



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ (WQIs) ΒΑΣΕΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ**

Ιωάννα Ζώτου

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Καθηγητής Β. Τσιχριντζής



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ (WQIs) ΒΑΣΕΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ**

Ιωάννα Ζώτου

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Καθηγητής Β. Τσιχριντζής

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το παρόν τεύχος με τίτλο «Συγκριτική αξιολόγηση 7 Δεικτών Ποιότητας Νερού (WQIs) βάσει μετρήσεων σε επιφανειακά υδατικά συστήματα της Ελλάδας», συνιστά μεταπτυχιακή εργασία την οποία εκπόνησα στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Ε.Μ.Π. Με το πέρας της εργασίας αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, οι οποίοι, είτε άμεσα είτε έμμεσα, συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Βασίλειο Τσιχριντζή, Καθηγητή Ε.Μ.Π., τόσο για την ευκαιρία που μου παρείχε να ασχοληθώ με μία ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα επιστημονική περιοχή όσο και για την εμπιστοσύνη την οποία έδειξε στο πρόσωπο μου κατά τη διερεύνηση του παρόντος θέματος. Ακόμη, τον ευχαριστώ ιδιαίτερος για τη διάθεση, το συνεχές ενδιαφέρον για την πρόοδο της παρούσας εργασίας, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

Δε θα μπορούσα, τέλος, να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους ανθρώπους που είναι δίπλα μου, για τη συνεχή τους συμπαράσταση, τη στήριξη και την πίστη τους σε μένα όλο αυτό το διάστημα. Χωρίς την υπομονή και την κατανόηση τους, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήταν ακατόρθωτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xiii
ABSTRACT	xvii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ο ρόλος των δεικτών στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού	1
1.3 Καθορισμός στόχου και διάρθρωση εργασίας	2
2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΝ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	5
2.1 Παράμετροι που υπεισέρχονται στην αξιολόγηση της ποιότητας των φυσικών νερών	5
2.1.1 Φυσικές παράμετροι ποιότητας νερού	5
2.1.2 Χημικές παράμετροι ποιότητας νερού	7
2.1.3 Βιολογικές παράμετροι ποιότητας νερού	16
2.2 Κατηγορίες ρύπανσης υδάτινων οικοσυστημάτων	17
2.3 Ποιότητα νερού και ισχύον Θεσμικό Πλαίσιο	20
2.3.1 Προστασία και Διαχείριση Υδάτων	21
2.3.2 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων για ανθρώπινη κατανάλωση	22
2.3.3 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων κολύμβησης	23
2.3.4 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων για τη διαβίωση ιχθύων και την αλιεία οστρακοειδών	23
3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	25
3.1 Γενικά	25
3.2 Εφαρμογή και χρησιμότητα των Δεικτών Ποιότητας Νερού	25
3.3 Κατηγοριοποίηση Δεικτών Ποιότητας Νερού	26
3.4 Μεθοδολογία διαμόρφωσης Δεικτών Ποιότητας Νερού	26
3.4.1 Επιλογή παραμέτρων	27
3.4.2 Μετασχηματισμός παραμέτρων και δημιουργία υπο-δεικτών	28
3.4.3 Εκχώρηση συντελεστών βάρους	32
3.4.4 Συνυπολογισμός υπο-δεικτών για την εξαγωγή του τελικού δείκτη	33
3.5 Οι κυριότεροι Δείκτες Ποιότητας Νερού	36
3.5.1 Δείκτης Horton	37
3.5.2 Δείκτης NSF-WQI (National Sanitation Foundation's Water Quality Index)	37
3.5.3 Δείκτης των Prati et al. (Prati's Index of Pollution)	40

3.5.4 Δείκτης Oregon (Oregon Water Quality Index)	41
3.5.5 Δείκτης Bascaran	43
3.5.6 Δείκτης Bhargava	43
3.5.7 Δείκτης DWQI (Dinius Water Quality Index).....	47
3.5.8 Δείκτης Smith	49
3.5.9 Δείκτης BCWQI (British Columbia Water Quality Index)	50
3.5.10 Δείκτης CCME-WQI (Canadian Council of Ministers of Environment Water Quality Index).....	50
3.5.11 Δείκτης OPI (Overall Pollution Index).....	53
3.5.12 Δείκτης του ποταμού Ganga.....	53
3.5.13 Δείκτης CI (Contamination Index)	53
3.5.14 Δείκτης ATI (Aquatic Toxicity Index).....	53
3.5.15 Μέθοδος Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού (Weighted Arithmetic Water Quality Index Method).....	54
3.6. Βιβλιογραφική επισκόπηση υφιστάμενων εφαρμογών.....	56
4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	65
4.1 Περιγραφή εξεταζόμενων υδατικών σωμάτων και δεδομένα.....	65
4.1.1 Περίπτωση εφαρμογής: τεχνητή λίμνη Πολυφύτου	65
4.1.1.1 Γενική περιγραφή και θέση.....	65
4.1.1.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά	67
4.1.1.3 Υδρολογικό καθεστώς	67
4.1.1.4 Ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή.....	68
4.1.1.5 Δεδομένα.....	68
4.1.2 Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης.....	75
4.1.2.1 Γενική περιγραφή και θέση.....	75
4.1.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά	75
4.1.2.3 Υδρολογικό καθεστώς	76
4.1.2.4 Ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή.....	77
4.1.2.5 Δεδομένα.....	78
4.2 Εφαρμογή του δείκτη ρύπανσης των Prati et al. (Prati's Index of Pollution).....	82
4.3 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού του Bhargava (Bhargava's WQI).....	86
4.4 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού Oregon (Oregon WQI).....	92
4.5 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού NSF (National Sanitation Foundation's Water Quality Index).....	98

4.6 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού CCME (Canadian Council of Ministers of Environment WQI).....	103
4.7 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού Dinius (Dinius' WQI)	107
4.8 Εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού (Weighted Arithmetic Water Quality Index).....	114
5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	119
5.1 Αποτελέσματα Δεικτών Ποιότητας Νερού-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου	119
5.1.1 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη ρύπανσης Prati	119
5.1.2 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Bhargava	122
5.1.3 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Oregon	125
5.1.4 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Dinius.....	128
5.1.5 Αποτελέσματα βάσει του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη	131
5.2 Αποτελέσματα Δεικτών Ποιότητας Νερού-περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης	134
5.2.1 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη ρύπανσης Prati	134
5.2.2 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Bhargava	137
5.2.3 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Oregon	139
5.2.4 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη NSF	142
5.2.5 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη CCME	145
5.2.6 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Dinius.....	147
5.2.7 Αποτελέσματα βάσει του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη	150
5.3 Σύνοψη-συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	153
5.3.1 Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου.....	154
5.3.2 Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης.....	158
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	163
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	167
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Αναλυτικός υπολογισμός Δεικτών Ποιότητας Νερού-Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου	173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ Αναλυτικός υπολογισμός Δεικτών Ποιότητας Νερού-Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης.....	217

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Τιμές ειδικής αγωγιμότητας για διαφορετικές συνθήκες ποιότητας νερού και τύπους υδάτινου αποδέκτη.....	8
Πίνακας 2.2: Μορφές, συμβολισμοί και σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μορφών αζώτου.....	13
Πίνακας 3.1: Μορφή συναρτήσεων και διαστήματα εφαρμογής τους για τον υπολογισμό της τιμής του υπο-δείκτη του pH.....	32
Πίνακας 3.2: Διαμόρφωση συντελεστών σημαντικότητας των μεταβλητών στη μέθοδο του δείκτη Brown (NSF Index).....	39
Πίνακας 3.4: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης επιφανειακών υδάτων σύμφωνα με το δείκτη Prati.....	40
Πίνακας 3.5: Διαμόρφωση ενιαίου συστήματος ταξινόμησης της ποιότητας για το σύνολο των υπο-δεικτών σύμφωνα με το δείκτη Prati	40
Πίνακας 3.6: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη Oregon	43
Πίνακας 3.7: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη Bhargava.....	45
Πίνακας 3.8: Προτεινόμενες τιμές συγκέντρωσης των ποιοτικών μεταβλητών για κάθε επιμέρους ποιοτική κλάση και χρήση νερού βάσει της μεθόδου του δείκτη Bhargava	46
Πίνακας 3.9: Κλίμακα ποιοτικής ταξινόμησης ανά χρήση νερού σύμφωνα με το δείκτη του Dinius	48
Πίνακας 3.10: Υπολογισμός τιμών υπο-δείκτη της μεταβλητής BOD ₅ για γενική χρήση νερού.....	49
Πίνακας 3.11: Διαμόρφωση των συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών βάσει της σχετικής σημαντικότητας τους στη συνολική ποιότητα του νερού	49
Πίνακας 3.12: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη CCME	52
Πίνακας 3.13: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το Σταθμισμένο Αριθμητικό Δείκτη Ποιότητας Νερού	55
Πίνακας 4.1: Δυνητικά ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή εφαρμογής	69
Πίνακας 4.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά φυσικοχημικών παραμέτρων –περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου	72
Πίνακας 4.3: Πίνακας συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων –περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου	74
Πίνακας 4.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά φυσικοχημικών παραμέτρων -περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης.....	80
Πίνακας 4.5: Πίνακας συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών –περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης	81
Πίνακας 4.6: Συναρτήσεις μετατροπής συγκεντρώσεων (x) σε επίπεδα ρύπανσης	83
Πίνακας 4.7: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	85
Πίνακας 4.8: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	85
Πίνακας 4.9: Κατηγορίες χρήσης νερού και σχετιζόμενες ποιοτικές παράμετροι βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Bhargava	86
Πίνακας 4.10: Τιμές συγκέντρωσης και αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης ευαισθησίας, για κάθε επιμέρους χρήση νερού, για την περίπτωση του BOD ₅	87
Πίνακας 4.11: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	91

Πίνακας 4.12: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	91
Πίνακας 4.13: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	91
Πίνακας 4.14: Παράμετροι ποιότητας οι οποίες συνυπολογίστηκαν κατά την εφαρμογή του δείκτη Oregon, για κάθε επιμέρους περίπτωση εξεταζόμενου σώματος	92
Πίνακας 4.15: Συναρτήσεις υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων σύμφωνα με το δείκτη Oregon	93
Πίνακας 4.16: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	99
Πίνακας 4.17: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	99
Πίνακας 4.18: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS ₁	102
Πίνακας 4.19: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας NSF - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS ₁	102
Πίνακας 4.20: Καθορισμός παραμέτρων και ποιοτικών ορίων κατά την εφαρμογή του δείκτη CCME	104
Πίνακας 4.21: Ποιοτικές παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν κατά τον προσδιορισμό του δείκτη Dinius για κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής.....	108
Πίνακας 4.22: Συναρτήσεις υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων σύμφωνα με το δείκτη Dinius	108
Πίνακας 4.23: Αναπροσαρμογή συντελεστών σημαντικότητας κατά την εφαρμογή του δείκτη Dinius	109
Πίνακας 4.24: Τροποποιημένο σύστημα ταξινόμησης της ποιοτικής κατάστασης κατά Dinius	111
Πίνακας 4.25: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών κατά την εφαρμογή του δείκτη Dinius - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	112
Πίνακας 4.26: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	112
Πίνακας 4.27: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	113
Πίνακας 4.28: Παράμετροι ποιότητας ανά περίπτωση εφαρμογής, πρότυπες και ιδανικές τιμές συγκέντρωσης κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού....	116
Πίνακας 4.29: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	117
Πίνακας 4.30: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	117
Πίνακας 4.31: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια	117

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	120
Πίνακας 5.2: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ρύπανσης Prati για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	122
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	122
Πίνακας 5.4: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών και της τιμής του δείκτη ανά κατηγορία χρήσης νερού, καθώς και μεταξύ αυτών και της ολικής τιμής του δείκτη ποιότητας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία Bhargava.....	125
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	125
Πίνακας 5.6: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Oregon για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	127
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	128
Πίνακας 5.8: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Dinius για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	130
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου	131
Πίνακας 5.10: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου.....	132
Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	135
Πίνακας 5.12: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ρύπανσης Prati για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	136
Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	137
Πίνακας 5.14: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών και της τιμής του δείκτη ανά κατηγορία χρήσης νερού, καθώς και μεταξύ αυτών και της ολικής τιμής του δείκτη ποιότητας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία Bhargava.....	138
Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	140
Πίνακας 5.16: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Oregon για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	142
Πίνακας 5.17: Αποτελέσματα ολικού δείκτη NSF ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	143
Πίνακας 5.18: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας NSF για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	144
Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα ολικού δείκτη CCME ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	145
Πίνακας 5.20: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας CCME για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	146
Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη.....	148

Πίνακας 5.22: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Dinius για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	149
Πίνακας 5.23: Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	151
Πίνακας 5.24: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	152
Πίνακας 5.25: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων ποιοτικής κατάταξης του ταμιευτήρα Πολυφύτου, ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας.....	156
Πίνακας 5.26: Σημαντικές παράμετροι ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου.....	158
Πίνακας 5.27: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων ποιοτικής κατάταξης του ποταμού Βοσβόζη, ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας.....	160
Πίνακας 5.28: Σημαντικές παράμετροι ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη	162

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Φάσεις και διάρκεια βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών ουσιών.....	11
Εικόνα 2.2: Κατηγοριοποίηση στερεών υλών στο νερό.....	12
Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εκτίμησης της τελικής τιμής του Δείκτη Ποιότητας Νερού.....	30
Εικόνα 3.2: Βασικές συναρτήσεις υπολογισμού του υποδείκτη I_i	32
Εικόνα 4.1: Σχετική θέση ταμιευτήρα Πολυφύτου, Λεκάνης Απορροής Αλιάκμονα, Υ.Δ. Θράκης και Π.Ε Κοζάνης.....	66
Εικόνα 4.2: Διακύμανση εισροών, εκροών, υδατικού ισοζυγίου και στάθμης του ταμιευτήρα για την περίοδο παρακολούθησης (Ιούνιος 2004-Μάιος 2005).....	68
Εικόνα 4.3: Μορφολογία λεκάνης απορροής Αλιάκμονα και θέσεις δειγματοληπτικών σταθμών ..	71
Εικόνα 4.4: Σχετική θέση λεκάνης απορροής Βοσβόζη, Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης, Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και Π.Ε. Ροδόπης.....	76
Εικόνα 4.5: Διακύμανση απορροής στους 3 σταθμούς παρακολούθησης του ποταμού Βοσβόζη κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου.....	77
Εικόνα 4.7: Κατασκευή διαγραμμάτων συναρτήσεων ευαισθησίας σύμφωνα με το δείκτη Bhargava για τις παραμέτρους: (α) BOD ₅ , (β) DO και (γ) T.....	88
Εικόνα 4.8: Κατασκευή διαγραμμάτων συναρτήσεων ευαισθησίας σύμφωνα με το δείκτη Bhargava για τις παραμέτρους: (α) DLP, (β) EC και (γ) NH ₄ ⁺ -N.....	89
Εικόνα 4.9: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -επιφάνεια.....	94
Εικόνα 4.10: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₂ -επιφάνεια.....	95
Εικόνα 4.11: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₃ -επιφάνεια.....	95
Εικόνα 4.12: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₁ -πυθμένας.....	96
Εικόνα 4.13: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₂ -πυθμένας.....	96
Εικόνα 4.14: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υποδείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P ₃ -πυθμένας.....	97
Εικόνα 4.15: Διαδικασία υπολογισμού των υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων, καθώς και του ολικού δείκτη ποιότητας NSF μέσω κατάλληλης υπολογιστικής φόρμας.....	100
Εικόνα 4.16: Report αποτελεσμάτων του δείκτη ποιότητας NSF.....	101
Εικόνα 4.17: Μορφή αρχείου δεδομένων ποιότητας κατά την εισαγωγή του στην εφαρμογή CWQI 1.0 Calculator.....	105
Εικόνα 4.18: Μορφή περιβάλλοντος εφαρμογής CWQI 1.0 Calculator έπειτα από την εισαγωγή αρχείου δεδομένων ποιότητας.....	105

Εικόνα 4.19: Ρύθμιση ποιοτικών ορίων των παραμέτρων κατά τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη CCME μέσω της εφαρμογής CWQI 1.0 Calculator	106
Εικόνα 4.20: Καθορισμός κατηγοριών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του δείκτη CCME .	106
Εικόνα 4.22: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης των Prati et al. και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P_1 , P_2 και P_3) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου	121
Εικόνα 4.23: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Bhargava και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P_1 , P_2 και P_3) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου	124
Εικόνα 4.24: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P_1 , P_2 και P_3) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου	127
Εικόνα 4.25: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Dinius, ανά σταθμό (P_1 , P_2 και P_3) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου.....	130
Εικόνα 4.26: Διακύμανση της τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P_1 , P_2 και P_3) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου	133
Εικόνα 4.27: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης των Prati et al. και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3), για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	136
Εικόνα 4.28: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Bhargava και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	139
Εικόνα 4.29: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	141
Εικόνα 4.30: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας NSF και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	144
Εικόνα 4.31: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας CCME και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	147
Εικόνα 4.32: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Dinius ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	150
Εικόνα 4.33: Διακύμανση της τιμής του ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS_1 , GS_2 και GS_3) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη	153
Εικόνα 4.34: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης της ποιοτικής κλάσης, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης στον ταμιευτήρα Πολυφύτου, για καθέναν από τους εφαρμοζόμενους δείκτες	157

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό συνιστά κληρονομιά και πολύτιμο προς διαφύλαξη φυσικό πόρο. Οι συνεχείς πιέσεις τις οποίες δέχονται τα υφιστάμενα υδατικά συστήματα, τόσο σε ποσοστικό όσο και σε ποιοτικό επίπεδο, ως αποτέλεσμα φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών, καθιστούν αναγκαία τη συνεχή παρακολούθηση και την αξιολόγηση της κατάστασης τους. Ειδικότερα, η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων συνιστά διαδικασία, η ιδιαίτερη σημασία της οποίας έχει αναγνωρισθεί τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες. Το πλήθος, ωστόσο, των απαραίτητων δεδομένων για την ποιοτική αξιολόγηση του νερού, η ιδιαίτερη γνώση και εξειδίκευση που απαιτείται, οι αντικειμενικές δυσκολίες οι οποίες προκύπτουν κατά το συνδυασμό των επιμέρους ποιοτικών χαρακτηριστικών για την εξαγωγή ενός ενιαίου αποτελέσματος της ποιοτικής κατάστασης, καθώς και η αδυναμία κατανόησης του αποτελέσματος αυτού από μη εξειδικευμένο κοινό, καθιστούν συχνά τη διαδικασία ιδιαίτερα δυσχερή.

Στο πλαίσιο αυτό, καθοριστική είναι τα τελευταία χρόνια η συμβολή των Δεικτών Ποιότητας Νερού (WQIs). Οι Δείκτες Ποιότητας Νερού συνιστούν μεθοδολογίες, οι οποίες στοχεύουν στον προσδιορισμό της ποιοτικής κατάστασης ενός δεδομένου υδατικού σώματος μέσω μίας έκφρασης απλής και κατανοητής στο ευρύ κοινό, διαδικασία η οποία συνήθως συνίσταται στην ένταξη του υπό μελέτη σώματος σε μία ορισμένη ποιοτική κλάση (συχνά από το 1 έως το 5) και στην απόδοση σε αυτό ενός χαρακτηρισμού ποιότητας όπως «καλή», «μέτρια» ή «φτωχή» ποιοτική κατάσταση. Ειδικότερα, ανεξάρτητα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε επιμέρους μεθόδου, οι Δείκτες Ποιότητας Νερού στο σύνολο τους βασίζονται: (α) στην επιλογή ενός ορισμένου συνδυασμού ποιοτικών παραμέτρων, οι οποίες συχνά εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης και απαντώνται σε διαφορετικά εύρη τιμών, (β) στην κανονικοποίηση των παραμέτρων αυτών μέσω κάποιας μαθηματικής σχέσης, ώστε να καταστούν συσχετίσιμες μεταξύ τους, (γ) στην εκχώρηση ενός συντελεστή βαρύτητας σε κάθε επιμέρους παράμετρο, ανάλογα με τη σημαντικότητά της για τη συνολική ποιότητα του νερού και (δ) στο συνδυασμό των κανονικοποιημένων πλέον τιμών των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών για την εξαγωγή ενός ενιαίου αποτελέσματος (εκφρασμένου συνήθως σε μία κλίμακα από το 1 έως το 100) το οποίο θα αντανάκλα τη συνολική κατάσταση ποιότητας του εξεταζόμενου σώματος.

Στην παρούσα εργασία, ύστερα από βιβλιογραφική επισκόπηση των υφιστάμενων Δεικτών Ποιότητας Νερού, των χαρακτηριστικών τους, καθώς και των υπολογιστικών μοντέλων στα οποία βασίζονται, έγινε επιλογή 7 συχνά χρησιμοποιούμενων δεικτών, οι οποίοι εφαρμόστηκαν ξεχωριστά σε καθένα από τα 2 υδατικά σώματα, τα οποία ορίστηκαν ως σώματα εφαρμογής.

Ειδικότερα, οι δείκτες οι οποίοι αξιοποιήθηκαν κατά την ποιοτική αξιολόγηση των επιμέρους σωμάτων ήταν ο δείκτης ρύπανσης των Prati et al. (1971), ο δείκτης ποιότητας Bhargava, ο δείκτης Oregon, οι δείκτες CCME και NSF, ο δείκτης Dinius, καθώς και ο Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης. Ως σώματα εφαρμογής ορίστηκαν η τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, η οποία βρίσκεται στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης της Δυτικής Μακεδονίας και ο ποταμός Βοσβόζης, ο οποίος βρίσκεται στο Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θράκης και εμπίπτει στην Π.Ε. Ροδόπης. Το δίκτυο παρακολούθησης του ταμιευτήρα περιλαμβάνει 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς, οι οποίοι βρίσκονται στη γέφυρα του Ρυμνίου (P₁), στη γέφυρα των Σερβίων (P₂) και στο φράγμα Πολυφύτου (P₃), αντίστοιχα, ενώ κάθε δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε για δύο επιμέρους βάθη (επιφάνεια και πυθμένας). Στην περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, το δίκτυο απαρτίζεται από τους

σταθμούς GS₁, GS₂ και GS₃, καθένας από τους οποίους βρίσκεται πλησίον του οικισμού Φωλιά, πλησίον του οικισμού Παραδημή και ανάντι της λίμνης Ισμαρίδας, αντίστοιχα. Για καθένα από τα 2 σώματα, οι διάφοροι δείκτες εφαρμόστηκαν ανά δειγματοληψία, καθώς και για το σύνολο των δειγματοληπτικών σταθμών, όπως αυτοί ορίστηκαν σε κάθε επιμέρους σώμα εφαρμογής, για μία περίοδο 12 (Ιούνιος 2004-Μάιος 2006) και 16 (Αύγουστος 2005-Νοέμβριος 2006) μηνών, για την περίπτωση του ταμιευτήρα και του υδατορεύματος, αντίστοιχα. Για κάθε επιμέρους μεθοδολογία-δείκτη, ο προσδιορισμός της συνολικής ποιοτικής κατάστασης του εξεταζόμενου σώματος υλοποιήθηκε βάσει του δυσμενέστερου σεναρίου ποιότητας, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψιν την κατώτερη κατηγορία ποιότητας στην οποία αντιστοιχήθηκε το δεδομένο σώμα κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης.

Πέραν της εφαρμογής των επιμέρους δεικτών στα μελετώμενα υδατικά σώματα, στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν, ακόμη, οι «σημαντικότερες» ποιοτικές μεταβλητές, ανά μεθοδολογία, μέσω του προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ κάθε επιμέρους μεταβλητής και του τελικού αποτελέσματος της τιμής του εκάστοτε δείκτη. Η κατάδειξη των παραμέτρων εκείνων οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων, είναι ιδιαίτερος σημαντική στο πλαίσιο της αξιολόγησης της ποιότητας των υδατικών σωμάτων, καθώς θα μπορούσε ενδεχομένως να συντελέσει στην εφαρμογή των επιμέρους δεικτών λαμβάνοντας υπόψιν μικρότερο αριθμό ποιοτικών μεταβλητών, ελαχιστοποιώντας έτσι το κόστος για την υλοποίηση των απαιτούμενων δειγματοληψιών αλλά και των αναγκαίων εργαστηριακών αναλύσεων.

Ως κύριος στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής τίθεται, αφενός, η αποτίμηση της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων σωμάτων και, αφετέρου, η συγκριτική αξιολόγηση των επιμέρους μεθοδολογιών και η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση της επιλεχθείσας μεθόδου στα προκύπτοντα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης.

Με το πέρας της παρούσας εργασίας, προέκυψε ότι:

1. Ο ταμιευτήρας Πολυφύτου, με βάση τη μεθοδολογία του δείκτη Bhargava, εμπίπτει στην 3^η κατηγορία ποιότητας, η οποία εκφράζει «ικανοποιητική ποιότητα νερού». Κατά την εφαρμογή των δεικτών Prati και NSF, ο ταμιευτήρας εντάχθηκε στην ποιοτική κλάση 2, η οποία για καθεμία εκ των μεθόδων, εκφράζει «κατάσταση ρύπανσης» και «κακή ποιότητα νερού», αντίστοιχα. Τέλος, βάσει των δεικτών Oregon, CCME, Dinius, καθώς και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, το μελετώμενο σώμα κατατάχθηκε στην κατώτερη ποιοτική τάξη (1^η κατηγορία ποιότητας). Σύμφωνα με τα συστήματα ταξινόμησης των μεθόδων αυτών, η συγκεκριμένη ποιοτική κατηγορία εκφράζει «πολύ φτωχή ποιότητα νερού», «φτωχή ποιότητα νερού», «μη αποδεκτή ποιότητα νερού» και «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού», αντίστοιχα.
2. Ο ποταμός Βοσβόζης, σύμφωνα με το δείκτη NSF, εμπίπτει στην 3^η ποιοτική κατηγορία, βάσει της οποίας η ποιότητα του νερού αξιολογείται ως «μέτρια». Με βάση τη μεθοδολογία του δείκτη Bhargava, η ποιοτική κατάσταση του νερού στο εξεταζόμενο υδατόρευμα χαρακτηρίστηκε ως «φτωχή» (2^η ποιοτική κλάση), ενώ για την περίπτωση των δεικτών Prati, Oregon, CCME, Dinius καθώς και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, το μελετώμενο υδατόρευμα κατατάχθηκε στην 1^η κατηγορία ποιότητας, η οποία για καθεμία από τις εν λόγω μεθόδους εκφράζει «κατάσταση υψηλής ρύπανσης», «πολύ φτωχή ποιότητα νερού», «φτωχή ποιότητα νερού», «μη αποδεκτή ποιότητα νερού» και «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού».

Επιπλέον, η εργασία κατέληξε στα ακόλουθα κύρια συμπεράσματα:

1. Στην περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης κάθε φορά μεθοδολογίας-δείκτη, ο δειγματοληπτικός σταθμός GS₁ εμφανίζει συνολικά καλύτερες συνθήκες ποιότητας νερού συγκρινόμενος με τον κατάντη σταθμό GS₂, ενώ για την πλειονότητα των δειγματοληψιών εμφανίζει ανώτερη ποιότητα νερού και από το σταθμό GS₃. Σε ό,τι αφορά στη σχετική κατάσταση ποιότητας μεταξύ των σταθμών GS₂ και GS₃, ο τελευταίος σταθμός παρουσιάζει όμοιες έως ανώτερες συνθήκες ποιότητας, σε σχέση με το σταθμό GS₂, καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου.
2. Όσον αφορά στην επίδραση του εφαρμοζόμενου κάθε φορά δείκτη στην ποιοτική ταξινόμηση των μελετώμενων σωμάτων, εντοπίζονται σημαντικές αποκλίσεις στα προκύπτοντα αποτελέσματα μεταξύ των επιμέρους μεθοδολογιών. Ειδικότερα, βρέθηκε ότι διαμορφώνονται τρεις επιμέρους κατηγορίες δεικτών, με βάση τα αποτελέσματα της ποιοτικής κλάσης που αποδίδουν ανά δειγματοληψία, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, και τέσσερις για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη. Τόσο για την περίπτωση του ταμιευτήρα όσο και για εκείνη του υδατορεύματος, παρατηρήθηκε ότι οι δείκτες Bhargava και NSF τείνουν να κατατάσσουν τα εξεταζόμενα σώματα σε ανώτερες ποιοτικές τάξεις, συγκρινόμενοι με τους δείκτες Prati, CCME και Oregon. Αντίστοιχα, ο δείκτης Prati καταλαμβάνει κυρίως τις μεσαίες κλάσεις της ποιοτικής κατάταξης, ενώ οι δείκτες CCME και Oregon, αποδίδουν αποτελέσματα τα οποία κινούνται σταθερά στις κατώτερες ποιοτικές τάξεις, γεγονός το οποίο τους καθιστά περισσότερο «αυστηρούς». Όσον αφορά στο δείκτη Dinius, διαπιστώθηκε ότι, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, κινείται στις μεσαίες τάξεις της ποιοτικής κατάταξης, μαζί με το δείκτη Prati, αποδίδοντας αποτελέσματα μεταξύ των κλάσεων 2 και 4. Αντίθετα, στην περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, η εφαρμογή του οδηγεί στην ταξινόμηση του μελετώμενου σώματος στις ανώτερες κατηγορίες της ποιοτικής κατάταξης.
3. Αναφορικά με τα αποτελέσματα των «σημαντικότερων» παραμέτρων ανά εφαρμοζόμενο δείκτη, τα οποία προέκυψαν μέσω του προσδιορισμού των επιμέρους συντελεστών συσχέτισης, διαπιστώνεται ότι αυτά αφορούν, ως επί το πλείστον, τη δεδομένη κάθε φορά εφαρμογή, καθώς εξαρτώνται τόσο από την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία όσο και από τις τοπικές συνθήκες. Απαιτείται, συνεπώς, ιδιαίτερη προσοχή κατά τη γενίκευσή τους, καθώς και περαιτέρω διερεύνηση των σημαντικών παραμέτρων, ανά μεθοδολογία, σε περισσότερες περιοχές εφαρμογής.
4. Η εφαρμογή των Δεικτών Ποιότητας Νερού συνιστά ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στην κατεύθυνση της ποιοτικής αξιολόγησης ενός δεδομένου υδατικού σώματος, καθώς παρέχει τη δυνατότητα να αποτιμηθούν οι υφιστάμενες ποιοτικές συνθήκες, μέσω της ένταξης αυτού σε μία ορισμένη κατηγορία ποιότητας. Επιπλέον, παρέχεται ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς για τη σύγκριση διαφορετικών σωμάτων, καθώς και για την ανίχνευση αποκλίσεων, όσον αφορά στις συνθήκες ποιότητας, μεταξύ διαφορετικών θέσεων του ίδιου σώματος, ενώ, τέλος, η εφαρμογή των δεικτών σε διαφορετικές χρονικές στιγμές επιτρέπει τον εντοπισμό ενδεχομένων τάσεων υποβάθμισης ή βελτίωσης των υφισταμένων συνθηκών.

EXTENDED ABSTRACT

Water constitutes both heritage and invaluable natural resource to be preserved at all cost. The continuous pressures on the existing water systems, both at a quantitative and a qualitative level, as a result of both natural and anthropogenic causes, require continuous monitoring and assessment of their status. More specifically, the evaluation of the quality status of water bodies constitutes a process, whose importance has been recognized mainly in the last decades. The large number, though, of data necessary for the qualitative evaluation of water, the special knowledge and expertise required, the objective difficulties that arise in combining the individual qualitative characteristics to produce a single result of the quality status, as well as the inability to understand this result by non-experts, often make the process particularly difficult.

In this context, the contribution of Water Quality Indices (WQIs) has been determinant in recent years. WQIs constitute methodologies which aim at determining the quality status of a given water body through a simple and comprehensible to the public expression, a process which usually consists of the classification of the body in question at a specific quality class (often from 1 to 5) and the attribution of a quality characterization to it, such as “good”, “fair” or “poor” water quality. More specifically, regardless of the specific characteristics of each individual method, WQIs are based on: (a) the selection of a certain combination of quality parameters, often expressed in different units of measurement and found in different concentration ranges; (b) the normalization of these parameters through a mathematical function, in order to make them comparable; (c) the assignment of a weighting factor to each individual parameter, depending on its importance for the overall quality of water; and (d) the aggregation of the normalized values of individual quality variables to produce a single result (usually expressed on a scale from 1 to 100), which will reflect the overall quality status of the water body being examined.

In the present study, after a bibliographic review of the existing WQIs, their characteristics and the calculating framework on which they are based, a selection of seven commonly used indices was made, which were then applied separately to two water bodies, a fluvial and a lacustrine.

Specifically, the indices applied during the quality assessment of the individual bodies were the: Prati's Index of Pollution, Bhargava's Index, Oregon WQI, CCME and NSF WQIs, Dinius' Index, and the Weighted Arithmetic WQI. Polyphytos reservoir, in Kozani, West Macedonia and Vosvozis river, in Rodopi, Thraki were defined as water bodies of application. The main objective of the present study was, on one hand, to evaluate the quality status of the bodies being examined, and, on the other hand, to comparatively assess the individual methodologies and draw conclusions regarding the effect of the selected method on the qualitative ranking.

Required water quality data were available from previous field monitoring surveys at the two water bodies. The monitoring network of the reservoir comprised three sampling stations (P_1 , P_2 and P_3), located at Rymnion bridge, at Serbia bridge and at Polyphytos dam, respectively; each water sample was collected at two different depths (at the surface and close to the bottom). In the case of the fluvial system, Vosvozis river in Komotini, the network comprised the sampling stations GS_1 , GS_2 και GS_3 , which were located near village Folia, near village Paradimi and upstream and near the entrance of Vosvozis to Ismarida lagoon. For each individual water body, the different indices were applied per sampling, at each monitoring station, for a period of 12 (June 2004 - May 2006) months for the reservoir and 16 (August 2005 - November 2006) months, for the river. For each

individual methodology- index, the determination of the overall quality status of the water body was implemented based on the worst quality scenario, i.e., taking into account the lowest quality class to which the given body corresponded during the monitoring period.

Apart from the application of the individual WQIs in the selected water bodies, in the present study, the “most important” variables per methodology were determined, through the determination of the correlation coefficient between each individual parameter and the final value of each index applied. The demonstration of those parameters that contribute more to the formulation of the final result, is particularly important, in the context of qualitative assessment of water bodies, as it could eventually lead to the application of these methodologies, taking into account a smaller number of quality variables, thus minimizing the costs for the implementation of the required sampling campaigns, as well as the necessary laboratory analysis.

Figure 1 presents the variation of quality class (1 to 5 scale) during the monitoring period in Polyphytos reservoir, as determined based on each of the applied methods. Respectively, the results of quality classification during the period of interest for the case of Vosvozis river are illustrated in Figure 2.

In addition, the “most important” parameters per methodology, as determined for each individual case study, are shown in Tables 1 and 2.

The following results were derived regarding the quality of the two water bodies:

1. Polyphytos reservoir, based on the Bhargava methodology and taking into account the worst quality scenario, falls into the 3rd quality category, which expresses “satisfactory water quality”. When applying the Prati and NSF WQIs, the reservoir is categorized in quality class 2, which, for these methods, expresses “pollution” and “bad water quality”, respectively. Finally, based on the Oregon, CCME and Dinius indices, as well as on the Weighted Arithmetic Index, this body is classified into the lowest quality class (1st quality category), i.e., “very poor water quality”, “poor water quality”, “unacceptable water quality” and “unacceptable for drinking purposes quality”, respectively.
2. Vosvozis river, based on the NSF index, falls into the 3rd quality class, according to which water quality is defined as “medium”. Based on the Bhargava index, the quality status of the river is characterized as “poor” (2nd quality class), whereas in the case of Prati, Oregon, CCME and Dinius indices, as well as the Weighted Arithmetic Index, Vosvozis river is classified into the 1st quality class, which for these methods expresses “heavy pollution”, “very poor water quality”, “poor water quality”, “unacceptable water quality” and “unacceptable quality for drinking purposes”.

Finally, it has been established that:

1. In the case of Vosvozis river, regardless of the applied methodology- index, the sampling station GS1 showed in total better water quality conditions compared to the downstream GS2 station, while for the majority of the samples it even showed superior water quality than station GS3. Regarding the relative quality condition between stations GS2 and GS3, the latter shows similar or superior quality conditions compared to GS2 station throughout the sampling period.
2. Regarding the impact of the index applied each time on the quality classification of the bodies being studied, significant discrepancies were observed in the results obtained among

the individual methodologies. In particular, it has been found that three individual categories of indices were formed, based on the quality class results per sampling for the case of the reservoir, whereas for the case of Vosvozis river, four categories were formed. In both cases, it has been observed that the Bhargava and NSF indices tend to classify the water bodies being examined into superior quality classes, when compared to Prati, CCME and Oregon indices. Respectively, the Prati index falls mainly into the middle classes of the quality ranking, while CCME and Oregon give results which range steadily between the lower quality classes. Consequently, these indices can be considered as “stricter”. As for the Dinius Index, it was found that, in the case of Polyphytos reservoir, it ranges between the middle classes of the quality ranking, along with the Prati’s Index, giving results between classes 2 and 4. On the contrary, in the case of Vosvozis river, its application leads to the classification of the water body examined in the higher quality categories.

3. Regarding the results of the “most important” parameters per index applied, which have emerged based on the determination of the individual correlation coefficients, it is concluded that these results are generally different for each water body, i.e., they depend both on methodology applied and local conditions. Therefore, particular attention is needed in generalizing them; further investigation of the “important parameters”, per methodology, in more case studies is required.
4. Water Quality Indices were proved to be a useful tool, in the direction of the qualitative assessment of a given water body, as they provide the opportunity to evaluate existing quality conditions, through the classification of the water body into a certain quality category. Furthermore, a common reference framework is provided for comparing different water bodies, as well as for detecting differences in quality conditions between different positions of the same body. Finally, the application of WQIs at different time periods allows for the identification of potential trends of deterioration or improvement of the existing conditions.

Table 1: Important parameters per index applied, as determined for the case of Polyphytos reservoir

Methodology	Important parameters
Prati’s Index of Pollution	TSS, COD
Bhargava WQI	BOD ₅ , DO
Oregon WQI	DO, TSS
NSF WQI	-
CCME WQI	-
Dinius WQI	DO, EC, BOD ₅
Weighted Arithmetic WQI	NH ₄ ⁺ -N

Table 2: Important parameters per index applied, as determined for the case of Vosvozis river

Methodology	Important parameters
Prati’s Index of Pollution	BOD ₅ , COD
Bhargava WQI	BOD ₅ , EC
Oregon WQI	BOD ₅
NSF WQI	BOD ₅ , DO
CCME WQI	TP, BOD ₅ , DO
Dinius WQI	BOD ₅ , EC, DO
Weighted Arithmetic WQI	NH ₄ ⁺ -N, TP

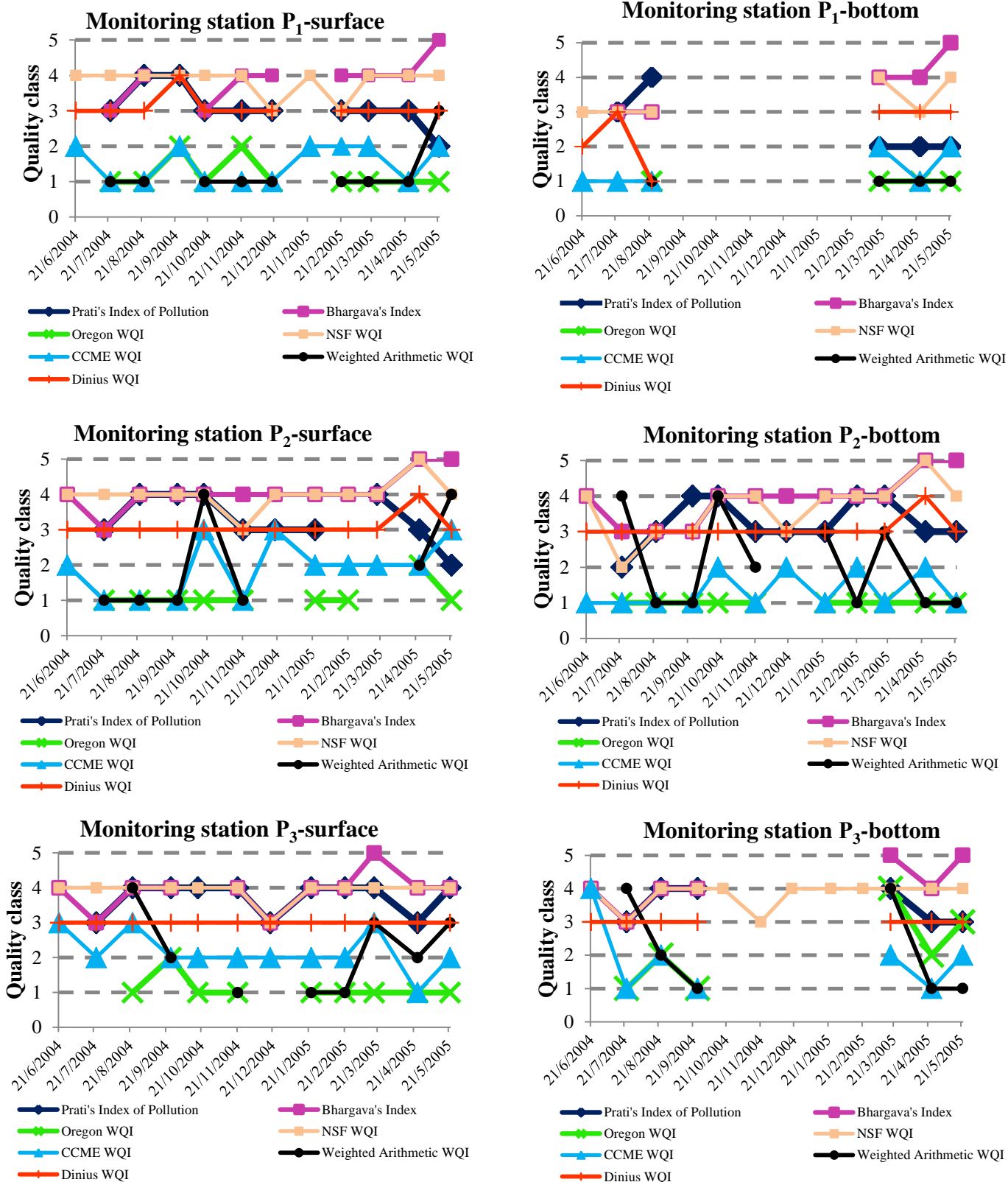


Figure 1: Variation of quality class during the monitoring period in Polyphytos reservoir, based on the seven applied WQIs (P₁: Rymnion bridge station; P₂: Serbia bridge station; P₃: Polyphytos dam station)

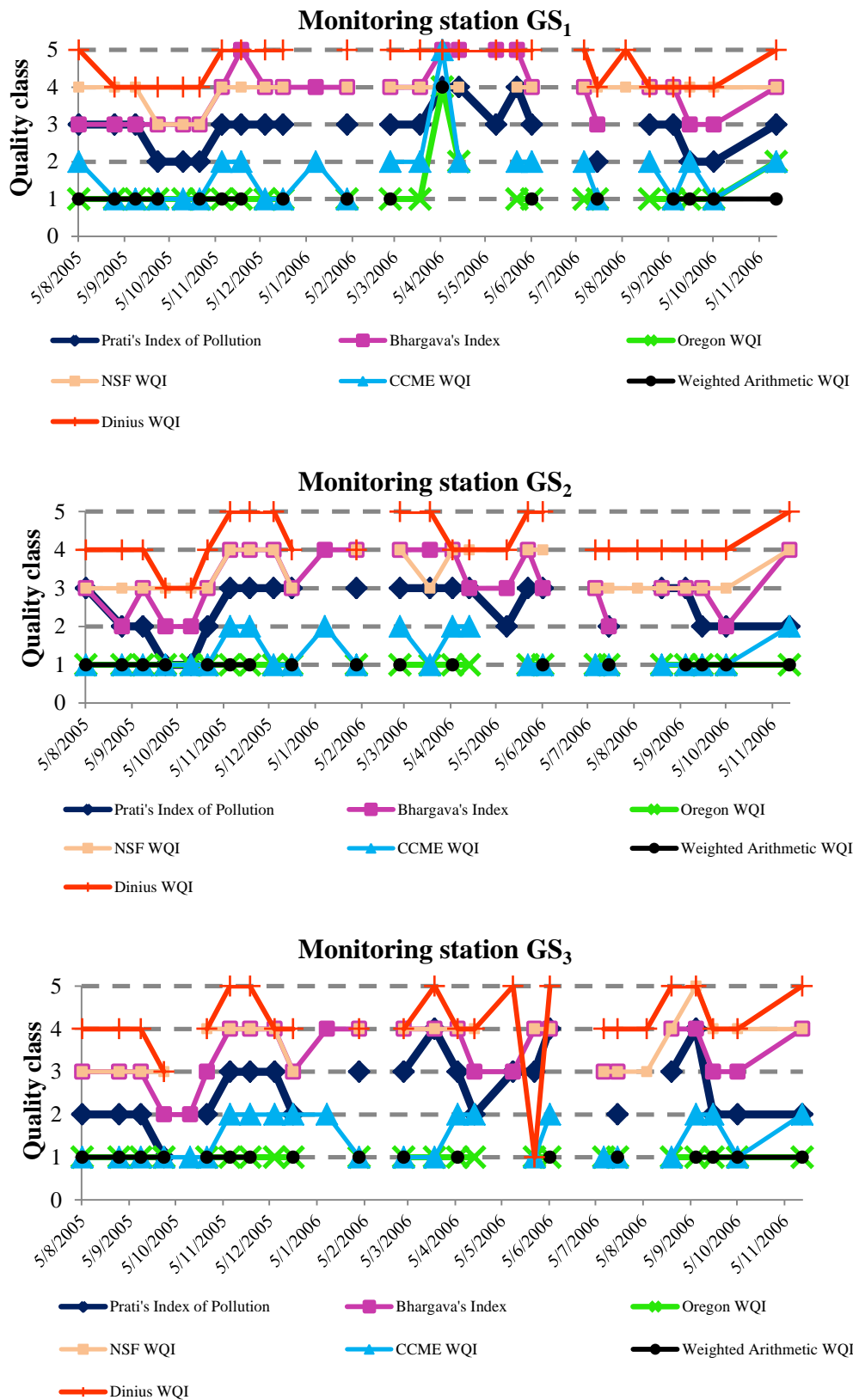


Figure 2: Variation of quality class during the monitoring period in Vosvozis river, based on the seven applied WQIs (GS₁: station located near village Folia; GS₂: station located near village Paradimi; GS₃: station located upstream and near Ismarida lagoon)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Αναμφίβολα, το νερό συνιστά κληρονομιά και πολύτιμο προς διαφύλαξη φυσικό πόρο. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την επιβίωση κάθε ζωντανού οργανισμού, ενώ ο καθοριστικός του ρόλος ως υποστηρικτής των ανθρώπινων κοινωνιών μαρτυρείται από την ανθρώπινη ιστορία.

Παρατηρείται, ωστόσο, ότι μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1960, το επιστημονικό ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στην «ποσοτική» κατάσταση των υδατικών συστημάτων, με αποτέλεσμα το διαθέσιμο νερό να αποτελεί αυτομάτως και διαθέσιμο προς κατανάλωση νερό. Η ανησυχία της επιστημονικής κοινότητας αναφορικά με την αξιολόγηση της «ποιοτικής» κατάστασης των υδατικών σωμάτων άρχισε να εντείνεται σταδιακά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, με αποτέλεσμα, πλέον, να αποδίδεται ίση σημασία τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική αξιολόγησή τους (Abbasi and Abbasi 2012).

Παρότι ο προσδιορισμός της ποσοτικής κατάστασης ενός υδατικού σώματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με σχετικά εύκολο τρόπο και να καταστεί αντιληπτός ακόμη και από μη εξειδικευμένο κοινό, δεδομένου ότι καθορίζεται από μία και μόνο παράμετρο, παραδείγματος χάριν το συνολικά αποθηκευμένο όγκο νερού σε έναν ταμιευτήρα ή την παροχή ανά μονάδα χρόνου σε κάποια θέση του υδατορεύματος, η έκφραση της ποιοτικής κατάστασης ενός υδατικού σώματος είναι αρκετά πιο σύνθετη. Αυτό οφείλεται, καταρχήν, στο γεγονός ότι ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του νερού ενός υδατικού σώματος ως «αποδεκτής» ή «μη αποδεκτής» εξαρτάται από την χρήση για την οποία αυτό προορίζεται. Με άλλα λόγια, είναι πιθανόν η ποιότητά του να χαρακτηρίζεται ως αποδεκτή για αρδευτικούς ή βιομηχανικούς σκοπούς αλλά όχι για οικιακή χρήση ή ακόμη να είναι κατάλληλη για την άρδευση συγκεκριμένων μόνο ειδών καλλιέργειας. Ακόμη, σε αντίθεση με την ποσότητα του νερού, η ποιότητά του είναι συνάρτηση πολλών και διαφορετικών ουσιών που βρίσκονται διαλυμένες σε αυτό σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι η ανάλυση και η λεπτομερής καταγραφή των διαφορετικών συστατικών που περιέχει ένα δείγμα νερού, αλλά και των συγκεντρώσεών τους, δύναται να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα παρέχοντας επαρκή πληροφορία αναφορικά με την ποιότητα του δεδομένου δείγματος. Ωστόσο, η αξιοποίηση της πληροφορίας στη συγκεκριμένη μορφή και η εξαγωγή συμπερασμάτων θα ήταν ιδιαίτερα δυσχερής, ενώ επιπλέον, η πληροφορία αυτή θα μπορούσε να καταστεί αντιληπτή μόνο από εξειδικευμένο κοινό (Abbasi and Abbasi 2012, Alexakis et al. 2016).

1.2 Ο ρόλος των δεικτών στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού

Στην κατεύθυνση της επίλυσης του προαναφερθέντος προβλήματος, καθοριστική είναι τα τελευταία χρόνια η συμβολή των Δεικτών Ποιότητας Νερού (WQIs). Οι Δείκτες Ποιότητας Νερού συνιστούν μεθοδολογικά εργαλεία αξιολόγησης της ποιοτικής κατάστασης ενός δεδομένου υδατικού σώματος, μέσω της απόδοσης σε αυτήν μίας μεμονωμένης τιμής-βαθμολογίας ποιότητας. Με άλλα λόγια, οι συγκεκριμένοι δείκτες ενσωματώνουν ένα σημαντικό αριθμό ποιοτικών δεδομένων, τα οποία έχουν προκύψει μέσω μετρήσεων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και θέσεις του εξεταζόμενου υδατικού σώματος, σε μία μόνο αριθμητική τιμή, η οποία, ύστερα από σύγκριση με ήδη γνωστά και αποδεκτά εύρη αυτής, δύναται να προσδιορίσει την ποιοτική

κατάσταση του υδατικού σώματος, καθώς και να το κατατάξει με βάση αυτήν (Alexakis et al. 2016).

Η συγκέντρωση του συνόλου των ποιοτικών δεδομένων του δείγματος σε μία μεμονωμένη τιμή διευκολύνει την κατανόηση και την ερμηνεία της επίπτωσης των επιμέρους παραμέτρων στη συνολική ποιοτική κατάσταση αυτού, παρέχοντας μία απλοποιημένη περιγραφή της (πολύ καλή, καλή, μέτρια κλπ.), ενώ παράλληλα παρέχει ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς για τη σύγκριση διαφορετικών δειγμάτων (Abbasi and Abbasi 2012).

1.3 Καθορισμός στόχου και διάρθρωση εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εφαρμογή 7 διαφορετικών Δεικτών Ποιότητας Νερού σε 2 επιμέρους υδατικά σώματα, τον ταμιευτήρα Πολυφύτου, ο οποίος βρίσκεται στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης, και τον ποταμό Βοσβόζη, ο οποίος βρίσκεται στο Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θράκης και εμπίπτει στην Π.Ε. Ροδόπης. Ο συγκεκριμένος στόχος έχει διττή διάσταση. Αφενός, επιδιώκεται η διερεύνηση των συνθηκών ποιότητας των ανωτέρω υδατικών σωμάτων, καθώς και η ανίχνευση ενδεχομένων τάσεων ή σημαντικών αποκλίσεων της υφιστάμενης ποιοτικής κατάστασης μεταξύ των επιμέρους θέσεων παρακολούθησης και, αφετέρου, επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση της επιλεγθείσας μεθοδολογίας-δείκτη στα προκύπτοντα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης του εκάστοτε σώματος.

Η εργασία στο σύνολο της διαρθρώνεται σε 6 βασικά κεφάλαια, καθένα από τα οποία υποδιαιρείται σε επιμέρους ενότητες.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται, καταρχήν, μία σύντομη αναφορά στις διαφορές οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ των διαδικασιών της «ποσοτικής» και της «ποιοτικής» αξιολόγησης ενός δεδομένου υδατικού σώματος, ενώ, παράλληλα, επισημαίνονται οι δυσκολίες τις οποίες συνεπάγεται η τελευταία. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται συνοπτικά η έννοια των Δεικτών Ποιότητας Νερού, ο ρόλος τους καθώς και τα κύρια πλεονεκτήματα της εφαρμογής τους κατά τη διαδικασία της ποιοτικής αξιολόγησης του νερού.

Στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2), περιγράφονται οι κύριες παράμετροι –φυσικές, χημικές και βιολογικές- οι οποίες υπεισέρχονται στη διαδικασία αξιολόγησης της ποιότητας του νερού, παρουσιάζονται και αναλύονται οι διάφορες μορφές ρύπανσης τις οποίες επιφέρει η παρουσία ή η απουσία των ανωτέρω παραμέτρων, ενώ τέλος, παρατίθεται το σχετιζόμενο με την ποιότητα των υδάτων ισχύον θεσμικό πλαίσιο.

Εν συνεχεία, στο 3^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο αφορά στην έννοια των Δεικτών Ποιότητας Νερού, προκειμένου να καταστούν αντιληπτά η σημασία και η χρησιμότητα τους, το πεδίο εφαρμογής τους αλλά και ο τρόπος χρήσης και διαμόρφωσης τους. Επιπλέον, παρατίθενται και περιγράφονται οι κυριότεροι Δείκτες Ποιότητας Νερού, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, και γίνεται αναφορά στην υφιστάμενη βιβλιογραφική έρευνα.

Ακολούθως, στο 4^ο Κεφάλαιο, περιγράφεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε κατά την εφαρμογή των επιμέρους δεικτών σε καθένα από τα 2 εξεταζόμενα σώματα. Ειδικότερα, αρχικά πραγματοποιείται μία σύντομη περιγραφή της θέσης και των κυρίων χαρακτηριστικών των

επιμέρους υδατικών σωμάτων, αλλά και των ευρύτερων περιοχών εφαρμογής, και παρουσιάζονται τα δεδομένα ποιότητας τα οποία αξιοποιήθηκαν κατά την υπολογιστική διαδικασία, ο τρόπος συλλογής και ανάλυσης τους, καθώς και οι θέσεις δειγματοληψίας, όπως αυτές ορίστηκαν για κάθε επιμέρους υδατικό σώμα. Εν συνεχεία, περιγράφεται εκτενώς η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε κατά την εφαρμογή καθενός από τους εξεταζόμενους δείκτες σε καθένα από τα μελετώμενα σώματα, συμπεριλαμβανομένων των παραδοχών και τροποποιήσεων που υλοποιήθηκαν κατά περίπτωση, είτε για την αντιμετώπιση ελλείψεων στα ποιοτικά δεδομένα είτε για την καλύτερη προσαρμογή του εκάστοτε δείκτη στις τοπικές συνθήκες.

Στο 5^ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μέσω της εφαρμογής των επιμέρους μεθοδολογιών, ενώ στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου επιχειρείται η σύνοψη και η συγκριτική αξιολόγηση αυτών.

Τέλος, στο 6^ο Κεφάλαιο, παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν με το πέρας της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Το κυρίως κείμενο ακολουθούν 2 παραρτήματα, τα οποία περιλαμβάνουν σε πινακοποιημένη μορφή, το σύνολο των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή των επιμέρους δεικτών στον ταμιευτήρα Πολυφύτου (Παράρτημα I) και στον ποταμό Βοσβόζη (Παράρτημα II).

2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΝ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 Παράμετροι που υπεισέρχονται στην αξιολόγηση της ποιότητας των φυσικών νερών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η «ποιότητα του νερού» συνιστά όρο, ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει την καταλληλότητά του για έναν ιδιαίτερο σκοπό, για μία δεδομένη δηλαδή χρήση. Για το χαρακτηρισμό ενός υδατικού σώματος ως «κατάλληλου» ή «μη κατάλληλου» για δεδομένη χρήση νερού απαιτείται εν γένει η αξιοποίηση «ποσοτικών» παραμέτρων, με άλλα λόγια μετρήσιμων ποιοτικών μεταβλητών, οι οποίες βάσει της συγκέντρωσής τους στο εξεταζόμενο υδατικό δείγμα δύνανται να καθορίσουν την καταλληλότητά του.

Για την «ποσοτικοποίηση» της ποιοτικής κατάστασης ενός υδατικού σώματος απαιτούνται, συνοπτικά, τα ακόλουθα:

- ii. Ο προσδιορισμός των διαφορετικών ουσιών που απαντώνται στο νερό
- iii. Ο προσδιορισμός μέσω επί τόπου μετρήσεων ή εργαστηριακών αναλύσεων των συγκεντρώσεων κάθε επιμέρους ουσίας
- iii. Η γνώση της επίπτωσης καθεμίας εκ των μετρούμενων ποιοτικών μεταβλητών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον
- iv. Η ύπαρξη οριακών τιμών συγκέντρωσης των εξεταζόμενων μεταβλητών, οι οποίες θα καθορίζουν την καταλληλότητα του νερού για την εκάστοτε χρήση (πόσιμο νερό, άρδευση, βιομηχανία κ.λ.π.) και η συμμόρφωση με αυτές (Τσιχριντζής 2017).

Οι εν λόγω παράμετροι, οι οποίες περιγράφουν την ποιοτική κατάσταση των φυσικών νερών μπορούν, εν γένει, να διακριθούν σε 3 κατηγορίες, τις φυσικές, τις χημικές και τις βιολογικές, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στις ακόλουθες υποενότητες.

2.1.1 Φυσικές παράμετροι ποιότητας νερού

Θερμοκρασία (Temperature)

Η θερμοκρασία αποτελεί παράμετρο, η οποία επηρεάζει σημαντικά τους ζώντες οργανισμούς ενός υδάτινου οικοσυστήματος, επιδρώντας τόσο στη διαβίωση όσο και στην αναπαραγωγή τους. Η ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν τα διάφορα είδη στη μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται γενικά από τον εκάστοτε οργανισμό, ωστόσο, μία μεταβολή των 5 °C θεωρείται συνήθως κρίσιμη. Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία αποδεικνύεται περισσότερο επιβλαβής για τα ψάρια σε σχέση με την πτώση αυτής, συνδέεται με την αύξηση του μεταβολικού ρυθμού τους και την ταυτόχρονη μείωση της συγκέντρωσης και της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό. Οι αυξημένες ανάγκες για κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου από τα διάφορα είδη σε συνδυασμό με την ελάττωση της διαθέσιμης διαλυμένης ποσότητας οδηγεί στην ασφυξία και το θάνατο τους. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι για τα είδη της πέστροφας, της πέρκας και του κυπρίνου οι βέλτιστες θερμοκρασίες νερού για την άνετη διαβίωσή τους ανέρχονται στους 15, 24 και 32 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου, αντίστοιχα (Τσιχριντζής 2017).

Επιπλέον και αναφορικά με την αρδευτική χρήση, η βέλτιστη θερμοκρασία του νερού για άρδευση είναι για τα περισσότερα φυτά οι 25 °C, όταν αυτά βρίσκονται στο στάδιο της έντονης βλαστικής

δραστηριότητας, ενώ νερό κρύο ή ζεστό ενδέχεται να προκαλέσει καταστροφές κυρίως στα νεαρά φυτά (Θεοχάρης 2015).

Η παράμετρος της θερμοκρασίας δεν επιδρά με άμεσο τρόπο στην καταλληλότητα του νερού για πόση. Ωστόσο, παρατηρείται ότι το κρύο πόσιμο νερό είναι πιο ευχάριστο έναντι του ζεστού, για τους περισσότερους καταναλωτές, ενώ παράλληλα η υψηλή θερμοκρασία του νερού ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών και ενδέχεται να επηρεάσει τη γεύση, το χρώμα και την οσμή του (WHO 1993). Ως ενδεικτική και ανώτατη επιτρεπτή τιμή της θερμοκρασίας του πόσιμου νερού ορίζονται οι 12 °C και 25 °C, αντίστοιχα (Κούγκολος κ.α. 2015). Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται με ειδικά ηλεκτρονικά όργανα στο πεδίο και το εργαστήριο (Τσιχριντζής 2017).

Θολερότητα (Turbidity)

Η θολερότητα συνιστά μέτρο της διαύγειας ή της διαφάνειας του νερού. Η «σκοτεινή-θολή» εμφάνιση του υδατικού δείγματος οφείλεται στην ύπαρξη αιωρούμενων στερεών, τα οποία διαχέουν και απορροφούν τις ακτίνες του φωτός. Ειδικότερα, τα στερεά αυτά μπορεί να είναι αιωρούμενα ή κolloειδή υλικά όπως άργιλος, άμμος, μικροσκοπικά διανεμημένα οργανικά ή ανόργανα υλικά, είτε ακόμη πλαγκτόν ή άλλοι μικροσκοπικοί οργανισμοί. Ως μονάδα μέτρησης της θολερότητας χρησιμοποιείται το 1 TU (Turbidity Unit), τιμή η οποία ισοδυναμεί με τη θολερότητα που παράγεται από ένα διάλυμα που περιέχει 1 mg/L διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013, Τσιχριντζής 2017). Ο προσδιορισμός της, γενικά, βασίζεται στην απορρόφηση ή σκέδαση του φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια του υδατικού διαλύματος. Ανάλογα, ωστόσο, με τη μέθοδο προσδιορισμού της, η θολερότητα είναι δυνατόν να εκφραστεί είτε σε νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας (Nefelometric Turbidity Units, NTU) όταν ως μέθοδος προσδιορισμού εφαρμόζεται εκείνη της νεφελομετρίας είτε σε μονάδες θολερότητας κατά Jackson (Jackson Turbidity Units, JTU), στην περίπτωση όπου η μέτρησή της γίνεται με χρήση του θολερόμετρου Jackson (Fondriest Environmental 2010). Η μέτρησή της είναι, ακόμη, δυνατόν να πραγματοποιηθεί με χρήση του δίσκου Secchi (Secchi disk). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η ποσοτικοποίηση της θολερότητας πραγματοποιείται μέσω του προσδιορισμού του βάθους, στο οποίο ο δίσκος παύει να είναι ορατός.

Η εμφάνιση θολερότητας στο νερό είναι δυνατόν να συνδέεται τόσο με φυσικά όσο και με ανθρωπογενή αίτια. Αυξημένες τιμές θολερότητας στα επιφανειακά νερά συνεπάγονται τον περιορισμό της διέλευσης του φωτός και, κατ' επέκταση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, ενώ παράλληλα αποτελούν ένδειξη ευτροφισμού σε νερά λιμνών και θαλασσών. Καθοριστικής σημασίας είναι ο προσδιορισμός της τιμής της θολερότητας και στο νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (Κούγκολος κ.α. 2015, Τσιχριντζής 2017). Παρότι η επίδραση της συγκεκριμένης παραμέτρου στην ποιότητα του πόσιμου νερού είναι αισθητικής κυρίως φύσεως, υψηλές τιμές αυτής λειτουργούν ως ασπίδα προστασίας για τα μικρόβια, καθιστώντας την απολύμανση αναποτελεσματική (Τσιχριντζής 2017). Ειδικότερα, η Οδηγία 98/83/ΕΚ για την εμφάνιση θολερότητας στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζει ως παραμετρική τιμή «αποδεκτό στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής», ενώ διάλυμα με τιμή της παραμέτρου μεγαλύτερη από 5 μονάδες (TU) θεωρείται συνήθως αισθητικά μη αποδεκτό.

Χρώμα (Color)

Η παρουσία χρώματος στο νερό είναι δυνατόν να οφείλεται σε κolloειδή σωματίδια και διαλυμένες ουσίες φυσικής προέλευσης (πλαγκτόν, τύρφη, μεταλλικά ιόντα σιδήρου ή μαγγάνιου) καθώς και σε τεχνητές χρωστικές ουσίες (υγρά βιομηχανικά απόβλητα π.χ. βαφείων). Εκφράζεται σε μονάδες χρώματος (Color Unit), με το 1 Color Unit να αντιστοιχεί στο χρώμα διαλύματος 1 mg/L λευκόχρυσου. Το χρώμα συνιστά έμμεσο δείκτη του βαθμού ρύπανσης. Η παρουσία του δεν επηρεάζει με άμεσο τρόπο την ποιότητα του νερού του εξεταζόμενου υδατικού σώματος, ωστόσο, συνδέεται συνήθως με φαινόμενα ευτροφισμού και αποξυγόνωσης καθιστώντας τα νερά ακατάλληλα για πόση και άλλες χρήσεις (Κούγκολος κ.α. 2015, Τσιχριντζής 2017) . Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/EK, ως παραμετρική τιμή για το χρώμα στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζεται «αποδεκτό στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής».

Γεύση (Taste)

Η ευχάριστη γεύση του νερού συνδέεται με την παρουσία O₂, CO₂ και δισανθρακικών αλάτων. Η δυσάρεστη γεύση αυτού οφείλεται συνήθως σε περιεχόμενες ξένες ουσίες, όπως φαινόλες, χλώριο, σηπόμενες ουσίες, στην παρουσία μικροοργανισμών καθώς και μεταλλικών ιόντων (Κούγκολος κ.α. 2015).

Οσμή (Odour)

Η δυσάρεστη οσμή στο νερό οφείλεται συνήθως στη δημιουργία πτητικών ενώσεων κατά την αποδόμηση της οργανικής ύλης. Είναι, ακόμη, πιθανό να συνδέεται με την παρουσία προϊόντων διάβρωσης μετάλλων ή χημικών βιομηχανικής και γεωργικής προέλευσης (Κούγκολος κ.α. 2015).

2.1.2 Χημικές παράμετροι ποιότητας νερού

Ενεργός οξύτητα (pH)

Η έννοια και η κλίμακα του pH επινοήθηκαν το 1909 από το Δανό χημικό Soren Peter Lauritz Sorensen. Η τιμή του εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα, ενώ πρακτικά αποτελεί ένδειξη για την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του διαλύματος. Υπολογίζεται βάσει της Εξ. (2.1), δηλαδή, ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H⁺) στο εξεταζόμενο διάλυμα (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

$$pH = -\log(H^+) \quad (2.1)$$

Η κλίμακα του pH κυμαίνεται από 0 έως 14, με τιμές μικρότερες του 7 να χαρακτηρίζουν ένα διάλυμα ως «όξινο» και μεγαλύτερες, ως «αλκαλικό». Διαλύματα τα οποία παρουσιάζουν τιμή του pH ίση με 7 αναφέρονται ως «ουδέτερα».

Το pH συνιστά παράμετρο καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, δεδομένου ότι επηρεάζει άμεσα τη μορφή με την οποία απαντώνται οι διάφορες χημικές ενώσεις σε αυτό. Τα φυσικά νερά λαμβάνουν, γενικά, τιμές pH από 5,0 έως 8,5 με ορισμένες, ωστόσο, εξαιρέσεις, στις οποίες μπορεί να λάβουν ελαφρώς χαμηλότερες ή υψηλότερες τιμές (4<pH<9) όταν το νερό διέρχεται από ασβεστόχυα ή πυριτικά πετρώματα, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές θεωρούνται γενικά αποδεκτές παραβλέποντας τη παράμετρο της διαβρωτικότητας την οποία εμφανίζει το νερό για τιμές pH μικρότερες του 6,5 (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013, Κούγκολος κ.α. 2015). Για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζεται, βάσει της Οδηγίας 98/83/EK, ότι θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6,5 και 9,5 της κλίμακας pH, ενώ βάσει του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας

(WHO) μεταξύ 6,5 και 8,5. Νομοθετικά ρυθμίζονται, ακόμη, τα επιτρεπτά όρια της παραμέτρου για τα υγρά απόβλητα, τα οποία πρέπει να έχουν τιμές pH εντός του εύρους 6,5-8,5 (Κούγκολος κ.α. 2015).

Αγωγιμότητα (Conductivity)

Η αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος εκφράζει την ικανότητα του νερού να άγει ηλεκτρικό ρεύμα και συνδέεται με την παρουσία σε αυτό ηλεκτρολυτών. Οι ηλεκτρολύτες συνιστούν ενώσεις διαλυμένες στο νερό, οι οποίες όταν δίστανται αποδίδουν θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα. Η παρουσία των ιόντων αυτών, η συγκέντρωση στην οποία βρίσκονται, η ευκινησία, το σθένος τους, καθώς και η θερμοκρασία του διαλύματος αποτελούν παραμέτρους οι οποίες καθορίζουν την τιμή της αγωγιμότητας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC, εκφράζεται βάσει της Εξ. (2.2), συναρτήσεως, δηλαδή, της επιφάνειας A των ηλεκτροδίων, της απόστασης μεταξύ αυτών L και της σταθεράς αναλογίας k , η οποία ονομάζεται ειδική αγωγιμότητα. Η τελευταία αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος του διαλύματος που βρίσκεται μεταξύ των επιφανειών των ηλεκτροδίων και είναι εκείνη η οποία στην πράξη μετράται (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

$$EC = k \times \frac{A}{L} \quad (2.2)$$

Συνηθέστερη μονάδα μέτρησης της ειδικής αγωγιμότητας είναι το 1 mhos/cm ή μmhos/cm, ενώ στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) τα mhos αναφέρονται ως Siemens (S), με 1 μmhos/cm να ισούται με 1 μS/cm.

Οι τιμές της αγωγιμότητας αποτελούν κριτήριο για τον προσδιορισμό της καθαρότητας των νερών ενός υδάτινου σώματος, ενώ απότομες διακυμάνσεις αυτών υποδεικνύουν ρύπανση του αποδέκτη. Ενδεικτικές τιμές της αγωγιμότητας για διάφορες συνθήκες ποιότητας νερού ή τύπους υδάτινου αποδέκτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Τιμές ειδικής αγωγιμότητας για διαφορετικές συνθήκες ποιότητας νερού και τύπους υδάτινου αποδέκτη (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013)

Συνθήκες ποιότητας νερού/τύπος υδάτινου αποδέκτη	Ειδική αγωγιμότητα (μS/cm)
Υπερκάθαρο νερό	0.055
Νερό από αντίστροφη όσμωση	5-15
Νερό λίμνης	40-1500
Εμφιαλωμένο νερό	350-450
Νερό ποταμού	400-800
Θαλασσινό νερό	53

Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Ως αλκαλικότητα ορίζεται η ικανότητα των φυσικών νερών να εξουδετερώνουν τα οξέα. Η ικανότητα αυτή οφείλεται στην παρουσία στο νερό αλκαλικών ενώσεων όπως δισανθρακικών και ανθρακικών αλάτων, καθώς και υδροξειδίων, τα οποία απομακρύνουν τα H^+ σχηματίζοντας νέες ενώσεις και μειώνοντας, κατ' επέκταση, την οξύτητα του νερού. Η μέτρηση της τιμής της αλκαλικότητας σε έναν υδάτινο αποδέκτη συνεισφέρει στον προσδιορισμό της ευαισθησίας που

παρουσιάζει ο εν λόγω αποδέκτης στις εισροές όξινων παραγόντων. Με άλλα λόγια, χαμηλές τιμές αλκαλικότητας συνδέονται με αδυναμία του υδάτινου αποδέκτη να εξουδετερώσει τη ρύπανση που προκαλείται από παράγοντες όπως η όξινη βροχή ή η εισροή όξινων αποβλήτων. Η αλκαλικότητα την οποία παρουσιάζουν τα φυσικά νερά επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο τύπος των πετρωμάτων με τα οποία έρχονται σε επαφή, η παρουσία αλάτων, η βιολογική δραστηριότητα των φυτών και οι εισροές βιομηχανικών λυμάτων. Η τιμή της σε ένα δείγμα νερού μετράται σε mg/L ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και προσδιορίζεται βάσει της απαιτούμενης ποσότητας ισχυρού οξέος (π.χ. θεικού) προκειμένου η τιμή του pH στο συγκεκριμένο διάλυμα να πέσει στο 4.2 (Αργυράκη 2014).

Σκληρότητα (Hardness)

Ως «σκληρό» χαρακτηρίζεται ένα νερό όταν παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα διαλυμένων αλάτων όπως π.χ. χλωριούχου νατρίου (NaCl), θεικού ασβεστίου (CaSO_4), θεικού μαγνησίου (MgSO_4) κ.λ.π. Ειδικότερα, η σκληρότητα του νερού οφείλεται στην παρουσία σε αυτό πολυσθενών κατιόντων, μεταξύ των οποίων κυριαρχούν τα κατιόντα του ασβεστίου (Ca^{2+}) και του μαγνησίου (Mg^{2+}), ενώ δευτερευόντως συνεισφέρουν και άλλα κατιόντα όπως το αργίλιο (Al^{3+}), το βάριο (Ba^{2+}), ο σίδηρος ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), το μαγγάνιο (Mn^{2+}), το στρόντιο (Sr^{2+}) και ο ψευδάργυρος (Zn^{2+}). Η περιεκτικότητα του νερού σε κατιόντα ασβεστίου και μαγνησίου αποδίδεται κυρίως στην επαφή του με πετρώματα όπως οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες. Κατ' αντιστοιχία με την αλκαλικότητα, η σκληρότητα του νερού μετράται συνήθως και εκείνη σε μονάδες ισοδύναμης συγκέντρωσης ανθρακικού ασβεστίου (mg/L ως CaCO_3). Άλλες, παλαιότερες, μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι η Γαλλική, η Γερμανική και η Αγγλική μονάδα σκληρότητας (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

Παρότι το «σκληρό» νερό δε φαίνεται να συνδέεται με προβλήματα υγειονομικού χαρακτήρα, επιδρά αρνητικά στην αποτελεσματικότητα χρήσης του σαπουνιού, ενώ ευθύνεται παράλληλα για τη διάβρωση των σωληνώσεων που έρχονται σε επαφή με αυτό, καθώς και για τη δημιουργία επιλιθώσεων μετά από εξάτμιση του (Μαμάης 2008).

Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen-DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους ποιότητας νερού τόσο για τα λιμναία όσο και για τα ποτάμια υδατικά συστήματα, δεδομένου ότι είναι απαραίτητο για την επιβίωση και την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών. Παράλληλα, πολλές από τις χημικές και βιολογικές διεργασίες που επιτελούνται τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά επηρεάζονται σημαντικά από τη συγκέντρωσή του, ενώ η παρακολούθηση των επιπέδων συγκέντρωσής του συμβάλλει στη διερεύνηση των μεταβολών που υφίστανται τα υδάτινα συστήματα εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Ο εμπλουτισμός του νερού με αέριο οξυγόνο γίνεται είτε μέσω της ατμόσφαιρας είτε μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης των υδρόβιων φυτών (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

Το οξυγόνο παρουσιάζει ιδιαίτερα μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία μειώνεται περαιτέρω με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η συγκέντρωση στην οποία το οξυγόνο βρίσκεται διαλυμένο στο νερό αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ποσοστό της συγκέντρωσης κορεσμού του, της μέγιστης δηλαδή ποσότητας οξυγόνου που το νερό δύναται να διαλύσει υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και αλατότητας. Με άλλα λόγια, διαλυμένο οξυγόνο σε ποσοστό 70% σε ένα δείγμα

νερού σημαίνει ότι υπολείπεται ποσοστό 30% της μέγιστης ποσότητας οξυγόνου που δύναται να διαλυθεί, ώστε να γίνει το διάλυμα κορεσμένο. Η σχέση μεταξύ δεδομένης τιμής συγκέντρωσης DO (mg/L) σε ένα δείγμα νερού, τιμής κορεσμού DO (mg/L) και ποσοστού κορεσμού (%) για τη μετρηθείσα συγκέντρωση περιγράφεται στην Εξ. (2.3) (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

$$\% \text{ Κορεσμός} = \frac{\text{Μετρούμενη τιμή DO (mg/L)}}{\text{Τιμή DO στο 100\% του κορεσμού}} \times 100 \quad (2.3)$$

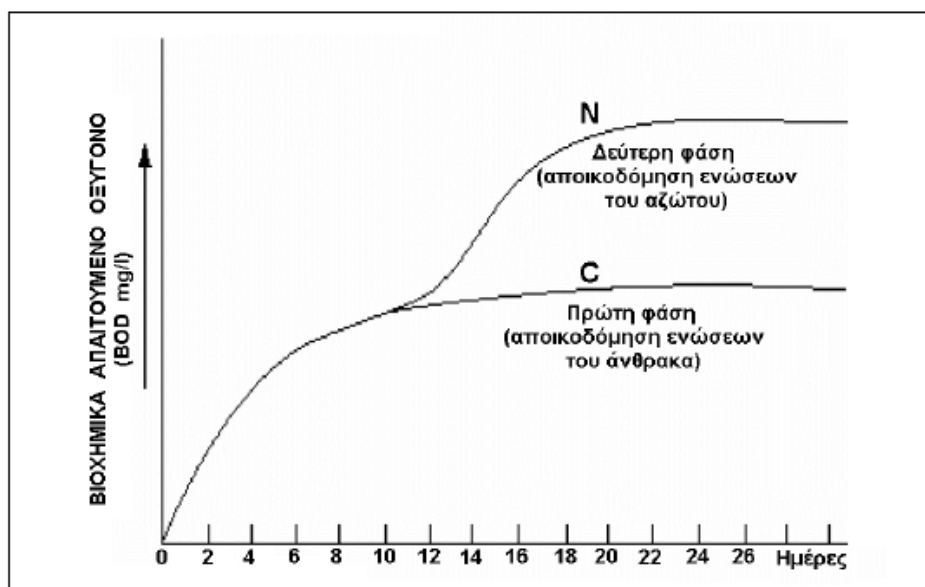
Συμπεραίνεται με βάση τα παραπάνω ότι, σε αντίθεση με τους κοινούς ρύπους, η σχέση η οποία συνδέει τη συγκέντρωση της μεταβλητής του DO και την ποιότητα του νερού ενός δεδομένου υδατικού συστήματος είναι ευθέως ανάλογη. Παρόλα αυτά, σε ό,τι αφορά στο πόσιμο νερό, η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου σε αυτό δε δημιουργεί προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, επηρεάζει ωστόσο τη γεύση του (Τσιχριντζής 2017).

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand-BOD)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο αποτελεί τη συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη παράμετρο προσδιορισμού του οργανικού φορτίου που περιέχεται στα λύματα ή τα ρυπασμένα υδατικά σώματα. Ειδικότερα, ορίζεται ως η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τη διαδικασία της πλήρους βιοχημικής οξείδωσης της περιεχόμενης οργανικής ύλης. Οι εν λόγω οξειδωτικές αντιδράσεις συνοδεύονται από υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία και λαμβάνεται ως παράμετρος προσδιορισμού της οργανικής ρύπανσης του εξεταζόμενου υδατικού σώματος (Νταρακάς 2013).

Η διαδικασία της βιολογικής αποικοδόμησης δεν επιτελείται με την ίδια ταχύτητα για όλα τα είδη οργανικής ύλης. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οργανικές ουσίες οι οποίες οξειδώνονται σχετικά εύκολα, ενώ υπάρχουν και άλλες οι οποίες δεν αποικοδομούνται (μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη). Η διαδικασία της βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών υλοποιείται σε δύο φάσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1.

Το πρώτο στάδιο, κατά το οποίο πραγματοποιείται η βιολογική αποικοδόμηση των ευκολότερα βιοδιασπάσιμων ουσιών, δηλαδή των ενώσεων του άνθρακα, αρχίζει αμέσως και ολοκληρώνεται εντός 20 περίπου ημερών. Η έναρξη του 2ου σταδίου, δηλαδή εκείνου της αποικοδόμησης των ενώσεων του αζώτου τοποθετείται περίπου 10 με 15 ημέρες αργότερα και διαρκεί περισσότερο. Επισημαίνεται ότι για υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας η διαδικασία της βιοχημικής οξείδωσης των οργανικών ουσιών επισπεύδεται. Λόγω του σημαντικού χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση του πειράματος, δεδομένου ότι για την ικανοποίηση του 95-99% του ολικού BOD απαιτούνται 20 ημέρες, συνήθως για τον προσδιορισμό του καταναλισκόμενου οξυγόνου λαμβάνεται το BOD 5 ημερών (BOD₅). Το πείραμα του BOD₅ περιλαμβάνει αρχικά την τοποθέτηση του εξεταζόμενου δείγματος σε σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη, στην οποία διατηρείται υπό σταθερή θερμοκρασία 20 °C για διάστημα 5 ημερών. Η διαφορά μεταξύ των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στην αρχή και μετά το πέρας του πειράματος αντιστοιχεί στο BOD₅, δηλαδή στο οξυγόνο που καταναλώθηκε από τους μικροοργανισμούς στο διάστημα αυτό προκειμένου να αποικοδομήσουν το περιεχόμενο οργανικό φορτίο (Νταρακάς 2013, Μαμάης 2008).



Εικόνα 2.1: Φάσεις και διάρκεια βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών ουσιών
 Πηγή: Νταρακάς (2013)

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand-COD)

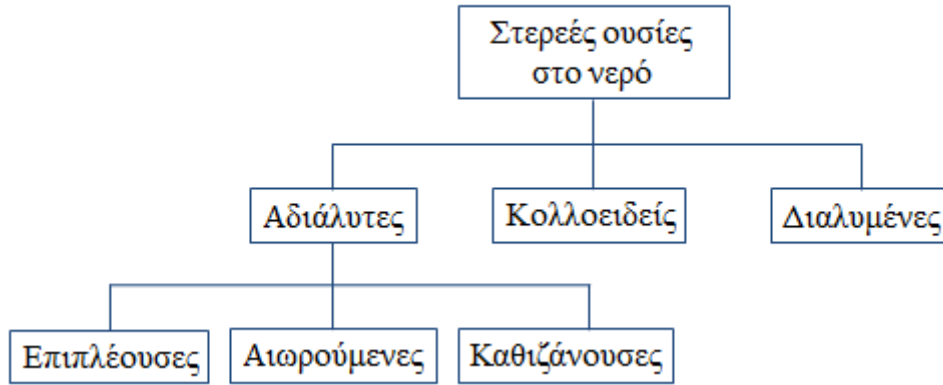
Το COD ορίζεται ως η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης που εμπεριέχεται σε ένα δείγμα νερού, σε CO_2 και H_2O . Ως οξειδωτικό μέσο για την υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) σε όξινο περιβάλλον, ενώ η οξείδωση αφορά όχι μόνο τις βιοδιασπάσιμες οργανικές ουσίες αλλά και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Κατ' επέκταση, αποτελεί λιγότερο αντιπροσωπευτική ένδειξη των αποξυγονωτικών συνεπειών συγκριτικά με τη μέτρηση του BOD_5 , ωστόσο το πλεονέκτημα που παρουσιάζει έναντι αυτού είναι η σημαντική εξοικονόμηση χρόνου, αφού η υλοποίηση της μέτρησης απαιτεί μόλις 2-3 ώρες. Το COD χρησιμοποιείται συνήθως συμπληρωματικά ή αντί της μέτρησης του BOD_5 , ενώ ισχύει πάντα $\text{COD} > \text{BOD}_{\text{ολικό}} > \text{BOD}_5$ (Νταρακάς 2013, Μαμάης 2008).

Συνολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon-TOC)

Ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα ενδείκνυται κυρίως σε περιπτώσεις μικρών συγκεντρώσεων οργανικού φορτίου που ενδιαφέρουν την παραγωγή πόσιμου νερού. Η διαδικασία μέτρησής του είναι ιδιαίτερα απλή και σύντομη και απαιτεί ελάχιστη ποσότητα δείγματος. Ειδικότερα, περιλαμβάνει την καύση του υγρού δείγματος και τη μέτρηση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μέσω κατάλληλου αναλυτή. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L TOC (Μαμάης 2008).

Ολικά, Ολικά Αιωρούμενα και Ολικά Διαλυμένα Στερεά (Total Solids-TS, Total Suspended Solids-TSS, Total Dissolved Solids-TDS)

Γενικά, το σύνολο των ουσιών, οι οποίες βρίσκονται διαλυμένες ή αδιάλυτες στα φυσικά νερά συνιστούν τις στερεές ύλες. Ειδικότερα, ανάλογα με τη μορφή υπό την οποία απαντώνται στη μάζα του ρευστού, οι στερεές ύλες μπορούν να είναι διαλυμένες, κolloειδείς ή αδιάλυτες. Στην πρώτη περίπτωση, το μέγεθος τους κυμαίνεται από 10^{-8} έως 10^{-6} mm, στη δεύτερη από 10^{-6} έως 10^{-3} mm, ενώ οι αδιάλυτες ουσίες έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 1 μm. Οι τελευταίες, ανάλογα με το ειδικό τους βάρος μπορούν είτε να επιπλέουν, είτε να αιωρούνται είτε να καθιζάνουν (Νταρακάς 2013).



Εικόνα 2.2: Κατηγοριοποίηση στερεών υλών στο νερό

Πηγή: Νταρακάς (2013) και ίδια επεξεργασία

Τα στερεά υλικά ενδέχεται να επηρεάσουν ποικιλοτρόπως την ποιοτική κατάσταση των φυσικών νερών. Η παρουσία τους σε υψηλές συγκεντρώσεις ενδέχεται να υποβαθμίσει αισθητικά τον υδάτινο αποδέκτη, καθιστώντας τον ακατάλληλο για χρήση αναψυχής, ενώ παράλληλα η υψηλή περιεκτικότητα του σε άλατα περιορίζει τη δυνατότητα χρήσης του νερού στη βιομηχανία. Ακόμη, νερά με συγκέντρωση άνω των 500 mg/L σε διαλυμένα στερεά, θεωρείται μη αποδεκτό για χρήση πόσιμου νερού (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

Με το όρο **Ολικά Στερεά (TS)** νοείται η υπολειμματική στερεή ύλη που παραμένει ύστερα από εξάτμιση και ξήρανση δείγματος νερού γνωστού όγκου, για μία ώρα στους 103-105 °C. Το δείγμα τοποθετείται σε προζυγισμένη κάψα, εξατμίζεται σε ατμόλουτρο ή σε φούρνο ξήρανσης, ενώ τέλος ψύχεται στον ξηραντήρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο προσδιορισμός των ολικών στερεών πραγματοποιείται, τελικά, υπολογίζοντας τη διαφορά μεταξύ του βάρους της κάψας μαζί με την υπολειμματική στερεή ύλη στο τέλος του πειράματος και της άδειας κάψας, όπως αυτή προζυγίστηκε κατά την εκκίνηση της διαδικασίας (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013). Ειδικότερα, ισχύει:

$$\text{Ολικά στερεά (mg/L)} = \frac{1000 \times (A - B)}{\text{Όγκος δείγματος σε mL}} \quad (2.4)$$

όπου:

A: το τελικό βάρος της κάψας και του ξηρού υπολείμματος μαζί (mg)

B: το αρχικό βάρος της άδειας κάψας (mg).

Ως **Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)** ορίζεται το κλάσμα των ολικών στερεών, το οποίο προσδιορίζεται ύστερα από τη διήθηση δείγματος νερού γνωστού όγκου και στη συνέχεια την εξάτμιση (στους 105 °C) και την ξήρανση του. Η διαδικασία της διήθησης υλοποιείται με τη χρήση φίλτρου με διάμετρο πόρων 0,45 μm, προκειμένου να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά. Τα ολικά διαλυμένα στερεά, τα οποία διέρχονται από το φίλτρο με τη μορφή διηθήματος, συλλέγονται, τοποθετούνται σε κάψα η οποία έχει προηγουμένως ζυγιστεί, θερμαίνονται μέχρις ότου εξατμιστεί πλήρως το νερό και στη συνέχεια ψύχονται. Η ζύγιση της κάψας πριν την τοποθέτηση του διηθήματος και ύστερα από την ξήρανση του, συντελεί στον προσδιορισμό της ποσότητας των TDS. Ο προσδιορισμός των ολικών διαλυμένων στερεών παρέχει πληροφορίες σχετικά με την

ποσότητα των ολικών στερεών ενός δείγματος νερού, η οποία δε δύναται να απομακρυνθεί με διαδικασίες καθίζησης, επίπλευσης ή διήθησης (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013, Νταρακάς 2013).

Τα **Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)** είναι τα στερεά τα οποία συγκρατούνται από το φίλτρο κατά τη διαδικασία της διήθησης δείγματος γνωστού όγκου, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ο προσδιορισμός τους περιλαμβάνει αρχικά τη ζύγιση του φίλτρου, τη διήθηση γνωστού όγκου δείγματος νερού από αυτό, στη συνέχεια την ξήρανση και την ψύξη του εναπομείναντος στερεού υλικού και τέλος την επαναζύγιση του φίλτρου συμπεριλαμβανομένου και του ξηρού υπολείμματος. Η διαφορά της τιμής του αρχικού βάρους του φίλτρου από την τιμή του τελικού του βάρους, στο οποίο εμπεριέχεται και το στερεό υπόλειμμα, δίνει τη μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών (Νταρακάς 2013).

Η σχέση η οποία συνδέει τα τρία μεγέθη μεταξύ τους είναι η ακόλουθη:

$$\text{Ολικά Στερεά} = \text{Ολικά Αιωρούμενα Στερεά} + \text{Ολικά Διαλυμένα Στερεά} \quad (2.5)$$

Άζωτο (N)

Ο ρόλος των ενώσεων του αζώτου στην αξιολόγηση της ποιότητας των νερών είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς αποτελούν μία από τις κύριες αιτίες ευτροφισμού των επιφανειακών αποδεκτών, ενώ παράλληλα συνδέονται με προβλήματα τοξικότητας. Το άζωτο στη φύση είναι δυνατόν να απαντάται σε διάφορες μορφές και με σθένος από $-III$ έως $+V$. Οι κυριότερες μορφές αζώτου, οι οποίες συναντώνται στα φυσικά νερά είναι το αμμωνιακό, το νιτρικό, το νιτρώδες και το οργανικό άζωτο (Μαμάης 2008). Οι διάφορες μορφές αζώτου, καθώς και οι σχέσεις με τις οποίες αυτές συνδέονται παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.2: Μορφές, συμβολισμοί και σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μορφών αζώτου (Νταρακάς 2014 και ίδια επεξεργασία)

Μορφή του αζώτου	Συμβολισμός	Σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μορφών αζώτου
Ατμοσφαιρικό άζωτο	N_2	N_2
Αμμωνία (αέρια μορφή)	NH_3	NH_3
Αμμωνιακά ιόντα	NH_4^+	NH_4^+
Ολικό αμμωνιακό άζωτο	TAN	$NH_3 + NH_4^+$
Νιτρώδη ιόντα	NO_2^-	NO_2^-
Νιτρικά ιόντα	NO_3^-	NO_3^-
Ολικό ανόργανο άζωτο	TIN	$NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$
Ολικό άζωτο Kjeldahl	TKN	Οργανικό N + $NH_3 + NH_4^+$
Οργανικό άζωτο	Οργανικό N	$TKN - (NH_3 + NH_4^+)$
Ολικό άζωτο	TN	Οργανικό N + $NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$

Παρότι το μοριακό άζωτο (N_2), ο ρόλος του οποίου είναι καθοριστικός στη σύνθεση της ατμόσφαιρας, δε συνδέεται με φαινόμενα ρύπανσης, το δεσμευμένο άζωτο, το οποίο συνίσταται στην αμμωνία (NH_3 και NH_4^+), τα νιτρικά (NO_3^-), τα νιτρώδη (NO_2^-) και το οργανικό άζωτο, συμβάλλει σημαντικά στην υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών οικοσυστημάτων. Η παρουσία των παραπάνω μορφών στα νερά συνδέεται με σημειακές αλλά και μη σημειακές πηγές ρύπανσης,

όπως είναι η εκροή αστικών λυμάτων, τα κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και οι επιφανειακές απορροές από υπερλιπασμένες γεωργικές εκτάσεις. Οι αναλογία με την οποία απαντώνται οι ενώσεις αυτές στον υδάτινο αποδέκτη σχετίζονται με το διάστημα που έχει παρέλθει από τη χρονική στιγμή έναρξης της ρύπανσης του. Πιο συγκεκριμένα, υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε οργανικό άζωτο σημαίνει ότι ο αποδέκτης έχει προσφάτως ρυπανθεί από λύματα. Σε μεταγενέστερη φάση, το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού αζώτου αποικοδομείται σε αμμωνία (διαδικασία αμμωνιοποίησης), η οποία εν συνεχεία οξειδώνεται σε νιτρώδη και νιτρικά με παράλληλη κατανάλωση οξυγόνου (διαδικασία νιτροποίησης). Η αναλογία μεταξύ της ελεύθερης αμμωνίας (NH_3) και του προϊόντος ιονισμού της (NH_4^+) στο νερό ρυθμίζεται κατά κύριο λόγο από τις τιμές του pH (Μαμάης 2008, Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

Τα νιτρώδη ιόντα αποτελούν, όπως αναφέρθηκε, μία ενδιάμεση και σχετικά ασταθή φάση της διαδικασίας της βιολογικής οξείδωσης του οργανικού αζώτου που απελευθερώνεται από τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς του οικοσυστήματος κατά την αποσύνθεσή τους. Παράλληλα, υπό αναερόβιες συνθήκες, τα νιτρώδη είναι δυνατόν να προέρχονται από την αναγωγή των νιτρικών ιόντων. Οι συγκεντρώσεις με τις οποίες εμφανίζονται στα φυσικά νερά είναι γενικά μικρές (<0.1 mg/L). Η επικινδυνότητα που παρουσιάζουν για τους διαφόρους οργανισμούς οφείλεται στο σχηματισμό νιτροζαμινών, ουσιών δυνητικά καρκινογόνων, κατά την αντίδρασή τους με τις δευτεροταγείς αμίνες υπό όξινες συνθήκες. Η Οδηγία 98/83/EK για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζει ως ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρωδών τα 0.5 mg/L. Ωστόσο, δεδομένης της μετατροπής από τον ανθρώπινο οργανισμό των νιτρικών σε νιτρώδη, σημαντικός είναι ο έλεγχος του αθροίσματος των δύο μορφών αζώτου (Χαραλάμπους 2016).

Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στα επιφανειακά νερά έχουν ως συνέπεια την υπερβολική ανάπτυξη μικροσκοπικών φυτών (αλγών) συμβάλλοντας, έτσι, στο φαινόμενο του ευτροφισμού, ενώ σημαντική είναι η υποβάθμιση που επιφέρουν και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Στο πόσιμο νερό, η ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωσή τους ορίζεται από την Οδηγία 98/83/EK στα 50 mg/L, καθώς η μετατροπή τους από τον οργανισμό σε νιτρώδη τα καθιστά τοξικά. Επιπλέον, υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στο πόσιμο νερό συνδέονται με την ασθένεια της κυάνωσης και μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα επικίνδυνες για βρέφη ηλικίας έως 3 μηνών (Μαμάης 2008, Χαραλάμπους 2016).

