέτρους αλλά και ως προς τον τρόπο υπολογισμού, συνεχίζεται, έτσι ώστε οι εταιρείες ύδρευσης, οι χρήστες και οι διαχειριστές των υδάτων σε διαφορετικές χώρες να μπορούν να κάνουν χρήση του δείκτη με λιγότερες τροποποιήσεις.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Στην Ελληνική Γλώσσα

Κουϊμτζής, Θ., Σαμαρά,Κ. (1994) Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος,Εκδόσεις Ζήτη,Θεσσαλονίκη.

Κουϊμτζής, Θ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Φυτιανός Κ., Βουτσά Δ. (2004) Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Εκδόσεις University Studio Press,Θεσσαλονίκη.

Κουρής, Ν. (2011) Καταγραφή και Αξιολόγηση ποιότητας νερού υδατορευμάτων : Η περίπτωση του ρέματος Ραφήνας,Αττικής, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ,Αθήνα.

Λουκάς, Α. (2007) Ποιότητα του Νερού στους Ταμειυτήρες, Συμπληρωματικές Σημειώσεις για το μάθημα Φράγματα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,Βόλος.

Νταρακάς, Ε. (2011) Στοιχεία Χημείας Περιβάλλοντος, ΠΜΣ Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ,Θεσσαλονίκη.

Πανώριος, Α. (2013) Παρακολούθηση και αξιολόγηση ποιότητας νερού του ρέματος Ραφήνας στην Ανατολική Αττική για το έτος 2011, Διπλωματική Εργασία,Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,ΕΜΠ.

Ταμπακίδης, Χ. (2012) Συγκριτική Μελέτη και Αξιολόγηση των Παραμέτρων Ποιότητας των Υδάτων και των Αστικών Λυμάτων,Διπλωματική Εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ,Αθήνα.

Τσακίρης Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι (Τόμος Ι) : Τεχνική Υδρολογία. Κεφ. 17: Ποιότητα Επιφανειακών Υδατικών Πόρων (Β.Ζ.Αντωνόπουλος), 580-618.Εκδόσεις Συμμετρία,Αθήνα.

Τσακίρης Γ. (2010) Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός & Διαχείριση (Τόμος Ι) : Αστικά Υδραυλικά Έργα. Κεφ 5: Ποιότητα Νερού για Ανθρώπινη Κατανάλωση (Γ.Τσακίρης και Δ.Αλεξάκης), 175-244. Εκδόσεις Συμμετρία,Αθήνα.

Ξενόγλωσσες

Abbasi T., Abbasi S.A (2012) Water Quality Indices, Elsevier Science & Technology.

Amneera W.A (2013) - Water Quality Index of Perlis River, Malaysia, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:13 No:02

Baghapour M. (2013) Evaluation of Shiraz wastewater treatment plant effluent quality for agricultural irrigation by Canadian Water Quality Index (CWQI) Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering 2013, 10:27

Bala G., Mukherjee A. (2010) Water Quality Index of Some Wetlands in Nadia District, West Bengal, India International Journal of Lakes and Rivers Volume 4, Number 1, pp.21-26.

BIS (2003) Indian Standards for Drinking Water, Bureau of Indian Standard, New Delhi.

Bordalo A.A, Teixeira R, Wiebe W.J. (2006) A Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River, Environ Manage 38:910–920

Bordalo A.A, Bordalo J.S (2007) The quest for safe drinking water: An example from Guinea-Bissau (West Africa), Water Research 41 pp 2978 – 2986

Boyacioglu H. (2007) Development of a water quality index based on a European classification scheme Water SA Vol. 33 No. 1

Brown R.M, McClelland N.I, Deininger R.A, Torzer R.G. (1970) A water quality index-do we dare ? Water Sewage Works 117,339-343.

Brown R.M, McClelland N.I, Deininger R.A, Landwehr J.M. (1973) Validating the WQI. The paper presented at national meeting of American society of civil engineers on water resources engineering, Washington, DC.