Η παρουσία αμμωνίας στα φυσικά νερά υποδεικνύει πρόσφατη ρύπανση οργανικής προέλευσης καθώς και παρουσία μικροοργανισμών, στοιχεία που τα καθιστούν ακατάλληλα για χρήση πόσιμου νερού. Ως ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ορίζονται από την Οδηγία 98/83/EK τα 0.5 mg/L. Ακόμη, η συγκέντρωση ελεύθερης αμμωνίας (NH_3) άνω των 0.2 ppm έχει τοξική επίδραση στα ψάρια (Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013, Χαραλάμπους 2016).

Φωσφόρος (P)

Αποτελεί στοιχείο απαραίτητο για τους ζώντες οργανισμούς, ενώ η παρουσία του σε ένα υδατικό οικοσύστημα είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς συνιστά συχνά περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη παραγωγικών οργανισμών (αλγών). Η εμφάνισή του, ωστόσο, σε υψηλές συγκεντρώσεις, σε συνδυασμό με την παρουσία νιτρικών και οργανικού άνθρακα σε έναν επιφανειακό αποδέκτη, συνδέεται συχνά με την υπέρμετρη ανάπτυξη φυκών, συντελώντας έτσι στον ευτροφισμό του.

Οι μορφές με τις οποίες απαντάται ο φωσφόρος στο περιβάλλον είναι τα ορθοφωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-}), τα πολυφωσφορικά ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$, $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$ κ.α.) και ο οργανικός φωσφόρος.

Κύριες πηγές ρύπανσης των υδατικών σωμάτων με φωσφορικά ιόντα είναι τα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα, τα λιπάσματα και τα απορρυπαντικά (Μαμάης 2008, Χατζηκιοσεγιάν κ.α. 2013).

Σίδηρος, Μαγγάνιο, Χαλκός, Ψευδάργυρος (Fe, Mn, Cu, Zn)

Ο σίδηρος και το μαγγάνιο συνδέονται με την απόδοση πικρής γεύσης στο πόσιμο νερό, ωστόσο η παρουσία τους σε αυτό δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ο χαλκός και ο ψευδάργυρος παραμένουν μη τοξικά όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις στο νερό. Η αύξηση της συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών δημιουργεί προβλήματα γεύσης (Τσιχριντζής 2017).

Ιόντα Φθορίου (F^-)

Το φθόριο είναι ένα στοιχείο το οποίο σε αρκετές πόλεις των ΗΠΑ προστίθεται στο δίκτυο ύδρευσης, δεδομένου του θετικού του ρόλου στην καλή υγεία των δοντιών. Βέβαια, η παρουσία φθορίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο νερό ευθύνεται για τον αποχρωματισμό των δοντιών και στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται επεξεργασία του νερού για περιορισμό των συγκεντρώσεων (Τσιχριντζής 2017). Τόσο η Οδηγία 98/83/EK όσο και ο WHO κατατάσσουν το φθόριο στις σημαντικές χημικές παραμέτρους για την ανθρώπινη υγεία και ορίζουν ως παραμετρική τιμή το 1.5 mg/L.

Ιόντα Χλωρίου (Cl^-)

Το χλώριο είναι δυνατόν να βρίσκεται με φυσικό τρόπο τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά, με τη συγκέντρωσή του να μαρτυρά την προέλευσή του νερού αλλά και να καθορίζει παράλληλα την καταλληλότητα του για κάθε χρήση (πόσιμο νερό, νερό για άρδευση ή νερό για βιομηχανική χρήση). Ωστόσο, ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αυτού (>500 mg/L) στα υπόγεια νερά αποτελούν συνήθως ένδειξη ρύπανσης από χώρους διάθεσης στερεών αποβλήτων, διοχέτευση αστικών λυμάτων ή θαλάσσια διείσδυση. Ακόμη, η παρουσία χλωρίου στα φυσικά νερά είναι πιθανόν να οφείλεται στην απόπλυση του αλατιού που χρησιμοποιείται κατά τους χειμερινούς μήνες στους δρόμους για το λιώσιμο του πάγου.

Το χλώριο δεν είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Παρόλα αυτά, όταν βρίσκεται στο νερό σε συγκεντρώσεις άνω των 250 mg/L προσδίδει σε αυτό αλμυρή γεύση (Τσιχριντζής 2017).

Υπολειμματικό Χλώριο (Cl_2)

Το Cl_2 χρησιμοποιείται για λόγους απολύμανσης του νερού και των υγρών αποβλήτων, ενώ δεν απαντάται στο νερό με φυσικό τρόπο. Παρότι στην αέρια του μορφή είναι τοξικό, η παρουσία του υπολειμματικού χλωρίου σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα υδατικά διαλύματα δεν εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Το βασικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει ως απολυμαντικό είναι η παραμονή του στις σωληνώσεις των δικτύων ύδρευσης, εξασφαλίζοντας έτσι την επιθυμητή υγειονομική ποιότητα. Σημαντικό μειονέκτημα, ωστόσο, της χρήσης υπολειμματικού χλωρίου είναι ο ενδεχόμενος σχηματισμός τοξικών ενώσεων (τριαλογονομεθάνια, χλωροφόρμιο) κατά την αντίδρασή του με οργανικές ενώσεις (Τσιχριντζής 2017).

Θειικά (SO_4^{2-})

Τα θειικά ιόντα απαντώνται συχνά τόσο στα φυσικά νερά, εξαιτίας κυρίως των πετρωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό, όσο και στα υγρά απόβλητα. Η συγκέντρωση των θεικών στο πόσιμο νερό δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στην περίπτωση ωστόσο όπου αυτή υπερβαίνει τα 250 mg/L επηρεάζει τη γεύση και την οσμή του. Η συγκεκριμένη τιμή έχει οριστεί ως παραμετρική τιμή συγκέντρωσης των θεικών ιόντων, τόσο από την Οδηγία 98/83/EΚ όσο και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), προς αποφυγή των ανωτέρω προβλημάτων. Ακόμη, η παρουσία θεικών είναι πιθανό να προκαλέσει διάβρωση του δικτύου ύδρευσης ή των υγειονομικών υπονόμων (Τσιχριντζής 2017, Αργυράκη 2014).

Τοξικές-ραδιενεργές ουσίες

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν ουσίες, οι οποίες υπό συνθήκες απουσίας ρύπανσης εμφανίζονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις ή και καθόλου στους υδάτινους αποδέκτες. Η παρουσία τους στο νερό, ακόμη και σε πολύ μικρές ποσότητες, μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιβλαβής τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τους υδρόβιους οργανισμούς. Ορισμένοι από τους σημαντικότερους τοξικούς ρύπους είναι τα σύνθετα οργανικά δηλητήρια, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο, τα φθοριούχα και ραδιενεργά υλικά, καθώς και ουσίες όπως το νικέλιο, το χρώμιο, το αρσενικό, το σελήνιο κ.λ.π., οι οποίες προκαλούν επίσης τοξικές επιπτώσεις σε περίπτωση υπέρβασης συγκεκριμένων ποιοτικών ορίων (Μαμάης 2008).

2.1.3 Βιολογικές παράμετροι ποιότητας νερού

Η παρουσία ή η απουσία συγκεκριμένων οργανισμών στο νερό αποτελεί καθοριστικό κριτήριο τόσο για την αξιολόγηση της καταλληλότητας ενός δεδομένου υδατικού σώματος για συγκεκριμένη χρήση νερού όσο και για τη διερεύνηση της βιολογικής ισορροπίας του εξεταζόμενου υδάτινου οικοσυστήματος. Ειδικότερα, η μεγάλη ποικιλία ψαριών και εντόμων ή αντίθετα η υπερίσχυση ορισμένων «ανθεκτικότερων» ειδών έναντι άλλων μπορούν να αποτελέσουν σημαντικές ενδείξεις καλής υγείας του νερού ή ενδεχόμενης ρύπανσης, αντίστοιχα. Ακόμη, στα φυσικά νερά απαντάται πλήθος μικροοργανισμών, εκ των οποίων ορισμένοι ενδέχεται να είναι δυνητικά παθογόνοι. Τέτοιοι οργανισμοί, οι οποίοι είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, μπορούν να είναι ορισμένα βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, ιοί ή παράσιτα. Η παρουσία τους στο νερό οφείλεται σε περιπτώματα μολυσμένων ανθρώπων ή ζώων και υποδεικνύει ρύπανση του νερού με υγρά απόβλητα. Δεδομένου του πλήθους των δυνητικά παθογόνων μικροοργανισμών που ενδέχεται να εμπεριέχονται στο νερό και, κατ' επέκταση, του υψηλού κόστους και του σημαντικού χρόνου που θα απαιτούνταν για την ανίχνευση του συνόλου τους, έχει καθιερωθεί η χρήση συγκεκριμένων μικροβιακών δεικτών, οι οποίοι πιστοποιούν την ύπαρξη ρύπανσης από υγρά απόβλητα και, συνεπώς, την ενδεχόμενη ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών (Βελονάκης 2001, Τσιχριντζής 2017).

Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι μικροβιακοί δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηρίδια, τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια και οι περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι.

Κολοβακτηρίδια (Coliforms)

Τα κολοβακτηριοειδή αποτελούν τη σημαντικότερη μικροβιολογική παράμετρο ανίχνευσης παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό. Ανιχνεύονται και μετρώνται σχετικά εύκολα, ενώ

συγκριτικά με τους υπόλοιπους παθογόνους μικροοργανισμούς επιβιώνουν για μεγαλύτερο διάστημα. Ο εντοπισμός τους στο εξεταζόμενο δείγμα νερού υποδηλώνει πιθανή πρόσφατη ρύπανση από υγρά απόβλητα, ωστόσο η προέλευση τους θα πρέπει να διερευνείται καθώς είναι πιθανό να οφείλονται στο χώμα ή τα φυτά. Η απουσία κολοβακτηριδίων από το νερό συνεπάγεται την απουσία πρόσφατης κοπρανώδους μόλυνσης και, κατ' επέκταση, τη σχετικά απίθανη ύπαρξη στο δείγμα παθογόνων μικροοργανισμών (Βελονάκης 2001, Τσιχριντζής 2017).

Τα κολοβακτηριοειδή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ολικά και τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια:

- i. Τα **Ολικά Κολοβακτηρίδια (Total Coliforms-TC)** είναι δυνατόν να προέρχονται και από άλλες πηγές, πέραν των περιττωμάτων ανθρώπων και ζώων, όπως είναι το χώμα και τα φυτά. Κατά συνέπεια, ο εντοπισμός τους στο μελετώμενο δείγμα δεν μαρτυρά κατ' ανάγκη την ύπαρξη κοπρανώδους μόλυνσης εάν δεν εξεταστούν και άλλες βακτηριολογικές παράμετροι συμπληρωματικά. Η αδυναμία του δείκτη να καθορίσει επακριβώς την προέλευση της μόλυνσης του νερού, τον καθιστά καταλληλότερο για περιπτώσεις διερεύνησης της καταλληλότητας του νερού για πόση, όπου επιδιώκεται η πλήρης απουσία κολοβακτηριδίων ανεξαρτήτως προέλευσης.
- ii. Τα **Περιττωματικά Κολοβακτηρίδια (Fecal Coliforms-FC)** αποτελούν υποομάδα των ολικών κολοβακτηριδίων και, δεδομένου ότι προέρχονται από το γαστρεντερικό σωλήνα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων, ο εντοπισμός τους στο νερό συνδέεται αποκλειστικά με την ύπαρξη κοπρανώδους μόλυνσης. Κατά συνέπεια, καθίσταται αυτονόητο το ενδεχόμενο ύπαρξης και παθογόνων μικροβίων. Η διαφορά των περιττωματικών από τα ολικά κολοβακτηρίδια έγκειται στην ικανότητα τους να αναπτύσσονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Η *Escherichia coli* αποτελεί το συχνότερο μέλος της ομάδας των περιττωματικών κολοβακτηριδίων, αλλά είναι δυνατόν να εμπεριέχονται και άλλα είδη όπως *Klebsiella* ή *Enterobacter*. Σε αντίθεση με τα ολικά κολοβακτηρίδια, η χρήση του συγκεκριμένου μικροβιακού δείκτη αφορά κυρίως τα φυσικά επιφανειακά ή υπόγεια νερά (Βελονάκης 2001, Τσιχριντζής 2017).

Περιττωματικοί Στρεπτόκοκκοι (Fecal Streptococci-FS)

Οι στρεπτόκοκκοι κοπράνων αποτελούν μία ομάδα μικροοργανισμών οι οποίοι απαντώνται στα περιττώματα των ζώων. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπληρωματικός δείκτης, πέραν των κολοβακτηριδίων, προκειμένου να καθοριστεί εάν τα τελευταία προέρχονται από τα περιττώματα ανθρώπων ή ζώων. Ειδικότερα, ο προσδιορισμός της προέλευσης της κοπρανώδους μόλυνσης πραγματοποιείται ελέγχοντας το λόγο των περιττωματικών κολοβακτηριδίων προς τους περιττωματικούς στρεπτόκοκκους. Στην περίπτωση όπου ο λόγος αυτός υπερβαίνει την τιμή 2, η υφιστάμενη μόλυνση είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Σε αντίθετη περίπτωση, η κοπρανώδης μόλυνση οφείλεται σε ζώα (Βελονάκης 2001, Τσιχριντζής 2017).

2.2 Κατηγορίες ρύπανσης υδάτινων οικοσυστημάτων

Οι ποιοτικές παράμετροι που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα συνδέονται με την πρόκληση ποικίλων περιβαλλοντικών προβλημάτων στα φυσικά νερά, όπως είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, η απόδοση δυσάρεστης οσμής, γεύσης και χρώματος, ο ευτροφισμός, η αποξυγόνωση, η θερμική ρύπανση, η τοξικότητα και η παθογένεια. Οι εν λόγω κατηγορίες

ρύπανσης δεν διαχωρίζονται με σαφή όρια μεταξύ τους, καθώς ενδέχεται περισσότερες από μία να συμβαίνουν ταυτόχρονα, ενώ ακόμη είναι πιθανό η εμφάνιση μίας εκ των προαναφερθέντων μορφών ρύπανσης να συντελεί στην εμφάνιση κάποιας άλλης.

Έτσι, η **υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά** στα φυσικά νερά είναι δυνατόν, ανάλογα με τη σύσταση των τελευταίων, να συντελεί στην εμφάνιση μίας ή περισσότερων μορφών ρύπανσης, όπως χρώμα, οσμή, γεύση, τοξικότητα, ευτροφισμό, αποξυγόνωση και παθογένεια. Η εμφάνιση των στερεών σε υψηλές συγκεντρώσεις τείνει να υποβαθμίζει την αισθητική αξία των υδάτινων σωμάτων, επιδρώντας στα επίπεδα του χρώματος και της θολερότητας του νερού. Παρότι η απουσία διαφάνειας στο νερό συνιστά από μόνη της παράμετρο περιβαλλοντικής υποβάθμισης, οι υψηλές τιμές χρώματος και θολερότητας παρεμποδίζουν παράλληλα τη διέλευση ηλιακής ακτινοβολίας επαρκούς ποσότητας για την επιτέλεση της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης και, συνεπώς, την παραγωγή οξυγόνου, συντελώντας έτσι στην αποξυγόνωση του αποδέκτη (Μαμάης 2008).

Ως κύρια αιτία του **ευτροφισμού** των επιφανειακών υδάτων, δηλαδή της υπερβολικής ανάπτυξης αλγών, αναγνωρίζεται ο εμπλουτισμός τους με άζωτο και φωσφόρο, στοιχεία τα οποία καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες ως αποτέλεσμα της υπερλίπανσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων αλλά και της απόρριψης σε αυτούς κτηνοτροφικών και αστικών λυμάτων καθώς και βιομηχανικών αποβλήτων. Η χορήγηση λιπασμάτων σε ποσότητες μεγαλύτερες από την ικανότητα αφομοίωσης των φυτών έχει σαν συνέπεια τη μεταφορά της εναπομένουσας ποσότητας λιπάσματος -με τη μορφή ανόργανου αζώτου και φωσφόρου- στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα μέσω της επιφανειακής απορροής και της διήθησης (Μαμάης 2008).

Ο ευτροφισμός των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων είναι στην πραγματικότητα μία φυσιολογική διαδικασία, η οποία συνιστά το αποτέλεσμα της γήρανσης τους. Υπό κανονικές συνθήκες, πραγματοποιείται με ιδιαίτερα αργούς ρυθμούς και μπορεί να διαρκέσει αιώνες ή και χιλιετίες. Συνίσταται στην αναπόφευκτη μεταφορά μέσω της απορροής φυσικών θρεπτικών συστατικών, φωσφορικών αποσαθρωμένων πετρωμάτων αλλά και νεκρής οργανικής ύλης, η οποία μέσω της αποσύνθεσης της αποδίδει και εκείνη ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Η διαδικασία επισπεύδεται σημαντικά ως αποτέλεσμα της ρύπανσης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που περιγράφηκαννωρίτερα. Η υπερσυσσώρευση ανόργανου αζώτου και φωσφόρου συντελεί στην υπέρμετρη ανάπτυξη αλγών, διαταράσσοντας την ισορροπία του υδάτινου οικοσυστήματος και επιφέροντας δυσμενείς επιπτώσεις για τους υδρόβιους οργανισμούς (Μαμάης 2008).

Ανάλογα με την τροφική τους κατάσταση, τα υδάτινα σώματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες, τα ολιγοτροφικά, τα μεσοτροφικά και τα ευτροφικά. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι επιφανειακοί υδάτινοι αποδέκτες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από χαμηλή παραγωγή αλγών και ψαριών, λόγω των περιορισμένων συγκεντρώσεων σε θρεπτικά στοιχεία. Τα εν λόγω υδάτινα σώματα χαρακτηρίζονται, κατ' επέκταση και από υψηλή διαύγεια. Στην κατηγορία των ευτροφικών υδάτινων σωμάτων συγκαταλέγονται εκείνα στα οποία παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών και αλγών και χαρακτηρίζονται, κατά συνέπεια, από χαμηλά επίπεδα διαύγειας. Τα επίπεδα παραγωγής των ψαριών στη συγκεκριμένη περίπτωση ενδέχεται να ποικίλουν, καθώς μέχρι ενός ορισμένου σημείου όπου δεν επηρεάζονται τα επίπεδα οξυγόνου η ευτροφική κατάσταση του υδάτινου σώματος συντελεί στην αύξηση της παραγωγής τους, με ενδεχόμενο, ωστόσο, περιορισμό της ποικιλίας των ειδών (Μαμάης 2008).

Κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα στα οποία συντελεί το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι η μείωση της διαφάνειας του νερού, η αποξυγόνωση, η δημιουργία οσμών, χρώματος και δυσάρεστης γεύσης και η ενδεχόμενη εμφάνιση τοξικότητας.

Η μείωση της διαφάνειας του νερού συνδέεται με την αύξηση των επιπέδων θολερότητας που επιφέρει η υπερβολική ανάπτυξη των αλγών. Πέρα από τις αισθητικές συνέπειες που συνεπάγεται η υπερσυσσώρευση τους, η δημιουργία ενός πυκνού στρώματος αλγών στην επιφάνεια εμποδίζει ικανή ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας να διαπεράσει τα ανώτερα στρώματα νερού, δυσχεραίνοντας έτσι τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αλγών που βρίσκονται κάτω από τα στρώματα αυτά και συντελώντας στη μείωση της παραγωγής οξυγόνου. Παράλληλα, η υψηλή συγκέντρωση αλγών στα επιφανειακά στρώματα νερού διακόπτει την τροφοδότηση του υδατικού σώματος με οξυγόνο διαμέσω της ατμόσφαιρας (Μαμάης 2008).

Ο κίνδυνος αποξυγόνωσης εντείνεται σημαντικά ως αποτέλεσμα της αναπνοής των αλγών, διαδικασίας αντίστροφης από εκείνη της φωτοσύνθεσης, κατά την οποία καταναλώνεται οξυγόνο από τα υδρόβια φυτά και αποδίδεται διοξείδιο του άνθρακα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιπτώσεις ιδιαίτερα χαμηλής ηλιοφάνειας ενδέχεται τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στο νερό να μειωθούν σημαντικά, καθώς το παραγόμενο κατά τη διάρκεια της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας οξυγόνο δε θα επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών αναπνοής των αλγών. Ακόμη, με το θάνατο των αλγών διακόπτεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα τους και κατ' επέκταση η παραγωγή οξυγόνου, ενώ, παράλληλα, δημιουργείται οργανική ύλη για την αποικοδόμηση της οποίας απαιτείται από τους μικροοργανισμούς η κατανάλωση περεταίρω οξυγόνου. Τέλος, ο θάνατος τους έχει σαν συνέπεια τη μεταφορά στο υδάτινο περιβάλλον του αζώτου και του φωσφόρου των κυττάρων τους, συντελώντας έτσι στη διατήρηση της ευτροφικής κατάστασης (Μαμάης 2008).

Το φαινόμενο του ευτροφισμού, όπως αναφέρθηκε, ενδέχεται να συνδέεται με την εμφάνιση τοξικότητας, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα είδη αλγών, λόγω των τοξικών ουσιών που παράγουν, είναι πιθανό να προκαλέσουν ασθένειες τόσο στον άνθρωπο και στα ζώα όσο και στα ψάρια. Επιπλέον, ανάλογα με τα είδη των αλγών και τις τοπικές συνθήκες, ο ευτροφισμός ενδέχεται να αποδώσει δυσάρεστη οσμή και γεύση στο νερό, χαρακτηριστικά τα οποία αρκετές φορές παραμένουν σε αυτό ακόμη και μετά από κατάλληλη επεξεργασία του (Μαμάης 2008).

Η επόμενη κατηγορία ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών, η **αποξυγόνωση**, είναι κατά βάση συνυφασμένη με την παρουσία στο νερό οργανικής ύλης. Οι οργανικές ύλες, όταν δεν οφείλονται σε φυσικά αίτια, όπως είναι η αποσύνθεση των φυτικών και ζωικών οργανισμών του υδάτινου περιβάλλοντος, προέρχονται κυρίως από τις απορρίψεις λυμάτων αστικής, γεωργικής ή βιομηχανικής προέλευσης, στα οποία απαντώνται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Η παρουσία τους στο νερό αποτελεί σημαντική μορφή ρύπου και μετράται συνήθως βάσει του αποξυγονωτικού τους αποτελέσματος, δηλαδή της ποσότητας του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους αποικοδομητικούς μικροοργανισμούς για τη βιολογική οξείδωσή τους (BOD). Συνεπακόλουθα, υψηλή συγκέντρωση οργανικών υλών ενδέχεται να οδηγήσει σε αποξυγόνωση του αποδέκτη. Σε υψηλή κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη συντελεί, ακόμη, η μετατροπή του προερχόμενου από λύματα αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα, διεργασία κατά την οποία τα νιτροποιητικά βακτήρια καταναλώνουν οξυγόνο (Μαμάης 2008).

Η εμφάνιση **τοξικότητας** στα νερά συνδέεται κατά κύριο λόγο με την παρουσία οξέων και βάσεων καθώς και βαρέων μετάλλων, εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος και ο υδράργυρος. Τα οξέα και οι βάσεις επιδρούν στο pH των φυσικών νερών δυσχεραίνοντας τη διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών, οι οποίοι δεν μπορούν να επιβιώσουν σε ιδιαίτερα όξινη ή αλκαλικές συνθήκες. Τα οξέα και οι βάσεις προέρχονται κυρίως από τη βιομηχανική δραστηριότητα, ωστόσο, ενδέχεται να καταλήξουν στον υδάτινο αποδέκτη και με φυσικό τρόπο, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της όξινης βροχής όπου τα οξείδια του αζώτου και του θείου της ατμόσφαιρας μεταφέρονται στα επιφανειακά νερά. Ισχυρή τοξικότητα παρουσιάζουν, ακόμη, η ελεύθερη αμμωνία (NH₃), η οποία είναι ιδιαίτερα τοξική για τα ψάρια, καθώς και τα νιτρικά (NO₃⁻), τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σε βρέφη τη νόσο της κυάνωσης. Τέλος, η χρήση διαφόρων τοξικών ενώσεων, όπως είναι τα παρασιτοκτόνα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως από τους γεωργούς και συχνά μέρος αυτών καταλήγει στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, αποτελούν μία ακόμη αιτία εμφάνισης τοξικών συνθηκών στα φυσικά νερά (Μαμάης 2008).

Η εμφάνιση **παθολογείας** στο νερό οφείλεται στην παρουσία σε αυτό παθογόνων μικροοργανισμών. Οι εν λόγω μικροοργανισμοί, όπως έχει ήδη αναφερθεί, καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες μέσω των αστικών ή των κτηνοτροφικών λυμάτων και προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που φέρουν την αντίστοιχη ασθένεια. Η άμεση ή έμμεση χρήση μολυσμένου νερού από τον άνθρωπο για διάφορους σκοπούς π.χ. ύδρευση, άρδευση, αναψυχή, αλιεία κ.λ.π. εγκυμονεί τον κίνδυνο της μετάδοσης των ασθενειών αυτών. Αυξημένη συγκέντρωση παθογόνων μικροβίων συνεπάγεται και αυξημένη παθολογία, δηλαδή περισσότερες πιθανότητες να εισέλθει το παθογόνο μικρόβιο στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω κάποιας από τις παραπάνω χρήσεις. Συχνότερα απαντώμενος ιός στο νερό είναι εκείνος της λοιμώδους ηπατίτιδας, ενώ τα συνηθέστερα παθογόνα βακτήρια είναι εκείνα του τύπου και παρατύπου, της δυσεντερίας και της χολέρας.

Τέλος, η **θερμική ρύπανση** αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες μορφές ρύπανσης, δεδομένου του ρόλου του θερμοκρασιακού παράγοντα στην επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών αλλά και στην επιτέλεση των περισσότερων βιοχημικών διεργασιών του υδάτινου περιβάλλοντος. Η εμφάνιση θερμικής ρύπανσης προκύπτει συνήθως ως αποτέλεσμα της διοχέτευσης θερμών αποβλήτων στον υδάτινο αποδέκτη. Η υψηλή άνοδος της θερμοκρασίας ενδέχεται να προκαλέσει την ασφυξία και το θάνατο των ψαριών λόγω της αδυναμίας τους να ανταποκριθούν στη συνεπακόλουθη αύξηση του μεταβολικού τους ρυθμού. Παράλληλα, για μικρότερες αυξήσεις της θερμοκρασίας οι οποίες δεν επιφέρουν το θάνατο των ψαριών, ενδέχεται να σημειωθούν προβλήματα στην αναπαραγωγή τους καθώς και ευαισθησία σε τοξικές ουσίες (Μαμάης 2008).

2.3 Ποιότητα νερού και ισχύον Θεσμικό Πλαίσιο

Η κρισιμότητα της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού τόσο για τη διαφύλαξη των υδάτινων οικοσυστημάτων όσο και για τη δημόσια υγεία αναγνωρίστηκε από τον Ο.Η.Ε. και το 1975, στο πλαίσιο του προγράμματος του για το περιβάλλον (UNEP), ιδρύθηκε το Παγκόσμιο Σύστημα Περιβαλλοντικού Ελέγχου (Global Monitoring Environmental System, GEMS). Από τότε έχουν εφαρμοσθεί πολλά διεθνή προγράμματα ελέγχου, ενώ διάφοροι οργανισμοί ή φορείς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organisation, WHO) και η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (Environmental Protection Agency, EPA) έχουν προβεί στη θέσπιση ποιοτικών προτύπων καθώς και τιμών-οδηγών (guideline values) για τις διάφορες ποιοτικές

παραμέτρους, προκειμένου να εξασφαλίζονται οι ελάχιστες ποιοτικές απαιτήσεις, οι οποίες θα καθιστούν το νερό ασφαλές για τη δημόσια υγεία. Παρόμοια δράση ανέλαβε η Ευρωπαϊκή Ένωση το 1977 μέσω της θέσπισης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών νερών (Απόφαση 77/795/ΕΟΚ) (Καλογερόπουλος 2007). Η ορθολογική διαχείριση των επιφανειακών υδάτων μέσω του σχεδιασμού προγραμμάτων παρακολούθησης των ποιοτικών τους παραμέτρων αποτελεί σημαντική προτεραιότητα της Ε.Ε. τα τελευταία χρόνια. Στο πλαίσιο αυτό, και αναγνωρίζοντας τη σημασία κοινού καθορισμού ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων των επιφανειακών υδάτων, έχει προβεί στη δημιουργία του αναγκαίου νομοθετικού πλαισίου μέσω της θέσπισης συγκεκριμένων προτύπων και οδηγιών. Κατ' αντιστοιχία, η Ελληνική Εθνική Νομοθεσία ακολουθώντας τις ανωτέρω Ευρωπαϊκές Οδηγίες έχει διαμορφώσει το αντίστοιχο θεσμικό πλαίσιο προστασίας και παρακολούθησης της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων της χώρας. Ορόσημο στον τομέα αυτό αποτελεί η Οδηγία 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», μέσω της οποίας καθορίζεται το γενικότερο πλαίσιο μέτρων και δράσεων προς υλοποίηση από πλευράς των Κρατών Μελών προκειμένου να αποφευχθεί η περαιτέρω υποβάθμιση όλων των υδατικών πόρων και να επιτευχθεί η «καλή κατάσταση» αυτών έως το 2015. Συμπληρωματικά, Κοινοτικές Οδηγίες, οι οποίες αφορούν στην αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων σε συνάρτηση με τη χρήση τους καθορίζουν το σχετικό πλαίσιο για τον έλεγχο της ποιότητας και τη διαχείριση των υδάτων που προορίζονται για χρήσεις όπως το πόσιμο νερό, την κολύμβηση, τη διαβίωση ιχθύων και την αλιεία οστρακοειδών (ΚΕΕΛΠΝΟ 2015).

2.3.1 Προστασία και Διαχείριση Υδάτων

Μέσω της Οδηγίας 2000/60 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου παρέχεται ένα κοινό πλαίσιο μέτρων και δράσεων σχετικών με την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων των Κρατών Μελών της Ε.Ε., ενώ προσδιορίζονται παράλληλα συγκεκριμένες προθεσμίες εντός των οποίων πρέπει αυτά να υλοποιηθούν. Η εν λόγω Οδηγία θέτει πολυάριθμους στόχους, όπως είναι η πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης, η προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού, η βελτίωση της κατάστασης των υδατικών οικοσυστημάτων, ο μετριασμός των αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών και της ξηρασίας, ενώ, παράλληλα, μεριμνά για την προώθηση της αειφόρου διαχείρισης των διασυνοριακών λεκανών απορροής. Ως βασικός στόχος της Οδηγίας ορίζεται η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των κοινοτικών υδάτων και η επίτευξη «καλής κατάστασης» αυτών από οικολογική και χημική άποψη έως το 2015. Στην κατεύθυνση αυτή, μεταξύ άλλων, εισάγονται ποιοτικοί, ποσοτικοί και οικολογικοί έλεγχοι για την διαφύλαξη των υδάτινων οικοσυστημάτων, ενώ παράλληλα, τίθεται ως γεωγραφική κλίμακα αναφοράς για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων, η Λεκάνη Απορροής Ποταμού (Λ.Α.Π.). Επιπρόσθετα, επαναπροσδιορίζεται η έννοια της τελευταίας, η οποία ορίζεται ως το σύνολο των εσωτερικών επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, των μεταβατικών υδάτων, αλλά και των παράκτιων οικοσυστημάτων, ενώ για καθεμία από τις Λεκάνες Απορροής καθορίζονται, μέσω της κατάστρωσης Διαχειριστικών Σχεδίων, οι αναγκαίες ενέργειες και τα απαραίτητα διαχειριστικά μέτρα που πρέπει να ληφθούν εντός καθορισμένων χρονικών πλαισίων.

Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο, ως «επιφανειακά ύδατα» ορίζονται τα εσωτερικά ύδατα εξαιρουμένων των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά καθώς και τα παράκτια ύδατα. Ως «κατάσταση επιφανειακών υδάτων» νοείται η συνολική έκφραση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδάτινου οικοσυστήματος, έτσι όπως αυτή καθορίζεται βάσει των χαμηλότερων τιμών των παραμέτρων που

περιγράφουν τη χημική και την οικολογική του κατάσταση. Ο καθορισμός της οικολογικής κατάστασης ενός δεδομένου υδάτινου σώματος πραγματοποιείται βάσει τόσο των αβιοτικών (υδρομορφολογικά και φυσικοχημικά) όσο και των βιοτικών (φυτοπλαγκτόν, μακρόφυτα, βενθικά ασπόνδυλα, ιχθυοπανίδα) στοιχείων. Σύμφωνα με τα παραρτήματα της Οδηγίας, τα φυσικοχημικά ποιοτικά στοιχεία κατηγοριοποιούνται στα γενικά φυσικοχημικά, στους συγκεκριμένους μη-προτεραιότητας ρύπους, οι οποίοι αναγνωρίζεται ότι απορρίπτονται σε σημαντικές ποσότητες στο εξεταζόμενο υδάτινο οικοσύστημα και στους συγκεκριμένους ρύπους προτεραιότητας, οι οποίοι καθορίζονται βάσει της Απόφασης 2455/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (ΚΕΕΛΠΙΝΟ 2015).

Με βάση την Οδηγία, όλα τα κοινοτικά επιφανειακά ύδατα θα πρέπει να αξιολογηθούν και να ταξινομηθούν σύμφωνα με πέντε κατηγορίες ποιοτικής κατάστασης: (α) υψηλή, (β) καλή, (γ) μέτρια, (δ) φτωχή, (ε) κακή, με την υψηλή ποιοτική κατάσταση να αντιστοιχεί σε ένα αδιατάρακτο υδάτινο οικοσύστημα και τις υπόλοιπες ποιοτικές κλάσεις να υποδηλώνουν μικρότερες ή μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη συνθήκη αναφοράς.

Το Ελληνικό Εθνικό Δίκαιο εναρμονίστηκε με της διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου μέσω του Ν. 3199/2003 (ΦΕΚ 54/08.03.2003), ενώ μέσω του Π.Δ. 51/2007 (ΦΕΚ 54/08.03.2007) προσδιορίστηκαν οι κανονιστικές διατάξεις για την εφαρμογή του εν λόγω νόμου. Ειδικότερα, βάσει των διατάξεων αυτών ορίστηκαν οι φορείς για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων, οι κανόνες σύστασής τους, οι αρμοδιότητες και οι ευθύνες τους. Ακόμη, προσδιορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα απόκρισης στην κατάρτιση και υποβολή σχεδίων διαχείρισης, το πρόγραμμα παρακολούθησης της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, το πρόγραμμα μέτρων καθώς και τα επίπεδα ανάκτησης κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις επιμέρους χρήσεις.

2.3.2 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων για ανθρώπινη κατανάλωση

Η σημαντικότερη οδηγία της Ε.Ε. για το πόσιμο νερό είναι η Οδηγία 98/83/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Η συγκεκριμένη οδηγία, αναγνωρίζοντας τις δυσμενείς επιπτώσεις της μόλυνσης του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, στοχεύει στην προστασία της υγείας των καταναλωτών της Ε.Ε. μέσω της διασφάλισης της υγιεινής και της καθαρότητας του. Σύμφωνα με την οδηγία, ως «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης» νοείται το νερό, είτε στη φυσική του μορφή είτε ύστερα από επεξεργασία, το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής καθώς και για άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από το εάν αυτό παρέχεται στον καταναλωτή από δίκτυο διανομής, από βυτίο ή σε φιάλες. Στο «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης» εμπεριέχεται, ακόμη, το νερό που χρησιμοποιείται από τις επιχειρήσεις παρασκευής τροφίμων για την παραγωγή, την επεξεργασία ή τη συντήρηση προϊόντων που πρόκειται να καταναλωθούν από τον άνθρωπο, ενώ από την οδηγία εξαιρούνται φυσικά μεταλλικά νερά και τα φαρμακευτικά ιδιοσκευάσματα. Η οδηγία κατατάσσει τις ποιοτικές παραμέτρους σε τρεις επιμέρους κατηγορίες: (α) τις μικροβιολογικές, (β) τις χημικές και (γ) τις ενδεικτικές, εκ των οποίων οι δύο πρώτες λαμβάνουν επιτακτικό χαρακτήρα και συνεπώς για τις αντίστοιχες παραμέτρους προσδιορίζονται τιμές οι οποίες αντιστοιχούν στις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις. Η κατηγορία των ενδεικτικών παραμέτρων περιλαμβάνει τις ποιοτικές μεταβλητές, για τις οποίες ορίζονται οι ενδεδειγμένες συγκεντρώσεις για λόγους παρακολούθησης. Στην περίπτωση αυτή, οι Χώρες Μέλη της Ε.Ε. υποχρεούνται να εξετάζουν κατά πόσο η μη τήρηση τους επιφέρει κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία (ΚΕΕΛΠΙΝΟ 2015).

Η εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας με την Οδηγία 98/83/ΕΚ της Ε.Ε. έγινε το 2001 μέσω της υπ' αριθμ. Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/11.07.2001), η οποία βρίσκεται σε ισχύ από τις 25 Δεκεμβρίου 2003.

2.3.3 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων κολύμβησης

Το Νομοθετικό Πλαίσιο του ελέγχου ποιότητας και της διαχείρισης των νερών κολύμβησης καθορίζεται σε εθνικό επίπεδο μέσω της Κ.Υ.Α. 8600/416/Ε103/2009 (ΦΕΚ 356/Β/26.02.2009) σε συμμόρφωση με την αντίστοιχη κοινοτική Οδηγία 2006/7/ΕΚ σχετικά με τη διαχείριση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης. Η τελευταία, η οποία αντικατέστησε την παλαιότερη κοινοτική Οδηγία 76/160/ΕΟΚ, βασίζεται κυρίως σε επιστημονικά και ερευνητικά δεδομένα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), ενώ ορισμένα από τα βασικά στοιχεία της είναι τα ακόλουθα:

- i. Περιορισμός των παραμέτρων παρακολούθησης από 19 σε 2 σημαντικές βακτηριολογικές παραμέτρους, τους εντερόκοκκους και τα κολοβακτηρίδια
- ii. Αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης μίας δεδομένης περιοχής νερών κολύμβησης βάσει των ποιοτικών δεδομένων της τρέχουσας καθώς και των προηγούμενων τριών κολυμβητικών περιόδων
- iii. Ταξινόμηση της περιοχής βάσει τεσσάρων κατηγοριών ποιότητας των νερών κολύμβησης (εξαιρετική, καλή, επαρκής και ανεπαρκής)
- iv. Καθιέρωση της έννοιας της «ταυτότητας των ακτών κολύμβησης» σύμφωνα με την οποία προσδιορίζονται τα φυσικά, γεωγραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση, ενώ παράλληλα εντοπίζονται και αξιολογούνται τα αίτια ρύπανσης που ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα των νερών κολύμβησης (ΚΕΕΛΠΝΟ 2015).

2.3.4 Ποιότητα επιφανειακών υδάτων για τη διαβίωση ιχθύων και την αλιεία οστρακοειδών

Τα υφιστάμενα πρότυπα ποιότητας των επιφανειακών υδάτων όσον αφορά στη διαβίωση των ιχθύων και την αλιεία οστρακοειδών εμπεριέχονται στην εναρμονισμένη με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986). Σύμφωνα με την Οδηγία και την αντίστοιχη εθνική νομοθεσία, ο καθορισμός των ποιοτικών ορίων πραγματοποιείται βάσει του διαχωρισμού των υδάτων σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τα είδη των ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν σε κάθε επιμέρους περιοχή. Έτσι, τα επιφανειακά ύδατα ταξινομούνται σε ύδατα σαλμονίδων, στα οποία ευδοκιμούν είδη όπως οι σολωμοί, οι πέστροφες, οι σκιαθίδες και τα Coregomes και σε ύδατα κυπρινίδων, όπου αναπτύσσονται κυρίως ψάρια τα οποία ανήκουν στην οικογένεια των κυπρινοειδών, αλλά και άλλα είδη όπως οι λάβρακες, οι πέρκες και οι έγγχειις. Για τις 2 κατηγορίες ιχθύων ορίζονται 14 ποιοτικές παράμετροι, μεταξύ των οποίων η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, το BOD, η ελεύθερη αμμωνία, τα αμμωνιακά, τα νιτρώδη κ.α., ενώ για καθεμία από αυτές προσδιορίζονται το επιθυμητό καθώς και το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης τους (ΚΕΕΛΠΝΟ 2015).

3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

3.1 Γενικά

Ο πρώτος σύγχρονος Δείκτης Ποιότητας Νερού εισήχθη στην επιστημονική κοινότητα το 1965 από τον Horton (Debels et al. 2005). Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη ιδέα, στη βάση της, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά περισσότερο από 150 χρόνια πριν, το 1848, στη Γερμανία, όπου η παρουσία ορισμένων οργανισμών στο νερό ή η απουσία αυτών, χρησιμοποιούνταν ως μία ένδειξη της καταλληλότητας του για χρήση. Παράλληλα και πέραν των περιβαλλοντικών δεικτών, η ιδέα της χρήσης ενός δείκτη ο οποίος θα αντανακλά μέσω μίας και μόνο τιμής την κατάσταση πολλών επιμέρους μεταβλητών βρίσκει ευρεία εφαρμογή εδώ και πολλά χρόνια σε διάφορους τομείς, όπως είναι η οικονομία και το εμπόριο, ενώ δείκτες έχουν, ακόμη, χρησιμοποιηθεί στην Οικολογία, την Ιατρική, την Κοινωνιολογία κ.λ.π. (Abbasi and Abbasi 2012).

3.2 Εφαρμογή και χρησιμότητα των Δεικτών Ποιότητας Νερού

Η αξία των Δεικτών Ποιότητας Νερού έχει αναγνωρισθεί παγκοσμίως από πλήθος ερευνητών, ενώ η εφαρμογή τους σε θέματα αξιολόγησης της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων έχει υποστηριχθεί θερμά τα τελευταία χρόνια από οργανισμούς υπεύθυνους για την ύδρευση και τον έλεγχο της ρύπανσης του νερού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση των Δεικτών Ποιότητας Νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ανάγκη μετασχηματισμού των ποιοτικών δεδομένων που έχουν συλλεχθεί και αναλυθεί και αφορούν σε ένα συγκεκριμένο δείγμα νερού, σε μία μορφή εύκολα κατανοητή στο ευρύ κοινό. Πέραν, ωστόσο, της δυνατότητας ερμηνείας ενός συνόλου ποιοτικών χαρακτηριστικών που παρέχουν, οι εν λόγω δείκτες δύνανται να συνεισφέρουν στον εντοπισμό ειδικών περιβαλλοντικών συνθηκών και τάσεων, καθώς και να αποτελέσουν χρήσιμο υποστηρικτικό εργαλείο των αρμόδιων φορέων στη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων. Στην πραγματικότητα, οι Δείκτες Ποιότητας Νερού εμπλέκονται και εξυπηρετούν κάθε επιμέρους σκοπό ο οποίος συνδέεται με τον έλεγχο της ποιότητας του νερού (π.χ. χρήση, επεξεργασία, κατανομή των υδατικών πόρων, ενημέρωση του κοινού κ.ο.κ.) (Abbasi and Abbasi 2012).

Αναλυτικότερα, η χρησιμότητα των συγκεκριμένων δεικτών αποδεικνύεται μέσω της συμβολής τους στους ακόλουθους τομείς:

- i. Κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων: Μέσω του προσδιορισμού της ποιοτικής κατάστασης των διαφόρων υδατικών σωμάτων και του χαρακτηρισμού τους ως κατάλληλων ή μη κατάλληλων για συγκεκριμένες χρήσεις, καθίσταται εφικτή η λήψη αποφάσεων, η οποία σχετίζεται με την κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων και με τον καθορισμό προτεραιοτήτων στη χρήση νερού.
- ii. Κατάταξη των διαθέσιμων υδατικών πόρων βάσει της ποιότητας τους: Η χρήση των δεικτών παρέχει ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, διευκολύνοντας, έτσι, τη σύγκριση και την κατάταξη υδατικών σωμάτων τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και γεωγραφικές περιοχές, βάσει της ποιότητας των υδάτων τους.

- iii. Ισχυροποίηση των προτύπων ποιότητας: Μέσω της εφαρμογής των δεικτών σε συγκεκριμένες περιοχές διευκολύνεται ο προσδιορισμός του βαθμού στον οποίον τα εκάστοτε πρότυπα ποιότητας τηρούνται ή υπερβαίνονται.
- iv. Ανάλυση των υφιστάμενων τάσεων: Ο προσδιορισμός της ποιοτικής κατάστασης ενός δεδομένου υδατικού σώματος σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ευνοεί τον εντοπισμό υφιστάμενων τάσεων οι οποίες συνδέονται είτε με τη βελτίωση είτε με την επιδείνωση της ποιότητας του, με την πάροδο του χρόνου.
- v. Ενημέρωση του κοινού: Η απλή και κατανοητή έκφραση των δεικτών καθιστά εφικτή τη διαρκή ενημέρωση του μη εξειδικευμένου κοινού αναφορικά με την ποιοτική κατάσταση ενός ή περισσότερων υδατικών σωμάτων.
- vi. Επιστημονική έρευνα: Οι Δείκτες Ποιότητας Νερού συνιστούν πολύτιμο εργαλείο στο πλαίσιο της επιστημονικής έρευνας, καθώς συμβάλλουν στη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των λαμβανόμενων κάθε φορά μέτρων, που συνδέονται με την περιβαλλοντική αποκατάσταση των εκάστοτε υδατικών σωμάτων, ασκώντας έλεγχο στις εφαρμοζόμενες πρακτικές και βοηθώντας στη βελτίωση τους (Abbasi and Abbasi 2012).

3.3 Κατηγοριοποίηση Δεικτών Ποιότητας Νερού

Ανάλογα με το είδος των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψιν κάθε φορά για τη διαμόρφωση ενός δείκτη και βάσει των οποίων αξιολογείται, τελικά, η ποιοτική κατάσταση ενός υδατικού σώματος, οι Δείκτες Ποιότητας Νερού διακρίνονται, εν γένει, σε δύο βασικές κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους δείκτες εκείνους οι οποίοι βασίζονται στη χρήση φυσικοχημικών παραμέτρων για την ποιοτική αξιολόγηση του νερού, ενώ στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι δείκτες οι οποίοι βασίζονται στον προσδιορισμό και την απαρίθμηση των βιολογικών οργανισμών που απαντώνται σε ένα δεδομένο δείγμα νερού. Ωστόσο, συναντώνται συχνά δείκτες, όπως ο δείκτης Horton, οι οποίοι, παρότι στη βάση τους χαρακτηρίζονται ως «φυσικο-χημικοί», εμπεριέχουν μία ή περισσότερες βιολογικές παραμέτρους (Abbasi and Abbasi 2012).

3.4 Μεθοδολογία διαμόρφωσης Δεικτών Ποιότητας Νερού

Ανάλογα με την προσέγγιση που πραγματοποιείται για τη δημιουργία ενός Δείκτη Ποιότητας Νερού, οι διαμορφούμενοι δείκτες διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες, στους «δείκτες ποιότητας» και στους «δείκτες ρύπανσης». Η διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών έγκειται στη σχέση η οποία συνδέει τα υφιστάμενα, σε κάθε περίπτωση, επίπεδα ρύπανσης με τις τιμές που λαμβάνει ο δείκτης. Ειδικότερα, στην περίπτωση των δεικτών ποιότητας, οι οποίοι συχνά αναφέρονται και ως δείκτες «φθίνουσας κλίμακας», η τιμή του δείκτη μειώνεται όσο αυξάνει η τιμή της υφιστάμενης ρύπανσης, ενώ για την περίπτωση των δεικτών ρύπανσης-ή αλλιώς «αύξουσας κλίμακας»- συμβαίνει το αντίστροφο (Abbasi and Abbasi 2012).

Σε γενικές γραμμές, ανεξάρτητα από τον τύπο του δημιουργούμενου κάθε φορά δείκτη, τα βήματα τα οποία συνθέτουν τη διαδικασία διαμόρφωσης του είναι τα ακόλουθα:

- i. Επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων που θα ενσωματωθούν στο δείκτη και βάσει των οποίων θα εκχωρηθεί, τελικά, μία τιμή σε αυτόν.
- ii. Μετασχηματισμός των παραπάνω παραμέτρων, οι οποίες εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης και απαντώνται σε διαφορετικά εύρη συγκέντρωσης, σε μία κοινή κλίμακα αναφοράς, μέσω της δημιουργίας υπο-δεικτών.
- iii. Εκχώρηση συντελεστών βάρους, οι οποίοι θα αντανακλούν το βαθμό σημαντικότητας κάθε παραμέτρου για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος.
- iv. Συνδυασμός των επιμέρους υπο-δεικτών, όπως αυτοί διαμορφώθηκαν για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, ώστε να εξαχθεί μία ενιαία τιμή για τον τελικό δείκτη.

Η παραπάνω διαδικασία είναι, γενικά, κοινή για τη διαμόρφωση της πλειονότητας των δεικτών, ωστόσο επιπρόσθετα στάδια είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν ανάλογα με την προσέγγιση που πραγματοποιείται κάθε φορά. Επιπλέον, παρότι τα βήματα (i), (ii) και (iv) θεωρούνται αναγκαία για τη σύνθεση ενός Δείκτη Ποιότητας Νερού, το στάδιο εκχώρησης συντελεστών σημαντικότητας στις επιμέρους παραμέτρους προτού αυτές αθροιστούν, θεωρείται γενικά προαιρετικό και είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις να παραληφθεί (Abbasi and Abbasi 2012).

Παρατηρώντας τα επιμέρους στάδια της διαδικασίας, όπως παρατέθηκαν προηγουμένως, καθίσταται αντιληπτό πως η διαμόρφωση ενός Δείκτη Ποιότητας Νερού εμπεριέχει κάποιο βαθμό υποκειμενικότητας και κατ' επέκταση αβεβαιότητας, δεδομένου ότι σε κάθε επιμέρους στάδιο και ιδίως στα στάδια (i) και (iii) απαιτείται η προσωπική κρίση και εμπειρία του μελετητή. Με άλλα λόγια, παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή των συγκεκριμένων δεικτών παρέχει μία έκφραση του βαθμού ρύπανσης ενός υδάτινου σώματος απλή και κατανοητή στο ευρύ κοινό, η σύνθεση και η διαμόρφωση τους συνιστούν συχνά πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία. Διευκρινίζεται εδώ ότι καμία τεχνική δεν είναι ικανή να εξασφαλίσει πλήρη αντικειμενικότητα και αξιοπιστία στα εξαγόμενα αποτελέσματα, ωστόσο ο βαθμός υποκειμενικότητας και η έλλειψη ακρίβειας είναι δυνατόν να περιοριστούν σημαντικά μέσω της συμμετοχής στα επιμέρους στάδια της διαδικασίας ενός μεγάλου αριθμού ειδικών και επιστημόνων (Abbasi and Abbasi 2012).

3.4.1 Επιλογή παραμέτρων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το νερό είναι δυνατόν να περιέχει εκατοντάδες συστατικά, με άλλα λόγια παραμέτρους, φυσικές, χημικές ή βιολογικές, οι οποίες θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψιν για τη δημιουργία του τελικού δείκτη. Ειδικότερα, ένα δείγμα νερού μπορεί να περιέχει στοιχεία σε ουδέτερη ή ιοντική μορφή, όπως μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή, οργανικές ουσίες όπως φυτοφάρμακα, καθώς και άλλες, τόσο βιομηχανικής όσο και φυσικής προέλευσης ουσίες, ανιόντα όπως ανθρακικά, όξινα ανθρακικά, θειικά, νιτρικά, νιτρώδη κ.λ.π. Επιπλέον, είναι δυνατόν να περιέχει αιωρούμενα στερεά, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από ένα σημαντικό εύρος χημικών στοιχείων, ενώ, τέλος, το εξεταζόμενο δείγμα νερού μπορεί να περιέχει χρώμα, οσμή, παθογόνα βακτήρια, μύκητες κ.λ.π.

Δεδομένου ότι η καταγραφή και ενσωμάτωση σε ένα δείκτη του συνόλου των συστατικών που εντοπίζονται σε ένα δεδομένο δείγμα νερού είναι αδύνατη, ενώ παράλληλα θα οδηγούσε στην απόκτηση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων δύσκολα διαχειρίσιμου, προκύπτει η ανάγκη προσδιορισμού του κατάλληλου συνδυασμού παραμέτρων, βάσει των οποίων θα περιγραφεί κατά

το βέλτιστο τρόπο και θα αξιολογηθεί η ποιοτική κατάσταση του νερού για τη δεδομένη κάθε φορά χρήση. Πιο συγκεκριμένα, ως στόχος του συγκεκριμένου σταδίου τίθεται ο προσδιορισμός των παραμέτρων εκείνων, οι οποίες θεωρούνται σημαντικότερες για την αξιολόγηση της ποιότητας για μία δεδομένη χρήση νερού και οι οποίες πρέπει να ληφθούν υποχρεωτικά υπόψη κατά τη διαμόρφωση του δείκτη αξιολόγησης.

Η υποκειμενικότητα η οποία χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο στάδιο της διαδικασίας συνδέεται με το γεγονός ότι διαφορετικοί μελετητές ή διαφορετικοί τελικοί χρήστες ενδέχεται να έχουν διαφορετική αντίληψη αναφορικά με τη σημαντικότητα της εκάστοτε παραμέτρου για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για μία δεδομένη χρήση. Παραδείγματος χάριν, είναι πιθανό για έναν ειδικό, η οσμή σε ένα δείγμα νερού να συνιστά παράμετρο μικρής σημασίας για την αξιολόγηση του ως κατάλληλου ή μη κατάλληλου για πόση, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό είναι απαλλαγμένο από βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό ουσίες. Αντίθετα, για κάποιον άλλον ενδέχεται η ύπαρξη της παραμικρής οσμής στο δείγμα να επαρκεί για το χαρακτηρισμό του ως «ακατάλληλου» για τη δεδομένη χρήση. Επιπλέον, η υποκειμενικότητα του συγκεκριμένου σταδίου ενισχύεται από το γεγονός ότι τα πρότυπα ποιότητας, βάσει των οποίων λαμβάνεται η πλειονότητα των αποφάσεων αναφορικά με την ποιοτική κατάσταση ενός υδατικού σώματος, διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ενώ παράλληλα μεταβάλλονται συνεχώς στο χρόνο και αναθεωρούνται, ως αποτέλεσμα νέων ερευνών. Ακόμη, εντός των ορίων του ίδιου κράτους, η καταλληλότητα ή η μη καταλληλότητα ενός δεδομένου υδατικού σώματος για μια δεδομένη χρήση είναι δυνατόν να διαφοροποιηθεί βάσει της αφθονίας ή της έλλειψης που παρουσιάζει η εκάστοτε περιοχή σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Παραδείγματος χάριν, σε περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν αφθονία υδατικών αποθεμάτων, ενδέχεται το νερό το οποίο περιέχει υψηλότερη συγκέντρωση σε διαλυμένα στερεά από μία καθορισμένη τιμή, η οποία χαρακτηρίζει την ιδανική ποιότητα του νερού για πόση, να θεωρείται ακατάλληλο για χρήση, δεδομένου ότι εύκολα η ζητούμενη ποσότητα νερού μπορεί να αναπληρωθεί από μία εναλλακτική πηγή. Δε συμβαίνει ωστόσο το ίδιο σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου οι κάτοικοι ενδέχεται να καταναλώνουν νερό αρκετά υψηλότερης συγκέντρωσης σε διαλυμένα στερεά, λόγω της αδυναμίας εύρεσης επαρκούς ποσότητας για την κάλυψη των αναγκών τους (Abbasi and Abbasi 2012).

Συμπερασματικά, προκειμένου να μειωθεί κατά το δυνατόν η υποκειμενικότητα κατά το στάδιο αυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, εμπειρία αλλά και συγκέντρωση των κατάλληλων δεξιοτήτων, ώστε να διασφαλισθεί η επιλογή των αντιπροσωπευτικότερων παραμέτρων βάσει των οποίων θα διαμορφωθεί ο δείκτης (Abbasi and Abbasi 2012).

3.4.2 Μετασχηματισμός παραμέτρων και δημιουργία υπο-δεικτών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διάφορες ποιοτικές παράμετροι, οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα δείγμα νερού εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, οι συγκεντρώσεις στις οποίες απαντώνται καλύπτουν διαφορετικά εύρη τιμών, ενώ η επίπτωση που μπορεί να έχει η μεταβολή της τιμής της συγκέντρωσης τους στη συνολική ποιοτική κατάσταση του νερού διαφέρει για καθεμία από αυτές. Προκειμένου οι παράμετροι αυτές να συνδυαστούν και να αποτελέσουν έναν ενιαίο δείκτη ο οποίος θα χαρακτηρίζεται από μία μεμονωμένη τιμή, απαιτείται σε πρώτη φάση ο μετασχηματισμός τους σε μία ενιαία κλίμακα αναφοράς, η οποία θα τις καθιστά συσχετίσιμες μεταξύ τους. Ο μετασχηματισμός αυτός πρακτικά υλοποιείται μέσω της δημιουργίας ενός υπο-δείκτη για κάθε παράμετρο που επιλέχθηκε να ενσωματωθεί στον τελικό δείκτη, ενώ η δημιουργούμενη κλίμακα

βάσει της οποίας αξιολογείται η επίδραση της παραμέτρου στη συνολική ποιότητα του δείγματος λαμβάνει συνήθως τιμές από 0 έως 1 ή από 0 έως 100 (Abbasi and Abbasi 2012).

Στην περίπτωση όπου ένα σύνολο n ποιοτικών παραμέτρων (x_1, x_2, \dots, x_n) έχει επιλεγεί να ενσωματωθεί στον τελικό δείκτη ποιότητας, τότε η τιμή του υπο-δείκτη για κάθε επιμέρους μεταβλητή-τύπο x_i θα προκύπτει βάσει κάποιας συνάρτησης της μορφής $f_i(x_i)$ όπως φαίνεται παρακάτω.

$$I_i = f_i(x_i) \quad (3.1)$$

όπου:

I_i : η τιμή του υπο-δείκτη i για τη δεδομένη τιμή της μεταβλητής x_i

Στους περισσότερους δείκτες, διαφορετικές μαθηματικές σχέσεις εφαρμόζονται για την εκτίμηση της επίπτωσης της εκάστοτε μεταβλητής στην ποιότητα του νερού. Έτσι, κάθε συνάρτηση $f_i(x_i)$, η οποία υπολογίζει την τιμή κάθε επιμέρους δείκτη I_i συναρτήσει της τιμής της μεταβλητής x_i μπορεί να αποτελείται είτε από κάποια εξίσωση πολλαπλασιαστικής μορφής, είτε από τη μεταβλητή x_i υψωμένη σε κάποια δύναμη, είτε από κάποια άλλη συναρτησιακή σχέση. Εφόσον υπολογιστεί η τιμή του υπο-δείκτη I_i για κάθε επιμέρους παράμετρο, οι τιμές αυτές συνδυάζονται μέσω κάποιας άλλης μαθηματικής σχέσης, όπως φαίνεται στην Εξ. (3.2), προκειμένου να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη (Abbasi and Abbasi 2012).

$$I = g(I_1, I_2, \dots, I_n) \quad (3.2)$$

όπου:

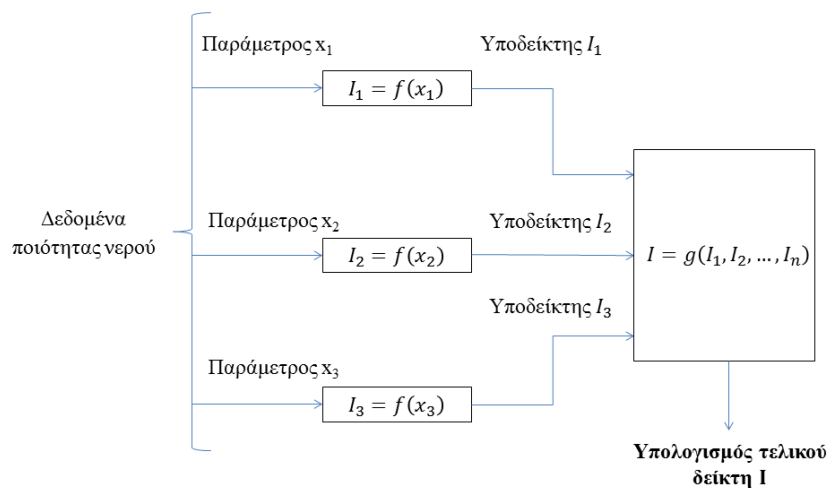
I : η τιμή του τελικού δείκτη ποιότητας

Η μαθηματική σχέση η οποία αποδίδει την τελική τιμή του δείκτη συναρτήσει των τιμών των επιμέρους υπο-δεικτών είναι δυνατόν να βασίζεται είτε στην απλή πρόσθεση αυτών, είτε σε κάποια σχέση πολλαπλασιαστικού τύπου, όπου η τελική τιμή προκύπτει ως το γινόμενο του συνόλου των υπο-δεικτών ή και μέρους αυτών, είτε σε κάποια άλλης μορφής σχέση (Abbasi and Abbasi 2012).

Η διαδικασία η οποία ακολουθείται για την εξαγωγή της τιμής του τελικού δείκτη, βάσει των αρχικά επιλεχθέντων ποιοτικών παραμέτρων, παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 3.1.

Ανάλογα με τη μορφή της μαθηματικής σχέσης βάσει της οποίας προσδιορίζεται η τιμή των επιμέρους υπο-δεικτών, αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις γενικές κατηγορίες:

- Τους γραμμικούς
- Τους μη γραμμικούς
- Τους γραμμικούς-κλιμακωτής μορφής
- Τους μη γραμμικούς-κλιμακωτής μορφής



Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εκτίμησης της τελικής τιμής του Δείκτη Ποιότητας Νερού

Πηγή: Abbasi and Abbasi (2012) και ίδια επεξεργασία

Τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας περιγράφονται ακολούθως.

Υπο-δείκτες γραμμικής μορφής (Linear function subindices)

Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι υπο-δείκτες των οποίων η τιμή εκτιμάται μέσω κάποιας γραμμικής σχέσης της μορφής:

$$I = \alpha x + \beta \tag{3.3}$$

όπου:

I : η τιμή του υπο-δείκτη

x : η τιμή της μεταβλητής-ρύπου

α, β : σταθερές

Οι δείκτες της μορφής αυτής καθιστούν τους υπολογισμούς απλούς, ενώ ακόμη διευκολύνουν την κατανόηση της σχέσης που συνδέει την εκάστοτε παράμετρο με την τιμή του αντίστοιχου υπο-δείκτη. Παρόλα αυτά παρουσιάζουν περιορισμένη ευελιξία (Abbasi and Abbasi 2012).

Υπο-δείκτες γραμμικής μορφής-κλιμακωτοί (Segmented linear function subindices)

Οι τιμές των δεικτών που ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία, υπολογίζονται βάσει κάποιας κλιμακωτής συνάρτησης γραμμικής μορφής. Οι γραφικές παραστάσεις αυτού του τύπου των συναρτήσεων συνίστανται σε δύο ή περισσότερα ευθύγραμμα τμήματα, καθώς ανάλογα με το εύρος τιμών στο οποίο κυμαίνεται κάθε φορά η μεταβλητή x , ο δείκτης I εκφράζεται μέσω διαφορετικών γραμμικών σχέσεων. Οι δείκτες της μορφής αυτής παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία, συγκρινόμενοι με τους γραμμικούς δείκτες, στους οποίους έγινε αναφορά νωρίτερα ενώ, παράλληλα, ευνοούν την ενσωμάτωση στις σχέσεις υπολογισμού των συνιστώμενων ορίων συγκέντρωσης των εξεταζόμενων κάθε φορά ποιοτικών παραμέτρων. Ειδική περίπτωση της κατηγορίας αυτής συνιστούν οι δείκτες οι οποίοι εκφράζονται βάσει βαθμιδωτών συναρτήσεων

(step functions). Στην περίπτωση αυτή, σε κάθε επιμέρους διάστημα του πεδίου ορισμού στο οποίο λαμβάνει τιμές η μεταβλητή x , η τιμή του δείκτη I παραμένει σταθερή.

Η μορφή των επιμέρους συναρτήσεων που συνθέτουν μία κλιμακωτή γραμμική συνάρτηση με m επιμέρους διαστήματα μπορεί να προσδιοριστεί βάσει της ακόλουθης σχέσης.

$$I_i = \frac{b_{i+1}-b_i}{\alpha_{i+1}-\alpha_i} \times (x - \alpha_i) + b_i, \quad \alpha_i \leq x \leq \alpha_{i+1} \quad (3.4)$$

όπου:

α_i, b_i : οι τιμές των x_i και I_i στα σημεία τομής των επιμέρους ευθειών και

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Παρότι οι βαθμιδωτές-γραμμικές συναρτήσεις χαρακτηρίζονται, εν γένει, ως περισσότερο ευέλικτες συγκριτικά με τις γραμμικές σχέσεις υπολογισμού του δείκτη I_i , στην πραγματικότητα δεν ενδείκνυνται για όλες τις περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις όπου η κλίση της συνάρτησης μεταβάλλεται καθώς αυξάνονται τα επίπεδα της ρύπανσης, η χρήση μίας μη γραμμικής σχέσης είναι περισσότερο κατάλληλη (Abbasi and Abbasi 2012).

Υπο-δείκτες μη γραμμικής μορφής

Στην περίπτωση όπου η σχέση που συνδέει τη μεταβλητή x_i με την τιμή του υπο-δείκτη I_i δε μεταβάλλεται γραμμικά, τότε η μαθηματική σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές περιγράφεται από μία καμπύλη γραμμή. Οι μη γραμμικές σχέσεις υπολογισμού του δείκτη I_i μπορούν είτε να αποτελούν γνωστές συναρτήσεις οι οποίες περιγράφονται από κάποια δεδομένη μαθηματική σχέση είτε συναρτήσεις οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά μέσω εμπειρικών καμπυλών, ωστόσο δεν υπάρχει κάποια δοσμένη μαθηματική σχέση που να τις περιγράφει.

Μία από τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μορφές μη γραμμικών σχέσεων για τον υπολογισμό του δείκτη I_i είναι εκείνη στην οποία η τιμή της μεταβλητής x_i είναι υψωμένη σε κάποια δύναμη διαφορετική της μονάδας, όπως φαίνεται στην Εξ. (3.5).

$$I_i = x^c \quad (3.5)$$

όπου $c \neq 1$

Ακόμη μία μη γραμμική σχέση με ευρεία εφαρμογή είναι η εκθετική, όπου η μεταβλητή-ρύπος x_i υψοεισέρχεται ως εκθέτης σε μία σταθερά, η οποία συνήθως επιλέγεται ίση με 10 ή e . Η γενική μορφή μίας εκθετικής συνάρτησης προσδιορισμού του υπο-δείκτη I_i φαίνεται στην Εξ. (3.6).

$$I_i = \alpha e^{bx} \quad (3.6)$$

όπου:

α, b σταθερές (Abbasi and Abbasi 2012).

Υπο-δείκτες μη γραμμικής μορφής-κλιμακωτοί

Κατ' αντιστοιχία με τις κλιμακωτές συναρτήσεις γραμμικής μορφής, στην περίπτωση των μη γραμμικών σχέσεων η συνάρτηση η οποία αποδίδει την τιμή του δείκτη I_i συνίσταται από

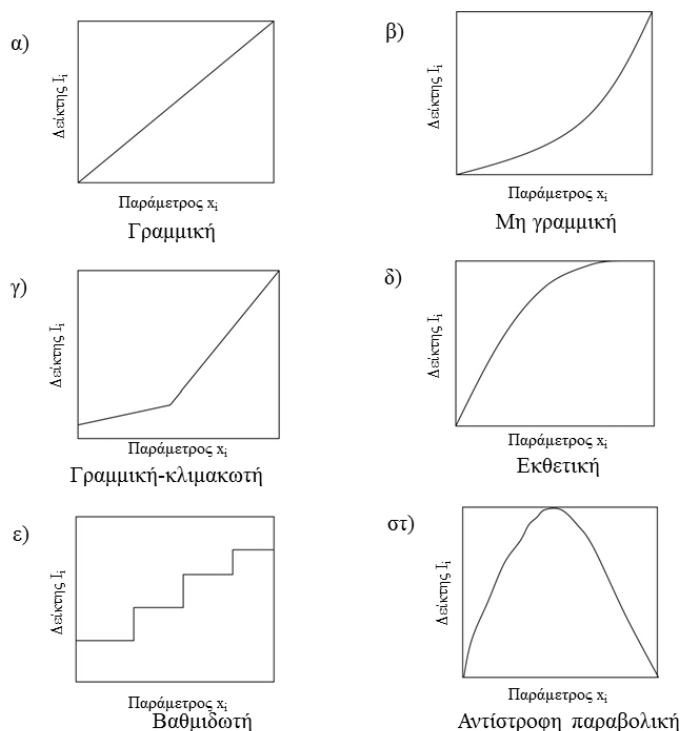
επιμέρους διαστήματα στα οποία εφαρμόζονται συνήθως διαφορετικές μαθηματικές σχέσεις με τη διαφορά, ωστόσο, ότι τουλάχιστον σε ένα από αυτά, η σχέση η οποία συνδέει τις μεταβλητές x_i και I_i είναι μη γραμμικής μορφής (Abbasi and Abbasi 2012).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής μη γραμμικών σχέσεων κλιμακωτής μορφής για τον υπολογισμό των επιμέρους υπο-δεικτών, αποτελεί η συνάρτηση η οποία χρησιμοποιήθηκε από τους Prati et al. (1971) για την εκτίμηση της τιμής του υπο-δείκτη του pH. Η εν λόγω σχέση αποτελούνταν από τέσσερα επιμέρους διαστήματα, των οποίων τα όρια καθώς και οι μαθηματικές σχέσεις που αντιστοιχούν σε καθένα από αυτά, παρατίθενται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Μορφή συναρτήσεων και διαστήματα εφαρμογής τους για τον υπολογισμό της τιμής του υπο-δείκτη του pH (Πηγή: Prati et al. 1971)

Διάστημα	Εύρος διαστήματος	Μορφή συνάρτησης
1	$0 \leq x \leq 5$	$I_i = -0.4x^2 + 14$
2	$5 \leq x \leq 7$	$I_i = -2x + 14$
3	$7 \leq x \leq 9$	$I_i = x^2 - 14x + 49$
4	$9 \leq x \leq 14$	$I_i = -0.4x^2 + 11.2x - 64.4$

Τέλος, οι γραφικές παραστάσεις ορισμένων από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μορφές συναρτήσεων υπο-δεικτών παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Βασικές συναρτήσεις υπολογισμού του υπο-δείκτη I_i
Πηγή: Abbasi and Abbasi (2012) και ίδια επεξεργασία

3.4.3 Εκχώρηση συντελεστών βάρους

Την επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων και τη διαμόρφωση των επιμέρους υπο-δεικτών για καθεμία από αυτές, ακολουθεί το στάδιο της απόδοσης βαρών ανάλογα με τη σημαντικότητα κάθε μεταβλητής και την επίπτωση της στην ποιότητα του νερού. Όπως και κατά το στάδιο της επιλογής

των παραμέτρων, έτσι και εδώ, ο συντελεστής βαρύτητας ο οποίος επιλέγεται να εκχωρηθεί σε κάθε παράμετρο είναι αποτέλεσμα προσωπικής κρίσης του ερευνητή, γεγονός το οποίο προσδίδει σημαντικό βαθμό υποκειμενικότητας στο τελικό αποτέλεσμα. Προκειμένου να μετριάσει η υποκειμενικότητα αυτή και να ενισχυθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, γίνεται συνήθως χρήση κατάλληλα διαμορφωμένων τεχνικών συλλογής απόψεων από διαφορετικούς ερευνητές, όπως είναι η μέθοδος Delphi (Abbasi and Abbasi 2012).

3.4.4 Συνυπολογισμός υπο-δεικτών για την εξαγωγή του τελικού δείκτη

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας συνίσταται στο συνδυασμό των επιμέρους υπο-δεικτών προκειμένου να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη. Αυτό πρακτικά υλοποιείται μέσω διαφόρων μαθηματικών σχέσεων, εκ των οποίων οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες είναι οι ακόλουθες:

- i. Αθροιστικός συνυπολογισμός υπο-δεικτών: Στην περίπτωση αυτή, οι επιμέρους υπο-δείκτες προστίθενται μεταξύ τους. Η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει ως ο αριθμητικός μέσος όρος των υπο-δεικτών των παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα βάρη, έτσι όπως αυτά έχουν οριστεί για καθεμία από αυτές.
- ii. Πολλαπλασιαστικός συνυπολογισμός υπο-δεικτών: Βάσει της συγκεκριμένης προσέγγισης, η τελική τιμή του Δείκτη Ποιότητας Νερού προκύπτει ως ο γεωμετρικός μέσος όρος των επιμέρους υπο-δεικτών. Με άλλα λόγια, οι διάφοροι υπο-δείκτες συνδυάζονται μεταξύ τους μέσω κάποιου γινομένου για να δώσουν ως αποτέλεσμα την τιμή του τελικού δείκτη.
- iii. Εφαρμογή λογικής πράξης: Στην περίπτωση εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου, οι επιμέρους υπο-δείκτες, συνδυάζονται μεταξύ τους για την παραγωγή του τελικού δείκτη μέσω κάποιας λογικής σχέσης (π.χ. εύρεση μεγίστου ή ελαχίστου υπο-δείκτη κ.λ.π.).

Επιπλέον, πέραν της μεμονωμένης εφαρμογής μίας εκ των προαναφερθέντων μεθόδων, κατά το στάδιο συνυπολογισμού των υπο-δεικτών έχει παρατηρηθεί συνδυασμός περισσότερων από μία διαφορετικών μεθόδων για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος.

Ο τρόπος εφαρμογής καθώς και τα χαρακτηριστικά καθεμίας εκ των μεθόδων συνυπολογισμού των υπο-δεικτών περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως.

Γραμμική άθροιση υπο-δεικτών

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυασμού των επιμέρους υπο-δεικτών, για την εξαγωγή του τελικού δείκτη, βασίζεται στην άθροιση των επιμέρους τιμών, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση.

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (3.7)$$

όπου:

I_i : η τιμή του υπο-δείκτη που αντιστοιχεί στη μεταβλητή x_i

n : το πλήθος των επιλεγθέντων παραμέτρων

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση τυχόν συντελεστές βαρύτητας των επιμέρους υπο-δεικτών, δε λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση της τελικής τιμής του δείκτη. Παρά την απλότητα εφαρμογής της, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο από αυτά

είναι το φαινόμενο της «ασάφειας», όπως ονομάζεται, το οποίο εκφράζει την αβεβαιότητα στην ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος. Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω φαινόμενο εμφανίζεται όταν η τελική τιμή του δείκτη I υποδηλώνει μη αποδεκτό επίπεδο ρύπανσης, παρόλο που οι τιμές των επιμέρους υπο-δεικτών βρίσκονται εντός των συνιστωμένων κάθε φορά ποιοτικών ορίων. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση όπου ο τελικός δείκτης συντίθεται από δύο επιμέρους υπο-δείκτες I_1 και I_2 , για καθέναν από τους οποίους η τιμή 0 αντιστοιχεί σε μηδενική συγκέντρωση ρύπου, ενώ η τιμή 100 στο ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης για τη δεδομένη μεταβλητή, είναι εύλογο πως προσθέτοντας τις παραπάνω τιμές, το τελικό αποτέλεσμα του ολικού δείκτη ενδέχεται να υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό όριο ακόμη και αν οι επιμέρους παράμετροι βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ποιοτικών ορίων (Abbasi and Abbasi 2012).

Σταθμισμένη άθροιση υπο-δεικτών

Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, ο τελικός δείκτης υπολογίζεται αθροίζοντας τους επιμέρους υπο-δείκτες, έτσι όπως προσδιορίστηκαν για κάθε ποιοτική μεταβλητή, λαμβάνοντας, ωστόσο υπόψιν τους συντελεστές βαρύτητας που εκχωρήθηκαν σε καθέναν από αυτούς κατά το τρίτο στάδιο της διαδικασίας. Ο τελικός δείκτης ποιότητας δίνεται από τη σχέση:

$$I = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (3.8)$$

όπου:

I_i : ο υπο-δείκτης για κάθε μεταβλητή x_i

W_i : ο συντελεστής βαρύτητας για τη δεδομένη μεταβλητή.

Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας ισούται με τη μονάδα, όπως φαίνεται στην Εξ. (3.9).

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (3.9)$$

Μέσω της εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου, επιτυγχάνεται η εξάλειψη του φαινομένου της «ασάφειας», το οποίο περιγράφηκε προηγουμένως, δεδομένου ότι η τελική τιμή του δείκτη I δε δύναται να λάβει την τιμή 100, δηλαδή να υποδηλώνει μη επιτρεπτό επίπεδο ρύπανσης, εάν κάποιος από τους επιμέρους υπο-δείκτες δε λάβει τιμή τουλάχιστον ίση η μεγαλύτερη από αυτήν. Επιπλέον, παρατηρείται ότι μέσω της σταθμισμένης άθροισης, αναγνωρίζεται ορθά η περίπτωση της μηδενικής ρύπανσης, καθώς ο τελικός δείκτης μπορεί να λάβει την τιμή μηδέν, αποκλειστικά στην περίπτωση όπου κάθε επιμέρους παράγοντας I_i ισούται με μηδέν, δηλαδή εκφράζει μηδενικά επίπεδα ρύπανσης.

Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη προσέγγιση πάσχει από ένα εξίσου σημαντικό με εκείνο της «ασάφειας» πρόβλημα, το φαινόμενο της «επισκίασης». Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στην περίπτωση όπου η συνολική τιμή του δείκτη φανερώνει αποδεκτή ποιοτική κατάσταση, παρότι κάποιος από τους επιμέρους υπο-δείκτες υπερβαίνει το επιτρεπτό ποιοτικό όριο (Abbasi and Abbasi 2012).

Ρίζα αθροίσματος υπο-δεικτών υψωμένων σε δύναμη

Στην περίπτωση αυτή, η συνολική τιμή του δείκτη δίνεται από τη σχέση:

$$I = [\sum_{i=1}^n I_i^p]^{1/p} \quad (3.10)$$

όπου:

p : θετικός πραγματικός αριθμός.

Η συγκεκριμένη σχέση υπολογισμού υπερισχύει έναντι των προηγούμενων, καθώς δεν παρουσιάζεται κατά τη χρήση της το φαινόμενο της «επισκίασης», ενώ, παράλληλα όσο μεγαλύτερες τιμές λαμβάνει ο συντελεστής p , τόσο περισσότερο περιορίζεται το φαινόμενο της «ασάφειας» (Abbasi and Abbasi 2012).

Πολλαπλασιαστική μορφή εξαγωγής τελικού δείκτη

Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες σχέσεις υπολογισμού της μορφής αυτής, δίνουν την τελική τιμή του δείκτη μέσω ενός σταθμισμένου γινομένου των επιμέρους υπο-δεικτών, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση.

$$I = [\prod_{i=1}^n I_i^{W_i}] \quad (3.11)$$

Στην περίπτωση όπου αποδοθούν οι ίδιες τιμές σε κάθε συντελεστή βαρύτητας W_i , η παραπάνω σχέση ταυτίζεται με το γεωμετρικό μέσο όρο των επιμέρους υπο-δεικτών. Κατ' αντιστοιχία με την προηγούμενη μέθοδο, η εφαρμογή σχέσεων υπολογισμού του τελικού δείκτη της μορφής αυτής, συμβάλλουν σημαντικά στον περιορισμό τόσο του φαινομένου της «ασάφειας» όσο και της «επισκίασης» (Abbasi and Abbasi 2012).

Εφαρμογή λογικών συναρτήσεων

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της συγκεκριμένης κατηγορίας συναρτήσεων συνιστά ο εντοπισμός της μέγιστης ή της ελάχιστης τιμής μεταξύ ενός συνόλου υπο-δεικτών και η απόδοση της τιμής αυτής στον τελικό δείκτη ποιότητας. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία και έστω ότι ο διαμορφούμενος δείκτης έχει οριστεί ως δείκτης «ρύπανσης» και κατ' επέκταση μας ενδιαφέρει ο προσδιορισμός της μέγιστης τιμής των επιμέρους υπο-δεικτών, η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει σύμφωνα με την Εξ. (3.12).

$$I = \max\{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (3.12)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω λογική σχέση, γίνεται φανερό ότι ο τελικός δείκτης I λαμβάνει την τιμή του μέγιστου υπο-δείκτη, του δυσμενέστερου με άλλα λόγια σεναρίου, ενώ το επίπεδο της ρύπανσης προκύπτει μηδενικό μόνο στην περίπτωση όπου κάθε επιμέρους υπο-δείκτης ισούται με το μηδέν. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση δύναται να καταδείξει εάν κατ' ελάχιστον ένα υφιστάμενο ποιοτικό όριο υπερβαίνεται, καθώς και το βαθμό στον οποίο συμβαίνει αυτό, ωστόσο αδυνατεί να παρέχει πληροφορίες αναφορικά με το εάν περισσότεροι από ένας υπο-δείκτες υποδηλώνουν κακή ποιοτική κατάσταση.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου ο δείκτης του οποίου η τιμή ζητείται να προσδιοριστεί έχει οριστεί κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης του ως δείκτης «ποιότητας», τότε το δυσμενέστερο σενάριο αντιστοιχεί στον υπο-δείκτη με την χαμηλότερη τιμή και η λογική συνάρτηση η οποία εφαρμόζεται είναι η εύρεση του ελαχίστου όρου.

Οι προαναφερθείσες λογικές σχέσεις υπολογισμού της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας I , είναι απαλλαγμένες από τα φαινόμενα «ασάφειας» και «επισκίασης» τα οποία περιγράφηκαν νωρίτερα. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της περιορισμένης συμβατότητας και ευελιξίας που παρουσιάζουν, η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη (Abbasi and Abbasi 2012).

Πέραν της «ασάφειας» και της «επισκίασης», οι μέθοδοι εκτίμησης της τελικής τιμής του δείκτη I αξιολογούνται, εν γένει, βάσει δύο ακόμη κύριων γνωρισμάτων τους, της «αντιπροσωπευτικότητας» και της «αυστηρότητας» που παρουσιάζουν αναφορικά με τη δυνατότητα ενσωμάτωσης επιπρόσθετων ποιοτικών μεταβλητών στην ήδη υπάρχουσα κάθε φορά υπολογιστική σχέση. Με τον όρο «αντιπροσωπευτικότητα» νοείται ο βαθμός στον οποίον η επιλεγείσα μέθοδος υπολογισμού του συνολικού δείκτη αποδίδει τη συνολική εικόνα της ποιοτικής κατάστασης του μελετώμενου δείγματος δίχως να επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές των επιμέρους υπο-δεικτών, παραδείγματος χάριν τις μέγιστες ή τις ελάχιστες τιμές. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η συγκεκριμένη συμπεριφορά παρατηρείται κατά κύριο λόγο σε μεθόδους όπως εκείνες της εύρεσης του μεγίστου ή του ελαχίστου όρου, οι οποίες, ωστόσο, είναι απαλλαγμένες από τα φαινόμενα της «ασάφειας» και της «επισκίασης», διαπιστώνει κανείς πως είναι αναγκαία η εύρεση των μεθόδων εκείνων οι οποίες θα ισοσταθμίζουν, κατά το δυνατόν, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των παραπάνω χαρακτηριστικών (Abbasi and Abbasi 2012).

3.5 Οι κυριότεροι Δείκτες Ποιότητας Νερού

Με αφετηρία το Δείκτη Ποιότητας Νερού του Horton (1965), πλήθος δεικτών έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων. Οι διαφορές οι οποίες παρατηρούνται μεταξύ αυτών, συνδέονται είτε με τη φύση τους, δηλαδή με το αν πρόκειται για φυσικο-χημικούς ή βιολογικούς δείκτες, είτε με ζητήματα που αφορούν τη διαδικασία διαμόρφωσης τους, παραδείγματος χάριν τον αριθμό των ποιοτικών μεταβλητών που θα ληφθούν υπόψιν, το συντελεστή σημαντικότητας που θα αποδοθεί σε κάθε επιμέρους παράμετρο, τον τρόπο υπολογισμού των τιμών των επιμέρους υπο-δεικτών καθώς και της τιμής του συνολικού δείκτη ποιότητας κ.ο.κ. Ακόμη, διαφορετικοί δείκτες έχουν αναπτυχθεί ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ή τον τύπο της χρήσης νερού που πρόκειται να αξιολογήσουν. Έτσι, έχουν διαμορφωθεί δείκτες οι οποίοι προορίζονται αποκλειστικά για την αξιολόγηση της ποιότητας του πόσιμου νερού, του νερού για βιομηχανική χρήση ή του νερού για διατήρηση των οικοσυστημάτων, καθώς και άλλοι, αναφερόμενοι στη βιβλιογραφία ως δείκτες «σχεδιασμού», οι οποίοι λειτουργούν ως συμβουλευτικά εργαλεία σε προγράμματα τα οποία σχετίζονται με τη διαχείριση της ποιότητας του νερού, υποβοηθώντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Κοινός στόχος όλων των δημοσιευμένων δεικτών ανεξαρτήτως του είδους τους, είναι ο κατά το δυνατόν περιορισμός του παράγοντα της υποκειμενικότητας, η οποία υπεισέρχεται στα επιμέρους στάδια της διαδικασίας διαμόρφωσής τους και η οποία συνιστούσε βασικό μειονέκτημα του δείκτη Horton. Οι έρευνες οι οποίες ακολούθησαν στόχευσαν στη διαμόρφωση ολοένα και πιο αντικειμενικών, ευαίσθητων και αποτελεσματικών Δεικτών Ποιότητας Νερού. Στην κατεύθυνση αυτή, προχωρημένες στατιστικές μέθοδοι, καθώς και μεθοδολογίες όπως η ασαφής λογική (fuzzy logic) και τα ασαφή σύνολα (fuzzy sets) έχουν εφαρμοστεί κατά περίπτωση (Abbasi and Abbasi 2012).

Στις υποενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένοι από τους κυριότερους Δείκτες Ποιότητας Νερού, που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, προκειμένου να καταστούν αντιληπτά η

δομή και τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Μεταξύ αυτών, περιγράφονται λεπτομερέστερα οι δείκτες οι οποίοι εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, δηλαδή οι δείκτες Bhargava, Oregon, NSF, CCME, Dinius, Weighted Arithmetic Index, καθώς και ο δείκτης των Prati et al., για τους οποίους δίνονται περαιτέρω πληροφορίες αναφορικά με το πλαίσιο εφαρμογής τους στο επόμενο κεφάλαιο.

3.5.1 Δείκτης Horton

Για τις ανάγκες της διαμόρφωσης του συγκεκριμένου δείκτη, ο οποίος αποτέλεσε τον πρόδρομο των σύγχρονων Δεικτών Ποιότητας Νερού, ο Horton έλαβε υπόψιν τα ακόλουθα κριτήρια για την επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων:

- i. Οι παράμετροι θα πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται το περιορισμένο πλήθος αυτών και κατ' επέκταση η ευχρηστία του δείκτη
- ii. Κάθε επιμέρους ποιοτική παράμετρος που πρόκειται να ενσωματωθεί στον τελικό δείκτη θα πρέπει να διατηρεί τη σημαντικότητα της για την πλειονότητα των εξεταζόμενων περιοχών.
- iii. Μόνο ποιοτικές μεταβλητές για τις οποίες διατίθενται αξιόπιστα δεδομένα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.

Τελικά, το δείκτη συνέθεσαν δέκα ποιοτικές παράμετροι, ορισμένες από τις οποίες ήταν το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το pH, τα κολοβακτηρίδια, η ειδική αγωγιμότητα, η αλκαλικότητα και το χλώριο, ενώ στον δείκτη δεν ενσωματώθηκαν καθόλου τοξικολογικές παράμετροι. Ακόμη, ο Horton χρησιμοποίησε ως μέθοδο προσδιορισμού του περιεχόμενου οργανικού φορτίου στο νερό τη διαδικασία CCE (Carbon Chloroform Extract), ενώ η χρήση της παραμέτρου της ειδικής αγωγιμότητας απέβλεπε σε μία προσεγγιστική εκτίμηση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Μία ακόμη παράμετρος η οποία λήφθηκε υπόψιν ήταν η υφιστάμενη επεξεργασία των λυμάτων, υπό την έννοια του ποσοστού του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, θεωρώντας ότι η παρακολούθηση και μέτρηση των χημικών και βιολογικών παραμέτρων είναι μικρής σημασίας εάν αυτή δεν συνδυαστεί με ταυτόχρονη μείωση του όγκου των απορριπτόμενων ακατέργαστων αποβλήτων.

Σύμφωνα με τον Horton, η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους υπο-δεικτών πολλαπλασιασμένος με δύο συντελεστές, τους M_1 και M_2 , οι οποίοι εκφράζουν τη θερμοκρασία και την εμφανή ρύπανση, αντίστοιχα. Οι τιμές των συντελεστών σημαντικότητας των επιμέρους παραμέτρων κυμαίνονταν από 1 έως 4 (Abbasi and Abbasi 2012). Ο ολικός δείκτης ποιότητας, σύμφωνα με τον Horton, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$QI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \times M_1 \times M_2 \quad (3.13)$$

3.5.2 Δείκτης NSF-WQI (National Sanitation Foundation's Water Quality Index)

Οι Brown et al. (1970) ανέπτυξαν ένα Δείκτη Ποιότητας Νερού παρόμοιο στη δομή με εκείνον του Horton, αυστηρότερο, ωστόσο, όσον αφορά στην επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων, το μετασχηματισμό αυτών, καθώς και την επιλογή και εκχώρηση των κατάλληλων βαρών. Κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης του εν λόγω δείκτη εφαρμόστηκε η μέθοδος Delphi ενώ η διαδικασία στο σύνολο της υποστηρίχθηκε από τον Εθνικό Υγειονομικό Οργανισμό των ΗΠΑ (NSF). Ο δείκτης του Brown έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών, καθώς είναι ο πλέον κατανοητός μεταξύ

των υπολοίπων δεικτών. Κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης του δείκτη συμμετείχαν συνολικά 142 ερευνητές, ειδικοί σε θέματα Διαχείρισης Ποιότητας Νερού, οι οποίοι κλήθηκαν σε πρώτη φάση να ορίσουν 35 ποιοτικές παραμέτρους για πιθανή ενσωμάτωση στο δείκτη. Ύστερα από επιλογή των σημαντικότερων μεταξύ αυτών, οι ερευνητές αξιολόγησαν τις εναπομένουσες παραμέτρους βάσει της σημαντικότητας τους στον καθορισμό της συνολικής ποιότητας του νερού. Στο πλαίσιο αυτό, καθένας από αυτούς εκχώρησε σε κάθε παράμετρο μία τιμή από το 1 (υψηλή σημαντικότητα) έως το 5 (χαμηλή σημαντικότητα). Αφού προσδιορίστηκε ο μέσος όρος των βαθμολογιών του συνόλου των ερευνητών για καθεμία από τις παραμέτρους, αυτές κατατάχθηκαν σε φθίνουσα σειρά σημαντικότητας, διαδικασία η οποία οδήγησε στην περαιτέρω μείωση των μεταβλητών σε 15 και τελικά στη διαμόρφωση της λίστας των 11 ποιοτικών παραμέτρων που θα ενσωματώνονταν στο δείκτη. Για καθεμία από αυτές και λαμβάνοντας υπόψη την κρίση του συνόλου των ερευνητών, κατασκευάστηκε η αντίστοιχη καμπύλη η οποία περιγράφει τη σχέση μεταξύ της μεταβολής της τιμής της συγκέντρωσης της δεδομένης παραμέτρου και της επίπτωσης στην ποιοτική κατάσταση του νερού (Poonam et al. 2013).

Σημειώνεται ότι ο δείκτης του Brown κατατάσσεται στους συμβατικούς δείκτες, δηλαδή σε εκείνους που λαμβάνουν υπόψη κυρίως τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του δείγματος, ενώ παράλληλα αντανακλά τη γενική ποιοτική κατάσταση του νερού χωρίς να εξετάζει την καταλληλότητα του για διαφορετικές χρήσεις (Abbasi and Abbasi 2012).

Οι 11 παράμετροι οι οποίες τελικά επιλέχθηκαν με το πέρας της διαδικασίας ήταν, κατά φθίνουσα σειρά σημαντικότητας, το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, η θολερότητα, τα ολικά στερεά, τα νιτρικά, ο φωσφόρος, το pH, η θερμοκρασία, τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια, τα παρασιτοκτόνα και τα τοξικά στοιχεία. Διευκρινίζεται εδώ ότι οι δύο τελευταίες παράμετροι δεν προσμετρώνται στην τελική σχέση συνυπολογισμού των επιμέρους υποδεικτών για την εξαγωγή του συνολικού δείκτη ποιότητας, και επομένως οι ποιοτικές μεταβλητές της μεθόδου Brown στην πραγματικότητα είναι 9. Ωστόσο, η διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο των συγκεντρώσεων των συγκεκριμένων στοιχείων και το μηδενισμό του τελικού δείκτη ποιότητας στην περίπτωση όπου ανιχνευτεί συνολική συγκέντρωση παρασιτοκτόνων ή τοξικών στοιχείων κάθε είδους άνω των 0.1 mg/L (Brown et al. 1970).