Carr G. (2008) Water Quality: Development of an index to assess country performance Genevieve Carr UNEP GEMS/Water Programme Canada

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (2001) CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 Technical Report

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (2001) CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 User's Manual

Cude C. (2001) Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness, JAWRA, vol 37, no.1

Cude C. (2001) The Oregon water quality index (OWQI) - A communicator of water quality information.

Cude C. (2002) Reply to discussion "Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness", JAWRA, vol 38, no.1

Dalkey N.C. (1968) DELPHI. The Rand Corporation

Dunnette D.A. (1980) Oregon Water Quality Index Staff Manual. Oregon Department of Environmental Quality, Portland, Oregon.

EC (European Council) (1991) Consolidated Text Produced by the CONSLEG System of the Office for Official Publications of the European Communities. Council Directive of 16 June 1975 Concerning the Quality Required of Surface Water Intended for the Abstraction of Drinking Water in the Member States (75/440/EEC). Office for Official Publications of the European Communities. CONSLEG:1975L0440 31/12/1991.

Gangwar R.K, Singh J, Singh A.P, Singh D.P. (2013) Assessment of Water Quality Index: A Case Study of River Ramganga at Bareilly U.P. India,

International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 9

Horton R.K. (1965) An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 37(3), 300-306.

Idris A, Mamun A.A.I, Soom M.A.M, Azmin W.N.W. (2003) Review of water quality standards and practices in Malaysia *Pollution Research* 22(2):pp. 145-155

Khwakaram A.I, Majid S.N, Hama N.Y. (2012) Determination of W Quality Index (WQI) for Qalyasan Stream in Sulaimani city/ Kurdistan region of Iraq, *Ijpaes* vol. 2 Issue 4

Khwakaram A.I, Majid S.N, Ahmed Z.H, Hama N.Y. (2015) Application of Water Quality Index (WQI) as possible indicator for agriculture purpose and assessing the ability of self purification process by Qakyasan stream in Sulaimani city / Iraq Kurdistan region, *Ijpaes* vol. 5 Issue 1

Mamun A.A.I, Idris A. (2008) Revised Water Quality Indices for the protection of rivers in MALAYSIA, Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 2008, Alexandria, Egypt

House M.A. (1989) A Water Quality Index for River Management, *J.IWEM* 336-344.

Mrazik S. (2004) Water Quality Report: Ambient Monitoring Stations in the Oregon Coast Coho Evolutionarily Significant Unit, State of Oregon Department of Environmental Quality.

OFFICIAL GAZETTE (1988) Turkish Water Pollution Control Regulation, No19919. 4 September 1988, Ankara.

Ott, W.R. (1978) *Environmental Indices : Theory and Practice*. Ann Arbor Science Publishers Inc, Ann Arbor, MI.

Pesce S. (2000) Use of Water Quality Indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) ON Suquiq River, *Wat. Res.* Vol. 34, No. 11, pp. 2915-2926

Prati L, Pavanello R, Pesarin F, (1970) Assessment of surface water quality by a single index of pollution, *Water Research Pergamon Press* 1971 Vol 5, pp. 741-751

Said A. (2004) An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams *Environmental Management* Vol. 34, No. 3, pp. 406–414

Sarkar C, Abbasi S.A. (2006) Qualidex-A new software for generating water quality indice. *Environmental Monitoring and Assessment* 119, 201-231.

SDD (1976) Development of a water quality index. Scottish Development Department, Report ARD3, Applied Research and Development Engineering Division . HMSO Edinburgh, 72 p

Smith D.G, Davies-Colley R.J, Nagels J.W. (2002) Discussion "Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness", *JAWRA*, vol 38, no.1

Srivastava PK, Mukherjee S, Gupta M, Singh S.K. (2011) Characterizing

Monsoonal Variation on Water Quality Index of River Mahi in India using Geographical Information System Water Qual Expo Health 2: 193–203

Stoner J.D, (1978) Water quality indices for specific water uses. Us Geol.Surv. Circ (770).