Παρόμοια λογική με εκείνη της επιλογής των παραμέτρων ακολουθήθηκε και για την εκχώρηση συντελεστών βαρύτητας στις επιμέρους ποιοτικές μεταβλητές. Αναλυτικότερα, η επιτροπή των ειδικών κλήθηκε να βαθμολογήσει και πάλι τις 9 αυτή τη φορά παραμέτρους στην κλίμακα 1 έως 5, αποδίδοντας τη βαθμολογία 1 στην παράμετρο την οποία αξιολογεί ως περισσότερο σημαντική για τη συνολική ποιότητα του νερού και 5 στην παράμετρο η οποία συνεισφέρει λιγότερο. Στη συνέχεια και αφού εξήχθησαν οι μέσοι όροι των βαθμολογιών του συνόλου των ερευνητών για κάθε παράμετρο, αυτές κατατάχθηκαν και πάλι σε φθίνουσα σειρά σημαντικότητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2. Εν συνεχεία, στην παράμετρο η οποία προέκυψε από τη διαδικασία ως η περισσότερο σημαντική, δηλαδή στο διαλυμένο οξυγόνο αποδόθηκε ο προσωρινός συντελεστής βαρύτητας 1. Οι προσωρινοί συντελεστές των υπολοίπων παραμέτρων διαμορφώθηκαν διαιρώντας το βαθμό σημαντικότητας της εκάστοτε μεταβλητής με το βαθμό σημαντικότητας του διαλυμένου οξυγόνου. Τέλος, τα τελικά βάρη των μεταβλητών υπολογίστηκαν διαιρώντας για καθεμία από αυτές τον προσωρινό συντελεστή βαρύτητας της με το άθροισμα των προσωρινών συντελεστών βαρύτητας του συνόλου των μεταβλητών. Η διαδικασία διαμόρφωσης των συντελεστών σημαντικότητας παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.2: Διαμόρφωση συντελεστών σημαντικότητας των μεταβλητών στη μέθοδο του δείκτη Brown (NSF Index) (Πηγή: Abbasi and Abbasi 2012 και ίδια επεξεργασία)

Ποιοτικές παράμετροι	Μέσοι όροι βαθμολογιών σημαντικότητας της επιτροπής	Προσωρινοί συντελεστές βαρύτητας	Τελικοί συντελεστές βαρύτητας
Διαλυμένο οξυγόνο	1.4	1.0	0.17
Περιττωματικά κολοβακτηρίδια	1.5	0.9	0.16
pH	2.1	0.7	0.11
BOD ₅	2.3	0.6	0.11
Νιτρικά	2.4	0.6	0.10
Φωσφόρος	2.4	0.6	0.10
Θερμοκρασία	2.4	0.6	0.10
Θολερότητα	2.9	0.5	0.08
Ολικά στερεά	3.2	0.4	0.07
Σύνολο			1.00

Η σχέση συνυπολογισμού των επιμέρους υπο-δεικτών, η οποία προτάθηκε από τον Brown για την εξαγωγή της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας (WQI) έχει την ακόλουθη μορφή:

$$WQI = \sum_{i=1}^9 w_i \times T_i(p_i) = \sum_{i=1}^9 w_i \times q_i \quad (3.14)$$

όπου:

T_i : η συνάρτηση του υπο-δείκτη της παραμέτρου i , η οποία αποδίδει την επίπτωση της μεταβολής της συγκέντρωσης της, p_i , στην ποιότητα του νερού

p_i : η τιμή της συγκέντρωσης της παραμέτρου i

q_i : το επίπεδο ποιότητας (0-100) για δεδομένη τιμή συγκέντρωσης της παραμέτρου i , ώστε $T_i(p_i)=q_i$

w_i : ο συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου i ώστε να ισχύει $\sum_{i=1}^9 w_i = 1$

Βάσει της προκύπτουσας τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας, το εξεταζόμενο σώμα ταξινομείται σε μία εκ των 5 ποιοτικών κλάσεων τις οποίες ορίζει η παρούσα μέθοδος, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.3: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη NSF (Πηγή: www.water-research.net 2017)

Τιμή ολικού δείκτη ποιότητας	Αριθμός ποιοτικής τάξης	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού
0-25	1	Πολύ κακή
26-50	2	Κακή
51-70	3	Μέτρια
71-90	4	Καλή
91-100	5	Άριστη

3.5.3 Δείκτης των Prati et al. (Prati's Index of Pollution)

Οι Prati et al. το 1971 εισήγαγαν ένα δείκτη ρύπανσης ο οποίος απέβλεπε στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού των επιφανειακών υδατικών σωμάτων για γενική χρήση. Ο συγκεκριμένος δείκτης, σύμφωνα με τους δημιουργούς του, ενδείκνυται κυρίως για περιπτώσεις όπου επιδιώκεται η παράλληλη αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης περισσότερων από ένα υδατικών σωμάτων εντός μίας συγκεκριμένης περιοχής ή μίας χώρας και η συγκριτική αξιολόγηση των επιπέδων ρύπανσης σε καθένα από αυτά. Η εφαρμογή του, ωστόσο, δεν κρίνεται κατάλληλη σε περιπτώσεις όπου ως στόχος τίθεται ο ακριβής προσδιορισμός του επιπέδου της ρύπανσης ή του απαιτούμενου βαθμού επεξεργασίας συγκεκριμένων λυμάτων ή, ακόμη, η χωροθέτηση μονάδων επεξεργασίας προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα νερού σε ένα δεδομένο υδατικό σώμα.

Βάσει της μεθοδολογίας του συγκεκριμένου δείκτη, η αποτίμηση της υφιστάμενης ρύπανσης στο εξεταζόμενο υδατικό σώμα επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης 13 συνολικά ποιοτικών μεταβλητών-ρύπων, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.4. Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση δείκτη, προκειμένου να μετατραπούν οι συγκεντρώσεις των επιμέρους παραμέτρων σε επίπεδα ρύπανσης απαραίτητη είναι η κανονικοποίησή τους μέσω της δημιουργίας υπο-δεικτών. Για το σκοπό αυτό, δηλαδή για τη δημιουργία των μαθηματικών σχέσεων που θα αντιστοιχίζουν τη συγκέντρωση μίας δεδομένης μεταβλητής με το ρυπαντικό της αποτέλεσμα, αξιοποιήθηκαν συστήματα ταξινόμησης της ποιότητας του νερού από διαφορετικούς οργανισμούς, με βάση τα οποία προέκυψε ο Πίνακας 3.4.

Πίνακας 3.4: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης επιφανειακών υδάτων σύμφωνα με το δείκτη Prati (Πηγή: Prati et al. 1971 και ίδια επεξεργασία)

Ποιοτική παράμετρος	Ποιοτική κατάσταση				
	Άριστη	Αποδεκτή	Ελαφριά ρύπανση	Ρύπανση	Υψηλή ρύπανση
	1	2	4	8	> 8
pH	6.5-8.0	6.0-8.4	5.0-9.0	3.9-10.1	< 3.9 και > 10.1
DO (%)	88-112	75-125	50-150	20-200	< 20 και > 200
BOD ₅ (ppm)	1.5	3.0	6.0	12.0	> 12.0
COD (ppm)	10.0	20.0	40.0	80.0	> 80.0
Kubel test (mg/L O ₂)	2.5	5.0	10.0	20.0	> 20.0
TSS (ppm)	20.0	40.0	100.0	278.0	> 278.0
NH ₃ (ppm)	0.1	0.3	0.9	2.7	> 2.7
NO ₃ ⁻ (ppm)	4.0	12.0	36.0	108.0	> 108.0
Cl (ppm)	50.0	150.0	300.0	620.0	> 620.0
Fe (ppm)	0.1	0.3	0.9	2.7	> 2.7
Mn (ppm)	0.05	0.17	0.5	1.0	> 1.0
ABS (ppm)	0.09	1.0	3.5	8.5	> 8.5
CCE (ppm)	1.0	2.0	4.0	8.0	> 8.0

Προκειμένου, οι συναρτήσεις των επιμέρους υπο-δεικτών να αντικατοπτρίζουν τη συγκριτική επίπτωση κάθε μεταβλητής στη συνολική ποιοτική κατάσταση του υδατικού σώματος, λήφθηκε ως βάση αναφοράς η μεταβλητή του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου 5 ημερών (BOD₅) και κατά

συνέπεια τα επίπεδα συγκέντρωσης της εν λόγω παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση του συστήματος ταξινόμησης. Έτσι, τα διάφορα εύρη συγκέντρωσης του BOD₅, όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.4, τα οποία εκφράζονται σε ppm, μετατράπηκαν απευθείας, χωρίς την εφαρμογή κάποιας συνάρτησης, σε μονάδες μέτρησης της ρύπανσης, διαμορφώνοντας έτσι το κοινό σύστημα ταξινόμησης για το σύνολο των υπο-δεικτών. Η μόνη τροποποίηση η οποία πραγματοποιήθηκε για λόγους απλοποίησης ήταν η διαίρεση των συγκεντρώσεων του BOD₅ που αντιστοιχούν στα άνω όρια των επιμέρους ποιοτικών κλάσεων (1.5, 3, 6, 12) με το 1.5 ppm (Prati et al. 1971). Με τον τρόπο αυτό, διαμορφώθηκε για το σύνολο των υπο-δεικτών το σύστημα ταξινόμησης το οποίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Διαμόρφωση ενιαίου συστήματος ταξινόμησης της ποιότητας για το σύνολο των υπο-δεικτών σύμφωνα με το δείκτη Prati (Πηγή: Prati et al. 1971 και ίδια επεξεργασία)

Ποιοτική κλάση	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κλάσης	Τιμή δείκτη ρύπανσης (μονάδες μέτρησης ρύπανσης)
5	Άριστη ποιότητα	0-1
4	Αποδεκτή ποιότητα	1-2
3	Ελαφριά ρύπανση	2-4
2	Ρύπανση	4-8
1	Έντονη ρύπανση	> 8

Η μετατροπή της κλίμακας των συγκεντρώσεων των υπολοίπων παραμέτρων σε επίπεδα ρύπανσης πραγματοποιήθηκε μέσω της διαμόρφωσης κατάλληλων συναρτήσεων φροντίζοντας να αντανακλάται η διαφορετική ικανότητα ρύπανσης της κάθε μεταβλητής. Η τιμή του ολικού δείκτη ρύπανσης, η οποία εκφράζει τη συνολική κατάσταση ρύπανσης στο εξεταζόμενο σώμα ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίπτωσης του συνόλου των μεταβλητών προκύπτει ως ο αρμονικός μέσος όρος των επιμέρους υπο-δεικτών.

$$I = \frac{1}{13} \times \sum_{i=1}^{13} I_i \quad (3.15)$$

όπου:

I: ο ολικός δείκτης ρύπανσης

I_i: ο δείκτης ρύπανσης (ή υπο-δείκτης) της i παραμέτρου

Βάσει της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης, το εξεταζόμενο υδατικό σώμα ταξινομείται στην αντίστοιχη ποιοτική κλάση σύμφωνα με τον Πίνακα 3.5.

3.5.4 Δείκτης Oregon (Oregon Water Quality Index)

Ο δείκτης Oregon αναπτύχθηκε από το Department of Environmental Quality (DEQ) του Oregon των ΗΠΑ τη δεκαετία του 70 και κύριοι στόχοι αυτού ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την ποιοτική κατάσταση των ποταμών του Oregon, η ανίχνευση των υφιστάμενων τάσεων και η επικοινωνία των αποτελεσμάτων στο κοινό. Ο δείκτης στην αρχική του μορφή απεσύρθη το 1983 εξαιτίας του μεγέθους των πόρων που απαιτούσε για τον υπολογισμό και την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων ποιότητας, ενώ το 1995, ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής προόδου αλλά και της βαθύτερης γνώσης που αποκτήθηκε στον τομέα της ποιότητας του νερού, εισήχθη η τροποποιημένη

έκδοση αυτού. Ο αρχικός δείκτης βελτιώθηκε σε σημεία όπως ο υπολογισμός των επιμέρους υπο-δεικτών καθώς και της τελικής τιμής του, ενώ παράλληλα οι παράμετροι της θερμοκρασίας και του ολικού φωσφόρου προστέθηκαν στη λίστα των ποιοτικών μεταβλητών. Ο τροποποιημένος δείκτης Oregon χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδατορευμάτων του Oregon για γενική χρήση αναψυχής, συμπεριλαμβανομένων των χρήσεων της κολύμβησης και της αλιείας, ενώ οι 8 ποιοτικές παράμετροι που τον συναποτελούν είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το pH, το άθροισμα του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου, ο ολικός φωσφόρος, τα ολικά στερεά και τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια (Abbasi and Abbasi 2012, Roopam et al. 2013). Για την επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων αξιοποιήθηκε και εδώ η μέθοδος Delphi, ενώ κύριο κριτήριο για την επιλογή τους υπήρξε ο κατά το δυνατόν περιορισμός του αριθμού τους, έτσι ώστε να αντανakλούν ικανοποιητικά πέντε βασικές κατηγορίες ποιοτικής υποβάθμισης του νερού (αποξυγόνωση, ευτροφισμός, επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά, υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών και ενδεχόμενη παθογένεια) (Cude 2001).

Η διαμόρφωση των συναρτήσεων μετατροπής των συγκεντρώσεων των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων σε επίπεδα ποιότητας πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας μη γραμμική παλινδρόμηση σε δεδομένα πινάκων, οι οποίοι συμπληρώθηκαν βάσει των σχεδιασμένων στο χέρι καμπυλών μετατροπής του αρχικού δείκτη. Για κάθε επιμέρους μεταβλητή, οι εν λόγω συναρτήσεις αποδίδουν βάσει της μετρούμενης συγκέντρωσης τη βαθμολογία ποιότητας σε μία κλίμακα από το 10 (δυσμενέστερη περίπτωση) έως το 100 (ιδανική κατάσταση ποιότητας).

Οι βαθμολογίες ποιότητας οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή των επιμέρους συναρτήσεων μετατροπής συνδυάζονται για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος ποιότητας βάσει της ακόλουθης σχέσης:

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (3.16)$$

όπου:

WQI: το αποτέλεσμα του ολικού δείκτη ποιότητας νερού

n: το πλήθος των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων

SI_i: η τιμή του υπο-δείκτη της παραμέτρου i

Η παραπάνω εξίσωση διαφέρει στη μορφή της από εκείνη του αρχικού δείκτη, όπου αποδίδονταν σταθεροί συντελεστές βαρύτητας στις επιμέρους παραμέτρους με αποτέλεσμα η τελική τιμή του δείκτη ποιότητας να αντανakλά τη συνεισφορά συγκεκριμένων ποιοτικών μεταβλητών (εκείνων στις οποίες είχαν εκχωρηθεί οι υψηλότεροι συντελεστές) ανεξάρτητα από το αν ενδεχομένως απαντώνταν σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Αντίθετα, βάσει της παρούσας εξίσωσης συνυπολογισμού, το τελικό αποτέλεσμα επηρεάζεται κυρίως από την παράμετρο η οποία συνεισφέρει περισσότερο κάθε φορά στην υποβάθμιση της ποιότητας, εκείνης δηλαδή που εμφανίζει μικρότερη τιμή του υπο-δείκτη SI (Cude 2001).

Βάσει της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας, το εξεταζόμενο σώμα κατηγοριοποιείται σε μία από τις ακόλουθες ποιοτικές κλάσεις (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη Oregon (Πηγή: Cude 2001 και ίδια επεξεργασία)

Τιμή δείκτη	Αριθμός ποιοτικής τάξης	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού
10-59	1	Πολύ φτωχή
60-79	2	Φτωχή
80-84	3	Μέτρια
85-89	4	Καλή
90-100	5	Άριστη

3.5.5 Δείκτης Bascaran

Σύμφωνα με τη μέθοδο την οποία εισήγαγε το 1979 ο Bascaran, οι τιμές των επιμέρους φυσικών, χημικών ή βιολογικών ποιοτικών παραμέτρων, έτσι όπως έχουν μετρηθεί στο πεδίο ή στο εργαστήριο, συνδυάζονται, αφού πρώτα σταθμιστούν, μέσω της Εξ. (3.17) ώστε να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι δυνατόν να εφαρμοστεί και για περιορισμένο αριθμό ποιοτικών παραμέτρων (π.χ. κυριότερα ιόντα, pH, θερμοκρασία και ηλεκτρική αγωγιμότητα), ωστόσο, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επιλεχθέντων παραμέτρων τόσο υψηλότερη είναι και η αξιοπιστία της εκτίμησης που θα πραγματοποιηθεί.

$$ICA = K \times \frac{\sum(C_i \times P_i)}{\sum P_i} \quad (3.17)$$

όπου:

C_i : η τιμή της ποιοτικής μεταβλητής ανηγμένης στην επί τοις 100 κλίμακα

P_i : ο συντελεστής σημαντικότητας που αποδόθηκε στην εκάστοτε ποιοτική μεταβλητή

K : σταθερά η τιμή της οποίας κυμαίνεται από 1, για καθαρά νερά χωρίς εμφανή παρουσία ρύπανσης, έως 0.25 για εμφανώς ρυπασμένα νερά τα οποία παρουσιάζουν οσμές.

Η παραπάνω εξίσωση δίνει τη συνολική τιμή του δείκτη, ανηγμένη σε κλίμακα από 0 έως 100 (Poonam et al. 2013).

3.5.6 Δείκτης Bhargava

Ο συγκεκριμένος δείκτης αναπτύχθηκε από τον Bhargava το 1983 με σκοπό την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού του ποταμού Ganga της Ινδίας. Ειδικότερα, η εφαρμογή του συνέβαλε στη «ζωonoποίηση» του ποταμού, μέσω της κατηγοριοποίησης των επιμέρους τμημάτων του στις αντίστοιχες ποιοτικές κλάσεις αλλά και της διερεύνησης της καταλληλότητας αυτών για διαφορετικές χρήσεις νερού (Bhargava 1983). Η διαμόρφωση του δείκτη ποιότητας του Bhargava στηρίχτηκε κυρίως στην εξασφάλιση των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- i. Ο δείκτης πρέπει να είναι «ευαίσθητος» στις μεταβολές των τιμών των επιμέρων ποιοτικών παραμέτρων
- ii. Η τιμή του δείκτη για μία δεδομένη χρήση νερού πρέπει να επηρεάζεται κυρίως από τις μεταβολές των τιμών των παραμέτρων, οι οποίες σχετίζονται περισσότερο με τη συγκεκριμένη χρήση

- iii. Στην περίπτωση όπου έστω μία ποιοτική παράμετρος βρίσκεται εκτός των ενδεδειγμένων ποιοτικών ορίων, βάσει των οποίων καθορίζεται η καταλληλότητα του νερού για μία δεδομένη χρήση, ο δείκτης που αντιστοιχεί στη μεταβλητή αυτή θα πρέπει να λαμβάνει μία πολύ χαμηλή (ή μηδενική) τιμή
- iv. Ο δείκτης θα πρέπει να παραμένει αμετάβλητος για τιμές της παραμέτρου πέραν των οποίων η ποιότητα του νερού δεν υποβαθμίζεται περαιτέρω
- v. Ο τρόπος με τον οποίον θα μεταβάλλεται η τιμή του δείκτη για αντίστοιχη μεταβολή μίας μεμονωμένης παραμέτρου θα πρέπει να αντανακλά τα διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας της μεταβλητής για τις διάφορες χρήσεις (Bhargava 1983).

Λαμβάνοντας υπόψιν τα κοινά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζει κάθε επιμέρους χρήση νερού, όσον αφορά στις απαιτήσεις ποιότητας αλλά και στο σύνολο των ποιοτικών μεταβλητών από τις οποίες επηρεάζεται, η μεθοδολογία του Bhargava ορίζει 5 κατηγορίες χρήσης βάσει των οποίων αξιολογείται η συνολική ποιότητα του νερού σε ένα δεδομένο υδάτινο σώμα. Οι κατηγορίες χρήσης νερού οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν είναι οι εξής:

- i. Κολύμβηση
- ii. Ύδρευση
- iii. Αγροτική χρήση νερού
- iv. Βιομηχανία
- v. Ιχθυοκαλλιέργεια, διατήρηση άγριας ζωής και δραστηριότητες αναψυχής οι οποίες δεν περιλαμβάνουν επαφή του χρήστη με το νερό

Η καταλληλότητα του εξεταζόμενου υδατικού σώματος για τις παραπάνω χρήσεις νερού αξιολογείται βάσει του είδους των φυσικών, χημικών ή βιολογικών παραμέτρων που εντοπίζονται στο νερό καθώς και των ποσοτήτων (συγκεντρώσεων) στις οποίες αυτές απαντώνται. Ωστόσο, δεν επιδρούν όλες οι ποιοτικές μεταβλητές επιβαρυντικά στην ποιότητα του νερού για το σύνολο των διαφόρων χρήσεων, με αποτέλεσμα ορισμένες εξ' αυτών να θεωρούνται καθοριστικές για την αξιολόγηση του νερού για μία δεδομένη χρήση και άλλες να μην απαιτείται να ληφθούν υπόψιν (Bhargava 1983).

Βάσει, λοιπόν των συγκεντρώσεων των επιμέρους παραμέτρων, οι οποίες θεωρούνται αντιπροσωπευτικότερες για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για μία δεδομένη χρήση, καθίσταται εφικτή η αντιστοίχιση ενός δείγματος νερού σε μία τιμή (βαθμολογία ποιότητας για τη δεδομένη χρήση) και, εν συνεχεία, σε μία εκ των πέντε ποιοτικών κλάσεων (I, II, III, IV και V), όπως αυτές ορίζονται από την παρούσα μέθοδο (Πίνακας 3.8). Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται οι παράμετροι οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν στην αξιολόγηση του νερού για κάθε χρήση, καθώς και ο τρόπος με τον οποίον μεταβάλλεται η ποιότητα (αντιστοίχιση σε διαφορετική ποιοτική κλάση) για δεδομένη μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε παραμέτρου. Η αντιστοίχιση των επιμέρους συγκεντρώσεων σε επίπεδα ποιότητας πραγματοποιείται μέσω μίας συνάρτησης ευαισθησίας, η οποία, για δεδομένη μεταβολή στη συγκέντρωση μίας συγκεκριμένης μεταβλητής, μεταβάλλεται με διαφορετικό τρόπο για κάθε επιμέρους χρήση νερού, αντανακλώντας τα διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας της μεταβλητής για τις διάφορες χρήσεις. Η συνάρτηση ευαισθησίας, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα, λαμβάνει τιμές 0.01, 0.2, 0.5, 0.8 και 1, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τιμές του δείκτη ποιότητας ίσες με 1, 20, 50, 80 και 100, αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό, ακόμη, να τονιστεί ότι οι συγκεκριμένες συναρτήσεις ενσωματώνουν την απόδοση «βαρών» στις επιμέρους μεταβλητές που υπεισέρχονται στην αξιολόγηση μίας δεδομένης χρήσης νερού και, επομένως, κατά τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη ποιότητας για τη χρήση αυτή αποδίδεται ίση σημαντικότητα σε κάθε παράμετρο.

Έχοντας υπολογίσει την τιμή της συνάρτησης ευαισθησίας για κάθε ποιοτική παράμετρο η οποία υπεισέρχεται στην αξιολόγηση μίας δεδομένης χρήσης νερού, η τιμή του δείκτη ποιότητας για τη χρήση αυτή προκύπτει συνυπολογίζοντας τις επιμέρους συναρτήσεις ευαισθησίας βάσει της ακόλουθης εξίσωσης (Bhargava 1983):

$$WQI = [\prod_{i=1}^n f_i(P_i)]^{1/n} \times 100 \quad (3.18)$$

όπου:

WQI: ο δείκτης ποιότητας νερού για τη δεδομένη χρήση

n: το πλήθος των μεταβλητών που λαμβάνονται υπόψιν για την αξιολόγηση της δεδομένης χρήσης

$f_i(P_i)$: η συνάρτηση ευαισθησίας της παραμέτρου i , η οποία εμπεριέχει την επίδραση της διαφορετικής σημαντικότητας της δεδομένης παραμέτρου στη θεωρούμενη χρήση.

Η αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας του νερού του εξεταζόμενου σώματος επιτυγχάνεται μέσω του υπολογισμού του αριθμητικού μέσου όρου των τιμών των δεικτών ποιότητας των επιμέρους χρήσεων ή, εναλλακτικά, στην περίπτωση όπου διατίθενται δεδομένα αναφορικά με την ποσοστιαία συνεισφορά κάθε χρήσης νερού στη συνολική αξιοποίηση του υδατικού πόρου, αποδίδονται στις επιμέρους χρήσεις τα αντίστοιχα βάρη (Bhargava 1983).

Η ποιότητα του νερού βάσει του ολικού δείκτη ποιότητας κατηγοριοποιείται σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης, το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 3.7).

Πίνακας 3.7: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη Bhargava (Πηγή: Bhargava 1983 και ίδια επεξεργασία)

Τιμή δείκτη	Αριθμός ποιοτικής κλάσης	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού
≥ 90	5	Άριστη
65-89	4	Καλή
35-64	3	Ικανοποιητική
11-34	2	Φτωχή
≤ 10	1	Μη αποδεκτή

Πίνακας 3.8: Προτεινόμενες τιμές συγκέντρωσης των ποιοτικών μεταβλητών για κάθε επιμέρους ποιοτική κλάση και χρήση νερού βάσει της μεθόδου του δείκτη Bhargava (Πηγή: Bhargava 1983 και ίδια επεξεργασία)

Χρήση νερού	Ταξινόμηση		Αντιπροσωπευτικές παράμετροι ποιότητας νερού για κάθε χρήση								
	Ποιοτική κλάση	Τιμή συνάρτησης ευαισθησίας	T (°C)	Βάθος διείσδυσης φωτός (cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μhos/cm)	Σκληρότητα CaCO ₃ (mg/L)	Αριθμός κολοβακτηριδίων ανά 100 ml	NH ₃ -N (mg/L)
Κολύμβηση	I	1.0	-	> 100	>8.0	< 1.0	-	-	-	< 10	0.0
	II	0.8	-	80	5.8	3.0	-	-	-	40	0.6
	III	0.5	-	50	4.0	6.5	-	-	-	250	1.5
	IV	0.2	-	20	2.5	10.0	-	-	-	1500	2.4
	V	0.01	-	< 1	< 2.0	> 12.0	-	-	-	> 6000	> 3.0
Υδρευση	I	1.0	-	> 100	> 8.0	< 1.0	< 20	-	-	< 100	-
	II	0.8	-	80	5.8	3	100	-	-	200	-
	III	0.5	-	50	4.0	6.5	250	-	-	800	-
	IV	0.2	-	20	2.5	10.0	400	-	-	3000	-
	V	0.01	-	< 1	< 2.0	> 12.5	> 500	-	-	> 8000	-
Αγροτική χρήση	I	1.0	-	-	-	-	< 4	< 40	-	-	-
	II	0.8	-	-	-	-	20	400	-	-	-
	III	0.5	-	-	-	-	50	1000	-	-	-
	IV	0.2	-	-	-	-	80	1600	-	-	-
	V	0.01	-	-	-	-	> 100	> 2000	-	-	-
Βιομηχανία	I	1.0	-	> 100	-	-	-	< 40	< 20	-	-
	II	0.8	-	80	-	-	-	400	100	-	-
	III	0.5	-	50	-	-	-	1000	200	-	-
	IV	0.2	-	20	-	-	-	1600	320	-	-
	V	0.01	-	< 1	-	-	-	> 2000	> 400	-	-
Ιχθυοκαλλιέργεια, διατήρησης άγριας ζώης και δραστηριότητες αναψυχής (χωρίς επαφή του χρήστη με το νερό)	I	1.0	15	-	> 8.0	< 1.0	< 20	-	-	-	-
	II	0.8	20	-	6.0	3.5	100	-	-	-	-
	III	0.5	28	-	4.2	8.0	250	-	-	-	-
	IV	0.2	35	-	3.0	12.0	400	-	-	-	-
	V	0.01	> 40	-	<2.5	> 15.0	> 500	-	-	-	-

3.5.7 Δείκτης DWQI (Dinius Water Quality Index)

Ο συγκεκριμένος δείκτης αναπτύχθηκε από τον Dinius (1987) με εφαρμογή της μεθόδου Delphi για τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων στα επιμέρους στάδια της διαδικασίας διαμόρφωσης του. Μέσω της εφαρμογής του, επιτυγχάνεται η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του νερού για έξι διαφορετικές κατηγορίες χρήσης (ύδρευση, αγροτική χρήση, βιομηχανική χρήση, χρήση αναψυχής, διαβίωση ιχθύων και διαβίωση οστρακοειδών). Οι δώδεκα ποιοτικές μεταβλητές οι οποίες ενσωματώθηκαν σε αυτόν ήταν το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (5 ημερών), ο αριθμός των κολοβακτηριδίων καθώς και του βακτηρίου E-coli, το pH, η αλκαλικότητα, η σκληρότητα, το χλώριο, η ειδική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία, το χρώμα, και τα νιτρικά.

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για τη διαμόρφωση του δείκτη περιγράφεται συνοπτικά στα ακόλουθα βήματα:

- i. Συγκρότηση επιστημονικής επιτροπής, αποτελούμενης από 7 ειδικούς σε θέματα ποιότητας νερού
- ii. Επιλογή των ποιοτικών μεταβλητών που θα συμμετάσχουν στη διαμόρφωση του δείκτη
- iii. Αξιολόγηση της επίπτωσης της μεταβολής της συγκέντρωσης κάθε μεταβλητής στην ποιότητα του νερού για καθεμία από τις 6 κατηγορίες χρήσης. Το στάδιο αυτό πρακτικά υλοποιήθηκε μέσω της απόδοσης, από κάθε μέλος της επιτροπής, μίας τιμής από το 0 (πολύ κακή ποιότητα νερού) έως το 100 (βέλτιστη ποιότητα νερού) στο δείκτη ποιότητας για διαφορετικές τιμές συγκέντρωσης της εκάστοτε μεταβλητής. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε κατηγορία χρήσης ξεχωριστά, ενώ για την απόδοση των βαθμολογιών ποιότητας στις επιμέρους συγκεντρώσεις οι ειδικοί βασίστηκαν στην κλίμακα αξιολόγησης η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.9, σύμφωνα με την οποία οι διάφορες τιμές του δείκτη ποιότητας αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένα επίπεδα ρύπανσης για τις επιμέρους χρήσεις
- iv. Συνεκτίμηση των βαθμολογιών ποιότητας των μελών για κάθε επιμέρους μεταβλητή, τιμή συγκέντρωσης και εξεταζόμενη χρήση και κατάστρωση κατάλληλου πίνακα για κάθε παράμετρο (Πίνακας 3.10), ο οποίος συγκεντρώνει τους μέσους όρους των αξιολογήσεων για κάθε τιμή συγκέντρωσης και χρήση νερού
- v. Συνυπολογισμός των μέσων όρων των βαθμολογιών ποιότητας για κάθε επιμέρους χρήση, όπως προέκυψαν βάσει του προηγούμενου σταδίου, για την εξαγωγή της τιμής του υπο-δείκτη της δεδομένης μεταβλητής για γενική χρήση νερού, λαμβάνοντας υπόψιν τη σημαντικότητα της εξεταζόμενης κάθε φορά παραμέτρου για καθεμία από τις κατηγορίες χρήσης (Πίνακας 3.10)
- vi. Δημιουργία συναρτήσεων υπο-δεικτών για το σύνολο των μεταβλητών, βάσει των επιμέρους μεταβολών της συγκέντρωσης της εκάστοτε μεταβλητής και των αντίστοιχων τιμών του υπο-δείκτη αυτής για γενική χρήση νερού
- vii. Συνυπολογισμός των συναρτήσεων υπο-δεικτών των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων για τον προσδιορισμό της τιμής του τελικού δείκτη ποιότητας. Οι επιμέρους υπο-δείκτες συνδυάζονται για την εξαγωγή του ολικού δείκτη μέσω της Εξ. (3.19) αφού πρώτα σταθμιστούν βάσει της σχετικής σημαντικότητας κάθε μεταβλητής στη συνολική ποιότητα του νερού. Οι συντελεστές σημαντικότητας των επιμέρους παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.11.

$$WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad (3.19)$$

όπου:

WQI: ο ολικός δείκτης ποιότητας, ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 100

I_i : ο υπο-δείκτης της i μεταβλητής (0 έως 100)

n : το πλήθος των μεταβλητών

w_i : το μοναδιαίο βάρος της i μεταβλητής, τέτοιο ώστε να ισχύει $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Πίνακας 3.9: Κλίμακα ποιοτικής ταξινόμησης ανά χρήση νερού σύμφωνα με το δείκτη του Dinius (Πηγή: Dinius 1987 και ίδια επεξεργασία)

Επίπεδα ρύπανσης (100=βέλτιστη ποιότητα)	Χρήσεις νερού						
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Αγροτική χρήση	Βιομηχανική χρήση	
100	Δεν απαιτείται καθαρισμός	Αποδεκτή ποιότητα για κάθε είδους αθλητική δραστηριότητα	Αποδεκτή ποιότητα για όλα τα είδη ψαριών	Αποδεκτή ποιότητα για όλα τα είδη οστρακοειδών	Δεν απαιτείται καθαρισμός	Δεν απαιτείται καθαρισμός	
90	Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός				Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός για καλλιέργειες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας νερού	Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός για βιομηχανίες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας νερού	
80	Εντατικοποίηση της απαιτούμενης επεξεργασίας				Έναρξη ρύπανσης- αποδεκτός αριθμός βακτηρίων	Οριακή ποιότητα για ευαίσθητα είδη ψαριών	Οριακή ποιότητα για ευαίσθητα είδη οστρακοειδών
60		Αμφίβολη ποιότητα για ευαίσθητα είδη ψαριών	Αμφίβολη ποιότητα για ευαίσθητα είδη οστρακοειδών				
50	Αμφίβολη ποιότητα	Αμφίβολη ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό	Κατάλληλο μόνο για ανθεκτικά ψάρια	Κατάλληλο μόνο για ανθεκτικά οστρακοειδή	Απαιτείται εντατική επεξεργασία για χρήση στις περισσότερες καλλιέργειες	Απαιτείται εντατική επεξεργασία για χρήση στις περισσότερες βιομηχανίες	
40	Μη αποδεκτή ποιότητα	Μη αποδεκτή ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό	Κατάλληλο μόνο για παχιά ψάρια	Κατάλληλο μόνο για παχιά οστρακοειδή			
30		Έναρξη εμφανούς ρύπανσης	Μη αποδεκτή ποιότητα	Μη αποδεκτή ποιότητα	Χρήση μόνο σε ιδιαίτερα ανθεκτικές καλλιέργειες	Χρήση μόνο σε βαριά βιομηχανία	
20		Εμφανής ρύπανση-μη αποδεκτή ποιότητα			Μη αποδεκτή ποιότητα	Μη αποδεκτή ποιότητα	Μη αποδεκτή ποιότητα
10							

Το αποτέλεσμα του ολικού δείκτη ποιότητας, το οποίο προκύπτει μέσω της εφαρμογής της Εξ. (3.19) είναι δυνατόν να ερμηνευτεί, ανάλογα με το στόχο της εκάστοτε έρευνας, βάσει του Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.10: Υπολογισμός τιμών υπο-δείκτη της μεταβλητής BOD₅ για γενική χρήση νερού (Πηγή: Dinius 1987 και ίδια επεξεργασία)

Τιμή συγκέντρωσης BOD ₅ στους 20° C (mg/L)	Μέσες τιμές αξιολογήσεων ποιότητας ανά χρήση για διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης						Τιμή υπο-δείκτη για γενική χρήση
	Υδρευση (w=0.207)	Αναψυχή (w=0.168)	Διαβίωση ιχθύων (w=0.183)	Διαβίωση οστρακοειδών (w=0.197)	Αγροτική χρήση (w=0.086)	Βιομηχανική χρήση (w=0.159)	
< 1	93	92	90	88	95	95	91.8
< 2	88	85	82	82	92	90	85.9
< 3	78	80	70	70	85	85	77.0
< 5	60	68	58	60	80	78	65.6
< 8	48	55	48	50	65	62	53.3
< 12	40	42	38	48	50	48	43.7
< 25	30	32	32	35	38	35	33.2
< 100	20	20	22	25	20	20	21.3

Πίνακας 3.11: Διαμόρφωση των συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών βάσει της σχετικής σημαντικότητας τους στη συνολική ποιότητα του νερού (Πηγή: Dinius 1987 και ίδια επεξεργασία)

Ποιοτικές παράμετροι	Βαθμολογία σχετικής σημαντικότητας (από 1 έως 5 με 5=μέγιστη σημαντικότητα)	
	σημαντικότητας (από 1 έως 5 με 5=μέγιστη σημαντικότητα)	Συντελεστής βαρύτητας
DO	4.7	0.109
BOD ₅	4.2	0.097
Αριθμός κολοβακτηριδίων	3.9	0.090
E. Coli	5.0	0.116
Αλκαλικότητα	2.7	0.063
Σκληρότητα	2.8	0.065
Χλώριο	3.2	0.074
Ειδική αγωγιμότητα	3.4	0.079
pH	3.3	0.077
Νιτρικά	3.9	0.090
Θερμοκρασία	3.3	0.077
Χρώμα	2.7	0.063

3.5.8 Δείκτης Smith

Ο συγκεκριμένος δείκτης αναπτύχθηκε το 1990 από τον Smith και συνιστά «ωβριδικό» δείκτη, δεδομένου ότι προέκυψε μέσω συνδυασμού δύο επιμέρους δεικτών, ενώ βασίζεται, όπως και οι προηγούμενοι, στην κρίση ειδικών επιστημόνων καθώς και σε υφιστάμενα πρότυπα ποιότητας νερού. Τα πρότυπα αυτά αντιστοιχούν σε 4 διαφορετικές χρήσεις νερού, οι οποίες είναι η γενική χρήση, η χρήση κολύμβησης, η ύδρευση και η αναπαραγωγή ιχθύων. Η επιλογή των ποιοτικών παραμέτρων για κάθε επιμέρους κατηγορία χρήσης νερού, η διαμόρφωση των επιμέρους υπο-

δεικτών καθώς και η απόδοση των συντελεστών βαρύτητας σε καθέναν από αυτούς πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου Delphi, την οποία ωστόσο ο Smith τροποποίησε μέσω της προσθήκης ορισμένων ακόμη βημάτων, προκειμένου να επιτύχει τη μέγιστη δυνατή σύγκλιση απόψεων μεταξύ των επιστημόνων. Η τελική τιμή του δείκτη Smith υπολογίζεται εφαρμόζοντας τη λογική συνάρτηση προσδιορισμού του ελαχίστου όρου, δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση του υπο-δείκτη με την ελάχιστη τιμή (Poonam et al. 2013).

3.5.9 Δείκτης BCWQI (British Columbia Water Quality Index)

Ο δείκτης BCWQI αναπτύχθηκε το 1995 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος του Καναδά ως ένας δείκτης «ρύπανσης» ή αλλιώς «αύξουσας κλίμακας» για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του νερού. Παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το δείκτη CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index), ο οποίος εισήχθη λίγα χρόνια αργότερα και περιγράφεται στην ακόλουθη υποενότητα. Ο υπολογισμός του δείκτη BCWQI βασίζεται στον προσδιορισμό 3 παραμέτρων, καθεμία από τις οποίες εκφράζει: (α) το ποσοστό του συνόλου των ποιοτικών μεταβλητών για τις οποίες δεν πληρούνται τα υφιστάμενα ποιοτικά πρότυπα, (β) το ποσοστό του συνόλου των πραγματοποιούμενων ποιοτικών ελέγχων για τους οποίους μία ή περισσότερες μεταβλητές υπερβαίνουν τα ποιοτικά όρια και (γ) το βαθμό στον οποίο οι ανεπιτυχείς ποιοτικοί έλεγχοι δεν ικανοποιούν τους εκάστοτε ποιοτικούς στόχους, αντίστοιχα. Οι επιδιωκόμενοι, κάθε φορά, ποιοτικοί στόχοι εξαρτώνται από την εκάστοτε χρήση του νερού, ενώ διαφορετικά εύρη συγκεντρώσεων έχουν προσδιοριστεί για την αξιολόγηση της ποιότητας του, ανάλογα με την εξεταζόμενη χρήση. Όπως αναφέρθηκε, ο δείκτης BCWQI είναι «αύξουσας» κλίμακας, με άλλα λόγια πολύ μικρές τιμές του δείκτη υποδηλώνουν χαμηλά επίπεδα ρύπανσης και επομένως άριστη ποιότητα του νερού, ενώ αντίθετα οι υψηλές τιμές αυτού υποδηλώνουν φτωχή ποιοτική κατάσταση (Abbasi and Abbasi 2012).

3.5.10 Δείκτης CCME-WQI (Canadian Council of Ministers of Environment Water Quality Index)

Ο δείκτης CCME αναπτύχθηκε από το Συμβούλιο των Υπουργείων Περιβάλλοντος του Καναδά με στόχο να αποτελέσει ένα επικοινωνιακό εργαλείο επιστημονικής βάσης, το οποίο θα αξιολογεί ποιοτικά δεδομένα διαφόρων μεταβλητών βάσει σαφώς ορισμένων από το χρήστη ποιοτικών ορίων. Παρότι η κατασκευή του βασίζεται στο δείκτη BCWQI, ενσωματώνει τροποποιήσεις οι οποίες αναπτύχθηκαν από την επαρχία Αλμπέρτα του Καναδά και συνεπώς παρουσιάζει περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά με τον αγροτικό δείκτη ποιότητας νερού (Alberta Agricultural Water Quality Index-AAWQI) της συγκεκριμένης περιοχής. Κατ' αντιστοιχία με τους δείκτες BCWQI και AAWQI, η τελική αδιάστατη τιμή του δείκτη CCME, η οποία αντανάκλα τη συνολική ποιότητα του νερού αναφορικά με την επιλεχθείσα κάθε φορά προσέγγιση και τα ποιοτικά πρότυπα που τη χαρακτηρίζουν, προκύπτει μέσω της εκτίμησης τριών επιμέρους παραμέτρων, της «έκτασης», της «συχνότητας» και του «μεγέθους» της απόκλισης των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων ποιοτικών μεταβλητών από τα αντίστοιχα ποιοτικά όρια. Παρά την κοινή υπολογιστική βάση των τριών δεικτών, οι μέθοδοι με τις οποίες οι παραπάνω παράμετροι εκτιμώνται διαφέρουν για καθέναν από αυτούς, με αποτέλεσμα η χρήση τους για το ίδιο σετ δεδομένων ποιότητας να οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα. Το τελικό αδιάστατο αποτέλεσμα του δείκτη κυμαίνεται από 0 έως 100, με την τιμή 100 να υποδηλώνει βέλτιστη ποιότητα νερού (CCME 2001).

Βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη CCME, ο υπολογισμός των τριών προαναφερθεισών παραμέτρων υλοποιείται αφού πρώτα προσδιοριστούν: (α) το προς εξέταση υδατικό σώμα, (β) η μελετώμενη χρονική περίοδος, (γ) οι ποιοτικές μεταβλητές οι οποίες θα ληφθούν υπόψιν για την αξιολόγηση καθώς και (δ) τα ποιοτικά όρια που θα χρησιμοποιηθούν. Αναλυτικότερα:

- i. Η παράμετρος F_1 (έκταση) αντιπροσωπεύει το ποσοστό του συνόλου των εξεταζόμενων ποιοτικών μεταβλητών, οι οποίες δεν ανταποκρίνονται στα ποιοτικά όρια (οριακές τιμές συγκέντρωσης) τουλάχιστον μία φορά εντός της μελετώμενης χρονικής περιόδου
- ii. Η παράμετρος F_2 (συχνότητα) αφορά στο πλήθος των μεμονωμένων ποιοτικών ελέγχων οι οποίοι δεν ανταποκρίνονται στις οριακές τιμές, για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου και των εξεταζόμενων μεταβλητών
- iii. Η παράμετρος F_3 αντανακλά το μέγεθος της απόκλισης των ανεπιτυχών ποιοτικών ελέγχων από τα επιθυμητά ποιοτικά όρια (CCME 2001).

Οι παράγοντες F_1 και F_2 υπολογίζονται βάσει των Εξ. (3.20) και (3.21).

$$F_1 = \left(\frac{\text{Αριθμός μεταβλητών που βρίσκονται εκτός των ποιοτικών ορίων}}{\text{Συνολικός αριθμός μεταβλητών}} \right) \times 100 \quad (3.20)$$

$$F_2 = \left(\frac{\text{Αριθμός ποιοτικών ελέγχων που βρίσκονται εκτός των ποιοτικών ορίων}}{\text{Συνολικός αριθμός ποιοτικών ελέγχων}} \right) \times 100 \quad (3.21)$$

Η εκτίμηση της παραμέτρου F_3 πραγματοποιείται σε τρία επιμέρους στάδια, όπως φαίνεται στις Εξ. (3.22), (3.23) και (3.24). Αρχικά, υπολογίζεται το μέγεθος της «απόκλισης», το οποίο εκφράζει το πόσες φορές η εκάστοτε τιμή συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερη (ή μικρότερη στην περίπτωση όπου αναφερόμαστε σε κατώτατο ποιοτικό όριο) από την ανώτατη (ή την κατώτατη) επιτρεπτή τιμή. Στην περίπτωση όπου το ποιοτικό όριο το οποίο έχει τεθεί αφορά ανώτατη επιτρεπτή τιμή, το μέγεθος της απόκλισης προσδιορίζεται βάσει της Εξ. (3.22α), ενώ σε αντίθετη περίπτωση βάσει της Εξ. (3.22β).

$$\text{απόκλιση}_i = \left[\frac{\text{(Τιμή συγκέντρωσης που βρίσκεται εκτός των ποιοτικών ορίων)}_i}{\text{Ποιοτικό όριο}} \right] - 1 \quad (3.22\alpha)$$

$$\text{απόκλιση}_i = \left[\frac{\text{Ποιοτικό όριο}}{\text{(Τιμή συγκέντρωσης που βρίσκεται εκτός των ποιοτικών ορίων)}_i} \right] - 1 \quad (3.22\beta)$$

Το επόμενο μέγεθος το οποίο εκτιμάται είναι το κανονικοποιημένο άθροισμα των αποκλίσεων, το οποίο προκύπτει διαιρώντας το άθροισμα των αποκλίσεων, όπως αυτές υπολογίστηκαν βάσει των Εξ. (3.22α) και (3.22β) για κάθε επιμέρους τιμή συγκέντρωσης του σετ δεδομένων η οποία δεν πληρεί τα ποιοτικά όρια, με το συνολικό αριθμό των ποιοτικών ελέγχων, τόσο εκείνων που βρίσκονταν εντός όσο και εκτός των ποιοτικών ορίων. Διευκρινίζεται εδώ ότι ως «συνολικός αριθμός ποιοτικών ελέγχων» νοείται το σύνολο των διαθέσιμων συγκεντρώσεων του σετ δεδομένων, το οποίο προκύπτει ως το γινόμενο του πλήθους των εξεταζόμενων ποιοτικών μεταβλητών και των επιμέρους χρονικών βημάτων για τα οποία έχουν πραγματοποιηθεί δειγματοληψίες. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση όπου οι θεωρούμενες ποιοτικές παράμετροι είναι 5, η μελετώμενη περίοδος διαρκεί 4 μήνες και οι δειγματοληψίες έχουν πραγματοποιηθεί σε μηνιαία βάση, ο συνολικός αριθμός των ποιοτικών ελέγχων ισούται με $4 \times 5 = 20$. Το κανονικοποιημένο άθροισμα των αποκλίσεων υπολογίζεται βάσει της σχέσης:

$$\text{Κανονικοποιημένο άθροισμα αποκλίσεων} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{απόκλιση}_i}{\text{συνολικός αριθμός ποιοτικών ελέγχων}} \quad (3.23)$$

Βάσει των παραπάνω, η τιμή του παράγοντα F_3 προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_3 = \left[\frac{\text{κανονικοποιημένο άθροισμα αποκλίσεων}}{(\text{κανονικοποιημένο άθροισμα αποκλίσεων}) \times 0.01 + 0.01} \right] \quad (3.24)$$

Έχοντας υπολογίσει τους παράγοντες F_1 , F_2 και F_3 , ο δείκτης ποιότητας CCME δίνεται από την Εξ. (3.25).

$$CCME\ WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (3.25)$$

Την εκτίμηση της τιμής του δείκτη ακολουθεί η κατηγοριοποίηση του εξεταζόμενου υδατικού σώματος σε μία εκ των 5 ποιοτικών κλάσεων σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης, το οποίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το δείκτη CCME (Πηγή: CCME 2001 και ίδια επεξεργασία)

Τιμή δείκτη CCME	Αριθμός ποιοτικής τάξης	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού
0-44	1	Φτωχή
45-64	2	Οριακή
65-79	3	Μέτρια
80-94	4	Καλή
95-100	5	Άριστη

Ο συγκεκριμένος δείκτης παρέχει σχετική ευελιξία στο χρήστη καθώς η μεθοδολογία του δεν επιβάλλει τη χρήση συγκεκριμένων ποιοτικών μεταβλητών ή ποιοτικών ορίων, ενώ παράλληλα η εφαρμογή του δεν περιορίζεται σε ένα μεμονωμένο τύπο υδατινίου αποδέκτη. Ο ερευνητής είναι ελεύθερος να επιλέξει σύμφωνα με την κρίση του τις ποιοτικές παραμέτρους και τα ποιοτικά όρια που θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, την εξεταζόμενη περίπτωση και τον επιδιωκόμενο στόχο. Παρόλα αυτά, ο χρήστης οφείλει να λάβει υπόψιν ότι για τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη απαιτούνται κατ' ελάχιστον 4 ποιοτικές μεταβλητές μετρούμενες τουλάχιστον 4 φορές εντός της μελετώμενης περιόδου (CCME 2001).

Η δυνατότητα συνδυασμού πλήθους μετρήσεων διαφορετικών ποιοτικών μεταβλητών και η αναπαράσταση αυτών μέσω μίας μόνο τιμής συνιστούν τα κύρια πλεονεκτήματα του δείκτη CCME. Ωστόσο, η εφαρμογή του αναπόφευκτα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια πληροφορίας αναφορικά με την τιμή κάθε επιμέρους παραμέτρου, καθώς και με τις σχέσεις αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται μεταξύ αυτών, εξαιτίας του συνδυασμού τους για την εξαγωγή μίας μεμονωμένης τιμής. Η χρήση του, παρόλα αυτά δεν αποβλέπει στην κατάργηση ή την αντικατάσταση μίας λεπτομερούς ανάλυσης των ποιοτικών μεταβλητών, αλλά περισσότερο στη δημιουργία ενός εργαλείου στη διάθεση των αρμόδιων για τη διαχείριση της ποιότητας του νερού φορέων, προκειμένου να επικοινωνήσουν τη συνολική ποιοτική κατάσταση του εκάστοτε υδατικού σώματος (Poonam et al. 2013).

3.5.11 Δείκτης OPI (Overall Pollution Index)

Ο συγκεκριμένος Δείκτης Ποιότητας Νερού προτάθηκε από το Ερευνητικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Μηχανικής της Ινδίας και συγκεκριμένα από τους Sargoankar and Deshpande (2003), με στόχο την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και την εφαρμογή του κυρίως σε υδατικά σώματα που βρίσκονται εντός των ορίων του ινδικού κράτους. Το γενικό σύστημα ταξινόμησης το οποίο διαμορφώθηκε βασίστηκε σε εκείνο το οποίο αναπτύχθηκε από τους Prati et al. (1971), ενώ ιδιαίτερη έμφαση κατά τη διαμόρφωση του αποδόθηκε, ακόμη, στο σύστημα ταξινόμησης της Κεντρικής Επιτροπής Ελέγχου της Ρύπανσης (CPCB) της Ινδίας. Έτσι, ορίστηκαν πέντε επιμέρους κατηγορίες ποιοτικής κατάστασης με βάση τις οποίες οι διάφορες ποιοτικές μεταβλητές ταξινομούνται ανάλογα με την τιμή της συγκέντρωσής τους. Τα άνω και κάτω όρια των συγκεντρώσεων κάθε ποιοτικής τάξης για καθεμία από τις μεταβλητές προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα τα οποία χρησιμοποιούνται από την Κεντρική Επιτροπή Ελέγχου της Ρύπανσης καθώς και άλλους αντίστοιχους φορείς.

Ανάλογα με την τιμή της συγκέντρωσης κάθε ποιοτικής παραμέτρου, αυτή ταξινομείται σε μία από τις κατηγορίες: «άριστη», «αποδεκτή», «ελαφρά ρυπασμένη», «ρυπασμένη» και «έντονα ρυπασμένη», με κριτήριο το μέγεθος της επίπτωσης της στην ποιοτική υποβάθμιση του υπό εξέταση υδατικού σώματος. Ο τελικός δείκτης προκύπτει ως ο μέσος όρος όλων των επιμέρους δεικτών ρύπανσης που αντιστοιχούν σε κάθε ποιοτική μεταβλητή (Abbasi and Abbasi 2012).

3.5.12 Δείκτης του ποταμού Ganga

Όπως καθίσταται αντιληπτό από την ονομασία του, ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε στην Ινδία από την Κεντρική Επιτροπή Ρύπανσης του Νερού, με κύριο στόχο την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ποταμού Ganga, καθώς και την κατάδειξη των περιοχών εκείνων κατά μήκος του ποταμού, οι οποίες χαρακτηρίζονταν από υψηλή ρύπανση και κατ' επέκταση χρήζουν άμεσης εφαρμογής κατάλληλων μέτρων ελέγχου και αποκατάστασης. Όσον αφορά στη δομή του, βασίζεται στο δείκτη NSF των Brown et al., με ορισμένες ωστόσο τροποποιήσεις σε ό,τι αφορά στην εκχώρηση των συντελεστών βαρύτητας. Συντίθεται από τέσσερις επιμέρους ποιοτικές παραμέτρους, το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το pH και τα κολοβακτηρίδια, η επιλογή των οποίων έγινε μέσω της μεθόδου Delphi (Poonam et al. 2013).

3.5.13 Δείκτης CI (Contamination Index)

Η μέθοδος του δείκτη CI εισήχθη από τους Backman et al. (1997) και λαμβάνει υπόψιν κατά τη διαδικασία υπολογισμού του, μόνο τις παραμέτρους οι οποίες υπερβαίνουν τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές συγκέντρωσης. Βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην αξιολόγηση και τη χωρική απεικόνιση του βαθμού ρύπανσης του υπόγειου νερού και συνυπολογίζει ιοντικά στοιχεία καθώς και άλλες ουσίες, οι οποίες εμπεριέχονται σε αυτό σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από τις επιτρεπτές, καθιστώντας το ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) (Poonam et al. 2013).

3.5.14 Δείκτης ATI (Aquatic Toxicity Index)

Ο δείκτης ATI αναπτύχθηκε από τους Wepender et al. (1992) με στόχο την αξιολόγηση της υγείας των υδάτινων οικοσυστημάτων βάσει της τοξικότητας που παρουσιάζει μία δεδομένη κατάσταση ποιότητας του νερού για τους πληθυσμούς των ψαριών. Οι φυσικές ποιοτικές παράμετροι οι οποίες

λήφθηκαν υπόψιν ήταν το pH, το διαλυμένο οξυγόνο και η θολερότητα, ενώ οι χημικές, αντίστοιχα, ήταν η αμμωνία, τα ολικά διαλυμένα στερεά, το φθόριο, το κάλιο και τα ορθοφωσφορικά. Τέλος, τα δυνητικά επικίνδυνα μέταλλα τα οποία συμπεριλήφθηκαν ήταν ο ολικός ψευδάργυρος, το μαγγάνιο, το χρώμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος καθώς και οι συγκεντρώσεις νικελίου (Poornam et al. 2013).

3.5.15 Μέθοδος Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού (Weighted Arithmetic Water Quality Index Method)

Η μέθοδος του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς ερευνητές, κατατάσσει την ποιοτική κατάσταση του εκάστοτε υδατικού σώματος βάσει της καταλληλότητας αυτού για χρήση πόσιμου νερού, αξιοποιώντας παραμέτρους ποιότητας καθώς και υφιστάμενα ποιοτικά όρια τα οποία ορίζονται από το μελετητή. Η τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών των υπο-δεικτών Q_i των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων σύμφωνα με την Εξ. (3.26).

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3.26)$$

όπου:

WQI: ο ολικός δείκτης ποιότητας, η τιμή του οποίου αυξάνει για αύξηση των επιπέδων ρύπανσης

Q_i : η τιμή του υπο-δείκτη της i παραμέτρου

w_i : ο συντελεστής βαρύτητας της i παραμέτρου

n : το πλήθος των θεωρούμενων ποιοτικών μεταβλητών

Η τιμή του υπο-δείκτη της εκάστοτε παραμέτρου εκτιμάται συναρτήσει της μετρούμενης τιμής της συγκέντρωσης της παραμέτρου αυτής στο δείγμα, της ιδανικής τιμής της συγκέντρωσης της δεδομένης μεταβλητής για συνθήκες καθαρού νερού και της συνιστώμενης τιμής της συγκέντρωσης με βάση τα υφιστάμενα πρότυπα ποιότητας. Η εξίσωση υπολογισμού της επίδοσης κάθε επιμέρους μεταβλητής δίνεται ακολούθως (Tyagi et al. 2013).

$$Q_i = 100 \times \left[\frac{V_i - V_0}{S_i - V_0} \right] \quad (3.27)$$

όπου:

V_i : η μετρημένη τιμή της συγκέντρωσης της εκάστοτε ποιοτικής μεταβλητής

V_0 : η ιδανική τιμή συγκέντρωσης της δεδομένης ποιοτικής παραμέτρου σε συνθήκες καθαρού νερού, η οποία ισούται με 0 για το σύνολο των μεταβλητών εκτός από τις μεταβλητές του pH και του διαλυμένου οξυγόνου, για τις οποίες η τιμή αυτή έχει οριστεί ίση με 7 και 14.6 mg/l, αντίστοιχα

S_i : η συνιστώμενη τιμή της συγκέντρωσης της δεδομένης μεταβλητής σύμφωνα με τα εκάστοτε ποιοτικά πρότυπα.

Είναι φανερό ότι η εφαρμογή της Εξ. (3.27) αποδίδει τιμές μικρότερες του 100 στην περίπτωση όπου τα υφιστάμενα ποιοτικά όρια δεν υπερβαίνονται, δηλαδή ισχύει $V_i < S_i$, ενώ σε αντίθετη περίπτωση προκύπτει $Q_i \geq 100$.

Αντίστοιχα, στη συγκεκριμένη μέθοδο οι συντελεστές βαρύτητας των μεταβλητών προκύπτουν σύμφωνα με την Εξ. (3.28) ως εξής:

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (3.28)$$

όπου:

K : ο συντελεστής αναλογικότητας, ο οποίος υπολογίζεται βάσει της Εξ. (3.29).

$$K = \frac{1}{\sum \left(\frac{1}{S_i}\right)} \quad (3.29)$$

Βάσει της Εξ. (3.28), μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας αποδίδεται στην παράμετρο, η οποία παρουσιάζει το χαμηλότερο συνιστώμενο ποιοτικό όριο. Παρόλα αυτά, βάσει της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, έχει παρατηρηθεί ότι η διαδικασία της εκχώρησης συντελεστών βαρύτητας στις επιμέρους μεταβλητές είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί εναλλακτικά μέσω βιβλιογραφικής επισκόπησης των βαθμολογιών σημαντικότητας (1 έως 5) που έχουν δοθεί από ερευνητές σε αντίστοιχες εφαρμογές στις κυριότερες ποιοτικές μεταβλητές και εν συνεχεία κατάλληλη τροποποίηση αυτών, ώστε να προκύψουν τα μοναδιαία βάρη των ζητούμενων παραμέτρων (Ramakrishnaiah et al. 2009, Alobaidy et al. 2010, Kumari and Rani 2014).

Η τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας όπως προκύπτει βάσει της Εξ. (3.26) αξιολογείται όσον αφορά στην καταλληλότητα του νερού του εξεταζόμενου σώματος για ανθρώπινη κατανάλωση, σύμφωνα με το ακόλουθο σύστημα ταξινόμησης (Πίνακας 3.13).

Πίνακας 3.13: Σύστημα ταξινόμησης ποιοτικής κατάστασης σύμφωνα με το Σταθμισμένο Αριθμητικό Δείκτη Ποιότητας Νερού (Πηγή: Tyagi et al. 2013)

Τιμή δείκτη	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού
0-25	Άριστη
26-50	Καλή
52-75	Φτωχή
76-100	Πολύ φτωχή
> 100	Ακατάλληλη για χρήση πόσιμου νερού

Οι Δείκτες Ποιότητας Νερού οι οποίοι περιγράφηκαν στις προηγούμενες υποενότητες συνιστούν ορισμένους μόνο από τους δημοσιευμένους δείκτες, οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Καθίσταται λοιπόν αντιληπτό ότι είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αναπτυχθεί ένας κοινά αποδεκτός, σε παγκόσμια κλίμακα, δείκτης αξιολόγησης της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων, δεδομένου ότι καθένας από αυτούς εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες και στόχους και δύναται να εφαρμοστεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Συνεπώς, είναι σημαντικό να επιδιώκεται από τους ερευνητές η ανάπτυξη δεικτών ειδικά διαμορφωμένων βάσει των επιδιωκόμενων κάθε φορά στόχων καθώς και των χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής ή του εξεταζόμενου υδατικού σώματος. Παρόλα αυτά, πραγματοποιούνται προσπάθειες να διερευνηθεί ο βαθμός προσαρμογής

διαφόρων δεικτών καθώς και η δυνατότητα εφαρμογής τους σε συνθήκες διαφορετικές από εκείνες της περιοχής ανάπτυξης τους.

3.6. Βιβλιογραφική επισκόπηση υφιστάμενων εφαρμογών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, πλήθος επιστημόνων σε παγκόσμια κλίμακα έχουν πραγματοποιήσει εφαρμογές Δεικτών Ποιότητας Νερού, προκειμένου να αξιολογήσουν την ποιοτική κατάσταση είτε δεδομένων υδατικών σωμάτων είτε ευρύτερων περιοχών. Στην κατεύθυνση αυτή, έχουν αξιοποιηθεί, κατά περίπτωση, είτε υφιστάμενοι δείκτες, προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία που παρέχουν κάτω από διαφορετικές τοπικές συνθήκες, είτε τροποποιήσεις αυτών, ενώ δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου νέοι ποιοτικοί δείκτες έχουν διαμορφωθεί με σκοπό να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες. Παράλληλα, ως στόχος αρκετών ερευνών τίθεται η εφαρμογή διαφορετικών Δεικτών Ποιότητας Νερού σε ένα ορισμένο υδατικό σώμα και η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ορισμένες από τις υφιστάμενες ανά τον κόσμο εφαρμογές δεικτών, καταγράφονται ακολούθως.

Οι Pesce and Wunderlin (1999) εφάρμοσαν τη μέθοδο του Δείκτη Ποιότητας Νερού στην Αργεντινή, προκειμένου να αξιολογήσουν την επίδραση του συνόλου των αστικών δραστηριοτήτων της πόλης Κόρντοβα στον ποταμό Suquia που βρισκόταν κατάντι. Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ζετές σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του ποταμού σε θέσεις πλησίον του αστικού ιστού, ενώ η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης πραγματοποιήθηκε βάσει τριών διαφορετικών δεικτών, του WQI_{sub} , του WQI_{obj} , και του WQI_{min} . Στους δύο πρώτους δείκτες ενσωματώθηκαν είκοσι επιμέρους ποιοτικές παράμετροι, ενώ ο τελευταίος διαμορφώθηκε λαμβάνοντας υπόψιν τρεις μόνο παραμέτρους, τη θολότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και είτε την αγωγιμότητα είτε τα διαλυμένα στερεά, αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των WQI_{sub} , και WQI_{obj} εφαρμόστηκε η μέθοδος του Bascaran, με τη διαφορά ότι στη δεύτερη περίπτωση ο συντελεστής K ο οποίος υπεισέρχεται στην αντίστοιχη εξίσωση λήφθηκε ίσος με τη μονάδα, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν αποκλειστικά οι τιμές των μετρούμενων παραμέτρων. Ο δείκτης WQI_{min} , αντίστοιχα, υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των κανονικοποιημένων τιμών των συγκεντρώσεων των τριών ποιοτικών παραμέτρων που τον αποτελούν. Η συγκεκριμένη έρευνα κατέληξε ότι η πόλη της Cordoba επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του νερού του ποταμού Suquia, κυρίως λόγω της απορροής των αστικών αποβλήτων σε αυτόν. Ειδικότερα, η εφαρμογή διαφορετικών δεικτών οδήγησε στην εκτίμηση παρόμοιων τάσεων, αναφορικά με την επιδείνωση της ποιοτικής κατάστασης του ποταμού στο χρόνο, καθώς και παρόμοιων χρονικών μεταβολών μεταξύ υγρών και ξηρών περιόδων. Ακόμη, η συγκεκριμένη εφαρμογή έδειξε ότι η χρήση του υποκειμενικού συντελεστή K τείνει να υπερεκτιμά την υφιστάμενη ρύπανση εξαιτίας μίας οπτικής εντύπωσης η οποία δεν παρουσιάζει απαραίτητα κάποια συσχέτιση με την αντικειμενικά μετρημένη ρύπανση (Pesce and Wunderlin 1999).

Σε μία αντίστοιχη έρευνα, οι Jonnalagada and Mhere (2000) εφάρμοσαν το δείκτη NSF του Brown προκειμένου να αξιολογήσουν την ποιοτική κατάσταση του ποταμού Odzi στη Ζιμπάμπουε. Το δίκτυο παρακολούθησης αποτελείτο από έξι σταθμούς στους οποίους μετρούνταν οι τιμές των συγκεντρώσεων των ποιοτικών παραμέτρων για διάρκεια εννέα μηνών. Συνολικά, στο δείκτη ενσωματώθηκαν οκτώ μεταβλητές (πέντε φυσικές και τρεις χημικές), οι οποίες ήταν η θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, τα ολικά διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το φωσφορικό άλας και τα επίπεδα νιτρικών αλάτων. Σύμφωνα με το Δείκτη Ποιότητας του Brown, βρέθηκε ότι η συνολική ποιοτική κατάσταση του ποταμού

κυμαίνεται από «μέτρια» έως «καλή», με τη χειρότερη ποιοτική κατάσταση να διαπιστώνεται στα πεδινά τμήματα λόγω της διαρροής από εγκαταλελειμμένο ορυχείο της περιοχής (Jonnalagada and Mhere 2000).

Οι Bordalo et al. (2001) μελέτησαν την ποιότητα του νερού της λεκάνης του ποταμού Bangpakong, της σημαντικότερης λεκάνης απορροής ποταμού στην ανατολική Ταϊλάνδη, εφαρμόζοντας το Δείκτη Ποιότητας Νερού της Σκωτίας (Scottish Index), κατάλληλα τροποποιημένο, ωστόσο, ώστε να καταστεί συμβατός με το τροπικό κλίμα της μελετώμενης περιοχής. Το δίκτυο παρακολούθησης κάλυπτε συνολικό μήκος 227 χιλιομέτρων και αποτελείτο από έντεκα σταθμούς στους οποίους μετρούνταν για διάστημα ενός έτους οι συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η θολότητα, τα αιωρούμενα στερεά, το pH, η αμμωνία, τα κολοβακτηρίδια, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, η αγωγιμότητα και τα βαρέα μέταλλα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν «φτωχή» ποιότητα του νερού του ποταμού, η οποία υποβαθμίζεται περαιτέρω κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου (Bordalo et al. 2001).

Οι Debels et al. (2004) ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ποταμού της Χιλής (Κεντρική Χιλή), αξιοποιώντας φυσικο-χημικές παραμέτρους καθώς και δύο τροποποιημένους Δείκτες Ποιότητας Νερού. Προκειμένου να εκτιμήσουν τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα της ποιοτικής κατάστασης των επιφανειακών νερών της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής, υπολόγισαν το Δείκτη Ποιότητας Νερού σύμφωνα με τη μέθοδο Bascaran, βάσει εννιά φυσικών και χημικών ποιοτικών παραμέτρων οι οποίες μετρήθηκαν περιοδικά σε δεκαοκτώ σταθμούς για διάστημα ενός χρόνου. Ακόμη, προκειμένου να διερευνηθεί ποιές από τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές παρουσίαζαν συσχέτιση μεταξύ τους καθώς και ποιές από αυτές ευθύνονταν σε μεγαλύτερο βαθμό για τη διακύμανση των αποτελεσμάτων, εφαρμόστηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών, βάσει της οποίας πραγματοποιήθηκαν τροποποιήσεις στον αρχικό δείκτη. Ως αποτέλεσμα, διαμορφώθηκαν δύο νέοι απλοποιημένοι δείκτες, οι WQI_{DIR2} και WQI_{DIR} οι οποίοι αποτελούνταν από μόλις τρεις και τέσσερις παραμέτρους, αντίστοιχα. Απεδείχθη ότι οι συγκεκριμένοι δείκτες αναπαράγουν ορθώς τις σημαντικότερες χωροχρονικές μεταβολές της ποιότητας του νερού, έτσι όπως αυτές παρατηρήθηκαν βάσει του αρχικού δείκτη. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας έδειξαν ότι η ποιοτική κατάσταση του ποταμού της Χιλής χαρακτηρίζεται ως «καλή» για το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, ωστόσο βρέθηκε ότι οι ποιοτικές συνθήκες είναι αρκετά υποβαθμισμένες κατά τη θερινή περίοδο σε σημεία που βρίσκονται κατάντι της απόρριψης των αστικών αποβλήτων στο ποτάμι (Debels et al. 2004).

Ομοίως, οι Lumb et al. (2006) εφάρμοσαν το δείκτη CCME προκειμένου να διερευνήσουν τις μεταβολές στην ποιότητα του νερού σε υπολεκάνη του ποταμού Mackenzie στον Καναδά. Στη συγκεκριμένη έρευνα, οι μετρήσεις των ποιοτικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν σε πέντε επιμέρους σταθμούς της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ για τον υπολογισμό του δείκτη λήφθηκαν δύο επιμέρους σετ ανώτατων επιτρεπτών τιμών για τις συγκεντρώσεις των επιμέρους μεταβλητών. Το πρώτο εξ' αυτών αφορούσε στους συνιστώμενους από την CCME ποιοτικούς στόχους, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι τιμές αυτές προέκυψαν βάσει στατιστικής ανάλυσης του δείγματος των ιστορικών δεδομένων. Τα ποιοτικά πρότυπα κατά CCME χρησιμοποιήθηκαν, ακόμη, για την κατηγοριοποίηση του νερού βάσει της ποιότητας του για γενική χρήση, για χρήση πόσιμου νερού χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, για χρήση πόσιμου νερού μετά από βρασμό ή φιλτράρισμα και για την υδρόβια ζωή. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η υπό εξέταση υπολεκάνη χαρακτηρίζεται από υψηλή θολότητα καθώς και ιχνοστοιχεία εξαιτίας της σημαντικής μεταφοράς

ιζημάτων που παρατηρείται στο ποτάμι κατά την υγρή περίοδο. Η συνολική ποιοτική κατάσταση της μελετώμενης υπολεκάνης αξιολογήθηκε ως «οριακή» προς «καλή» κατά μήκος του ποταμού, για το σύνολο των εξεταζόμενων χρήσεων, ενώ, διαπιστώθηκε παράλληλα πως αυτή επιδεινώνεται για περιοχές κοντύτερα στο δέλτα του ποταμού (Lumb et al. 2006).

Σε μία παρόμοια μελέτη στη διακρατική λεκάνη του ποταμού Douro στην Ιβηρική χερσόνησο, οι Bordalo et al. (2006) εφάρμοσαν μία τροποποιημένη εκδοχή του Δείκτη Ποιότητας Νερού της Σκωτίας (Scottish Water Quality Index), αποτελούμενου από εννέα παραμέτρους, προκειμένου να αξιολογήσουν την ποιοτική κατάσταση αυτού. Οι μετρήσεις των ποιοτικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση για διάστημα δέκα ετών (1992-2001), ενώ οι θέσεις οι οποίες επιλέχθηκαν ήταν: (α) στα σύνορα Ισπανίας-Πορτογαλίας, (β) 350 km από τις εκβολές του ποταμού και (γ) 180 km από τις εκβολές του ποταμού, αντίστοιχα. Η έρευνα κατέληξε ότι το νερό του ποταμού στο σημείο όπου αυτό εισέρχεται στην Πορτογαλία μέσω της Ισπανίας παρουσιάζει τη χαμηλότερη ποιότητα, με την τιμή του δείκτη να ισούται με 47,3%, ενώ η ποιότητα βελτιώνεται σταθερά για περιοχές κατάντι των συνόρων. Η μέγιστη τιμή που έλαβε ο δείκτης ήταν 61,7%. Γενικά, η ποιοτική κατάσταση του υπό εξέταση ποταμού προέκυψε «μέτρια» έως «χαμηλή» για το σύνολο των σταθμών παρατήρησης. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα του νερού μεταβάλλεται εποχιακά, παρουσιάζοντας χαμηλότερες τιμές του δείκτη το καλοκαίρι. Καμία στατιστική συσχέτιση μεταξύ της ποιότητας και του όγκου της απορροής δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί, ωστόσο (Bordalo et al. 2006).

Οι Sanchez et al. (2006) ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση των επιπέδων της ρύπανσης σε επίπεδο λεκάνης απορροής, στην περιοχή Las Rozas της Ισπανίας. Ειδικότερα, διερευνήθηκε η ποιοτική κατάσταση των λεκανών των ποταμών Guadarrama και Manzanares, καθώς και των λιμνών του «Πάρκου Αναψυχής του Παρισιού», που εμπίπτουν στην περιοχή. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των ποιοτικών μεταβλητών σε συνολικά 26 σημεία, τόσο κατα μήκος των κύριων κλάδων των ποταμών και των συμβαλλόντων ρεμάτων όσο και εντός των προαναφερθέντων λιμνών, για διάστημα δύο ετών. Στη συγκεκριμένη έρευνα, για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των επιμέρους λεκανών απορροής εφαρμόστηκε ο Δείκτης Ποιότητας Νερού κατά Bascaran, ο οποίος βασίστηκε σε έντεκα επιμέρους ποιοτικές μεταβλητές, καθώς και το έλλειμμα του διαλυμένου οξυγόνου, ως ένας απλοποιημένος δείκτης διερεύνησης της ποιοτικής κατάστασης του νερού, προκειμένου να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητά του. Ο Δείκτης Ποιότητας Νερού για την περίπτωση του ποταμού Guadarrama υπολογίστηκε ίσος με 70, στην είσοδο της εξεταζόμενης περιοχής, τιμή η οποία αντιστοιχεί σε «καλή» ποιοτική κατάσταση, ενώ στην έξοδο αυτής υπολογίστηκε ίσος με 64, υποδηλώνοντας «μέτρια» ποιότητα του νερού. Αντίστοιχα, «μέτρια» ποιοτική κατάσταση βρέθηκε ότι χαρακτηρίζει τη λεκάνη του ποταμού Manzanares, όπου η τιμή του δείκτη υπολογίστηκε ίση με 65. Η τιμή του δείκτη για τις λίμνες του Πάρκου Αναψυχής του Παρισιού βρέθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ 55 και 72, μαρτυρώντας «μέτρια» έως «καλή» ποιότητα. Τέλος, η εν λόγω εφαρμογή έδειξε ότι υπάρχει υψηλή γραμμική σχέση μεταξύ του Δείκτη Ποιότητας Νερού και του δείκτη του ελλείμματος διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός το οποίο επιτρέπει τη χρήση του τελευταίου σε περιπτώσεις όπου επιδιώκεται μία γρήγορη εκτίμηση του Δείκτη Ποιότητας Νερού (Sanchez et al. 2006).

Στην ανάπτυξη ενός νέου δείκτη, γνωστού με την ονομασία «Γενικός Δείκτης Ποιότητας Νερού» (Universal Water Quality Index), προχώρησε ο Boyacioglu (2006). Σύμφωνα με το δημιουργό του, ο συγκεκριμένος δείκτης διαφοροποιείται ένταντι των προϋπαρχόντων δεικτών, καθώς

προσδιορίζει την καταλληλότητα του νερού για ειδική χρήση, διαφοροποιώντας παραδείγματος χάριν τη γενική χρήση ύδρευσης από την ύδρευση για πόση, ενώ για τη διαμόρφωση του λαμβάνονται υπόψη τα πρότυπα ποιότητας της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Το σύστημα ταξινόμησης το οποίο διαμορφώθηκε για την κατηγοριοποίηση της ποιοτικής κατάστασης του νερού διακρίνεται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, «άριστη», «αποδεκτή» και «ρυπασμένη», αντίστοιχα, ενώ ορισμένες από τις ποιοτικές μεταβλητές, οι οποίες ενσωματώθηκαν στο δείκτη ήταν το κάδμιο, ο υδράργυρος, το αρσενικό, το νιτρικό άζωτο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, ο ολικός φώσφορος και τα κολοβακτηρίδια. Ύστερα από τη διαμόρφωση του, ο δείκτης εφαρμόστηκε στον ταμιευτήρα Tahtali στην Τουρκία, βάσει παρατηρημένων ποιοτικών δεδομένων ενός δειγματοληπτικού σταθμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνολική ποιότητα του επιφανειακού νερού βρίσκεται οριακά κάτω από την «άριστη» κατάσταση. Βρέθηκε, ωστόσο ότι αυτή επηρεάζεται σημαντικά από την αγροτική και την οικιακή χρήση στην περιοχή (Boyacioglu 2006).

Μία αντίστοιχη μελέτη ποιοτικής αξιολόγησης του νερού υλοποιήθηκε από τους Yisa and Jimoh (2010) στη Νιγηρία. Στόχος της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η διερεύνηση της καταλληλότητας του νερού του ποταμού Landzu για δημόσια χρήση. Για την εξασφάλιση των απαραίτητων ποιοτικών δεδομένων εγκαταστάθηκε δίκτυο δέκα δειγματοληπτικών σταθμών κατά μήκος του ποταμού, στους οποίους πραγματοποιούνταν σε μηνιαία βάση οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ποιοτικών μεταβλητών για διάρκεια ενός έτους. Συνολικά, λήφθηκαν υπόψη δεκαεπτά ποιοτικές παράμετροι ορισμένες από τις οποίες ήταν το pH, η θολότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το μαγγάνιο και ο σίδηρος. Για τον υπολογισμό του δείκτη εφαρμόστηκε η μέθοδος του Σταθμισμένου Δείκτη Ποιότητας Νερού. Η έρευνα κατέληξε ότι το νερό του ποταμού Landzu δύναται να χρησιμοποιηθεί για δημόσια κατανάλωση χωρίς να απαιτείται προηγούμενη επεξεργασία. Ωστόσο, η ιδιαίτερα υψηλή τιμή του δείκτη που προέκυψε κατέδειξε σημαντική ρύπανση του ποταμού, οφειλόμενη κυρίως σε ανθρωπογενή αίτια (Yisa and Jimoh 2010).

Μία ακόμη εφαρμογή της μεθόδου του Σταθμισμένου Δείκτη Ποιότητας Νερού πραγματοποιήθηκε από τους Hameed et al. (2010) στην περιοχή του Κουρδιστάν στο Ιράκ. Στόχος της έρευνας ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας του νερού του οικοσυστήματος της λίμνης Dokan, καθώς και η διερεύνηση των ιστορικών μεταβολών αυτής, κατά την περίοδο μεταξύ των ετών 1978 και 2009. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν δέκα ποιοτικές παράμετροι οι οποίες ήταν το pH, το διαλυμένο οξυγόνο, η θολότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η σκληρότητα, η αλκαλικότητα, το νάτριο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, τα νιτρικά και τα νιτρώδη άλατα, αντίστοιχα. Η τιμή της συγκέντρωσης καθεμίας από τις προαναφερθείσες μεταβλητές προέκυψε ως ο μέσος όρος των τιμών της μεταβλητής σε καθέναν εκ των τριών εγκατεστημένων σταθμών παρακολούθησης. Οι συντελεστές σημαντικότητας οι οποίοι εκχωρήθηκαν στις ποιοτικές παραμέτρους κυμαίνονταν από 1 έως 4 και προέκυψαν βάσει βιβλιογραφικής επισκόπησης συναφών ερευνών. Τα επιτρεπτά ποιοτικά όρια για κάθε επιμέρους μεταβλητή προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα όσα προβλέπονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) για χρήση πόσιμου νερού, ενώ στην περίπτωση όπου αυτά δεν ήταν διαθέσιμα για κάποια παράμετρο, λήφθηκαν υπόψη τα εθνικά πρότυπα ποιότητας του Ιράκ. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ταχεία υποβάθμιση της ποιοτικής κατάστασης του νερού της λίμνης την τελευταία δεκαετία, γεγονός το οποίο αποδόθηκε στην πληθυσμιακή αύξηση η οποία σημειώθηκε στην περιοχή, στην εντατικοποίηση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων όπως η γεωργία, καθώς και στη ξηρασία της τελευταίας διετίας. Παράλληλα, η

ανάλυση συσχέτισης η οποία πραγματοποιήθηκε μεταξύ του Δείκτη Ποιότητας Νερού που εκτιμήθηκε και των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών, έδειξε ότι το διαλυμένο οξυγόνο, η θολότητα, η αγωγιμότητα, η αλκαλικότητα, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο και τα νιτρικά άλατα είναι οι μεταβλητές εκείνες οι οποίες ευθύνονται σε μεγαλύτερο βαθμό για την υπολογισθείσα τιμή του δείκτη κατά την περίοδο μελέτης (Hameed et al. 2010).

Μία παρόμοια μελέτη υλοποιήθηκε στον ποταμό Ganga της Ινδίας από τους Chauhan and Singh (2011), με στόχο τον προσδιορισμό της επίπτωσης της απορροής των αστικών αποβλήτων στην ποιοτική κατάσταση του νερού του ποταμού, καθώς και τη διερεύνηση της καταλληλότητας αυτού για ανθρώπινη κατανάλωση. Για το σκοπό αυτό εκτιμήθηκε ο Δείκτης Ποιότητας Νερού, εφαρμόζοντας και πάλι τη μέθοδο του σταθμισμένου δείκτη, ενώ οι ποιοτικές παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν κατά τον υπολογισμό ήταν η θολότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα, τα ολικά στερεά, τα ολικά αιωρούμενα στερεά και τα ολικά διαλυμένα στερεά. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε μηνιαία βάση για συνολική διάρκεια δύο ετών (Ιανουάριος 2007-Δεκέμβριος 2008) και τα πρότυπα ποιότητας τα οποία εφαρμόστηκαν ήταν εκείνα τα οποία συνίστανται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Βάσει των αποτελεσμάτων της έρευνας, το νερό του υπό μελέτη ποταμού κρίθηκε ακατάλληλο τόσο για ανθρώπινη κατανάλωση όσο και για κατανάλωση από άγρια ζώα και βοοειδή (Chauhan and Singh 2011).

Η μέθοδος του Σταθμισμένου Δείκτη Ποιότητας Νερού εφαρμόστηκε, ακόμη, για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος σε περιοχή της Ινδίας. Οι Kumari and Rani (2014) ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση της καταλληλότητας των υπογείων υδάτων της περιοχής Ranipat για οικιακή χρήση, αναψυχή και άλλους σκοπούς. Ο υπολογισμός της τιμής του δείκτη βασίστηκε στη συλλογή και ανάλυση δειγμάτων νερού από 14 γεωτρήσεις σε διαφορετικές τοποθεσίες εντός της περιοχής έρευνας, οι οποίες επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο. Οι φυσικοχημικές παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν ήταν τα ολικά διαλυμένα στερεά, το pH, η ολική σκληρότητα, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, η αλκαλικότητα, το χλώριο, το θειικό άλας, τα ιόντα φθορίου και το νιτρικό άλας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών αλλά και μεταξύ αυτών και της τιμής του δείκτη. Με το πέρας της έρευνας, βρέθηκε ότι οι τιμές του Δείκτη Ποιότητας Νερού κυμαίνονταν από 89,09 έως 146,67 για το σύνολο των δειγμάτων, ενώ περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι μόνο οι τρεις από τις συνολικά δεκατέσσερις γεωτρήσεις κατατάσσονταν στην κατηγορία της «καλής ποιοτικής κατάστασης». Η ανάλυση συσχέτισης η οποία πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι η ποιοτική κατάσταση του υπόγειου νερού επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από την παρουσία των ολικών διαλυμένων στερεών, της ολικής σκληρότητας, του θειικού άλατος και του μαγνησίου, ενώ τέλος βρέθηκε υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των ολικών διαλυμένων στερεών και του ασβεστίου, του θειικού άλατος και του ασβεστίου, των ολικών διαλυμένων στερεών και της ολικής σκληρότητας, καθώς και της ολικής σκληρότητας και του μαγνησίου (Kumari and Rani 2014).

Οι Al-Mutairi et al. (2014) εφάρμοσαν το Δείκτη Ποιότητας Νερού του Brown (NSF WQI) προκειμένου να αξιολογήσουν την ποιοτική κατάσταση του νερού της παραλίας του Kuwait. Για τον υπολογισμό του δείκτη λήφθηκαν υπόψιν έξι ποιοτικές μεταβλητές, οι οποίες ήταν το pH, η θολότητα, τα ολικά αιωρούμενα στερεά, το διαλυμένο οξυγόνο, το νιτρικό άλας και ο φώσφορος. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των παραπάνω μεταβλητών μετρήθηκαν σε έξι σταθμούς εντός της περιοχής ενδιαφέροντος για το διάστημα μεταξύ των ετών 2009 και 2011. Η συγκεκριμένη χρονική

περίοδος επιλέχθηκε σκόπιμα προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές επιπτώσεις της βλάβης της οποίας υπέστη στα τέλη του 2009 μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή. Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη, οι οποίες προέκυψαν, βρέθηκε ότι η ποιότητα του νερού βρίσκεται εντός περιβαλλοντικά ικανοποιητικών ορίων κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για την πλειονότητα των σταθμών, ωστόσο η τιμή του δείκτη μειώνεται αισθητά τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζοντας σημαντικές εποχιακές μεταβολές. Τέλος, ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι ενώ το 39,1% των συλλεχθέντων κατά το έτος 2009 δειγμάτων χαρακτηρίστηκε ως «εξαιρετικής ποιότητας», το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 1,5% το 2010, γεγονός το οποίο αποδόθηκε στη βλάβη του σταθμού επεξεργασίας λυμάτων, όπως αναμενόταν (Al-Mutairi et al. 2014).

Σε μία αντίστοιχη μελέτη στην περιοχή Gujarat της Ινδίας, οι Shah and Joshi (2015) υπολόγισαν την τιμή του Δείκτη Ποιότητας Νερού στον ποταμό Sabarmati εφαρμόζοντας τη μέθοδο του σταθμισμένου δείκτη. Οι μεταβλητές τις οποίες συμπεριέλαβαν για την εκτίμηση του, ήταν το pH, το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το νιτρικό άζωτο και ο συνολικός αριθμός κολοβακτηριδίων. Οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων μετρήθηκαν σε τρεις διαφορετικές θέσεις εντός της λεκάνης του ποταμού για το διάστημα μεταξύ των ετών 2005 και 2008. Με το πέρας της έρευνας, παρατηρήθηκε ότι η επίδραση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και της διάθεσης των αποβλήτων στο ποτάμι στην πλειονότητα των εξεταζόμενων μεταβλητών ήταν ιδιαίτερα σημαντική. Ειδικότερα, διαπιστώθηκε ότι το νερό παρουσίαζε τη χειρότερη ποιοτική κατάσταση στο σταθμό ο οποίος βρισκόταν σε έντονα αστική περιοχή, ενώ για τους άλλους δύο σταθμούς, οι οποίοι βρίσκονταν σε μετρίως αστική και μετρίως αγροτική περιοχή της εξεταζόμενης λεκάνης, αντίστοιχα, η ποιότητα του νερού βελτιωνόταν σταδιακά (Shah and Joshi 2015).

Μία συγκριτική μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Hashim et al. (2015) στην επαρχία Zhejiang της Κίνας, με στόχο την αποκατάσταση της ποιότητας των αστικών ποταμών Song Yong και Fenghu, οι οποίοι διασχίζουν την πόλη Rui'an. Επιμέρους στόχοι της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η εφαρμογή τριών διαφορετικών Δεικτών Ποιότητας Νερού, του Oregon (OWQI), του CCME-WQI και του NSF-WQI, αντίστοιχα, στα υπό μελέτη υδατικά σώματα προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της βακτηριακής τεχνολογίας που εφαρμόστηκε σε αυτά, καθώς και η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν ανάλογα με τον εφαρμοζόμενο κάθε φορά δείκτη. Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν αισθητή βελτίωση της ποιοτικής κατάστασης των ρυπασμένων ποταμών καθώς και ενίσχυση της υδρόβιας ζωής, ύστερα από την εφαρμογή της βακτηριακής τεχνολογίας για την αποκατάσταση της ποιότητας τους. Αναφορικά με την εφαρμογή των επιμέρους Δεικτών Ποιότητας Νερού, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν βάσει του δείκτη CCME κρίθηκαν ως τα πλέον αντιπροσωπευτικά για την παρούσα μελέτη (Hashim et al. 2015).

Οι Haque et al. (2015) ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού του ποταμού Hawkesbury-Nepean στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας, κάνοντας χρήση του δείκτη CCME-WQI. Ο υπολογισμός του δείκτη βασίστηκε στη συλλογή δεδομένων για δώδεκα επιμέρους ποιοτικές μεταβλητές σε τέσσερις σταθμούς παρακολούθησης κατά μήκος του ποταμού. Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν σε καθέναν από τους σταθμούς, η ποιοτική κατάσταση του νερού του μελετώμενου ποταμού κατατάχθηκε σε μία από τις πέντε κατηγορίες, «φτωχή», «οριακή», «μέτρια», «καλή» και «εξαιρετική», αντίστοιχα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε παλινδρόμηση μεταξύ των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών και της εκτιμημένης τιμής του δείκτη προκειμένου να

προσδιοριστούν οι στατιστικά σημαντικές παράμετροι. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών έδειξαν ότι κανένας σταθμός δεν παρουσίαζε «εξαιρετική» ή «καλή» ποιοτική κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι ένας μόνο σταθμός παρουσίαζε «μέτρια» ποιότητα νερού, δύο εξ' αυτών παρουσίαζαν «οριακή» και ένας «φτωχή» ποιοτική κατάσταση, αντίστοιχα. Τέλος, δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική τάση της τιμής του δείκτη για τους μελετώμενους σταθμούς κατά τη διάρκεια της περιόδου συλλογής των δεδομένων. Σε έναν μόνο σταθμό παρουσιάστηκε μία ελαφριά τάση υποβάθμισης της ποιότητας του νερού κατά τη διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος (Haque et al. 2015).

Μία αντίστοιχη εφαρμογή του δείκτη CCME-WQI πραγματοποιήθηκε από τον Ewaid (2016) στο νότιο Ιράκ. Στόχος της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού του ποταμού Al-Gharraf, κύριου κλάδου του ποταμού Τίγρη, για αρδευτική χρήση, χρήση πόσιμου νερού καθώς και για την προστασία της υδρόβιας ζωής. Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν σε μηνιαία βάση κατά τη διάρκεια της περιόδου 2013-2014 από πέντε σταθμούς παρατήρησης. Επιλέχθηκαν δεκαεφτά φυσικο-χημικές μεταβλητές για ενσωμάτωση στο δείκτη, μεταξύ των οποίων ήταν η θερμοκρασία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η θολότητα, η αλκαλικότητα, το μαγνήσιο και το νικέλιο. Βάσει των αποτελεσμάτων της έρευνας, το νερό του ποταμού κρίθηκε ακατάλληλο για χρήση πόσιμου νερού, ενώ η ποιοτική κατάσταση αυτού για την προστασία της υδρόβιας ζωής και για την αρδευτική χρήση χαρακτηρίστηκε ως «φτωχή» και «μέτρια», αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε ακόμη ότι οι μετρούμενες παράμετροι δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των επιμέρους σταθμών παρακολούθησης εξαιτίας των όμοιων κλιματικών συνθηκών. Σημαντική διαφοροποίηση στην τιμή του δείκτη διαπιστώθηκε, ωστόσο, μεταξύ των διαφορετικών εποχών κατά τη διάρκεια του έτους, με τη χειρότερη τιμή αυτού να σημειώνεται την άνοιξη (Ewaid 2016).

Μία ακόμη μελέτη στην περιοχή του νότιου Ιράκ ασχολήθηκε και πάλι με τη διερεύνηση της καταλληλότητας του νερού του ποταμού Shatt al-Arab για πόση, αρδευτική χρήση και διατήρηση της υδρόβιας ζωής, εφαρμόζοντας ωστόσο αυτή τη φορά το δείκτη BCWQI. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ποιοτικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση κατά τη διάρκεια τόσο της ξηρής (από τον Ιούλιο έως το Δεκέμβριο του 2009) όσο και της υγρής περιόδου (από τον Ιανουάριο έως τον Ιούνιο του 2010). Τα αποτελέσματα του Δείκτη Ποιότητας Νερού που υπολογίστηκε έδειξαν ότι οι χαμηλότερες τιμές ποιότητας σημειώνονται, για το σύνολο των εξεταζόμενων χρήσεων νερού, κατά την ξηρή περίοδο. Ειδικότερα, βάσει των τιμών του δείκτη οι οποίες προέκυψαν για τη χρήση προστασίας της υδρόβιας ζωής, η ποιότητα χαρακτηρίστηκε ως «οριακή», ενώ η ποιοτική κατάσταση του νερού για αρδευτική χρήση βρέθηκε ότι κυμαίνεται από «μέτρια» έως «φτωχή» από τις ανάντη προς τις κατάντη περιοχές του ποταμού, αντίστοιχα. Τέλος, το νερό του ποταμού κρίθηκε ακατάλληλο για πόση εάν δεν προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία (Moyel and Hussain 2015).

Οι Darvishi et al. (2016) πραγματοποίησαν συγκριτική διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης του ποταμού Talar στο Ιράν εφαρμόζοντας παράλληλα τους δείκτες Oregon (OWQI), NSFQI και Wilcox. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές θέσεις ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλο το μήκος του ποταμού για το διάστημα μεταξύ των ετών 2011 και 2012. Τα αποτελέσματα εξάχθηκαν τόσο για την υγρή όσο και για την ξηρή περίοδο. Σύμφωνα με το δείκτη Oregon, το νερό του ποταμού χαρακτηρίστηκε ως «πολύ κακής» ποιότητας και κατ' επέκταση ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση, για το

σύνολο των θέσεων παρατήρησης και των εξεταζόμενων περιόδων. Αντίστοιχα, βάσει των αποτελεσμάτων του δείκτη NSF-WQI, βρέθηκε ότι η βέλτιστη ποιοτική κατάσταση σημειώνεται στο σταθμό ο οποίος βρίσκεται στα ανάντη, για τον οποίον η τιμή του δείκτη κατά την υγρή περίοδο υπολογίστηκε ίση με 58 υποδηλώνοντας «μέτρια» ποιότητα του νερού. Η χαμηλότερη τιμή του δείκτη προέκυψε για τον κατάντη σταθμό παρακολούθησης και πάλι για την υγρή περίοδο, υποδηλώνοντας «πολύ κακή» ποιότητα του νερού. Τέλος, βάσει του δείκτη Wilcox, βρέθηκε ότι τόσο για την υγρή όσο και για την ξηρή περίοδο, η ποιότητα του νερού βελτιώνεται σταδιακά από τον ανάντη προς τον κατάντη σταθμό. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του εν λόγω δείκτη, το νερό στον κατάντη σταθμό χαρακτηρίστηκε ως «καλής» ποιότητας και κατάλληλο για αγροτική χρήση (Darvishi et al. 2016).

Οι Mitra and Reddy (2016) εφάρμοσαν το Δείκτη Ποιότητας Νερού των Brown et al. (NSF-WQI) στον ποταμό Shivna της Ινδίας, ο οποίος συνιστά τη μοναδική πηγή για άρδευση, χρήση πόσιμου νερού αλλά και για άλλες οικιακές χρήσεις στην πόλη Mansaur της Κεντρικής Ινδίας. Αντικείμενο της έρευνας ήταν η αξιολόγηση της κατάστασης ρύπανσης του ποταμού σε διαφορετικές περιόδους αλλά και σε διαφορετικά τμήματα κατά μήκος αυτού. Για το σκοπό αυτό, ένα σύνολο 225 δειγμάτων νερού, συλλεχθέντων σε διαφορετικές περιόδους αλλά και σημεία του ποταμού -75 δείγματα συλλέχθηκαν κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο και 75 δείγματα κατά την περίοδο των μουσώνων- αναλύθηκαν προκειμένου να προσδιοριστούν οι τιμές των συγκεντρώσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων και να εκτιμηθεί η τελική τιμή του δείκτη. Τα αποτελέσματα τα οποία εξάχθηκαν από τη συγκεκριμένη έρευνα έδειξαν ότι η πλειονότητα των δειγμάτων (85,3%) χαρακτηρίζεται από «φτωχή» ποιοτική κατάσταση, υπερβαίνοντας τα επιτρεπτά όρια ποιότητας (Mitra and Reddy 2016).