Tyagi S, Sharma B, Singh P, Dobhal R. (2013) Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, American Journal of Water Resources Vol.1, No 3,34-38

Walski T.M, Parker F.L. (1974) Consumers water quality index. Asce j environ. eng. Div.100 (EE3),593-611.

WHO (World Health Organization), 2006. Guidelines for drinking water quality.3rd Edn. American Public Health Association, Washington DC, USA. WHO, Geneva. Available at : www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ NSF

Water Quality Index Calculator

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7	pH units	89	0,12	0,12	10,66
Change in temp	10	degrees C	44	0,11	0,11	4,85
DO	106	% saturation	97	0,18	0,18	17,44
BOD	1,8	mg/L	83	0,12	0,12	9,95
Turbidity	1	NTU	95	0,09	0,09	8,51
Total Phosphorus	0,03	mg/L P	96	0,11	0,11	10,54
Nitrate Nitrogen	0,84	mg/L NO3-N	78	0,10	0,10	7,77
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	13	CFU/100 mL	68	0,17	0,17	11,54

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 3/10/1993
Sample Time 10:45

*Only use one microorganism,

not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 81,25

Water Quality Index = 81,25

Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7,4	pH units	92	0,12	0,12	11,02
Change in temp	12,5	degrees C	36	0,11	0,11	3,94
DO	103	% saturation	98	0,18	0,18	17,66
BOD	1,4	mg/L	86	0,12	0,12	10,36
Turbidity	2	NTU	92	0,09	0,09	8,29
Total Phosphorus	0,03	mg/L P	96	0,11	0,11	10,54
Nitrate Nitrogen	0,65	mg/L NO3-N	84	0,10	0,10	8,39
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	540	CFU/100 mL	26	0,17	0,17	4,39

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 6/9/1993
Sample Time 10:00

*Only use one microorganism,

not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 74,59

Water Quality Index = 74,59

Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7,4	pH units	92	0,12	0,12	11,02
Change in temp	10,5	degrees C	42	0,11	0,11	4,65
DO	94	% saturation	96	0,18	0,18	17,36
BOD	2,5	mg/L	77	0,12	0,12	9,25
Turbidity	3	NTU	90	0,09	0,09	8,08
Total Phosphorus	0,09	mg/L P	70	0,11	0,11	7,74
Nitrate Nitrogen	0,49	mg/L NO3-N	89	0,10	0,10	8,92
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	1600	CFU/100 mL	20	0,17	0,17	3,38

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 9/22/1993
Sample Time 09:15

*Only use one microorganism,

not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 70,41

Water Quality Index = 70,41

Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7.1	pH units	90	0,12	0,12	10,82
Change in temp	6	degrees C	68	0,11	0,11	7,48
DO	93	% saturation	96	0,18	0,18	17,28
BOD	1,6	mg/L	85	0,12	0,12	10,16
Turbidity	2	NTU	92	0,09	0,09	8,29
Total Phosphorus	0,03	mg/L P	96	0,11	0,11	10,54
Nitrate Nitrogen	1,3	mg/L NO3-N	66	0,10	0,10	6,62
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	33	CFU/100 mL	57	0,17	0,17	9,64

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 12/15/1993
Sample Time 09:50

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 80,83
Water Quality Index = 80,83
Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7.5	pH units	92	0,12	0,12	10,99
Change in temp	12	degrees C	37	0,11	0,11	4,11
DO	99	% saturation	98	0,18	0,18	17,73
BOD	0,9	mg/L	90	0,12	0,12	10,86
Turbidity	2	NTU	92	0,09	0,09	8,29
Total Phosphorus	0,02	mg/L P	97	0,11	0,11	10,71
Nitrate Nitrogen	0,7	mg/L NO3-N	82	0,10	0,10	8,22
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	540	CFU/100 mL	26	0,17	0,17	4,39