Οι Alexakis et al. (2016) εφάρμοσαν τους Δείκτες Ποιότητας Νερού CCME-WQI και NSF-WQI στην τεχνητή λίμνη Πολυφύτου του ποταμού Αλιάκμονα στο Νομό Κοζάνης. Η εφαρμογή των επιλεχθέντων δεικτών βασίστηκε σε μετρήσεις των ποιοτικών μεταβλητών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση, για συνολική διάρκεια ενός έτους (Ιούνιος 2004-Μάιος 2005). Ορισμένες από τις φυσικοχημικές παραμέτρους οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν ήταν η στάθμη του νερού, η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, η θολερότητα, το βιοχημικά και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, ο ολικός φώσφορος, η χλωροφύλλη-α, η αμμωνία, τα οξείδια του αζώτου και το ολικό άζωτο σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl (TKN). Πέραν της ποιοτικής αξιολόγησης του εξεταζόμενου υδατικού σώματος, στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ποιοτικής κατάταξης της λίμνης, τα οποία προέκυψαν βάσει των δεικτών CCME και NSF, με το μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο προτείνεται για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των ρηχών λιμνών της Ευρώπης, σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (WFD). Η εφαρμογή των επιμέρους μεθοδολογιών έδειξε ότι τα αποτελέσματα της ποιοτικής ταξινόμησης τα οποία προέκυψαν βάσει της εφαρμογής του δείκτη NSF, είναι κοντύτερα σε εκείνα τα οποία προέκυψαν βάσει της προτεινόμενης από την WFD μεθοδολογίας, συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα του δείκτη CCME. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης CCME μπορεί να χαρακτηριστεί ως περισσότερο αυστηρός, καθώς εκτιμά κατά μέσο όρο δύο τάξεις χαμηλότερη ποιοτική κατάσταση σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσέγγισης της WFD (Alexakis et al. 2016).

Ο Tsakiris (2016) ασχολήθηκε με τη διαμόρφωση ενός νέου δείκτη (BWQI), ο οποίος αποσκοπεί αποκλειστικά στην αξιολόγηση της ποιότητας του εμφιαλωμένου νερού. Η διαμόρφωση του δείκτη

βασίστηκε στην ενσωμάτωση συνολικά 7 ποιοτικών μεταβλητών, του βακτηρίου E. Coli, του pH, των νιτρικών (NO_3^-), των νιτρωδών (NO_2^-), των χλωριούχων (Cl^-) και των θεικών (SO_4^{2-}) ιόντων, καθώς και της ηλεκτρικής ειδικής αγωγιμότητας. Βάσει της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, ο υπολογισμός της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας πραγματοποιείται σε 2 στάδια. Κατά το 1^ο στάδιο, ελέγχεται κατά πόσο το δείγμα παρουσιάζει μηδενική συγκέντρωση του βακτηρίου E. Coli και τιμή του pH μεταξύ του εύρους 6.5-9.5. Κατά το 2^ο στάδιο της διαδικασίας, εφαρμόζεται η μέθοδος της ασαφούς λογικής προκειμένου οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων παραμέτρων, μέσω των συναρτήσεων συμμετοχής, να μετατραπούν σε τιμές μεταξύ 0 και 1. Για την εξαγωγή της τιμής του ολικού δείκτη, οι κανονικοποιημένες, πλέον, τιμές των επιμέρους παραμέτρων συνδυάζονται μέσω μίας πολλαπλασιαστικού τύπου συνάρτησης συνυπολογισμού, στην οποία οι επιμέρους εκθέτες αντικατοπτρίζουν τη σχετική σημαντικότητα της αντίστοιχης μεταβλητής. Η συγκεκριμένη εργασία περιλαμβάνει, ακόμη, την εφαρμογή του διαμορφωθέντος δείκτη για την αξιολόγηση της ποιότητας 80 συνολικά εμφιαλωμένων νερών ευρωπαϊκής προέλευσης, καθώς και την κατάστρωση κατάλληλης διαδικτυακής εφαρμογής διαθέσιμη στον ιστότοπο: <https://form.jotformeu.com/61543278348361> (Tsakiris 2016).

Οι Trikoilidou et al. (2017) εφάρμοσαν μία τροποποιημένη εκδοχή του δείκτη NSF στις λίμνες Ζάζαρη και Πετρών του Νομού Φλώρινας της Δυτικής Μακεδονίας. Ο υπολογισμός του δείκτη βασίστηκε σε ένα σύνολο 14 ποιοτικών μεταβλητών, μετρούμενων σε 5 δειγματοληπτικούς σταθμούς σε κάθε επιμέρους υδάτινο σώμα, μεταξύ του διαστήματος 18/10/2011 και 14/12/2011. Αναλυτικότερα, οι παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν ήταν οι εξής: COD, TKN, NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N, pH, αγωγιμότητα, θολερότητα, χρώμα, TSS, DO, PO_4^{3-} -P, Cl^- και BOD. Τα αποτελέσματα του δείκτη εξήχθησαν σε επίπεδο σταθμού, αλλά και για το σύνολο των υπό εξέταση σωμάτων. Στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής ήταν η διερεύνηση της επάρκειας της εξαγωγής μίας μεμονωμένης τιμής του δείκτη ποιότητας για το σύνολο της έκτασης των υπό εξέταση σωμάτων. Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, η εν λόγω έρευνα κατέληξε ότι, στην περίπτωση όπου δεν παρατηρείται χωρική ομοιογένεια μεταξύ των αποτελεσμάτων του υπολογισθέντος δείκτη ποιότητας για το σύνολο των μετρητικών σταθμών ενός δεδομένου υδατικού σώματος, είναι προτιμότερο αυτό να υποδιαιρείται σε επιμέρους τμήματα και τα αποτελέσματα ποιότητας να εξάγονται για κάθε υπο-περιοχή ξεχωριστά (Trikoilidou et al. 2017).

Ο Gikas (2017) μελέτησε την ποιοτική και την ποσοτική κατάσταση των κυρίων κλάδων του ποταμού Λασπία στην Ξάνθη. Επιμέρους αντικείμενα της συγκεκριμένης εφαρμογής ήταν η διερεύνηση της καταλληλότητας του ποταμού για χρήση άρδευσης, ο προσδιορισμός της τροφικής κατάστασης του ποταμού, καθώς και ο έλεγχος της ποιότητάς του για τη διατήρηση της υδρόβιας ζωής, μέσω της εφαρμογής του δείκτη CCME. Για την εφαρμογή του δείκτη, λήφθηκαν υπόψιν οι εξής μεταβλητές: pH, DO, BOD, NO_3^- , NH_4^+ , TP και TSS. Οι τιμές των εν λόγω παραμέτρων προσδιορίστηκαν μέσω επί τόπου μετρήσεων ή αναλύσεων, για το διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου 2010 και Μαΐου 2012, σε 5 δειγματοληπτικούς σταθμούς κατά μήκος του υδατορεύματος. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, έδειξαν ότι η ποιότητα του νερού στο μελετώμενο υδατόρευμα κυμαίνεται μεταξύ «φτωχής» και «οριακής» για το σύνολο της περιόδου παρακολούθησης (Gikas 2017).

4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία, επιχειρήθηκε η εφαρμογή 7 διαφορετικών Δεικτών Ποιότητας Νερού σε 2 επιμέρους υδατικά σώματα, ένα λιμναίο (τεχνητή λίμνη Πολυφύτου) και ένα ποτάμιο (ποταμός Βοσβόζης). Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε κατά την εφαρμογή τους σε καθένα από τα 2 εξεταζόμενα σώματα, ενώ, παράλληλα, δίνονται τα κύρια στοιχεία τα οποία αφορούν στις επιμέρους περιοχές εφαρμογής καθώς και στα δεδομένα τα οποία αξιοποιήθηκαν. Διευκρινίζεται ότι μόνο για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη εφαρμόστηκε το σύνολο των εξεταζόμενων μεθοδολογιών, ενώ για την περίπτωση του υδατικού συστήματος της λίμνης Πολυφύτου δεν εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία οι δείκτες CCME και NSF, οι οποίοι έχουν εφαρμοστεί σε προηγούμενη έρευνα για το δεδομένο σώμα από τους Alexakis et al. (2016). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εφαρμογής αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία προκειμένου να καταστεί εφικτή η συγκριτική θεώρηση των αποτελεσμάτων του συνόλου των μελετώμενων δεικτών για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου.

4.1 Περιγραφή εξεταζόμενων υδατικών σωμάτων και δεδομένα

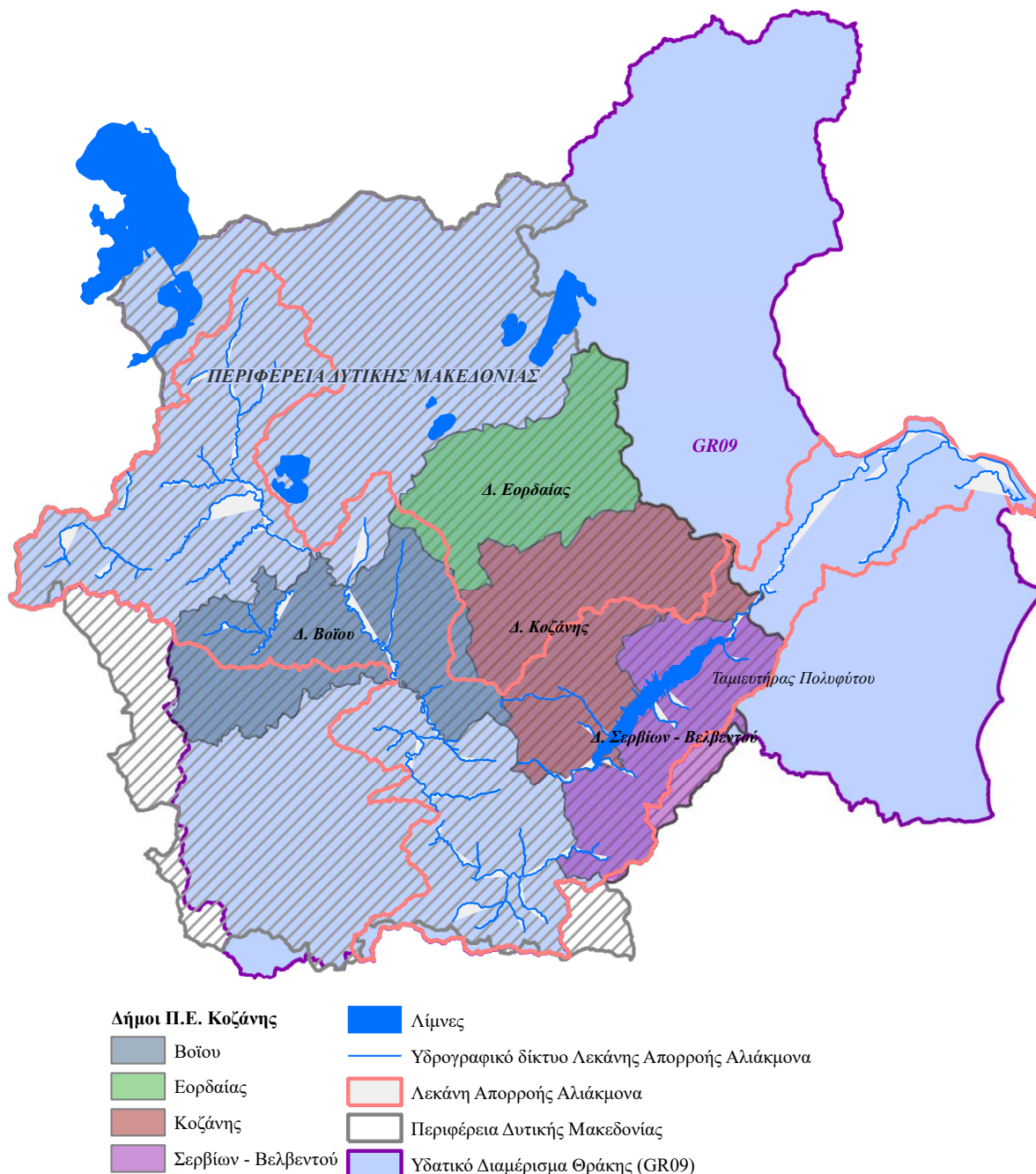
4.1.1 Περίπτωση εφαρμογής: τεχνητή λίμνη Πολυφύτου

4.1.1.1 Γενική περιγραφή και θέση

Η τεχνητή λίμνη Πολυφύτου βρίσκεται στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα εντάσσεται στην Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε) Κοζάνης. Βάσει της διοικητικής διαίρεσης της τελευταίας σε 4 επιμέρους δήμους (Βοΐου, Εορδαίας, Κοζάνης και Σερβίων-Βελβεντού), ο ταμιευτήρας απαντάται εντός των διοικητικών ορίων των Δήμων Κοζάνης και Σερβίων-Βελβεντού, με το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του να εμπίπτει στον τελευταίο δήμο. Δημιουργήθηκε το 1975, ως αποτέλεσμα της κατασκευής του ομώνυμου φράγματος, ύψους 112 m, στον ποταμό Αλιάκμονα, στόχος του οποίου ήταν η κάλυψη κυρίως των αρδευτικών αναγκών της περιοχής και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, ενώ άλλες χρήσεις για τις οποίες αξιοποιείται η λίμνη είναι η αλιεία, οι δραστηριότητες αναψυχής καθώς και η χρήση πόσιμου νερού. Το σχήμα της είναι επίμηκες και εκτείνεται, με κατεύθυνση βορειοανατολική, από τον οικισμό του Ρυμνίου (νοτιότερο σημείο) έως το φράγμα Πολυφύτου (βορειότερο σημείο). Έχει συνολικό μήκος περίπου 25 km και πλάτος 1.5 km, το οποίο, ωστόσο, παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με τη θεωρούμενη κάθε φορά θέση αλλά και τη στάθμη του νερού. Για το υψόμετρο +293 m, το οποίο αντιστοιχεί στη μέγιστη στάθμη πλημμύρας, ο ταμιευτήρας παρουσιάζει μέγιστο βάθος 91 m, ενώ ο μέγιστος όγκος του καθώς και η μέγιστη κατακλυζόμενη επιφάνεια, για την περίπτωση αυτή, ανέρχονται στα 1.94 km³ και 74 km², αντίστοιχα. Λόγω, ωστόσο, της λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού αλλά και ως αποτέλεσμα των γενικότερων υδρολογικών συνθηκών της περιοχής, η στάθμη του ενδέχεται να ταπεινωθεί έως και τα +271 m (Μαρκόνης 2006, Gikas et al. 2008).

Όπως αναφέρθηκε, ο ταμιευτήρας της λίμνης Πολυφύτου βρίσκεται εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Αλιάκμονα, η οποία με τη σειρά της, σύμφωνα με τη διαίρεση της ελληνικής επικράτειας σε 14 υδατικά διαμερίσματα, αλλά και τον περαιτέρω επιμερισμό αυτών σε συνολικά σαράντα-πέντε Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΦΕΚ 1383B/2-9-2010 & ΦΕΚ 1572B/28-9-2010), εμπίπτει στη Λεκάνη Απορροής Ποταμού GR02 (λεκάνη Αλιάκμονα), καθώς και στην ευρύτερη περιοχή του Υδατικού Διαμερίσματος (Υ.Δ.) GR09 της Δυτικής Μακεδονίας.

Η θέση του ταμιευτήρα εντός της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα και του Υ.Δ. Δυτικής Μακεδονίας, καθώς και η θέση αυτού εντός των διοικητικών ορίων της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας και της Π.Ε. Κοζάνης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 4.1). Τα απαραίτητα χωρικά δεδομένα για την κατασκευή του κατωτέρω χάρτη λήφθηκαν από το geodata (<http://geodata.gov.gr>).



Εικόνα 4.1: Σχετική θέση ταμιευτήρα Πολυφύτου, Λεκάνης Απορροής Αλιάκμονα, Υ.Δ. Θράκης και Π.Ε Κοζάνης

Ο Αλιάκμονας συνιστά το μεγαλύτερο σε μήκος ελληνικό ποτάμι, οι πηγές του οποίου βρίσκονται εντός των ορίων της ελληνικής επικράτειας. Πηγάζει στα όρη Γράμμος και Βίτσι, ενώ προτού εκβάλει στο Θερμαϊκό Κόλπο, διατρέχει συνολική απόσταση 297 km. Το μήκος του ποταμού που αντιστοιχεί στα τμήματα ανάντη και κατόντη του ταμιευτήρα ισούται με 197 και 75 km,

αντίστοιχα. Η συνολική έκταση της διαμορφούμενης υδρολογικής λεκάνης ανέρχεται στα 5630 km². Από αυτήν, το μεγαλύτερο μέρος (4450 km²), αποστραγγίζεται από τον ποταμό, ο οποίος μεταφέρει την απορροή κατάντη, στην είσοδο του ταμιευτήρα, ενώ η επιφανειακή απορροή η οποία προκύπτει από την υπόλοιπη έκταση της υδρολογικής λεκάνης (1180 km²) καταλήγει απευθείας στη λίμνη μέσω χειμάρρων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων 2007).

Κατάντη του φράγματος Πολυφύτου, συνολικά 105 έως 158 m³ νερού παροχετεύονται καθημερινά για την υδροδότηση της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα, σημαντικές ποσότητες νερού αντλούνται για την άρδευση μεγάλης γεωργικής έκτασης του Δήμου Σερβίων-Βελβεντού, στην οποία καλλιεργούνται, μεταξύ άλλων, σιτηρά, αραβόσιτος, κτηνοτροφικά φυτά, ενώ εντοπίζονται, ακόμη, 10000 στρέμματα περίπου δενδρωδών καλλιεργειών (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων 2007, Gikas et al. 2009).

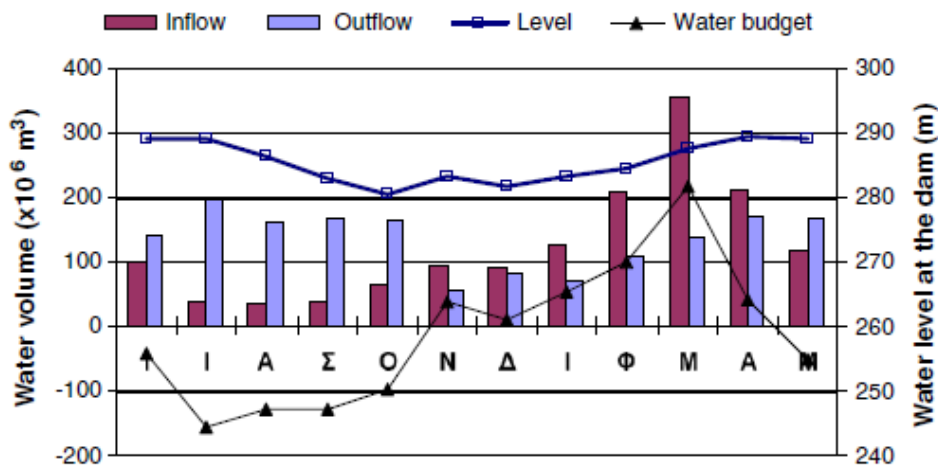
4.1.1.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό, με ψυχρούς χειμώνες και ήπια καλοκαίρια. Βάσει χρονοσειράς κλιματικών δεδομένων για την περίοδο 1989-2003, ο ψυχρότερος μήνας του έτους στην περιοχή είναι ο Ιανουάριος, ενώ ο θερμότερος ο Ιούλιος, με μέσες τιμές θερμοκρασίας 2.1 °C και 23.7 °C, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης που λήφθηκε υπόψιν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας για τις ανάγκες της ποιοτικής αξιολόγησης του δεδομένου υδατικού σώματος και η οποία διήρκεσε συνολικά 12 μήνες (Ιούνιος 2004 έως Μάιος 2005), η χαμηλότερη τιμή θερμοκρασίας παρουσιάστηκε το μήνα Νοέμβριο (-2 °C), ενώ η υψηλότερη, αντίστοιχα, κατά το μήνα Ιούλιο (36 °C). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην περιοχή ανέρχεται στα 508.5 mm, με σημαντικές, ωστόσο διαφοροποιήσεις μεταξύ της υγρής (Οκτώβριος έως Μάιος) και της ξηρής (Ιούνιος έως Σεπτέμβριος) περιόδου (Gikas et al. 2009).

4.1.1.3 Υδρολογικό καθεστώς

Στο διάγραμμα το οποίο ακολουθεί (Εικόνα 4.2) παρουσιάζεται η διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών των συνολικών εισροών και εκροών, του υδατικού ισοζυγίου (συνολικές εισροές μείον συνολικές εκροές), καθώς και της στάθμης του ταμιευτήρα για την περίοδο παρακολούθησης (Ιούνιος 2004-Μάιος 2005). Οι εισροές στον ταμιευτήρα συνίστανται στην κατακρήμνιση απευθείας σε αυτόν, στην επιφανειακή απορροή από το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης καθώς και στην υπόγεια τροφοδοσία. Η επιφανειακή απορροή, η οποία εισέρχεται στον ταμιευτήρα από τον Αλιάκμονα καθώς και από τα υπόλοιπα ρέματα ή παραπόταμους της υδρολογικής λεκάνης, παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους, με τις τιμές της να κυμαίνονται από 5 έως 300 m³/s για την ξηρή και την υγρή περίοδο, αντίστοιχα. Για την περίοδο παρακολούθησης, η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη μέση μηνιαία απορροή του Αλιάκμονα ανέρχεται σε 12.61 (Σεπτέμβριος 2004), 47.37 και 133.07 m³/s (Μάρτιος 2005), αντίστοιχα. Όσον αφορά στην τροφοδοσία του ταμιευτήρα από τους υπόγειους υδροφορείς, αυτή είναι κατά μέσο όρο της τάξης των 10 m³/s, ενώ η συνολική συνεισφορά τους στα υδατικά αποθέματα της λίμνης για το σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου ανέρχεται περίπου σε 157420 m³. Ο συνολικός όγκος εκροής από τον ταμιευτήρα περιλαμβάνει την εκροή διαμέσω των υδατοφρακτών του φράγματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την εκροή προς τους πύργους ψύξης του θερμοηλεκτρικού σταθμού της Κοζάνης, την άντληση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς καθώς και την

εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης, ενώ για το μελετώμενο διάστημα (Ιούνιος 2004-Μάιος 2005) ανέρχεται περίπου σε 172610 m^3 (Gikas et al. 2009).



Εικόνα 4.2: Διακύμανση εισροών, εκροών, υδατικού ισοζυγίου και στάθμης του ταμιευτήρα για την περίοδο παρακολούθησης (Ιούνιος 2004-Μάιος 2005)

Πηγή: Gikas et al. (2009)

4.1.1.4 Ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή

Στην ευρύτερη λεκάνη απορροής λαμβάνουν χώρα δυνητικά ρυπογόνες δραστηριότητες, οι οποίες ενδέχεται να υποβαθμίσουν την ποιοτική κατάσταση του νερού στον ταμιευτήρα. Ορισμένες από τις κυριότερες σημειακές και μη-σημειακές πηγές ρύπανσης οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή, παρατίθενται στον Πίνακα 4.1.

4.1.1.5 Δεδομένα

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η εφαρμογή των επιμέρους Δεικτών Ποιότητας Νερού και η συνεπακόλουθη αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, λήφθηκαν υπόψιν συνολικά 13 ποιοτικές παράμετροι, οι οποίες αξιοποιήθηκαν κατά περίπτωση, ανάλογα με το πλαίσιο εφαρμογής καθενός από τους εφαρμοζόμενους δείκτες. Οι ποιοτικές παράμετροι, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για το σύνολο των επιμέρους δεικτών, επισημαίνοντας ότι κάθε μεθοδολογία-δείκτης λαμβάνει υπόψιν διαφορετικό συνδυασμό και πλήθος παραμέτρων, είναι η θερμοκρασία (T), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η θολερότητα (Turbidity), το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5), το χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), τα νιτρώδη ($\text{NO}_2^- \text{-N}$), τα νιτρικά ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), η αμμωνία ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN) και ο ολικός φωσφόρος (TP), ενώ καμία μικροβιολογική παράμετρος δε λήφθηκε υπόψιν. Ο προσδιορισμός των τιμών των συγκεντρώσεων των εν λόγω παραμέτρων πραγματοποιήθηκε σε μηνιαία βάση, για συνολική διάρκεια ενός έτους (21 Ιουνίου 2004 έως 22 Μαΐου 2005), στο πλαίσιο μελέτης των Gikas et al (2009), η οποία αφορούσε στη διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης και των υφισταμένων τάσεων στη λίμνη Πολυφύτου. Αναλυτικότερα, για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 12 δειγματοληπτικές εκστρατείες κατά τις οποίες οι απαιτούμενες παράμετροι μετρήθηκαν σε τρεις σταθμούς παρακολούθησης κατά μήκος του ταμιευτήρα (P_1 , P_2 και P_3) και σε δύο διαφορετικά βάθη (στην επιφάνεια και σε απόσταση 0.3 m περίπου από τον πυθμένα).

Πίνακας 4.1: Δυνητικά ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή εφαρμογής (Πηγή: Gikas et al. 2009)

Σημειακές πηγές ρύπανσης	Μη-σημειακές πηγές ρύπανσης
<p>i. Εγκαταλελειμμένα μεταλλεία παραγωγής χρωμίτη καθώς και αμιάντου στην περιοχή Ζιδάνι της Π.Ε. Κοζάνης, σε απόσταση περίπου 1 km από το σημείο στο οποίο εισρέει ο ποταμός Αλιάκμονας στον ταμιευτήρα. Τα υπολείμματα της μεταλλευτικής δραστηριότητας βρίσκονται εναποτεθειμένα σε σωρούς μεγάλου ύψους στην περιοχή, δημιουργώντας τον κίνδυνο της ενδεχόμενης εισροής τους στο ποτάμι.</p> <p>ii. Άλλες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις στην περιοχή του Βοΐου Κοζάνης, οι οποίες βρίσκονται σε λειτουργία και ασχολούνται με την εξόρυξη μαρμάρου, ασβεστίτη και άλλων υλικών.</p> <p>iii. Μικρού και μεσαίου μεγέθους γαλακτοβιομηχανίες καθώς και βιομηχανίες παραγωγής κρέατος, οι οποίες δραστηριοποιούνται στην περιοχή</p> <p>iiii. Λειτουργία μονάδας παραγωγής θερμοηλεκτρικής ενέργειας και εξόρυξης άνθρακα στην περιοχή μεταξύ των πόλεων Πτολεμαΐδα και Κοζάνη, η οποία ενδέχεται να επηρεάσει την ποιότητα των νερών του ταμιευτήρα μέσω της μεταφοράς των εκπεμπόμενων αερίων εντός της λεκάνης απορροής.</p>	<p>i. Εκτεταμένη κτηνοτροφική και γεωργική δραστηριότητα</p> <p>ii. Απόρριψη των αστικών λυμάτων των οικισμών της λεκάνης απορροής, μέρος των οποίων είναι συχνά ανεπεξέργαστο, στο τμήμα του Αλιάκμονα ανάντη του ταμιευτήρα, καθώς και σε ορισμένα άλλα ρέματα, η απορροή των οποίων καταλήγει απευθείας στη λίμνη</p>

Ο πρώτος δειγματοληπτικός σταθμός (P_1) βρίσκεται στη γέφυρα του Ρυμνίου, εκεί όπου ο ποταμός Αλιάκμονας εισρέει στον ταμιευτήρα, ο δεύτερος (P_2) τοποθετείται περίπου στο μέσο του μήκους του ταμιευτήρα, στη γέφυρα Σερβίων, ενώ ο τελευταίος (P_3) βρίσκεται στο φράγμα Πολυφύτου. Η ακριβής θέση των τριών σταθμών παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3. Κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης, το βάθος του νερού στις 3 θέσεις δειγματοληψίας κυμάνθηκε από 0.3 έως 6.4 m, από 16.4 έως 25.1 m και από 0.9 έως 8.3 m για τους σταθμούς P_1 , P_2 και P_3 , αντίστοιχα. Για κάθε επιμέρους σταθμό και θεωρούμενο βάθος, τα δείγματα συλλέχθηκαν με δειγματολήπτη νερού χωρητικότητας 5 L, ενώ για τους σταθμούς P_1 και P_3 και για τις περιόδους Σεπτεμβρίου 2004-Φεβρουαρίου 2005 και Οκτωβρίου 2004-Φεβρουαρίου 2005, αντίστοιχα, ένα μόνο δείγμα συλλέχθηκε (μέτρηση επιφανείας) λόγω της ιδιαίτερα χαμηλής στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα κατά τις περιόδους αυτές. Τα συλλεχθέντα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, ώστε να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις τους σε BOD_5 , COD, TSS, NO_2^- -N, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, TKN και

TP, βάσει των ενδεδειγμένων μεθόδων. Οι τιμές της θερμοκρασίας, του διαλυμένου οξυγόνου, του pH και της αγωγιμότητας προσδιορίστηκαν επί τόπου στο πεδίο με κατάλληλα μετρητικά όργανα, ενώ η παράμετρος της θολερότητας προσδιορίστηκε με χρήση του δίσκου Secchi (Gikas et al. 2009). Διευκρινίζεται ότι για τη μετατροπή του βάθους διείσδυσης του φωτός (βάθος δίσκου Secchi) σε μονάδες θολερότητας (NTU), χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση (Alexakis et al. 2016):

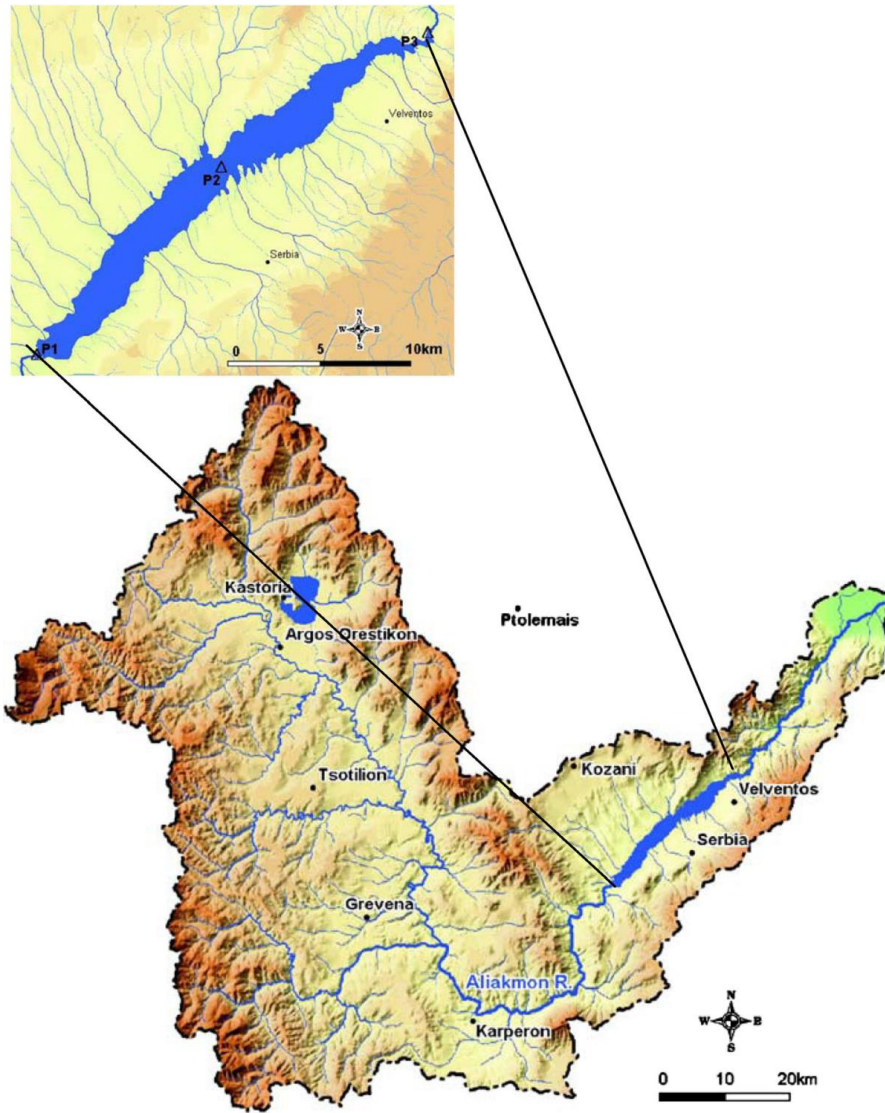
$$\text{Βάθος δίσκου Secchi} = 244.13 \times (\text{θολερότητα})^{-0.662} \quad (4.1)$$

όπου το βάθος δίσκου Secchi είναι σε cm και η θολερότητα σε NTU.

Στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 4.3) παρουσιάζεται η μορφολογία της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα ποταμού, η θέση του εξεταζόμενου υδατικού σώματος εντός αυτής, καθώς και οι ακριβείς θέσεις των σταθμών παρακολούθησης κατά μήκος του ταμιευτήρα.

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων, για κάθε σταθμό παρακολούθησης και θεωρούμενο βάθος (επιφάνεια, πυθμένας) αλλά και για το σύνολο του ταμιευτήρα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Επιπλέον, προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη ενδεχόμενων αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών, προσδιορίστηκε, ανά ζεύγος παραμέτρων, ο συντελεστής συσχέτισης ρ , κάνοντας χρήση της συνάρτησης CORREL του Excel. Ο συντελεστής συσχέτισης ρ εκφράζει την ισχύ της γραμμικής σχέσης που συνδέει δύο μεταβλητές και κυμαίνεται από -1 έως +1, με τις τιμές αυτές να υποδηλώνουν τέλεια αρνητική και τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση, αντίστοιχα. Για $\rho=0$, οι μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, ενώ, όπως είναι προφανές, όσο περισσότερο ο συντελεστής προσεγγίζει τις δύο ακραίες τιμές τόσο ισχυρότερες –θετικές ή αρνητικές– γραμμικές σχέσεις αναπτύσσονται μεταξύ των μελετώμενων παραμέτρων. Οι συντελεστές συσχέτισης οι οποίοι προέκυψαν ανά ζεύγος παραμέτρων φαίνονται στον Πίνακα 4.3.



Εικόνα 4.3: Μορφολογία λεκάνης απορροής Αλιάκμονα και θέσεις δειγματοληπτικών σταθμών
 Πηγή: Gikas et al. (2009)

Πίνακας 4.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά φυσικοχημικών παραμέτρων –περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου

Παράμετρος	Σταθμός παρακολούθησης	Στατιστικά χαρακτηριστικά ανά θέση παρακολούθησης				Στατιστικά χαρακτηριστικά για το σύνολο των σταθμών			
		Min	Max	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Min	Max	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
T (°C)	P ₁ -επιφάνεια	4.90	27.60	15.62	8.49	4.90	27.60	15.53	6.88
	P ₂ -επιφάνεια	7.90	27.40	17.70	6.95				
	P ₃ -επιφάνεια	6.20	26.00	15.94	6.93				
	P ₁ -πυθμένας	4.90	24.80	14.68	7.92				
	P ₂ -πυθμένας	6.80	23.00	13.48	4.75				
	P ₃ -πυθμένας	7.50	25.00	15.78	6.41				
DO (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	3.27	7.77	5.59	1.46	0.11	9.50	4.95	1.95
	P ₂ -επιφάνεια	2.95	9.50	5.24	1.84				
	P ₃ -επιφάνεια	2.68	8.80	5.31	2.02				
	P ₁ -πυθμένας	0.11	6.70	4.17	2.34				
	P ₂ -πυθμένας	1.11	9.23	3.76	2.22				
	P ₃ -πυθμένας	4.00	7.26	5.58	1.15				
pH	P ₁ -επιφάνεια	8.02	9.07	8.51	0.26	7.10	9.38	8.32	0.41
	P ₂ -επιφάνεια	7.80	8.52	8.28	0.30				
	P ₃ -επιφάνεια	8.20	9.38	8.59	0.31				
	P ₁ -πυθμένας	7.10	8.47	8.10	0.52				
	P ₂ -πυθμένας	7.49	8.50	7.94	0.39				
	P ₃ -πυθμένας	8.14	9.14	8.41	0.35				
EC (μS/cm)	P ₁ -επιφάνεια	296.00	448.00	387.01	45.53	296.00	498.00	376.33	35.45
	P ₂ -επιφάνεια	316.00	384.00	365.43	20.49				
	P ₃ -επιφάνεια	324.00	387.00	362.80	19.91				
	P ₁ -πυθμένας	366.20	498.00	409.80	61.30				
	P ₂ -πυθμένας	350.00	455.00	382.19	26.85				
	P ₃ -πυθμένας	327.00	378.00	361.19	22.92				
Θολερότητα (NTU)	P ₁ -επιφάνεια	1.35	124.77	20.87	37.06	0.47	124.77	7.31	21.50
	P ₂ -επιφάνεια	0.61	2.75	1.39	0.69				
	P ₃ -επιφάνεια	0.47	4.51	1.45	1.23				
	P ₁ -πυθμένας	1.35	124.77	20.87	37.06				
	P ₂ -πυθμένας	0.61	2.75	1.39	0.69				
	P ₃ -πυθμένας	0.47	4.51	1.45	1.23				
BOD ₅ (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	19.70	3.04	5.68	0.00	25.30	3.61	6.23

	P ₂ -επιφάνεια	0.00	20.20	3.15	5.72				
	P ₃ -επιφάνεια	0.00	21.60	3.81	6.22				
	P ₁ -πυθμένας	0.00	19.90	5.33	7.73				
	P ₂ -πυθμένας	0.00	25.30	3.15	7.19				
	P ₃ -πυθμένας	0.00	19.40	4.34	6.91				
COD (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	81.60	40.40	24.77	0.00	100.80	42.32	24.11
	P ₂ -επιφάνεια	19.20	91.20	45.38	19.72				
	P ₃ -επιφάνεια	4.80	67.20	34.00	16.30				
	P ₁ -πυθμένας	19.20	100.80	57.60	34.75				
	P ₂ -πυθμένας	9.60	91.20	38.00	22.56				
	P ₃ -πυθμένας	4.80	91.20	49.37	32.05				
TSS (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	800.00	218.99	249.62	0.00	2710.00	203.35	501.89
	P ₂ -επιφάνεια	0.0	850.0	103.5	260.3				
	P ₃ -επιφάνεια	0.0	4.5	0.8	1.6				
	P ₁ -πυθμένας	0.7	2710.0	1228.2	1191.0				
	P ₂ -πυθμένας	0.0	690.0	134.4	227.2				
	P ₃ -πυθμένας	0.0	4.9	1.4	2.2				
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	0.05	0.01	0.01	0.00	0.05	0.01	0.01
	P ₂ -επιφάνεια	0.00	0.01	0.01	0.00				
	P ₃ -επιφάνεια	0.00	0.02	0.01	0.01				
	P ₁ -πυθμένας	0.00	0.02	0.01	0.01				
	P ₂ -πυθμένας	0.00	0.03	0.01	0.01				
	P ₃ -πυθμένας	0.00	0.02	0.01	0.01				
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	0.53	0.18	0.21	0.00	0.53	0.11	0.13
	P ₂ -επιφάνεια	0.00	0.44	0.11	0.14				
	P ₃ -επιφάνεια	0.00	0.29	0.08	0.09				
	P ₁ -πυθμένας	0.00	0.16	0.09	0.08				
	P ₂ -πυθμένας	0.00	0.28	0.08	0.09				
	P ₃ -πυθμένας	0.00	0.13	0.05	0.06				
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.07	0.47	0.19	0.12	0.02	0.47	0.16	0.11
	P ₂ -επιφάνεια	0.03	0.33	0.14	0.09				
	P ₃ -επιφάνεια	0.04	0.45	0.17	0.15				
	P ₁ -πυθμένας	0.07	0.29	0.14	0.09				
	P ₂ -πυθμένας	0.02	0.34	0.15	0.10				
	P ₃ -πυθμένας	0.09	0.23	0.14	0.06				

TKN (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.00	14.00	5.32	3.65	0.00	14.00	4.37	2.38
	P ₂ -επιφάνεια	0.00	6.60	3.72	2.08				
	P ₃ -επιφάνεια	0.00	7.56	4.26	1.86				
	P ₁ -πυθμένας	0.00	6.16	4.06	2.25				
	P ₂ -πυθμένας	0.00	7.84	4.33	2.08				
	P ₃ -πυθμένας	1.96	6.72	4.36	1.77				
TP (mg/L)	P ₁ -επιφάνεια	0.02	0.25	0.10	0.07	0.00	0.41	0.08	0.08
	P ₂ -επιφάνεια	0.01	0.41	0.11	0.14				
	P ₃ -επιφάνεια	0.01	0.08	0.04	0.02				
	P ₁ -πυθμένας	0.08	0.16	0.10	0.04				
	P ₂ -πυθμένας	0.00	0.27	0.06	0.08				
	P ₃ -πυθμένας	0.01	0.27	0.08	0.10				

Πίνακας 4.3: Πίνακας συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων –περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου

	T	pH	DO	TSS	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TKN	BOD ₅	COD	EC	TP	Θολερότητα
T	1.000												
pH	-0.016	1.000											
DO	0.308	0.250	1.000										
TSS	-0.048	0.084	0.251	1.000									
NH ₄ ⁺	-0.179	0.029	-0.339	-0.075	1.000								
NO ₃ ⁻	0.041	0.123	0.135	0.082	0.062	1.000							
NO ₂ ⁻	0.233	0.201	0.173	0.232	-0.063	0.156	1.000						
TKN	-0.024	0.108	-0.168	-0.068	0.198	-0.005	0.062	1.000					
BOD ₅	0.495	-0.119	-0.009	-0.181	-0.124	-0.308	0.100	0.001	1.000				
COD	-0.022	0.074	0.276	0.459	-0.144	0.091	0.263	-0.343	-0.127	1.000			
EC	-0.219	-0.292	-0.235	-0.028	0.157	-0.133	-0.053	0.142	0.244	-0.050	1.000		
TP	0.077	-0.018	-0.149	0.001	0.187	0.185	-0.052	0.377	-0.123	-0.320	-0.106	1.000	
Θολερότητα	-0.088	0.046	0.030	0.076	0.023	0.465	0.268	0.172	-0.109	-0.039	-0.205	0.337	1.000

4.1.2 Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

4.1.2.1 Γενική περιγραφή και θέση

Ο ποταμός Βοσβόζης βρίσκεται στο Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θράκης στη Βόρεια Ελλάδα, ενώ διοικητικά υπάγεται στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και συγκεκριμένα στο Δήμο Κομοτηνής της Π.Ε. Ροδόπης. Πηγάζει από την οροσειρά της Ανατολικής Ροδόπης και, ρέοντας νότια, διατρέχει συνολική απόσταση περίπου 40 km μέχρις ότου εκβάλει στη λίμνη Ισμαρίδα –ή αλλιώς Μητρικού-. Η τελευταία, παρά τη μικρή της έκταση (περίπου 3.4 km²), συνθέτει μαζί με τους γειτονικούς της υδροτόπους ένα αξιόλογο σύμπλεγμα οικοσυστημάτων, το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ευρύτερη περιοχή και προστατεύεται από διεθνείς συμβάσεις. Ειδικότερα, η Ισμαρίδα συνιστά Υγρότοπο Διεθνούς Σημασίας βάσει της Σύμβασης Ραμσάρ, ενώ σύμφωνα με τις διατάξεις της Κ.Υ.Α. 44549/17.10.2008 (ΦΕΚ Δ' 497), έχει χαρακτηριστεί, μαζί με το σύμπλεγμα των λιμνοθαλασσών της Θράκης και του ποταμού Φιλιουρή, ως «Εθνικό Πάρκο Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης». Παράλληλα, η περιοχή εντάσσεται στο Δίκτυο Natura 2000 ως Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (GR 1130009), σύμφωνα με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ, ενώ σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ, έχει χαρακτηριστεί ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας για τα πουλιά της Ελλάδας (GR1130010). Τέλος, η λίμνη καθώς και η ευρύτερη περιοχή έχουν οριστεί ως Καταφύγιο Άγριας Ζωής με την ονομασία «Μαυρομάτιο-Λίμνη Μητρικού» (Κατσαβούνη και Παπαδήμος 2012).

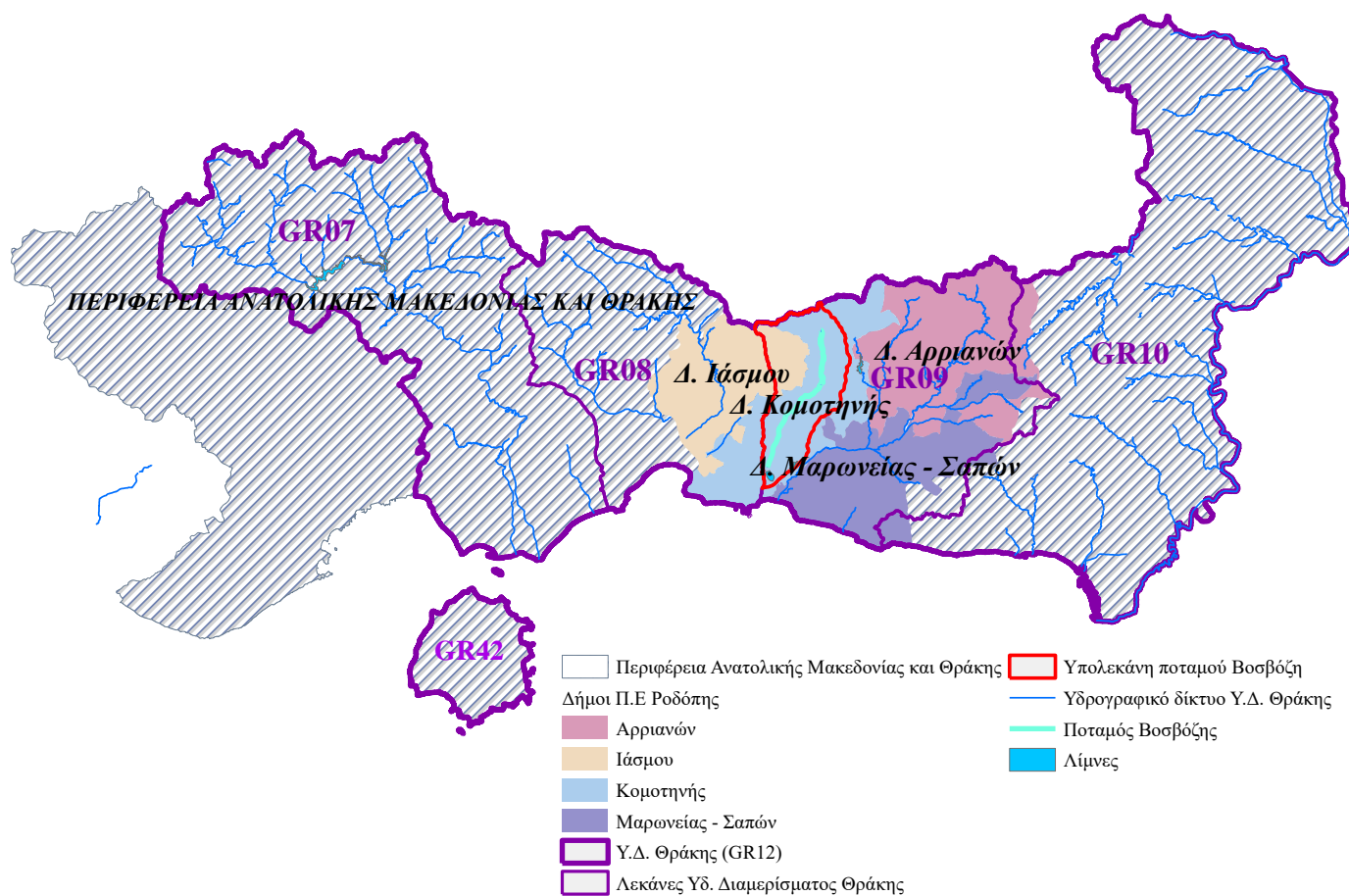
Ο Βοσβόζης αποστραγγίζει συνολική επιφάνεια περίπου 365 km², ενώ η διαμορφούμενη λεκάνη απορροής εμπίπτει εντός της Λεκάνης Απορροής Ποταμού Ρ. Κομοτηνής-Λουτρού Έβρου (GR09), η οποία με τη σειρά της συνιστά μία εκ των 5 λεκανών απορροής οι οποίες συνθέτουν το Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης (GR12) (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2012). Εντός της λεκάνης, το ανάγλυφο ποικίλει, με τα ορεινά τμήματα –στο Βορρά- να καταλαμβάνουν περίπου το 49% της συνολικής έκτασης της και τα πεδινά τμήματα –στη νότια πλευρά της λεκάνης- το 51%, αντίστοιχα. Τα μεν ορεινά τμήματα καλύπτονται κατά κύριο λόγο από δασικές εκτάσεις κωνοφόρων και φυλλοβόλων δένδρων, ενώ τα πεδινά τμήματα καλύπτονται από καλλιεργούμενες εκτάσεις, με κύρια είδη καλλιέργειας το σιτάρι, το βαμβάκι και τον καπνό (Boskidis et al. 2010).

Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η σχετική θέση της λεκάνης απορροής του ποταμού Βοσβόζης, του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12) και των επιμέρους λεκανών που το συναποτελούν (GR07, GR08, GR09, GR10 και GR42), της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, καθώς και των δήμων που απαρτίζουν την Π.Ε. Ροδόπης, εντός της οποίας απαντάται το εξεταζόμενο υδατικό σώμα. Τα δεδομένα για την κατασκευή του εν λόγω χάρτη λήφθηκαν από το ανοικτό λογισμικό γεωχωρικών δεδομένων του geodata (<http://geodata.gov.gr>).

4.1.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με το υψόμετρο. Έτσι, για την περίοδο 1985-2004, η χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία σημειώθηκε τον Ιανουάριο (2.1 °C και 4.5 °C στα ορεινά και τα πεδινά τμήματα της λεκάνης, αντίστοιχα), ενώ η υψηλότερη μέση θερμοκρασία το μήνα Αύγουστο, με 23.2 °C και 24.3 °C για τις ορεινές και τις πεδινές περιοχές. Παρόμοια χωρική ανισοκατανομή παρατηρείται και στο μέσο ετήσιο ύψος κατακρήμνισης στην ευρύτερη περιοχή, το οποίο ανέρχεται σε 812.7 και 554.1 mm, για τα ορεινά

και πεδινά τμήματα, αντίστοιχα. Παράλληλα και ανεξάρτητα από το υψόμετρο της εκάστοτε περιοχής της λεκάνης, σημαντική μείωση της βροχόπτωσης παρατηρείται κατά τη θερινή περίοδο. Ειδικότερα, βάσει των τοπικών κλιματικών συνθηκών, η ξηρή περίοδος διαρκεί από το μήνα Ιούνιο έως το μήνα Οκτώβριο, ενώ η υγρή από το μήνα Νοέμβριο έως και το μήνα Μάιο. Κατ' αντιστοιχία, και η απορροή του ποταμού Βοσβόζη χαρακτηρίζεται ως «χαμηλή» και «υψηλή» για τις ανωτέρω περιόδους του έτους. Η περίοδος παρακολούθησης των ποσοτικών (μετρήσεις απορροής) και ποιοτικών παραμέτρων στο εξεταζόμενο υδατόρευμα διήρκεσε από τον Αύγουστο του 2005 έως το Νοέμβριο του 2006. Λαμβάνοντας υπόψιν το ύψος κατακρήμνισης κατά την περίοδο αυτή (982.1 και 582.0 mm για τα ορεινά και πεδινά τμήματα, αντίστοιχα) καθώς και το μέσο ετήσιο ύψος κατά την 20ετή περίοδο 1985-2004, η μελετώμενη περίοδος χαρακτηρίζεται ως «περίοδος υγρών κλιματικών συνθηκών» (Boskidis et al. 2010).

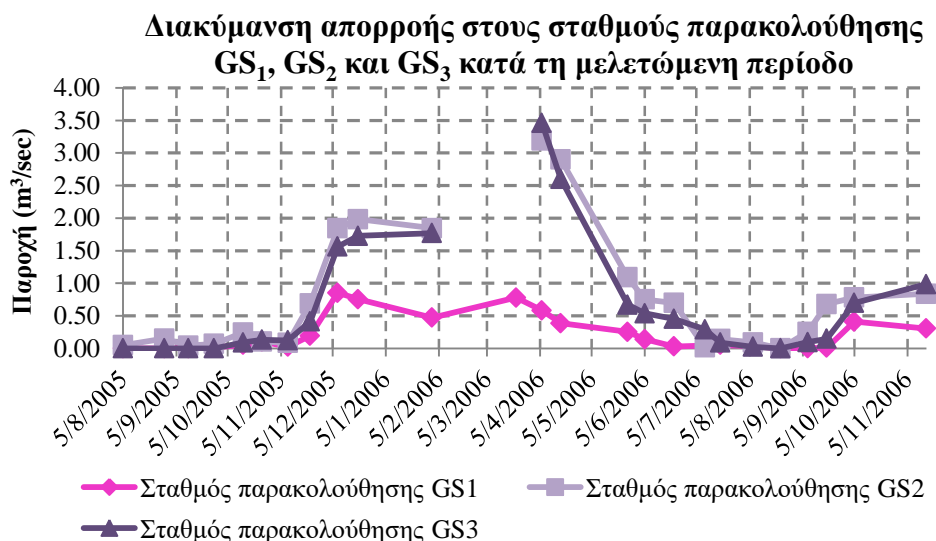


Εικόνα 4.4: Σχετική θέση λεκάνης απορροής Βοσβόζη, Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης, Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και Π.Ε. Ροδόπης

4.1.2.3 Υδρολογικό καθεστώς

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 4.5), παρουσιάζεται η διακύμανση της απορροής σε καθέναν από τους 3 σταθμούς παρακολούθησης του μελετώμενου υδατορεύματος (βλ. Εικόνα 4.6) για το σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου (Αύγουστος 2005 έως Νοέμβριος 2006). Η απορροή στο σταθμό GS₁ (πλησίον οικισμού Φωλιά) κυμαίνεται από 0 έως 0.85 m³/sec, στο σταθμό GS₂ (πλησίον οικισμού Παραδημή) από 0 έως 3.19 m³/sec, ενώ στο σταθμό GS₃ (ανάντι λίμνης Ισμαρίδας) από 0 έως 3.46 m³/sec, αντίστοιχα. Ο σταθμός GS₁, ο οποίος είναι εγκατεστημένος ανάντη των άλλων δύο, παρουσιάζει, όπως αναμενόταν, τις χαμηλότερες τιμές απορροής.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, ωστόσο, το γεγονός ότι στο σταθμό GS₃, ο οποίος βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα του υδατορεύματος, εκεί όπου ο ποταμός εκβάλλει στη λίμνη Ισμαρίδα, σημειώνονται χαμηλότερες τιμές απορροής σε σύγκριση με το σταθμό GS₂, ο οποίος βρίσκεται στα ανάντη. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται σε υπόγεια τροφοδοσία από την κοίτη του ποταμού στη θέση GS₂. Επιπλέον, όσον αφορά στην εποχιακή διακύμανση της απορροής στους 3 σταθμούς, παρατηρείται ότι και για τις 3 θέσεις παρακολούθησης οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου, η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί αντιστοιχεί στο διάστημα Νοέμβριος-Μάιος, ενώ οι χαμηλότερες τιμές, οι οποίες συχνά είναι μηδενικές, εμφανίζονται κατά την περίοδο Ιουνίου-Οκτωβρίου (ξηρή περίοδος) (Boskidis et al. 2010).



Εικόνα 4.5: Διακύμανση απορροής στους 3 σταθμούς παρακολούθησης του ποταμού Βοσβόζη κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου

4.1.2.4 Ρυπογόνες δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή

Τα τελευταία χρόνια, η ευρύτερη περιοχή δέχεται πιέσεις, τόσο από σημειακές όσο και από μη σημειακές πηγές ρύπανσης, οι οποίες συνδέονται με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή. Κύρια πηγή σημειακής ρύπανσης συνιστά η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της πόλης της Κομοτηνής, η οποία απορρίπτει τα επεξεργασμένα αστικά λύματα στον ποταμό Βοσβόζη. Η ημερήσια εκροή υγρών αποβλήτων της μονάδας στο εξεταζόμενο υδατόρευμα ανέρχεται σε 10500 m³/day, ενώ οι συγκεντρώσεις αυτών σε θρεπτικά στοιχεία αντιστοιχούν σε 0.2 mg/L και 1.3 mg/L για το φωσφόρο (TP) και για τα νιτρικά (NO₃⁻-N), αντίστοιχα. Σε ό,τι αφορά στις μη σημειακές πηγές ρύπανσης, σε σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του νερού συντελεί η γεωργική δραστηριότητα στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, μέσω της έκπλυσης των υπολειμμάτων διαφόρων γεωργικών προϊόντων (λιπασμάτων, εντομοκτόνων κ.λ.π.) με την απορροή (Boskidis et al. 2010). Οι Boskidis et al. (2010) κατέγραψαν τα είδη των καλλιεργειών τα οποία απαντώνται εντός των ορίων της μελετώμενης λεκάνης, τις εκτάσεις που καθένα από αυτά καλύπτει, καθώς και τις εφαρμοζόμενες ποσότητες θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου) υπό τη μορφή λιπάσματος για καθένα από αυτά. Βάσει των στοιχείων αυτών, η συνολική καλλιεργούμενη έκταση στην περιοχή ισούται με 22.85 km² ενώ η συνολική ποσότητα θρεπτικών συστατικών, η οποία εισέρχεται στο υδατικό σύστημα της περιοχής σε ετήσια βάση ανέρχεται σε 269 tn και 41.3 tn αζώτου και φωσφόρου, αντίστοιχα.

Επιπλέον, σημαντικές πιέσεις δέχεται και η λίμνη Ισμαρίδα, η οποία τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τον ποταμό Βοσβόζη και εν μέρει από το γειτονικό ποταμό Φιλιούρη. Η λίμνη λειτουργεί ως εκτατικό ιχθυοτροφείο και επικοινωνεί μέσω διαύλου μήκους 5.5 km με τη θάλασσα, έργο το οποίο κατασκευάστηκε περί τα μέσα της 10ετίας του '80 με σκοπό να λειτουργήσει ως εσοδευτικό στόμιο των ευρύαλων ψαριών (π.χ. τσιπούρες, λαυράκια) για την αύξηση της ιχθυοπαραγωγής στη λίμνη (Κουσουρής 2014). Θεωρείται ευτροφική έως υπερτροφική, καθώς αυξημένες ποσότητες θρεπτικών συστατικών καταλήγουν σε αυτήν είτε απευθείας, μέσω της έκπλυσης των παρακείμενων γεωργικών εκτάσεων, είτε παροχετεύονται μέσω του ποταμού Βοσβόζη, ο οποίος εκβάλλει στη βόρεια πλευρά της λίμνης (Pisinaras et al. 2007). Επιπρόσθετα, η λίμνη συνιστά αποδέκτη ανεπεξέργαστων αποβλήτων από μεταποιητικές μονάδες οι οποίες απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή, ενώ ορισμένα ακόμη από τα κυριότερα προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζει είναι: (α) η πτώση της στάθμης της λόγω υπεράντλησης των υπόγειων υδάτων στη λεκάνη απορροής για την κάλυψη, κυρίως, των αρδευτικών αναγκών, (β) η ρύπανση της λίμνης από κτηνοτροφικά απόβλητα και (γ) η μεταφορά σε αυτήν φερτών υλών από το Βοσβόζη, η οποία οδηγεί σε περαιτέρω μείωση του βάθους της (Γεράκης κ.α. 2007, Κατσαβούνη και Παπαδήμος 2012).

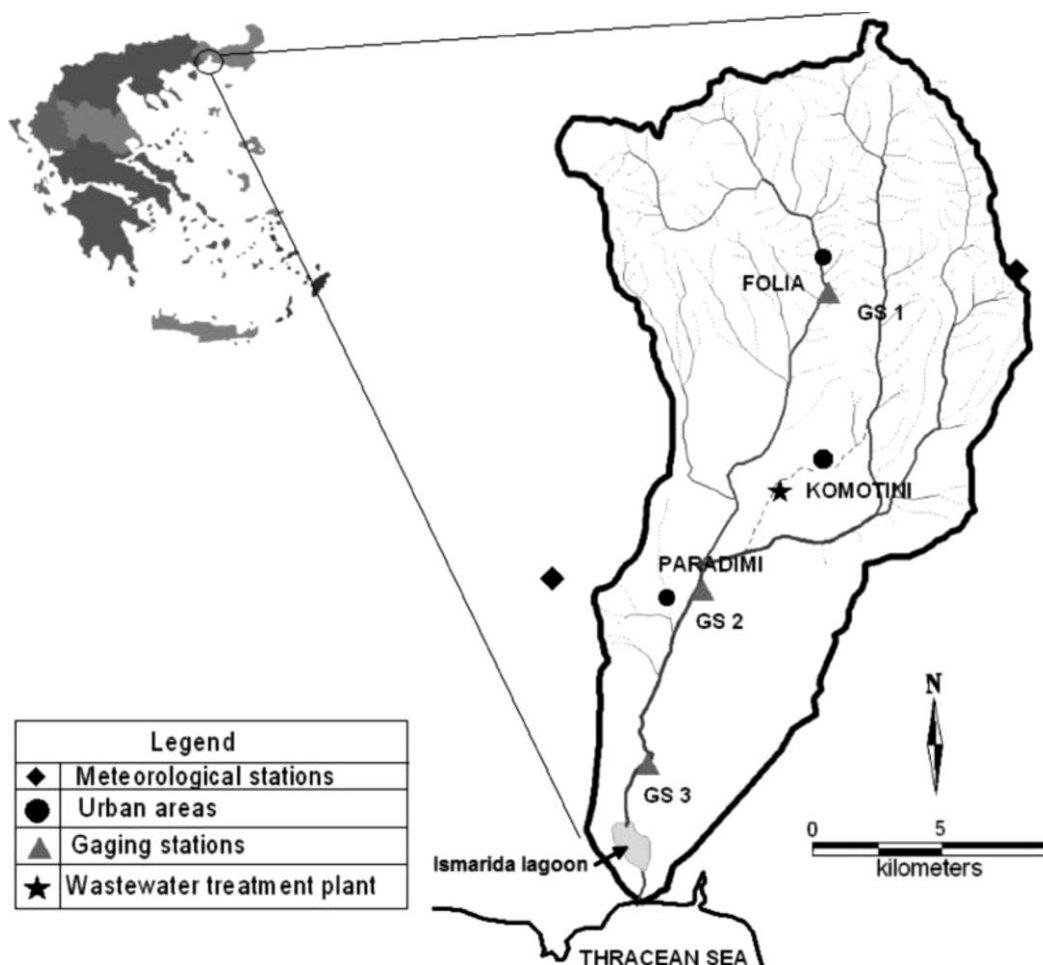
4.1.2.5 Δεδομένα

Για την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων του εξεταζόμενου υδατορεύματος λήφθηκαν υπόψιν συνολικά 11 ποιοτικές παράμετροι, διαφορετικές για κάθε επιμέρους μεθοδολογία-δείκτη. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των εν λόγω παραμέτρων προσδιορίστηκαν για μία περίοδο 16 συνολικά μηνών (από τον Αύγουστο του 2005 έως τον Νοέμβριο του 2006) από τους Boskidis et al. (2010) στο πλαίσιο της διερεύνησης των χωρικών και χρονικών μεταβολών της ποιότητας του νερού στον ποταμό. Οι μετρήσεις των παραμέτρων αφορούν 3 επιμέρους σταθμούς (GS₁, GS₂ και GS₃), εγκατεστημένους σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του ποταμού, οι οποίες αντανakλούν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά κάθε επιμέρους υποπεριοχής, αλλά και την επίπτωση αυτών στην ποιότητα των υδάτων στη μελετώμενη κάθε φορά θέση. Ως εκ τούτου, ο μετρητικός σταθμός GS₁ τοποθετήθηκε πλησίον του οικισμού Φωλιά, στο τέλος του ορεινού τμήματος της λεκάνης, θέση η οποία αντανakλά την ποιότητα νερού του υδατορεύματος στην περίπτωση όπου απουσιάζει κάθε μορφή ανθρώπινης δραστηριότητας. Αντίστοιχα, ο σταθμός GS₂, ο οποίος εγκαταστάθηκε κοντά στον οικισμό Παραδημή, βρίσκεται περίπου στο μέσο του συνολικού μήκους του υδατορεύματος, σε κοντινή απόσταση από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής και κατάντη της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων της πόλης της Κομοτηνής. Ο συγκεκριμένος σταθμός είναι εύλογο ότι παρέχει πληροφορίες αναφορικά με την επίδραση των γεωργικών και αστικών δραστηριοτήτων της περιοχής στην ποιότητα του νερού. Ο τελευταίος σταθμός παρακολούθησης, GS₃, ο οποίος βρίσκεται στο νοτιότερο σημείο του υδατορεύματος, ανάντη της λίμνης Ισμαρίδας, στοχεύει στον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού που τελικά εκρέει στο συγκεκριμένο υδάτινο σώμα. Στους ανωτέρω σταθμούς, προσδιορίστηκαν μέσω επιτόπιων μετρήσεων οι τιμές της θερμοκρασίας (T), της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και του pH, ενώ προσδιορίστηκε, παράλληλα, η παροχή του υδατορεύματος στα σημεία αυτά με τη χρήση κατάλληλου παροχόμετρου (Valeport, μοντέλο 801). Η μέτρηση των προαναφερθέντων παραμέτρων, πέραν της παροχής, πραγματοποιήθηκε μέσω κατάλληλων μετρητικών οργάνων WTW. Ακόμη, λήφθηκαν δείγματα νερού, τα οποία αποθηκεύθηκαν σε φιάλες και μεταφέρθηκαν κατευθείαν στο εργαστήριο για ανάλυση και προσδιορισμό της περιεκτικότητας τους σε νιτρώδες (NO₂⁻-N), νιτρικό (NO₃⁻-N) και αμμωνιακό (NH₄⁺-N) άζωτο, ολικό φωσφόρο (TP), βιοχημικώς

απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και άζωτο κατά Kjeldahl (TKN), σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους. Οι μετρήσεις και ο προσδιορισμός όλων των παραμέτρων ποιότητας, καθώς και της παροχής πραγματοποιήθηκαν για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου, με συχνότητα μέτρησης 2 εβδομάδων (Boskidis et al. 2010).

Στην Εικόνα 4.6, παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Βοσβόζη, καθώς και οι ακριβείς θέσεις στις οποίες εγκαταστάθηκαν οι μετρητικοί σταθμοί.

Επιπλέον, στον Πίνακα 4.4 παρατίθενται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μετρηθεισών ποιοτικών παραμέτρων, για κάθε επιμέρους σταθμό παρακολούθησης καθώς και για το σύνολο του εξεταζόμενου υδατορεύματος, ενώ στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται, όπως και κατά την περίπτωση του 1^{ου} εξεταζόμενου υδατικού σώματος, οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών.



Εικόνα 4.6: Λεκάνη απορροής ποταμού Βοσβόζη και θέσεις δειγματοληπτικών σταθμών
Πηγή: Boskidis et al. (2010)

Πίνακας 4.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά φυσικοχημικών παραμέτρων -περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

Παράμετρος	Σταθμός παρακολούθησης	Στατιστικά χαρακτηριστικά ανά θέση παρακολούθησης				Στατιστικά χαρακτηριστικά για το σύνολο των σταθμών			
		Min	Max	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Min	Max	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Q (m ³ /sec)	GS ₁	0.00	0.85	0.22	0.27	0.00	3.46	0.55	0.79
	GS ₂	0.00	3.19	0.77	0.93				
	GS ₃	0.00	3.46	0.66	0.92				
T (°C)	GS ₁	1.90	26.50	16.12	7.54	1.90	29.90	17.13	7.61
	GS ₂	3.70	26.70	16.79	7.31				
	GS ₃	4.40	29.90	18.53	8.05				
DO (mg/L)	GS ₁	4.07	10.80	6.58	1.57	2.90	12.00	6.55	1.88
	GS ₂	2.90	9.80	5.91	1.69				
	GS ₃	2.98	12.00	7.16	2.18				
pH	GS ₁	7.34	8.96	7.93	0.31	6.98	9.21	7.87	0.38
	GS ₂	7.19	7.89	7.63	0.14				
	GS ₃	6.98	9.21	8.04	0.47				
EC (μS/cm)	GS ₁	94.30	388.00	209.73	96.48	94.30	1010.00	489.58	273.31
	GS ₂	266.00	1010.00	653.79	246.14				
	GS ₃	264.00	849.00	605.21	191.43				
BOD ₅ (mg/L)	GS ₁	0.00	40.10	8.97	9.21	0.00	57.80	11.61	9.89
	GS ₂	3.60	35.60	12.21	7.01				
	GS ₃	0.00	57.80	13.65	12.46				
COD (mg/L)	GS ₁	7.80	288.00	78.92	70.49	7.80	292.40	88.96	75.49
	GS ₂	14.40	292.40	96.21	78.75				
	GS ₃	11.00	283.20	91.76	78.82				
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	GS ₁	0.00	0.06	0.01	0.02	0.00	0.64	0.10	0.13
	GS ₂	0.00	0.64	0.18	0.15				
	GS ₃	0.00	0.54	0.10	0.13				
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	GS ₁	0.00	0.80	0.17	0.22	0.00	3.08	0.91	0.93
	GS ₂	0.00	3.00	1.22	0.90				
	GS ₃	0.00	3.08	1.33	0.97				

NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	GS ₁	0.04	3.00	0.88	0.96	0.04	3.00	0.78	0.74
	GS ₂	0.15	2.18	0.94	0.64				
	GS ₃	0.07	1.79	0.53	0.49				
TKN (mg/L)	GS ₁	1.68	5.60	3.37	1.10	1.00	8.40	3.79	1.40
	GS ₂	1.68	8.40	4.15	1.71				
	GS ₃	1.00	7.00	3.86	1.29				
TP (mg/L)	GS ₁	0.01	1.52	0.29	0.31	0.01	2.36	0.40	0.39
	GS ₂	0.12	2.36	0.55	0.50				
	GS ₃	0.13	1.61	0.34	0.28				

Πίνακας 4.5: Πίνακας συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών –περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

	T	pH	DO	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TKN	BOD ₅	COD	EC	TP
T	1.000										
pH	0.351	1.000									
DO	-0.509	0.193	1.000								
NH ₄ ⁺	-0.153	-0.164	0.094	1.000							
NO ₃ ⁻	-0.128	-0.161	0.182	-0.027	1.000						
NO ₂ ⁻	0.162	-0.277	-0.166	0.275	0.316	1.000					
TKN	0.359	-0.044	-0.294	0.039	-0.059	0.340	1.000				
BOD ₅	0.241	0.089	-0.302	-0.133	-0.014	0.089	0.167	1.000			
COD	0.203	-0.026	-0.371	-0.201	-0.219	0.053	0.139	0.554	1.000		
EC	0.537	0.014	-0.306	-0.145	0.280	0.467	0.464	0.351	0.343	1.000	
TP	0.145	-0.115	-0.304	-0.005	0.008	0.302	0.449	0.084	0.125	0.336	1.000

4.2 Εφαρμογή του δείκτη ρύπανσης των Prati et al. (Prati's Index of Pollution)

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Υποενότητα 3.5.3), ο δείκτης ρύπανσης του Prati αφορά στην αξιολόγηση ενός δεδομένου επιφανειακού υδατικού σώματος για γενική χρήση νερού. Η προκύπτουσα τιμή του δείκτη αντανακλά τα επίπεδα ρύπανσης του εξεταζόμενου σώματος και προσδιορίζεται, εν γένει, λαμβάνοντας υπόψιν 13 συνολικά ποιοτικές παραμέτρους-ρύπους. Οι συγκεντρώσεις των εν λόγω παραμέτρων, βάσει κατάλληλων εξισώσεων μετασχηματισμού (συναρτήσεων υπο-δεικτών), αδιαστατοποιούνται, δηλαδή μετατρέπονται σε «επίπεδα ρύπανσης», ώστε να αντικατοπτρίζεται η συγκριτική επίπτωση καθεμίας εξ αυτών στη συνολική ποιότητα του νερού.

Στον Πίνακα 4.6, παρατίθενται οι παράμετροι οι οποίες προτείνονται από τους δημιουργούς του δείκτη για ενσωμάτωση σε αυτόν, καθώς και οι αντίστοιχες συναρτήσεις μετατροπής των συγκεντρώσεων τους σε επίπεδα ρύπανσης.

Στην παρούσα εργασία, λόγω της απουσίας δεδομένων αναφορικά με τις συγκεντρώσεις του συνόλου των ποιοτικών παραμέτρων που παρουσιάζονται στον κατωτέρω πίνακα, η μεθοδολογία του δείκτη Prati εφαρμόστηκε λαμβάνοντας υπόψιν μέρος αυτών. Ειδικότερα, βάσει των υλοποιηθεισών δειγματοληψιών και κατ' επέκταση των διαθέσιμων δεδομένων, ο εν λόγω δείκτης υπολογίστηκε, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, λαμβάνοντας υπόψιν τις παραμέτρους του pH, του DO, του COD, του BOD₅, των TSS, της αμμωνίας (NH₄⁺-N) και των νιτρικών (NO₃⁻-N), ενώ για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, ο δείκτης εφαρμόστηκε συνυπολογίζοντας τις συγκεντρώσεις –ή τιμές– των pH, DO, COD, BOD₅, NH₄⁺-N, και NO₃⁻-N.

Μέσω της εφαρμογής των συναρτήσεων του Πίνακα 4.6, οι συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ποιοτικών μεταβλητών μετατράπηκαν στους αντίστοιχους υπο-δείκτες, δηλαδή σε επίπεδα ρύπανσης. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, βάσει της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, η τιμή 0 αντιστοιχεί σε άριστη ποιότητα νερού, ενώ τιμές του δείκτη μεγαλύτερες του 8 υποδηλώνουν υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Οι ενδιάμεσες καταστάσεις ποιότητας καθορίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.5, ο οποίος παρατέθηκε στην Υποενότητα 3.5.3.

Για καθένα από τα 2 εξεταζόμενα σώματα, η τιμή του υπο-δείκτη της εκάστοτε παραμέτρου εκτιμήθηκε για κάθε επιμέρους δειγματοληψία, η οποία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου, και κάθε θέση (3 σταθμοί×2 βάθη=6 θέσεις για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου και 3 θέσεις για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη). Οι τιμές των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων είναι δυνατόν να αξιολογηθούν και μεμονωμένα βάσει του συστήματος ταξινόμησης του Πίνακα 3.5, καθώς αντανακλούν τη συνεισφορά καθεμίας εκ των παραμέτρων στη συνολική υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Ως εκ τούτου, τιμή του υπο-δείκτη του DO ίση με 9 συνεπάγεται ότι η μετρηθείσα συγκέντρωση της συγκεκριμένης παραμέτρου στο νερό οδηγεί σε σημαντική υποβάθμιση αυτού, καθιστώντας το «έντονα ρυπασμένο». Για τον υπολογισμό, ωστόσο, της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης, ο οποίος θα εκφράζει τη συνδυαστική επίδραση του συνόλου των μεταβλητών στην ποιότητα του νερού, οι τιμές των υπο-δεικτών των επιμέρους μεταβλητών συνυπολογίστηκαν μέσω του προσδιορισμού του αριθμητικού μέσου όρου αυτών. Με τον τρόπο αυτό, για κάθε εξεταζόμενο σώμα, υπολογίστηκε μία τιμή του ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati, ανά ημερομηνία και θέση

δειγματοληψίας, αντίστοιχα. Εν συνεχεία, οι τιμές αυτές αντιστοιχήθηκαν σε συγκεκριμένες ποιοτικές κλάσεις, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του παρόντος δείκτη.

Πίνακας 4.6: Συναρτήσεις μετατροπής συγκεντρώσεων (x) σε επίπεδα ρύπανσης (Πηγή: Prati et al. 1971 και ίδια επεξεργασία)

Ποιοτική μεταβλητή-ρύπος	Συνάρτηση υπο-δείκτη	Πεδίο ορισμού τιμής ή συγκέντρωσης
pH	$I_i = -0.4x^2 + 14$	$0 \leq x < 5$
	$I_i = -2x + 14$	$5 \leq x < 7$
	$I_i = x^2 - 14x + 49$	$7 \leq x < 9$
	$I_i = -0.4x^2 + 11.2x - 64.4$	$9 \leq x < 14$
DO (%)	$I_i = -0.08x + 8$	$50 \leq x < 100$
	$I_i = 0.08x - 8$	$100 \leq x$
BOD ₅ (mg/L)	$I_i = 0.66666x$	
COD (mg/L)	$I_i = 0.10x$	
Kubel test (mg/L O ₂)	$I_i = 0.4x$	
TSS (mg/L)	$I_i = 2^{[2.1 \log(0.1x-1)]}$	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	$I_i = 2^{[2.1 \log(10x)]}$	
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	$I_i = 2^{[2.1 \log(0.25x)]}$	
Cl (mg/L)	$I_i = 0.000228x^2 + 0.0314x$	$0 \leq x < 50$
	$I_i = 0.0000132x^2 + 0.0074x + 0.6$	$50 \leq x < 300$
	$I_i = 3.75 (0.02x - 5.2)^{0.5}$	$300 \leq x$
Fe (mg/L)	$I_i = 2^{[2.1 \log(10x)]}$	
Mn (mg/L)	$I_i = 2.5x + 3.9\sqrt{x}$	$0 \leq x < 0.5$
	$I_i = 5.25x^2 + 2.75$	$0.5 \leq x$
ABS (Alkyl Benzene Sulfonate) (mg/L)	$I_i = -1.2x + 3.2\sqrt{x}$	$0 \leq x < 1$
	$I_i = 0.8x + 1.2$	$1 \leq x$
CCE (Carbon Chloroform Extract) (mg/L)	$I_i = x$	

Προκειμένου να καταστεί σαφής η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε, παρατίθενται ενδεικτικά ο πίνακας των μετρηθεισών συγκεντρώσεων των ποιοτικών παραμέτρων, καθώς και εκείνος ο οποίος περιλαμβάνει τις υπολογισθείσες τιμές των αντίστοιχων υπο-δεικτών και του ολικού δείκτη ρύπανσης (Πίνακες 4.7 και 4.8, αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν στις 3 πρώτες δειγματοληψίες του σταθμού παρακολούθησης P₁ (μέτρηση επιφανείας) του ταμειωτήρα

Πολυφύτου. Οι υπολογισμοί για το σύνολο των δειγματοληψιών, ανά σταθμό παρακολούθησης, για καθένα από τα 2 μελετώμενα σώματα παρουσιάζονται αναλυτικά στα Παραρτήματα I (ταμιευτήρας Πολυφύτου) και II (ποταμός Βοσβόζης).

Τα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάστασης, τα οποία προέκυψαν ανά ημερομηνία δειγματοληψίας και εξεταζόμενη θέση, είναι ενδεικτικά της χρονικής και χωρικής μεταβολής της ποιότητας του νερού στο μελετώμενο σώμα. Ωστόσο, η ποιοτική κατάσταση αυτού ανά θέση παρακολούθησης σε καθένα από τα 2 σώματα προσδιορίστηκε βάσει του δυσμενέστερου σεναρίου ποιότητας, βάσει δηλαδή της κατώτερης ποιοτικής κλάσης στην οποία αντιστοιχήθηκε το μελετώμενο σώμα κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης της ποιότητας του.

Τα αποτελέσματα ποιότητας, τα οποία προέκυψαν για τον ταμιευτήρα Πολυφύτου αλλά και για τον ποταμό Βοσβόζη, παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 4.7: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₁ (Ρύμιον) επιφάνεια										
Μετρηθείσες συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών										
Ημερομηνία	pH	Θερμοκρασία T (°C)	Συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (% sat)	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (mg/L)	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)
21/6/2004	8.41	25.20	8.35	7.60	91.0		0.11	0.155	5.90	76.80
23/7/2004	8.39	27.60	7.98	5.93	74.3	0.70	0.11	0.000	19.70	28.80
23/8/2004	8.31	24.80	8.41	5.62	66.8	39.50	0.07	0.000	5.90	28.80

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₁ (Ρύμιον) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.99	0.72		1.05	0.13	3.93	7.68			
23/7/2004	1.93	2.06	0.00	1.04	0.00	13.13	2.88	3.01	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	1.72	2.65	1.98	0.82	0.00	3.93	2.88	2.00	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4

4.3 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού του Bhargava (Bhargava' s WQI)

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην Υποενότητα 3.5.6, υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης ποιότητας νερού του Bhargava αφορά στην αξιολόγηση της γενικής ποιότητας του νερού ενός δεδομένου υδατικού σώματος, συνεκτιμώντας την καταλληλότητα αυτού για 5 διαφορετικές χρήσεις νερού:

- i. Κολύμβηση
- ii. Ύδρευση
- iii. Άρδευση
- iv. Βιομηχανία
- v. Ιχθυοκαλλιέργεια, διατήρηση άγριας ζωής και δραστηριότητες αναψυχής οι οποίες δεν περιλαμβάνουν επαφή του χρήστη με το νερό

Για τον υπολογισμό της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας νερού του Bhargava λαμβάνονται υπόψιν συνολικά 9 φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παράμετροι, οι οποίες είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το βάθος διείσδυσης του φωτός, το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών, το χλώριο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η σκληρότητα, ο αριθμός κολοβακτηριδίων και η αμμωνία. Κύριο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η αξιοποίηση διαφορετικού συνδυασμού ποιοτικών παραμέτρων για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας για κάθε επιμέρους χρήση και, εν συνεχεία, ο συνυπολογισμός των βαθμολογιών ποιότητας του συνόλου των χρήσεων για τον προσδιορισμό της τιμής του ολικού δείκτη. Στην παρούσα εργασία, βάσει των διαθέσιμων δεδομένων, οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του παρόντος δείκτη ήταν η θερμοκρασία (T), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βάθος διείσδυσης του φωτός (βάθος Secchi), το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), η αγωγιμότητα (EC) και η αμμωνία (NH₄⁺-N) για την περίπτωση της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, ενώ κατά την εφαρμογή του δείκτη στον ποταμό Βοσβόξη λήφθηκαν υπόψιν όλες οι προαναφερθείσες πλην του βάθους διείσδυσης του φωτός. Στον Πίνακα 4.9, παρουσιάζονται οι παράμετροι οι οποίες αξιοποιήθηκαν κατά τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας για κάθε επιμέρους χρήση, σύμφωνα με τα όσα υποδεικνύονται από την παρούσα μέθοδο.

Πίνακας 4.9: Κατηγορίες χρήσης νερού και σχετιζόμενες ποιοτικές παράμετροι βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Bhargava

	Χρήση νερού	Σχετιζόμενες ποιοτικές παράμετροι
1.	Κολύμβηση	Βάθος Secchi, DO, BOD ₅ , NH ₄ ⁺ -N
2.	Ύδρευση	Βάθος Secchi, DO, BOD ₅
3.	Άρδευση	EC
4.	Βιομηχανία	Βάθος Secchi, EC
5.	Ιχθυοκαλλιέργεια, διατήρηση άγριας ζωής και δραστηριότητες αναψυχής οι οποίες δεν περιλαμβάνουν επαφή του χρήστη με το νερό	T, DO, BOD ₅

Προκειμένου οι συγκεντρώσεις των χρησιμοποιούμενων ποιοτικών μεταβλητών να μετατραπούν σε αδιάστατες τιμές, οι οποίες θα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας, κατασκευάστηκε μία συνάρτηση ευαισθησίας για κάθε επιμέρους παράμετρο και εξεταζόμενη χρήση. Έτσι, για την

περίπτωση, παραδείγματων χάριν, του BOD₅ κατασκευάστηκαν 3 συναρτήσεις ευαισθησίας, μία για την κάθε κατηγορία χρήσης νερού στην αξιολόγηση της οποίας η εν λόγω παράμετρος υπεισέρχεται (κολύμηση, ύδρευση και ιχθυοκαλλιέργεια, διατήρηση άγριας ζωής και δραστηριότητες αναψυχής οι οποίες δεν περιλαμβάνουν επαφή του χρήστη με το νερό). Η κατασκευή των εν λόγω συναρτήσεων βασίστηκε στον Πίνακα 3.7 της Υποενότητας 3.5.6, σύμφωνα με τον οποίον συγκεκριμένα επίπεδα συγκέντρωσης μίας δεδομένης μεταβλητής αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένες τιμές της συνάρτησης ευαισθησίας. Όπως έχει αναφερθεί, βάσει της παρούσας μεθόδου, δεδομένη μεταβολή στη συγκέντρωση μίας ποιοτικής μεταβλητής επιφέρει διαφορετική μεταβολή στην τιμή της συνάρτησης ευαισθησίας για διαφορετική κατηγορία χρήσης νερού, αντανακλώντας τη διαφορετική σημαντικότητα της παραμέτρου στις επιμέρους χρήσεις.

Ακολούθως, παρουσιάζεται ενδεικτικά για την περίπτωση του BOD₅ η αντιστοιχία μεταξύ συγκεκριμένων τιμών της συγκέντρωσης του και της τιμής της συνάρτησης ευαισθησίας για τις 3 κατηγορίες χρήσης με τις οποίες η μεταβλητή σχετίζεται.

Πίνακας 4.10: Τιμές συγκέντρωσης και αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης ευαισθησίας, για κάθε επιμέρους χρήση νερού, για την περίπτωση του BOD₅ (Πηγή: Bhargava 1983)

Ποιοτική παράμετρος	Κολύμηση (1)	Υδρευση (2)	Καλλιέργεια ιχθύων, έμμεση χρήση αναψυχής (5)	Τιμή συνάρτησης ευαισθησίας
BOD ₅ (mg/L)	12	12.5	15	0.01
	10	10	12	0.2
	6.5	6.5	8	0.5
	3	3	3.5	0.8
	1	1	1	1

Έτσι, για την κατασκευή της συνάρτησης ευαισθησίας του BOD₅ για τη χρήση της κολύμησης χρησιμοποιήθηκαν τα ζεύγη τιμών 12-0.01, 10-0.2, 6.5-0.5, 3-0.8 και 1-1, για την ύδρευση τα 12.5-0.01, 10-0.2, 6.5-0.5, 3-0.8 και 1-1 κ.ο.κ. Οι τιμές τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα και επιλέχθηκε για κάθε επιμέρους χρήση η μορφή της συνάρτησης η οποία προσομοίωνε καλύτερα τη δημιουργούμενη καμπύλη. Βάσει αυτής της λογικής, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.7 και 4.8 και προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες συναρτήσεις για κάθε επιμέρους παράμετρο και εξεταζόμενη χρήση. Ανάλογα με τη θεωρούμενη κάθε φορά παράμετρο και χρήση, η αντίστοιχη συνάρτηση ευαισθησίας εφαρμόστηκε στην τιμή της συγκέντρωσης της μεταβλητής, αποδίδοντας την τιμή του υπο-δείκτη της εν λόγω παραμέτρου για τη δεδομένη χρήση.

Εν συνεχεία, οι τιμές των υπο-δεικτών του συνόλου των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν για την αξιολόγηση κάθε κατηγορίας χρήσης νερού, συνδυάστηκαν μέσω της Εξ. (4.2) ώστε να προκύψει η τιμή του δείκτη ποιότητας για κάθε επιμέρους κατηγορία χρήσης.

$$WQI = (\prod I_i)^{1/n} \times 100 \quad (4.2)$$

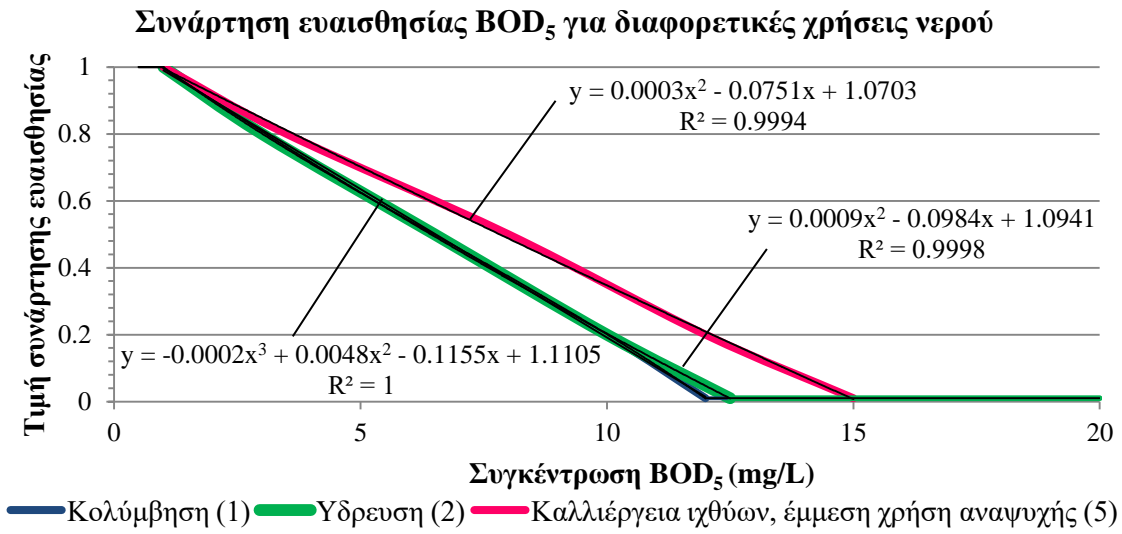
όπου:

WQI: η τιμή του δείκτη ποιότητας για τη δεδομένη κατηγορία χρήσης νερού

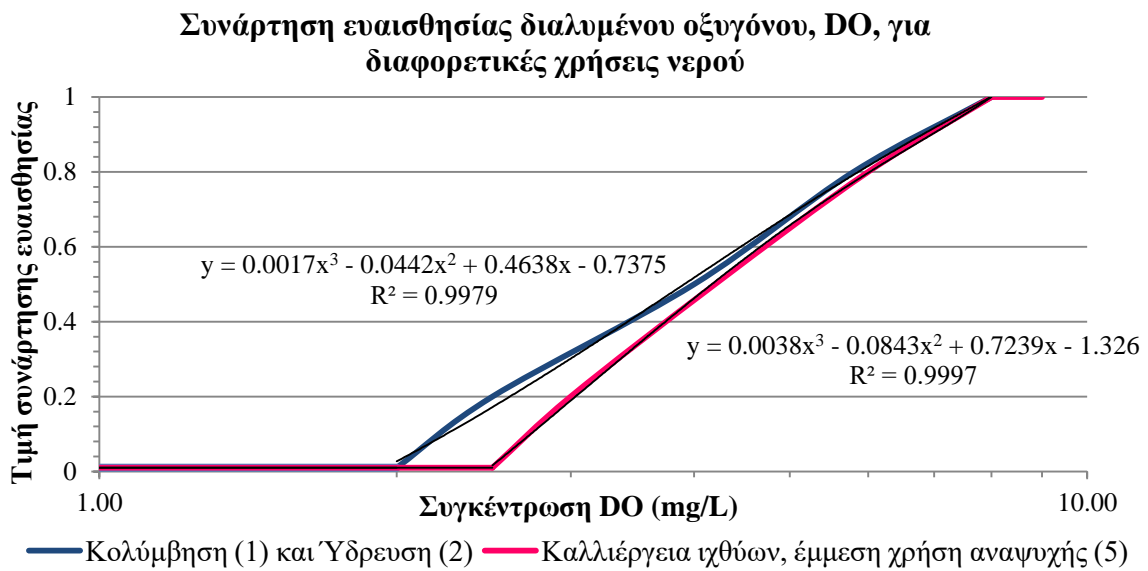
I_i: η τιμή του υπο-δείκτη της i παραμέτρου, η οποία υπεισέρχεται στην αξιολόγηση της ποιότητας της δεδομένης χρήσης νερού

n: το πλήθος των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην αξιολόγηση μίας συγκεκριμένης χρήσης.

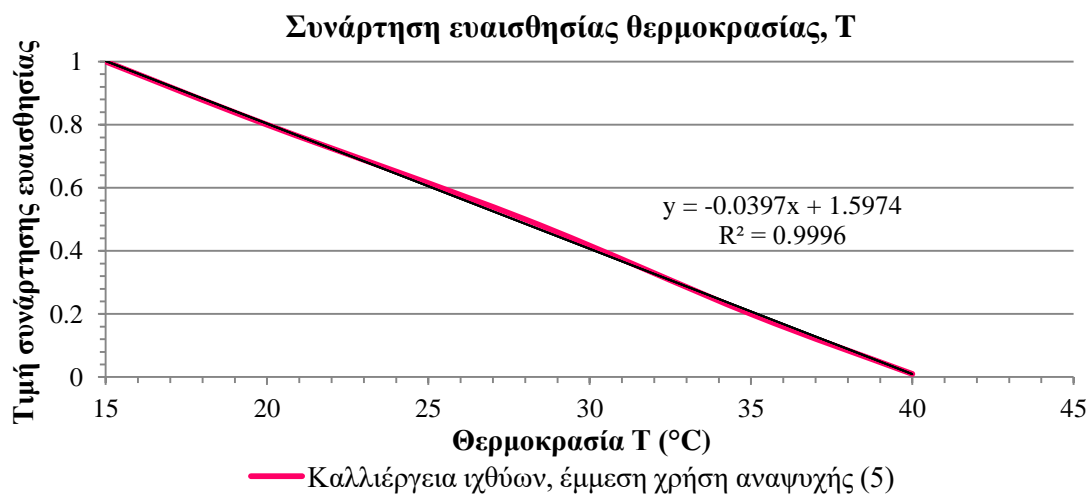
α)



β)

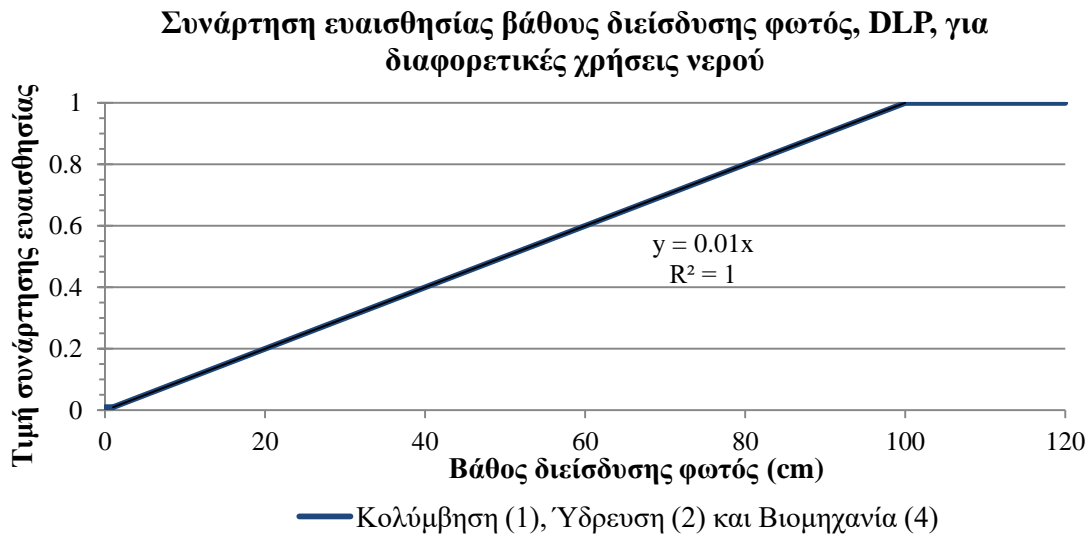


γ)

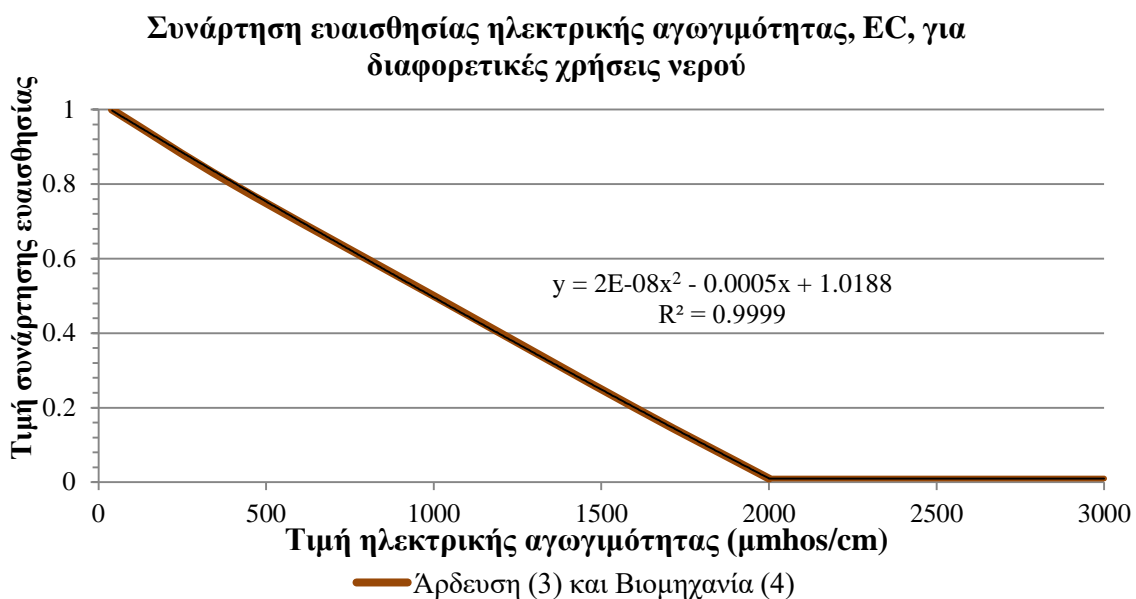


Εικόνα 4.7: Κατασκευή διαγραμμάτων συναρτήσεων ευαισθησίας σύμφωνα με το δείκτη Bhargava για τις παραμέτρους: (α) BOD₅, (β) DO και (γ) T.

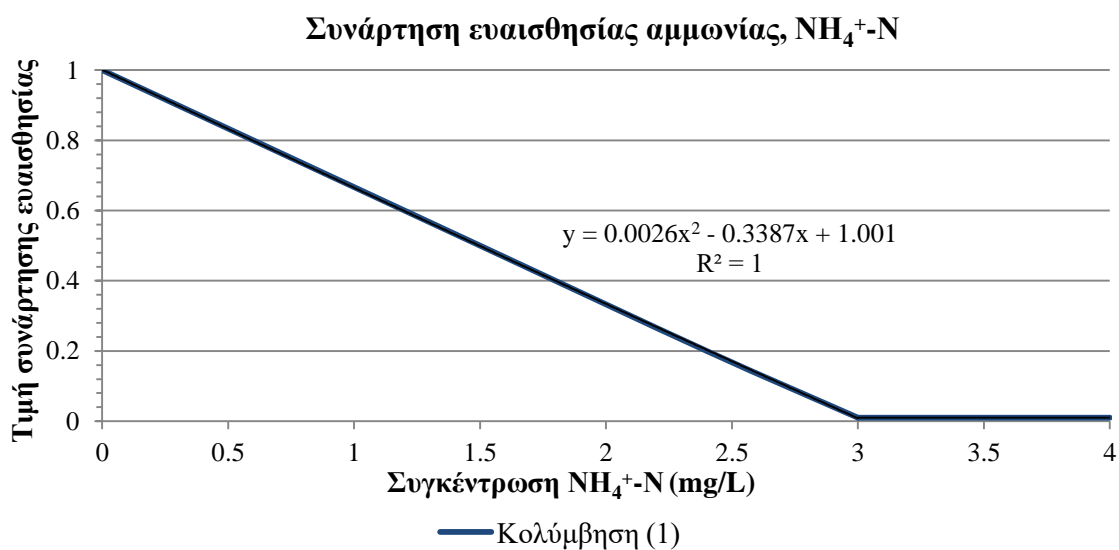
α)



β)



γ)



Εικόνα 4.8: Κατασκευή διαγραμμάτων συναρτήσεων ευαισθησίας σύμφωνα με το δείκτη Bhargava για τις παραμέτρους: (α) DLP, (β) EC και (γ) NH_4^+-N .

Τέλος, η τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας προέκυψε ως ο αριθμητικός μέσος όρος των τιμών των δεικτών του συνόλου των χρήσεων νερού. Η αντιστοίχιση της τιμής του ολικού δείκτη σε μία εκ των 5 ποιοτικών τάξεων, όπως αυτές ορίζονται από την παρούσα μέθοδο, πραγματοποιήθηκε βάσει του Πίνακα 3.8, ο οποίος παρατέθηκε στην Υποενότητα 3.5.6 και σύμφωνα με τον οποίον για τιμές του δείκτη μεγαλύτερες ή ίσες του 90 η ποιότητα του νερού χαρακτηρίζεται ως «άριστη», για τιμές μικρότερες ή ίσες του 10 ως «μη αποδεκτή», ενώ για τα εύρη τιμών 65 έως 89, 35 έως 64 και 11 έως 34 χαρακτηρίζεται ως «καλή», «ικανοποιητική» και «φτωχή», αντίστοιχα.

Η διαδικασία η οποία περιγράφηκε εφαρμόστηκε, τόσο για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου όσο και για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζης, για το σύνολο των δειγματοληψιών και θέσεων, καθ' όλη τη διάρκεια των περιόδων παρακολούθησης των 2 εξεταζόμενων σωμάτων.

Στους Πίνακες 4.11 έως 4.13, παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία υπολογισμού, και πάλι, για την περίπτωση των 3 πρώτων δειγματοληψιών του σταθμού παρακολούθησης P₁ (μέτρηση επιφανείας) της λίμνης Πολυφύτου. Το σύνολο των υπολογισμών για καθένα από τα 2 σώματα και για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης παρουσιάζεται στα Παραρτήματα I (ταμιευτήρας Πολυφύτου) και II (ποταμός Βοσβόζης). Ακόμη, συγκεντρωτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων ανά περίπτωση εφαρμογής και θεωρούμενο σταθμό παρακολούθησης παρατίθενται στο Κεφάλαιο 5.

Πίνακας 4.11: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁- επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια						
Μετρηθείσες συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών						
Ημερομηνία	Θερμοκρασία T (°C)	Βάθος διείσδυσης φωτός Secchi depth (cm)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (μmhos/cm)	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)
21/6/2004	25.20		7.60	371.00	0.11	5.90
23/7/2004	27.60	200.00	5.93	363.00	0.11	19.70
23/8/2004	24.80	50.00	5.62	332.00	0.07	5.90

Πίνακας 4.12: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια																		
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής																		
Ημερομηνία	Χρήση νερού													Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(∏ I _i) ^{1/ni} *100				
	(1)				(2)			(3)	(4)		(5)							
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.98		0.56	0.96	0.98		0.54	0.84		0.84	0.60	0.97	0.64			83.61		71.85
23/7/2004	0.81	1.00	0.01	0.97	0.81	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.50	0.79	0.01	29.76	20.11	83.99	91.65	15.86
23/8/2004	0.77	0.50	0.56	0.98	0.77	0.50	0.54	0.86	0.50	0.86	0.61	0.75	0.64	67.69	59.54	85.50	65.38	66.55

Πίνακας 4.13: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	48.27	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	68.93	Καλή ποιότητα νερού	4

4.4 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού Oregon (Oregon WQI)

Ο δείκτης ποιότητας νερού Oregon αφορά στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού ενός δεδομένου υδατικού σώματος για γενική χρήση αναψυχής και βασίζεται στη συνεκτίμηση 8 διαφορετικών ποιοτικών μεταβλητών: της θερμοκρασίας (T), του διαλυμένου οξυγόνου (DO), του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅), των ολικών στερεών (TS), του pH, του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου (NH₄⁺-N + NO₃⁻-N), του ολικού φωσφόρου (TP) και των περιττωματικών κολοβακτηριδίων (FC). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, βάσει των διαθέσιμων δειγματοληψιών, δε λήφθηκε υπόψιν η παράμετρος των κολοβακτηριδίων, ενώ ειδικά για την 1^η περίπτωση εφαρμογής, δηλαδή εκείνη του ταμιευτήρα Πολυφύτου, η παράμετρος των ολικών στερεών (TS) αντικαταστάθηκε από εκείνη των αιωρούμενων στερεών (TSS), καθώς δεν υπήρχε διαθέσιμη πληροφορία για τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών υλών (TDS). Η συγκεκριμένη θεώρηση βασίστηκε στην παραδοχή ότι η παράμετρος των ολικών στερεών και εκείνη των ολικών αιωρούμενων στερεών παρουσιάζουν παρόμοια επίδραση στη συνολική ποιότητα του νερού και, συνεπώς, δύναται να εφαρμοστεί η ίδια συνάρτηση υπο-δείκτη (συνάρτηση μετατροπής συγκέντρωσης της παραμέτρου σε επίπεδα ποιότητας) για την τελευταία. Συνοψίζοντας, στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι οι οποίες προτείνονται από τη μεθοδολογία του δείκτη Oregon (αριστερή στήλη του πίνακα), καθώς και εκείνες οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν στην παρούσα εργασία, σε κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής.

Πίνακας 4.14: Παράμετροι ποιότητας οι οποίες συνυπολογίστηκαν κατά την εφαρμογή του δείκτη Oregon, για κάθε επιμέρους περίπτωση εξεταζόμενου σώματος

Μεθοδολογία δείκτη Oregon	Παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας	
	Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου	Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης
T	✓	✓
DO	✓	✓
BOD ₅	✓	✓
TS	✓ (TSS)	-
pH	✓	✓
(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	✓	✓
TP	✓	✓
FC	-	-

Οι εξισώσεις μετατροπής των συγκεντρώσεων των επιμέρους παραμέτρων σε επίπεδα ποιότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.15.

Βάσει του συγκεκριμένου πίνακα, παρατηρείται ότι, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους δείκτες οι οποίοι λαμβάνουν και εκείνοι υπόψιν την παράμετρο του διαλυμένου οξυγόνου στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, ο παρών δείκτης υπολογίζει την τιμή του υποδείκτη της συγκεκριμένης παραμέτρου βάσει τόσο της τιμής της συγκέντρωσης της (DO_c), όσο και του ποσοστού της τιμής κορεσμού (DO_{sat}) στο οποίο αυτή αντιστοιχεί. Ειδικότερα, για ποσοστό κορεσμού μικρότερο ή ίσο του 100%, στις εξισώσεις υπολογισμού η παράμετρος υπεισέρχεται υπό τη μορφή συγκέντρωσης

(mg/L), ενώ σε αντίθετη περίπτωση λαμβάνεται υπόψιν το επί τοις εκατό ποσοστό της τιμής κορεσμού (%).

Πίνακας 4.15: Συναρτήσεις υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων σύμφωνα με το δείκτη Oregon

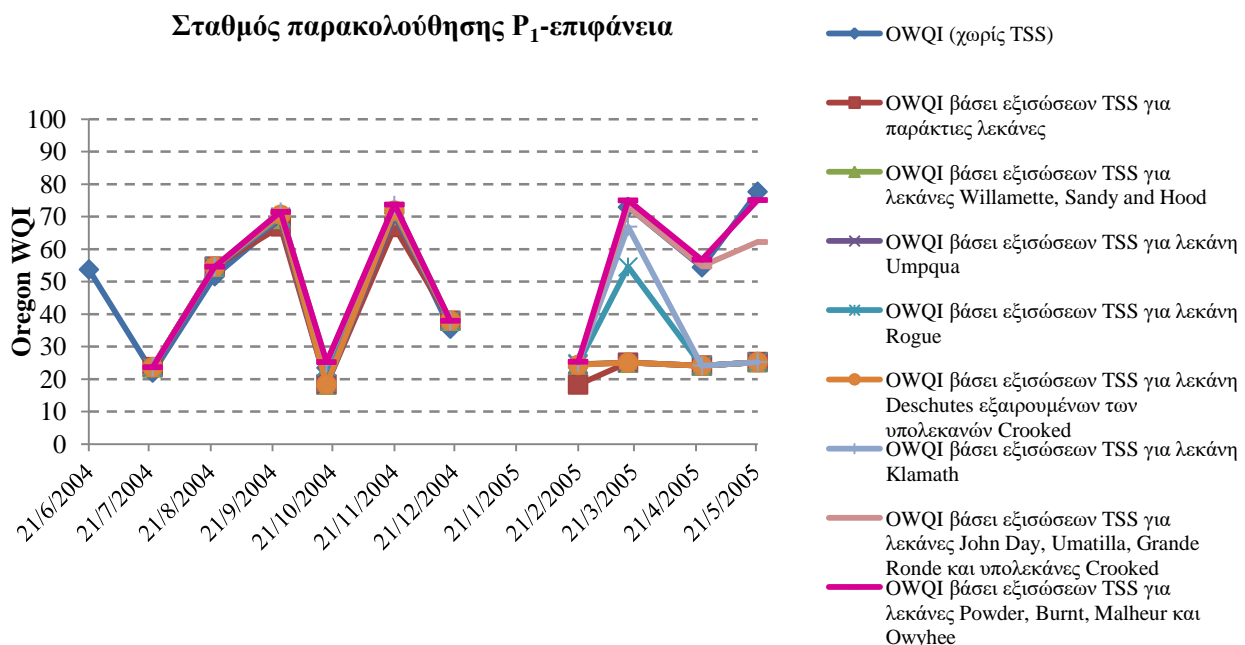
Ποιοτική μεταβλητή	Συνάρτηση υπο-δείκτη SI	
DO	Για $DO_{sat} \leq 100\%$:	
	$DO_c \leq 3.3$ mg/L	$SI_{DO} = 10$
	3.3 mg/L < $DO_c < 10.5$ mg/L	$SI_{DO} = -80.29 + 31.88 \times DO_c - 1.401 \times DO_c^2$
	$DO_c \geq 10.5$ mg/L	$SI_{DO} = 100$
	Για $100\% < DO_{sat} \leq 275\%$:	$SI_{DO} = 100 \times \exp[(DO_{sat} - 100) \times (-0.01197)]$
T	Για $DO_{sat} > 275\%$	$SI_{DO} = 100$
	$T \leq 11$ °C	$SI_T = 100$
	11 °C < $T \leq 29$ °C	$SI_T = 76.54 + 4.172 \times T - 0.1623 \times T^2 - 0.002055 \times T^3$
	29 °C < T	$SI_T = 10$
BOD ₅	$BOD_5 \leq 8$ mg/L	$SI_{BOD} = 100 \times \exp[BOD \times (-0.1993)]$
	8 mg/L < BOD ₅	$SI_{BOD} = 10$
pH	$pH < 4$	$SI_{pH} = 10$
	$4 \leq pH < 7$	$SI_{pH} = 2.628 \times \exp(pH \times 0.5200)$
	$7 \leq pH \leq 8$	$SI_{pH} = 100$
	$8 < pH \leq 11$	$SI_{pH} = 100 \times \exp[(pH - 8) \times (-0.5188)]$
	$11 < pH$	$SI_{pH} = 10$
TS	$TS \leq 40$ mg/L	$SI_{TS} = 100$
	40 mg/L < $TS \leq 280$ mg/L	$SI_{TS} = 123.4 \times \exp[TS \times (-0.005296)]$
	280 mg/L < TS	$SI_{TS} = 10$
(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	$N \leq 3$ mg/L	$SI_N = 100 \times \exp[N \times (-0.4605)]$
	3 mg/L < N	$SI_N = 10$
TP	$TP \leq 0.25$ mg/L	$SI_{TP} = 100 - 299.5 \times TP - 0.1384 \times TP^2$
	0.25 mg/L < TP	$SI_{TP} = 10$

Επιπλέον, όσον αφορά στις εξισώσεις του υπο-δείκτη της παραμέτρου των στερεών, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι στον ανωτέρω πίνακα παρουσιάζονται οι εξισώσεις οι οποίες αντιστοιχούν στην κατηγορία λεκανών απορροής «Willamette, Sandy and Hood» του Oregon. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του παρόντος δείκτη, για τον προσδιορισμό της τιμής του υπο-δείκτη της μεταβλητής των στερεών, οι λεκάνες απορροής οι οποίες απαντώνται εντός των ορίων της Πολιτείας του Oregon εντάχθηκαν σε συνολικά 8 κατηγορίες λεκανών απορροής βάσει των κοινών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν και, εν συνεχεία, για κάθε επιμέρους κατηγορία διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες εξισώσεις μετατροπής των συγκεντρώσεων σε επίπεδα ποιότητας (συναρτήσεις υπο-δεικτών). Ο συγκεκριμένος διαχωρισμός πραγματοποιήθηκε προκειμένου να αντιμετωπιστούν διαφορετικά περιοχές λεκανών στις οποίες οι υψηλές συγκεντρώσεις στερεών συνιστούν απόρροια των υφιστάμενων τοπικών εδαφικών συνθηκών και δεν αποτελούν ένδειξη ποιοτικής υποβάθμισης. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και για τις ανάγκες εφαρμογής του συγκεκριμένου δείκτη, θεωρήθηκε ότι η λεκάνη απορροής Sandy, η οποία βρίσκεται στο Βορειοδυτικό τμήμα του Oregon, παρουσιάζει περισσότερες ομοιότητες με τη λεκάνη απορροής του εξεταζόμενου σώματος (λεκάνη απορροής Αλιάκμονα), συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες 7 κατηγορίες λεκανών στις οποίες αφορά η εφαρμογή του δείκτη. Ως εκ τούτου, για τον υπολογισμό του υπο-δείκτη των στερεών, αξιοποιήθηκαν οι εξισώσεις οι οποίες αφορούν στην κατηγορία λεκανών απορροής «Willamette, Sandy and Hood». Ο προσδιορισμός της συγκεκριμένης λεκάνης πραγματοποιήθηκε ύστερα από καταγραφή των μορφολογικών και κλιματικών χαρακτηριστικών

για το σύνολο των λεκανών του Oregon και επιλογή εκείνης, η οποία προσεγγίζει περισσότερο τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της λεκάνης του Αλιάκμονα.

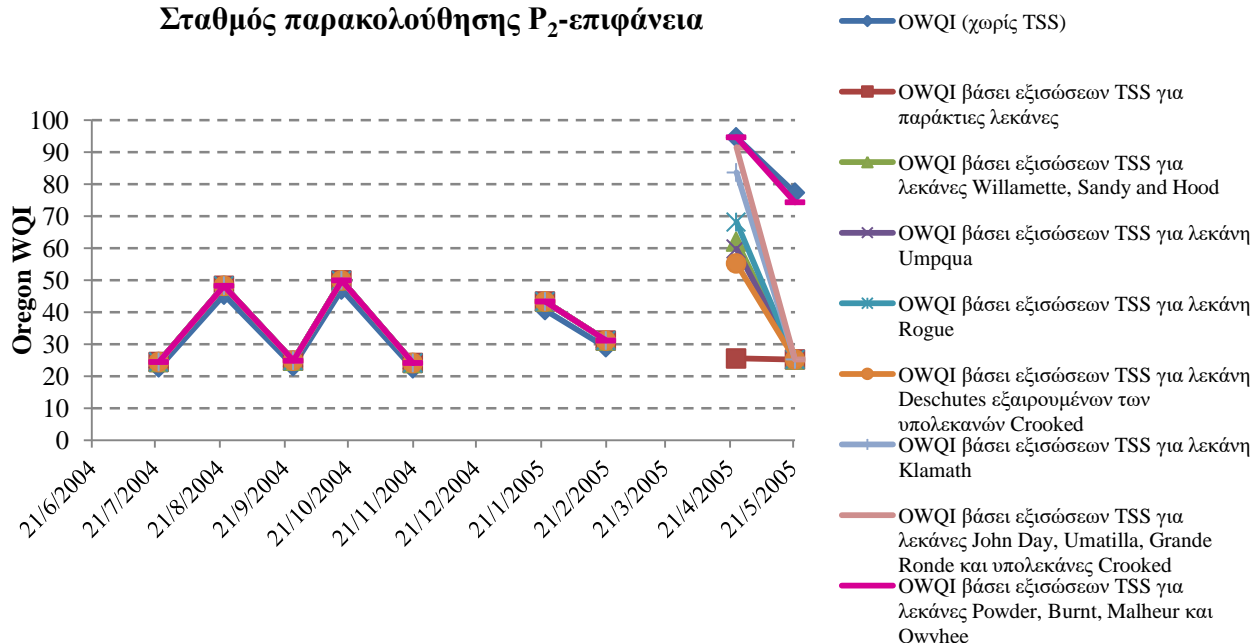
Επιπλέον, προκειμένου να ελεγχθεί η ασφάλεια της συγκεκριμένης θεώρησης, ο ολικός δείκτης ποιότητας Oregon υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψιν κάθε φορά διαφορετική εξίσωση υπο-δείκτη για την παράμετρο των στερεών –μία για κάθε επιμέρους κατηγορία λεκανών απορροής- ενώ, παράλληλα η τιμή του ολικού δείκτη προσδιορίστηκε για την περίπτωση όπου η συγκεκριμένη παράμετρος δε ληφθεί καθόλου υπόψιν. Ακολούθως, παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon, για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου και για κάθε επιμέρους σταθμό και βάθος μέτρησης κατά μήκος του ταμιευτήρα, για καθεμία από τις ανωτέρω εννέα περιπτώσεις.

Βάσει της συγκεκριμένης διερεύνησης, διαπιστώθηκε ότι για την περίπτωση του δειγματοληπτικού σταθμού P₃ (μετρήσεις επιφανείας και πυθμένα) προκύπτουν όμοια αποτελέσματα του ολικού δείκτη ποιότητας ανεξαρτήτως της θεωρούμενης κάθε φορά κατηγορίας λεκανών απορροής και κατ' επέκταση της χρησιμοποιούμενης εξίσωσης υπολογισμού του υπο-δείκτη των TSS. Παρόμοιες τιμές του ολικού δείκτη για το συγκεκριμένο σταθμό προέκυψαν και στην περίπτωση όπου η παράμετρος των TSS δε συνυπολογίστηκε στον προσδιορισμό του δείκτη. Για τους υπόλοιπους σταθμούς και θεωρούμενα βάθη, παρατηρείται ότι οι καμπύλες οι οποίες αναπαριστούν τα επιμέρους σενάρια υπολογισμού του υπο-δείκτη των TSS, καθώς και το σενάριο μη ενσωμάτωσης τους στο δείκτη, σχεδόν ταυτίζονται για το μεγαλύτερο μέρος της μελετώμενης περιόδου, με τις σημαντικότερες αποκλίσεις να εντοπίζονται μεταξύ Μαρτίου και Μαΐου 2005. Οι εν λόγω διαφοροποιήσεις οφείλονται στις σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις στερεών οι οποίες παρατηρούνται κατά το διάστημα αυτό στην πλειονότητα των σταθμών.



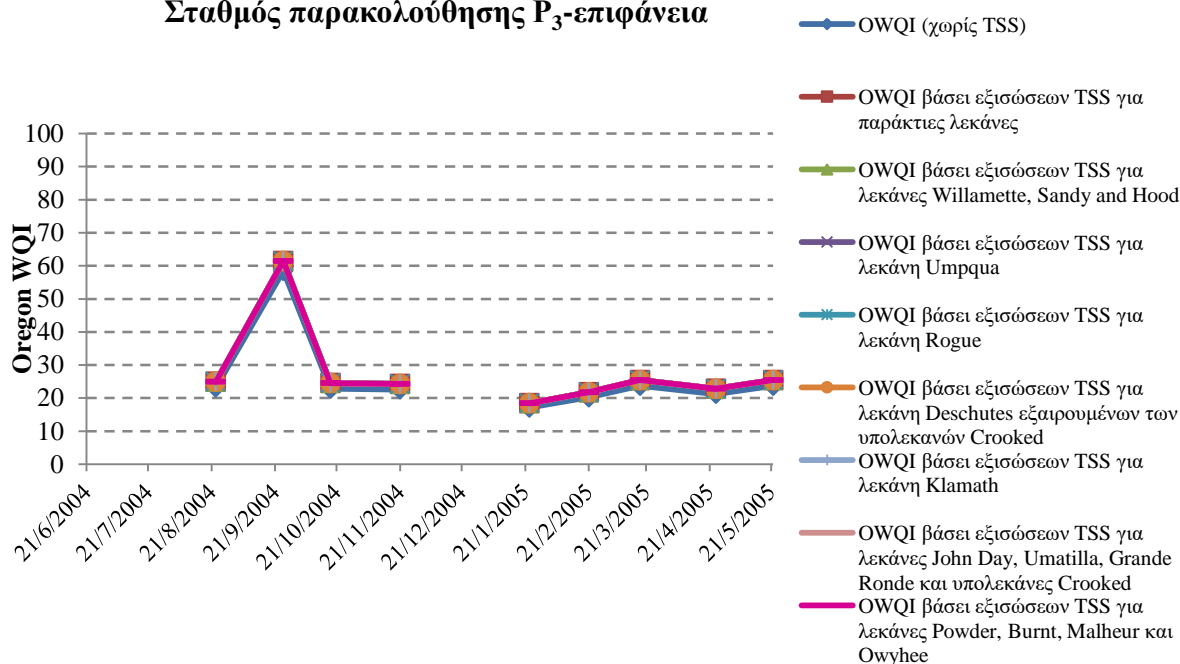
Εικόνα 4.9: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P₂-επιφάνεια



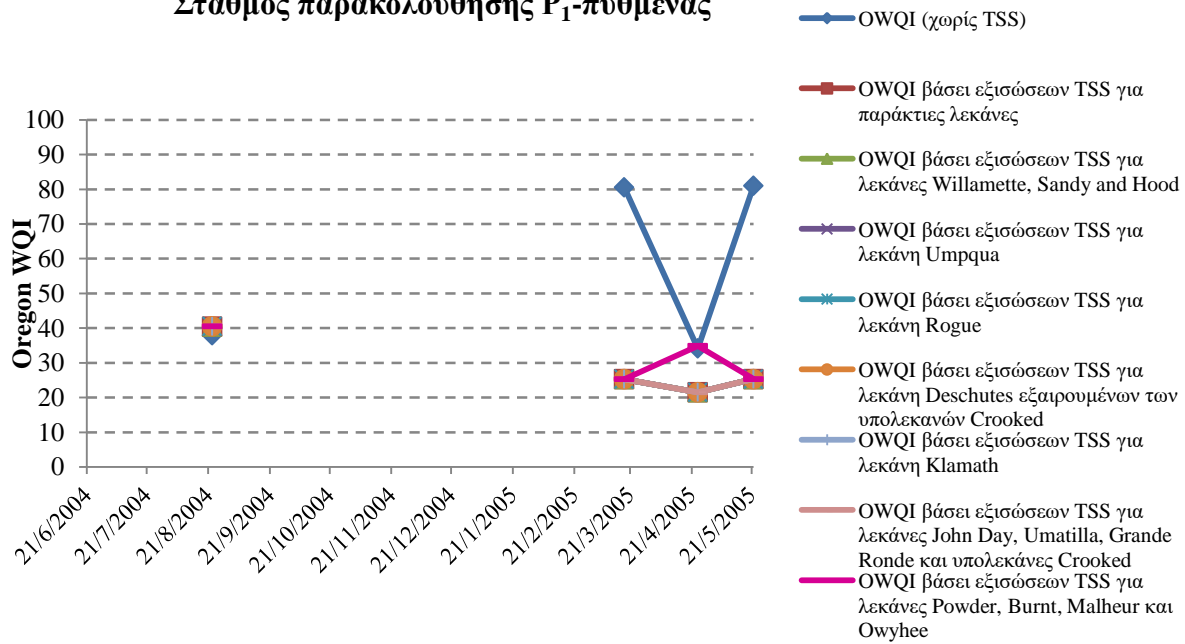
Εικόνα 4.10: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P₃-επιφάνεια



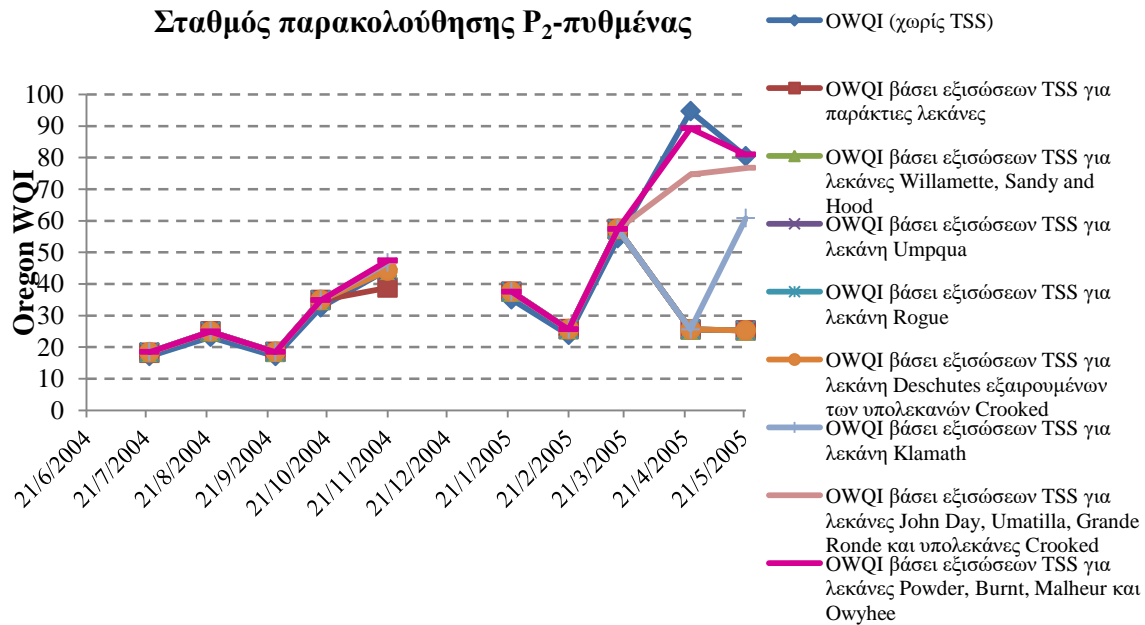
Εικόνα 4.11: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P₁-πυθμένας

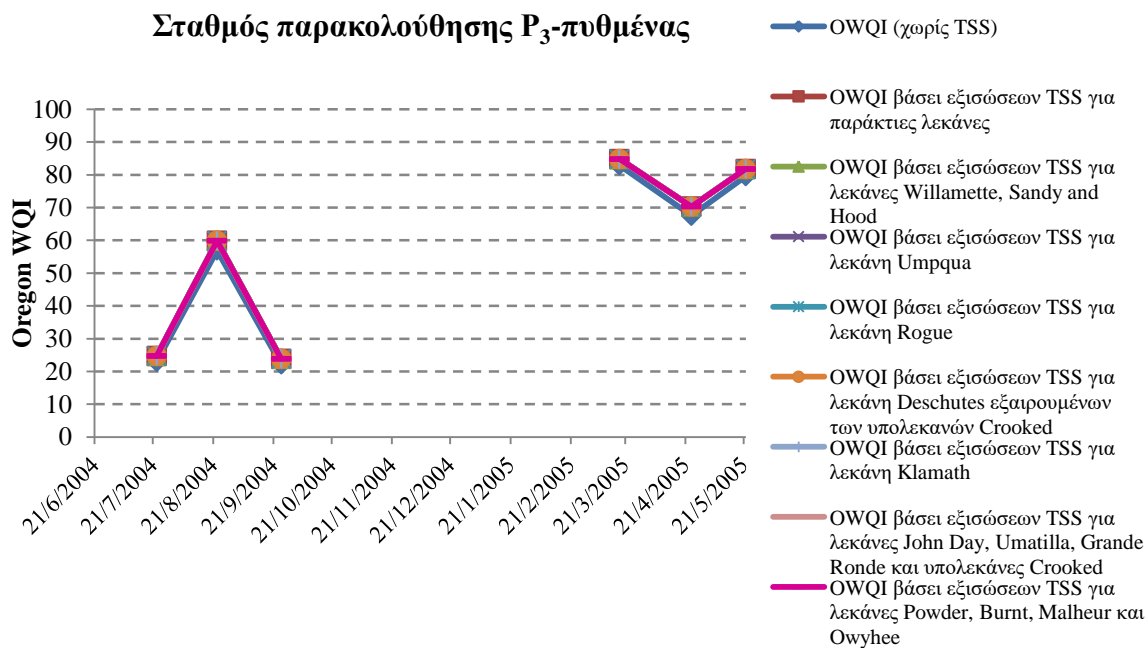


Εικόνα 4.12: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P₂-πυθμένας



Εικόνα 4.13: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-πυθμένας



Εικόνα 4.14: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon βάσει 9 διαφορετικών σεναρίων υπολογισμού του υπο-δείκτη της μεταβλητής TSS-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-πυθμένας

Ένα ακόμη συμπέρασμα το οποίο διεξήχθη μέσω της συγκριτικής εκτίμησης του ολικού δείκτη ποιότητας για καθένα από τα προαναφερθέντα σενάρια, είναι ότι η χρήση της επιλεχθείσας εξίσωσης, δηλαδή εκείνης που αντιστοιχεί στην κατηγορία λεκανών απορροής «Willamette, Sandy and Hood», αποδίδει χαμηλότερες τιμές του ολικού δείκτη ποιότητας συγκρινόμενη με τα υπόλοιπα σενάρια, για την πλειονότητα των θέσεων δειγματοληψίας εξαιρουμένου του σταθμού P₂ (μέτρηση επιφανείας). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του εξεταζόμενου υδατικού σώματος, δεδομένου ότι λαμβάνεται υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας.

Βάσει των συναρτήσεων των υπο-δεικτών, οι οποίες παρατέθηκαν στον Πίνακα 4.15, η συγκέντρωση κάθε επιμέρους παραμέτρου, για κάθε θέση και ημερομηνία δειγματοληψίας, μετετράπη σε μία αδιάστατη τιμή από το 10 έως το 100, ενδεικτική του ρυπαντικού αποτελέσματος που επιφέρει στο εξεταζόμενο σώμα κάθε παράμετρος ξεχωριστά. Η συνδυαστική επίδραση του συνόλου των θεωρούμενων, σε κάθε περίπτωση εφαρμογής, ποιοτικών μεταβλητών εκφράζεται μέσω του ολικού δείκτη ποιότητας νερού, ο οποίοςς βάσει της παρούσας μεθοδολογίας υπολογίστηκε μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (4.3)$$

όπου:

OWQI: ο ολικός δείκτης ποιότητας Oregon

SI_i: η τιμή του υπο-δείκτη της i ποιοτικής μεταβλητής

n: το πλήθος των συνυπολογιζομένων ποιοτικών μεταβλητών

Η αντιστοίχιση της τιμής του ολικού δείκτη σε μία εκ των 5 ποιοτικών κλάσεων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον Πίνακα 3.6 της Υποενότητας 3.5.4.

Η ανωτέρω μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε καθένα από τα 2 εξεταζόμενα υδατικά σώματα ξεχωριστά, για το σύνολο των μελετώμενων περιόδων και θέσεων δειγματοληψίας. Ακολούθως, παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία υπολογισμού για την περίπτωση των 3 πρώτων δειγματοληψιών του σταθμού παρακολούθησης P₁ (μέτρηση επιφανείας) του ταμιευτήρα Πολυφύτου. Οι υπολογισμοί για τις υπόλοιπες δειγματοληψίες και θέσεις παρακολούθησης του ταμιευτήρα, καθώς και για τη 2^η περίπτωση εφαρμογής, δηλαδή εκείνη του ποταμού Βοσβόζη, παρατίθενται στα Παραρτήματα I και II, αντίστοιχα.

4.5 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού NSF (National Sanitation Foundation's Water Quality Index)

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην Υποενότητα 3.5.2, ο δείκτης ποιότητας ο οποίος προτάθηκε από τους Brown et al. (1970) αφορά στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για γενική χρήση και βασίζεται στο συνυπολογισμό συνολικά 9 ποιοτικών μεταβλητών για την εξαγωγή της τελικής τιμής του δείκτη. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και βάσει των διαθέσιμων δεδομένων ποιότητας, οι παράμετροι οι οποίες αξιοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του ήταν η επί τοις 100 συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO %), το pH, το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), η διαφορά θερμοκρασίας από κάποια τιμή αναφοράς (ΔT), ο ολικός φωσφόρος (TP) και τα νιτρικά (NO₃⁻-N). Επισημαίνεται ότι η εφαρμογή του παρόντος δείκτη πραγματοποιήθηκε μόνο για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, ενώ για την περίπτωση της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου ο δείκτης έχει υπολογιστεί από τους Alexakis et al. (2016). Τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο προκειμένου να καταστεί εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων του συνόλου των εξεταζόμενων δεικτών και για τα 2 υδάτινα σώμα.

Στην παρούσα εργασία, η τιμή των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων, καθώς και οι τιμές του ολικού δείκτη ποιότητας, ανά ημερομηνία δειγματοληψίας και σταθμό παρακολούθησης, αντίστοιχα, προσδιορίστηκαν μέσω κατάλληλης φόρμας υπολογισμού, διαθέσιμης στον ακόλουθο ιστότοπο: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Διευκρινίζεται πως, σε ό,τι αφορά στην παράμετρο της μεταβολής της θερμοκρασίας, ως τιμή αναφοράς λήφθηκε η τιμή της θερμοκρασίας τη δεδομένη χρονική στιγμή στο σταθμό παρακολούθησης GS₁, ο οποίος βρίσκεται στο τέλος του ορεινού τμήματος της μελετώμενης λεκάνης, ανάντη των σταθμών GS₂ και GS₃. Η επιλογή του συγκεκριμένου σταθμού έγινε καθώς η θέση αυτή χαρακτηρίζεται από την απουσία κάθε είδους ανθρώπινης δραστηριότητας και, κατ' επέκταση οι τιμές ή οι συγκεντρώσεις των μελετώμενων ποιοτικών παραμέτρων στο σημείο αυτό αντιπροσωπεύουν τα φυσικά τους επίπεδα.

Κατά την εφαρμογή του δείκτη στον ταμιευτήρα Πολυφύτου από τους Alexakis et al. (2016), οι παράμετροι ποιότητας οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν ήταν η επί τοις 100 συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO %), το pH, το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), η μεταβολή της θερμοκρασίας (ΔT), ο ολικός φωσφόρος (TP), τα νιτρικά (NO₃⁻-N) και η θολρότητα.

Πίνακας 4.16: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁- επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια											
Μετρηθείσες συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών											
Ημερομηνία	pH	Θερμοκρασία T (°C)	Συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (% sat)	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N) (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός φωσφόρος TP (mg/L)	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (mg/L)
21/6/2004	8.41	25.20	8.35	7.60	91.0	0.11	0.155	0.263	5.90	0.024	
23/7/2004	8.39	27.60	7.98	5.93	74.3	0.11	0.000	0.106	19.70	0.097	0.70
23/8/2004	8.31	24.80	8.41	5.62	66.8	0.07	0.000	0.073	5.90	0.097	39.50

Πίνακας 4.17: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	80.84	81.1	30.86	88.577	45.72	92.93				
23/7/2004	81.68	59.5	10.00	95.223	24.85	70.86	100.00	23.70	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/8/2004	85.14	54.6	30.86	96.699	48.84	70.86	100.00	54.59	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται η μορφή της υπολογιστικής φόρμας, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κατά τον υπολογισμό του δείκτη. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει τις τιμές των συγκεντρώσεων των επιμέρους μεταβλητών στα αντίστοιχα κελιά, αφήνοντας κενά εκείνα τα οποία αφορούν σε μη διαθέσιμες παραμέτρους. Αυτομάτως, στο χώρο κάτω από τη συγκέντρωση κάθε επιμέρους μεταβλητής δίνεται το αποτέλεσμα της τιμής του υπο-δείκτη για τη δεδομένη παράμετρο. Εν συνεχεία, επιλέγοντας «Calculate overall WQI», υπολογίζεται η τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας, ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους υπο-δεικτών. Οι συντελεστές βαρύτητας οι οποίοι υπεισέρχονται στη σχέση υπολογισμού του ολικού δείκτη, παρουσιάζονται και αυτοί στην Εικόνα 4.15.

Dissolved Oxygen Sat(%)

78.1 Sat(%)

85 Water Quality Index

Fecal Coliform

Fecal Coliform colonies/100 mL

Water Quality Index

pH

8.19 units

77 Water Quality Index

BOD

10.70 mg/L

31 Water Quality Index

Temperature

0 C

93 Water Quality Index

Total Phosphate

0.345 mg as P/L

77 Water Quality Index

Nitrate

0 mg as NO3/L

97 Water Quality Index

Turbidity

Turbidity NTU

Water Quality Index

Total Solids

Total Solids mg/L

Water Quality Index

Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	85
Fecal Coliform	0.16	
pH	0.11	77
Biochemical oxygen demand	0.11	31
Temperature Change	0.10	93
Total Phosphate	0.10	77
Nitrates	0.10	97
Turbidity	0.08	
Total Solids	0.07	

Calculate overall WQI

Factors entered

6

Overall Water Quality Index

77

Generate WQI Report

Εικόνα 4.15: Διαδικασία υπολογισμού των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων, καθώς και του ολικού δείκτη ποιότητας NSF μέσω κατάλληλης υπολογιστικής φόρμας

Πηγή: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>

Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εξαγωγής και εκτύπωσης των αποτελεσμάτων του δείκτη επιλέγοντας «Generate WQI Report» (Εικόνα 4.16).

Generated By:
Email: iwanna_zwtou@hotmail.com
Organization: National Technical University of Athens
Type: stream
Location: Vosvozis River, Greece

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	78.1	85
Fecal Coliform	0.16		
pH	0.16	8.19	77
BOD	0.11	10.70	31
Temperature Change	0.11	0	93
Total Phosphate	0.10	0.345	77
Nitrates	0.10	0	97
Turbidity	0.08		
Total Solids	0.07		

Factors Entered:	6
Final Index:	77

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Εικόνα 4.16: Report αποτελεσμάτων του δείκτη ποιότητας NSF

Στις Εικόνες 4.15 και 4.16, παρουσιάστηκε η διαδικασία υπολογισμού του ολικού δείκτη ποιότητας, καθώς και των επιμέρους υπο-δεικτών για την 1^η δειγματοληψία, δηλαδή εκείνη η οποία πραγματοποιήθηκε στις 5 Αυγούστου του 2005, στο σταθμό παρακολούθησης GS₁ του ποταμού Βοσβόζη. Με παρόμοιο τρόπο, τα δεδομένα ποιότητας για το σύνολο των παραμέτρων, δειγματοληψιών και θέσεων παρακολούθησης εισήχθησαν στη συγκεκριμένη φόρμα υπολογισμού και τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν σε κατάλληλα διαμορφωμένους πίνακες για την καλύτερη οπτικοποίησή τους. Οι τιμές του ολικού δείκτη ποιότητας, όπως αυτές προέκυψαν ανά ημερομηνία δειγματοληψίας και σταθμό παρακολούθησης, αντιστοιχήθηκαν σε μία εκ των 5 ποιοτικών κλάσεων, όπως αυτές ορίζονται από την παρούσα μέθοδο, βάσει του συστήματος ταξινόμησης το οποίο παρατέθηκε στην Υποενότητα 3.5.2 (Πίνακας 3.3).

Στους Πίνακες 4.18 και 4.19, παρουσιάζονται ενδεικτικά για τις 3 πρώτες δειγματοληψίες τα ποιοτικά δεδομένα τα οποία αξιοποιήθηκαν κατά τον υπολογισμό του παρόντος δείκτη για την περίπτωση του σταθμού GS₁, καθώς και τα αποτελέσματα των τιμών των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων, των ολικών δεικτών ποιότητας NSF, αλλά και της ποιοτικής κατάταξης αυτών. Το σύνολο των αποτελεσμάτων για τις υπόλοιπες δειγματοληψίες καθώς και για τους σταθμούς GS₂ και GS₃ παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.

Πίνακας 4.18: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών-περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁										
Μετρηθείσες συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών										
Ημερομηνία	pH	Θερμοκρασία T (°C)	Συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (% sat)	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός φωσφόρος TP (mg/L)	Θερμοκρασί α σταθμού αναφοράς GS ₁ T _{GS1} (°C)	Μεταβολή θερμοκρασίας ΔT = T-T _{GS1}
5/8/2005	8.19	24.70	8.43	6.58	78.1	0.000	10.70	0.345	24.70	0.00
29/8/2005	8.38	24.10	8.52	5.57	65.4	0.000	10.00	0.185	24.10	0.00
12/9/2005	8.05	22.70	8.73	4.98	57.1	0.000	10.20	0.309	22.70	0.00

Πίνακας 4.19: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας NSF - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁										
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	Ολικός φωσφόρος TP	Μεταβολή θερμοκρασίας ΔT = T-T _{GS1}	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Σ(I _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση	
5/8/2005	77	85	97	31	77	93	77	Καλή ποιότητα νερού	4	
29/8/2005	70	67	97	34	93	93	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
12/9/2005	82	53	97	33	80	93	71	Καλή ποιότητα νερού	4	

4.6 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού CCME (Canadian Council of Ministers of Environment WQI)

Κατ' αντιστοιχία με τον δείκτη NSF, το πλαίσιο εφαρμογής του οποίου περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, κατά την εφαρμογή του δείκτη CCME εξετάστηκε, και πάλι, αποκλειστικά η περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, καθώς για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου ο δείκτης έχει εκτιμηθεί από τους Alexakis et al. (2016).

Κύριο χαρακτηριστικό του δείκτη CCME είναι η ευελιξία την οποία παρέχει στο χρήστη όσον αφορά τόσο στην επιλογή των παραμέτρων που θα ενσωματώσει σε αυτόν, όσο και στα ποιοτικά όρια τα οποία θα λάβει υπόψιν για την αξιολόγηση των επιπέδων συγκέντρωσης των επιμέρους μεταβλητών. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην Υποενότητα 3.5.10, όπου παρατέθη το σχετιζόμενο με το δείκτη θεωρητικό υπόβαθρο, ο προσδιορισμός της τιμής του βασίζεται στον υπολογισμό των παραμέτρων F_1 , F_2 και F_3 , οι οποίες εκφράζουν, αντίστοιχα, το πλήθος των παραμέτρων που αποκλίνουν από τα συνιστώμενα ποιοτικά όρια («έκταση» απόκλισης), το πλήθος των επιμέρους ποιοτικών ελέγχων οι οποίοι βρίσκονται εκτός των ποιοτικών ορίων («συχνότητα») και το βαθμό στον οποίο οι εν λόγω ποιοτικοί έλεγχοι αποκλίνουν από τα όρια αυτά («μέγεθος» απόκλισης). Λόγω της πολυπλοκότητας την οποία παρουσιάζει η συγκεκριμένη υπολογιστική μέθοδος, ιδίως στην περίπτωση μεγάλου όγκου ποιοτικών δεδομένων, ο CCME προτείνει τη χρήση της εφαρμογής CWQI 1.0 Calculator, η οποία έχει αναπτυχθεί από τον Οργανισμό για τον υπολογισμό του δείκτη και η οποία βρίσκεται διαθέσιμη στον ακόλουθο σύνδεσμο: <http://www.mae.gov.nl.ca/waterres/quality/background/cwqi.html>.

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε κατά τον προσδιορισμό του δείκτη CCME μέσω της ανωτέρω εφαρμογής συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- i. Επιλογή των παραμέτρων που θα ληφθούν υπόψιν κατά τον υπολογισμό του δείκτη
- ii. Καθορισμός των ποιοτικών ορίων των επιμέρους παραμέτρων
- iii. Δημιουργία κατάλληλα διαμορφωμένων αρχείων Excel για καθέναν από τους 3 σταθμούς παρακολούθησης, τα οποία περιλαμβάνουν τις μετρηθείσες συγκεντρώσεις ανά δειγματοληψία και ποιοτική μεταβλητή, αντίστοιχα, σύμφωνα με τα όσα υποδεικνύονται από το εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής
- iv. Εισαγωγή κάθε επιμέρους αρχείου, ξεχωριστά, στο περιβάλλον της εφαρμογής
- v. Ρύθμιση των απαραίτητων παραμέτρων
- vi. Εξαγωγή των αποτελεσμάτων του δείκτη.

Στην παρούσα εργασία, η επιλογή των μεταβλητών, καθώς και ο καθορισμός των ποιοτικών ορίων, πραγματοποιήθηκαν βάσει της εργασίας των Alexakis et al. (2016) και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Σε αντίθεση, ωστόσο, με τη συγκεκριμένη εργασία, στην παρούσα εφαρμογή δε συμπεριλήφθηκε η παράμετρος της χλωροφύλλης-α, λόγω απουσίας σχετικών δεδομένων, ενώ προστέθηκε η παράμετρος της αμμωνίας, το ποιοτικό όριο της οποίας λήφθηκε ίσο με 0.6 mg/L (UK WFD Technical Advisory Group 2008). Επιπλέον, το ποιοτικό όριο του ολικού φωσφόρου τροποποιήθηκε κατάλληλα έτσι ώστε να αντιστοιχεί στην περίπτωση αξιολόγησης τρεχούμενων και όχι στάσιμων επιφανειακών υδάτων (UNECE 1994).

Πίνακας 4.20: Καθορισμός παραμέτρων και ποιοτικών ορίων κατά την εφαρμογή του δείκτη CCME (Πηγή: Alexakis et al. 2016 και ίδια επεξεργασία)

Μεταβλητή	Ποιοτικά όρια	
	Εφαρμογή του δείκτη CCME στον ταμιευτήρα Πολυφύτου από τους Alexakis et al. (2016)	Εφαρμογή του δείκτη CCME στον ποταμό Βοσβόζη
BOD ₅ (mg/L)	✓ 4	✓ 4
Χλωροφύλλη-α (μg/L)	✓ 4	-
DO (mg/L)	✓ 6	✓ 6
(NO ₂ ⁻ -N) + (NO ₃ ⁻ -N) (mg/L)	✓ 10	✓ 10
pH	✓ 6.5-9	✓ 6.5-9
TP (mg/L)	✓ 0.01	✓ 0.015
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	-	✓ 0.6

Σύμφωνα με τα όσα υποδεικνύονται στο εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής, κατά την εισαγωγή των ποιοτικών δεδομένων στο πρόγραμμα, τα αντίστοιχα αρχεία οφείλουν να έχουν την παρακάτω μορφή (Εικόνα 4.17). Επισημαίνεται ότι η δεύτερη στήλη του πίνακα χρησιμεύει στην ταξινόμηση του συνόλου των ποιοτικών δεδομένων σε επιμέρους υποσύνολα ή κατηγορίες, και στην εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων βάσει των εν λόγω κατηγοριών. Ειδικότερα, βάσει της συγκεκριμένης στήλης, τα δεδομένα είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθούν ανά περιοχή, θέση δειγματοληψίας ή υπο-περίοδο του συνόλου της μελετώμενης περιόδου, κατά τρόπο τέτοιο ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της εκάστοτε εφαρμογής. Στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι για το σύνολο των εξεταζόμενων δεικτών τα αποτελέσματα ποιότητας εξήχθησαν ανά δειγματοληψία, η κατηγοριοποίηση των δεδομένων για τον υπολογισμό του δείκτη CCME έγινε στη βάση αυτή. Ως εκ τούτου, οι αριθμοί οι οποίοι απεικονίζονται στη 2^η στήλη του πίνακα αντιπροσωπεύουν τον κωδικό αριθμό της εκάστοτε δειγματοληψίας. Σημαντικό περιορισμό της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι ο χρήστης υποχρεούται να λάβει υπόψιν κατ' ελάχιστον 4 ποιοτικές μεταβλητές μετρούμενες τουλάχιστον 4 φορές προκειμένου να καταστεί εφικτός ο υπολογισμός της τιμής του δείκτη. Προκειμένου να ικανοποιηθεί το δεύτερο κριτήριο και παράλληλα να διατηρηθεί η κοινή βάση σύγκρισης με τους υπόλοιπους δείκτες, τα αποτελέσματα των οποίων εξήχθησαν ανά ημερομηνία δειγματοληψίας, έγινε η παραδοχή ότι για κάθε επιμέρους ημερομηνία πραγματοποιήθηκαν 4 διαφορετικές δειγματοληψίες, οι οποίες έδωσαν όμοιες τιμές συγκέντρωσης των μεταβλητών. Με τον τρόπο αυτό, κατέστη εφικτός ο προσδιορισμός του δείκτη CCME ανά χρονικό βήμα όμοιο με εκείνο των υπολοίπων δεικτών.

Date	Period	DO	pH	Total Phosphorus	Nitrate+Nitrite Nitrogen	BOD	NH ₄ -N
		mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
5/8/2005	1	6.58	8.19	0.345	0.005	10.70	0.04
5/8/2005	1	6.58	8.19	0.345	0.005	10.70	0.04
5/8/2005	1	6.58	8.19	0.345	0.005	10.70	0.04
5/8/2005	1	6.58	8.19	0.345	0.005	10.70	0.04
29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10.00	0.25
29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10.00	0.25
29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10.00	0.25
29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10.00	0.25
12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0.000	10.20	0.07
12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0.000	10.20	0.07
12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0.000	10.20	0.07
12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0.000	10.20	0.07
27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0.000	28.80	0.69
27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0.000	28.80	0.69
27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0.000	28.80	0.69
27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0.000	28.80	0.69

Εικόνα 4.17: Μορφή αρχείου δεδομένων ποιότητας κατά την εισαγωγή του στην εφαρμογή CWQI 1.0 Calculator

Ακολουθώντας, στην Εικόνα 4.18 παρουσιάζεται η μορφή του περιβάλλοντος της εφαρμογής έπειτα από την εισαγωγή του αρχείου των δεδομένων ποιότητας του σταθμού παρακολούθησης GS₁.

File Used: C:\Users\lwann\Desktop\parxeia gia metafora\metaptyxiako\diplwmatikh metaptuxiakolo\υπολογισμ

Date	Period	DO	ph	Total Phosphorus	Nitrate+Nitrite Nitrogen	BOD	NH ₄ -N	
		mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	5/8/2005	6.58	8.19	0.345	0.005	10.7	0.04	
2	5/8/2005	6.58	8.19	0.345	0.005	10.7	0.04	
3	5/8/2005	6.58	8.19	0.345	0.005	10.7	0.04	
4	5/8/2005	6.58	8.19	0.345	0.005	10.7	0.04	
5	29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10	0.25
6	29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10	0.25
7	29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10	0.25
8	29/8/2005	2	5.57	8.38	0.185	0.046	10	0.25
9	12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0	10.2	0.07
10	12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0	10.2	0.07
11	12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0	10.2	0.07
12	12/9/2005	3	4.98	8.05	0.309	0	10.2	0.07
13	27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0	28.8	0.69
14	27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0	28.8	0.69
15	27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0	28.8	0.69
16	27/9/2005	4	4.63	8.05	1.521	0	28.8	0.69

Εικόνα 4.18: Μορφή περιβάλλοντος εφαρμογής CWQI 1.0 Calculator έπειτα από την εισαγωγή αρχείου δεδομένων ποιότητας

Ύστερα από την εισαγωγή των δεδομένων, μέσω της επιλογής «Criteria» ρυθμίστηκαν τα ποιοτικά όρια των παραμέτρων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.19.

Τέλος, επιστρέφοντας στην αρχική σελίδα της εφαρμογής (επιλογή «data») και επιλέγοντας «Grouping Subsets» εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 4.20. Εκεί, από την πτυσσόμενη λίστα της κατηγορίας «Open Labels» επιλέχθηκε «All» και εν συνεχεία «Compute», έτσι ώστε η τιμή του δείκτη να υπολογιστεί για κάθε επιμέρους κατηγορία (κωδικό δειγματοληψίας).

Start Data Report Manual THE WQI Aquatic Adjustments

Please Note: In order to provide meaningful results the CWQI should be applied on data sets that contain at least 4 variables and at least 4 tests of each variable. However, users can exercise professional judgement based on knowledge of the data and site specific conditions.

Water Quality Objectives

User Defined Data Format			Overall		Drinking		Aquatic		Recreation	
Variables	Symbol	Units	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
1 Dissolved Oxygen	DO	mg/L	6							
2 pH	ph		6.5	9						
3 Phosphorus(Total Phosphorus)	otal Phosphoru	mg/L		0.015						
4 Nitrate(ite),(Nitrite)	ate+Nitrite Nitrc	mg/L		10						
5 BOD	BOD	mg/L		4						
6 NH4-N	NH4-N	mg/L		0.6						
7 Alkalinity(Total Alkalinity)	ALKT	mg/L								
8 Calcium	Ca	mg/L								
9 Sodium	Na	mg/L								

Εικόνα 4.19: Ρύθμιση ποιοτικών ορίων των παραμέτρων κατά τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη CCME μέσω της εφαρμογής CWQI 1.0 Calculator

Start Criteria Report Manual File Usr

CWQI Calculation Options

Current Data

Enable Site Specific Guideline Generation Option (CCME)

Enable Sensitivity Analysis Option

Enable Turbidity Flagging

Contaminant Flagging

Grouping Subsets

Grouping Subset Options

For Year(s) All

For Month(s) All

For Open Label(s) All

19
20
22
23
24
25
26
All

Εικόνα 4.20: Καθορισμός κατηγοριών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του δείκτη CCME

Επιλέγοντας «Report», εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη CCME, ανά κωδικό δειγματοληψίας, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.21). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, ο πίνακας των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει την τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας ανά επιλεγθείσα κατηγορία, την κατηγοριοποίηση του υδατικού σώματος βάσει της τιμής αυτής στην αντίστοιχη ποιοτική τάξη, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης της μεθόδου (βλ. Υποενότητα 3.5.10), καθώς και τις τιμές των παραμέτρων F_1 , F_2 και F_3 . Τέλος, μέσω των 2 τελευταίων στηλών ο χρήστης ενημερώνεται σχετικά με την ικανοποίηση των κριτηρίων του ελάχιστου πλήθους των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων καθώς και του ελάχιστου αριθμού δειγματοληψιών ανά μετρούμενη παράμετρο.

CANADIAN WATER QUALITY INDEX 1.0

CWQI for Overall

Please Note: In order to provide meaningful results the CWQI should be applied on data sets that contain at least 4 variables and at least 4 tests of each variable. However, users can exercise professional judgement based on knowledge of the data and site specific conditions.

C:\Users\liwann\Desktop\arxeia gia metafora\metapyxiako\diplwmatikh metaptuxiako\υπολογισμο\data\δεδομένα(GS1) για CCME calculator+NH4 (Βοσβόζης).xls

Site Specific Guideline Generation Option (CCME)		Not Used						
Label	CWQI	Category	F1(Scope)	F2(Frequency)	F3(Amplitude)	Min 4 Parameters	Min 4 Samples	
1	42	Poor	50	50	70	Met (6)	Met (4)	
2	41	Poor	50	50	74	Met (6)	Met (4)	
3	40	Poor	50	50	76	Met (6)	Met (4)	
4	35	Poor	50	50	88	Met (6)	Met (4)	
5	39	Poor	50	50	80	Met (6)	Met (4)	
6	38	Poor	50	50	80	Met (6)	Met (4)	
7	57	Marginal	17	17	71	Met (6)	Met (4)	
8	50	Marginal	33	33	73	Met (6)	Met (4)	
9	47	Marginal	33	33	79	Met (6)	Met (4)	
10	45	Marginal	33	33	83	Met (6)	Met (4)	
11	58	Marginal	33	33	56	Met (6)	Met (4)	
12	37	Poor	50	50	82	Met (6)	Met (4)	
13	44	Poor	50	50	67	Met (6)	Met (4)	
14	44	Poor	17	17	95	Met (6)	Met (4)	
15	52	Marginal	33	33	69	Met (6)	Met (4)	
16	50	Marginal	33	33	74	Met (6)	Met (4)	
17	43	Poor	33	33	87	Met (6)	Met (4)	
18	53	Marginal	17	17	78	Met (6)	Met (4)	
19	40	Poor	50	50	77	Met (6)	Met (4)	
20	30	Poor	67	67	76	Met (6)	Met (4)	
22	43	Poor	33	33	87	Met (6)	Met (4)	
23	51	Marginal	33	33	71	Met (6)	Met (4)	
24	49	Marginal	33	33	74	Met (6)	Met (4)	
25	44	Poor	33	33	85	Met (6)	Met (4)	
26	45	Marginal	33	33	83	Met (6)	Met (4)	

Εικόνα 4.21: Report αποτελεσμάτων του δείκτη ποιότητας CCME για το σταθμό παρακολούθησης GS1

Η διαδικασία η οποία περιγράφηκε ακολουθήθηκε για το σύνολο των σταθμών παρακολούθησης του ποταμού Βοσβόζη. Τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη ανά ημερομηνία και σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, ενώ αναλυτικοί πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν παράλληλα τις τιμές των παραμέτρων F₁, F₂ και F₃ παρατίθενται στο Παράρτημα II.

4.7 Εφαρμογή του δείκτη ποιότητας νερού Dinius (Dinius' WQI)

Όπως αναφέρθηκε στη σχετική υποενότητα του Κεφαλαίου 3, ο Δείκτης Ποιότητας Νερού ο οποίος διαμορφώθηκε από τον Dinius αφορά στην αξιολόγηση της γενικής ποιότητας των υδάτων ενός δεδομένου υδατικού σώματος, συνυπολογίζοντας, ωστόσο, την καταλληλότητα αυτών για 6 διαφορετικές χρήσεις νερού (ύδρευση, αναψυχή, διαβίωση ιχθύων, διαβίωση οστρακοειδών, γεωργία και βιομηχανία). Κατά τον υπολογισμό της τιμής του ολικού δείκτη, σύμφωνα με την παρούσα μεθοδολογία, λαμβάνονται υπόψιν συνολικά 12 ποιοτικές μεταβλητές, οι οποίες παρουσιάζονται στην 1^η στήλη του Πίνακα 4.21. Στη 2^η και 3^η στήλη του πίνακα, παρατίθενται οι παράμετροι οι οποίες προσμετρήθηκαν, βάσει των διαθέσιμων δεδομένων, κατά τον προσδιορισμό του δείκτη για την περίπτωση του ταμειντήρα Πολυφύτου και του ποταμού Βοσβόζη, αντίστοιχα. Όσον αφορά στην ποιοτική μεταβλητή της θερμοκρασίας, διευκρινίζεται ότι βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, η τιμή της παραμέτρου αφορά στη διαφορά της τρέχουσας θερμοκρασίας του αέρα κατά τη χρονική στιγμή της εκάστοτε δειγματοληψίας από τη μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία του δεδομένου μήνα. Λόγω απουσίας ημερησίων δεδομένων θερμοκρασίας του αέρα για τους επιμέρους δειγματοληπτικούς σταθμούς, κατά τη διάρκεια των μελετώμενων περιόδων, σε καθένα από τα 2 εξεταζόμενα υδατικά σώματα, η συγκεκριμένη παράμετρος εξαιρέθηκε από τη διαδικασία.

Οι συναρτήσεις των υπο-δεικτών των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των μετρηθεισών συγκεντρώσεων σε επίπεδα ποιότητας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.22.

Πίνακας 4.21: Ποιοτικές παράμετροι οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν κατά τον προσδιορισμό του δείκτη Dinius για κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής

Μεταβλητή	Εφαρμογή του δείκτη Dinius για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου	Εφαρμογή του δείκτη Dinius για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη
DO	✓	✓
BOD ₅	✓	✓
Αριθμός κολοβακτηριδίων	-	-
E. Coli	-	-
Αλκαλικότητα	-	-
Σκληρότητα	-	-
Χλώριο	-	-
Αγωγιμότητα	✓	✓
pH	✓	✓
Νιτρικά	✓	✓
Θερμοκρασία	-	-
Χρώμα	-	-

Πίνακας 4.22: Συναρτήσεις υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων σύμφωνα με το δείκτη Dinius

Μεταβλητή	Συνάρτηση υπο-δείκτη I _i
DO (%)	$0.82 \times DO + 10.56$
BOD ₅ (mg/L)	$108 \times (BOD_5)^{-0.3494}$
EC (μmhos/cm)	$506 \times (EC)^{-0.3315}$
pH	Για pH < 6.9: $10^{0.6803+0.1856 \times pH}$ Για 6.9 ≤ pH ≤ 7.1: 1 Για pH > 7.1: $10^{3.65-0.2216 \times pH}$
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	$125 \times (NO_3^- - N)^{-0.2718}$

Διευκρινίζεται ότι οι ανωτέρω συναρτήσεις, παρότι αποδίδουν την τιμή του εκάστοτε υπο-δείκτη για γενική χρήση νερού, έχουν διαμορφωθεί κατά τρόπο τέτοιο ώστε καθεμία από αυτές να ενσωματώνει την επίπτωση της μεταβολής της συγκέντρωσης της αντίστοιχης ποιοτικής παραμέτρου σε καθεμία από τις χρήσεις στις οποίες αφορά ο δείκτης, καθώς και τη συγκριτική σημαντικότητα της μεταβλητής για την αξιολόγηση κάθε χρήσης ξεχωριστά. Βάσει των συναρτήσεων αυτών, η μετρηθείσα συγκέντρωση κάθε επιμέρους μεταβλητής, ανά ημερομηνία και σταθμό δειγματοληψίας, για καθένα από τα 2 μελετώμενα σώματα, μετετρέπη στη τιμή του αντίστοιχου υπο-δείκτη. Η τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας ανά δειγματοληψία υπολογίστηκε μέσω της ακόλουθης εξίσωσης συνυπολογισμού των επιμέρους υπο-δεικτών:

$$WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad (4.4)$$

όπου:

WQI: ο ολικός δείκτης ποιότητας, ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 100

I_i : ο υπο-δείκτης της i μεταβλητής (0 έως 100)

n : το πλήθος των μεταβλητών

w_i : το μοναδιαίο βάρος της i μεταβλητής, τέτοιο ώστε να ισχύει $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Σύμφωνα με την παρούσα μέθοδο και βάσει της σημαντικότητας κάθε παραμέτρου στην ολική ποιότητα του νερού, τα μοναδιαία βάρη των ποιοτικών μεταβλητών έχουν οριστεί λαμβάνοντας υπόψιν τις δοθείσες βαθμολογίες σημαντικότητας, οι οποίες παρατίθενται στην 1^η στήλη του Πίνακα 4.23.

Πίνακας 4.23: Αναπροσαρμογή συντελεστών σημαντικότητας κατά την εφαρμογή του δείκτη Dinius

Παράμετρος	Βαθμολογία σχετικής σημαντικότητας (από 1 έως 5, με 5=μέγιστη σημαντικότητα)	Αρχικό μοναδιαίο βάρος w_i	Τροποποιημένο μοναδιαίο βάρος μετά την αφαίρεση των μη διαθέσιμων ποιοτικών παραμέτρων
DO	4.7	0.109	0.241
BOD ₅	4.2	0.097	0.215
EC	3.4	0.079	0.174
pH	3.3	0.077	0.169
NO ₃ ⁻ -N	3.9	0.090	0.200
Αριθμός κολοβακτηριδίων	3.9	0.090	-
E. Coli	5	0.116	-
Αλκαλικότητα	2.7	0.063	-
Σκληρότητα	2.8	0.065	-
Χλώριο	3.2	0.074	-
Θερμοκρασία	3.3	0.077	-
Χρώμα	2.7	0.063	-
Άθροισμα	43.10	1.000	1.000

Υπενθυμίζεται ότι οι τιμές των εν λόγω βαθμολογιών αποδόθηκαν στις επιμέρους παραμέτρους από την επιστημονική επιτροπή διαμόρφωσης του παρόντος δείκτη και κυμαίνονται από το 0 έως το 5, με την τιμή 5 να υποδηλώνει τη μέγιστη σχετική σημαντικότητα της δεδομένης παραμέτρου στη συνολική ποιότητα του νερού. Βάσει των βαθμολογιών αυτών, το μοναδιαίο βάρος κάθε παραμέτρου προέκυψε διαιρώντας τη βαθμολογία σημαντικότητας της δεδομένης μεταβλητής με το άθροισμα των βαθμολογιών σημαντικότητας του συνόλου των μεταβλητών (2^η στήλη του Πίνακα 4.23). Στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι ο δείκτης εφαρμόστηκε συνυπολογίζοντας μικρότερο αριθμό ποιοτικών μεταβλητών, τα μοναδιαία βάρη υπολογίστηκαν εκ νέου λαμβάνοντας υπόψιν την προαναφερθείσα λογική. Αναλυτικότερα, για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, υπολογίστηκε το πηλίκο του βαθμού της σχετικής σημαντικότητας της δεδομένης μεταβλητής προς το νέο άθροισμα των βαθμολογιών σημαντικότητας του συνόλου των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν κατά τον

υπολογισμό του δείκτη στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τα αναπροσαρμοσμένα μοναδιαία βάρη των μεταβλητών παρουσιάζονται στην 3^η στήλη του Πίνακα 4.23.

Μέσω της εφαρμογής της Εξ. (4.4), για κάθε επιμέρους δειγματοληψία, για καθέναν από τους σταθμούς παρακολούθησης και για καθένα από τα εξεταζόμενα σώματα ξεχωριστά, προέκυψε μία τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας κατά Dinius. Η ερμηνεία της τιμής αυτής και η απόδοση σε αυτήν ενός χαρακτηρισμού της υφιστάμενης ποιοτικής κατάστασης, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί βάσει του Πίνακα 3.9, ο οποίος παρατέθηκε στην Υποενότητα 3.5.7. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, παρότι το εξαγόμενο αποτέλεσμα της συγκεκριμένης υπολογιστικής μεθόδου είναι μία ενιαία τιμή, η οποία αφορά στη συνολική ποιότητα του νερού, η ερμηνεία της τιμής αυτής και η απόδοση σε αυτήν ενός ορισμένου χαρακτηρισμού ο οποίος θα αντανάκλα την υφιστάμενη ποιοτική κατάσταση του εξεταζόμενου σώματος τη δεδομένη χρονική στιγμή, υλοποιείται ξεχωριστά για καθεμία από τις έξι χρήσεις νερού. Η απουσία ενιαίου συστήματος ταξινόμησης, έχει ως συνέπεια μία ορισμένη τιμή του τελικού δείκτη ποιότητας να αντιστοιχίζεται σε διαφορετική ποιοτική κλάση, ανάλογα με τη θεωρούμενη κάθε φορά χρήση νερού. Επιπλέον, διαφορετικά εύρη της κλίμακας τιμών του ολικού δείκτη συνδέονται με διαφορετικά επίπεδα υποβάθμισης για κάθε επιμέρους χρήση, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται διαφορετικός αριθμός κλάσεων σε κάθε περίπτωση. Ομοιότητες παρατηρούνται, ωστόσο, μεταξύ των χρήσεων «διαβίωση ιχθύων»-«διαβίωση οστρακοειδών» και «άρδευση»-«βιομηχανία», οι οποίες εμφανίζουν ανά δύο ίσο αριθμό ποιοτικών κλάσεων (6) και όμοια άνω και κάτω όρια αυτών. Αντίστοιχα, με βάση το πλαίσιο ταξινόμησης της μεθόδου, διαμορφώνονται έξι ποιοτικές τάξεις για τη χρήση της αναψυχής και 5 για εκείνη της ύδρευσης (βλ. Πίνακα 3.9). Στην κατεύθυνση απλοποίησης του εν λόγω συστήματος ταξινόμησης και προκειμένου η μέθοδος να καταστεί συγκρίσιμη με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, ο Πίνακας 3.9 τροποποιήθηκε κατά τρόπο τέτοιο ώστε για το σύνολο των εξεταζόμενων χρήσεων να διαμορφώνονται συνολικά 5 ποιοτικές κλάσεις. Για το σκοπό αυτό, στην περίπτωση των χρήσεων «αναψυχής», «διαβίωσης ιχθύων», «διαβίωσης οστρακοειδών», «άρδευσης» και «βιομηχανίας», οι δύο κατώτερες κλάσεις της ποιοτικής κατάταξης συγχωνεύτηκαν σε μία. Το τροποποιημένο σύστημα ταξινόμησης της μεθόδου παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.24, όπου αναγράφονται, ανά θεωρούμενη χρήση, ο χαρακτηρισμός ποιότητας, καθώς και ο αριθμός της ποιοτικής τάξης (σε παρένθεση) για τα διάφορα εύρη διακύμανσης της τιμής του ολικού δείκτη.

Στους Πίνακες 4.25 έως 4.27, παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία υπολογισμού καθώς και τα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης, για τις τρεις πρώτες δειγματοληψίες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο σταθμό παρακολούθησης P₁ (μέτρηση επιφανείας) της λίμνης Πολυφύτου. Το σύνολο των πινάκων υπολογισμού για τις 2 περιπτώσεις εφαρμογής (ταμιευτήρας Πολυφύτου και ποταμός Βοσβόζης) και για κάθε εξεταζόμενη θέση παρουσιάζεται στα σχετικά Παραρτήματα, ενώ συγκεντρωτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων ανά περίπτωση εφαρμογής και θεωρούμενο σταθμό παρακολούθησης παρατίθενται στο Κεφάλαιο 5.

Πίνακας 4.24: Τροποποιημένο σύστημα ταξινόμησης της ποιοτικής κατάστασης κατά Dinius

Επίπεδα ρύπανσης (100=βέλτιστη ποιότητα)	Χρήσεις νερού							
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Αγροτική χρήση	Βιομηχανική χρήση		
100	Δεν απαιτείται καθαρισμός (5)	Αποδεκτή ποιότητα για κάθε είδους αθλητική δραστηριότητα (5)	Αποδεκτή ποιότητα για όλα τα είδη ψαριών (5)	Αποδεκτή ποιότητα για όλα τα είδη οστρακοειδών (5)	Δεν απαιτείται καθαρισμός (5)	Δεν απαιτείται καθαρισμός (5)		
90	Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός (4)				Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός για καλλιέργειες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας νερού (4)	Απαιτείται στοιχειώδης καθαρισμός για βιομηχανίες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας νερού (4)		
80	Εντατικοποίηση της απαιτούμενης επεξεργασίας (3)				Έναρξη ρύπανσης- Ακόμη αποδεκτός αριθμός βακτηρίων (4)	Οριακή ποιότητα για ευαίσθητα είδη ψαριών (4)	Οριακή ποιότητα για ευαίσθητα είδη οστρακοειδών (4)	Δεν απαιτείται επεξεργασία για άρδευση των συνήθων καλλιέργειών (3)
70		Αμφίβολη ποιότητα για ευαίσθητα είδη ψαριών (3)	Αμφίβολη ποιότητα για ευαίσθητα είδη οστρακοειδών (3)					
60								
50	Αμφίβολη ποιότητα (2)	Αμφίβολη ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό (3)	Κατάλληλο μόνο για ανθεκτικά ψάρια (2)	Κατάλληλο μόνο για ανθεκτικά οστρακοειδή (2)	Απαιτείται εντατική επεξεργασία για χρήση στις συνήθεις καλλιέργειες (2)	Απαιτείται εντατική επεξεργασία για χρήση στις συνήθεις βιομηχανίες (2)		
40	Μη αποδεκτή ποιότητα (1)	Μη αποδεκτή ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό (2)	Μη αποδεκτή ποιότητα (1)	Μη αποδεκτή ποιότητα (1)	Μη αποδεκτή ποιότητα (1)	Μη αποδεκτή ποιότητα (1)		
30		Έμφανής ρύπανση-Μη αποδεκτή ποιότητα (1)						
20								
10								

Πίνακας 4.25: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών κατά την εφαρμογή του δείκτη Dinius - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια								
Μετρηθείσες συγκεντρώσεις ποιοτικών μεταβλητών								
Ημερομηνία	pH	Θερμοκρασία T (°C)	Συγκέντρωση			Αγωγιμότητα EC (μmhos/cm)	Νιτρικά NO ₃ ⁻ - N (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)
			κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (% sat)			
21/6/2004	8.41	25.20	8.35	7.60	91.0	371.00	0.155	5.90
23/7/2004	8.39	27.60	7.98	5.93	74.3	363.00	0.000	19.70
23/8/2004	8.31	24.80	8.41	5.62	66.8	332.00	0.000	5.90

Πίνακας 4.26: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια						
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	61.14	85.2	71.19	100.000	58.09	74.22
23/7/2004	61.77	71.5	71.70	100.000	38.12	65.17
23/8/2004	64.34	65.4	73.86	100.000	58.09	70.68

Πίνακας 4.27: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Ημερομηνία	Ποιοτική κλάση ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	3	5	5	5	4	4

4.8 Εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού (Weighted Arithmetic Water Quality Index)

Σύμφωνα με τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί στην Υποενότητα 3.5.15, ο συγκεκριμένος δείκτης αφορά στην αξιολόγηση επιφανειακών υδάτινων σωμάτων βάσει της καταλληλότητας τους για χρήση πόσιμου νερού, ενώ ο προσδιορισμός της τιμής του βασίζεται στο βαθμό ικανοποίησης συγκεκριμένων ποιοτικών ορίων τα οποία ορίζονται από το χρήστη. Ως εκ τούτου, καθίσταται αντιληπτό ότι ο εν λόγω δείκτης δε δύναται να τεθεί σε σύγκριση με τους υπόλοιπους δείκτες ποιότητας, οι οποίοι εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς λόγω της χρήσης νερού που αξιολογεί, οδηγεί σε κατά πολύ αυστηρότερα αποτελέσματα όσον αφορά στην ποιοτική κατάσταση των εξεταζόμενων σωμάτων. Ωστόσο, δεδομένου ότι συνιστά έναν ιδιαίτερα εύχρηστο, ευέλικτο και διαδεδομένο δείκτη, η εφαρμογή του σε ερευνητικό επίπεδο και η παράθεση των σχετικών αποτελεσμάτων, θεωρήθηκαν χρήσιμα στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Όσον αφορά στη διαδικασία υπολογισμού του παρόντος δείκτη, υπενθυμίζεται ότι η τιμή αυτού προκύπτει ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών των υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της ποιοτικής αξιολόγησης. Η στάθμιση των τελευταίων υλοποιείται μέσω κατάλληλων συντελεστών βαρύτητας, οι οποίοι, για κάθε παράμετρο ξεχωριστά υπολογίζονται βάσει της ακόλουθης εξίσωσης:

$$w_i = \frac{1}{s_i \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{s_i}\right)} \quad (4.5)$$

όπου:

w_i : ο συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου i

S_i : η συνιστώμενη τιμή της συγκέντρωσης της μεταβλητής i , σύμφωνα με τα ισχύοντα ποιοτικά πρότυπα.

n : το πλήθος των συνυπολογιζόμενων παραμέτρων

Οι πρότυπες τιμές συγκέντρωσης (S_i) των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών, οι οποίες αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.27 και αφορούν, ως επί το πλείστον, στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση, ώστε να συνάδουν με τον προσανατολισμό της παρούσας μεθοδολογίας. Κατ' εξαίρεση και λόγω απουσίας σχετικών δεδομένων, για την περίπτωση της μεταβλητής του ολικού φωσφόρου, το αντίστοιχο ποιοτικό όριο λήφθηκε από τον CCME (2001) και αφορά σε συνιστώμενη τιμή συγκέντρωσης για τη διατήρηση της υδρόβιας ζωής. Το σύνολο των ποιοτικών ορίων των υπολοίπων παραμέτρων προσδιορίστηκαν συνθετικά βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ «σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», της Κοινής Υπουργικής Απόφασης 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986) και του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (WHO 1993). Η επιλογή των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψη στη διαδικασία της ποιοτικής αξιολόγησης καθενός εκ των 2 εξεταζόμενων σωμάτων, πραγματοποιήθηκε βάσει βιβλιογραφικής διερεύνησης για τον προσδιορισμό των συχνότερα χρησιμοποιούμενων κατά την εφαρμογή του εν λόγω δείκτη παραμέτρων, αλλά και βάσει των διαθέσιμων δεδομένων ποιότητας. Οι μεταβλητές οι οποίες

προσμετρήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη σε κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής φαίνονται στον Πίνακα 4.27.

Για κάθε επιμέρους παράμετρο, η τιμή του αντίστοιχου υπο-δείκτη υπολογίστηκε συναρτήσει της πρότυπης (S_i), της μετρηθείσας (V_i) και της ιδανικής (V_0) τιμής της συγκέντρωσης, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_i = 100 \times \frac{|V_i - V_0|}{|S_i - V_0|} \quad (4.6)$$

όπου:

V_i : η μετρημένη τιμή της συγκέντρωσης της εκάστοτε ποιοτικής μεταβλητής

V_0 : η ιδανική τιμή συγκέντρωσης της δεδομένης ποιοτικής παραμέτρου σε συνθήκες καθαρού νερού.

Βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, η ιδανική τιμή της συγκέντρωσης κάθε επιμέρους ποιοτικής μεταβλητής, ισούται με 0 για το σύνολο των παραμέτρων, εκτός από τις μεταβλητές του pH και του διαλυμένου οξυγόνου, για τις οποίες η τιμή αυτή λαμβάνεται ίση με 7 και 14,6 mg/l, αντίστοιχα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και αναφορικά με την παράμετρο του DO, αντί της ανωτέρω τιμής λήφθηκε υπόψιν η τιμή η οποία αντιστοιχεί στη συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου, προσέγγιση η οποία θεωρήθηκε ότι δύναται να οδηγήσει σε περισσότερο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Με την ίδια λογική, η ιδανική τιμή συγκέντρωσης της μεταβλητής του pH τροποποιήθηκε από 7 σε 7.5 προκειμένου να προσεγγίσει κατά το δυνατόν περισσότερο τις μέσες συνθήκες των γλυκών επιφανειακών νερών του ελλαδικού χώρου.

Μέσω της εφαρμογής της Εξ. (4.6) για κάθε επιμέρους παράμετρο, υπολογίστηκε η τιμή του αντίστοιχου υπο-δείκτη ανά δειγματοληψία, για κάθε επιμέρους σταθμό παρακολούθησης και για καθένα από τα 2 εξεταζόμενα σώματα. Εν συνεχεία, η τελική τιμή του δείκτη ανά ημερομηνία δειγματοληψίας προέκυψε ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψιν τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας, όπως αυτοί υπολογίστηκαν μέσω της Εξ. (4.5).

Η αντιστοίχιση των τιμών του δείκτη ποιότητας σε μία εκ των 5 ποιοτικών τάξεων, έτσι όπως αυτές ορίζονται βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης το οποίο παρετέθη στην Υποενότητα 3.5.15 (Πίνακας 3.13).

Στους Πίνακες 4.28 έως 4.30 παρατίθενται ενδεικτικά η υπολογιστική διαδικασία, καθώς και τα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης βάσει της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας, για τις 3 πρώτες δειγματοληψίες του σταθμού παρακολούθησης P₁ (μέτρηση επιφανείας) του ταμιευτήρα Πολυφύτου. Οι υπολογισμοί για το σύνολο των δειγματοληψιών και των μετρητικών σταθμών, για καθένα από τα εξεταζόμενα σώματα, παρουσιάζονται αναλυτικά στα αντίστοιχα παραρτήματα, ενώ συγκεντρωτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων ανά δειγματοληψία, σταθμό και εξεταζόμενο υδατικό σώμα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 5.

Πίνακας 4.28: Παράμετροι ποιότητας ανά περίπτωση εφαρμογής, πρότυπες και ιδανικές τιμές συγκέντρωσης κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη Ποιότητας Νερού

Παράμετρος	Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου	Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης	Συνιστώμενη πρότυπη τιμή συγκέντρωσης S_i	Πηγή	Ιδανική τιμή συγκέντρωσης V_0
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	✓	✓	2500	Οδηγία 98/83/ΕΚ	0
DO (mg/L)	✓	✓	5	Οδηγία 98/83/ΕΚ	Συγκέντρωση κορεσμού
pH	✓	✓	6.5-9.5 (8)	Οδηγία 98/83/ΕΚ	7.5
TSS (mg/L)	✓	-	25	Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986)	0
Θολερότητα (NTU)	✓	-	5	WHO (1993)	0
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L)	✓	✓	0.5	Οδηγία 98/83/ΕΚ	0
$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/L)	✓	✓	50	Οδηγία 98/83/ΕΚ	0
$\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/L)	✓	✓	3	WHO (1993)	0
TKN (mg/L)	✓	✓	1	Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986)	0
TP (mg/L)	✓	✓	0.05	CCME (2001)	0
BOD ₅ (mg/L)	✓	✓	3	Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986)	0
COD (mg/L)	✓	✓	30	Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986)	0

Πίνακας 4.29: Καταγραφή μετρηθεισών συγκεντρώσεων ποιοτικών μεταβλητών κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P1-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια													
Μετρηθείσες τιμές συγκέντρωσης V_i των ποιοτικών μεταβλητών													
Ημερομηνία	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Διαλυμένο οξυγόνο DO (mg/L)	Συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου (mg/L)	pH	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (mg/L)	Θολερότητα (NTU)	Αμμωνία NH_4^+-N (mg/L)	Νιτρικά NO_3^--N (mg/L)	Νιτρώδη NO_2^--N (mg/L)	Άζωτο κατά Kjeldalh TKN (mg/L)	Ολικός Φωσφόρος TP (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)
21/6/2004	371.00	7.60	8.35	8.41			0.11	0.155	0.010	4.40	0.02	5.90	76.80
23/7/2004	363.00	5.93	7.98	8.39	0.70	1.35	0.11	0.000	0.006	2.20	0.10	19.70	28.80
23/8/2004	332.00	5.62	8.41	8.31	39.50	10.97	0.07	0.000	0.000	2.38	0.10	5.90	28.80

Πίνακας 4.30: Υπολογισμός υπο-δεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P1-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια												
Υπολογισμός τιμής Q_i κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH_4^+-N	NO_3^--N	NO_2^--N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου $w_i=1/[S_i \times \sum(1/S_i)]$												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	14.84	22.34	182.00		21.76	0.31	0.32	440.00	47.20	196.67	256.00	
23/7/2004	14.52	68.79	178.00	2.80	27.03	21.26	0.00	0.21	220.00	194.60	656.67	96.00
23/8/2004	13.28	81.82	162.00	158.00	219.43	14.58	0.00	0.01	238.00	194.60	196.67	96.00

Πίνακας 4.31: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P1-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI=\sum(QIw_i)/\sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	181.93	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμο νερού	1
23/8/2004	177.67	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμο νερού	1

5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, κατά την εφαρμογή καθενός από τους 7 Δείκτες Ποιότητας Νερού, οι οποίοι εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, σε καθένα από τα 2 εξεταζόμενα υδατικά σώματα, ξεχωριστά. Ειδικότερα, στις ακόλουθες ενότητες, για κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής και για καθέναν από τους εφαρμοζόμενους δείκτες, παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες καθώς και διαγράμματα με τα αποτελέσματα των τιμών του εκάστοτε δείκτη αλλά και της συνεπαγόμενης ποιοτικής κλάσης. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται για το σύνολο της μελετώμενης, σε κάθε επιμέρους περίπτωση, περιόδου και για καθέναν από τους δειγματοληπτικούς σταθμούς, αντίστοιχα. Επιπλέον, για κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής και εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, προσδιορίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των χρησιμοποιηθεισών ποιοτικών παραμέτρων και της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας, προκειμένου να καταδειχθούν οι μεταβλητές οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων και, παράλληλα, να διευκολυνθεί η ερμηνεία αυτών.

5.1 Αποτελέσματα Δεικτών Ποιότητας Νερού-περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου

5.1.1 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη ρύπανσης Prati

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας του δείκτη Prati για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου. Επιπλέον, μέσω των διαγραμμάτων που ακολουθούν (Εικόνα 5.1) καθίσταται εφικτή η συσχέτιση μεταξύ των επιμέρους αποτελεσμάτων, καθώς και η συγκριτική απεικόνιση της μεταβολής των τιμών του δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης για καθέναν από τους εξεταζόμενους σταθμούς (P_1 , P_2 , P_3) και μετρούμενα βάθη (επιφάνεια και πυθμένας). Επισημαίνεται ότι ο συγκεκριμένος δείκτης συνιστά δείκτη «ρύπανσης» και, ως εκ τούτου, υψηλότερες τιμές αυτού υποδηλώνουν δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας του νερού.

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.1, ποικίλα συμπεράσματα είναι δυνατόν να εξαχθούν. Καταρχήν, παρατηρείται ότι η βέλτιστη ποιότητα νερού (χαμηλότερη τιμή του δείκτη), για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και των επιμέρους θέσεων, σημειώνεται στο σταθμό P_3 (μέτρηση επιφανείας) το Σεπτέμβριο του 2004, με την τιμή του δείκτη να ισούται με 1.14, υποδηλώνοντας «αποδεκτή ποιότητα νερού» (ποιοτική κλάση 4). Αντίστοιχα, η υψηλότερη τιμή του δείκτη (7.17) προέκυψε κατά το μήνα Μάιο του 2005 στο σταθμό παρακολούθησης P_1 (μέτρηση πυθμένα), κατατάσσοντας το εξεταζόμενο σώμα στη 2^η ποιοτική κλάση και υποδηλώνοντας κατάσταση «ρύπανσης». Η εν λόγω τιμή συνδέεται κυρίως με την ταυτοχρόνως ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (2710 mg/L) και του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (96 mg/L) το δεδομένο μήνα στη συγκεκριμένη θέση δειγματοληψίας.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν σε επίπεδο δειγματοληπτικού σταθμού, για καθένα από τα 2 μετρούμενα βάθη, εκείνο το οποίο μπορεί να διαπιστωθεί είναι ότι για τους δειγματοληπτικούς σταθμούς P_1 και P_2 οι τιμές του δείκτη εμφανίζονται υψηλότερες (χαμηλότερη ποιότητα νερού) για την περίπτωση της μέτρησης του πυθμένα, για την πλειονότητα των δειγματοληψιών. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει στην περίπτωση του σταθμού P_3 , όπου οι τιμές του ολικού δείκτη ρύπανσης μπορούν να θεωρηθούν συγκρίσιμες για τα 2 επιμέρους βάθη.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

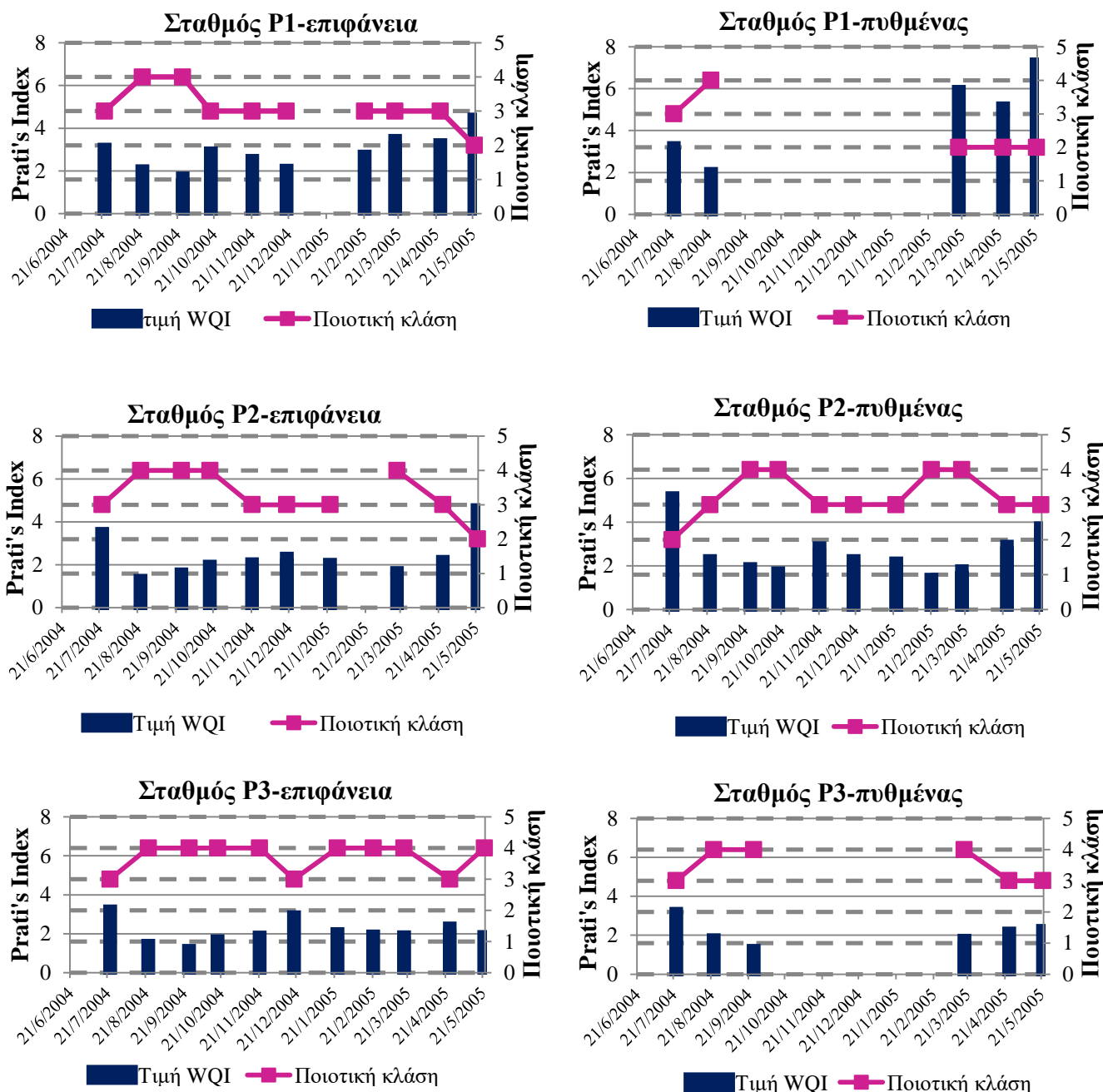
Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά σταθμό και δειγματοληψία						
Ημερομηνία	P ₁ - επιφάνεια	P ₁ - πυθμένας	P ₂ - επιφάνεια	P ₂ - πυθμένας	P ₃ - επιφάνεια	P ₃ - πυθμένας
21/6/2004						
23/7/2004	3.01	3.18	3.45	5.11	3.16	3.11
23/8/2004	2.00	1.94	1.28	2.24	1.40	1.77
25/9/2004	1.66		1.57	1.87	1.14	1.21
18/10/2004	2.84		1.93	1.67	1.63	
21/11/2004	2.48		2.04	2.82	1.82	
19/12/2004	2.02		2.30	2.23	2.86	
23/1/2005			2.01	2.12	2.00	
21/2/2005	2.69			1.38	1.88	
18/3/2005	3.43	5.87	1.63	1.77	1.84	1.74
24/4/2005	3.23	5.07	2.16	2.90	2.28	2.10
22/5/2005	4.42	7.17	4.56	3.73	1.85	2.24
Min	1.66	1.94	1.28	1.38	1.14	1.21
Max	4.42	7.17	4.56	5.11	3.16	3.11

Τέλος, όσον αφορά στις διαφορές οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ των αποτελεσμάτων ποιότητας των επιμέρους δειγματοληπτικών σταθμών, για το ίδιο βάθος μέτρησης κάθε φορά, και όσον αφορά, σε πρώτη φάση, στη μέτρηση επιφανείας, παρατηρείται ότι, για το σύνολο των σταθμών, προκύπτουν τιμές του δείκτη της ίδιας τάξης μεγέθους. Σημειώνεται, παρόλα αυτά, ότι για την περίπτωση του σταθμού P₁ (επιφάνεια) προκύπτει ελαφρώς χαμηλότερη ποιότητα νερού, σε σύγκριση με τους κατάντη σταθμούς, για την πλειονότητα των δειγματοληψιών. Για την περίπτωση των μετρήσεων πυθμένα, παρουσιάζονται σημαντικότερες αποκλίσεις όσον αφορά στην τιμή του δείκτη, μεταξύ των επιμέρους σταθμών, γεγονός το οποίο πιθανώς οφείλεται στο διαφορετικό βάθος του ταμιευτήρα σε καθεμία από τις εξεταζόμενες θέσεις και στη διαμόρφωση, κατ' επέκταση, διαφορετικών συνθηκών ποιότητας σε καθεμία από αυτές.