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 6/22/1994
Sample Time 08:30

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 75,31
Water Quality Index = 75,31
Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7.4	pH units	92	0,12	0,12	11,02
Change in temp	16,5	degrees C	26	0,11	0,11	2,81
DO	102	% saturation	98	0,18	0,18	17,72
BOD	0,6	mg/L	93	0,12	0,12	11,15
Turbidity	3	NTU	90	0,09	0,09	8,08
Total Phosphorus	0,05	mg/L P	5	0,11	0,11	0,55
Nitrate Nitrogen	0,93	mg/L NO3-N	75	0,10	0,10	7,50
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	350	CFU/100 mL	28	0,17	0,17	4,80

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 9/12/1994
Sample Time 17:20

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 63,63
Water Quality Index = 63,63
Water Quality Rating = MEDIUM

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7.2	pH units	91	0,12	0,12	10,94
Change in temp	6	degrees C	68	0,11	0,11	7,48
DO	94	% saturation	96	0,18	0,18	17,36
BOD	1,1	mg/L	89	0,12	0,12	10,66
Turbidity	1	NTU	95	0,09	0,09	8,51
Total Phosphorus	0,17	mg/L P	54	0,11	0,11	5,90
Nitrate Nitrogen	1,5	mg/L NO3-N	63	0,10	0,10	6,29
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	350	CFU/100 mL	28	0,17	0,17	4,80

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 12/7/1994
Sample Time 10:20

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 71,93
Water Quality Index = 71,93
Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7,2	pH units	91	0,12	0,12	10,94
Change in temp	10	degrees C	44	0,11	0,11	4,85
DO	104	% saturation	98	0,18	0,18	17,59
BOD	1,2	mg/L	88	0,12	0,12	10,56
Turbidity	3	NTU	90	0,09	0,09	8,08
Total Phosphorus	0,04	mg/L P	93	0,11	0,11	10,28
Nitrate Nitrogen	0,91	mg/L NO3-N	76	0,10	0,10	7,56
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	110	CFU/100 mL	42	0,17	0,17	7,19

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 3/15/1994
Sample Time 10:30

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 77,05
Water Quality Index = 77,05
Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7,3	pH units	92	0,12	0,12	11,00
Change in temp	13	degrees C	34	0,11	0,11	3,78
DO	105	% saturation	97	0,18	0,18	17,51
BOD	0,5	mg/L	94	0,12	0,12	11,25
Turbidity	3	NTU	90	0,09	0,09	8,08
Total Phosphorus	0,03	mg/L P	96	0,11	0,11	10,54
Nitrate Nitrogen	0,55	mg/L NO3-N	87	0,10	0,10	8,73
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	350	CFU/100 mL	28	0,17	0,17	4,80

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 6/21/1994
Sample Time 11:30

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 75,69
Water Quality Index = 75,69
Water Quality Rating = GOOD

Parameter	TEST RESULT	Units	Q-value	Weighting Factor	Weighting Factor	Subtotal
pH	7,4	pH units	92	0,12	0,12	11,02
Change in temp	15,5	degrees C	28	0,11	0,11	3,06
DO	91	% saturation	95	0,18	0,18	17,12
BOD	0,9	mg/L	90	0,12	0,12	10,86
Turbidity	2	NTU	92	0,09	0,09	8,29
Total Phosphorus	0,03	mg/L P	96	0,11	0,11	10,54
Nitrate Nitrogen	0,55	mg/L NO3-N	87	0,10	0,10	8,73
E. coli*		CFU/100 mL	NM	0,17	NM	NM
Fecal Coliforms*	1600	CFU/100 mL	20	0,17	0,17	3,38

Tillamook River at Bewley Creek Road
Sample Date 9/13/1995
Sample Time 09:15

*Only use one microorganism,
not fecal coliforms AND E. coli NM = Not Measured

TOTALS: 1,00 73,00
Water Quality Index = 73,00
Water Quality Rating = GOOD