Στην Εικόνα 5.1, παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης καθώς και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης. Διαπιστώνεται ότι, βάσει της μεθοδολογίας του παρόντος δείκτη, η ποιοτική κλάση στην οποία κατατάσσεται ο εξεταζόμενος ταμιευτήρας για κάθε επιμέρους δειγματοληψία, κυμαίνεται μεταξύ 2 («κατάσταση ρύπανσης») και 4 («αποδεκτή ποιότητα νερού»), για τους σταθμούς P₁ και P₂ και για τα 2 μετρούμενα βάθη, ενώ μικρότερη διακύμανση της ποιοτικής τάξης παρατηρείται στην περίπτωση του σταθμού P₃ (μέτρηση επιφανείας και μέτρηση πυθμένα), όπου η ποιοτική κατάσταση, για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου, κυμαίνεται μεταξύ των τάξεων 3 («ελαφριά ρύπανση») και 4.

Ο Πίνακας 5.2 περιλαμβάνει τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους παραμέτρων ποιότητας που λήφθηκαν υπόψιν κατά τον προσδιορισμό του δείκτη βάσει της μεθοδολογίας των Prati et al. (1971) και της τελικής τιμής αυτού. Βάσει των εν λόγω συντελεστών, παρατηρείται ότι οι μεταβλητές των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD) είναι εκείνες οι οποίες παρουσιάζουν την υψηλότερη συσχέτιση με την υπολογισθείσα τιμή

του δείκτη ρύπανσης Prati. Ειδικότερα, το θετικό πρόσημο των συντελεστών συσχέτισης, για καθεμία από τις 2 παραμέτρους, συνεπάγεται την αύξηση της τιμής του δείκτη (επιδείνωση της ποιότητας του νερού) για αύξηση των τιμών συγκέντρωσης των συγκεκριμένων μεταβλητών, ενώ η αισθητά υψηλότερη απόλυτη τιμή των συντελεστών, συγκριτικά με τις συσχετίσεις μεταξύ της τελικής τιμής του δείκτη και των υπολοίπων ποιοτικών μεταβλητών, υποδηλώνει τη σημαντικά μεγαλύτερη συνεισφορά των παραμέτρων αυτών στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.1: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης των Prati et al. και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P₁, P₂ και P₃) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου

Η σημαντική εξάρτηση της τελικής τιμής του δείκτη από τις παραμέτρους των TSS και του COD ερμηνεύεται από τη φύση της εξίσωσης συνυπολογισμού των υποδεικτών των επιμέρους ποιοτικών

παραμέτρων. Δεδομένου ότι ο προσδιορισμός της τελικής τιμής του δείκτη ρύπανσης, σύμφωνα με την παρούσα μεθοδολογία, βασίζεται στον υπολογισμό του αριθμητικού μέσου όρου των επιμέρους υποδεικτών, χωρίς να πραγματοποιείται στάθμιση αυτών βάσει της σημαντικότητας των αντίστοιχων παραμέτρων, είναι αναμενόμενο η τιμή του τελικού αποτελέσματος να επηρεάζεται σημαντικά από τις ακραίες (ιδιαίτερος υψηλές) τιμές του δείγματος.

Πίνακας 5.2: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ρύπανσης Prati για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	0.089
DO	0.103
TSS	0.842
NH ₄ ⁺ -N	-0.068
NO ₃ ⁻ -N	-0.031
BOD ₅	0.227
COD	0.514

5.1.2 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Bhargava

Στον Πίνακα 5.3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τιμών του ολικού δείκτη ποιότητας για την περίπτωση της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, έτσι όπως αυτές προσδιορίστηκαν βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Bhargava, για το σύνολο των εξεταζόμενων θέσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης του ταμιευτήρα.

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

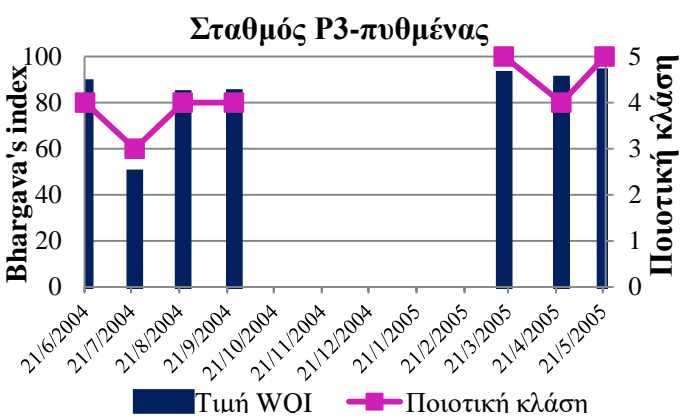
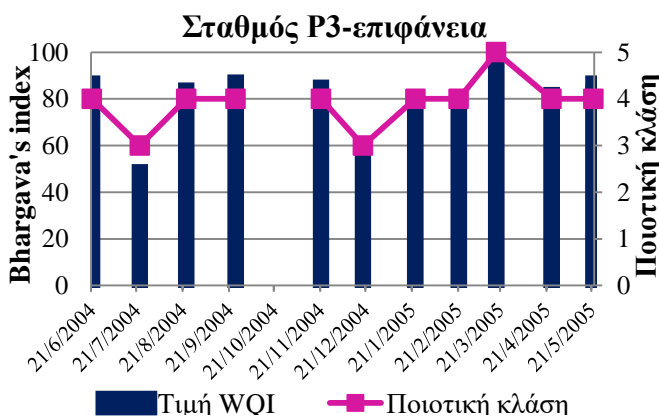
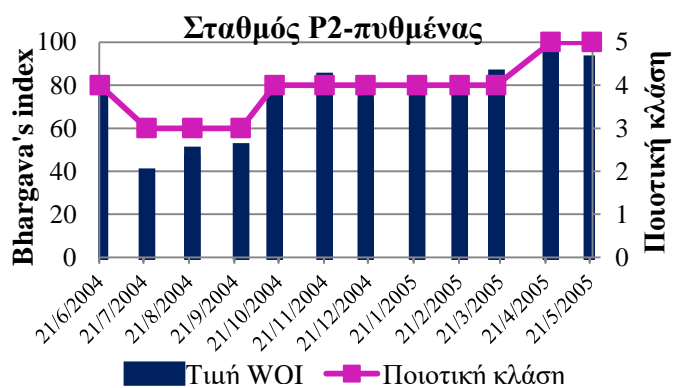
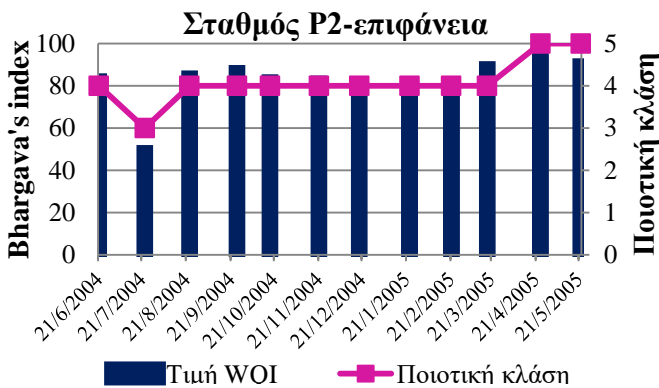
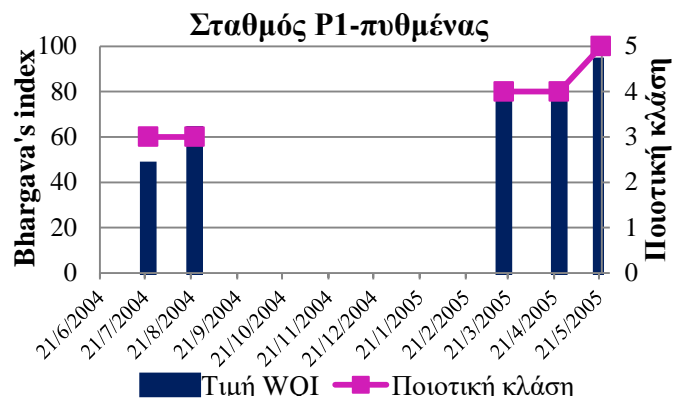
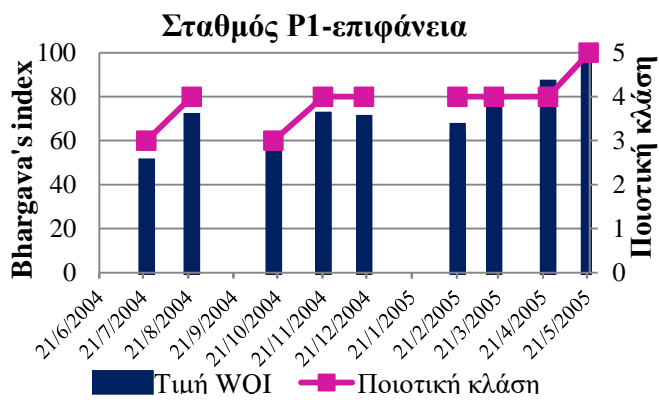
Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά σταθμό και δειγματοληψία					
	P ₁ - επιφάνεια	P ₁ - πυθμένας	P ₂ - επιφάνεια	P ₂ - πυθμένας	P ₃ - επιφάνεια	P ₃ - πυθμένας
21/6/2004			82.10	80.72	86.62	86.70
23/7/2004	48.27	45.62	48.16	37.56	48.62	47.47
23/8/2004	68.93	61.32	83.48	47.68	83.56	81.97
25/9/2004			86.10	49.41	87.06	82.40
18/10/2004	60.53		81.76	79.50		
21/11/2004	69.48		81.02	82.21	84.83	
19/12/2004	68.05		73.61	72.51	60.13	
23/1/2005			80.85	79.94	75.34	
21/2/2005	64.37		79.01	76.89	79.43	
18/3/2005	77.56	79.23	87.90	83.70	92.58	90.30
24/4/2005	84.02	80.33	94.81	94.85	81.72	88.18
22/5/2005	92.66	91.48	89.21	90.23	86.57	91.41
Min	48.27	45.62	48.16	37.56	48.62	47.47
Max	92.66	91.48	94.81	94.85	92.58	91.41

Σύμφωνα με τα ανωτέρω αποτελέσματα, παρατηρείται ότι τόσο η υψηλότερη (94.85) όσο και η χαμηλότερη (37.56) τιμή του δείκτη σημειώθηκαν στο σταθμό P₂ (μέτρηση πυθμένα) τον Απρίλιο του 2005 και τον Ιούλιο του 2004, αντίστοιχα. Βάσει του συστήματος ταξινόμησης του δείκτη Bhargava, οι τιμές αυτές συνεπάγονται την κατάταξη του εξεταζόμενου σώματος στις ποιοτικές κλάσεις 5 («άριστη ποιότητα νερού») και 3 («ικανοποιητική ποιότητα νερού»), αντίστοιχα. Η τιμή του δείκτη η οποία προέκυψε για το μήνα Ιούλιο, η οποία αντιπροσωπεύει και το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου και των επιμέρους σταθμών βάσει του οποίου ταξινομείται, εν τέλει, το εξεταζόμενο σώμα, φαίνεται να συνδέεται με τα χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (1.80 mg/L) και την ταυτοχρόνως υψηλή τιμή του BOD₅ (25.30 mg/L) το δεδομένο μήνα. Δεδομένου ότι ο προσδιορισμός του ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava βασίζεται στο συνυπολογισμό των τιμών του δείκτη ποιότητας για καθμία από τις 5 χρήσεις που λαμβάνει υπόψιν η μέθοδος, η χαμηλή τιμή αυτού οφείλεται στις επίσης χαμηλές τιμές οι οποίες προέκυψαν για τις χρήσεις «κολύμβηση», «κύδρευση» και «καλλιέργεια ιχθύων-έμμεση χρήση αναψυχής», ως απόρροια των προαναφερθέντων συγκεντρώσεων.

Σε επίπεδο δειγματοληπτικού σταθμού και αναφορικά με τους σταθμούς P₁ και P₂, παρατηρείται ότι για την πλειονότητα των επιμέρους δειγματοληψιών, προκύπτουν τιμές του δείκτη, οι οποίες υποδηλώνουν χαμηλότερη ποιότητα νερού για την περίπτωση της μέτρησης του πυθμένα, συγκριτικά με εκείνες που προέκυψαν για την περίπτωση της μέτρησης επιφανείας. Μάλιστα, οι τιμές του δείκτη μεταξύ των δύο επιμέρους βαθών παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις κατά την περίοδο μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου 2004, για το σταθμό P₂. Για την περίπτωση του σταθμού P₃, παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη, στα 2 επιμέρους βάθη, βρίσκονται κοντύτερα μεταξύ τους, ενώ δε φαίνεται να υπερτερεί ποιοτικά κάποια εκ των 2 θέσεων.

Όσον αφορά στην προκύπτουσα ποιοτική τάξη, για κάθε επιμέρους τιμή του δείκτη που υπολογίστηκε, παρατηρείται ότι για το σύνολο των επιμέρους σταθμών και μετρηθέντων βαθών, αυτή κυμαίνεται από 3 έως 5 (Εικόνα 5.2), τιμές οι οποίες υποδηλώνουν «ικανοποιητική ποιότητα» και «άριστη ποιότητα» νερού, αντίστοιχα.

Η σημαντική επιρροή των συγκεντρώσεων του DO και του BOD₅ στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του δείκτη Bhargava, καθώς και στη διαμόρφωση των τιμών των δεικτών ποιότητας για κάθε επιμέρους χρήση νερού, επαληθεύεται μέσω των συντελεστών συσχέτισης, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4. Εκείνο το οποίο παρατηρείται είναι πως οι μεταβλητές των ανωτέρω παραμέτρων εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερη συσχέτιση, συγκρινόμενες με τις υπόλοιπες ποιοτικές παραμέτρους, τόσο με την τελική τιμή του ολικού δείκτη ποιότητας όσο και με τα αποτελέσματα των δεικτών ποιότητας κάθε επιμέρους χρήσης στην αξιολόγηση της οποίας συμμετέχουν.



Εικόνα 5.2: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Bhargava και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P₁, P₂ και P₃) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου

Πίνακας 5.4: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών και της τιμής του δείκτη ανά κατηγορία χρήσης νερού, καθώς και μεταξύ αυτών και της ολικής τιμής του δείκτη ποιότητας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία Bhargava

Συντελεστής συσχέτισης						
Ποιοτική μεταβλητή	Κολύμβηση	Υδρευση	Άρδευση	Βιομηχανία	Καλλιέργεια ιχθύων, έμμεση χρήση αναψυχής	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού
T	-	-	-	-	-0.315	-0.253
DO	0.557	0.587	-	-	0.550	0.569
BOD ₅	-0.771	-0.747	-	-	-0.770	-0.765
NH ₄ ⁺ -N	-0.083	-	-	-	-	-0.087
EC	-	-	-1.000	-1.000	-	-0.351

5.1.3 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Oregon

Τα αποτελέσματα του ολικού δείκτη ποιότητας, έτσι όπως αυτά προέκυψαν βάσει της μεθοδολογίας Oregon, για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και για κάθε επιμέρους σταθμό παρακολούθησης και βάθος, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon ανά σταθμό και δειγματοληψία					
	P ₁ - επιφάνεια	P ₁ - πυθμένας	P ₂ - επιφάνεια	P ₂ - πυθμένας	P ₃ - επιφάνεια	P ₃ - πυθμένας
21/6/2004						
23/7/2004	23.70		24.48	18.36		24.69
23/8/2004	54.59	40.44	48.26	24.95	24.90	59.89
25/9/2004	69.24		24.92	18.45	61.43	23.86
18/10/2004	18.31		49.94	34.86	24.52	
21/11/2004	70.45		24.15	44.43	24.29	
19/12/2004	37.98					
23/1/2005			43.33	37.54	18.41	
21/2/2005	24.57		31.18	25.64	21.75	
18/3/2005	25.08	25.31		57.39	25.45	84.83
24/4/2005	24.13	21.50	62.07	25.61	22.83	70.34
22/5/2005	25.23	25.32	25.22	25.31	25.45	81.77
Min	18.31	21.50	24.15	18.36	18.41	23.86
Max	70.45	40.44	62.07	57.39	61.43	84.83

Βάσει των ανωτέρω αποτελεσμάτων, παρατηρείται ότι η χαμηλότερη τιμή του δείκτη και, κατά συνέπεια, η δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας για το εξεταζόμενο σώμα σημειώνεται το μήνα Οκτώβριο (18/10/2004) στο σταθμό P₁ (επιφάνεια) και ισούται με 18.31 (ποιοτική τάξη 1), υποδηλώνοντας «πολύ φτωχή ποιότητα νερού». Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα του ολικού δείκτη διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από τις εξίσου χαμηλές τιμές των υποδεικτών των παραμέτρων του ολικού φωσφόρου (TP) και των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS). Βάσει των συναρτήσεων

μετατροπής της παρούσας μεθόδου, οι συγκεκριμένοι υποδείκτες για συγκεντρώσεις των TP και TSS ίσες με 0.251 mg/L και 324.40 mg/L, αντίστοιχα, προέκυψαν ίσοι με 10. Η υψηλότερη τιμή του δείκτη προέκυψε κατά το μήνα Μάρτιο (18/3/2005) στο σταθμό P₃ (πυθμένας) και ισούται με 84.83, υποδηλώνοντας «καλή ποιότητα νερού» (ποιοτική κλάση 4).

Σε ό,τι αφορά στις διαφορές οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ των 2 μετρούμενων βαθμών, για τον ίδιο σταθμό παρακολούθησης, και ξεκινώντας από το δειγματοληπτικό σταθμό P₁, εκείνο το οποίο παρατηρείται είναι ότι οι τιμές του ολικού δείκτη Oregon οι οποίες προέκυψαν για τα 2 επιμέρους βάθη, είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, υποδηλώνοντας παρόμοιες συνθήκες ποιότητας στις 2 θέσεις. Αντιθέτως, σημαντικότερες αποκλίσεις στις τιμές του δείκτη παρατηρούνται μεταξύ των 2 επιμέρους βαθμών για τους σταθμούς P₂ και P₃. Ειδικότερα, οι τιμές του δείκτη υποδεικνύουν σημαντικά υψηλότερη ποιότητα στον πυθμένα του σταθμού P₃ σε σύγκριση με την επιφάνεια, για την πλειονότητα των δειγματοληψιών, ενώ στην περίπτωση του σταθμού P₂ συμβαίνει το αντίθετο.

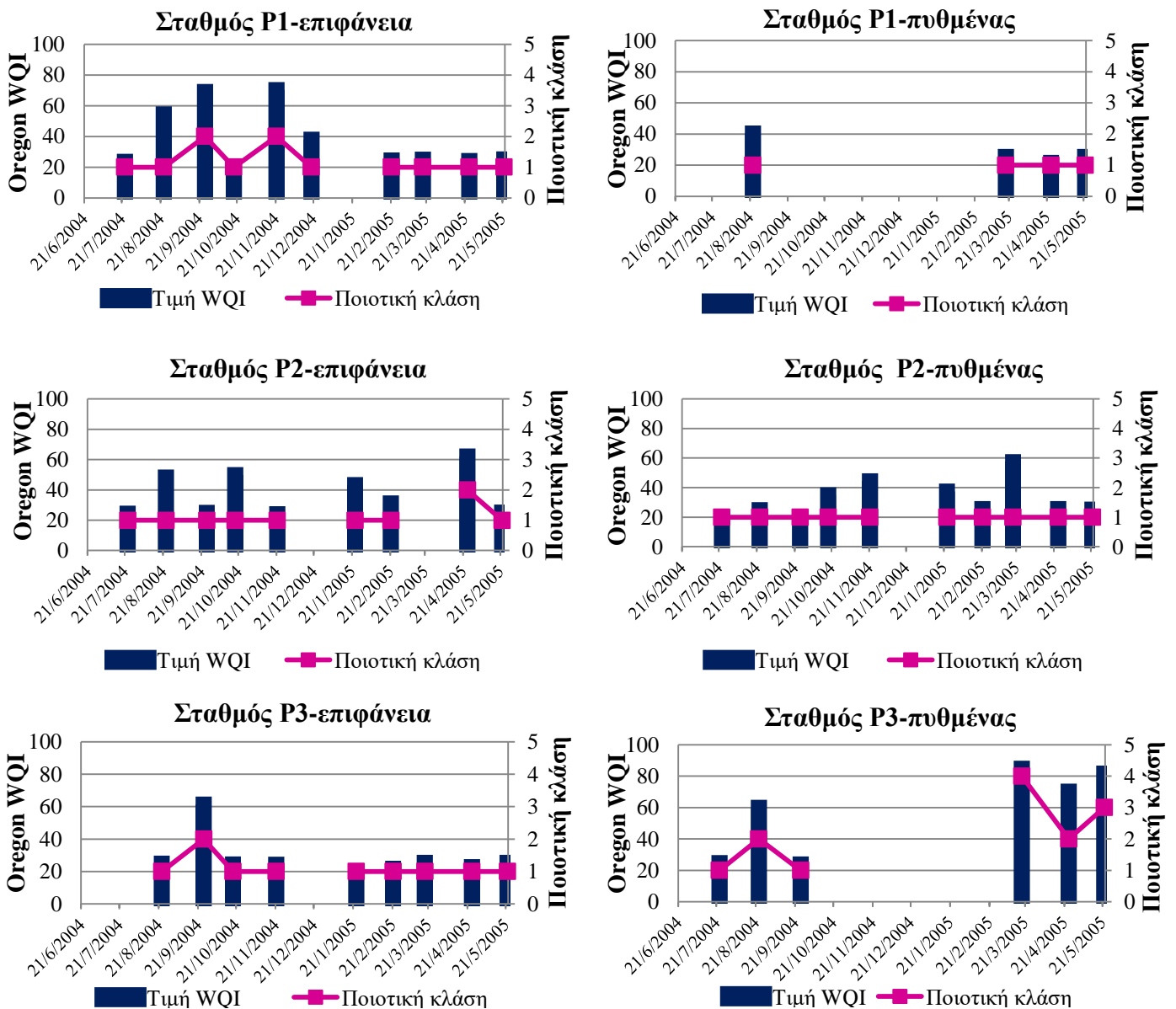
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν σε καθέναν από τους 3 σταθμούς παρακολούθησης, για το ίδιο βάθος μέτρησης, και ξεκινώντας από την περίπτωση της μέτρησης επιφανείας, παρατηρείται ότι δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με την ποιοτική υπεροχή κάποιου εκ των τριών σταθμών έναντι των υπολοίπων. Εκείνο το οποίο, ωστόσο, διαπιστώνεται είναι ότι στο σταθμό παρακολούθησης P₃ η τιμή του δείκτη παρουσιάζει αισθητά μικρότερη διακύμανση συγκριτικά με τους 2 άλλους σταθμούς. Αναφορικά με τη μέτρηση πυθμένα, παρατηρείται ότι στο σταθμό παρακολούθησης P₃ σημειώνονται υψηλότερες τιμές του δείκτη (καλύτερη ποιοτική κατάσταση) συγκριτικά με τους 2 άλλους σταθμούς, για το σύνολο των δειγματοληψιών.

Στην Εικόνα 5.3, παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του δείκτη Oregon, καθώς και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης στην οποία κατατάσσεται το εξεταζόμενο σώμα βάσει της τιμής αυτής, για καθεμία από τις εξεταζόμενες θέσεις. Παρατηρείται ότι για την περίπτωση της μέτρησης επιφανείας, για το σύνολο των σταθμών (P₁, P₂ και P₃) ο αριθμός της ποιοτικής τάξης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 («πολύ φτωχή» και «φτωχή» ποιότητα νερού, αντίστοιχα), ενώ για τη μέτρηση πυθμένα και τους σταθμούς P₁ και P₂ ο αριθμός της ποιοτικής κλάσης παραμένει σταθερός και ίσος με 1 για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου. Την υψηλότερη διακύμανση εμφανίζει η ποιοτική κλάση στο σταθμό P₃ (μέτρηση πυθμένα), όπου λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 και 4 («καλή ποιότητα νερού»).

Μέσω της διαδικασίας προσδιορισμού των συσχετίσεων μεταξύ των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων και της τελικής τιμής του δείκτη Oregon (Πίνακας 5.6), απεδείχθη ότι, στην παρούσα μέθοδο, το τελικό αποτέλεσμα προέκυψε βάσει της συνδυασμένης συνεισφοράς του συνόλου των μεταβλητών, δεδομένου ότι καμία παράμετρος δεν παρουσίασε σημαντικά υψηλότερη τιμή του συντελεστή συσχέτισης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Ελαφρώς σημαντικότερα φαίνεται, ωστόσο, να συνεισέφεραν στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων οι μεταβλητές DO και TSS με τιμές του συντελεστή ίσες με 0.252 και -0.225, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.6: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Oregon για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	-0.047
DO	0.252
BOD ₅	-0.189
(NH ₄ ⁺ -N)+(NO ₃ ⁻ -N)	0.109
T	0.050
TP	-0.176
TSS	-0.225



Εικόνα 5.3: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P₁, P₂ και P₃) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου

5.1.4 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Dinius

Στον Πίνακα 5.7, παρατίθενται τα αποτελέσματα του δείκτη ποιότητας Dinius, έτσι όπως αυτός εκτιμήθηκε για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και για το σύνολο των θέσεων παρακολούθησης του ταμιευτήρα Πολυφύτου.

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius ανά σταθμό και δειγματοληψία						
Ημερομηνία	P ₁ - επιφάνεια	P ₁ - πυθμένας	P ₂ - επιφάνεια	P ₂ - πυθμένας	P ₃ - επιφάνεια	P ₃ - πυθμένας
21/6/2004	74.22	47.34	71.47	70.37	75.61	74.75
23/7/2004	65.17	61.17	63.84	52.40	64.78	62.25
23/8/2004	70.68	31.70	74.78	56.67	74.85	71.34
25/9/2004	81.67		73.51	64.05	77.94	73.76
18/10/2004	76.18		71.41	69.85	71.24	
21/11/2004	71.16		65.61	69.57	69.77	
19/12/2004	66.26		65.33	64.80	55.29	
23/1/2005			70.66	72.61	65.44	
21/2/2005	63.30		69.59	68.86	64.68	
18/3/2005	70.63	74.49	76.97	74.04	75.62	74.62
24/4/2005	70.31	68.52	87.90	85.26	63.74	68.56
22/5/2005	78.08	79.01	78.09	77.17	73.14	76.72
Min	63.30	31.70	63.84	52.40	55.29	62.25
Max	81.67	79.01	87.90	85.26	77.94	76.72

Παρατηρείται ότι η χαμηλότερη ποιότητα νερού εντός της δειγματοληπτικής περιόδου, η οποία αντιστοιχεί στη τιμή 31.70, προέκυψε το μήνα Αύγουστο (23/8/2004) στο σταθμό P₁ (μέτρηση πυθμένα). Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα οφείλεται κυρίως στα σχετικά χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (45.3 % της συγκέντρωσης κορεσμού) καθώς και στη σχετικά υψηλή συγκέντρωση του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (5.9 mg/L) που εντοπίστηκαν κατά τη δεδομένη δειγματοληψία. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι, σύμφωνα με την παρούσα μεθοδολογία, δεν παρέχεται η δυνατότητα κατάταξης του εξεταζόμενου σώματος σε μία ορισμένη ποιοτική τάξη βάσει της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας, καθώς βάσει της τιμής αυτής δύναται να ταξινομηθεί σε διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας ανάλογα με τη θεωρούμενη κάθε φορά χρήση νερού. Βάσει, λοιπόν, της δυσμενέστερης κατάστασης ποιότητας, η οποία εντοπίστηκε στο σταθμό P₁ στις 23/8/2004, ο μελετώμενος ταμιευτήρας κατατάσσεται στην κατηγορία ποιότητας 1 («μη αποδεκτή ποιότητα νερού») για τις χρήσεις «ύδρευση», «διαβίωση ιχθύων» και διαβίωση οστρακοειδών», ενώ για τις χρήσεις «αναψυχή», «άρδευση» και «βιομηχανία» ταξινομείται στην ποιοτική κατηγορία 2. Η 2^η κατηγορία ποιότητας για τις συγκεκριμένες χρήσεις εκφράζει κατά σειρά «μη αποδεκτή ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό», «απαίτηση εντατικής επεξεργασίας για χρήση στις συνήθεις καλλιέργειες» και «απαίτηση εντατικής επεξεργασίας για χρήση στις συνήθεις βιομηχανίες». Η υψηλότερη ποιότητα νερού (υψηλότερη τιμή του δείκτη) κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου σημειώθηκε το μήνα Απρίλιο (24/4/2005) στο σταθμό P₂ (μέτρηση επιφανείας) και ισούται με 87.9. Η τιμή αυτή υποδηλώνει «απαίτηση στοιχειώδους καθαρισμού»

(ποιοτική κατηγορία 4) για χρήση ύδρευσης, «αποδεκτή ποιότητα νερού για κάθε είδους δραστηριότητα» (ποιοτική κατηγορία 5) για χρήση αναψυχής, «αποδεκτή ποιότητα για όλα τα είδη ιχθύων και οστρακοειδών» (ποιοτική κατηγορία 5) για τις χρήσεις «διαβίωση ιχθύων» και «διαβίωση οστρακοειδών», αντίστοιχα, ενώ για την αγροτική και τη βιομηχανική χρήση νερού, η συγκεκριμένη τιμή συνεπάγεται την «απαίτηση στοιχειώδους καθαρισμού του νερού για χρήση αυτού σε καλλιέργειες ή βιομηχανίες με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας» (ποιοτική κατηγορία 4).

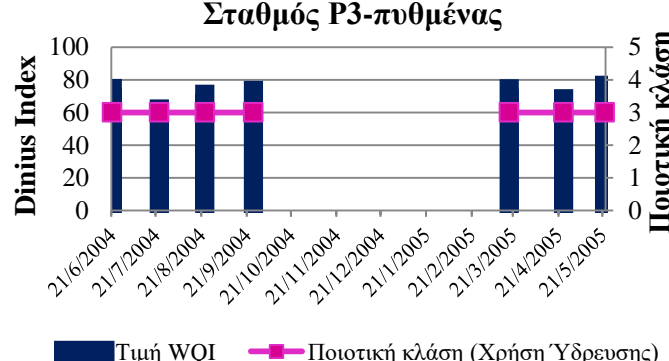
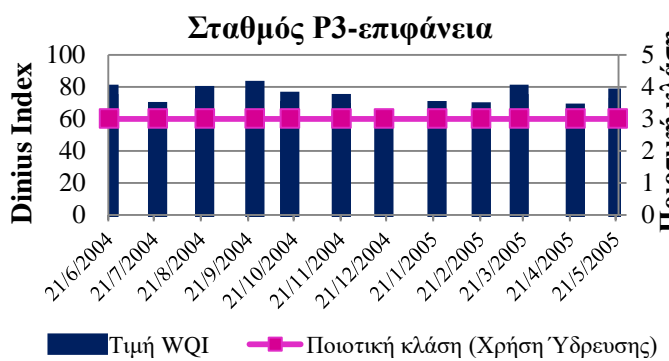
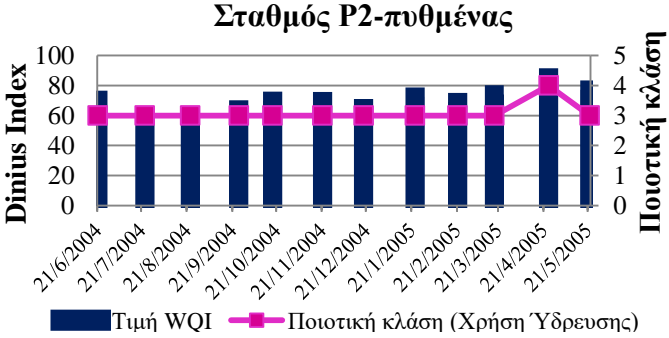
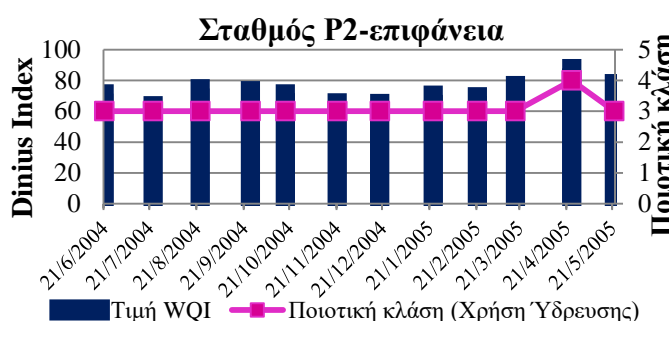
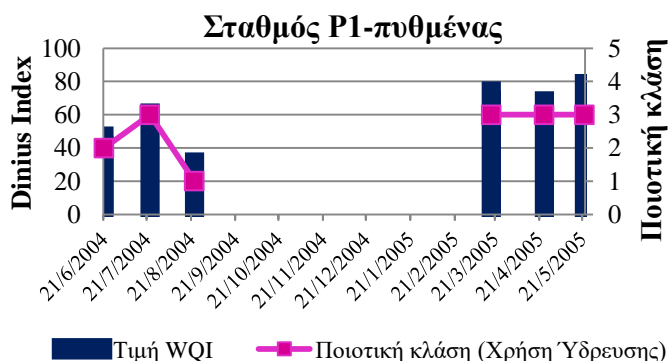
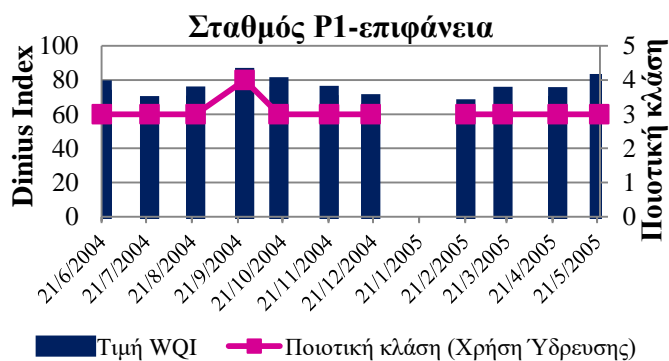
Μελετώντας τις αποκλίσεις οι οποίες προκύπτουν στις τιμές του δείκτη μεταξύ των δύο διαφορετικών βαθών μέτρησης, για κάθε επιμέρους σταθμό ξεχωριστά, εκείνο το οποίο παρατηρείται είναι ότι, για το σύνολο των σταθμών, κατά το διάστημα μεταξύ των μηνών Ιουνίου και Σεπτεμβρίου σημειώνονται υψηλότερες τιμές του δείκτη (καλύτερες συνθήκες ποιότητας) στον πυθμένα, συγκριτικά με την επιφάνεια. Κατά το υπόλοιπο διάστημα της περιόδου παρακολούθησης, παρόμοιες συνθήκες ποιότητας παρατηρούνται μεταξύ των 2 βαθών μέτρησης.

Τέλος, σε επίπεδο σταθμού και θεωρώντας το ίδιο βάθος μέτρησης, παρατηρείται ότι για την περίπτωση, αρχικά, της μέτρησης επιφανείας, για τους 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα του δείκτη ποιότητας για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου, ενώ δε φαίνεται να υπερτερεί ποιοτικά κάποια εκ των τριών θέσεων παρακολούθησης. Σχετικά υψηλότερες αποκλίσεις στις τιμές του δείκτη εντοπίζονται, παρόλα αυτά, μεταξύ των 3 σταθμών στην περίπτωση της μέτρησης πυθμένα.

Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου σε καθεμία από τις έξι θέσεις παρακολούθησης. Επιπλέον, όσον αφορά στη συνεπαγόμενη ποιοτική τάξη, διευκρινίζεται ότι για λόγους απλοποίησης επιλέχθηκε να αναπαρασταθεί διαγραμματικά η διακύμανση της ποιοτικής κατηγορίας για την περίπτωση της χρήσης ύδρευσης, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη κατηγορία χρήσης νερού θεωρείται ως η κρισιμότερη μεταξύ των επιμέρους χρήσεων για τις οποίες αξιοποιείται ο ταμιευτήρας. Μάλιστα, αξίζει να σημειωθεί ότι η ποιοτική κλάση στην οποία ταξινομείται το μελετώμενο σώμα βάσει της τιμής του ολικού δείκτη και λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση ύδρευσης, είναι, σε κάθε περίπτωση, κατώτερη ή ίση από την ποιοτική κατηγορία που προκύπτει βάσει των υπολοίπων πέντε χρήσεων.

Παρατηρώντας την Εικόνα 5.4, διαπιστώνεται ότι για το σταθμό P₂ (επιφάνεια και πυθμένας), καθώς και για τη μέτρηση επιφανείας του σταθμού P₁ η ποιοτική κλάση κυμαίνεται μεταξύ 3 («απαίτηση εντατικής επεξεργασίας») και 4. Η υψηλότερη διακύμανση παρουσιάζεται στο σταθμό P₁ (μέτρηση πυθμένας), όπου η ποιοτική κατηγορία κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3, ενώ για την περίπτωση του σταθμού P₃ (επιφάνεια και πυθμένας) το εξεταζόμενο σώμα κατατάσσεται σταθερά στην 3^η ποιοτική κλάση για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου.

Η διαδικασία προσδιορισμού των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων και της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius, έδειξε ότι η παράμετρος η οποία συνεισφέρει πρωτίστως στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος, είναι εκείνη του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ ακολουθούν το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Πίνακας 5.8).



Εικόνα 5.4: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Dinius και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης (για χρήση ύδρευσης), ανά σταθμό (P₁, P₂ και P₃) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου

Πίνακας 5.8: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Dinius για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	0.223
DO	0.680
NO ₃ ⁻ -N	0.305
BOD ₅	-0.433
EC	-0.471

5.1.5 Αποτελέσματα βάσει του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη

Μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη για το σύνολο των δειγματοληψιών και των επιμέρους θέσεων παρακολούθησης στον ταμιευτήρα Πολυφύτου, προέκυψαν τα αποτελέσματα των τιμών του ολικού δείκτη, τα οποία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.9).

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη ανά σταθμό και δειγματοληψία					
	P ₁ - επιφάνεια	P ₁ - πυθμένας	P ₂ - επιφάνεια	P ₂ - πυθμένας	P ₃ - επιφάνεια	P ₃ - πυθμένας
21/6/2004						
23/7/2004	181.93		158.28	41.26		44.12
23/8/2004	177.67	168.45	210.74	102.23	47.49	91.02
25/9/2004			716.69	480.21	93.16	473.70
18/10/2004	469.00		31.26	40.71		
21/11/2004	238.24		455.49	94.74	154.71	
19/12/2004	354.61					
23/1/2005			67.47	63.35	115.25	
21/2/2005	275.07			112.08	105.62	
18/3/2005	187.74	168.96		55.32	68.62	49.63
24/4/2005	131.01	297.96	96.82	108.34	81.78	148.82
22/5/2005	52.26	171.76	49.01	103.60	53.94	115.67
Min	52.26	168.96	31.26	40.71	47.49	44.12
Max	469.00	297.96	716.69	480.21	154.71	473.70

Βάσει των ανωτέρω αποτελεσμάτων, παρατηρείται ότι τόσο η υψηλότερη (716.69) όσο και η χαμηλότερη (31.26) τιμή του δείκτη σημειώθηκαν στο σταθμό P₂ (μέτρηση επιφανείας) τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, αντίστοιχα. Η ιδιαίτερα υψηλή τιμή του δείκτη η οποία προέκυψε κατά το μήνα Σεπτέμβριο και η οποία, βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, αντιστοιχεί στο δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας, συνδέεται κατά κύριο λόγο με τις συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου (0.41 mg/L) και του αζώτου κατά Kjeldahl (6.6 mg/L) οι οποίες ανιχνεύτηκαν κατά τη δεδομένη δειγματοληψία, καθώς και στο συγκριτικά υψηλότερο συντελεστή βαρύτητας ο οποίος αποδόθηκε στις εν λόγω παραμέτρους κατά τη διαδικασία συνυπολογισμού του συνόλου των μεταβλητών για τον προσδιορισμό της τελικής τιμής του δείκτη. Σύμφωνα με την παρούσα μεθοδολογία, η τιμή 31.26 αντιστοιχεί στην ποιοτική τάξη 4 («καλή ποιότητα νερού»), ενώ βάσει της τιμής 716.69, το εξεταζόμενο σώμα κατατάσσεται στην κατηγορία ποιότητας 1, η οποία υποδηλώνει «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού».

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα του δείκτη, τα οποία προέκυψαν για κάθε επιμέρους βάθος μέτρησης, διαπιστώνεται ότι στους σταθμούς P₁ και P₂ δεν παρατηρείται κάποια ουσιαστική υπεροχή αναφορικά με τις συνθήκες ποιότητας σε κάποια από τις 2 θέσεις (πυθμένας ή επιφάνεια). Στην περίπτωση ωστόσο του σταθμού P₃, παρατηρείται ότι στον πυθμένα εντοπίζονται

χαμηλότερες συνθήκες ποιότητας του νερού (υψηλότερες τιμές του δείκτη) για την πλειονότητα των δειγματοληψιών.

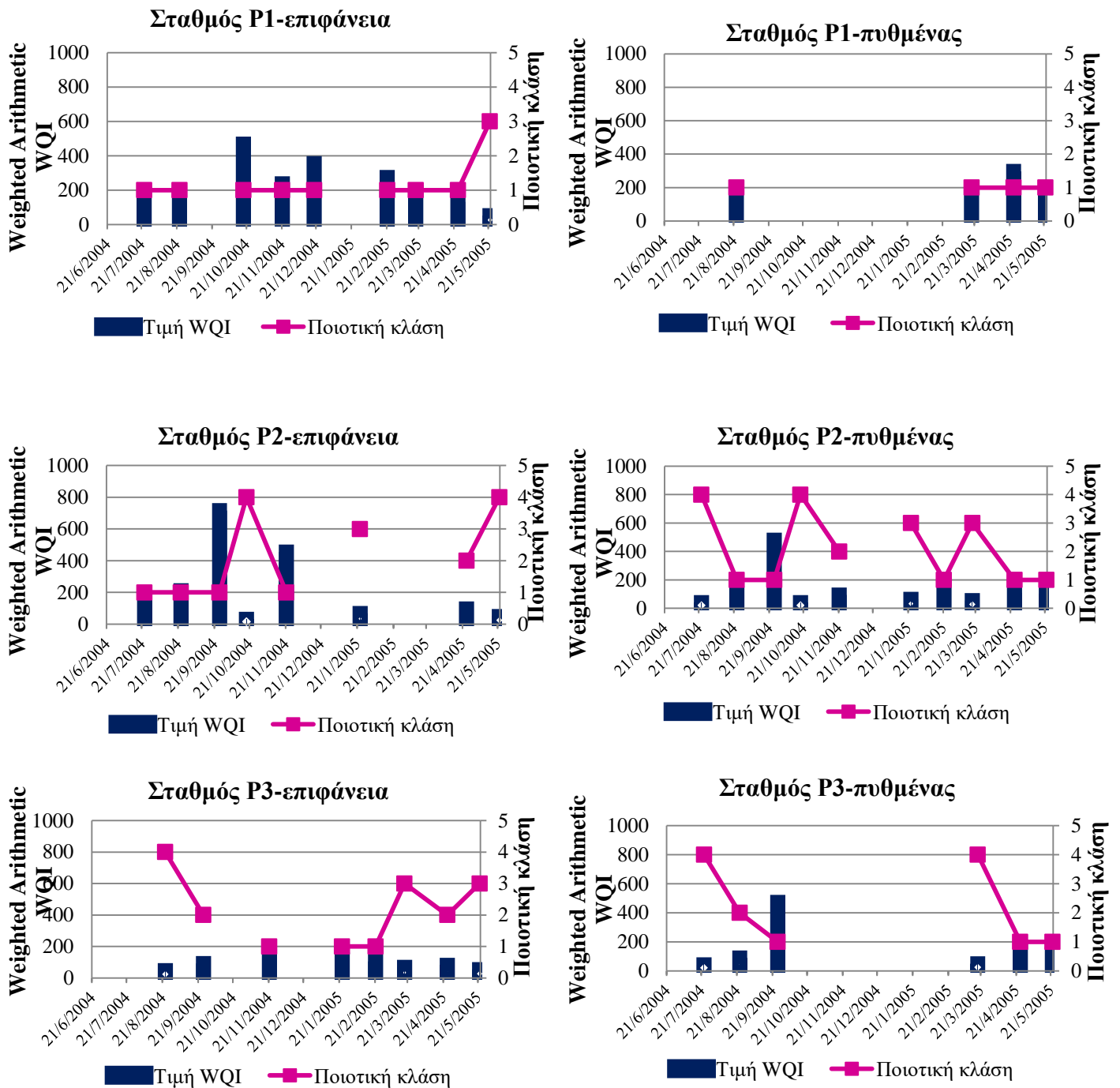
Σε επίπεδο δειγματοληπτικού σταθμού και θεωρώντας το ίδιο βάθος μέτρησης, παρατηρείται ότι, για την περίπτωση, αρχικά, της μέτρησης επιφανείας, εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά στη διακύμανση της τιμής του δείκτη κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου σε καθέναν από τους 3 σταθμούς. Αναλυτικότερα διαπιστώνεται ότι τη μεγαλύτερη διακύμανση εμφανίζει η τιμή του δείκτη στο σταθμό παρακολούθησης P₂ και τη μικρότερη, αντίστοιχα, στο σταθμό P₃. Όσον αφορά στις συνθήκες ποιότητας στους 3 σταθμούς, για την περίπτωση της μέτρησης επιφανείας, παρατηρείται ότι για την πλειονότητα των δειγματοληψιών για τις οποίες έχει πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός του δείκτη και στους 3 σταθμούς, καλύτερη ποιότητα νερού εμφανίζει ο δειγματοληπτικός σταθμός P₃. Εξετάζοντας, εν συνεχεία, τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη για την περίπτωση της μέτρησης πυθμένα, διαπιστώνεται ότι ο δειγματοληπτικός σταθμός P₁ παρουσιάζει χαμηλότερη ποιότητα νερού (υψηλότερες τιμές του δείκτη) έναντι των 2 άλλων σταθμών, για το σύνολο των δειγματοληψιών.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Εικόνα 5.5), παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, για το σύνολο των δειγματοληψιών και θέσεων παρακολούθησης. Παρατηρείται ότι για τους σταθμούς P₂ και P₃, η ποιοτική κλάση κυμαίνεται από 1 έως 4, τόσο για τη μέτρηση της επιφανείας όσο και του πυθμένα, ενώ για το σταθμό P₁, η ποιοτική κατάσταση μεταβάλλεται μεταξύ των κλάσεων 1 και 3 («φτωχή ποιότητα νερού»), για την περίπτωση της μέτρησης επιφανείας, και παραμένει σταθερή και ίση με 1 για την περίπτωση της μέτρησης του πυθμένα.

Κατά τον προσδιορισμό των συντελεστών συσχέτισης των επιμέρους παραμέτρων, προέκυψε ότι η ποιοτική μεταβλητή η οποία επηρεάζει κατά κύριο το τελικό αποτέλεσμα της τιμής του ολικού σταθμισμένου αριθμητικού δείκτη είναι εκείνη της αμμωνίας (NH₄⁺-N), ενώ με σημαντικά χαμηλότερες συσχετίσεις ακολουθούν ο ολικός φωσφόρος (TP), το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και το άζωτο κατά Kjeldalh (TKN). Η συνεισφορά των υπολοίπων παραμέτρων είναι σχεδόν αμελητέα.

Πίνακας 5.10: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	-0.016
DO	-0.300
TSS	-0.030
NH ₄ ⁺ -N	0.974
NO ₃ ⁻ -N	-0.046
NO ₂ ⁻ -N	-0.058
TKN	0.235
BOD ₅	-0.116
COD	-0.224
EC	0.067
TP	0.388
Θολερότητα	0.114



Εικόνα 5.5: Διακύμανση της τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (P₁, P₂ και P₃) και βάθος μέτρησης (επιφάνεια και πυθμένας) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ταμιευτήρα Πολυφύτου

5.2 Αποτελέσματα Δεικτών Ποιότητας Νερού-περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

5.2.1 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη ρύπανσης Prati

Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη ρύπανσης Prati, έτσι όπως υπολογίστηκαν για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και για καθέναν από τους 3 σταθμούς παρακολούθησης του ποταμού Βοσβόζη, ξεχωριστά.

Παρατηρείται ότι υψηλότερη τιμή του δείκτη ρύπανσης (12.23), η οποία βάσει της παρούσας μεθοδολογίας εκφράζει τη δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας, σημειώνεται στο σταθμό παρακολούθησης GS₃ στις 27/9/2005. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης των Prati et al. (1971), η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί στη χαμηλότερη κατηγορία ποιότητας (ποιοτική κλάση 1) και υποδηλώνει κατάσταση «υψηλής ρύπανσης». Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα συνδέεται με τις ταυτοχρόνως ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις των παραμέτρων BOD₅ (57.8 mg/L) και COD (283.2 mg/L) κατά τη δεδομένη δειγματοληψία. Η υψηλότερη ποιοτική κατάσταση κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου (τιμή του δείκτη ίση με 1.01) σημειώθηκε στις 26/5/2006 στο σταθμό GS₁. Βάσει της συγκεκριμένης τιμής του δείκτη, η ποιότητα του νερού για τη δεδομένη δειγματοληψία χαρακτηρίζεται ως «αποδεκτή».

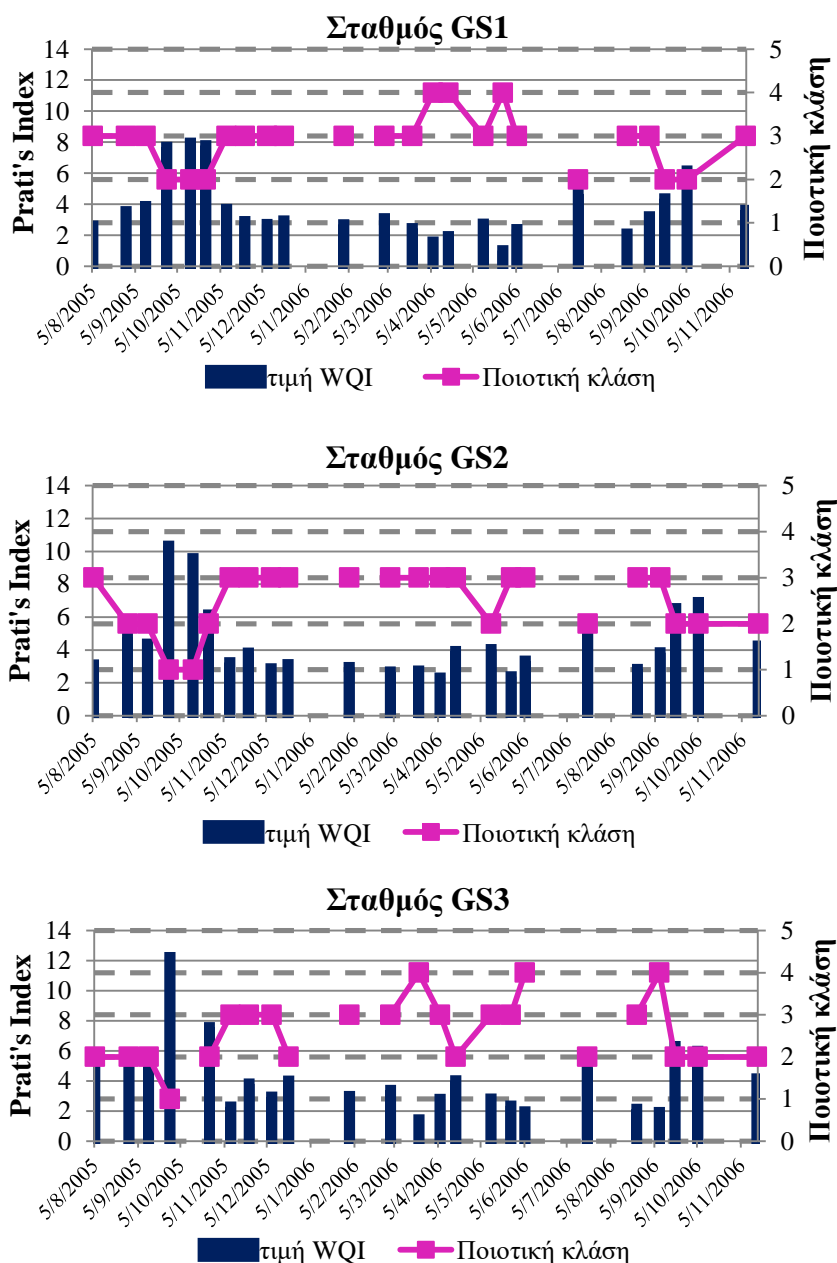
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν σε κάθε επιμέρους σταθμό, παρατηρείται ότι ο σταθμός GS₁ παρουσιάζει καλύτερη ποιότητα νερού (χαμηλότερες τιμές του δείκτη) από το σταθμό GS₂ για το σύνολο σχεδόν της δειγματοληπτικής περιόδου. Το γεγονός αυτό θεωρείται αναμενόμενο, δεδομένου ότι ο σταθμός GS₂ τοποθετείται κατάντη της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων της πόλης της Κομοτηνής, καθώς και πλησίον των γεωργικών εκτάσεων της περιοχής, εν αντιθέσει με το δειγματοληπτικό σταθμό GS₁, η θέση του οποίου στις παρυφές του ορεινού τμήματος της περιοχής, αντικατοπτρίζει την απουσία κάθε μορφής ανθρώπινης δραστηριότητας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει, ωστόσο, το γεγονός ότι ο σταθμός GS₃ (ανάντη της λίμνης Ισμαρίδας) παρουσιάζει χαμηλότερη ποιότητα νερού συγκρινόμενος με το σταθμό GS₂, σε σημαντικό αριθμό δειγματοληψιών. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την αδυναμία αφομοίωσης του εισερχομένου, στον ανάντη σταθμό (GS₂), ρυπαντικού φορτίου, καθώς και την περεταίρω υποβάθμιση της ποιότητας του υδατορεύματος στο τμήμα μεταξύ των 2 σταθμών.

Στην Εικόνα 5.6, παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του δείκτη ρύπανσης καθώς και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης. Την μεγαλύτερη διακύμανση της ποιοτικής κλάσης παρουσιάζει ο σταθμός GS₃, όπου το εξεταζόμενο σώμα, για τις διάφορες τιμές του δείκτη, ταξινομείται μεταξύ των κλάσεων 1 («υψηλή ρύπανση») και 4 («αποδεκτή ποιότητα νερού»). Για τους σταθμούς GS₁ και GS₂ η ποιοτική τάξη κυμαίνεται από 2 («κατάσταση ρύπανσης») έως 4 και από 1 έως 3 («κατάσταση ελαφριάς ρύπανσης»), αντίστοιχα.

Τέλος, στον Πίνακα 5.12 παρατίθενται οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους παραμέτρων και του τελικού αποτελέσματος της τιμής του δείκτη. Με βάση τα εν λόγω αποτελέσματα, επαληθεύεται η κυρίαρχη συνεισφορά των παραμέτρων BOD₅ και COD στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Prati ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	2.61	3.11	5.71
29/8/2005	3.54	4.76	4.98
12/9/2005	3.86	4.38	4.92
27/9/2005	7.68	10.33	12.23
14/10/2005	7.96	9.57	
25/10/2005	7.79	6.14	7.56
9/11/2005	3.68	3.25	2.29
22/11/2005	2.90	3.83	3.82
8/12/2005	2.72	2.87	2.95
20/12/2005	2.94	3.14	4.01
11/1/2006			
1/2/2006	2.69	2.96	2.99
14/2/2006			
2/3/2006	3.09	2.68	3.41
22/3/2006	2.46	2.75	1.45
6/4/2006	1.58	2.31	2.80
17/4/2006	1.94	3.93	4.03
12/5/2006	2.73	4.04	2.81
26/5/2006	1.01	2.40	2.34
5/6/2006	2.39	3.35	1.96
22/6/2006			
10/7/2006			
19/7/2006	4.68	5.33	4.85
7/8/2006			
23/8/2006	2.09	2.84	2.14
8/9/2006	3.21	3.85	1.93
19/9/2006	4.36	6.54	6.32
5/10/2006	6.15	6.90	6.00
16/11/2006	3.63	4.26	4.15
Min	1.01	2.31	1.45
Max	7.96	10.33	12.23



Εικόνα 5.6: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ρύπανσης των Prati et al. (1971) και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃), για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

Πίνακας 5.12: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ρύπανσης Prati για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	0.067
DO	-0.379
NH ₄ ⁺ -N	-0.038
NO ₃ ⁻ -N	-0.165
BOD ₅	0.876
COD	0.869

5.2.2 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Bhargava

Στον Πίνακα 5.13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ολικού δείκτη Bhargava, για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και σταθμό παρακολούθησης του εξεταζόμενου υδατορεύματος..

Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Bhargava ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	62.69	45.54	34.19
29/8/2005	63.65	30.89	36.76
12/9/2005	61.49	43.12	36.53
27/9/2005	41.76	27.77	33.23
14/10/2005	45.28	31.52	32.93
25/10/2005	46.48	36.11	36.78
9/11/2005	86.88	78.40	87.34
22/11/2005	98.31	84.03	79.04
8/12/2005	82.08	80.70	75.40
20/12/2005	71.18	61.13	42.84
11/1/2006	82.79	66.33	83.33
1/2/2006	76.64	64.31	67.82
14/2/2006			
2/3/2006	71.64	72.81	71.76
22/3/2006	80.46	80.14	87.06
6/4/2006	96.37	72.20	66.94
17/4/2006	93.14	40.66	41.40
12/5/2006	89.73	61.68	47.84
26/5/2006	91.38	67.33	65.49
5/6/2006	78.05	58.97	80.72
22/6/2006			
10/7/2006	88.77	39.10	36.57
19/7/2006	44.00	32.63	34.27
7/8/2006			
23/8/2006	69.79	53.84	79.56
8/9/2006	73.27	51.46	79.16
19/9/2006	47.91	34.65	34.18
5/10/2006	45.29	33.86	35.65
16/11/2006	88.27	72.47	74.88
Min	41.76	27.77	32.93
Max	98.31	84.03	87.34

Η υψηλότερη τιμή του δείκτη (98.31) υπολογίστηκε για το σταθμό GS₁ και αντιστοιχεί στη δειγματοληψία η οποία πραγματοποιήθηκε στις 22/11/2005. Η συγκεκριμένη τιμή του δείκτη αντιστοιχεί στην υψηλότερη κατηγορία ποιότητας (ποιοτική κλάση 5) της μεθοδολογίας Bhargava και υποδηλώνει «άριστη ποιότητα νερού». Η χαμηλότερη ποιότητα νερού κατά τη διάρκεια της

περιόδου παρακολούθησης, σημειώθηκε στις 27/9/2005 στο δειγματοληπτικό σταθμό GS₂, όπου η τιμή του ολικού δείκτη Bhargava υπολογίστηκε ίση με 27.77, κατατάσσοντας το εξεταζόμενο υδατόρευμα στην 2^η ποιοτική κλάση («φτωχή ποιότητα νερού»). Η ιδιαίτερα χαμηλή τιμή του ολικού δείκτη κατά τη δεδομένη δειγματοληψία οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (35.6 mg/L) και στη συνεπαγόμενη χαμηλή τιμή των δεικτών ποιότητας, για τις χρήσεις «κολύμβηση», «ύδρευση» και «καλλιέργεια ιχθύων-έμμεση χρήση αναψυχής».

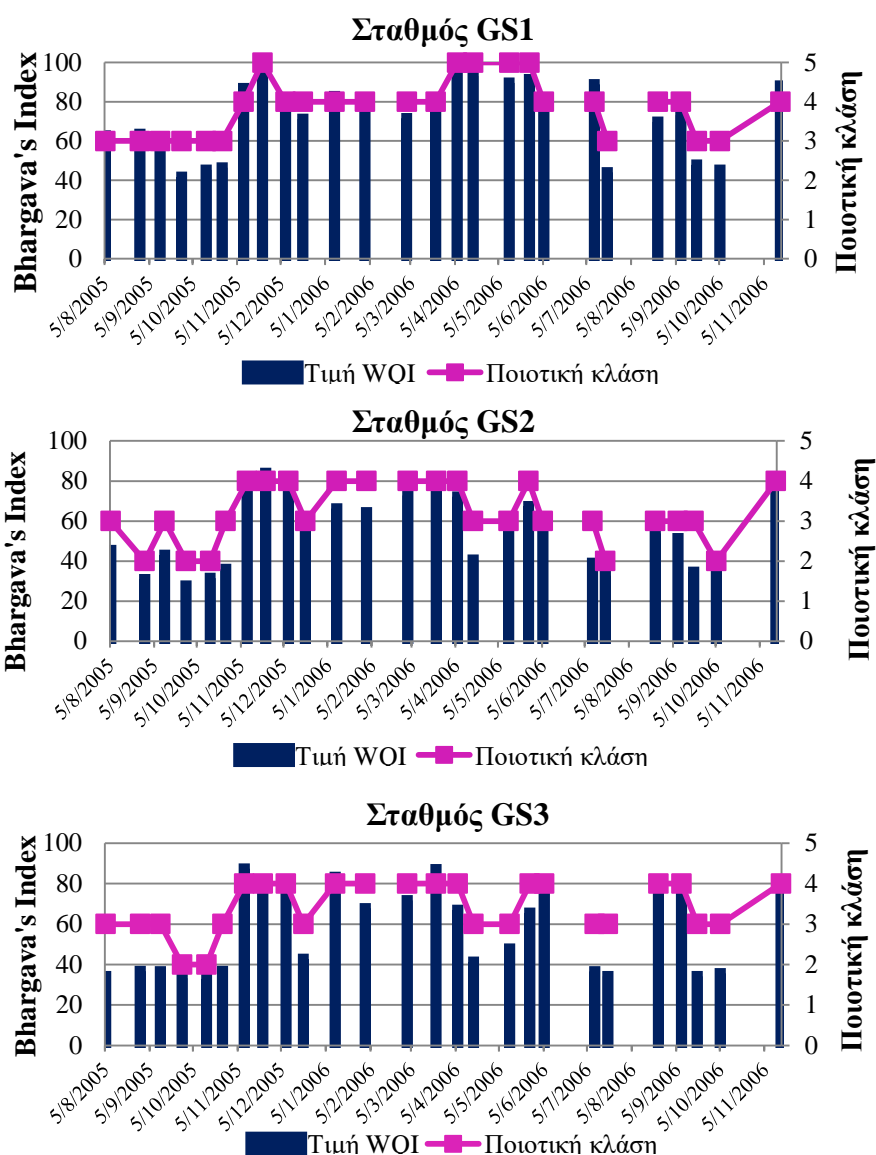
Βάσει των αποτελεσμάτων των τιμών του ολικού δείκτη που προέκυψαν μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας Bhargava, για καθέναν από τους 3 σταθμούς, παρατηρήθηκε ότι ο σταθμός GS₁ εμφανίζει υψηλότερες τιμές του δείκτη (καλύτερη ποιότητα νερού) σε σύγκριση με το σταθμό GS₂ για το σύνολο σχεδόν της περιόδου παρακολούθησης. Υψηλότερη ποιότητα νερού για την πλειονότητα των δειγματοληψιών φαίνεται να παρουσιάζει ο 1^{ος} δειγματοληπτικός σταθμός συγκρινόμενος και με το σταθμό GS₃. Αναφορικά με τους σταθμούς GS₂ και GS₃, παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν για τις 2 θέσεις, με το σταθμό GS₃, ωστόσο, να παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη ποιότητα νερού για το μεγαλύτερο μέρος της δειγματοληπτικής περιόδου.

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα της Εικόνας 5.7, για το σύνολο των σταθμών παρακολούθησης, η ποιοτική τάξη παρουσιάζει διακύμανση 2 κλάσεων κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου. Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι στο σταθμό GS₁, αυτή κυμαίνεται από 3 («ικανοποιητική ποιότητα νερού») έως 5, ενώ για τους σταθμούς GS₂ και GS₃ κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4 («καλή ποιότητα νερού»).

Τέλος, ο προσδιορισμός των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών ποιότητας και του ολικού δείκτη (Πίνακας 5.14) επιβεβαιώνει τη σημαντική συνεισφορά του BOD₅ στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων

Πίνακας 5.14: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των επιμέρους ποιοτικών μεταβλητών και της τιμής του δείκτη ανά κατηγορία χρήσης νερού, καθώς και μεταξύ αυτών και της ολικής τιμής του δείκτη ποιότητας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία Bhargava

Συντελεστής συσχέτισης						
Ποιοτική μεταβλητή	Κολύμβηση	Υδρευση	Άρδευση	Βιομηχανία	Καλλιέργεια ιχθύων, έμμεση χρήση αναψυχής	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού
T	-	-	-	-	-0.493	-0.481
DO	0.418	0.466	-	-	0.508	0.472
BOD ₅	-0.733	-0.773	-	-	-0.799	-0.773
NH ₄ ⁺ -N	-0.167	-	-	-	-	0.076
EC	-	-	-1.000	-1.000	-	-0.634



Εικόνα 5.7: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Bhargava και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

5.2.3 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Oregon

Στον Πίνακα 5.15, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών ποιότητας για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και θέση του εξεταζόμενου υδατορεύματος, έτσι όπως αυτά υπολογίστηκαν βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Oregon.

Όπως και κατά την εφαρμογή των προηγούμενων δεικτών, διαπιστώνεται ότι η βέλτιστη κατάσταση ποιότητας (υψηλότερη τιμή του δείκτη) σημειώθηκε στο δειγματοληπτικό σταθμό GS₁ (6/4/2006) όπου ο ολικός δείκτης ποιότητας έλαβε την τιμή 87.86. Με βάση το σύστημα ταξινόμησης της μεθοδολογίας Oregon, η τιμή αυτή εμπίπτει στην 4^η ποιοτική τάξη και υποδηλώνει «καλή ποιότητα νερού». Η χαμηλότερη τιμή του δείκτη (δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας), βάσει της οποίας υλοποιείται και η ταξινόμηση του εξεταζόμενου σώματος, υπολογίστηκε, και πάλι, στο σταθμό GS₂ στις 14/10/2005 και βρέθηκε ίση με 13.92, κατατάσσοντας το υδατόρευμα στην ποιοτική κλάση 1 και υποδηλώνοντας «πολύ φτωχή ποιότητα νερού». Η ιδιαίτερα χαμηλή τιμή του δείκτη, η οποία υπολογίστηκε κατά τη δεδομένη

δειγματοληψία, οφείλεται κυρίως στα χαμηλά επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου (30.6 % της συγκέντρωσης κορεσμού) και στις ταυτοχρόνως υψηλές συγκεντρώσεις του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (22 mg/L) και του ολικού φωσφόρου (0.428 mg/L).

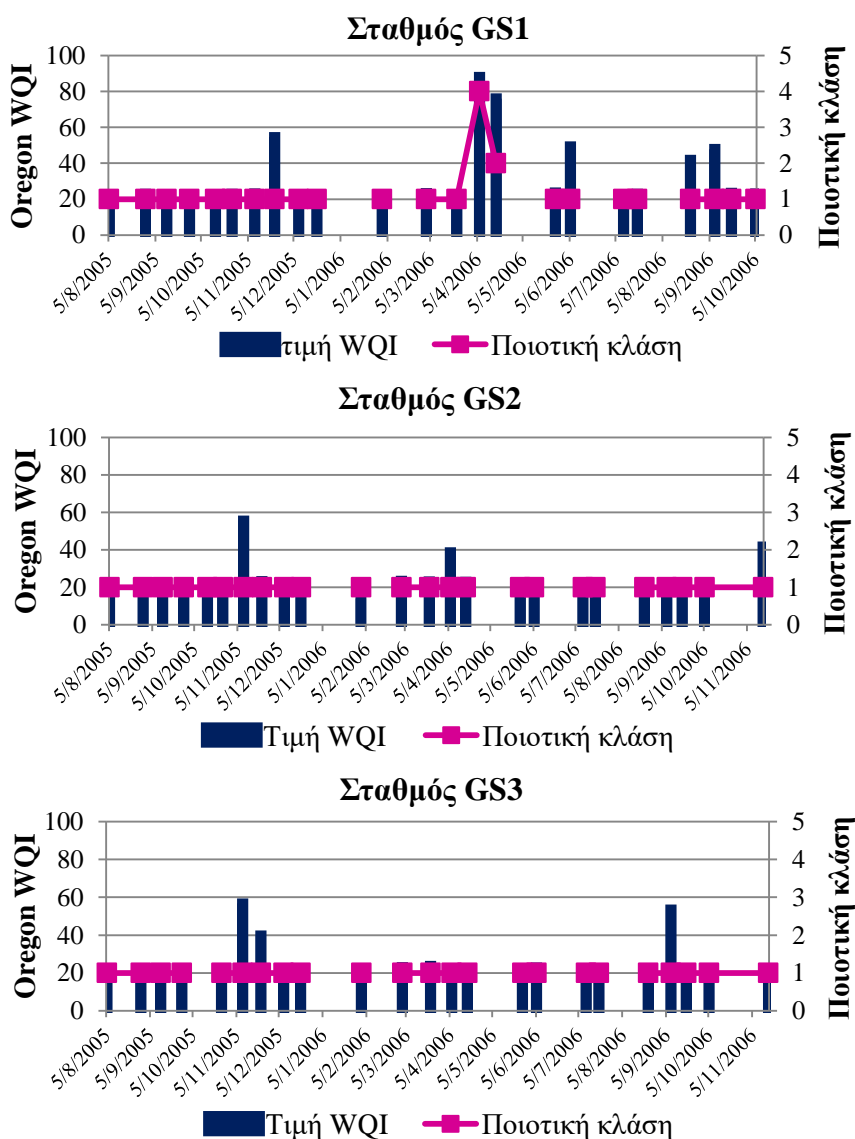
Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Oregon ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	16.97	15.43	16.82
29/8/2005	22.88	15.86	20.61
12/9/2005	16.91	16.40	15.26
27/9/2005	16.84	14.00	16.54
14/10/2005	22.69	13.92	
25/10/2005	22.88	17.01	22.48
9/11/2005	23.02	55.46	56.58
22/11/2005	54.41	23.18	39.71
8/12/2005	22.27	22.26	16.48
20/12/2005	16.98	14.06	16.66
11/1/2006			
1/2/2006	16.61	14.07	14.07
14/2/2006			
2/3/2006	23.31	23.39	22.97
22/3/2006	17.11	23.09	23.64
6/4/2006	87.86	38.60	16.94
17/4/2006	75.97	22.79	22.24
12/5/2006			
26/5/2006	23.52	21.32	20.61
5/6/2006	49.25	16.46	22.70
22/6/2006			
10/7/2006	22.77	16.55	15.91
19/7/2006	22.84	13.94	21.79
7/8/2006			
23/8/2006	41.71	16.67	22.36
8/9/2006	47.82	16.16	53.38
19/9/2006	23.32	16.59	22.51
5/10/2006	23.10	16.90	16.97
16/11/2006	67.42	41.56	22.00
Min	16.61	13.92	14.07
Max	87.86	55.46	56.58

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα σε επίπεδο σταθμού, παρατηρείται ότι ο σταθμός GS₁ εμφανίζει καλύτερη ποιότητα νερού, συγκρινόμενος με τους κατάντη σταθμούς (GS₂ και GS₃) για το σύνολο σχεδόν της δειγματοληπτικής περιόδου. Ακόμη, αισθητά υψηλότερη είναι η διακύμανση η οποία παρατηρείται στην τιμή του δείκτη για τον 1^ο δειγματοληπτικό σταθμό σε σχέση με του 2 άλλους

(GS₂ και GS₃). Αναφορικά με τα αποτελέσματα ποιότητας στους σταθμούς GS₂ και GS₃, διαπιστώνεται ότι ο τελευταίος δειγματοληπτικός σταθμός εμφανίζει καλύτερη ποιότητα νερού σε σύγκριση με τον ανάντη σταθμό (GS₂) για την πλειονότητα των δειγματοληψιών. Επιπλέον, στους 2 αυτούς σταθμούς παρατηρείται ότι η τιμή του δείκτη ποιότητας παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου.

Ως άμεσο επακόλουθο της υψηλής διακύμανσης του ολικού δείκτη Oregon στο δειγματοληπτικό σταθμό GS₁, η ποιοτική τάξη εμφανίζει διακύμανση 3 κλάσεων για το σταθμό αυτό (1 έως 4), με την πλειονότητα ωστόσο των δειγματοληψιών να εμπίπτουν εντός της 1^{ης} κατηγορίας ποιότητας. Στους σταθμούς GS₂ και GS₃, ο αριθμός της ποιοτικής τάξης παραμένει σταθερός και ίσος με 1 για το σύνολο της περιόδου παρακολούθησης. Τα σχετικά διαγράμματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Oregon και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

Οι συντελεστές συσχέτισης, οι οποίοι υπολογίστηκαν για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, μεταξύ των επιμέρους παραμέτρων ποιότητας και του ολικού δείκτη Oregon φαίνονται στον

Πίνακα 5.16. Σχετικά υψηλότερη συσχέτιση, όπως μπορεί να παρατηρηθεί, εμφανίζει η μεταβλητή του BOD₅, ωστόσο δεν εντοπίζονται ιδιαίτερες σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των επιμέρους συντελεστών. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει ως το συνδυασμένο αποτέλεσμα του συνόλου των μεταβλητών, χωρίς να επηρεάζεται καθοριστικά από μία ορισμένη μεταβλητή.

Πίνακας 5.16: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Oregon για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	-0.022
DO	0.261
BOD ₅	-0.410
(NH ₄ ⁺ -N)+(NO ₃ ⁻ -N)	-0.292
T	-0.156
TP	-0.022

5.2.4 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη NSF

Τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη ποιότητας, τα οποία προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας των Brown et al. (1970) (NSF WQI), ανά δειγματοληψία, για το σύνολο των επιμέρους σταθμών παρακολούθησης του ποταμού Βοσβόζη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.17.

Βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, παρατηρείται ότι η υψηλότερη τιμή του δείκτη (βέλτιστη ποιότητα) σημειώθηκε στο σταθμό GS₃ (8/9/2006) και ισούται με 92, υποδηλώνοντας «άριστη ποιότητα νερού» (ποιοτική κλάση 5). Η δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας εντοπίστηκε στο σταθμό GS₂ (27/9/2005), όπου ο δείκτης υπολογίστηκε ίσος με 52. Βάσει της τιμής αυτής, το εξεταζόμενο υδατόρευμα ταξινομείται στην 3^η κατηγορία ποιότητας, η οποία αντιστοιχεί σε «μέτρια ποιότητα νερού». Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα συνδέεται πρωτίστως με την υψηλή συγκέντρωση BOD₅ (35.6 mg/L) κατά τη δεδομένη δειγματοληψία και δευτερευόντως με τα χαμηλά επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου (31.7 %) καθώς και την υψηλή συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (1.250 mg/L).

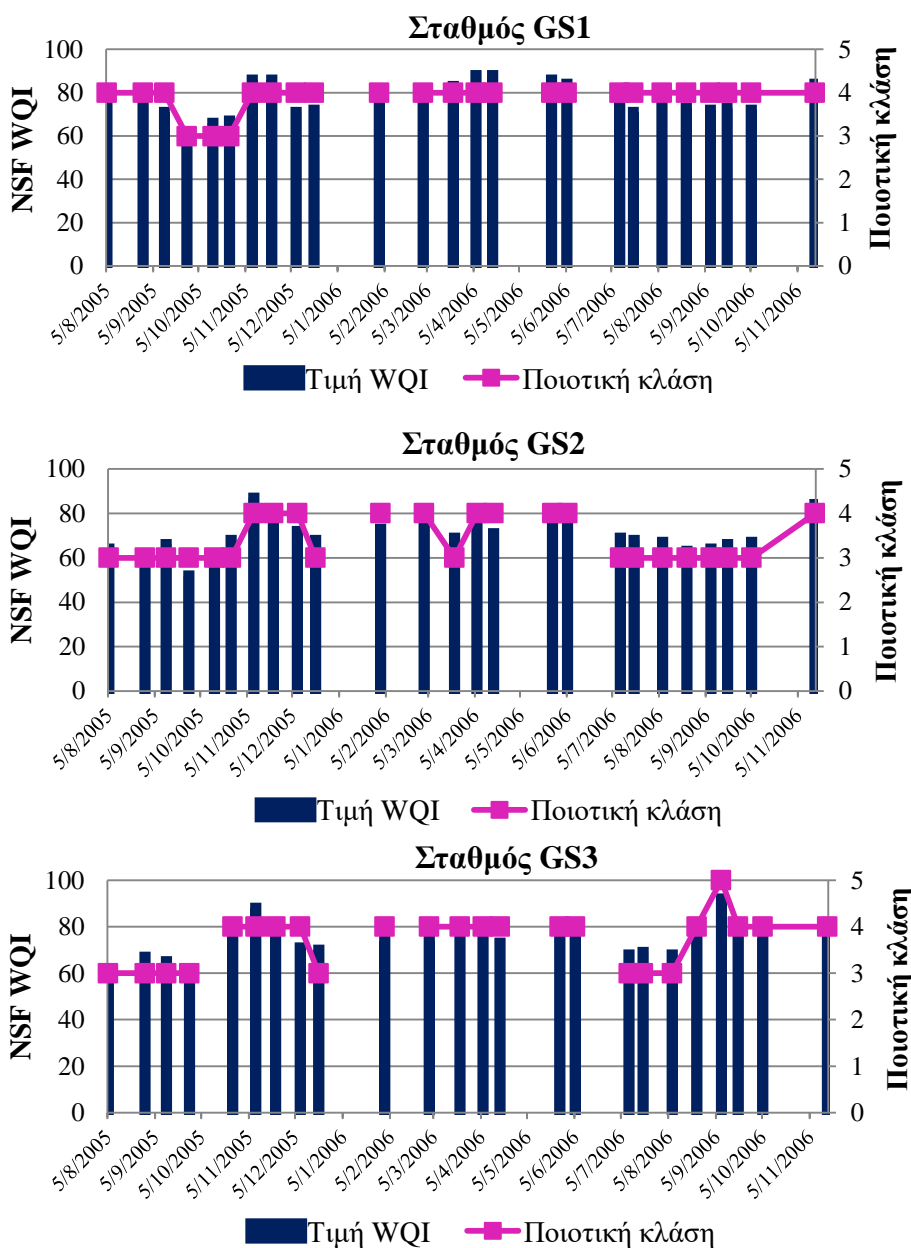
Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν σε κάθε επιμέρους σταθμό, παρατηρείται ότι ο σταθμός GS₁ παρουσιάζει καλύτερη ποιότητα νερού από το σταθμό GS₂ για το σύνολο σχεδόν της περιόδου παρακολούθησης. Καλύτερες συνθήκες ποιότητας φαίνεται να παρουσιάζει σε σύγκριση και με το δειγματοληπτικό σταθμό GS₃ για την πλειονότητα των δειγματοληψιών. Όσον αφορά στους σταθμούς GS₂ και GS₃, κατά το μεγαλύτερο μέρος της δειγματοληπτικής περιόδου, υψηλότερες τιμές του δείκτη εμφανίζονται στο σταθμό GS₃, ενώ κατά τις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι 2 σταθμοί εμφανίζουν παρόμοιες συνθήκες ποιότητας.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί μέσω των διαγραμμάτων της Εικόνας 5.9 η υψηλότερη διακύμανση της ποιοτικής τάξης εμφανίζεται στο σταθμό GS₃, όπου η κατηγορία ποιότητας κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5, ενώ για τους σταθμούς GS₁ και GS₂, το εξεταζόμενο σώμα ταξινομείται μεταξύ των κλάσεων 3 και 4 («καλή ποιότητα νερού»).

Πίνακας 5.17: Αποτελέσματα ολικού δείκτη NSF ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη NSF ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	77	64	59
29/8/2005	74	57	67
12/9/2005	71	66	65
27/9/2005	56	52	59
14/10/2005	66	58	
25/10/2005	67	68	76
9/11/2005	86	87	88
22/11/2005	86	77	76
8/12/2005	71	72	71
20/12/2005	72	68	70
11/1/2006			
1/2/2006	81	73	74
14/2/2006			
2/3/2006	76	75	74
22/3/2006	83	69	74
6/4/2006	88	78	76
17/4/2006	88	71	73
12/5/2006			
26/5/2006	86	74	76
5/6/2006	84	76	77
22/6/2006			
10/7/2006	78	69	68
19/7/2006	71	68	69
7/8/2006	80	67	68
23/8/2006	73	63	81
8/9/2006	72	64	92
19/9/2006	73	66	76
5/10/2006	72	67	75
16/11/2006	84	84	81
Min	56.00	52.00	59.00
Max	88.00	87.00	92.00

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.18, οι παράμετροι οι οποίες συμμετέχουν περισσότερο στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος είναι, κατά σειρά, το BOD₅ και το DO.



Εικόνα 5.9: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας NSF και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

Πίνακας 5.18: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας NSF για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	-0.014
DO	0.585
BOD ₅	-0.663
NO ₃ ⁻ -N	-0.048
ΔT	-0.166
TP	-0.464

5.2.5 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη CCME

Στον Πίνακα 5.19, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη CCME, για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης στον ποταμό Βοσβόζη.

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα ολικού δείκτη CCME ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη CCME ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	46	36	42
29/8/2005	43	22	41
12/9/2005	39	25	40
27/9/2005	23	23	35
14/10/2005	41	26	39
25/10/2005	39	38	38
9/11/2005	50	51	57
22/11/2005	56	50	50
8/12/2005	44	44	47
20/12/2005	38	37	45
11/1/2006	52	45	58
1/2/2006	38	37	37
14/2/2006			
2/3/2006	46	45	44
22/3/2006	46	40	44
6/4/2006	100	52	52
17/4/2006	63	45	50
12/5/2006			
26/5/2006	54	35	43
5/6/2006	45	28	53
22/6/2006			
10/7/2006	46	38	40
19/7/2006	34	28	30
7/8/2006			
23/8/2006	56	32	43
8/9/2006	44	26	51
19/9/2006	51	25	49
5/10/2006	42	42	44
16/11/2006	62	51	45
Min	23.00	22.00	30.00
Max	100.00	52.00	58.00

Βάσει των εν λόγω αποτελεσμάτων, η υψηλότερη τιμή του δείκτη ποιότητας (100) σημειώθηκε στο σταθμό GS₁ στις 6/4/2006. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην υψηλότερη κατηγορία ποιότητας (ποιοτική κλάση 5), σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης της μεθόδου και υποδηλώνει «άριστη ποιότητα νερού». Το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας (τιμή του δείκτη ίση με 22) προέκυψε για το

σταθμό GS₂ στις 29/8/2005 και, βάσει αυτού, το μελετώμενο σώμα ταξινομείται στην κατώτατη κατηγορία ποιότητας (1^η ποιοτική κλάση), η οποία υποδηλώνει «φτωχή ποιότητα νερού». Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα συνδέεται με τα χαμηλά επίπεδα του DO (3.71 mg/L) καθώς και τις υψηλές συγκεντρώσεις των BOD₅ (15.20 mg/L) και TP (2.361 mg/L) κατά τη δεδομένη δειγματοληψία. Οι τιμές των εν λόγω παραμέτρων δεν πληρούν τα συνιστώμενα ποιοτικά όρια (6 mg/L για το DO, 4 mg/L για το BOD₅ και 0.015 mg/L για τον TP), έτσι όπως αυτά ορίστηκαν κατά τη διαδικασία εφαρμογής της παρούσας μεθοδολογίας.

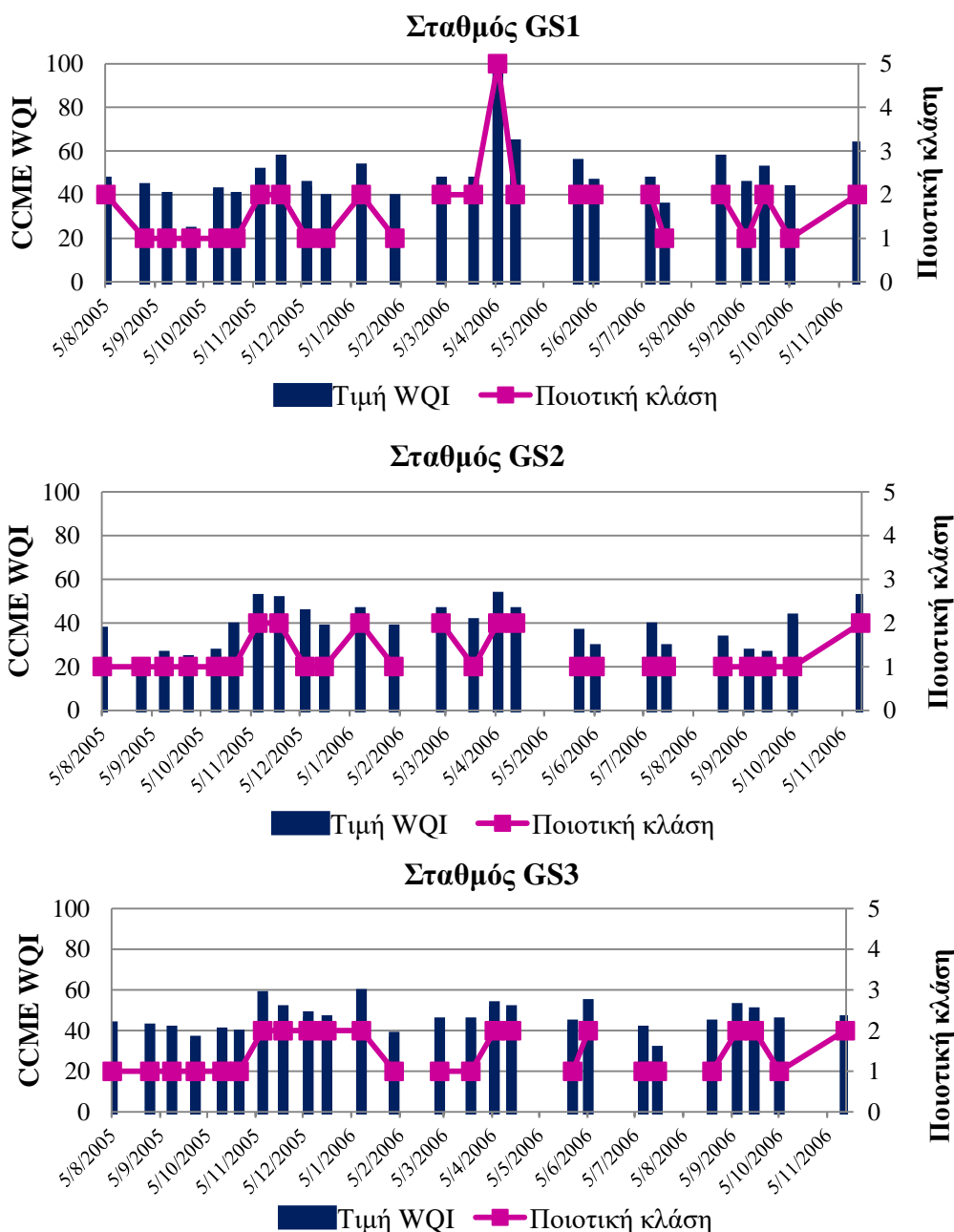
Μελετώντας τα αποτελέσματα ποιότητας σε κάθε επιμέρους σταθμό, διαπιστώνεται, και πάλι, ότι για το σύνολο σχεδόν της περιόδου μελέτης, ο σταθμός GS₁ εμφανίζει υψηλότερες τιμές του δείκτη (καλύτερη ποιότητα νερού) συγκρινόμενος με τον κατάντη σταθμό GS₂. Παράλληλα, παρατηρείται ότι για την πλειονότητα των δειγματοληψιών, ο σταθμός GS₃ υπερτερεί έναντι του σταθμού GS₂, όσον αφορά στις συνθήκες ποιότητας του νερού, ενώ για τις υπόλοιπες δειγματοληψίες της περιόδου παρακολούθησης για τους 2 σταθμούς προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα ποιότητας.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα τα οποία παρατίθενται στην Εικόνα 5.10, η υψηλότερη διακύμανση της ποιοτικής κλάσης εντοπίζεται στο σταθμό GS₁, για τον οποίον η κατηγορία ποιότητας κυμαίνεται μεταξύ 1 και 5. Για τους 2 άλλους σταθμούς, η ποιοτική τάξη παρουσιάζει διακύμανση 1 κλάσης, κατατάσσοντας το εξεταζόμενο σώμα άλλοτε στην 1^η («φτωχή ποιότητα νερού») και άλλοτε στη 2^η («οριακή ποιότητα νερού») κατηγορία.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.20, διαπιστώνεται ότι υψηλότερη συσχέτιση με τα τελικά αποτελέσματα των τιμών του δείκτη CCME παρουσιάζουν οι παράμετροι BOD₅, DO και TP, οι οποίες φαίνεται να συνεισφέρουν σχεδόν εξίσου στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

Πίνακας 5.20: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών και τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας CCME για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	0.045
DO	0.439
BOD ₅	-0.474
(NO ₂ ⁻ -N)+(NO ₃ ⁻ -N)	-0.130
NH ₄ ⁺ -N	-0.283
TP	-0.498



Εικόνα 5.10: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας CCME και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

5.2.6 Αποτελέσματα βάσει του δείκτη Dinius

Τα αποτελέσματα του δείκτη ποιότητας, τα οποία προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας Dinius, για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.21.

Παρατηρείται ότι η υψηλότερη τιμή του δείκτη (καλύτερη ποιότητα νερού) εμφανίζεται στο σταθμό GS₁ στις 17/4/2006 και ισούται με 88.85. Η τιμή αυτή συνεπάγεται την «απαίτηση στοιχειώδους καθαρισμού του νερού» για χρήση ύδρευσης (ποιοτική κατηγορία 4) καθώς και για την αρδευτική και τη βιομηχανική χρήση, στην περίπτωση όπου πρόκειται για καλλιέργειες και βιομηχανίες, αντίστοιχα, με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις ποιότητας νερού. Για τις χρήσεις «αναψυχή», «διαβίωση ιχθύων» και «διαβίωση οστρακοειδών», η εν λόγω τιμή του δείκτη καθιστά

την ποιότητα του νερού αποδεκτή για κάθε είδους δραστηριότητα αναψυχής, καθώς και για τη διαβίωση κάθε είδους ιχθύων και οστρακοειδών (ποιοτική κατηγορία 5).

Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού δείκτη Dinius ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	70.30	61.56	67.23
29/8/2005	66.99	60.66	63.12
12/9/2005	66.62	66.12	61.05
27/9/2005	60.08	53.02	54.59
14/10/2005	63.50	56.29	
25/10/2005	62.31	62.20	63.65
9/11/2005	82.94	76.28	82.86
22/11/2005	87.29	75.17	72.81
8/12/2005	74.92	72.93	69.06
20/12/2005	72.97	67.30	66.87
11/1/2006			
1/2/2006	79.20	69.78	69.30
14/2/2006			
2/3/2006	76.00	71.32	69.90
22/3/2006	86.86	73.82	79.26
6/4/2006	87.87	69.99	68.19
17/4/2006	88.85	66.34	65.41
12/5/2006	80.67	69.46	70.18
26/5/2006	85.70	72.28	33.36
5/6/2006	81.29	71.78	72.52
22/6/2006			
10/7/2006	79.35	65.50	61.27
19/7/2006	66.66	62.82	60.16
7/8/2006	71.76	61.98	60.81
23/8/2006	69.17	66.13	79.85
8/9/2006	67.49	62.92	83.25
19/9/2006	65.91	63.92	66.34
5/10/2006	67.42	65.32	69.91
16/11/2006	79.24	74.59	76.38
Min	60.08	53.02	33.36
Max	88.85	76.28	83.25

Η δυσμενέστερη κατάσταση ποιότητας εντοπίστηκε στο δειγματοληπτικό σταθμό GS₃ στις 26/5/2006. Βάσει των δεδομένων ποιότητας της δεδομένης δειγματοληψίας, ο ολικός δείκτης υπολογίστηκε ίσος με 33.36, τιμή η οποία αντιστοιχεί σε «μη αποδεκτή ποιότητα νερού» για χρήση ύδρευσης, διαβίωσης ιχθύων και διαβίωσης οστρακοειδών (ποιοτική κατηγορία 1), «μη αποδεκτή ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό» για χρήση αναψυχής (ποιοτική κατηγορία 2), ενώ

τέλος για την αρδευτική και τη βιομηχανική χρήση, η προκύπτουσα τιμή εκφράζει την «απαίτηση εντατικής επεξεργασίας του νερού για χρήση του στις συνήθεις καλλιέργειες και βιομηχανίες» (ποιοτική κατηγορία 2). Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα ποιότητας συνδέεται με την ταυτοχρόνως σχετικά υψηλή συγκέντρωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (7.6 mg/L) και της ειδικής αγωγιμότητας (780.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$) κατά τη δεδομένη δειγματοληψία.

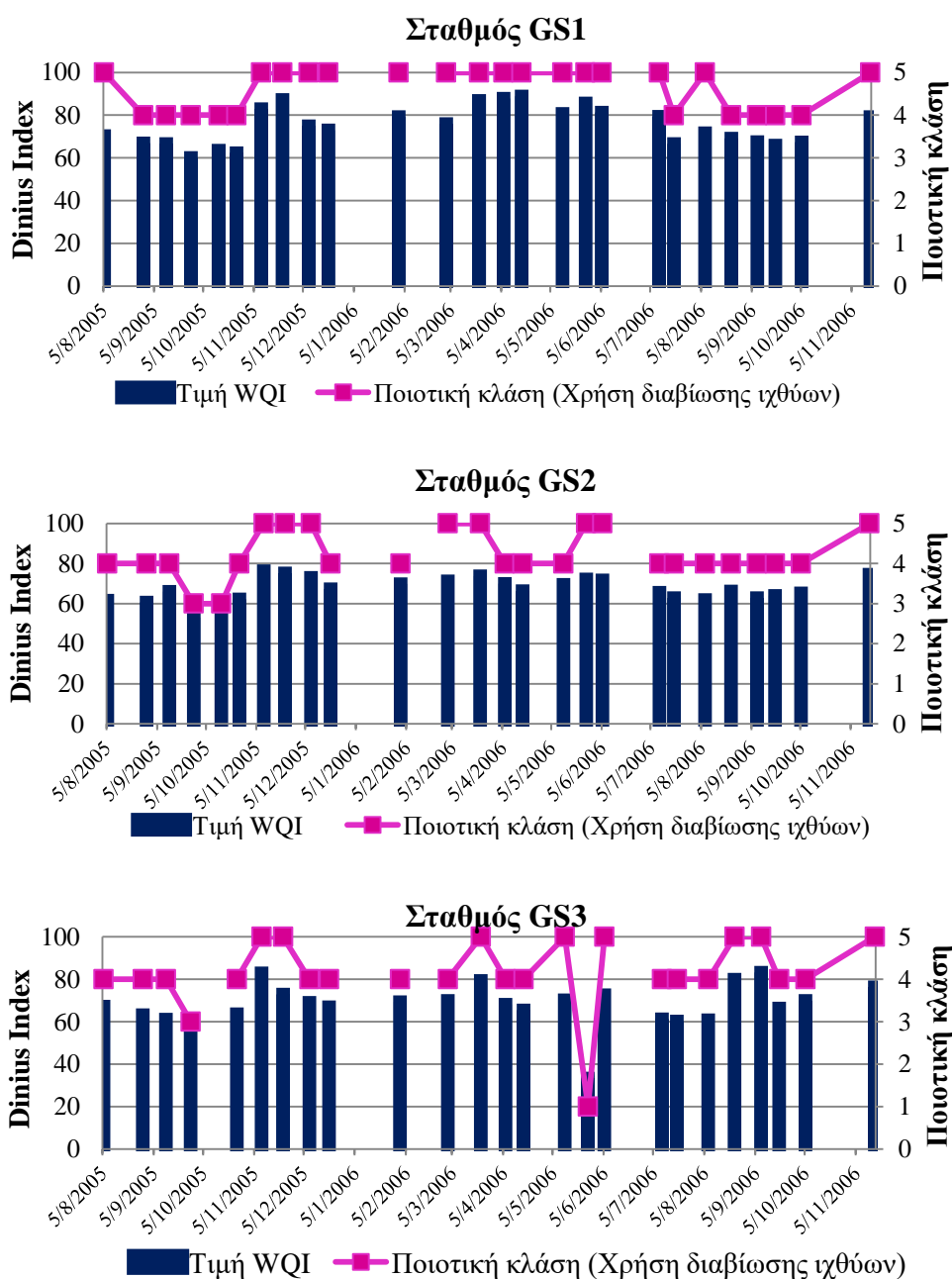
Βάσει των τιμών του δείκτη, προκύπτει ότι ο 1^{ος} δειγματοληπτικός σταθμός εμφανίζει καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης υψηλότερες συνθήκες ποιότητας από το σταθμό GS₂, ενώ για την πλειονότητα της δειγματοληπτικής περιόδου υπερέχει ποιοτικά έναντι και του τελευταίου σταθμού (GS₃). Όσον αφορά στους σταθμούς GS₂ και GS₃, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν δεν αποδεικνύουν την συνολική υπεροχή κάποιου εκ των 2 σταθμών έναντι του άλλου. Οι 2 σταθμοί παρουσιάζουν παρόμοιες συνθήκες ποιότητας με το σταθμό GS₃, ωστόσο, να παρουσιάζει υψηλότερη διακύμανση στην τιμή του ολικού δείκτη.

Στην Εικόνα 5.11 παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου σε καθέναν από τους 3 σταθμούς. Ακόμη, επιλέχθηκε να απεικονιστεί διαγραμματικά η διακύμανση της ποιοτικής τάξης, έτσι όπως αυτή προκύπτει βάσει της τιμής του ολικού δείκτη και λαμβάνοντας υπόψιν τη χρήση της διαβίωσης ιχθύων. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω της κρισιμότητας που παρουσιάζει η συγκεκριμένη χρήση για το μελετώμενο υδατόρευμα και δεδομένου ότι το εξεταζόμενο σώμα δεν χρησιμοποιείται για υδρευτικούς σκοπούς. Παρατηρείται ότι για την περίπτωση του σταθμού GS₁ η ποιοτική κλάση κυμαίνεται μεταξύ 4 («οριακή ποιότητα νερού για ευαίσθητα είδη») και 5 («αποδεκτή ποιότητα νερού για όλα τα είδη ιχθύων»), για τον σταθμό GS₂ μεταξύ 3 («αμφίβολη ποιότητα για ευαίσθητα είδη») και 5, ενώ η υψηλότερη διακύμανση της ποιοτικής κατηγορίας εντοπίζεται στο δειγματοληπτικό σταθμό GS₃, όπου λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 («μη αποδεκτή ποιότητα») και 5.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.22, στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων της τιμής του ολικού δείκτη συνεισέφερε πρωτίστως η παράμετρος του BOD₅, ενώ σημαντική ήταν ακόμη η συνεισφορά της αγωγιμότητας και του διαλυμένου οξυγόνου.

Πίνακας 5.22: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του δείκτη ποιότητας Dinius για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	0.064
DO	0.502
NO ₃ ⁻ -N	-0.246
BOD ₅	-0.655
EC	-0.559



Εικόνα 5.11: Διακύμανση της τιμής του ολικού δείκτη ποιότητας Dinius και της αντίστοιχης ποιοτικής κλάσης (για χρήση διαβίωσης ιχθύων) ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

5.2.7 Αποτελέσματα βάσει του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη

Τα αποτελέσματα ποιότητας τα οποία προέκυψαν κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Δείκτη για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης, για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.23.

Παρατηρείται ότι η χαμηλότερη τιμή του δείκτη (33.63), η οποία εκφράζει το βέλτιστο σενάριο ποιότητας βάσει της παρούσας μεθοδολογίας, σημειώθηκε στις 6/4/2006 στο δειγματοληπτικό

σταθμό GS₁. Η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί στην κατηγορία ποιότητας 4, η οποία υποδηλώνει «καλή ποιότητα νερού».

Πίνακας 5.23: Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ημερομηνία	Αποτελέσματα ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη ανά σταθμό και δειγματοληψία		
	GS1	GS2	GS3
5/8/2005	587.11	818.90	299.34
29/8/2005	338.69	3980.77	371.80
12/9/2005	545.28	1177.52	458.37
27/9/2005	2580.48	2134.95	782.59
14/10/2005			
25/10/2005	396.74	531.58	438.11
9/11/2005	412.74	388.35	415.56
22/11/2005	428.38	456.38	436.58
8/12/2005			
20/12/2005	588.36	727.42	718.75
11/1/2006			
1/2/2006	632.54	720.40	693.11
14/2/2006			
2/3/2006	217.96	273.04	299.58
22/3/2006			
6/4/2006	33.63	350.92	332.72
17/4/2006			
12/5/2006			
26/5/2006			
5/6/2006	257.93	614.08	584.93
22/6/2006			
10/7/2006			
19/7/2006	234.32	596.98	430.12
7/8/2006			
23/8/2006			
8/9/2006	324.14	975.62	415.25
19/9/2006	123.99	1396.88	410.68
5/10/2006	344.27	1104.53	815.15
16/11/2006	280.79	399.99	776.55
Min	33.63	273.04	299.34
Max	2580.48	3980.77	815.15

Η δυσμενέστερη ποιοτική κατάσταση (3980.77), βάσει της οποίας ταξινομείται το εξεταζόμενο σώμα, εντοπίστηκε στο 2^ο δειγματοληπτικό σταθμό στις 29/8/2005. Η συγκεκριμένη τιμή του δείκτη εμπίπτει στην ποιοτική τάξη 1, η οποία εκφράζει «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού». Η ιδιαίτερα υψηλή τιμή του δείκτη κατά τη δεδομένη δειγματοληψία οφείλεται κυρίως στις

συγκεντρώσεις των TP (2.36 mg/L) και TKN (7 mg/L), οι οποίες υπερβαίνουν τα τεθέντα κατά τη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη ποιοτικά όρια, καθώς και στους σχετικά υψηλούς συντελεστές σημαντικότητας που αποδόθηκαν στις συγκεκριμένες παραμέτρους κατά την εφαρμογή της παρούσας μεθοδολογίας.

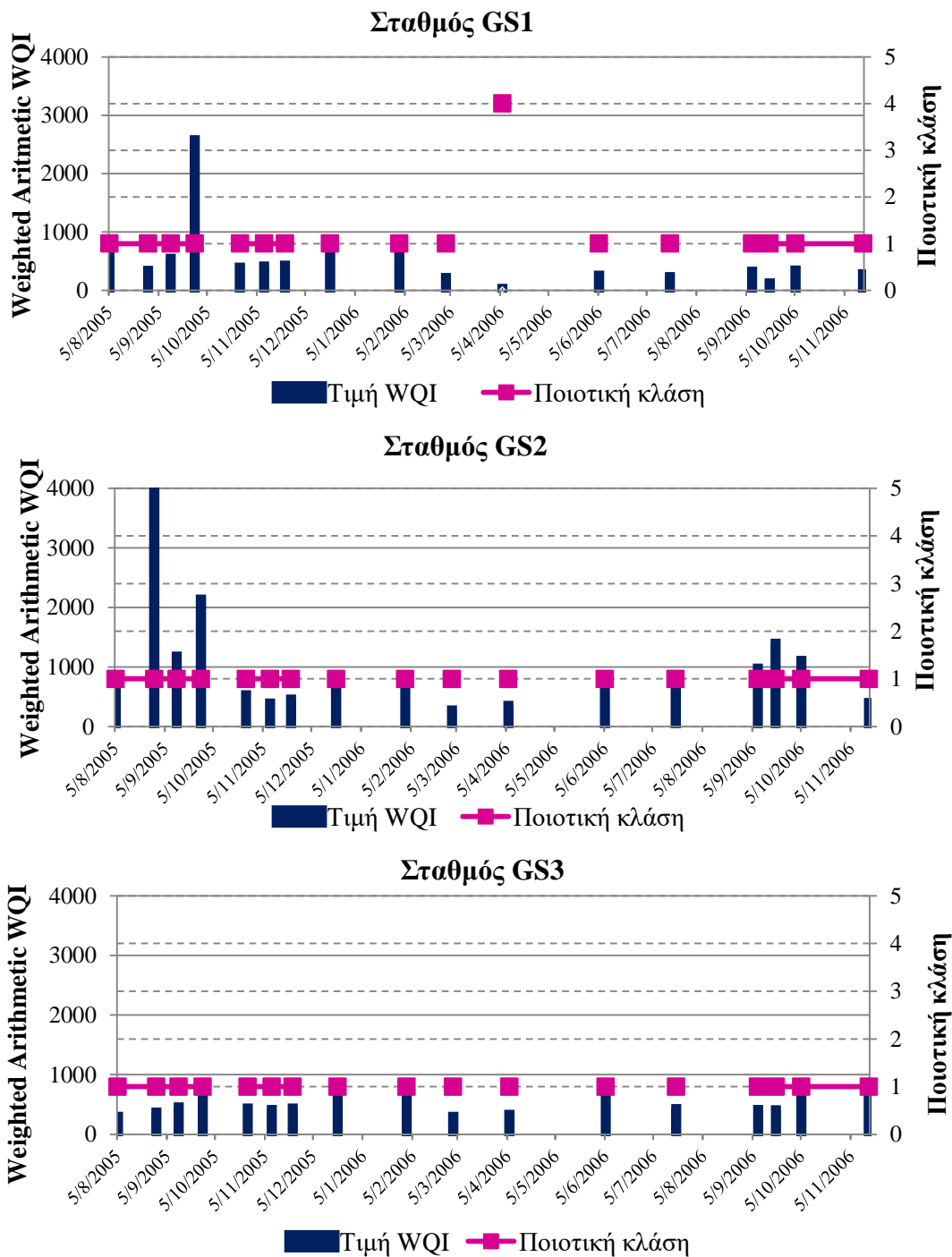
Βάσει των αποτελεσμάτων των τιμών του δείκτη, παρατηρείται ότι ο σταθμός GS₁ εμφανίζει ανώτερη ποιότητα νερού από τον κατάντη σταθμό GS₂, για το σύνολο σχεδόν της περιόδου παρακολούθησης, ενώ για την πλειονότητα των δειγματοληψιών υπερέχει ποιοτικά έναντι και του τελευταίου σταθμού. Αναφορικά με τους σταθμούς GS₂ και GS₃, παρατηρείται βελτίωση των συνθηκών ποιότητας του υδατορεύματος από τα ανάντη προς τα κατάντη, σημειώνοντας, ωστόσο, ότι κατά την περίοδο μεταξύ Νοεμβρίου 2005 και Ιουνίου 2006 οι δύο σταθμοί εμφανίζουν παρόμοιες συνθήκες ποιότητας.

Στα διαγράμματα της Εικόνας 5.12, παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του δείκτη σε συνδυασμό με τον αριθμό της αντίστοιχης ποιοτικής κλάσης στους 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς. Διαπιστώνεται ότι για τους σταθμούς GS₂ και GS₃, το σύνολο των τιμών του ολικού δείκτη, οι οποίες προέκυψαν για κάθε επιμέρους δειγματοληψία, εμπίπτουν στην ποιοτική κλάση 1, η οποία όπως αναφέρθηκε εκφράζει «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού». Για την περίπτωση του 1^{ου} δειγματοληπτικού σταθμού, παρατηρείται ότι για την πλειονότητα των δειγματοληψιών το εξεταζόμενο σώμα κατηγοριοποιείται στην 1^η ποιοτική κλάση («ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού»), ενώ για μία μόνο δειγματοληψία εμπίπτει στην ποιοτική κατηγορία 4 («καλή ποιότητα νερού»).

Κατά τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης για κάθε επιμέρους ποιοτική παράμετρο, προέκυψε ότι η μεταβλητή η οποία συνεισφέρει περισσότερο στη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων της τιμής του ολικού δείκτη είναι η αμμωνία (NH₄⁺-N), ενώ σημαντική είναι, ακόμη, η συνεισφορά του ολικού φωσφόρου (TP) και της συγκέντρωσης των νιτρικών (NO₂⁻-N). Η συνεισφορά των υπολοίπων παραμέτρων προέκυψε αισθητά χαμηλότερη.

Πίνακας 5.24: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών και της τελικής τιμής του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Ποιοτική μεταβλητή	Συντελεστής συσχέτισης
pH	-0.291
DO	-0.135
NH ₄ ⁺ -N	0.886
NO ₃ ⁻ -N	0.044
NO ₂ ⁻ -N	0.466
TKN	0.197
BOD ₅	-0.011
COD	-0.173
EC	0.040
TP	0.517



Εικόνα 5.12: Διακύμανση της τιμής του ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και της αντίστοιχης ποιοτικής τάξης, ανά σταθμό (GS₁, GS₂ και GS₃) για το σύνολο της μελετώμενης περιόδου στον ποταμό Βοσβόζη

5.3 Σύνοψη-συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Λόγω του όγκου των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά την εφαρμογή κάθε επιμέρους μεθοδολογίας-δείκτη σε καθένα από τα δύο υδάτινα σώματα, καθίσταται απαραίτητη η σύνοψη και η συγκριτική αξιολόγηση αυτών, προκειμένου να εξαχθούν σαφέστερα συμπεράσματα αναφορικά τόσο με την ποιοτική κατάταξη κάθε επιμέρους σώματος καθεαυτή, όσο και με τη σχετική απόκριση και τα χαρακτηριστικά κάθε εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, δύνανται να συντελέσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων σε τρία επιμέρους επίπεδα. Δεδομένου ότι στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, οι διάφοροι δείκτες ποιότητας νερού εφαρμόστηκαν ανά δειγματοληψία σε καθμία εκ των τριών -για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη- ή των έξι -για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου- εξεταζόμενων θέσεων, το 1^ο επίπεδο αφορά στην κατάδειξη ενδεχομένων τάσεων ή σημαντικών αποκλίσεων όσον αφορά στις υφιστάμενες συνθήκες ποιότητας, μεταξύ των επιμέρους δειγματοληπτικών θέσεων. Το 2^ο επίπεδο ανάλυσης των εξαχθέντων αποτελεσμάτων συνδέεται με την ποιοτική κατάταξη καθενός εκ των δύο σωμάτων σε μία ορισμένη ποιοτική τάξη, βάσει των αποτελεσμάτων των τιμών του δείκτη αλλά και του συστήματος ταξινόμησης κάθε επιμέρους μεθοδολογίας. Υπενθυμίζεται ότι η διαδικασία της ποιοτικής ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας, δηλαδή τη χαμηλότερη –ή την υψηλότερη στην περίπτωση όπου πρόκειται για δείκτη ρύπανσης- τιμή του δείκτη η οποία προέκυψε κατά την εφαρμογή κάθε επιμέρους μεθόδου. Τέλος, το 3^ο επίπεδο ανάλυσης των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τη συγκριτική αξιολόγηση των επιμέρους μεθοδολογιών-δεικτών που εφαρμόστηκαν.

Συμπληρωματικά, για κάθε επιμέρους περίπτωση εφαρμογής, παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τις σημαντικότερες –ή τη σημαντικότερη- ποιοτική παράμετρο ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία. Η κατάδειξη των παραμέτρων εκείνων οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο πλαίσιο της αξιολόγησης της ποιότητας των υδατικών σωμάτων, καθώς θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου κόστους για την υλοποίηση των δειγματοληψιών αλλά και των αναγκαίων εργαστηριακών αναλύσεων, μέσω της εφαρμογής των επιμέρους δεικτών λαμβάνοντας υπόψιν μικρότερο αριθμό ποιοτικών μεταβλητών.

5.3.1 Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου

Ξεκινώντας, αρχικά, από τον ταμιευτήρα Πολυφύτου και εστιάζοντας στο 1^ο επίπεδο ανάλυσης των προκύπτων αποτελεσμάτων, η εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων αναφορικά με την υπεροχή μίας ή περισσοτέρων θέσεων έναντι των υπολοίπων, βάσει των ισχυουσών συνθηκών ποιότητας, κρίνεται ιδιαίτερα δυσχερής. Πιο συγκεκριμένα, οι σημαντικές αποκλίσεις οι οποίες εντοπίστηκαν μεταξύ των επιμέρους μεθοδολογιών σε ό,τι αφορά τόσο στις προκύπτουσες τιμές των δεικτών όσο και στην κατάδειξη των θέσεων οι οποίες παρουσιάζουν ανώτερες –ή κατώτερες- συνθήκες ποιότητας, σε συνδυασμό με την απουσία σημαντικών και σταθερών αποκλίσεων μεταξύ των επιμέρους σταθμών και θέσεων δειγματοληψίας (επιφάνεια και πυθμένας), δεν κατέστησαν εφικτή την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με την υπεροχή –ή υστέρηση- μίας ορισμένης θέσης παρακολούθησης.

Ακολούθως και αναφορικά με το 2^ο επίπεδο ανάλυσης, το οποίο περιλαμβάνει την ταξινόμηση του εξεταζόμενου σώματος βάσει κάθε επιμέρους μεθοδολογίας, στον Πίνακα 5.25 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής τάξης στην οποία εντάσσεται ο ταμιευτήρας Πολυφύτου, ανά εφαρμοζόμενο δείκτη, ο χαρακτηρισμός ποιότητας της δεδομένης κλάσης, καθώς και η θέση παρακολούθησης στην οποία εντοπίστηκε το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας, βάσει του οποίου πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση. Διευκρινίζεται ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δεικτών NSF και CCME, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, συλλέχθηκαν από την εργασία των Alexakis et al. (2016) και δεν αποτελούν μέρος των υπολογισμών της παρούσας εργασίας. Αξιοποιήθηκαν, παρόλα αυτά, στο πλαίσιο της συγκριτικής θεώρησης των επιμέρους

μεθοδολογιών. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το αποτέλεσμα της ποιοτικής κατάταξης του εξεταζόμενου σώματος, το οποίο προέκυψε βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, δεν τίθεται κατ' ανάγκη σε σύγκριση με τα αποτελέσματα ποιότητας τα οποία προέκυψαν κατά την εφαρμογή των υπολοίπων δεικτών, δεδομένου ότι ο εν λόγω δείκτης αφορά στην αξιολόγηση της ποιότητας αποκλειστικά για χρήση πόσιμου νερού και, κατά συνέπεια, η σχετική αυστηρότητα του έναντι των υπολοίπων μεθοδολογιών θεωρείτο αναμενόμενη. Τέλος, για την περίπτωση του δείκτη ποιότητας Dinius, λόγω της έλλειψης ενιαίου συστήματος ταξινόμησης της προκύπτουσας τιμής του δείκτη για γενική χρήση νερού, παρατίθενται στον Πίνακα 5.25 η κλάση, καθώς και ο χαρακτηρισμός ποιότητας, ο οποίος προέκυψε βάσει του δυσμενέστερου σεναρίου (χαμηλότερης τιμής του δείκτη), για καθεμία από τις 6 χρήσεις νερού, τις οποίες λαμβάνει υπόψιν η μεθοδολογία. Μεταξύ αυτών, για την ποιοτική ταξινόμηση του ταμιευτήρα επιλέχθηκε η χρήση της ύδρευσης, δεδομένης της κρισιμότητας της συγκεκριμένης κατηγορίας χρήσης νερού για το μελετώμενο σώμα, αλλά και λόγω των ασφαλέστερων αποτελεσμάτων στα οποία οδηγεί. Επισημαίνεται ότι η συγκεκριμένη χρήση νερού επιλέχθηκε και για τη διαγραμματική απεικόνιση της ποιοτικής κλάσης κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου στους επιμέρους σταθμούς, για την περίπτωση του δείκτη Dinius, στο πλαίσιο της συγκριτικής θεώρησης των επιμέρους μεθοδολογιών (βλ. Εικόνα 5.13). Τα αποτελέσματα, ωστόσο, της ποιοτικής κατάταξης βάσει του συνόλου των επιμέρους χρήσεων, για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και για καθέναν από τους σταθμούς παρακολούθησης βρίσκονται διαθέσιμα στο Παράρτημα Ι.

Βάσει του Πίνακα 5.25, παρατηρείται ότι η εφαρμογή του δείκτη Bhargava οδηγεί στην κατάταξη του εξεταζόμενου σώματος σε ανώτερη κατηγορία ποιότητας έναντι των υπολοίπων μεθοδολογιών (ποιοτική τάξη 3), ενώ ακολουθούν οι δείκτες Prati και NSF, σύμφωνα με τους οποίους ο ταμιευτήρας ταξινομείται μία κλάση χαμηλότερα, στην κατηγορία ποιότητας 2. Η χαμηλότερη κατηγορία ποιότητας στην οποία εμπίπτει ο μελετώμενος ταμιευτήρας είναι η 1^η, αποτέλεσμα στο οποίο συγκλίνουν οι δείκτες Oregon, CCME και Dinius (λαμβάνοντας υπόψιν τη χρήση ύδρευσης) καθώς και ο Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης.

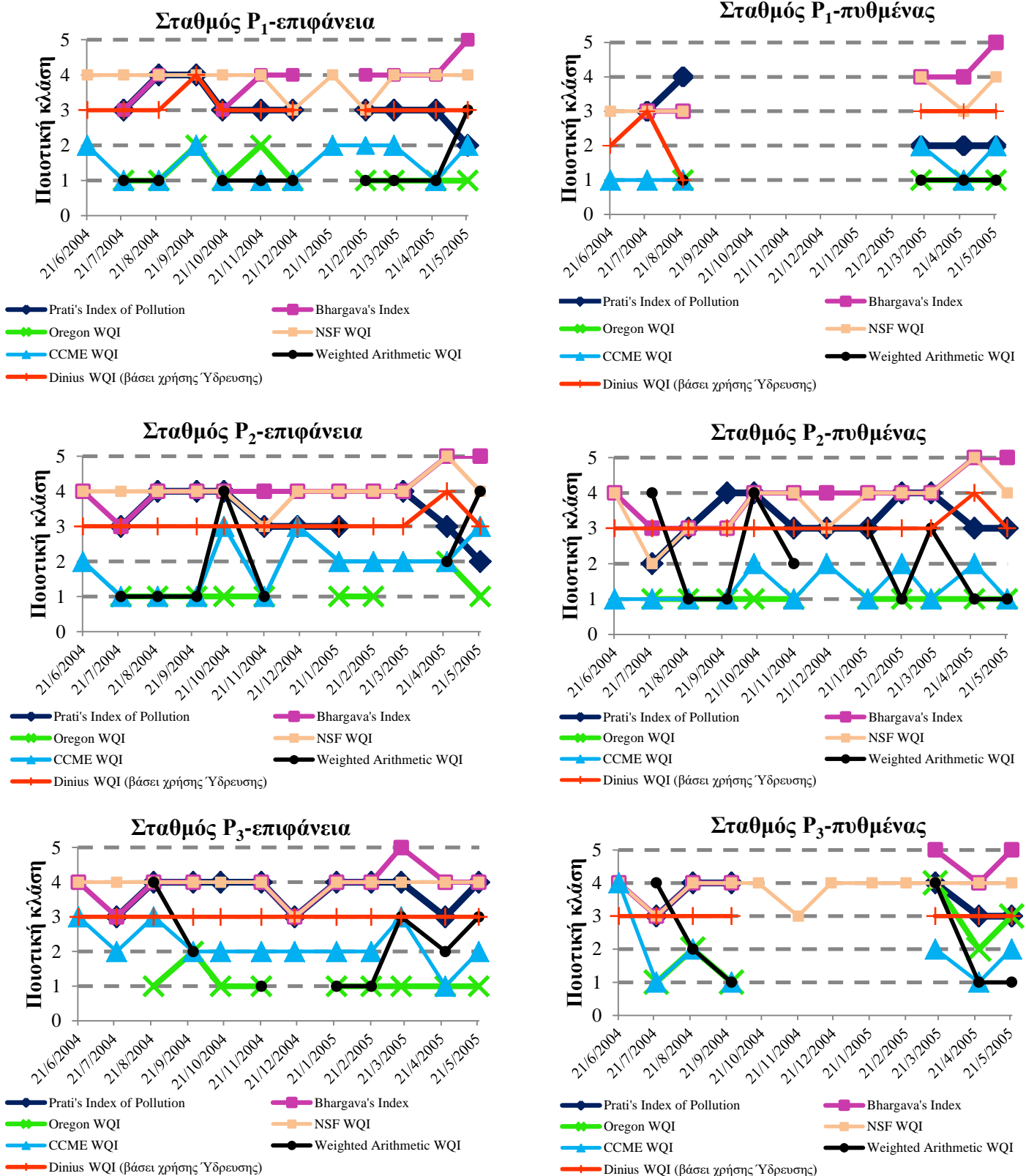
Στην Εικόνα 5.13, παρουσιάζεται η διακύμανση της προκύπτουσας ποιοτικής κλάσης για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου, ανά θέση παρακολούθησης του ταμιευτήρα, έτσι όπως αυτή προέκυψε για κάθε επιμέρους μεθοδολογία-δείκτη που εφαρμόστηκε.

Παρατηρώντας τη διακύμανση της ποιοτικής τάξης ανά θέση παρακολούθησης, έτσι όπως αυτή προέκυψε βάσει κάθε επιμέρους μεθοδολογίας, διαπιστώνεται ότι διαμορφώνονται 3 διακριτές κατηγορίες δεικτών, όσον αφορά στα αποτελέσματα της ποιοτικής κλάσης που αποδίδουν ανά δειγματοληψία. Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι για το σύνολο των εξεταζόμενων θέσεων και βαθών μέτρησης, τα αποτελέσματα των δεικτών Bhargava και NSF κυμαίνονται κυρίως μεταξύ των ανώτερων ποιοτικών κατηγοριών 3 και 5, με το δείκτη, ωστόσο, NSF να εμπίπτει για μία μόνο δειγματοληψία (σταθμός P₂-μέτρηση πυθμένα) στη 2^η κατηγορία ποιότητας. Με την ίδια λογική, παρατηρείται ότι ο δείκτης ρύπανσης Prati, καθώς και εκείνος του Dinius, καταλαμβάνουν τις μεσαίες κλάσεις της ποιοτικής κατάταξης, καθώς, για το σύνολο των εξεταζόμενων θέσεων και δειγματοληψιών, αποδίδουν αποτελέσματα τα οποία κυμαίνονται μεταξύ των ποιοτικών κλάσεων 2 και 4, με το δείκτη Dinius να εμπίπτει για μία μόνο δειγματοληψία στην 1^η κλάση. Τέλος, ως περισσότερο «αυστηροί» μπορούν να χαρακτηριστούν οι δείκτες CCME και Oregon, καθώς η εφαρμογή τους οδηγεί στην ποιοτική κατάταξη του εξεταζόμενου σώματος κυρίως μεταξύ των

κλάσεων 1 και 3 (κατώτερες ποιοτικές τάξεις), με εξαίρεση τον τελευταίο σταθμό (μέτρηση πυθμένα), όπου για μία μόνο δειγματοληψία καθένας από τους 2 δείκτες κατατάσσει το εξεταζόμενο σώμα στην 4^η ποιοτική κατηγορία.

Πίνακας 5.25: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων ποιοτικής κατάταξης του ταμιευτήρα Πολυφύτου, ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας

Εφαρμοζόμενος δείκτης	Δυσμενέστερο σενάριο ποιοτικής τάξης (1-5)	Χαρακτηρισμός ποιότητας	Θέση όπου εντοπίστηκε
Prati's Index of Pollution	2	Κατάσταση ρύπανσης	P ₁ (πυθμένας)
Bhargava's Index	3	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	P ₂ (πυθμένας)
Oregon WQI	1	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	P ₁ (επιφάνεια)
NSF WQI (Alexakis et al. 2016)	2	Κακή ποιότητα νερού	P ₂ (πυθμένας)
CCME WQI (Alexakis et al. 2016)	1	Φτωχή ποιότητα νερού	P ₁ (πυθμένας)
Weighted Arithmetic WQI	1	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	P ₂ (επιφάνεια)
Dinius Index	1	<u><i>i. Υδρευση:</i></u>	P ₁ (πυθμένας)
	2	<u><i>ii. Αναψυχή:</i></u>	
	1	<u><i>iii. Διαβίωση ιχθύων:</i></u>	
	1	<u><i>iv. Διαβίωση οστρακοειδών:</i></u>	Μη αποδεκτή ποιότητα νερού
	2	<u><i>v. Άρδευση:</i></u>	Μη αποδεκτή ποιότητα νερού για επαφή του χρήστη με το νερό
	2	<u><i>vi. Βιομηχανία:</i></u>	Απαίτηση εντατικής επεξεργασίας του νερού για χρήση στις συνήθεις καλλιέργειες
			Απαίτηση εντατικής επεξεργασίας του νερού για χρήση στις συνήθεις βιομηχανίες



Εικόνα 5.13: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης της ποιοτικής κλάσης, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης στον ταμιευτήρα Πολυφύτου, για καθέναν από τους εφαρμοζόμενους δείκτες

Όσον αφορά στο Σταθμισμένο Αριθμητικό Δείκτη, διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης, τα οποία προκύπτουν κατά την εφαρμογή του, παρουσιάζουν αισθητά υψηλότερη διακύμανση συγκριτικά με εκείνα τα οποία προκύπτουν κατά την εφαρμογή των

υπολοίπων δεικτών, καθώς για την πλειονότητα των εξεταζόμενων θέσεων, κυμαίνονται μεταξύ των κλάσεων 1 και 4, καταλαμβάνοντας το σύνολο σχεδόν του εύρους της ποιοτικής κατάταξης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, ακόμη, το γεγονός ότι η εφαρμογή του δείκτη Dinius οδηγεί σε σχετικά υψηλά αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης, παρότι επιλέχθηκε να ληφθεί υπόψιν η χρήση της ύδρευσης, η οποία εύλογα συντέλεσε στην εξαγωγή συντηρητικότερων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, δεδομένης της προσέγγισης που πραγματοποιήθηκε στο σημείο αυτό για την περίπτωση του δείκτη Dinius, καθίσταται εφικτή η σύγκριση του με το Σταθμισμένο Αριθμητικό Δείκτη, καθώς και οι δύο αφορούν στη χρήση νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Διαπιστώνεται, λοιπόν, ότι για την πλειονότητα των δειγματοληψιών, ο δείκτης Dinius κατατάσσει το μελετώμενο σώμα σε ανώτερες ποιοτικές τάξεις σε σχέση με το Σταθμισμένο Αριθμητικό Δείκτη, ενώ αξιοσημείωτη είναι, ακόμη, η σχετική «ακαμψία» την οποία παρουσιάζει συγκρινόμενος με τον αρκετά πιο «ευαίσθητο» σταθμισμένο δείκτη.

Στον Πίνακα 5.26, παρουσιάζονται οι παράμετροι οι οποίες προέκυψαν ως σημαντικότερες κατά την εφαρμογή καθενός εκ των 5 δεικτών που εξετάστηκαν για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου. Είναι σημαντικό να επισημανθεί στο σημείο αυτό ότι οι παράμετροι οι οποίες εμφάνισαν υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης με τα τελικά αποτελέσματα κατά την εφαρμογή ενός δεδομένου δείκτη και, ως εκ τούτου, θεωρήθηκαν περισσότερο σημαντικές για τον υπολογισμό του, είναι αποτέλεσμα ποικίλων παραγόντων. Αναλυτικότερα, η υψηλή συσχέτιση μίας δεδομένης ποιοτικής μεταβλητής με το τελικό αποτέλεσμα ενός δεδομένου δείκτη είναι δυνατόν να συνδέεται: (α) με το συνδυασμό των ποιοτικών μεταβλητών που χρησιμοποιεί η εν λόγω μεθοδολογία, (β) με τον τρόπο που αντιμετωπίζεται η παράμετρος στο πλαίσιο της μεθόδου (π.χ. με την εξίσωση του υπο-δείκτη της δεδομένης παραμέτρου, την εξίσωση συνυπολογισμού του συνόλου των υποδεικτών, καθώς και με το συντελεστή βαρύτητας –στην περίπτωση όπου πρόκειται για σταθμισμένη μέθοδο- που αποδίδει η μεθοδολογία στη συγκεκριμένη μεταβλητή κ.λ.π.) και (γ) με το ίδιο το δείγμα, δηλαδή με τις τιμές της συγκέντρωσης που εμφανίζει η παράμετρος και με το κατά πόσο αυτές είναι ικανές να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό το τελικό αποτέλεσμα ποιότητας. Καθίσταται, έτσι, αντιληπτό πως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη γενίκευση των κατωτέρω αποτελεσμάτων, καθώς συνδέονται τόσο με την εκάστοτε μεθοδολογία όσο και με τις τοπικές συνθήκες και, συνεπώς αφορούν στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον, αναφορικά με το δείκτη Oregon, επισημαίνεται πως παρότι οι παράμετροι DO και TSS, οι οποίες προέκυψαν ως περισσότερο σημαντικές, παρουσίασαν σχετικά υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες παραμέτρους, οι ιδιαίτερα μικρές αποκλίσεις μεταξύ των συντελεστών των επιμέρους μεταβλητών οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει ως το συνδυασμένο αποτέλεσμα του συνόλου των παραμέτρων.

5.3.2 Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

Όσον αφορά στην εφαρμογή των επιμέρους μεθοδολογιών-δεικτών για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζης, παρατηρήθηκε ότι, σε αντίθεση με την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, παρά τις όποιες αποκλίσεις εντοπίστηκαν μεταξύ των επιμέρους μεθόδων, ευνοούν την εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων αναφορικά με τη σχετική κατάσταση ποιότητας των 3 θέσεων δειγματοληψίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανότατα στις υψηλότερες αποκλίσεις, οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ των επιμέρους σταθμών παρακολούθησης –

σε αντίθεση με την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου- και, κατά συνέπεια, στην αδυναμία εξομάλυνσης των αποκλίσεων αυτών ως αποτέλεσμα του εφαρμοζόμενου κάθε φορά μεθοδολογικού πλαισίου. Αναλυτικότερα, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη κάθε φορά μεθοδολογία, διαπιστώθηκε ότι ο δειγματοληπτικός σταθμός GS₁ εμφανίζει καλύτερες συνθήκες ποιότητας από τον κατάντη σταθμό GS₂, για το σύνολο σχεδόν της δειγματοληπτικής περιόδου, ενώ για την πλειονότητα των επιμέρους δειγματοληψιών, παρουσιάζει ανώτερη ποιότητα νερού συγκρινόμενος και με τον τελευταίο σταθμό (GS₃). Επιπλέον και σε ό,τι αφορά στους σταθμούς GS₂ και GS₃, διαπιστώθηκε ότι οι συνθήκες του νερού στον τελευταίο σταθμό χαρακτηρίζονται ως ίσης ή ανώτερης ποιότητας, σε σύγκριση με τον ανάντη σταθμό GS₂.

Πίνακας 5.26: Σημαντικές παράμετροι ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία για την περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου

Μεθοδολογία	Σημαντική ή σημαντικές παράμετροι
Δείκτης ρύπανσης των Prati et al. (1971)	TSS, COD
Δείκτης Bhargava	BOD ₅ , DO
Δείκτης Oregon	DO, TSS
Δείκτης CCME	-
Δείκτης NSF	-
Δείκτης Dinius	DO, EC, BOD ₅
Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης	NH ₄ ⁺ -N

Ακολούθως και σε ό,τι αφορά στο 2^ο επίπεδο ανάλυσης των αποτελεσμάτων, το οποίο περιλαμβάνει την ποιοτική κατάταξη του ποταμού, στον Πίνακα 5.27 παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα για καθεμία από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν.

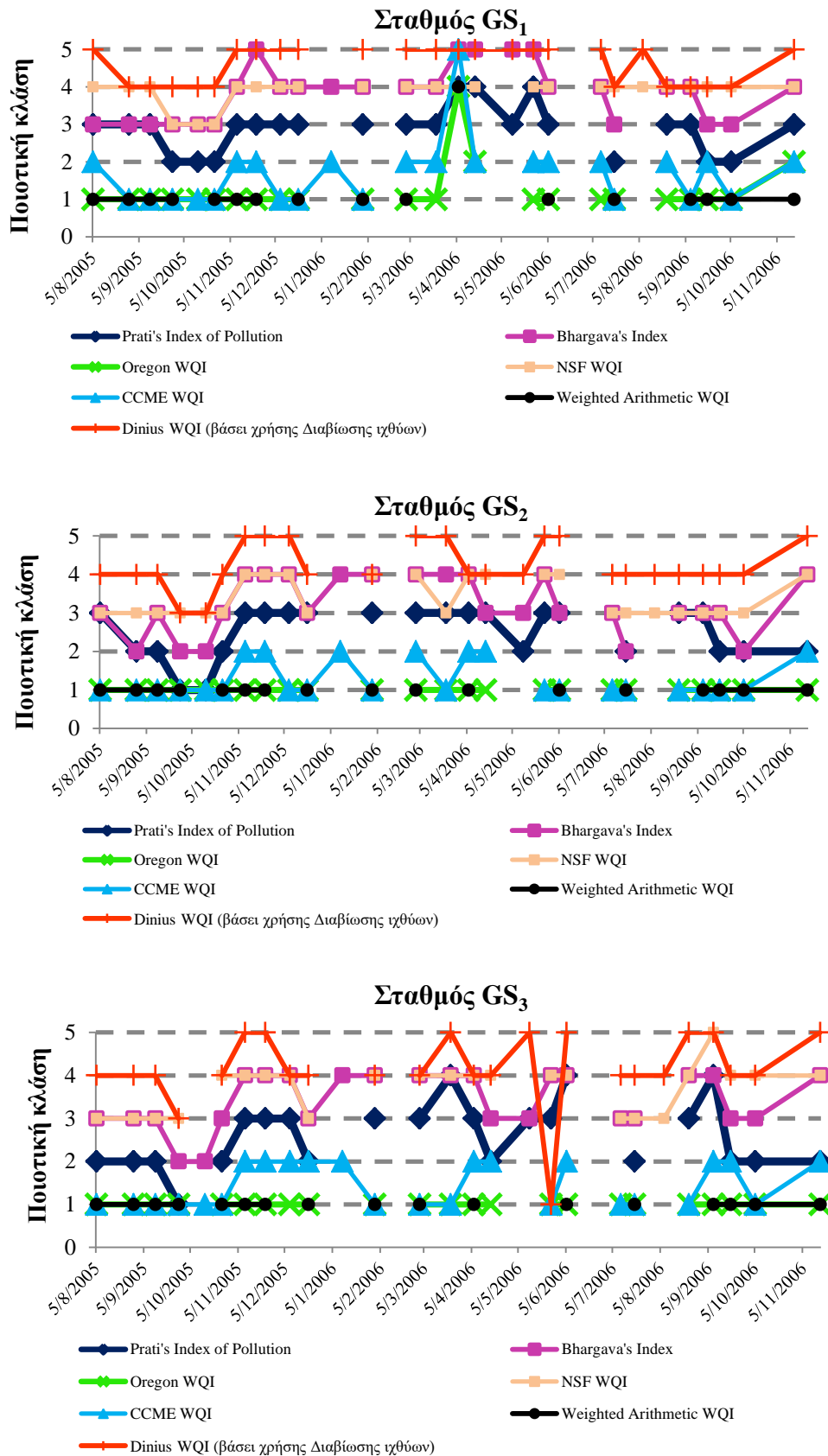
Διευκρινίζεται ότι για την περίπτωση του δείκτη Dinius, παρατίθενται η ποιοτική κατάταξη, καθώς και ο σχετικός χαρακτηρισμός ποιότητας, τα οποία προέκυψαν για κάθε επιμέρους χρήση βάσει του δυσμενέστερου σεναρίου ποιότητας (χαμηλότερης τιμής του δείκτη). Παρόλα αυτά, για την τελική ταξινόμηση του υδατορεύματος βάσει της μεθοδολογίας Dinius, θεωρήθηκε συνεπέστερο να ληφθεί υπόψιν η χρήση της «διαβίωσης ιχθύων», ως καθοριστικότερης μεταξύ των αξιοποιηθεισών χρήσεων του ποταμού. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι η υψηλότερη κατηγορία ποιότητας στην οποία εντάχθηκε το εξεταζόμενο σώμα είναι η ποιοτική τάξη 3, αποτέλεσμα το οποίο προέκυψε μέσω της εφαρμογής του δείκτη NSF. Βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Bhargava και λαμβάνοντας υπόψιν και πάλι το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας, το μελετώμενο σώμα κατατάχθηκε στη 2^η ποιοτική κλάση. Τέλος, οι μεθοδολογίες των δεικτών Prati, Oregon, CCME, Dinius (λαμβάνοντας υπόψιν τη χρήση διαβίωσης ιχθύων), καθώς και η μεθοδολογία του Σταθμισμένου Αριθμητικού δείκτη, κατέταξαν το υδατόρευμα στην κατώτερη κατηγορία ποιότητας, δηλαδή στην ποιοτική κλάση 1.

Στην Εικόνα 5.14, παρουσιάζεται η διακύμανση του αριθμού της ποιοτικής τάξης κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου, σε καθέναν από τους 3 δειγματοληπτικούς σταθμούς, έτσι όπως αυτή προέκυψε για κάθε επιμέρους μεθοδολογία-δείκτη που εφαρμόστηκε. Διευκρινίζεται ότι τα αποτελέσματα της ποιοτικής τάξης τα οποία απεικονίζονται στα κατωτέρω διαγράμματα για την περίπτωση του δείκτη Dinius, αφορούν, όπως αναφέρθηκε, στη χρήση της διαβίωσης ιχθύων. Η ποιοτική κατάταξη, ωστόσο, ανά δειγματοληψία, έτσι όπως αυτή προέκυψε λαμβάνοντας υπόψιν καθεμία από τις υπόλοιπες χρήσεις παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα II.

Πίνακας 5.27: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων ποιοτικής κατάταξης του ποταμού Βοσβόζης, ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο ποιότητας

Εφαρμοζόμενος δείκτης	Δυσμενέστερο		Χαρακτηρισμός ποιότητας	Θέση όπου εντοπίστηκε
	σενάριο	ποιοτικής τάξης (1-5)		
Prati's Index of Pollution	1		Κατάσταση υψηλής ρύπανσης	GS ₃
Bhargava's Index	2		Φτωχή ποιότητα νερού	GS ₂
Oregon WQI	1		Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	GS ₂
NSF WQI	3		Μέτρια ποιότητα νερού	GS ₂
CCME WQI	1		Φτωχή ποιότητα νερού	GS ₂
Weighted Arithmetic WQI	1		Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	GS ₂
Dinius Index	1	<u>Υδρευση:</u>	Μη αποδεκτή ποιότητα νερού	GS ₃
	2	<u>Αναψυχή:</u>	Μη αποδεκτή ποιότητα για επαφή του χρήστη με το νερό	
	1	<u>Διαβίωση ιχθύων:</u>	Μη αποδεκτή ποιότητα νερού	
	1	<u>Διαβίωση οστρακοειδών:</u>	Μη αποδεκτή ποιότητα νερού	
	2	<u>Άρδευση:</u>	Απαίτηση εντατικής επεξεργασίας του νερού για χρήση στην πλειονότητα των συνήθων καλλιεργειών	
	2	<u>Βιομηχανία:</u>	Απαίτηση εντατικής επεξεργασίας του νερού για χρήση στην πλειονότητα των συνήθων βιομηχανιών	

Παρατηρώντας τα διαγράμματα της Εικόνας 5.14, διαπιστώνεται ότι για την πλειονότητα των δειγματοληψιών, υψηλότερη ποιοτική κατάταξη προκύπτει κατά την εφαρμογή του δείκτη Dinius, ο οποίος αποδίδει αποτελέσματα, ως επί το πλείστον, μεταξύ των κλάσεων 3 και 5 (πλην μίας δειγματοληψίας κατά την οποία κατέταξε το μελετώμενο σώμα στην 1^η ποιοτική τάξη). Σε σχετικά ανώτερες ποιοτικές κλάσεις, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους δείκτες, ταξινομούν το εξεταζόμενο υδατόρευμα και οι δείκτες Bhargava (ποιοτική τάξη 2 έως 5) και NSF, με τον τελευταίο, ωστόσο, να παρουσιάζει αισθητά μικρότερη διακύμανση, καθώς αποδίδει αποτελέσματα κυρίως μεταξύ των κατηγοριών ποιότητας 3 και 4 (πλην μίας μόνο δειγματοληψίας για την οποία κατέταξε το μελετώμενο υδατόρευμα στην 5^η κατηγορία ποιότητας). Ακολούθως, κατώτερα αποτελέσματα ποιότητας προκύπτουν κατά την εφαρμογή του δείκτη Prati, βάσει του οποίου ο ποταμός Βοσβόζης για κάθε επιμέρους δειγματοληψία ταξινομείται μεταξύ των κλάσεων 1 και 4.



Εικόνα 5.14: Συγκριτική απεικόνιση της διακύμανσης της ποιοτικής κλάσης, ανά δειγματοληψία και θέση παρακολούθησης στον ποταμό Βοσβόζη, για καθέναν από τους εφαρμοζόμενους δείκτες

Μάλιστα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο εν λόγω δείκτης ταξινομεί το μελετώμενο σώμα σε ίση ή χαμηλότερη κατηγορία ποιότητας, σε σύγκριση με τους 2 προηγούμενους δείκτες Bhargava και NSF, για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και των επιμέρους θέσεων. Τέλος και αναφορικά με τους δείκτες Oregon και CCME, διαπιστώνεται κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, ότι οι συγκεκριμένοι δείκτες μπορούν να χαρακτηριστούν ως περισσότερο «αυστηροί» και «άκαμπτοι» στις επιμέρους μεταβολές των συνθηκών ποιότητας, καθώς κατατάσσουν το εξεταζόμενο σώμα, ως επί το πλείστον, στην 1^η κατηγορία ποιότητας, για την περίπτωση του δείκτη Oregon, και μεταξύ των κατηγοριών 1 και 2, για την περίπτωση του δείκτη CCME, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν αισθητά μικρότερη διακύμανση. Όσον αφορά στα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης τα οποία προέκυψαν βάσει του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, το εξεταζόμενο σώμα, λαμβάνοντας υπόψιν την καταλληλότητα των υδάτων του για χρήση πόσιμου νερού, κατατάσσεται σταθερά στην κατώτερη ποιοτική κατηγορία για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και των επιμέρους θέσεων.

Στον Πίνακα 5.28, παρουσιάζονται οι ποιοτικές παράμετροι οι οποίες προέκυψαν ως περισσότερο σημαντικές, βάσει του συντελεστή συσχέτισης που εμφάνισαν με τα τελικά αποτελέσματα του δείκτη κάθε επιμέρους μεθοδολογίας.

Πίνακας 5.28: Σημαντικές παράμετροι ανά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη

Μεθοδολογία	Σημαντική ή σημαντικές παράμετροι
Δείκτης ρύπανσης των Prati et al. (1971)	BOD ₅ , COD
Δείκτης Bhargava	BOD ₅ , EC
Δείκτης Oregon	BOD ₅
Δείκτης NSF	BOD ₅ , DO
Δείκτης CCME	TP, BOD ₅ , DO
Δείκτης Dinius	BOD ₅ , EC, DO
Σταθμισμένος Αριθμητικός Δείκτης	NH ₄ ⁺ -N, TP

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, έγινε χρήση της μεθοδολογίας των Δεικτών Ποιότητας Νερού, προκειμένου να διερευνηθεί και να ταξινομηθεί η ποιοτική κατάσταση δύο επιμέρους υδατικών σωμάτων, ενός λιμναίου (ταμιευτήρας Πολυφύτου) και ενός ποτάμιου (ποταμός Βοσβόζης). Η εφαρμογή των εν λόγω δεικτών ως μεθοδολογικών εργαλείων στην κατεύθυνση της ποιοτικής αξιολόγησης ενός δεδομένου υδατικού σώματος, απεδείχθη ιδιαίτερα χρήσιμη με το πέρας της παρούσας εργασίας, καθώς συντέλεσε, αφενός, στην αποτίμηση των συνθηκών ποιότητας κάθε επιμέρους σώματος και στην κατάταξη αυτού σε μία ορισμένη ποιοτική κλάση και, αφετέρου, στην ανίχνευση αποκλίσεων όσον αφορά στις υφιστάμενες συνθήκες ποιότητας μεταξύ των επιμέρους θέσεων παρακολούθησης του ιδίου κάθε φορά σώματος. Επιπρόσθετα, μέσω της εφαρμογής 7 διαφορετικών μεθοδολογιών-δεικτών στα μελετώμενα σώματα, κατέστη εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας στα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης των σωμάτων, ενώ προσδιορίστηκαν, ακόμη, οι δείκτες εκείνοι οι οποίοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως περισσότερο «αυστηροί», με βάση τα αποτελέσματα της ποιοτικής κατάταξης που αποδίδουν, καθώς και εκείνοι οι οποίοι τείνουν να κατατάσσουν τα εκάστοτε υδατικά σώματα σε ανώτερες –συγκριτικά– ποιοτικές κατηγορίες.

Αναφορικά με την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, με το πέρας της παρούσας εργασίας δεν κατέστη εφικτή η ανίχνευση σημαντικών διαφοροποιήσεων όσον αφορά στις συνθήκες ποιότητας μεταξύ των επιμέρους σταθμών και θέσεων παρακολούθησης. Οι αποκλίσεις οι οποίες προέκυψαν στα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη καθώς και στη συνεπαγόμενη ποιοτική τάξη, για κάθε επιμέρους δειγματοληψία και εξεταζόμενη θέση, μεταξύ των επιμέρους μεθοδολογιών, σε συνδυασμό με την απουσία αισθητών και σταθερών, κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου, διαφορών μεταξύ των επιμέρους θέσεων, δεν επέτρεψε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με τη σχετική κατάταξη αυτών βάσει των συνθηκών ποιότητας τους.

Αντιθέτως, στην περίπτωση του ποταμού Βοσβόζης, ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης κάθε φορά μεθοδολογίας-δείκτη, προέκυψε ότι ο δειγματοληπτικός σταθμός GS₁ εμφανίζει καλύτερες συνθήκες ποιότητας νερού για το σύνολο σχεδόν της δειγματοληπτικής περιόδου συγκρινόμενος με τον κατάντη σταθμό GS₂, ενώ για την πλειονότητα των δειγματοληψιών εμφανίζει ανώτερη ποιότητα νερού και από το σταθμό GS₃. Σε ό,τι αφορά στη σχετική κατάσταση ποιότητας μεταξύ των σταθμών GS₂ και GS₃, διαπιστώθηκε ότι ο τελευταίος σταθμός παρουσιάζει όμοιες έως ανώτερες συνθήκες ποιότητας κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου.

Ακολούθως και όσον αφορά στην ποιοτική κατάταξη του ταμιευτήρα Πολυφύτου, με βάση τη μεθοδολογία του δείκτη Bhargava προέκυψε ότι το εν λόγω υδατικό σώμα εμπίπτει στην 3^η κατηγορία ποιότητας, η οποία εκφράζει «ικανοποιητική ποιότητα νερού». Κατά την εφαρμογή των δεικτών Prati και NSF, ο ταμιευτήρας εντάχθηκε στην ποιοτική κλάση 2, η οποία για καθεμία εκ των μεθόδων εκφράζει «κατάσταση ρύπανσης» και «κακή ποιότητα νερού», αντίστοιχα. Τέλος, βάσει των δεικτών Oregon, CCME, Dinius (λαμβάνοντας υπόψιν τη χρήση ύδρευσης) καθώς και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, το μελετώμενο σώμα κατατάχθηκε στην κατώτερη ποιοτική τάξη (1^η κατηγορία ποιότητας). Σύμφωνα με τα συστήματα ταξινόμησης των μεθόδων αυτών, η συγκεκριμένη ποιοτική κατηγορία εκφράζει «πολύ φτωχή ποιότητα νερού», «φτωχή ποιότητα νερού», «μη αποδεκτή ποιότητα νερού» και «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού», αντίστοιχα.

Αντίστοιχα, για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, κατά την εφαρμογή του δείκτη NSF προέκυψε ότι το εξεταζόμενο σώμα εμπίπτει στην 3^η ποιοτική κατηγορία, βάσει της οποίας η ποιότητα του νερού αξιολογείται ως «μέτρια». Με βάση τη μεθοδολογία του δείκτη Bhargava, η ποιοτική κατάσταση του νερού στο εξεταζόμενο σώμα χαρακτηρίστηκε ως «φτωχή» (2^η ποιοτική κλάση), ενώ για την περίπτωση των δεικτών Prati, Oregon, CCME, Dinius (λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση διαβίωσης ιχθύων), καθώς και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη, το μελετώμενο υδατόρευμα κατατάχθηκε στην 1^η κατηγορία ποιότητας, η οποία για καθεμία από τις εν λόγω μεθόδους εκφράζει «κατάσταση υψηλής ρύπανσης», «πολύ φτωχή ποιότητα νερού», «φτωχή ποιότητα νερού», «μη αποδεκτή ποιότητα νερού» και «ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού», αντίστοιχα.

Επιπλέον, όσον αφορά στην επίδραση του εφαρμοζόμενου κάθε φορά δείκτη στην ποιοτική ταξινόμηση των μελετώμενων σωμάτων, διαπιστώθηκε ότι εντοπίζονται σημαντικές διαφορές στα προκύπτοντα αποτελέσματα μεταξύ των επιμέρους μεθοδολογιών. Ειδικότερα, εξετάζοντας τα αποτελέσματα σε επίπεδο δειγματοληψίας για το σύνολο των περιόδων παρακολούθησης, βρέθηκε ότι διαμορφώνονται τρεις επιμέρους κατηγορίες δεικτών με βάση τα αποτελέσματα της ποιοτικής κλάσης που αποδίδουν ανά δειγματοληψία, για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, και τέσσερις, για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη. Τόσο για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου όσο και για εκείνη του ποταμού Βοσβόζη, παρατηρήθηκε ότι οι δείκτες Bhargava και NSF τείνουν να κατατάσσουν τα εξεταζόμενα σώματα σε ανώτερες ποιοτικές τάξεις, συγκρινόμενοι με τους δείκτες Prati, Oregon και CCME. Αντίστοιχα, διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης Prati καταλαμβάνει κυρίως τις μεσαίες κλάσεις της ποιοτικής κατάταξης, αποδίδοντας, μάλιστα, ειδικά για την περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη αποτελέσματα αποκλειστικά ίσης ή χαμηλότερης κατηγορίας ποιότητας, σε σύγκριση με τους δείκτες Bhargava και NSF, για το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και των επιμέρους θέσεων. Τέλος, προέκυψε ότι οι δείκτες CCME και Oregon, αποδίδουν αποτελέσματα τα οποία κινούνται σταθερά στις κατώτερες ποιοτικές τάξεις, γεγονός το οποίο τους καθιστά περισσότερο «αυστηρούς». Όσον αφορά στο δείκτη Dinius, διαπιστώθηκε ότι αποδίδει αποτελέσματα διαφορετικής τάξης, κατά την εφαρμογή του στα δύο επιμέρους σώματα. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, ο δείκτης κινείται στις μεσαίες τάξεις της ποιοτικής κατάταξης, μαζί με το δείκτη Prati, αποδίδοντας αποτελέσματα μεταξύ των κλάσεων 2 και 4. Αντίθετα, στην περίπτωση του ποταμού Βοσβόζη, η εφαρμογή του οδηγεί στην ταξινόμηση του μελετώμενου σώματος στις ανώτερες κατηγορίες της ποιοτικής κατάταξης. Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη ότι για την ταξινόμηση των μελετώμενων σωμάτων βάσει του δείκτη Dinius λήφθηκε υπόψη η κρισιμότερη κατηγορία χρήσης νερού –δηλαδή η ύδρευση για τον ταμιευτήρα και η διαβίωση ιχθύων για το υδατόρευμα– καθίσταται αντιληπτό ότι πρόκειται για έναν σχετικά «ελαστικό» δείκτη. Όσον αφορά στα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν κατά την εφαρμογή του Σταθμισμένου Δείκτη, επισημαίνεται ότι αυτά δεν μπορούν να τεθούν σε σύγκριση με τους προαναφερθέντες δείκτες, λόγω της διαφορετικής χρήσης του νερού που αξιολογεί η συγκεκριμένη μεθοδολογία. Παρατηρήθηκε ωστόσο, ότι η εν λόγω μέθοδος παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά όσον αφορά στην ποιοτική κατάταξη που αποδίδει, στα 2 επιμέρους σώματα, εμφανίζοντας σημαντικά υψηλότερη διακύμανση στην 1^η περίπτωση εφαρμογής σε σύγκριση με τη 2^η.

Παρόλα αυτά, στην κατεύθυνση της εξαγωγής ασφαλέστερων συμπερασμάτων, επισημαίνεται πως είναι αναγκαία η εφαρμογή των ανωτέρω μεθοδολογιών-δεικτών σε έναν επαρκή αριθμό υδατικών σωμάτων. Με τον τρόπο αυτό, θα επαληθευτεί η συμπεριφορά τους σε υδατικά σώματα τα οποία

χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, καθιστώντας έτσι εφικτή τη γενίκευση των όποιων συμπερασμάτων.

Πέραν της εφαρμογής των επιμέρους δεικτών στα μελετώμενα υδατικά σώματα, στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν, ακόμη, οι σημαντικότερες ποιοτικές μεταβλητές, ανά μεθοδολογία, μέσω του προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ κάθε επιμέρους μεταβλητής και του τελικού αποτελέσματος της τιμής του εκάστοτε δείκτη. Η κατάδειξη των παραμέτρων εκείνων οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο στη διαμόρφωση των τελικών αποτελεσμάτων, είναι μείζονος σημασίας στο πλαίσιο της αξιολόγησης της ποιότητας των υδατικών σωμάτων, καθώς καθίσταται εφικτή η εφαρμογή των επιμέρους δεικτών λαμβάνοντας υπόψιν μικρότερο αριθμό ποιοτικών μεταβλητών, ελαχιστοποιώντας έτσι το κόστος για την υλοποίηση των απαιτούμενων δειγματοληψιών αλλά και των αναγκαίων εργαστηριακών αναλύσεων. Παρόλα αυτά, η συσχέτιση κάθε επιμέρους μεταβλητής με το τελικό αποτέλεσμα, κατά την εφαρμογή ενός δεδομένου δείκτη, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως είναι ο συνδυασμός των ποιοτικών μεταβλητών που χρησιμοποιεί η εν λόγω μεθοδολογία, ο τρόπος με τον οποίον αντιμετωπίζεται η παράμετρος στο πλαίσιο της μεθόδου, καθώς και το ίδιο το δείγμα, οι συγκεντρώσεις δηλαδή της εν λόγω μεταβλητής. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα των «σημαντικών παραμέτρων» είναι απόρροια τόσο της εκάστοτε μεθοδολογίας όσο και των τοπικών συνθηκών, και, ως εκ τούτου, μία δεδομένη μέθοδος δεν παρουσιάζει κατ' ανάγκη τις ίδιες σημαντικές παραμέτρους κατά την εφαρμογή της σε διαφορετικά υδατικά σώματα. Απαιτείται, λοιπόν, ιδιαίτερη προσοχή κατά τη γενίκευση των εν λόγω αποτελεσμάτων, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η περαιτέρω διερεύνηση των σημαντικών παραμέτρων ανά μεθοδολογία για περισσότερες περιοχές εφαρμογής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αργυράκη Α. (2014). Σημειώσεις «Περιβαλλοντική Γεωχημεία», Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα.

Βελονάκης Ε. (2001). Μικροβιολογική ποιότητα πόσιμου νερού και Δημόσια Υγεία, Συμπόσιο «Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη», Πάρος, 6-7 Ιουλίου 2001.

Γεράκης Π.Α., Τσιούρης Α., Τσιαούση Β. (2007). Υδατικό καθεστώς και βιωτή υγροτόπων-Προτεινόμενη ελάχιστη στάθμη λιμνών και παροχών ποταμών Μακεδονίας και Θράκης, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας – Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), Θέρμη, 256 σελ.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12), Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Θεοχάρης Μ. (2015). Σημειώσεις «Αρδεύσεις-Η ποιότητα του αρδευτικού νερού», Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου.

Καλογερόπουλος Ν. (2007). Νομοθεσία Νερού.

Κατσαβούνη Σ., Παπαδήμος Δ. (2012). Εκτίμηση των λειτουργιών και αξιών της λίμνης Ισμαρίδας, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας – Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), Θέρμη, 46 σελ.

ΚΕΕΛΠΙΝΟ (2015). Ενημερωτικό δελτίο «Ποιότητα επιφανειακών υδάτων», Υπουργείο Υγείας.

Κούγκολος Α., Λασπίδου Χ., Εμμανουήλ Χ. (2015). Σημειώσεις «Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος-Ποιότητα Νερών», Σχολή Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXA297/Παρουσιάσεις%20μαθήματος%202015-2016/ποιότητα%20νερων.pdf>.

Κουσουρήs Θ.Σ. (2014). Οι λίμνες στην Ελλάδα (4/6. Θράκη και Θεσσαλία) - Μαρτυρίες και Καταγραφές, Αθήνα.

Μαμάης Δ. (2008). Σημειώσεις «Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Μαρκόνης Γ. (2006). Μελέτη της τροφικής κατάστασης του ταμειυτήρα Πολυφύτου με τη χρήση του μοντέλου WASP, Μεταπτυχιακή Εργασία, Μ.Δ.Ε. «Περιβαλλοντικής και Υγειονομικής Μηχανικής», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Νταρακάς Ε. (2013). Σημειώσεις «Εργαστηριακές μέθοδοι αποτίμησης ποιότητας νερού και λυμάτων», Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Νταρακάς Ε. (2014). Σημειώσεις «Τεχνική Περιβάλλοντος», Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (2007). Έργο «Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπογείων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας, Θράκης και Θεσσαλίας - Αποτελέσματα λεκάνης Αλιάκμονα», Πρόγραμμα Αγροτικής Ανάπτυξης της Ελλάδας 2007-2013.

ΦΕΚ 438/Β/03.07.1986 (1986). Κ.Υ.Α. 46399/4352/86 «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, κολύμβηση, διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά και καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών, μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ».

ΦΕΚ 892/Β/11.07.2001 (2001). Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998».

ΦΕΚ 54/08.03.2003 (2003). Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000».

ΦΕΚ 54/08.03.2007 (2007). Π.Δ. 51/2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000».

ΦΕΚ 356/Β/26.02.2009 (2009). Κ.Υ.Α. 8600/416/Ε103/2009 «Ποιότητα και μέτρα διαχείρισης των υδάτων κολύμβησης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/7/ΕΚ σχετικά με την διαχείριση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης και την κατάργηση της οδηγίας 76/160/ΕΟΚ, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15ης Φεβρουαρίου 2006».

Χαραλάμπους Α. Ι. (2016). Σημειώσεις «Περιβαλλοντική Επιστήμη-Υδατικό Περιβάλλον, Μέρος 6^ο», Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χατζηκιοσεγιάν Α., Μπέντος Δ., Στασινός Σ. (2013). Σημειώσεις «Υγιεινή Περιβάλλοντος-Συνοπτική Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις», Τμήμα Δημόσιας Υγιεινής, Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αθήνα.

Τσιχριντζής Β. (2017). Σημειώσεις «Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Περιβάλλοντος - Στοιχεία Χημείας και Ποιότητα Νερού», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbasi T., Abbasi S.A. (2012). Water quality indices, Elsevier, p, 363.

- Al-Mutairi N., Abahussain A., El-Battay A. (2014). Application of Water Quality Index to assess the environmental quality of Kuwait Bay, *International Conference on Advances in Agriculture, Biological and Environmental Sciences*, Dubai (UAE), October 15-16, 2014.
- Alexakis D., Tsihrintzis V.A., Tsakiris G., Gikas G.D. (2016). Suitability of Water Quality Indices for application in lakes in the Mediterranean, *Water Resources Management*, 30(5), 1621-1633.
- Alobaidy A.H.M.J., Abid H.S., Maulood B.K. (2010). Application of Water Quality Index for assessment of Dokan Lake Ecosystem, Kurdistan Region, Iraq, *Journal of Water Resource and Protection*, 2(9), 792-798.
- American Public Health Association (APHA) (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Ed., APHA, Washington.
- Bordalo A.A., Nilsumranchit W., Chalermwat K. (2001). Water quality of the Bangpakong River (Eastern Thailand), *Water Research*, 35(15), 3635-3642.
- 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, *Environmental Management*, 38(6), 910-920.
- Boskidis I., Gikas G.D., Pisinaras V., Tsihrintzis V.A. (2010). Spatial and temporal changes of water quality, and SWAT modeling of Vosvozis river basin, North Greece, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 45(11), 1421-1440.
- Boyacioglu H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme, *Water SA*, 33(1), 101-106.
- Brown R. M., McClelland N. I., Deininger R. A., Tozer R. G. (1970). A Water Quality Index: Do We Dare?, *Water Sewage Works*, 117(10), 339-343.
- Chauhan A., Singh S. (2010). Evaluation of Ganga water for drinking purpose by Water Quality Index at Rishikesh, Uttarakhand, India, *Report Opinion*, 2(9), 53-61.
- Darvishi G., Kootenaei F.G., Ramezani M., Lotfi E., Asgharnia H. (2016). Comparative investigation of river water quality by OWQI, NSFQI and Wilcox Indices (Case study: the Talar River-Iran), *Archives of Environmental Protection*, 42(1), 41-48.
- Debels P., Figueroa R., Urrutia R., Barra R., Niell X. (2005). Evaluation of water quality in the Chillan River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified Water Quality Index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 110(1), 301-322.
- Ewaid S.H. (2016). Water quality assessment of Al-Gharraf River, South of Iraq by Canadian Water Quality Index (CCME WQI), *Iraqi Journal of Science*, 57(2A), 878-885.
- Fondriest Environmental (2010). Turbidity measurement, *Environmental Monitor*. <http://www.fondriest.com/news/turbiditymeasurement.htm>.

Gikas G.D., Tsihrintzis V.A., Akratos C.S., Haralambidis G. (2009). Water quality trends in Polyphytos reservoir, Aliakmon River, Greece, *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 163-181.

Gikas G.D. (2017). Water quantity and hydrochemical quality of Laspias River, North Greece, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, doi : 10.1080/10934529.2017.1357408.

Haque M.M., Kader F., Kuruppu U., Rahman A. (2015). Assessment of water quality in Hawkesbury-Nepean River in Sydney using Water Quality Index and multivariate analysis, *21st International Congress on Modelling and Simulation*, Gold Coast, Australia, 29 November to 4 December, 2015.

Hashim S., Yuebo X., Hashim I. (2015). Comparative indices evaluation to restore urban rivers water quality by using bacterial technology, *Kasmera Journal*, 43(1), 198-209.

Jawad Alobaidy A.M., Abid H.S., Maulood B.K. (2010). Application of Water Quality Index for assessment of Dokan Lake ecosystem, Kurdistan region, Iraq, *Journal of Water Resource and Protection*, 2(9), 792-798.

Jonnalagadda S.B., Mhere G. (2001). Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe, *Water Research*, 35(10), 2371-2376.

Kumari S., Rani J. (2014). Assessment of Water Quality Index of ground water in Smalkhan, Haryana, *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 3(6), 169-172.

Lumb A., Halliwell D., Sharma T. (2006). Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: a case of the Mackenzie river basin, Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 113(1), 411-429.

Mitra P., Reddy P.B. (2016). Application of Water Quality Index (WQI) as a tool for assessment of pollution status of Shivna River at Mandsaur, M. P. India, *Trends in Life Sciences Journal*, 5(1).

Moyel M.S., Hussain N.A. (2015). Water quality assessment of the Shatt al-Arab River, Southern Iraq, *Journal of Coastal Life Medicine*, 3(6), 459-465.

Pesce S.F., Wunderlin A. (2000). Use of Water Quality Indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia River, *Water Research*, 34(11), 2915-2926.

Pisinaras V., Petalas C., Tsihrintzis V.A., Zagana E. (2007). A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece, *Environmental Modeling and Assessment*, 12(2), 75-89.

Poonam T., Tanushree B., Sukalyan C. (2013). Water Quality Indices-important tools for water quality assessment: a review, *International Journal of Advances in Chemistry*, 1(1), 15-28.

Prati L., Pavanello R., Pesarin F. (1971). Assessment of surface water quality by a single index of pollution, *Water Research*, 5(9), 741-751.

Ramakrishnaiah C.R., Sadashivaiah C., Ranganna G. (2009). Assessment of Water Quality Index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India, *E-Journal of Chemistry*, 6(2), 523-530.

Sanchez E., Colmenarejo M.F., Vicente J., Rubio A., Garcia M.G., Travieso L., Borja R. (2007). Use of the Water Quality Index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution, *Ecological Indicators*, 7(2), 315-328.

Shah K.A., Joshi G.S. (2015). Evaluation of Water Quality Index for River Sabarmati, Gujarat, India, *Applied Water Science*, 5, 1-10.

Trikoilidou E., Samiotis G., Tsikritzis L., Kevrekidis T., Amanatidou E. (2017). Evaluation of Water Quality Indices Adequacy in Characterizing the Physico-Chemical Water Quality of Lakes, *Environmental Processes*, doi: 10.1007/s40710-017-0218-y.

Tsakiris V. (2016). A new water quality index for bottled water assessment, *European Water*, 54, 19-26.

Tyagi S., Sharma B., Singh P., Dobhal R. (2013). Water quality assessment in terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34-38.

Yisa J., Jimoh T. (2010). Analytical Studies on Water Quality Index of River Landzu, *American Journal of Applied Sciences*, 7(4), 453-458.

World Health Organisation (WHO) (1993). Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd Ed., WHO, Geneva.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

<http://geodata.gov.gr>

<http://www.mae.gov.nl.ca/waterres/quality/background/cwqi.html>

http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/velonakis_e.pdf

<http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Αναλυτικός υπολογισμός Δεικτών Ποιότητας Νερού- Περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου

Στο παρόν παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες υπολογισμού των ολικών δεικτών ποιότητας νερού, καθώς και των επιμέρους υποδεικτών για καθεμία εκ των συνυπολογιζομένων ποιοτικών παραμέτρων, ανά δειγματοληψία, για καθεμία εκ του συνόλου των θέσεων παρακολούθησης (3 σταθμοί και 2 επιμέρους βάθη), πλην του σταθμού P₁ (μέτρηση επιφανείας), η υπολογιστική διαδικασία του οποίου παρατέθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα εν λόγω αποτελέσματα για την περίπτωση των δεικτών Prati, Bhargava, Oregon, Dinius και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη.

Πίνακας Ι.1: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμιον) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.99	0.72		1.05	0.13	3.93	7.68			
23/7/2004	1.93	2.06	0.00	1.04	0.00	13.13	2.88	3.01	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	1.72	2.65	1.98	0.82	0.00	3.93	2.88	2.00	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	1.04	2.17	4.01	2.66	0.27	0.00	1.44	1.66	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/10/2004	2.02	3.61	8.84	1.26	0.28	0.00	3.84	2.84	Ελαφριά ρύπανση	3
21/11/2004	2.28	4.34	4.43	1.51	0.03	0.93	3.84	2.48	Ελαφριά ρύπανση	3
19/12/2004	1.96	6.33	0.00	2.03	0.00	0.93	2.88	2.02	Ελαφριά ρύπανση	3
23/1/2005	3.13		0.00	1.83	0.24	0.00	5.28			
21/2/2005	2.89	7.02	7.10	1.75	0.04	0.00	0.00	2.69	Ελαφριά ρύπανση	3
18/3/2005	2.56	3.66	8.59	0.76	0.22	1.47	6.72	3.43	Ελαφριά ρύπανση	3
24/4/2005	2.28	5.00	11.40	0.95	0.07	0.00	2.88	3.23	Ελαφριά ρύπανση	3
22/5/2005	4.28	1.02	15.83	1.54	0.12	0.00	8.16	4.42	Ρύπανση	2

Πίνακας Ι.2: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.82	2.47		0.95	0.12	3.20	2.88			
23/7/2004	2.10	2.42	0.00	0.90	0.00	13.47	5.28	3.45	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	2.25	0.79	0.00	0.45	0.00	3.53	1.92	1.28	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	2.22	3.11	0.00	1.61	0.20	1.47	2.40	1.57	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/10/2004	2.31	4.69	0.00	1.23	0.25	0.73	4.32	1.93	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	2.31	4.73	0.00	1.44	0.03	2.40	3.36	2.04	Ελαφριά ρύπανση	3
19/12/2004	2.28	6.90	0.00	2.14	0.00	0.00	4.80	2.30	Ελαφριά ρύπανση	3
23/1/2005	0.81	6.18	0.00	1.75	0.08	0.00	5.28	2.01	Ελαφριά ρύπανση	3
21/2/2005	0.88	6.50	0.00	0.86	0.05	0.00				
18/3/2005	0.64	4.28	0.00	1.09	0.10	0.00	5.28	1.63	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	0.79	0.45	7.84	0.62	0.12	0.00	5.28	2.16	Ελαφριά ρύπανση	3
22/5/2005	2.13	2.57	16.46	1.15	0.08	0.40	9.12	4.56	Ρύπανση	2

Πίνακας Ι.3: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.46	1.49		1.05	0.11	2.80	5.28			
23/7/2004	2.10	1.86	0.00	0.86	0.00	14.40	2.88	3.16	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	2.37	0.30	0.00	0.69	0.09	3.93	2.40	1.40	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	1.44	3.38	0.00	2.59	0.12	0.00	0.48	1.14	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/10/2004	2.99	4.33	0.00	1.03	0.19	0.00	2.88	1.63	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	2.82	4.88	0.00	1.20	0.02	0.00	3.84	1.82	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
19/12/2004	2.89	7.29	0.00	2.59	0.00	4.87	2.40	2.86	Ελαφριά ρύπανση	3
23/1/2005	2.10	6.99	0.00	2.00	0.00	0.00	2.88	2.00	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
21/2/2005	2.34	6.51	0.00	0.76	0.00	1.13	2.40	1.88	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	1.96	3.52	0.00	0.52	0.13	0.00	6.72	1.84	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	5.46	5.56	0.00	1.00	0.12	0.00	3.84	2.28	Ελαφριά ρύπανση	3
22/5/2005	3.13	0.55	0.00	1.09	0.05	3.33	4.80	1.85	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4

Πίνακας Ι.4: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμιον) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.02	11.94		1.94	0.13	4.13	10.08			
23/7/2004	1.54	3.53	0.00	1.02	0.00	13.27	2.88	3.18	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	0.01	4.45	2.41	0.87	0.00	3.93	1.92	1.94	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
25/9/2004										
18/10/2004										
21/11/2004										
19/12/2004										
23/1/2005										
21/2/2005										
18/3/2005	1.96	3.85	28.12	0.76	0.13	0.00	6.24	5.87	Ρύπανση	2
24/4/2005	1.96	5.93	22.74	0.92	0.13	0.00	3.84	5.07	Ρύπανση	2
22/5/2005	2.16	2.26	34.44	1.68	0.08	0.00	9.60	7.17	Ρύπανση	2

Πίνακας Ι.5: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₂ (Σερβιές) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.44	3.33		1.32	0.11	3.00	3.84			
23/7/2004	0.35	8.45	5.37	1.84	0.00	16.87	2.88	5.11	Ρύπανση	2
23/8/2004	0.32	9.70	0.00	0.40	0.12	3.20	1.92	2.24	Ελαφριά ρύπανση	3
25/9/2004	0.24	9.44	0.00	1.36	0.14	0.00	1.92	1.87	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/10/2004	2.10	5.38	0.00	1.16	0.19	0.00	2.88	1.67	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	2.25	5.34	6.38	1.37	0.01	0.53	3.84	2.82	Ελαφριά ρύπανση	3
19/12/2004	2.19	6.97	0.00	2.15	0.00	0.93	3.36	2.23	Ελαφριά ρύπανση	3
23/1/2005	0.25	6.42	0.00	1.94	0.00	0.00	6.24	2.12	Ελαφριά ρύπανση	3
21/2/2005	0.79	6.91	0.00	1.00	0.00	0.00	0.96	1.38	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	0.49	5.44	0.00	0.60	0.07	0.00	5.76	1.77	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	0.88	1.32	14.40	0.67	0.12	0.00	2.88	2.90	Ελαφριά ρύπανση	3
22/5/2005	1.00	3.81	10.46	0.95	0.08	0.67	9.12	3.73	Ελαφριά ρύπανση	3

Πίνακας Ι.6: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=(1/7)*Σ (I _i)	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	1.30	2.18		1.09	0.12	2.60	9.12			
23/7/2004	1.39	3.69	0.00	0.90	0.00	12.93	2.88	3.11	Ελαφριά ρύπανση	3
23/8/2004	1.99	2.62	0.00	1.20	0.00	3.20	3.36	1.77	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	1.64	4.49	0.00	1.65	0.00	0.20	0.48	1.21	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
18/10/2004										
21/11/2004										
19/12/2004										
23/1/2005										
21/2/2005										
18/3/2005	1.44	4.21	0.00	1.71	0.00	0.00	4.80	1.74	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	4.55	4.27	0.00	0.96	0.12	0.00	4.80	2.10	Ελαφριά ρύπανση	3
22/5/2005	2.25	1.98	0.00	0.95	0.07	1.33	9.12	2.24	Ελαφριά ρύπανση	3

Πίνακας Ι.7: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ1 (Ρύμιον) επιφάνεια																		
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής												Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού $WQI=(\prod I_i)^{1/n_i} * 100$					
	Χρήση νερού																	
	(1)			(2)			(3)	(4)		(5)			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅						
21/6/2004	0.98		0.56	0.96	0.98		0.54	0.84		0.84	0.60	0.97	0.64			83.61		71.85
23/7/2004	0.81	1.00	0.01	0.97	0.81	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.50	0.79	0.01	29.76	20.11	83.99	91.65	15.86
23/8/2004	0.77		0.56	0.98	0.77		0.54	0.86		0.86	0.61	0.75	0.64	67.69	59.54	85.50	65.38	66.55
25/9/2004	0.85		1.00	0.84	0.85		1.00	0.81		0.81	0.66	0.84	1.00			80.65		82.19
18/10/2004	0.78	0.10	1.00	0.95	0.78	0.10	1.00	0.87	0.10	0.87	1.00	0.76	1.00	52.14	42.65	87.26	29.54	91.08
21/11/2004	0.76	0.30	0.96	0.94	0.76	0.30	0.96	0.81	0.30	0.81	1.00	0.74	0.97	67.19	60.17	81.38	49.41	89.25
19/12/2004	0.44	0.50	0.96	0.90	0.44	0.50	0.96	0.81	0.50	0.81	1.00	0.36	0.97	65.89	59.45	80.75	63.54	70.63
23/1/2005		0.80	1.00	0.91		0.80	1.00	0.81	0.80	0.81	1.00		1.00			80.85	80.42	
21/2/2005	0.37	0.45	1.00	0.92	0.37	0.45	1.00	0.80	0.45	0.80	1.00	0.27	1.00	62.37	54.81	79.88	59.96	64.84
18/3/2005	0.84	0.50	0.88	0.98	0.84	0.50	0.88	0.83	0.50	0.83	1.00	0.83	0.91	77.60	71.94	82.97	64.41	90.86
24/4/2005	0.54	1.00	1.00	0.97	0.54	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.49	1.00	85.00	81.34	83.64	91.46	78.67
22/5/2005	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	0.74	0.99	1.00	98.19	99.84	83.51	91.39	90.36
21/6/2004	0.98		0.56	0.96	0.98		0.54	0.84		0.84	0.60	0.97	0.64			83.61		71.85
23/7/2004	0.81	1.00	0.01	0.97	0.81	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.50	0.79	0.01	29.76	20.11	83.99	91.65	15.86

Πίνακας Ι.8: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	48.27	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	68.93	Καλή ποιότητα νερού	4
25/9/2004			
18/10/2004	60.53	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
21/11/2004	69.48	Καλή ποιότητα νερού	4
19/12/2004	68.05	Καλή ποιότητα νερού	4
23/1/2005			
21/2/2005	64.37	Καλή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	77.56	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	84.02	Καλή ποιότητα νερού	4
22/5/2005	92.66	Άριστη ποιότητα νερού	5

Πίνακας Ι.9: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₂ (Σερβιές) επιφάνεια																		
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής														Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(Π I _i) ^{1/ni} *100				
Ημερομηνία	Χρήση νερού																	
	(1)				(2)			(3)	(4)		(5)							
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.81	1.00	0.64	0.97	0.81	1.00	0.64	0.83	1.00	0.83	0.64	0.79	0.72	84.34	80.42	83.09	91.15	71.49
23/7/2004	0.78	1.00	0.01	0.97	0.78	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.55	0.76	0.01	29.53	19.85	83.80	91.54	16.08
23/8/2004	0.95	1.00	0.60	0.99	0.95	1.00	0.60	0.86	1.00	0.86	0.51	0.94	0.68	86.75	82.72	86.28	92.89	68.74
25/9/2004	0.75	1.00	0.88	0.93	0.75	1.00	0.88	0.85	1.00	0.85	0.72	0.72	0.91	88.31	86.97	85.01	92.20	78.01
18/10/2004	0.50	1.00	0.99	0.95	0.50	1.00	0.99	0.85	1.00	0.85	0.79	0.44	0.99	82.87	79.02	84.82	92.10	69.98
21/11/2004	0.57	1.00	0.75	0.94	0.57	1.00	0.75	0.84	1.00	0.84	0.99	0.53	0.80	79.61	75.43	83.80	91.54	74.70
19/12/2004	0.29	1.00	1.00	0.89	0.29	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.17	1.00	71.23	66.17	83.51	91.38	55.77
23/1/2005	0.46	1.00	1.00	0.92	0.46	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.39	1.00	80.43	76.94	82.97	91.09	72.79
21/2/2005	0.40	1.00	1.00	0.97	0.40	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.32	1.00	78.99	73.66	83.12	91.17	68.09
18/3/2005	0.68	1.00	1.00	0.96	0.68	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.65	1.00	90.03	88.07	83.31	91.28	86.82
24/4/2005	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	0.99	1.00	1.00	99.63	100.00	83.50	91.38	99.53
22/5/2005	0.82	1.00	1.00	0.96	0.82	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	0.73	0.80	1.00	94.21	93.65	83.29	91.27	83.63
21/6/2004	0.81	1.00	0.64	0.97	0.81	1.00	0.64	0.83	1.00	0.83	0.64	0.79	0.72	84.34	80.42	83.09	91.15	71.49
23/7/2004	0.78	1.00	0.01	0.97	0.78	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.55	0.76	0.01	29.53	19.85	83.80	91.54	16.08

Πίνακας Ι.10: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-επιφάνεια

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	82.10	Καλή ποιότητα νερού	4
23/7/2004	48.16	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	83.48	Καλή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	86.10	Καλή ποιότητα νερού	4
18/10/2004	81.76	Καλή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	81.02	Καλή ποιότητα νερού	4
19/12/2004	73.61	Καλή ποιότητα νερού	4
23/1/2005	80.85	Καλή ποιότητα νερού	4
21/2/2005	79.01	Καλή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	87.90	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	94.81	Άριστη ποιότητα νερού	5
22/5/2005	89.21	Άριστη ποιότητα νερού	5

Πίνακας I.11: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) επιφάνεια																		
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής														Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(Π I _i) ^{1/ni} *100				
Ημερομηνία	Χρήση νερού																	
	(1)				(2)			(3)		(4)								(5)
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.95	1.00	0.70	0.96	0.95	1.00	0.70	0.83	1.00	0.83	0.76	0.94	0.76	89.44	87.27	83.39	91.32	81.70
23/7/2004	0.86	1.00	0.01	0.97	0.86	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.58	0.85	0.01	30.27	20.50	83.80	91.54	17.00
23/8/2004	1.01	1.00	0.56	0.98	1.01	1.00	0.54	0.86	1.00	0.86	0.57	1.01	0.64	86.07	81.87	85.89	92.68	71.31
25/9/2004	0.71	1.00	1.00	0.85	0.71	1.00	1.00	0.86	1.00	0.86	0.74	0.69	1.00	88.14	89.25	85.55	92.49	79.88
18/10/2004	0.59		1.00	0.97	0.59		1.00	0.85		0.85	0.86	0.55	1.00			84.97		77.95
21/11/2004	0.56	1.00	1.00	0.96	0.56	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.51	1.00	85.55	82.44	84.28	91.81	80.06
19/12/2004	0.22	0.90	0.45	0.85	0.22	0.90	0.42	0.83	0.90	0.83	1.00	0.08	0.54	52.35	43.83	82.83	86.34	35.30
23/1/2005	0.32	1.00	1.00	0.90	0.32	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.21	1.00	73.33	68.50	83.56	91.41	59.90
21/2/2005	0.43	1.00	0.93	0.98	0.43	1.00	0.93	0.84	1.00	0.84	1.00	0.35	0.94	79.05	73.67	83.61	91.44	69.39
18/3/2005	0.88	1.00	1.00	0.99	0.88	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.87	1.00	96.63	95.89	83.61	91.44	95.34
24/4/2005	0.47	1.00	1.00	0.97	0.47	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.41	1.00	82.19	77.85	83.26	91.25	74.05
22/5/2005	1.00	1.00	0.63	0.96	1.00	1.00	0.62	0.83	1.00	0.83	0.86	1.00	0.70	88.16	85.48	83.31	91.28	84.63
21/6/2004	0.95	1.00	0.70	0.96	0.95	1.00	0.70	0.83	1.00	0.83	0.76	0.94	0.76	89.44	87.27	83.39	91.32	81.70
23/7/2004	0.86	1.00	0.01	0.97	0.86	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.58	0.85	0.01	30.27	20.50	83.80	91.54	17.00

Πίνακας I.12: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	86.62	Καλή ποιότητα νερού	4
23/7/2004	48.62	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	83.56	Καλή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	87.06	Καλή ποιότητα νερού	4
18/10/2004			
21/11/2004	84.83	Καλή ποιότητα νερού	4
19/12/2004	60.13	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/1/2005	75.34	Καλή ποιότητα νερού	4
21/2/2005	79.43	Καλή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	92.58	Άριστη ποιότητα νερού	5
24/4/2005	81.72	Καλή ποιότητα νερού	4
22/5/2005	86.57	Καλή ποιότητα νερού	4

Πίνακας I.13: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P ₁ (Ρύμιον) πυθμένας																		
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής														Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού $WQI = (\prod I_i)^{1/n_i} * 100$				
Ημερομηνία	Χρήση νερού																	
	(1)				(2)			(3)	(4)		(5)							
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.01		0.53	0.90	0.01		0.52	0.84		0.84	0.66	0.01	0.62			83.56		15.97
23/7/2004	0.65	1.00	0.01	0.97	0.65	1.00	0.01	0.77	1.00	0.77	0.64	0.62	0.01	28.15	18.67	77.48	88.02	15.78
23/8/2004	0.48	0.50	0.56	0.97	0.48	0.50	0.54	0.78	0.50	0.78	0.61	0.42	0.64	60.07	50.83	78.39	62.61	54.69
25/9/2004											0.66							
18/10/2004		0.10				0.10					1.00							
21/11/2004		0.30				0.30					1.00							
19/12/2004		0.50				0.50					1.00							
23/1/2005		0.80				0.80					1.00							
21/2/2005		0.45				0.45					1.00							
18/3/2005	0.83	0.50	1.00	0.98	0.83	0.50	1.00	0.84	0.50	0.84	1.00	0.82	1.00	79.91	74.68	83.51	64.62	93.43
24/4/2005	0.43	1.00	1.00	0.97	0.43	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.35	1.00	80.30	75.36	83.85	91.57	70.57
22/5/2005	0.90	1.00	1.00	0.92	0.90	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	0.84	0.88	1.00	95.42	96.45	83.61	91.44	90.48
21/6/2004	0.01		0.53	0.90	0.01		0.52	0.84		0.84	0.66	0.01	0.62			83.56		15.97
23/7/2004	0.65	1.00	0.01	0.97	0.65	1.00	0.01	0.77	1.00	0.77	0.64	0.62	0.01	28.15	18.67	77.48	88.02	15.78

Πίνακας I.14: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-πυθμένας

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	45.62	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	61.32	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
25/9/2004			
18/10/2004			
21/11/2004			
19/12/2004			
23/1/2005			
21/2/2005			
18/3/2005	79.23	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	80.33	Καλή ποιότητα νερού	4
22/5/2005	91.48	Άριστη ποιότητα νερού	5

Πίνακας I.15: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) πυθμένας																		
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής														Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(Π I _i) ^{1/ni} *100				
Ημερομηνία	Χρήση νερού																	
	(1)			(2)			(3)		(4)		(5)							
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.70	1.00	0.67	0.95	0.70	1.00	0.67	0.83	1.00	0.83	0.68	0.67	0.74	81.64	77.65	83.29	91.26	69.78
23/7/2004	0.01	1.00	0.01	0.91	0.01	1.00	0.01	0.80	1.00	0.80	1.00	0.01	0.01	9.77	4.64	79.54	89.19	4.64
23/8/2004	0.01	1.00	0.64	0.99	0.01	1.00	0.64	0.82	1.00	0.82	0.96	0.01	0.72	28.28	18.59	81.96	90.53	19.03
25/9/2004	0.01	1.00	1.00	0.95	0.01	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	0.89	0.01	1.00	31.19	21.54	82.64	90.90	20.76
18/10/2004	0.42	1.00	1.00	0.96	0.42	1.00	1.00	0.85	1.00	0.85	0.87	0.34	1.00	79.52	74.72	84.63	91.99	66.62
21/11/2004	0.48	1.00	1.00	0.95	0.48	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.42	1.00	82.08	78.30	84.24	91.78	74.65
19/12/2004	0.28	1.00	0.96	0.89	0.28	1.00	0.96	0.84	1.00	0.84	1.00	0.16	0.97	69.67	64.28	83.75	91.52	53.33
23/1/2005	0.43	1.00	1.00	0.90	0.43	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.35	1.00	78.88	75.36	83.51	91.38	70.57
21/2/2005	0.35	1.00	1.00	0.97	0.35	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.25	1.00	76.26	70.46	83.31	91.28	63.14
18/3/2005	0.53	1.00	1.00	0.99	0.53	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.48	1.00	84.97	80.87	83.31	91.28	78.05
24/4/2005	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	99.57	100.00	83.36	91.30	100.00
22/5/2005	0.78	1.00	1.00	0.97	0.78	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.76	1.00	93.30	92.10	83.22	91.22	91.30
21/6/2004	0.70	1.00	0.67	0.95	0.70	1.00	0.67	0.83	1.00	0.83	0.68	0.67	0.74	81.64	77.65	83.29	91.26	69.78
23/7/2004	0.01	1.00	0.01	0.91	0.01	1.00	0.01	0.80	1.00	0.80	1.00	0.01	0.01	9.77	4.64	79.54	89.19	4.64

Πίνακας I.16: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-πυθμένας

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	80.72	Καλή ποιότητα νερού	4
23/7/2004	37.56	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	47.68	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
25/9/2004	49.41	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
18/10/2004	79.50	Καλή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	82.21	Καλή ποιότητα νερού	4
19/12/2004	72.51	Καλή ποιότητα νερού	4
23/1/2005	79.94	Καλή ποιότητα νερού	4
21/2/2005	76.89	Καλή ποιότητα νερού	4
18/3/2005	83.70	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	94.85	Άριστη ποιότητα νερού	5
22/5/2005	90.23	Άριστη ποιότητα νερού	5

Πίνακας I.17: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) πυθμένας																		
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής														Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού $WQI = (\prod I_i)^{1/n_i} * 100$				
Ημερομηνία	Χρήση νερού																	
	(1)				(2)			(3)	(4)		(5)							
	DO	Secchi depth	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	Secchi depth	BOD ₅	EC	Secchi depth	EC	T	DO	BOD ₅	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
21/6/2004	0.90	1.00	0.72	0.96	0.90	1.00	0.72	0.83	1.00	0.83	0.83	0.89	0.78	88.95	86.76	83.37	91.31	83.13
23/7/2004	0.63	1.00	0.01	0.97	0.63	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.65	0.59	0.01	27.95	18.45	83.75	91.52	15.69
23/8/2004	0.78	1.00	0.64	0.96	0.78	1.00	0.64	0.86	1.00	0.86	0.60	0.76	0.72	83.19	79.34	85.74	92.60	68.98
25/9/2004	0.52	1.00	1.00	0.93	0.52	1.00	1.00	0.86	1.00	0.86	0.74	0.46	1.00	83.27	80.38	85.65	92.55	70.15
18/10/2004											0.79							
21/11/2004		1.00				1.00			1.00		0.99							
19/12/2004		0.90				0.90			0.90		1.00							
23/1/2005		1.00				1.00			1.00		1.00							
21/2/2005		1.00				1.00			1.00		1.00							
18/3/2005	0.79	1.00	1.00	0.92	0.79	1.00	1.00	0.84	1.00	0.84	1.00	0.77	1.00	92.41	92.49	83.51	91.38	91.72
24/4/2005	0.69	1.00	1.00	0.97	0.69	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	0.67	1.00	90.54	88.51	83.27	91.25	87.33
22/5/2005	0.95	1.00	0.90	0.97	0.95	1.00	0.90	0.83	1.00	0.83	0.90	0.94	0.92	95.35	94.96	83.31	91.28	92.13
21/6/2004	0.90	1.00	0.72	0.96	0.90	1.00	0.72	0.83	1.00	0.83	0.83	0.89	0.78	88.95	86.76	83.37	91.31	83.13
23/7/2004	0.63	1.00	0.01	0.97	0.63	1.00	0.01	0.84	1.00	0.84	0.65	0.59	0.01	27.95	18.45	83.75	91.52	15.69

Πίνακας I.18: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-πυθμένας

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	86.70	Καλή ποιότητα νερού	4
23/7/2004	47.47	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
23/8/2004	81.97	Καλή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	82.40	Καλή ποιότητα νερού	4
18/10/2004			
21/11/2004			
19/12/2004			
23/1/2005			
21/2/2005			
18/3/2005	90.30	Άριστη ποιότητα νερού	5
24/4/2005	88.18	Καλή ποιότητα νερού	4
22/5/2005	91.41	Άριστη ποιότητα νερού	5

Πίνακας Ι.19: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ1 (Ρύμιον) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	80.84	81.1	30.86	88.577	45.72	92.93				
23/7/2004	81.68	59.5	10.00	95.223	24.85	70.86	100.00	23.70	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/8/2004	85.14	54.6	30.86	96.699	48.84	70.86	100.00	54.59	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/9/2004	98.97	64.5	100.00	63.777	58.28	58.88	72.74	69.24	Φτωχή ποιότητα νερού	2
18/10/2004	80.42	54.8	100.00	73.182	96.65	10.00	10.00	18.31	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/11/2004	76.75	52.5	75.65	90.946	100.00	62.14	66.94	70.45	Φτωχή ποιότητα νερού	2
19/12/2004	81.26	16.3	75.65	86.828	100.00	47.73	100.00	37.98	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/1/2005	67.07		100.00	73.081	100.00	90.20	100.00			
21/2/2005	69.55	10.0	100.00	88.553	100.00	58.07	36.06	24.57	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/3/2005	73.25	63.5	64.50	82.123	100.00	70.05	10.00	25.08	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
24/4/2005	76.75	26.9	100.00	93.339	96.46	82.57	10.00	24.13	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/5/2005	57.40	82.8	100.00	85.558	70.79	95.09	10.00	25.23	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας Ι.20: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμέ νο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεα TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	83.40	59.0	38.42	89.574	54.77					
23/7/2004	79.18	55.6	10.00	96.153	34.88	77.24	100.00	24.48	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/8/2004	77.15	76.9	34.77	98.696	26.73	64.66	100.00	48.26	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/9/2004	77.55	51.0	64.50	78.254	67.89	10.00	100.00	24.92	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/10/2004	76.36	22.7	80.31	76.596	76.66	97.60	100.00	49.94	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/11/2004	76.36	30.5	48.80	91.416	94.79	10.00	100.00	24.15	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/12/2004	76.75	10.0	100.00	85.803	100.00		100.00			
23/1/2005	100.00	18.1	100.00	86.374	100.00	88.92	100.00	43.33	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/2/2005	100.00	12.4	100.00	94.943	100.00	85.62	100.00	31.18	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/3/2005	100.00	43.4	100.00	90.474	98.48		100.00			
24/4/2005	100.00	96.1	100.00	91.677	94.79	87.12	29.53	62.07	Φτωχή ποιότητα νερού	2
22/5/2005	78.77	60.6	88.73	91.534	68.48	95.51	10.00	25.22	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας Ι.21: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) επιφάνεια										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμέ νο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεα TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	89.68	77.8	10.00	89.793	73.01					
23/7/2004	79.18	65.8	10.00	96.414	42.50		100.00			
23/8/2004	75.57	84.2	10.00	93.657	39.18	95.51	100.00	24.90	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/9/2004	90.14	46.7	38.42	76.405	70.79	89.22	100.00	61.43	Φτωχή ποιότητα νερού	2
18/10/2004	68.47	32.7	10.00	83.438	85.16	96.11	100.00	24.52	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/11/2004	70.27	29.3	10.00	93.756	96.65	75.44	100.00	24.29	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/12/2004	69.55	10.0	10.00	81.284	100.00		100.00			
23/1/2005	79.18	10.0	10.00	87.097	100.00	80.53	100.00	18.41	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/2/2005	75.96	15.4	10.00	97.051	100.00	87.12	100.00	21.75	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/3/2005	81.26	68.4	10.00	91.437	100.00	90.72	100.00	25.45	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
24/4/2005	48.87	19.8	10.00	89.372	98.83	89.22	100.00	22.83	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/5/2005	67.07	91.8	10.00	93.111	85.16	94.01	100.00	25.45	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας I.22: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P ₁ (Ρύμιον) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμέ νο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεα TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	99.48	10.0	29.06	81.404	57.59					
23/7/2004	88.29	39.5	10.00	95.337	53.33		100.00			
23/8/2004	100.00	20.8	30.86	96.361	48.84	73.04	94.59	40.44	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/9/2004					58.28					
18/10/2004					96.65					
21/11/2004					100.00					
19/12/2004					100.00					
23/1/2005					100.00					
21/2/2005					100.00					
18/3/2005	81.26	62.0	100.00	90.469	100.00	72.50	10.00	25.31	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
24/4/2005	81.26	15.2	100.00	89.487	99.74	52.89	10.00	21.50	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/5/2005	78.36	70.4	100.00	86.929	82.70	76.31	10.00	25.32	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας I.23: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	90.14	45.3	40.79	87.822	61.64					
23/7/2004	100.00	10.0	10.00	88.589	97.50	100.00	55.00	18.36	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/8/2004	100.00	10.0	38.42	92.611	93.33	85.29	100.00	24.95	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/9/2004	100.00	10.0	100.00	85.740	88.14	10.00	100.00	18.45	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/10/2004	79.18	14.1	100.00	82.917	86.32	95.51	100.00	34.86	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/11/2004	77.15	20.6	85.26	92.551	96.27	86.94	43.33	44.43	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/12/2004	77.96	10.0	75.65	85.673	100.00		100.00			
23/1/2005	100.00	15.2	100.00	87.701	100.00	89.65	100.00	37.54	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
21/2/2005	100.00	10.0	100.00	95.499	100.00	86.10	100.00	25.64	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/3/2005	100.00	25.8	100.00	95.521	100.00	91.82	100.00	57.39	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
24/4/2005	100.00	94.6	100.00	91.349	100.04	85.02	10.00	25.61	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/5/2005	100.00	55.4	81.93	92.500	99.68	85.29	10.00	25.31	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας Ι.24: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) πυθμένας										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμέ νο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικά αιωρούμενα στερεα TSS	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004	92.99	71.1	45.97	89.175	81.39					
23/7/2004	91.08	36.9	10.00	96.153	56.20	96.74	100.00	24.69	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
23/8/2004	80.84	54.9	38.42	94.012	47.29	87.75	100.00	59.89	Φτωχή ποιότητα νερού	2
25/9/2004	86.48	24.8	94.20	90.290	70.79	10.00	100.00	23.86	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
18/10/2004					76.66					
21/11/2004					94.79					
19/12/2004					100.00					
23/1/2005					100.00					
21/2/2005					100.00					
18/3/2005	90.14	56.7	100.00	89.776	100.00	93.47	100.00	84.83	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	55.35	44.6	100.00	90.070	99.14	78.76	100.00	70.34	Φτωχή ποιότητα νερού	2
22/5/2005	77.15	77.3	67.13	93.137	88.83	82.30	100.00	81.77	Μέτρια ποιότητα νερού	3

Πίνακας Ι.25: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμιον) επιφάνεια						
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής					Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	61.14	85.2	71.19	100.000	58.09	74.22
23/7/2004	61.77	71.5	71.70	100.000	38.12	65.17
23/8/2004	64.34	65.4	73.86	100.000	58.09	70.68
25/9/2004	74.61	70.3	67.68	100.000	100.00	81.67
18/10/2004	60.83	55.5	76.72	100.000	100.00	76.18
21/11/2004	58.10	48.7	68.48	100.000	96.02	71.16
19/12/2004	61.46	35.1	67.79	100.000	96.02	66.26
23/1/2005	50.88		67.89	100.000	100.00	
21/2/2005	52.73	31.5	66.87	100.000	100.00	63.30
18/3/2005	55.49	55.0	70.38	100.000	81.99	70.63
24/4/2005	58.10	43.4	71.24	100.000	100.00	70.31
22/5/2005	43.66	82.1	71.07	100.000	100.00	78.08

Πίνακας Ι.26: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	3	5	5	5	4	4
25/9/2004	4	5	5	5	4	4
18/10/2004	3	5	5	5	4	4
21/11/2004	3	5	5	5	4	4
19/12/2004	3	4	4	4	3	3
23/1/2005						
21/2/2005	3	4	4	4	3	3
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	3	5	5	5	4	4
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.27: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) επιφάνεια						
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής					Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	63.04	67.3	70.53	100.000	62.43	71.47
23/7/2004	59.91	67.7	71.44	100.000	37.79	63.84
23/8/2004	58.40	84.5	75.08	100.000	60.31	74.78
25/9/2004	58.70	60.7	73.13	100.000	81.99	73.51
18/10/2004	57.81	45.7	72.85	100.000	100.00	71.41
21/11/2004	57.81	45.4	71.44	100.000	69.03	65.61
19/12/2004	58.10	32.1	71.06	100.000	100.00	65.33
23/1/2005	79.32	35.9	70.38	100.000	100.00	70.66
21/2/2005	77.71	34.1	70.56	100.000	100.00	69.59
18/3/2005	83.47	49.2	70.81	100.000	100.00	76.97
24/4/2005	79.72	87.9	71.05	100.000	100.00	87.90
22/5/2005	59.60	66.2	70.78	100.000	100.00	78.09

Πίνακας Ι.28: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	3	5	5	5	4	4
25/9/2004	3	5	5	5	4	4
18/10/2004	3	5	5	5	4	4
21/11/2004	3	4	4	4	3	3
19/12/2004	3	4	4	4	3	3
23/1/2005	3	5	5	5	4	4
21/2/2005	3	4	4	4	3	3
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	4	5	5	5	4	4
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.29: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) επιφάνεια						
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
Συντελεστής βαρύτητας w _i						
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	67.71	77.3	70.90	100.000	65.41	75.61
23/7/2004	59.91	73.5	71.44	100.000	36.91	64.78
23/8/2004	57.22	89.5	74.46	100.000	58.09	74.85
25/9/2004	68.06	58.0	73.93	100.000	100.00	77.94
18/10/2004	51.93	48.7	73.06	100.000	100.00	71.24
21/11/2004	53.27	44.3	72.10	100.000	100.00	69.77
19/12/2004	52.73	30.1	70.20	100.000	53.92	55.29
23/1/2005	59.91	31.6	71.12	100.000	100.00	65.44
21/2/2005	57.51	34.1	71.19	100.000	89.72	64.68
18/3/2005	61.46	56.5	71.19	100.000	100.00	75.62
24/4/2005	37.27	39.6	70.74	100.000	100.00	63.74
22/5/2005	50.88	87.0	70.81	100.000	61.55	73.14

Πίνακας Ι.30: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	3	5	5	5	4	4
25/9/2004	3	5	5	5	4	4
18/10/2004	3	5	5	5	4	4
21/11/2004	3	4	4	4	3	3
19/12/2004	3	4	3	3	3	3
23/1/2005	3	4	4	4	3	3
21/2/2005	3	4	4	4	3	3
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	3	4	4	4	3	3
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.31: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμιον) επιφάνεια						
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
Συντελεστής βαρύτητας w _i						
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	74.99	11.6	71.12	100.000	57.09	47.34
23/7/2004	66.68	56.4	64.57	100.000	37.98	61.17
23/8/2004	1.00	47.7	65.41	100.000	58.09	31.70
25/9/2004						
18/10/2004						
21/11/2004						
19/12/2004						
23/1/2005						
21/2/2005						
18/3/2005	61.46	53.1	71.06	100.000	100.00	74.49
24/4/2005	61.46	37.4	71.50	100.000	100.00	68.52
22/5/2005	59.30	69.4	71.21	100.000	100.00	79.01

Πίνακας I.32: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-πυθμένας

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	2	3	2	2	2	2
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	1	2	1	1	2	2
25/9/2004						
18/10/2004						
21/11/2004						
19/12/2004						
23/1/2005						
21/2/2005						
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	3	4	4	4	3	3
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.33: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₂ (Σερβιές) επιφάνεια						
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	68.06	58.5	70.77	100.000	63.85	70.37
23/7/2004	92.91	24.8	66.53	100.000	34.93	52.40
23/8/2004	93.86	19.7	69.15	100.000	62.43	56.67
25/9/2004	97.77	20.7	69.96	100.000	100.00	64.05
18/10/2004	59.91	40.8	72.58	100.000	100.00	69.85
21/11/2004	58.40	41.1	72.03	100.000	100.00	69.57
19/12/2004	59.00	31.7	71.38	100.000	96.02	64.80
23/1/2005	97.27	34.6	71.06	100.000	100.00	72.61
21/2/2005	79.72	32.0	70.81	100.000	100.00	68.86
18/3/2005	87.84	40.4	70.81	100.000	100.00	74.04
24/4/2005	77.71	79.0	70.88	100.000	100.00	85.26
22/5/2005	75.37	53.5	70.69	100.000	100.00	77.17

Πίνακας I.34: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-πυθμένας

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Υδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	3	3	3	3
23/8/2004	3	4	3	3	3	3
25/9/2004	3	4	4	4	3	3
18/10/2004	3	4	4	4	3	3
21/11/2004	3	4	4	4	3	3
19/12/2004	3	4	4	4	3	3
23/1/2005	3	5	5	5	4	4
21/2/2005	3	4	4	4	3	3
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	4	5	5	5	4	4
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.35: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) πυθμένας						
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
Συντελεστής βαρύτητας w _i						
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
21/6/2004	70.17	70.2	70.88	100.000	67.13	74.75
23/7/2004	68.76	54.7	71.38	100.000	38.32	62.25
23/8/2004	61.14	65.7	74.23	100.000	62.43	71.34
25/9/2004	65.34	47.4	74.08	100.000	100.00	73.76
18/10/2004						
21/11/2004						
19/12/2004						
23/1/2005						
21/2/2005						
18/3/2005	68.06	49.8	71.06	100.000	100.00	74.62
24/4/2005	42.13	49.2	70.75	100.000	100.00	68.56
22/5/2005	58.40	72.3	70.78	100.000	84.77	76.72

Πίνακας I.36: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-πυθμένας

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
21/6/2004	3	5	5	5	4	4
23/7/2004	3	4	4	4	3	3
23/8/2004	3	5	5	5	4	4
25/9/2004	3	5	5	5	4	4
18/10/2004						
21/11/2004						
19/12/2004						
23/1/2005						
21/2/2005						
18/3/2005	3	5	5	5	4	4
24/4/2005	3	4	4	4	3	3
22/5/2005	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Ι.37: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P1 (Ρύμιον) επιφάνεια												
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	14.84	22.34	182.00			21.76	0.31	0.32	440.00	47.20	196.67	256.00
23/7/2004	14.52	68.79	178.00	2.80	27.03	21.26	0.00	0.21	220.00	194.60	656.67	96.00
23/8/2004	13.28	81.82	162.00	158.00	219.43	14.58	0.00	0.01	238.00	194.60	196.67	96.00
25/9/2004	17.28	64.77	104.00	399.20		94.12	1.01	0.30	700.00	274.60	0.00	48.00
18/10/2004	11.84	88.03	184.00	1297.60	2495.37	28.84	1.07	0.86	700.00	501.80	0.00	128.00
21/11/2004	16.68	92.81	202.00	462.00	474.69	38.34	0.03	0.26	476.00	252.80	46.67	128.00
19/12/2004	17.20	119.86	180.00	0.00	219.43	61.34	0.00	0.06	1400.00	349.00	46.67	96.00
23/1/2005	17.12		254.00	26.80	107.88	51.84	0.84	0.48	0.00	65.46	0.00	176.00
21/2/2005	17.92	122.09	240.00	929.20	257.28	48.50	0.04	0.26	840.00	280.00	0.00	0.00
18/3/2005	15.36	81.35	220.00	1240.00	219.43	13.00	0.73	0.18	364.00	200.00	73.33	224.00
24/4/2005	14.81	117.17	202.00	1920.00	77.01	18.50	0.11	1.52	672.00	116.40	0.00	96.00
22/5/2005	14.92	29.16	314.00	3200.00	77.01	39.66	0.28	0.64	336.00	32.80	0.00	272.00

Πίνακας Ι.38: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης Ρ1 (Ρύμιον) επιφάνεια			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_{wi}) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	181.93	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
23/8/2004	177.67	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
25/9/2004			
18/10/2004	469.00	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
21/11/2004	238.24	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/12/2004	354.61	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
23/1/2005			
21/2/2005	275.07	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/3/2005	187.74	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
24/4/2005	131.01	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/5/2005	52.26	Φτωχή ποιότητα νερού	3

Πίνακας Ι.39: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) επιφάνεια												
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	15.26	74.50	170.00		12.13	18.38	0.29	0.34	420.00		160.00	96.00
23/7/2004	14.68	78.38	190.00	0.80	19.29	17.04	0.00	0.39	480.00	152.80	673.33	176.00
23/8/2004	12.64	26.25	200.00	35.60	29.21	5.70	0.00	0.01	280.00	236.40	176.67	64.00
25/9/2004	13.68	89.56	198.00	0.00	51.81	42.50	0.64	0.00	660.00	829.00	73.33	80.00
18/10/2004	13.84	126.84	204.00	0.00	17.18	27.84	0.88	0.23	320.00	15.60	36.67	144.00
21/11/2004	14.68	114.20	204.00	36.40	33.07	35.70	0.03	0.30	310.00	529.00	120.00	112.00
19/12/2004	14.92	132.77	202.00	0.00	33.07	66.50	0.00	0.15	560.00		0.00	160.00
23/1/2005	15.36	119.13	80.00	0.00	54.98	48.50	0.15	0.12	0.00	74.54	0.00	176.00
21/2/2005	15.24	122.90	88.00	0.00	27.03	15.84	0.07	0.01	504.00	96.40	0.00	
18/3/2005	15.08	100.72	60.00	0.00	14.65	23.00	0.20	0.09	0.00		0.00	176.00
24/4/2005	14.93	11.24	78.00	1080.00	17.18	9.34	0.28	0.00	560.00	85.40	0.00	176.00
22/5/2005	15.10	74.00	192.00	3400.00	23.40	24.84	0.14	0.44	364.00	29.00	20.00	304.00

Πίνακας Ι.40: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₂-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₂ (Σερβιές) επιφάνεια			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_{wi}) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	158.28	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
23/8/2004	210.74	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
25/9/2004	716.69	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/10/2004	31.26	Καλή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	455.49	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/12/2004			
23/1/2005	67.47	Φτωχή ποιότητα νερού	3
21/2/2005			
18/3/2005			
24/4/2005	96.82	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	2
22/5/2005	49.01	Καλή ποιότητα νερού	4

Πίνακας Ι.41: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) επιφάνεια												
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής											
	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	15.02	42.12	142.00		9.49	21.58	0.25	0.55	320.00		140.00	176.00
23/7/2004	14.68	58.59	190.00	14.00	13.94	15.86	0.00	0.51	450.00		720.00	96.00
23/8/2004	12.96	9.63	208.00	18.00	19.29	11.24	0.17	0.20	450.00	29.00	196.67	80.00
25/9/2004	13.24	96.16	140.00	0.00	23.40	90.24	0.27	0.09	620.00	71.00	0.00	16.00
18/10/2004	13.72	113.72	246.00	0.00		20.96	0.58	0.09	390.00	25.40	0.00	96.00
21/11/2004	14.28	114.81	236.00	4.40	54.98	26.66	0.01	0.15	364.00	163.60	0.00	128.00
19/12/2004	15.48	137.09	240.00	0.00	90.30	90.00	0.00	0.06	590.00		243.33	80.00
23/1/2005	14.88	127.35	190.00	0.00	41.74	60.00	0.00	0.03	0.00	130.90	0.00	96.00
21/2/2005	14.84	119.41	206.00	0.00	19.29	13.00	0.00	0.06	756.00	85.40	56.67	80.00
18/3/2005	14.84	76.87	180.00	0.00	13.94	7.16	0.32	0.14	364.00	62.00	0.00	224.00
24/4/2005	15.12	122.14	376.00	0.00	10.89	20.00	0.29	0.16	448.00	71.00	0.00	128.00
22/5/2005	15.08	14.51	254.00	0.00	21.19	23.00	0.08	0.71	364.00	40.00	166.67	160.00

Πίνακας Ι.42: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός P₃-επιφάνεια

Σταθμός παρακολούθησης P ₃ (Φράγμα) επιφάνεια			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_{wi}) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004			
23/8/2004	47.49	Καλή ποιότητα νερού	4
25/9/2004	93.16	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	2
18/10/2004			
21/11/2004	154.71	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/12/2004			
23/1/2005	115.25	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
21/2/2005	105.62	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/3/2005	68.62	Φτωχή ποιότητα νερού	3
24/4/2005	81.78	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	2
22/5/2005	53.94	Φτωχή ποιότητα νερού	3

Πίνακας Ι.43: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμνιον) πυθμένας												
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου $w_i=1/[S_i \times \sum(1/S_i)]$												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	14.88	236.21	102.00			57.18	0.32	0.55	520.00		206.67	336.00
23/7/2004	19.92	107.14	148.00	2.80	27.03	20.74	0.00	0.29	560.00		663.33	96.00
23/8/2004	19.16	134.90	80.00	200.80	219.43	16.10	0.00	0.02	322.00	180.00	196.67	64.00
25/9/2004												
18/10/2004					2495.37							
21/11/2004					474.69							
19/12/2004					219.43							
23/1/2005					107.88							
21/2/2005					257.28							
18/3/2005	14.92	83.72	180.00	7880.00	219.43	13.00	0.31	0.15	0.00	183.60	0.00	208.00
24/4/2005	14.65	124.77	180.00	5640.00	77.01	17.66	0.31	0.21	616.00	314.60	0.00	128.00
22/5/2005	14.82	60.76	194.00	10840.00	77.01	45.50	0.15	0.53	420.00	158.20	0.00	320.00

Πίνακας Ι.44: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₁-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₁ (Ρύμιον) πυθμένας			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_i w_i) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004			
23/8/2004	169.27	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
25/9/2004			
18/10/2004			
21/11/2004			
19/12/2004			
23/1/2005			
21/2/2005			
18/3/2005	168.96	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
24/4/2005	297.96	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/5/2005	171.76	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

Πίνακας Ι.45: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₂ (Σερβιές) πυθμένας												
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου $w_i=1/[S_i \times \sum(1/S_i)]$												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	15.10	98.10	140.00		12.13	31.20	0.25	0.90	520.00		150.00	128.00
23/7/2004	18.20	159.59	18.00	610.40	19.29	52.62	0.00	0.15	550.00	0.00	843.33	96.00
23/8/2004	16.20	178.59	14.00	13.60	29.21	4.70	0.29	0.06	410.00	98.20	160.00	64.00
25/9/2004	15.64	182.83	2.00	0.00	51.81	32.38	0.34	0.16	640.00	545.40	0.00	64.00
18/10/2004	14.00	133.32	190.00	33.60	17.18	25.14	0.56	0.13	280.00	30.00	0.00	96.00
21/11/2004	14.32	122.99	200.00	790.40	33.07	32.84	0.01	0.28	390.00	87.20	26.67	128.00
19/12/2004	14.72	133.57	196.00	0.00	33.07	67.16	0.00	0.06	560.00		46.67	112.00
23/1/2005	14.92	120.39	0.00	13.60	54.98	57.00	0.00	0.06	0.00	69.10	0.00	208.00
21/2/2005	15.08	124.89	78.00	14.00	27.03	20.00	0.00	0.18	784.00	92.80	0.00	32.00
18/3/2005	15.08	115.50	40.00	0.00	14.65	9.00	0.11	0.21	196.00	54.60	0.00	192.00
24/4/2005	15.03	30.14	88.00	2760.00	17.18	10.50	0.29	0.00	476.00	100.00	0.00	96.00
22/5/2005	15.16	88.51	100.00	1680.00	23.40	18.34	0.16	0.11	392.00	98.20	33.33	304.00

Πίνακας Ι.46: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₂-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₂ (Σερβιές) πυθμένας			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_{wi}) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	41.26	Καλή ποιότητα νερού	4
23/8/2004	102.23	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
25/9/2004	480.21	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/10/2004	40.71	Καλή ποιότητα νερού	4
21/11/2004	94.74	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	2
19/12/2004			
23/1/2005	63.35	Φτωχή ποιότητα νερού	3
21/2/2005	112.08	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/3/2005	55.32	Φτωχή ποιότητα νερού	3
24/4/2005	108.34	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/5/2005	103.60	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

Πίνακας Ι.47: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ταμειυτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) πυθμένας												
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής												
Ημερομηνία	EC	DO	pH	TSS	Θολερότητα	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]												
	0.000016	0.008235	0.005147	0.001647	0.008235	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
21/6/2004	15.04	59.09	128.00		9.49	22.78	0.27	0.56	420.00		130.00	304.00
23/7/2004	14.72	110.96	136.00	14.00	13.94	17.04	0.00	0.47	340.00	21.80	646.67	96.00
23/8/2004	13.08	81.07	182.00	19.60	19.29	26.82	0.00	0.24	420.00	81.80	160.00	112.00
25/9/2004	13.16	125.58	156.00	0.00	23.40	44.36	0.00	0.11	670.00	534.60	10.00	16.00
18/10/2004												
21/11/2004					54.98							
19/12/2004					90.30							
23/1/2005					41.74							
21/2/2005					19.29							
18/3/2005	14.92	89.32	140.00	0.00	13.94	46.84	0.00	0.15	196.00	43.60	0.00	160.00
24/4/2005	15.12	99.47	328.00	0.00	10.89	18.84	0.27	0.00	672.00	141.80	0.00	160.00
22/5/2005	15.10	51.29	200.00	0.00	21.19	18.50	0.12	0.48	336.00	118.20	66.67	304.00

Πίνακας Ι.48: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ταμιευτήρας Πολυφύτου, σταθμός Ρ₃-πυθμένας

Σταθμός παρακολούθησης Ρ ₃ (Φράγμα) πυθμένας			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_{wi}) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
21/6/2004			
23/7/2004	44.12	Καλή ποιότητα νερού	4
23/8/2004	91.02	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	2
25/9/2004	473.70	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
18/10/2004			
21/11/2004			
19/12/2004			
23/1/2005			
21/2/2005			
18/3/2005	49.63	Καλή ποιότητα νερού	4
24/4/2005	148.82	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/5/2005	115.67	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ Αναλυτικός υπολογισμός Δεικτών Ποιότητας Νερού- Περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης

Στο παρόν παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες υπολογισμού των ολικών δεικτών ποιότητας νερού, καθώς και των επιμέρους υποδεικτών για καθεμία εκ των συνυπολογιζομένων ποιοτικών παραμέτρων, ανά δειγματοληψία, για κάθε επιμέρους σταθμό παρακολούθησης. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση των δεικτών Prati, Bhargava, Oregon, NSF, CCME, Dinius και του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη.

Πίνακας Π.1: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσπόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=Σ(Q _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	1.42	1.75	0.54	0.00	7.13	4.80	2.61	Ελαφριά ρύπανση	3
29/8/2005	1.90	2.77	1.77	0.00	6.67	8.16	3.54	Ελαφριά ρύπανση	3
12/9/2005	1.10	3.43	0.81	0.00	6.80	11.04	3.86	Ελαφριά ρύπανση	3
27/9/2005	1.10	4.06	3.39	0.00	19.20	18.32	7.68	Ρύπανση	2
14/10/2005	0.86	4.49	1.12	0.00	12.47	28.80	7.96	Ρύπανση	2
25/10/2005	1.12	3.52	0.94	0.00	26.73	14.40	7.79	Ρύπανση	2
9/11/2005	1.61	2.35	7.68	0.36	0.40	9.68	3.68	Ελαφριά ρύπανση	3
22/11/2005	0.49	2.95	1.89	0.06	0.00	12.00	2.90	Ελαφριά ρύπανση	3
8/12/2005	0.53	3.52	2.22	0.31	4.47	5.28	2.72	Ελαφριά ρύπανση	3
20/12/2005	0.62	3.27	4.72	0.28	6.80	1.96	2.94	Ελαφριά ρύπανση	3
11/1/2006	0.67	1.56	2.26		4.87	1.50			
1/2/2006	0.62	1.94	8.03	0.27	4.47	0.78	2.69	Ελαφριά ρύπανση	3
14/2/2006			7.63	0.17					
2/3/2006	0.12	3.08	5.88	0.06	6.53	2.88	3.09	Ελαφριά ρύπανση	3
22/3/2006	0.36	3.27	8.58	0.20	0.00	2.32	2.46	Ελαφριά ρύπανση	3
6/4/2006	0.45	2.85	2.16	0.24	0.00	3.76	1.58	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
17/4/2006	0.32	2.78	5.00	0.17	0.00	3.36	1.94	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
12/5/2006	0.50	2.49	1.66	0.03	2.20	9.52	2.73	Ελαφριά ρύπανση	3
26/5/2006	0.58	1.56	1.03	0.16	1.67	1.10	1.01	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
5/6/2006	0.45	2.08	7.38	0.06	3.40	1.00	2.39	Ελαφριά ρύπανση	3
22/6/2006	1.35	2.34	5.88	0.12					
10/7/2006	3.84	1.81	1.87	0.10	0.00				
19/7/2006	0.98	3.34	5.88	0.00	11.07	6.83	4.68	Ρύπανση	2
7/8/2006	0.86	2.41		0.00	6.40	1.50			
23/8/2006	0.50	4.40	0.92	0.14	4.47	2.10	2.09	Ελαφριά ρύπανση	3
8/9/2006	1.59	3.88	2.20	0.03	3.93	7.60	3.21	Ελαφριά ρύπανση	3
19/9/2006	1.14	3.35	1.73	0.14	8.40	11.40	4.36	Ρύπανση	2
5/10/2006	0.88	3.16	1.50	0.10	10.87	20.40	6.15	Ρύπανση	2
16/11/2006	0.79	2.16	1.58	0.00	2.53	14.70	3.63	Ελαφριά ρύπανση	3

Πίνακας Π.2: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=Σ(Q _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	0.58	4.66	1.76	0.00	6.40	5.28	3.11	Ελαφριά ρύπανση	3
29/8/2005	0.38	4.66	3.27	0.49	10.13	9.60	4.76	Ρύπανση	2
12/9/2005	0.38	3.14	7.02	0.03	7.53	8.16	4.38	Ρύπανση	2
27/9/2005	0.55	6.07	5.32	0.00	23.73	26.32	10.33	Υψηλή ρύπανση	1
14/10/2005	0.30	6.22	6.96	0.06	14.67	29.24	9.57	Υψηλή ρύπανση	1
25/10/2005	0.71	3.21	1.77	0.27	15.07	15.84	6.14	Ρύπανση	2
9/11/2005	0.56	1.51	4.37	0.22	2.67	10.16	3.25	Ελαφριά ρύπανση	3
22/11/2005	0.23	3.49	2.72	0.24	2.87	13.44	3.83	Ελαφριά ρύπανση	3
8/12/2005	0.41	3.43	2.28	0.62	3.73	6.72	2.87	Ελαφριά ρύπανση	3
20/12/2005	0.45	3.47	3.66	0.83	7.53	2.88	3.14	Ελαφριά ρύπανση	3
11/1/2006	0.53	2.04	5.14		6.93	1.70			
1/2/2006	0.28	2.93	5.86	0.76	6.47	1.44	2.96	Ελαφριά ρύπανση	3
14/2/2006			6.01	0.72					
2/3/2006	0.38	3.50	3.73	0.17	5.80	2.48	2.68	Ελαφριά ρύπανση	3
22/3/2006	0.36	3.54	4.23	0.26	2.40	5.68	2.75	Ελαφριά ρύπανση	3
6/4/2006	0.79	2.60	1.31	0.63	5.27	3.28	2.31	Ελαφριά ρύπανση	3
17/4/2006	0.28	3.55	1.81	0.64	10.13	7.20	3.93	Ελαφριά ρύπανση	3
12/5/2006	0.04	3.68	1.89	0.20	7.13	11.32	4.04	Ρύπανση	2
26/5/2006	0.18	2.64	3.86	0.62	4.47	2.60	2.40	Ελαφριά ρύπανση	3
5/6/2006	0.37	2.48	6.72	0.38	6.93	3.20	3.35	Ελαφριά ρύπανση	3
22/6/2006	0.49	2.26	5.84	0.69					
10/7/2006	0.50	3.07	2.26	0.71	9.00				
19/7/2006	0.34	3.53	5.88	0.54	13.47	8.22	5.33	Ρύπανση	2
7/8/2006	0.55	3.85		0.55	9.80	2.50			
23/8/2006	0.45	3.43	2.19	0.49	6.00	4.50	2.84	Ελαφριά ρύπανση	3
8/9/2006	0.46	4.67	3.68	0.24	5.53	8.50	3.85	Ελαφριά ρύπανση	3
19/9/2006	0.66	3.13	4.82	0.52	9.40	20.70	6.54	Ρύπανση	2
5/10/2006	0.23	2.90	2.49	0.51	12.47	22.80	6.90	Ρύπανση	2
16/11/2006	0.28	1.54	2.38	0.63	4.33	16.40	4.26	Ρύπανση	2

Πίνακας Π.3: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ρύπανσης κατά Prati et al.- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσπόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αμμωνία NH ₄ ⁺ -N	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	COD	Ολικός Δείκτης Ρύπανσης Prati WQI=Σ(Q _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	4.82	4.48	0.78	0.00	14.67	9.52	5.71	Ρύπανση	2
29/8/2005	0.44	3.52	1.44	0.54	14.33	9.60	4.98	Ρύπανση	2
12/9/2005	0.56	4.71	0.92	0.20	9.20	13.92	4.92	Ρύπανση	2
27/9/2005	0.85	4.29	1.18	0.22	38.53	28.32	12.23	Υψηλή ρύπανση	1
14/10/2005	1.00		1.17	0.25	10.53	26.50			
25/10/2005	1.69	0.08	3.38	0.30	26.00	13.92	7.56	Ρύπανση	2
9/11/2005	2.56	0.92	1.53	0.19	0.40	8.16	2.29	Ελαφριά ρύπανση	3
22/11/2005	0.50	2.96	1.48	0.30	4.80	12.88	3.82	Ελαφριά ρύπανση	3
8/12/2005	0.56	3.82	2.58	0.76	4.67	5.28	2.95	Ελαφριά ρύπανση	3
20/12/2005	0.66	2.50	3.07	0.68	13.20	3.96	4.01	Ρύπανση	2
11/1/2006	0.62	2.03	2.45		3.40	1.10			
1/2/2006	0.59	2.65	5.29	0.77	5.73	2.88	2.99	Ελαφριά ρύπανση	3
14/2/2006			6.19	0.75					
2/3/2006	1.23	2.97	5.88	0.23	5.80	4.32	3.41	Ελαφριά ρύπανση	3
22/3/2006	0.58	3.39	2.17	0.23	0.00	2.32	1.45	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
6/4/2006	1.66	1.38	1.87	0.85	6.33	4.68	2.80	Ελαφριά ρύπανση	3
17/4/2006	1.44	1.54	1.32	0.73	14.33	4.80	4.03	Ρύπανση	2
12/5/2006	0.66	2.11	1.61	0.27	9.27	2.96	2.81	Ελαφριά ρύπανση	3
26/5/2006	0.04	1.89	2.63	0.74	5.07	3.70	2.34	Ελαφριά ρύπανση	3
5/6/2006	2.25	2.38	1.93	0.51	2.40	2.30	1.96	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
22/6/2006	1.17	1.21	3.27	0.70					
10/7/2006	2.59	2.67	2.02	0.72	9.93				
19/7/2006	2.69	2.42	3.65	0.48	13.13	6.71	4.85	Ρύπανση	2
7/8/2006	1.90	3.63		0.48	8.27	2.00			
23/8/2006	3.28	0.41	5.26	0.24	0.00	3.65	2.14	Ελαφριά ρύπανση	3
8/9/2006	0.66	0.93	4.25	0.27	0.00	5.50	1.93	Αποδεκτή ποιότητα νερού	4
19/9/2006	0.61	2.18	2.82	0.34	10.47	21.50	6.32	Ρύπανση	2
5/10/2006	0.27	1.14	2.11	0.48	11.40	20.60	6.00	Ρύπανση	2
16/11/2006	0.24	1.14	1.45	0.72	3.87	17.50	4.15	Ρύπανση	2

Πίνακας Π.4: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁																
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(Π I _i) ^{1/ni} *100					
	Χρήση νερού															
	(1)			(2)			(3)	(4)	(5)			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	DO	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	BOD ₅	EC	EC	T	DO	BOD ₅						
5/8/2005	0.88	0.18	0.99	0.88	0.14	0.85	0.85	0.62	0.87	0.30	53.91	35.73	84.67	84.67	54.46	
29/8/2005	0.77	0.24	0.92	0.77	0.20	0.84	0.84	0.64	0.75	0.35	54.96	39.21	84.48	84.48	55.10	
12/9/2005	0.69	0.22	0.98	0.69	0.18	0.83	0.83	0.70	0.66	0.34	52.79	35.53	82.78	82.78	53.56	
27/9/2005	0.63	0.01	0.77	0.63	0.01	0.83	0.83	0.84	0.60	0.01	16.92	7.94	83.41	83.41	17.10	
14/10/2005	0.63	0.01	0.96	0.63	0.01	0.91	0.91	1.00	0.59	0.01	18.19	7.91	91.12	91.12	18.07	
25/10/2005	0.77	0.01	0.97	0.77	0.01	0.92	0.92	0.97	0.75	0.01	19.57	8.79	92.33	92.33	19.39	
9/11/2005	0.96	1.00	0.17	0.96	1.00	0.92	0.92	1.00	0.95	1.00	54.20	98.14	91.81	91.81	98.46	
22/11/2005	1.01	1.00	0.91	1.01	1.00	0.96	0.96	1.00	1.02	1.00	97.31	100.7 2	96.50	96.50	100.52	
8/12/2005	0.89	0.49	0.88	0.89	0.48	0.97	0.97	1.00	0.87	0.58	72.72	64.92	96.51	96.51	79.70	
20/12/2005	1.00	0.22	0.61	1.00	0.18	0.96	0.96	1.00	1.00	0.34	51.15	42.90	96.19	96.19	69.49	
11/1/2006	1.00	0.45	0.88	1.00	0.42	0.97	0.97	1.00	1.00	0.54	73.14	65.10	97.18	97.18	81.33	
1/2/2006	1.00	0.49	0.11	1.00	0.48	0.97	0.97	1.00	1.00	0.58	37.30	68.94	96.78	96.78	83.42	
14/2/2006	1.00		0.17	1.00		0.96	0.96		1.00				95.63	95.63		
2/3/2006	0.97	0.25	0.45	0.97	0.22	0.97	0.97	1.00	0.96	0.36	47.91	45.84	96.98	96.98	70.49	
22/3/2006	0.91	1.00	0.01	0.91	1.00	0.95	0.95	1.00	0.89	1.00	20.33	95.24	95.22	95.22	96.31	
6/4/2006	0.95	1.00	0.89	0.95	1.00	0.96	0.96	1.00	0.93	1.00	94.28	97.21	96.31	96.31	97.76	
17/4/2006	0.93	1.00	0.57	0.93	1.00	0.96	0.96	1.00	0.91	1.00	80.99	96.25	95.71	95.71	97.05	
12/5/2006	0.94	0.77	0.93	0.94	0.78	0.92	0.92	1.00	0.92	0.83	87.55	85.39	92.16	92.16	91.38	
26/5/2006	0.95	0.85	0.97	0.95	0.85	0.94	0.94	0.78	0.94	0.88	92.13	90.25	93.93	93.93	86.67	
5/6/2006	0.88	0.62	0.22	0.88	0.62	0.96	0.96	0.71	0.86	0.70	48.90	73.46	96.31	96.31	75.26	
22/6/2006	0.81		0.45	0.81		0.89	0.89	0.59	0.79				89.26	89.26		
10/7/2006	0.86	1.00	0.91	0.86	1.00	0.91	0.91	0.55	0.84	1.00	91.99	92.48	91.17	91.17	77.05	
19/7/2006	0.70	0.01	0.45	0.70	0.01	0.90	0.90	0.70	0.68	0.01	14.69	8.39	90.04	90.04	16.83	
7/8/2006	0.80	0.27		0.80	0.23	0.88	0.88	0.59	0.78	0.38		43.05	88.04	88.04	55.57	
23/8/2006	0.53	0.49	0.97	0.53	0.48	0.88	0.88	0.74	0.48	0.58	63.38	50.31	88.09	88.09	59.08	
8/9/2006	0.64	0.56	0.88	0.64	0.54	0.86	0.86	0.80	0.61	0.64	68.04	59.17	85.79	85.79	67.59	
19/9/2006	0.72	0.01	0.92	0.72	0.01	0.84	0.84	0.75	0.69	0.17	18.77	8.47	83.80	83.80	44.72	

5/10/2006	0.78	0.01	0.94	0.78	0.01	0.90	0.90	0.86	0.77	0.01	19.45	8.86	89.70	89.70	18.73
16/11/2006	0.95	0.73	0.93	0.95	0.73	0.92	0.92	0.95	0.93	0.79	86.29	83.24	91.57	91.57	88.70

Πίνακας II.5: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	62.69	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
29/8/2005	63.65	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
12/9/2005	61.49	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
27/9/2005	41.76	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
14/10/2005	45.28	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
25/10/2005	46.48	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
9/11/2005	86.88	Καλή ποιότητα νερού	4
22/11/2005	98.31	Άριστη ποιότητα νερού	5
8/12/2005	82.08	Καλή ποιότητα νερού	4
20/12/2005	71.18	Καλή ποιότητα νερού	4
11/1/2006	82.79	Καλή ποιότητα νερού	4
1/2/2006	76.64	Καλή ποιότητα νερού	4
14/2/2006			
2/3/2006	71.64	Καλή ποιότητα νερού	4
22/3/2006	80.46	Καλή ποιότητα νερού	4
6/4/2006	96.37	Άριστη ποιότητα νερού	5
17/4/2006	93.14	Άριστη ποιότητα νερού	5
12/5/2006	89.73	Άριστη ποιότητα νερού	5
26/5/2006	91.38	Άριστη ποιότητα νερού	5
5/6/2006	78.05	Καλή ποιότητα νερού	4
22/6/2006			
10/7/2006	88.77	Καλή ποιότητα νερού	4
19/7/2006	44.00	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
7/8/2006			
23/8/2006	69.79	Καλή ποιότητα νερού	4
8/9/2006	73.27	Καλή ποιότητα νερού	4
19/9/2006	47.91	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
5/10/2006	45.29	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
16/11/2006	88.27	Καλή ποιότητα νερού	4

Πίνακας II.6: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂															
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού $WQI=(\prod I_i)^{1/mi} * 100$				
	Χρήση νερού														
	(1)			(2)			(3)	(4)	(5)			(1)	(2)	(3)	(4)
DO	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	BOD ₅	EC	EC	T	DO	BOD ₅						
5/8/2005	0.43	0.27	0.92	0.43	0.23	0.53	0.53	0.57	0.35	0.38	47.17	31.54	53.42	53.42	42.15
29/8/2005	0.46	0.01	0.78	0.46	0.01	0.59	0.59	0.66	0.39	0.01	15.34	6.79	59.29	59.29	13.75
12/9/2005	0.68	0.13	0.27	0.68	0.10	0.58	0.58	0.54	0.65	0.26	28.91	25.67	58.04	58.04	44.93
27/9/2005	0.28	0.01	0.53	0.28	0.01	0.56	0.56	0.80	0.16	0.01	11.36	5.27	55.72	55.72	10.79
14/10/2005	0.32	0.01	0.28	0.32	0.01	0.65	0.65	0.98	0.21	0.01	9.71	5.67	64.71	64.71	12.83
25/10/2005	0.80	0.01	0.92	0.80	0.01	0.66	0.66	0.91	0.78	0.01	19.41	8.93	66.49	66.49	19.21
9/11/2005	1.00	0.71	0.65	1.00	0.71	0.69	0.69	1.00	1.00	0.77	77.54	84.55	69.04	69.04	91.84
22/11/2005	0.93	0.69	0.84	0.93	0.69	0.86	0.86	1.00	0.91	0.75	81.05	79.81	85.50	85.50	88.29
8/12/2005	0.90	0.58	0.88	0.90	0.57	0.86	0.86	1.00	0.88	0.66	76.93	71.59	85.74	85.74	83.49
20/12/2005	0.97	0.13	0.74	0.97	0.10	0.83	0.83	1.00	0.96	0.26	45.33	30.72	83.27	83.27	63.06
11/1/2006	1.00	0.20	0.55	1.00	0.17	0.87	0.87	1.00	1.00	0.32	48.30	41.00	86.91	86.91	68.52
1/2/2006	1.00	0.26	0.45	1.00	0.22	0.77	0.77	1.00	1.00	0.37	48.98	47.36	76.71	76.71	71.79
14/2/2006	0.96		0.43	0.96		0.86	0.86		0.95				85.79	85.79	
2/3/2006	0.91	0.34	0.73	0.91	0.31	0.89	0.89	1.00	0.89	0.44	60.70	52.70	88.72	88.72	73.23
22/3/2006	0.84	0.75	0.67	0.84	0.75	0.79	0.79	1.00	0.83	0.80	75.14	79.65	79.30	79.30	87.29
6/4/2006	0.95	0.40	0.95	0.95	0.37	0.76	0.76	1.00	0.94	0.50	71.23	59.65	76.23	76.23	77.65
17/4/2006	0.80	0.01	0.91	0.80	0.01	0.78	0.78	1.00	0.78	0.01	19.39	8.93	77.57	77.57	19.82
12/5/2006	0.73	0.18	0.91	0.73	0.14	0.84	0.84	0.94	0.71	0.30	49.21	32.50	84.09	84.09	58.49
26/5/2006	0.83	0.49	0.72	0.83	0.48	0.68	0.68	0.79	0.82	0.58	66.44	62.91	67.67	67.67	71.98
5/6/2006	0.81	0.20	0.32	0.81	0.17	0.83	0.83	0.65	0.79	0.32	37.57	36.89	82.78	82.78	54.85
22/6/2006	0.86		0.46	0.86		0.66	0.66	0.71	0.84				66.16	66.16	
10/7/2006	0.75	0.01	0.88	0.75	0.01	0.65	0.65	0.71	0.72	0.11	18.71	8.64	64.85	64.85	38.47
19/7/2006	0.67	0.01	0.45	0.67	0.01	0.62	0.62	0.71	0.64	0.01	14.48	8.21	61.94	61.94	16.58
7/8/2006	0.57	0.01		0.57	0.01	0.55	0.55	0.58	0.53	0.03		7.58	55.26	55.26	21.25
23/8/2006	0.66	0.31	0.88	0.66	0.28	0.58	0.58	0.61	0.63	0.42	56.76	43.04	57.57	57.57	54.26
8/9/2006	0.48	0.37	0.74	0.48	0.34	0.57	0.57	0.72	0.42	0.47	50.67	40.36	57.11	57.11	52.03
19/9/2006	0.75	0.01	0.60	0.75	0.01	0.57	0.57	0.74	0.72	0.07	16.45	8.64	57.29	57.29	33.56
5/10/2006	0.83	0.01	0.86	0.83	0.01	0.61	0.61	0.89	0.82	0.01	19.26	9.13	60.78	60.78	19.34

16/11/2006	1.01	0.51	0.87	1.01	0.49	0.67	0.67	0.93	1.01	0.59	76.24	70.40	66.73	66.73	82.24
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Πίνακας II.7: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	45.54	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
29/8/2005	30.89	Φτωχή ποιότητα νερού	2
12/9/2005	43.12	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
27/9/2005	27.77	Φτωχή ποιότητα νερού	2
14/10/2005	31.52	Φτωχή ποιότητα νερού	2
25/10/2005	36.11	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
9/11/2005	78.40	Καλή ποιότητα νερού	4
22/11/2005	84.03	Καλή ποιότητα νερού	4
8/12/2005	80.70	Καλή ποιότητα νερού	4
20/12/2005	61.13	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
11/1/2006	66.33	Καλή ποιότητα νερού	4
1/2/2006	64.31	Καλή ποιότητα νερού	4
14/2/2006			
2/3/2006	72.81	Καλή ποιότητα νερού	4
22/3/2006	80.14	Καλή ποιότητα νερού	4
6/4/2006	72.20	Καλή ποιότητα νερού	4
17/4/2006	40.66	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
12/5/2006	61.68	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
26/5/2006	67.33	Καλή ποιότητα νερού	4
5/6/2006	58.97	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
22/6/2006			
10/7/2006	39.10	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
19/7/2006	32.63	Φτωχή ποιότητα νερού	2
7/8/2006			
23/8/2006	53.84	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
8/9/2006	51.46	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
19/9/2006	34.65	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
5/10/2006	33.86	Φτωχή ποιότητα νερού	2
16/11/2006	72.47	Καλή ποιότητα νερού	4

Πίνακας Π.8: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και δεικτών ποιότητας ανά κατηγορία χρήσης νερού κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃															
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										Δείκτης Ποιότητας Νερού ανά χρήση νερού WQI=(Π I _i) ^{1/mi} *100				
	Χρήση νερού														
	(1)			(2)			(3)	(4)	(5)			(1)	(2)	(3)	(4)
DO	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	DO	BOD ₅	EC	EC	T	DO	BOD ₅						
5/8/2005	1.00	0.01	0.98	1.00	0.01	0.61	0.61	0.57	1.00	0.01	21.39	10.00	60.87	60.87	17.81
29/8/2005	0.60	0.01	0.94	0.60	0.01	0.71	0.71	0.66	0.56	0.01	17.80	7.74	71.41	71.41	15.45
12/9/2005	0.42	0.01	0.97	0.42	0.01	0.67	0.67	0.54	0.34	0.09	15.97	6.48	67.34	67.34	25.54
27/9/2005	0.53	0.01	0.96	0.53	0.01	0.63	0.63	0.80	0.48	0.01	17.23	7.31	62.97	62.97	15.68
14/10/2005	0.30	0.01	0.96	0.30	0.01	0.66	0.66	0.98	0.18	0.01	14.17	5.45	66.45	66.45	12.16
25/10/2005	1.00	0.01	0.77	1.00	0.01	0.67	0.67	0.91	1.00	0.01	19.75	10.00	66.63	66.63	20.88
9/11/2005	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	0.69	0.69	1.00	1.00	1.00	97.77	100.00	69.47	69.47	100.00
22/11/2005	0.99	0.45	0.94	0.99	0.43	0.87	0.87	1.00	0.98	0.55	74.92	65.39	86.82	86.82	81.27
8/12/2005	0.83	0.47	0.85	0.83	0.45	0.85	0.85	1.00	0.82	0.56	69.22	61.18	84.82	84.82	76.98
20/12/2005	1.00	0.01	0.80	1.00	0.01	0.81	0.81	1.00	1.00	0.01	20.02	10.00	81.33	81.33	21.54
11/1/2006	1.00	0.62	0.86	1.00	0.62	0.84	0.84	1.00	1.00	0.70	81.14	78.46	84.24	84.24	88.58
1/2/2006	1.00	0.34	0.53	1.00	0.31	0.75	0.75	1.00	1.00	0.45	56.91	56.07	74.84	74.84	76.44
14/2/2006	1.00		0.40	1.00		0.86	0.86		0.99				86.18	86.18	
2/3/2006	0.95	0.34	0.45	0.95	0.31	0.89	0.89	1.00	0.94	0.44	52.52	54.05	88.82	88.82	74.60
22/3/2006	0.86	1.00	0.89	0.86	1.00	0.79	0.79	1.00	0.84	1.00	91.17	92.48	78.68	78.68	94.31
6/4/2006	1.00	0.27	0.91	1.00	0.24	0.75	0.75	1.00	1.00	0.38	63.02	49.04	74.99	74.99	72.68
17/4/2006	1.01	0.01	0.95	1.01	0.01	0.77	0.77	1.00	1.01	0.01	21.21	10.03	77.09	77.09	21.58
12/5/2006	0.92	0.01	0.93	0.92	0.01	0.84	0.84	0.94	0.90	0.08	20.42	9.58	83.85	83.85	41.52
26/5/2006	0.90	0.42	0.84	0.90	0.40	0.64	0.64	0.79	0.88	0.52	68.39	59.77	64.10	64.10	71.09
5/6/2006	0.82	0.75	0.91	0.82	0.75	0.84	0.84	0.65	0.80	0.80	82.23	78.56	83.99	83.99	74.82
22/6/2006	0.92		0.78	0.92		0.71	0.71	0.71	0.90				70.60	70.60	
10/7/2006	0.73	0.01	0.90	0.73	0.01	0.67	0.67	0.71	0.71	0.02	18.73	8.56	67.39	67.39	20.79
19/7/2006	0.81	0.01	0.74	0.81	0.01	0.63	0.63	0.71	0.79	0.01	18.16	9.00	63.21	63.21	17.76
7/8/2006	0.61	0.01		0.61	0.01	0.65	0.65	0.58	0.57	0.19		8.67	64.61	64.61	39.45
23/8/2006	1.00	1.00	0.54	1.00	1.00	0.66	0.66	0.61	1.00	1.00	81.29	100.00	65.88	65.88	84.76
8/9/2006	0.97	1.00	0.67	0.97	1.00	0.61	0.61	0.72	0.96	1.00	86.64	98.59	60.92	60.92	88.72
19/9/2006	0.87	0.01	0.83	0.87	0.01	0.62	0.62	0.74	0.85	0.01	19.28	9.31	61.94	61.94	18.43
5/10/2006	1.00	0.01	0.89	1.00	0.01	0.63	0.63	0.89	0.99	0.01	20.72	9.99	63.44	63.44	20.66

16/11/2006	1.00	0.56	0.94	1.00	0.55	0.67	0.67	0.93	1.00	0.64	80.89	74.41	67.39	67.39	84.34
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Πίνακας Π.9: Υπολογισμός ολικού δείκτη ποιότητας κατά Bhargava- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	34.19	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
29/8/2005	36.76	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
12/9/2005	36.53	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
27/9/2005	33.23	Φτωχή ποιότητα νερού	2
14/10/2005	32.93	Φτωχή ποιότητα νερού	2
25/10/2005	36.78	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
9/11/2005	87.34	Καλή ποιότητα νερού	4
22/11/2005	79.04	Καλή ποιότητα νερού	4
8/12/2005	75.40	Καλή ποιότητα νερού	4
20/12/2005	42.84	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
11/1/2006	83.33	Καλή ποιότητα νερού	4
1/2/2006	67.82	Καλή ποιότητα νερού	4
14/2/2006			
2/3/2006	71.76	Καλή ποιότητα νερού	4
22/3/2006	87.06	Καλή ποιότητα νερού	4
6/4/2006	66.94	Καλή ποιότητα νερού	4
17/4/2006	41.40	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
12/5/2006	47.84	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
26/5/2006	65.49	Καλή ποιότητα νερού	4
5/6/2006	80.72	Καλή ποιότητα νερού	4
22/6/2006			
10/7/2006	36.57	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
19/7/2006	34.27	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
7/8/2006			
23/8/2006	79.56	Καλή ποιότητα νερού	4
8/9/2006	79.16	Καλή ποιότητα νερού	4
19/9/2006	34.18	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
5/10/2006	35.65	Ικανοποιητική ποιότητα νερού	3
16/11/2006	74.88	Καλή ποιότητα νερού	4

Πίνακας Π.10: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένος ο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	90.61	68.82	10.00	98.27	49.60	10.00	16.97	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
29/8/2005	82.11	53.82	10.00	89.25	54.05	44.72	22.88	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
12/9/2005	97.44	43.73	10.00	96.78	63.58	10.00	16.91	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
27/9/2005	97.44	37.28	10.00	72.75	82.70	10.00	16.84	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/10/2005	100.00	36.71	10.00	94.62	96.65	41.14	22.69	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/10/2005	96.94	54.30	10.00	95.90	93.84	35.46	22.88	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
9/11/2005	86.93	78.90	88.73	10.00	98.23	35.46	23.02	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/11/2005	100.00	85.09	100.00	86.36	100.00	26.22	54.41	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/12/2005	100.00	69.09	26.31	63.82	100.00	10.00	22.27	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
20/12/2005	100.00	86.92	10.00	45.48	100.00	10.00	16.98	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
11/1/2006	100.00	100.00	23.34		100.00	42.82			
1/2/2006	100.00	98.41	26.31	10.00	100.00	10.00	16.61	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/2/2006		89.47		28.45		30.84			
2/3/2006	100.00	80.00	10.00	45.90	100.00	69.14	23.31	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/3/2006	100.00	71.71	100.00	10.00	100.00	10.00	17.11	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
6/4/2006	100.00	76.62	100.00	70.59	100.00	97.00	87.86	Καλή ποιότητα νερού	4
17/4/2006	100.00	74.22	100.00	49.80	99.40	80.67	75.97	Φτωχή ποιότητα νερού	2
12/5/2006	100.00	75.43	51.80	89.54	97.00				
26/5/2006	100.00	77.77	60.76	85.73	75.65	10.00	23.52	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/6/2006	100.00	67.74	36.19	33.06	66.08	63.51	49.25	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/6/2006	92.03	59.03		43.88	44.93	10.00			
10/7/2006	60.77	64.95	100.00	84.18	34.88	10.00	22.77	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/7/2006	100.00	45.86	10.00	46.84	64.84	65.96	22.84	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
7/8/2006	100.00	57.48	10.00		43.32	78.22			
23/8/2006	100.00	26.25	26.31	88.40	70.22	90.47	41.71	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/9/2006	87.38	38.60	30.86	84.43	77.65	46.39	47.82	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/9/2006	96.43	47.60	10.00	82.67	71.91	82.33	23.32	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/10/2006	100.00	55.91	10.00	87.44	84.77	42.49	23.10	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
16/11/2006	100.00	76.62	46.89	90.95	92.24	52.98	67.42	Φτωχή ποιότητα νερού	2

Πίνακας Π.11: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένος ο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	100.00	15.23	10.00	89.33	39.18	10.00	15.43	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
29/8/2005	100.00	18.70	10.00	40.74	57.59	10.00	15.86	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
12/9/2005	100.00	42.83	10.00	36.35	33.12	10.00	16.40	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
27/9/2005	100.00	10.00	10.00	52.29	78.14	10.00	14.00	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/10/2005	100.00	10.00	10.00	36.35	94.56	10.00	13.92	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
25/10/2005	100.00	57.48	10.00	71.05	89.50	10.00	17.01	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
9/11/2005	100.00	89.47	45.06	52.80	98.23	36.01	55.46	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/11/2005	100.00	74.22	42.44	65.69	100.00	10.00	23.18	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/12/2005	100.00	70.42	32.76	35.80	100.00	10.00	22.26	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
20/12/2005	100.00	80.00	10.00	10.00	100.00	10.00	14.06	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
11/1/2006	100.00	97.58	10.00		100.00	63.24			
1/2/2006	100.00	87.80	10.00	10.00	100.00	10.00	14.07	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/2/2006		78.90		10.00		10.00			
2/3/2006	100.00	71.71	10.00	61.72	100.00	56.43	23.39	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/3/2006	100.00	63.51	48.80	51.05	100.00	10.00	23.09	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
6/4/2006	100.00	77.77	20.71	38.22	99.62	39.38	38.60	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
17/4/2006	100.00	57.48	10.00	35.91	97.80	61.06	22.79	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
12/5/2006	100.00	49.32	10.00	76.08	91.67				
26/5/2006	100.00	62.05	26.31	28.51	76.66	10.00	21.32	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/6/2006	100.00	59.03	10.00	26.48	55.49	10.00	16.46	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/6/2006	100.00	64.95		10.00	66.08	25.44			
10/7/2006	100.00	51.01	10.00	29.08	65.46	10.00	16.55	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/7/2006	100.00	42.28	10.00	10.00	65.46	10.00	13.94	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
7/8/2006	100.00	30.89	10.00		42.50	10.00			
23/8/2006	100.00	40.45	10.00	46.83	48.07	10.00	16.67	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/9/2006	100.00	20.62	10.00	57.38	67.89	10.00	16.16	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/9/2006	100.00	51.01	10.00	30.12	69.65	10.00	16.59	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/10/2006	100.00	62.05	10.00	43.88	87.43	10.00	16.90	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
16/11/2006	100.00	84.13	27.38	34.57	91.08	32.61	41.56	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας Π.12: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας Oregon - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃									
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη SI _i για κάθε ποιοτική μεταβλητή									
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένος ο οξυγόνο DO	BOD ₅	(NH ₄ ⁺ -N) + (NO ₃ ⁻ -N)	Θερμοκρασία T	Ολικός φωσφόρος TP	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού OWQI	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	53.38	51.19	10.00	96.92	10.00	52.35	16.82	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
29/8/2005	100.00	33.64	10.00	46.24	21.97	40.91	20.61	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
12/9/2005	100.00	14.35	10.00	83.18	39.18	10.00	15.26	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
27/9/2005	100.00	26.46	10.00	79.98	62.29	10.00	16.54	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/10/2005	100.00	10.00	10.00	76.81		10.00			
25/10/2005	85.59	96.13	10.00	55.44	88.14	29.20	22.48	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
9/11/2005	73.25	87.13	88.73	80.29	99.48	29.20	56.58	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/11/2005	100.00	82.12	23.81	69.62	100.00	25.93	39.71	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/12/2005	100.00	62.05	24.78	10.00	100.00	10.00	16.48	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
20/12/2005	100.00	91.76	10.00	27.79	100.00	10.00	16.66	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
11/1/2006	100.00	97.13	36.19		100.00	61.88			
1/2/2006	100.00	89.47	10.00	10.00	100.00	10.00	14.07	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
14/2/2006		83.14		10.00		43.09			
2/3/2006	94.45	77.77	10.00	38.94	100.00	54.36	22.97	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/3/2006	100.00	64.95	100.00	71.30	99.89	10.00	23.64	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
6/4/2006	86.03	88.65	10.00	10.00	95.67	42.68	16.94	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
17/4/2006	90.14	84.13	10.00	30.07	91.08	39.68	22.24	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
12/5/2006	100.00	72.98	10.00	71.45	83.54				
26/5/2006	99.07	70.42	21.99	25.68	65.46	10.00	20.61	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/6/2006	77.15	60.55	48.80	46.58	55.49	10.00	22.70	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
22/6/2006	95.93	72.98		26.11	34.00	10.00			
10/7/2006	72.87	49.32	10.00	28.83	22.94	10.00	15.91	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/7/2006	71.75	59.03	10.00	39.44	51.11	29.75	21.79	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
7/8/2006	82.11	34.80	10.00		40.02	45.81			
23/8/2006	65.69	94.04	100.00	43.33	31.32	10.00	22.36	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
8/9/2006	100.00	80.00	100.00	50.42	52.60	31.71	53.38	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
19/9/2006	100.00	66.36	10.00	56.47	66.69	32.01	22.51	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
5/10/2006	100.00	83.14	10.00	48.69	76.66	10.00	16.97	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1
16/11/2006	100.00	87.80	31.48	31.13	89.50	10.00	22.00	Πολύ φτωχή ποιότητα νερού	1

Πίνακας Π.13: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας NSF - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁										
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υπο-δείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής						Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(I_i w_i) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση	
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	Ολικός φωσφόρος TP	Μεταβολή θερμοκρασίας $\Delta T = T - T_{GS1}$				
5/8/2005	77	85	97	31	77	93	77	Καλή ποιότητα νερού	4	
29/8/2005	70	67	97	34	93	93	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
12/9/2005	82	53	97	33	80	93	71	Καλή ποιότητα νερού	4	
27/9/2005	82	43	97	5	31	93	56	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
14/10/2005	86	37	97	14	92	93	66	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
25/10/2005	82	52	97	5	90	93	67	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
9/11/2005	74	76	96	97	90	93	86	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/11/2005	91	62	97	100	87	93	86	Καλή ποιότητα νερού	4	
8/12/2005	91	52	96	47	59	93	71	Καλή ποιότητα νερού	4	
20/12/2005	90	56	96	33	78	93	72	Καλή ποιότητα νερού	4	
11/1/2006										
1/2/2006	90	82	96	47	77	93	81	Καλή ποιότητα νερού	4	
14/2/2006										
2/3/2006	93	59	97	35	96	93	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/3/2006	92	56	97	100	76	93	83	Καλή ποιότητα νερού	4	
6/4/2006	91	65	97	100	100	93	88	Καλή ποιότητα νερού	4	
17/4/2006	92	66	97	100	97	93	88	Καλή ποιότητα νερού	4	
12/5/2006										
26/5/2006	90	87	97	70	82	93	86	Καλή ποιότητα νερού	4	
5/6/2006	91	80	97	55	95	93	84	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/6/2006										
10/7/2006	50	84	97	100	43	93	78	Καλή ποιότητα νερού	4	
19/7/2006	84	55	97	17	95	93	71	Καλή ποιότητα νερού	4	
7/8/2006	86	75	97	36	97	93	80	Καλή ποιότητα νερού	4	
23/8/2006	91	38	97	47	99	93	73	Καλή ποιότητα νερού	4	
8/9/2006	75	46	97	51	93	93	72	Καλή ποιότητα νερού	4	
19/9/2006	82	55	97	26	98	93	73	Καλή ποιότητα νερού	4	
5/10/2006	86	58	97	17	92	93	72	Καλή ποιότητα νερού	4	
16/11/2006	87	79	97	62	94	93	84	Καλή ποιότητα νερού	4	

Πίνακας Π.14: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας NSF - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	Ολικός φωσφόρος TP	Μεταβολή θερμοκρασίας ΔT = T-T _{GS1}	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Σ(I _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση	
5/8/2005	90	34	97	36	63	88	64	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
29/8/2005	92	34	97	20	25	91	57	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
12/9/2005	92	58	97	29	52	77	66	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
27/9/2005	91	20	97	5	35	89	52	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
14/10/2005	92	19	97	10	68	89	58	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
25/10/2005	89	57	97	9	82	87	68	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
9/11/2005	91	88	97	61	91	93	87	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/11/2005	93	52	97	59	86	90	77	Καλή ποιότητα νερού	4	
8/12/2005	92	53	95	53	60	92	72	Καλή ποιότητα νερού	4	
20/12/2005	91	53	90	29	69	86	68	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
11/1/2006										
1/2/2006	92	63	92	35	71	92	73	Καλή ποιότητα νερού	4	
14/2/2006										
2/3/2006	92	52	97	39	94	91	75	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/3/2006	92	51	97	63	35	87	69	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
6/4/2006	87	71	95	42	92	87	78	Καλή ποιότητα νερού	4	
17/4/2006	92	51	95	20	95	87	71	Καλή ποιότητα νερού	4	
12/5/2006										
26/5/2006	93	70	95	47	50	92	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
5/6/2006	92	73	96	32	78	87	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/6/2006										
10/7/2006	91	59	93	24	76	77	69	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
19/7/2006	92	52	95	12	78	93	68	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
7/8/2006	91	46	95	21	72	93	67	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
23/8/2006	91	53	96	38	30	80	63	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
8/9/2006	91	34	97	41	57	86	64	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
19/9/2006	90	58	96	22	46	91	66	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
5/10/2006	93	64	96	14	53	90	67	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
16/11/2006	92	88	95	48	89	91	84	Καλή ποιότητα νερού	4	

Πίνακας Π.15: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας NSF - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃										
Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅	Ολικός φωσφόρος TP	Μεταβολή θερμοκρασίας ΔT = T-T _{GS1}	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Σ(I _i w _i)/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση	
5/8/2005	42	50	97	10	94	72	59	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
29/8/2005	91	52	96	10	92	78	67	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
12/9/2005	91	34	97	23	86	80	65	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
27/9/2005	86	40	97	5	66	78	59	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
14/10/2005										
25/10/2005	73	99	96	5	88	85	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
9/11/2005	63	95	97	97	88	88	88	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/11/2005	91	62	96	45	87	87	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
8/12/2005	91	47	92	46	78	91	71	Καλή ποιότητα νερού	4	
20/12/2005	90	73	94	12	70	81	70	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
11/1/2006										
1/2/2006	90	70	92	40	72	87	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
14/2/2006										
2/3/2006	80	62	97	39	94	85	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/3/2006	90	54	97	100	30	84	74	Καλή ποιότητα νερού	4	
6/4/2006	74	89	88	36	92	75	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
17/4/2006	77	88	93	10	92	75	73	Καλή ποιότητα νερού	4	
12/5/2006										
26/5/2006	88	83	93	44	56	86	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
5/6/2006	66	75	96	63	77	87	77	Καλή ποιότητα νερού	4	
22/6/2006										
10/7/2006	62	69	93	20	84	88	68	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
19/7/2006	61	75	96	12	88	85	69	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
7/8/2006	70	50	96	27	93	91	68	Μέτρια ποιότητα νερού	3	
23/8/2006	55	98	97	100	55	71	81	Καλή ποιότητα νερού	4	
8/9/2006	90	94	97	100	89	77	92	Άριστη ποιότητα νερού	5	
19/9/2006	90	78	96	19	89	89	76	Καλή ποιότητα νερού	4	
5/10/2006	92	91	96	16	63	86	75	Καλή ποιότητα νερού	4	
16/11/2006	93	91	93	52	65	89	81	Καλή ποιότητα νερού	4	

Πίνακας Π.16: Αποτελέσματα CCME calculator - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού CCME	Ποιοτική κατάσταση	Αριθμός ποιοτικής κλάσης	F1 (Scope)	F2 (Frequency)	F3 (Amplitude)
5/8/2005	36	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	84
29/8/2005	22	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	96
12/9/2005	25	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	89
27/9/2005	23	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	94
14/10/2005	26	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	86
25/10/2005	38	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	80
9/11/2005	51	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	70
22/11/2005	50	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	73
8/12/2005	44	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	85
20/12/2005	37	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	83
11/1/2006	45	Οριακή ποιότητα νερού	2	50	50	63
1/2/2006	37	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	83
14/2/2006						
2/3/2006	45	Οριακή ποιότητα νερού	2	50	50	63
22/3/2006	40	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	93
6/4/2006	52	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	69
17/4/2006	45	Οριακή ποιότητα νερού	2	50	50	64
12/5/2006						
26/5/2006	35	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	89
5/6/2006	28	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	81
22/6/2006						
10/7/2006	38	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	81
19/7/2006	28	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	82
7/8/2006						
23/8/2006	32	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	95
8/9/2006	26	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	87
19/9/2006	25	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	90
5/10/2006	42	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	88
16/11/2006	51	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	71

Πίνακας Π.17: Αποτελέσματα CCME calculator - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού CCME	Ποιοτική κατάσταση	Αριθμός ποιοτικής κλάσης	F1 (Scope)	F2 (Frequency)	F3 (Amplitude)
5/8/2005	42	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	70
29/8/2005	41	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	74
12/9/2005	40	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	76
27/9/2005	35	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	88
14/10/2005	39	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	80
25/10/2005	38	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	80
9/11/2005	57	Οριακή ποιότητα νερού	2	17	17	71
22/11/2005	50	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	73
8/12/2005	47	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	79
20/12/2005	45	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	83
11/1/2006	58	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	56
1/2/2006	37	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	82
14/2/2006						
2/3/2006	44	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	67
22/3/2006	44	Φτωχή ποιότητα νερού	1	17	17	95
6/4/2006	52	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	69
17/4/2006	50	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	74
12/5/2006						
26/5/2006	43	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	87
5/6/2006	53	Οριακή ποιότητα νερού	2	17	17	78
22/6/2006						
10/7/2006	40	Φτωχή ποιότητα νερού	1	50	50	77
19/7/2006	30	Φτωχή ποιότητα νερού	1	67	67	76
7/8/2006						
23/8/2006	43	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	87
8/9/2006	51	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	71
19/9/2006	49	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	74
5/10/2006	44	Φτωχή ποιότητα νερού	1	33	33	85
16/11/2006	45	Οριακή ποιότητα νερού	2	33	33	83

Πίνακας Π.18: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius-
περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁						
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής					Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
5/8/2005	68.41	74.6	72.64	100.000	47.18	70.30
29/8/2005	62.09	64.2	72.37	100.000	48.31	66.99
12/9/2005	73.47	57.4	70.14	100.000	47.98	66.62
27/9/2005	73.47	51.2	70.93	100.000	33.38	60.08
14/10/2005	78.11	47.3	85.04	100.000	38.82	63.50
25/10/2005	73.10	56.5	88.50	100.000	29.74	62.31
9/11/2005	65.67	68.4	86.94	100.000	100.00	82.94
22/11/2005	87.84	62.3	100.00	100.000	100.00	87.29
8/12/2005	86.50	56.5	100.00	100.000	55.56	74.92
20/12/2005	83.89	59.0	100.00	100.000	47.98	72.97
11/1/2006	82.62	76.6	100.00		53.92	
1/2/2006	83.89	72.7	100.00	100.000	55.56	79.20
14/2/2006			100.00	100.000		
2/3/2006	100.00	61.0	100.00	100.000	48.65	76.00
22/3/2006	92.44	59.0	99.77	100.000	100.00	86.86
6/4/2006	89.19	63.4	100.00	100.000	100.00	87.87
17/4/2006	93.86	64.0	100.00	100.000	100.00	88.85
12/5/2006	87.39	67.1	87.96	100.000	71.16	80.67
26/5/2006	85.19	76.6	94.08	100.000	78.41	85.70
5/6/2006	89.19	71.2	100.00	100.000	61.12	81.29
22/6/2006	69.46	68.6	80.61	100.000		
10/7/2006	46.18	74.0	85.17	100.000	100.00	79.35
19/7/2006	75.76	58.3	82.36	100.000	40.47	66.66
7/8/2006	78.11	67.9	78.15	100.000	49.00	71.76
23/8/2006	87.39	48.1	78.24	100.000	55.56	69.17
8/9/2006	66.01	52.8	74.31	100.000	58.09	67.49
19/9/2006	72.73	58.2	71.44	100.000	44.56	65.91
5/10/2006	77.71	60.1	81.57	100.000	40.73	67.42
16/11/2006	79.72	70.4	86.24	100.000	67.74	79.24

Πίνακας II.19: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
5/8/2005	3	5	5	5	4	4
29/8/2005	3	4	4	4	3	3
12/9/2005	3	4	4	4	3	3
27/9/2005	3	4	4	4	3	3
14/10/2005	3	4	4	4	3	3
25/10/2005	3	4	4	4	3	3
9/11/2005	4	5	5	5	4	4
22/11/2005	4	5	5	5	4	4
8/12/2005	3	5	5	5	4	4
20/12/2005	3	5	5	5	4	4
11/1/2006						
1/2/2006	3	5	5	5	4	4
14/2/2006						
2/3/2006	3	5	5	5	4	4
22/3/2006	4	5	5	5	4	4
6/4/2006	4	5	5	5	4	4
17/4/2006	4	5	5	5	4	4
12/5/2006	4	5	5	5	4	4
26/5/2006	4	5	5	5	4	4
5/6/2006	4	5	5	5	4	4
22/6/2006						
10/7/2006	3	5	5	5	4	4
19/7/2006	3	4	4	4	3	3
7/8/2006	3	5	5	5	4	4
23/8/2006	3	4	4	4	3	3
8/9/2006	3	4	4	4	3	3
19/9/2006	3	4	4	4	3	3
5/10/2006	3	4	4	4	3	3
16/11/2006	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Π.20: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius-περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂						
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής					Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
5/8/2005	85.19	46.0	51.08	100.000	49.00	61.56
29/8/2005	91.50	46.0	53.40	100.000	41.73	60.66
12/9/2005	91.50	60.4	52.87	100.000	46.29	66.12
27/9/2005	86.06	36.5	51.94	100.000	31.00	53.02
14/10/2005	94.82	35.7	55.96	100.000	36.68	56.29
25/10/2005	81.78	59.7	56.91	100.000	36.33	62.20
9/11/2005	85.62	77.0	58.38	100.000	66.54	76.28
22/11/2005	98.27	56.8	73.86	100.000	64.88	75.17
8/12/2005	90.57	57.4	74.23	100.000	59.16	72.93
20/12/2005	89.19	57.0	70.75	92.761	46.29	67.30
11/1/2006	86.50	71.6	76.13		47.65	
1/2/2006	95.80	62.5	63.89	96.606	48.83	69.78
14/2/2006			74.31	98.896		
2/3/2006	91.50	56.7	79.49	100.000	50.72	71.32
22/3/2006	92.44	56.2	66.29	100.000	69.03	73.82
6/4/2006	79.72	66.0	63.49	100.000	52.46	69.99
17/4/2006	95.80	56.2	64.65	100.000	41.73	66.34
12/5/2006	100.00	54.8	71.84	100.000	47.18	69.46
26/5/2006	100.00	65.5	57.57	100.000	55.56	72.28
5/6/2006	91.97	67.2	70.14	100.000	47.65	71.78
22/6/2006	87.84	69.4	56.73	100.000		
10/7/2006	87.39	61.1	56.03	99.453	43.50	65.50
19/7/2006	93.38	56.4	54.60	100.000	37.79	62.82
7/8/2006	86.06	53.1	51.76	100.000	42.22	61.98
23/8/2006	89.19	57.4	52.68	100.000	50.12	66.13
8/9/2006	88.74	45.8	52.49	100.000	51.56	62.92
19/9/2006	83.04	60.4	52.57	100.000	42.84	63.92
5/10/2006	98.27	62.9	54.06	100.000	38.82	65.32
16/11/2006	95.80	76.8	57.04	100.000	56.16	74.59

Πίνακας Π.21: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
5/8/2005	3	4	4	4	3	3
29/8/2005	3	4	4	4	3	3
12/9/2005	3	4	4	4	3	3
27/9/2005	3	4	3	3	3	3
14/10/2005	3	4	3	3	3	3
25/10/2005	3	4	4	4	3	3
9/11/2005	3	5	5	5	4	4
22/11/2005	3	5	5	5	4	4
8/12/2005	3	5	5	5	4	4
20/12/2005	3	4	4	4	3	3
11/1/2006						
1/2/2006	3	4	4	4	3	3
14/2/2006						
2/3/2006	3	5	5	5	4	4
22/3/2006	3	5	5	5	4	4
6/4/2006	3	4	4	4	3	3
17/4/2006	3	4	4	4	3	3
12/5/2006	3	4	4	4	3	3
26/5/2006	3	5	5	5	4	4
5/6/2006	3	5	5	5	4	4
22/6/2006						
10/7/2006	3	4	4	4	3	3
19/7/2006	3	4	4	4	3	3
7/8/2006	3	4	4	4	3	3
23/8/2006	3	4	4	4	3	3
8/9/2006	3	4	4	4	3	3
19/9/2006	3	4	4	4	3	3
5/10/2006	3	4	4	4	3	3
16/11/2006	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Π.22: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων και ολικού δείκτη ποιότητας βάσει της μεθοδολογίας του δείκτη Dinius-
περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃						
Ημερομηνία	Υπολογισμός τιμής υποδείκτη I _i κάθε ποιοτικής μεταβλητής					Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Π(I _i ^{wi})
	pH	Διαλυμένο οξυγόνο DO	Αγωγιμότητα	Νιτρικά NO ₃ ⁻ -N	BOD ₅ (mg/L)	
	Συντελεστής βαρύτητας w _i					
	0.17	0.24	0.17	0.20	0.22	
5/8/2005	40.65	138.4	54.10	100.000	36.68	67.23
29/8/2005	89.65	56.4	59.88	100.000	36.97	63.12
12/9/2005	85.62	45.6	57.38	100.000	43.17	61.05
27/9/2005	78.51	49.0	55.09	100.000	26.17	54.59
14/10/2005	75.37		56.88	100.000	41.17	
25/10/2005	64.67	91.7	56.98	100.000	30.03	63.65
9/11/2005	55.49	102.0	58.64	100.000	100.00	82.86
22/11/2005	87.39	62.2	75.96	100.000	54.18	72.81
8/12/2005	85.62	53.4	72.85	96.262	54.72	69.06
20/12/2005	83.04	66.9	68.43	100.000	38.05	66.87
11/1/2006	83.89	71.8	72.03		61.12	
1/2/2006	84.76	65.4	62.36	95.714	50.92	69.30
14/2/2006			74.92	97.304		
2/3/2006	71.26	62.1	79.69	100.000	50.72	69.90
22/3/2006	85.19	57.8	65.68	100.000	100.00	79.26
6/4/2006	65.00	78.4	62.48	92.039	49.18	68.19
17/4/2006	68.06	76.8	64.23	97.932	36.97	65.41
12/5/2006	83.04	71.0	71.51	100.000	43.06	70.18
26/5/2006	1.00	73.2	55.64	97.559	53.17	33.36
5/6/2006	58.40	68.1	71.70	100.000	69.03	72.52
22/6/2006	72.36	80.2	59.35	100.000		
10/7/2006	55.21	65.2	57.41	98.573	42.03	61.27
19/7/2006	54.37	67.8	55.20	100.000	38.12	60.16
7/8/2006	62.09	55.4	55.91	100.000	44.81	60.81
23/8/2006	49.85	96.8	56.57	100.000	100.00	79.85
8/9/2006	83.04	83.0	54.12	100.000	100.00	83.25
19/9/2006	84.32	70.2	54.60	100.000	41.26	66.34
5/10/2006	96.29	80.9	55.32	100.000	40.05	69.91
16/11/2006	97.77	80.9	57.41	99.045	58.44	76.38

Πίνακας II.23: Ποιοτική κατάταξη του ολικού δείκτη Dinius ανά κατηγορία χρήσης νερού- περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Ημερομηνία	Χαρακτηρισμός ποιοτικής κατάστασης ανά κατηγορία χρήσης νερού					
	Ύδρευση	Αναψυχή	Διαβίωση ιχθύων	Διαβίωση οστρακοειδών	Άρδευση	Βιομηχανία
5/8/2005	3	4	4	4	3	3
29/8/2005	3	4	4	4	3	3
12/9/2005	3	4	4	4	3	3
27/9/2005	3	4	3	3	3	3
14/10/2005						
25/10/2005	3	4	4	4	3	3
9/11/2005	4	5	5	5	4	4
22/11/2005	3	5	5	5	4	4
8/12/2005	3	4	4	4	3	3
20/12/2005	3	4	4	4	3	3
11/1/2006						
1/2/2006	3	4	4	4	3	3
14/2/2006						
2/3/2006	3	4	4	4	3	3
22/3/2006	3	5	5	5	4	4
6/4/2006	3	4	4	4	3	3
17/4/2006	3	4	4	4	3	3
12/5/2006	3	5	5	5	4	4
26/5/2006	1	2	1	1	2	2
5/6/2006	3	5	5	5	4	4
22/6/2006						
10/7/2006	3	4	4	4	3	3
19/7/2006	3	4	4	4	3	3
7/8/2006	3	4	4	4	3	3
23/8/2006	3	5	5	5	4	4
8/9/2006	4	5	5	5	4	4
19/9/2006	3	4	4	4	3	3
5/10/2006	3	4	4	4	3	3
16/11/2006	3	5	5	5	4	4

Πίνακας Π.24: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσπόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁										
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	EC	DO	pH	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]										
	0.000016	0.008235	0.005147	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
5/8/2005	13.96	53.87	138.00	7.60	0.00	0.17	168.00	689.09	356.67	160.00
29/8/2005	14.12	83.78	176.00	49.40	0.00	1.54	504.00	369.09	333.33	272.00
12/9/2005	15.52	100.54	110.00	14.20	0.00	0.00	560.00	618.18	340.00	368.00
27/9/2005	15.00	108.54	110.00	138.20	0.00	0.01	560.00	3041.82	960.00	610.67
14/10/2005	8.68	107.60	86.00	24.00	0.00	0.16		393.01	623.33	960.00
25/10/2005	7.70	87.98	112.00	18.20	0.00	0.02	392.00	430.91	1336.67	480.00
9/11/2005	8.12	56.24	154.00	503.20	1.61	0.07	252.00	430.91	20.00	322.67
22/11/2005	4.32	60.90	40.00	54.80	0.09	0.49	308.00	492.62	0.00	400.00
8/12/2005	4.31	76.42	46.00	70.80	1.24	0.40		1037.48	223.33	176.00
20/12/2005	4.57	63.96	58.00	233.20	1.09	0.02	320.00	661.27	340.00	65.33
11/1/2006	3.77	31.03	64.00	72.60		0.06		381.82	243.33	50.00
1/2/2006	4.10	39.02	58.00	540.00	1.03	0.45	336.00	685.16	223.33	26.00
14/2/2006	5.02	170.00		497.40	0.49	0.71		461.82		
2/3/2006	3.93	65.28	32.00	329.40	0.09	0.03	340.00	206.05	326.67	96.00
22/3/2006	5.36	72.36	20.00	599.40	0.62	0.51		707.27	0.00	77.33
6/4/2006	4.48	64.40	34.00	67.60	0.84	0.59	252.00	20.00	0.00	125.33
17/4/2006	4.96	65.14	14.00	255.00	0.48	0.52		129.09	0.00	112.00
12/5/2006	7.84	60.41	42.00	44.40	0.04	0.17	241.00		110.00	317.33
26/5/2006	6.40	43.38	52.00	20.80	0.46	0.44		581.82	83.33	36.67
5/6/2006	4.48	60.37	34.00	472.60	0.08	0.18	310.00	243.64	170.00	33.33
22/6/2006	10.20	72.99	132.00	329.40	0.28	0.02		1300.00		
10/7/2006	8.64	58.66	292.00	53.80	0.21	1.25		1798.18	0.00	
19/7/2006	9.56	97.34	98.00	329.40	0.00	1.13	206.00	227.27	553.33	227.73
7/8/2006	11.20	75.76	86.00		0.00	0.40		145.45	320.00	50.00
23/8/2006	11.16	123.88	42.00	17.40	0.36	0.10		63.64	223.33	70.00
8/9/2006	13.04	107.26	152.00	69.80	0.04	0.11	380.00	358.00	196.67	253.33
19/9/2006	14.68	94.93	114.00	47.40	0.35	2.16	340.00	118.00	420.00	380.00
5/10/2006	9.84	84.18	88.00	38.00	0.20	1.28	290.00	384.00	543.33	680.00
16/11/2006	8.32	54.79	78.00	41.20	0.00	0.00	310.00	314.00	126.67	490.00

Πίνακας Π.25: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₁

Σταθμός παρακολούθησης GS ₁			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI= $\Sigma(QI_{wi})/\Sigma w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	587.11	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
29/8/2005	338.69	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
12/9/2005	545.28	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
27/9/2005	2580.48	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/10/2005			
25/10/2005	396.74	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
9/11/2005	412.74	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/11/2005	428.38	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
8/12/2005			
20/12/2005	588.36	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
11/1/2006			
1/2/2006	632.54	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/2/2006			
2/3/2006	218.30	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/3/2006			
6/4/2006	33.63	Καλή ποιότητα νερού	4
17/4/2006			
12/5/2006			
26/5/2006			
5/6/2006	257.93	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/6/2006			
10/7/2006			
19/7/2006	234.32	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
7/8/2006			
23/8/2006			
8/9/2006	324.14	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/9/2006	123.99	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
5/10/2006	344.27	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
16/11/2006	280.79	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

Πίνακας Π.26: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂										
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	EC	DO	pH	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]										
	0.000016	0.008235	0.005147	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
5/8/2005	40.40	145.03	52.00	49.00	0.00	2.21	644.00	940.00	320.00	176.00
29/8/2005	35.32	135.93	24.00	130.20	2.60	10.83	700.00	4727.27	506.67	320.00
12/9/2005	36.40	102.25	24.00	436.20	0.03	21.48	840.00	1321.82	376.67	272.00
27/9/2005	38.40	150.58	48.00	281.60	0.00	11.09	308.00	2500.00	1186.67	877.33
14/10/2005	30.68	138.02	10.00	430.20	0.09	12.63		856.62	733.33	974.67
25/10/2005	29.16	82.91	68.00	49.40	0.99	6.87	476.00	595.56	753.33	528.00
9/11/2005	27.00	36.19	50.00	206.40	0.71	7.32	308.00	427.27	133.33	338.67
22/11/2005	13.28	73.04	4.00	97.20	0.85	1.32	308.00	519.71	143.33	448.00
8/12/2005	13.08	74.74	28.00	73.80	3.72	0.72		1005.45	186.67	224.00
20/12/2005	15.12	69.64	34.00	155.60	5.99	0.18	341.00	834.59	376.67	96.00
11/1/2006	12.12	41.21	46.00	266.80		0.38		245.45	346.67	56.67
1/2/2006	20.56	59.24	6.00	327.60	5.16	13.64	504.00	801.82	323.33	48.00
14/2/2006	13.04	148.00		341.40	4.74	7.52		517.34		
2/3/2006	10.64	74.58	24.00	160.40	0.49	0.00	309.00	290.91	290.00	82.67
22/3/2006	18.40	80.42	20.00	195.60	0.96	1.25		2474.55	120.00	189.33
6/4/2006	20.96	60.39	78.00	30.60	3.87	1.64	168.00	404.75	263.33	109.33
17/4/2006	19.84	85.23	6.00	51.20	3.94	1.40		260.00	506.67	240.00
12/5/2006	14.44	93.78	62.00	54.80	0.64	5.82	216.00		356.67	377.33
26/5/2006	28.16	73.16	14.00	169.60	3.75	9.79		1385.45	223.33	86.67
5/6/2006	15.52	74.61	22.00	407.40	1.70	7.23	430.00	669.09	346.67	106.67
22/6/2006	29.44	65.65	40.00	326.00	4.46	6.71		497.85		
10/7/2006	30.56	89.39	42.00	72.60	4.64	3.82		705.45	450.00	
19/7/2006	33.04	102.65	16.00	329.40	3.04	6.85	310.00	656.36	673.33	273.87
7/8/2006	38.80	121.32	48.00		3.13	5.37		781.82	490.00	83.33
23/8/2006	36.80	105.89	34.00	69.00	2.61	7.26		3136.36	300.00	150.00
8/9/2006	37.20	131.33	36.00	157.20	0.84	6.80	410.00	1130.00	276.67	283.33
19/9/2006	37.04	89.69	62.00	240.80	2.80	4.89	460.00	1622.00	470.00	690.00
5/10/2006	34.04	75.88	4.00	84.80	2.73	4.15	380.00	1288.00	623.33	760.00
16/11/2006	28.96	39.36	6.00	79.00	3.82	2.55	360.00	450.00	216.67	546.67

Πίνακας Π.27: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₂

Σταθμός παρακολούθησης GS ₂			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού WQI=Σ(QI _{wi})/Σw _i	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	818.90	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
29/8/2005	3980.77	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
12/9/2005	1177.52	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
27/9/2005	2134.95	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/10/2005			
25/10/2005	531.58	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
9/11/2005	388.35	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/11/2005	456.43	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
8/12/2005			
20/12/2005	727.42	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
11/1/2006			
1/2/2006	720.40	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/2/2006			
2/3/2006	273.04	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/3/2006			
6/4/2006	350.92	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
17/4/2006			
12/5/2006			
26/5/2006			
5/6/2006	614.08	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/6/2006			
10/7/2006			
19/7/2006	596.98	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
7/8/2006			
23/8/2006			
8/9/2006	975.62	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/9/2006	1396.88	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
5/10/2006	1104.57	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
16/11/2006	399.99	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

Πίνακας Π.28: Υπολογισμός υποδεικτών των επιμέρους παραμέτρων βάσει της μεθοδολογίας του Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃										
Υπολογισμός τιμής Qi κάθε ποιοτικής μεταβλητής										
Ημερομηνία	EC	DO	pH	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TKN	TP	BOD ₅	COD
Συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου w _i =1/[S _i ×Σ(1/S _i)]										
	0.000016	0.008235	0.005147	0.082354	0.000824	0.013726	0.041177	0.823540	0.013726	0.001373
5/8/2005	33.96	161.72	342.00	13.60	0.00	2.38	476.00	318.18	733.33	317.33
29/8/2005	25.00	119.08	32.00	35.80	2.99	0.33	700.00	394.55	716.67	320.00
12/9/2005	28.44	146.27	50.00	17.60	0.62	0.34	476.00	515.30	460.00	464.00
27/9/2005	32.16	124.90	84.00	26.00	0.71	0.48	420.00	881.82	1926.67	944.00
14/10/2005	29.20	59.60	100.00	25.60	0.89	1.77		615.39	526.67	883.33
25/10/2005	29.04	2.17	160.00	137.00	1.19	2.22	336.00	472.73	1300.00	464.00
9/11/2005	26.64	21.51	220.00	39.20	0.56	1.28	420.00	472.73	20.00	272.00
22/11/2005	12.20	62.67	42.00	37.20	1.20	0.68	420.00	494.55	240.00	429.33
8/12/2005	13.84	83.52	50.00	89.60	5.23	0.87		667.27	233.33	176.00
20/12/2005	16.72	51.28	62.00	118.00	4.38	0.68	390.00	820.70	660.00	132.00
11/1/2006	14.32	41.24	58.00	82.40		0.43		254.55	170.00	36.67
1/2/2006	22.12	54.57	54.00	278.60	5.34	17.84	420.00	778.32	286.67	96.00
14/2/2006	12.72	156.00		358.00	5.03	9.89		380.00		
2/3/2006	10.56	65.25	122.00	329.40	0.80	0.07	320.00	304.75	290.00	144.00
22/3/2006	18.92	78.08	52.00	68.00	0.79	1.13		3212.73	0.00	77.33
6/4/2006	22.00	33.98	158.00	53.80	6.17	3.20	100.00	382.71	316.67	156.00
17/4/2006	20.24	39.36	140.00	31.00	4.91	2.47		402.79	716.67	160.00
12/5/2006	14.64	56.51	62.00	42.40	1.04	7.98	130.00		463.33	98.67
26/5/2006	31.20	54.91	104.00	92.60	4.98	12.76		1168.72	253.33	123.20
5/6/2006	14.52	71.79	200.00	56.40	2.75	8.52	340.00	676.36	120.00	76.67
22/6/2006	25.68	39.30	116.00	130.60	4.53	5.74		588.64		
10/7/2006	28.40	89.83	222.00	61.00	4.79	1.29		545.45	496.67	
19/7/2006	31.96	73.95	228.00	155.20	2.49	1.38	380.00	469.09	656.67	223.73
7/8/2006	30.76	115.45	176.00		2.53	0.69		361.82	413.33	66.67
23/8/2006	29.68	13.45	262.00	276.80	0.86	0.32		1218.18	0.00	121.60
8/9/2006	33.92	28.26	62.00	197.40	1.00	1.71	450.00	456.00	0.00	183.33
19/9/2006	33.04	63.16	56.00	103.20	1.45	1.61	370.00	454.00	523.33	716.67
5/10/2006	31.76	31.67	4.00	65.00	2.48	2.12	410.00	942.00	570.00	686.67
16/11/2006	28.40	29.49	2.00	36.00	4.71	2.68	390.00	906.00	193.33	583.33

Πίνακας Π.29: Υπολογισμός ολικού Σταθμισμένου Αριθμητικού Δείκτη και ποιοτική κατάταξη - περίπτωση εφαρμογής: ποταμός Βοσβόζης, σταθμός GS₃

Σταθμός παρακολούθησης GS ₃			
Ημερομηνία	Ολικός Δείκτης Ποιότητας Νερού $WQI = \sum(QI_i w_i) / \sum w_i$	Ποιοτική κατάσταση	Ποιοτική κλάση
5/8/2005	299.34	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
29/8/2005	371.80	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
12/9/2005	458.37	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
27/9/2005	782.59	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/10/2005			
25/10/2005	438.11	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
9/11/2005	415.92	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/11/2005	436.58	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
8/12/2005			
20/12/2005	718.75	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
11/1/2006			
1/2/2006	693.11	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
14/2/2006			
2/3/2006	299.58	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/3/2006			
6/4/2006	332.72	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
17/4/2006			
12/5/2006			
26/5/2006			
5/6/2006	584.93	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
22/6/2006			
10/7/2006			
19/7/2006	430.12	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
7/8/2006			
23/8/2006			
8/9/2006	415.25	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
19/9/2006	410.68	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
5/10/2006	815.15	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1
16/11/2006	776.57	Ακατάλληλη ποιότητα για χρήση πόσιμου νερού	1

