



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ RIVER
POLLUTION INDEX (RPI) ΚΑΙ OREGON WATER QUALITY INDEX (OWQI)

ΣΑΒΒΑ ΙΩΑΝΝΑ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΣΙΧΡΙΝΤΖΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	9
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
2.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	10
3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	13
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	13
3.2 ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	16
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	27
4.1 RIVER POLLUTION INDEX – ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ (RPI)	27
4.1.1 Περιγραφή του Δείκτη RPI	27
4.1.2 Υπολογισμός του Δείκτη RPI	29
4.2 OREGON WATER QUALITY INDEX – ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΟΡΕΓΚΟΝ (OWQI)	36
4.2.1 Περιγραφή του Δείκτη OWQI	36
4.2.2 Υπολογισμός του Δείκτη OWQI	42
5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ	55
5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	55
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ RPI ΜΕ NSFWQI	59
5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65
ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της ρύπανσης του νερού, λόγω της εκβιομηχάνισης, της αστικοποίησης, της ευρύτερης ρύπανσης του περιβάλλοντος κτλ., έχει προκαλέσει ανησυχία για τη μελλοντική πορεία των υδάτινων σωμάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, δημιουργήθηκε η ανάγκη για έλεγχο και μελέτη της ποιότητας του νερού και έτσι, από τη δεκαετία του '60, εδραιώθηκε η επιστήμη των δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού (Water Quality Indices – WQIs). Την περίοδο Ιούνιος 2004 – Μάιος 2005, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στον τεχνητό ταμιευτήρα του Πολυφύτου, στον ποταμό Αλιάκμονα, με σκοπό την εύρεση εκείνου του δείκτη από τη διεθνή βιβλιογραφία της επιστήμης των WQIs, που περιγράφει καλύτερα το εξεταζόμενο υδάτινο σώμα. Η πρώτη προσέγγιση πραγματοποιήθηκε το 2016, αξιολογώντας την ποιότητα του νερού με τους δείκτες CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) και NSF (National Sanitation Foundation). Έχοντας ως αναφορά την ευρωπαϊκή οδηγία πλαίσιο για το νερό (Water Framework Directive – WFD), αποδείχθηκε ο NSFWQI, ως ο καλύτερος δείκτης για το εξεταζόμενο σώμα νερού, συγκρίνοντάς τον με τον CCMEWQI. Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, υλοποιήθηκε μία δεύτερη προσέγγιση επί του θέματος, εφαρμόζοντας άλλους δύο δείκτες για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού του ταμιευτήρα. Ύστερα από διερεύνηση διαφόρων WQIs, επιλέχθηκαν να υπολογιστούν οι River Pollution Index (RPI) και Oregon Water Quality Index (OWQI). Με τη βοήθεια του WFD, οι δύο δείκτες συγκρίθηκαν και ως επικρατέστερος δείκτης βρέθηκε ο RPI. Στη συνέχεια, ο RPI συγκρίθηκε με το δείκτη NSF, με βάση αναφοράς το WFD, αναδεικνύοντας το δεύτερο ως πιο έμπιστο για τα αποτελέσματά του, στην αξιολόγηση της ποιότητας του νερού του Πολυφύτου.

ABSTRACT

Water constitutes the main component of our planet. It is a life source for all organisms; from the unicellular organisms to human beings. However, years ago, the problem of water pollution arose because of the industrialization, the urbanization, the wider pollution of the environment etc., something which caused concerns about the future of water bodies. In this context, the need for monitoring and study of the water quality was created and so, since the 1960's, the Water Quality Indices (WQIs) science was established. During the period of June 2004 – May 2005, sampling was conducted in the artificial Polyphytos Reservoir – Aliakmon River, in order to find this specific index in the international bibliography of the WQIs science, which describes the test water body the best. The first approach was made in 2016, evaluating the water quality, using the CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) and NSF (National Sanitation Foundation) indices. In relation to the EU Water Framework Directive (WFD) the NSFWQI was proved to be the best index concerning the test water body, in contrast to the CCMEWQI. In this case study, a second approach on this issue was carried out, applying two more indices for the monitoring of the water quality of the reservoir. After WQIs analysis, the River Pollution Index (RPI) and Oregon Water Quality Index (OWQI) were chosen to be calculated. With the assistance of WFD, the two indices were compared and RPI was the predominant index. Then, RPI was compared to the NSF index, appointing the second one as the most reliable for its result, in the evaluation of the water quality of Polyphytos.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί το κύριο συστατικό ενός οικοσυστήματος. Είναι ένας φυσικός πόρος ζωτικής σημασίας, καθώς λαμβάνει μέρος, με πρωταγωνιστικό χαρακτήρα, στις διάφορες διαδικασίες της φύσης. Οποιοδήποτε ζωτικό ή φυτικό ον στη Γη χρειάζεται το νερό, είτε ως περιβάλλον κατοίκησης, είτε ως συστατικό που χρειάζεται να καταναλώσει για να επιβιώσει. Χωρίς τον υδρολογικό κύκλο, ο οποίος στηρίζεται στο νερό και την ηλιακή ενέργεια, η Γη δε θα αποτελούσε ένα κατοικήσιμο πλανήτη.

Από τα παραπάνω προκύπτει η σημαντικότητα του νερού, επομένως και η εξασφάλισή του, τόσο σε ποσότητα όσο και ποιότητα. Η ποσότητα του νερού, κυρίως του γλυκού που είναι άμεσα αξιοποιήσιμο και πόσιμο, συνεχώς μειώνεται, προκαλώντας ανησυχία για την ανθρώπινη ζωή στις ανά τον κόσμο κυβερνήσεις και πολιτικές διαχείρισης. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, έχουν παρατηρηθεί σημαντικές επιπτώσεις και στην ποιότητα του νερού, καθιστώντας το πρόβλημα της ποιότητας του νερού ισάξιο με αυτό της ποσότητάς του. Παράγοντες αυτών των εξελίξεων είναι η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η εκβιομηχάνιση, η αστικοποίηση κτλ. (Tyagi 2013).

Το πρόβλημα της ποιότητας του νερού οδήγησε στην ανάγκη για τον έλεγχο της. Το νερό περιγράφεται από φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους, οι οποίες στην περίπτωση ρύπανσης του, ξεφεύγουν από τις φυσιολογικές τους τιμές. Σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύχθηκε η έννοια των Δεικτών Ελέγχου Ποιότητας Νερού (Water Quality Indices, WQI). Στόχος των WQIs είναι η περιγραφή της κατάστασης της ποιότητας του νερού με ένα μοναδικό, αδιάστατο αριθμό, εμπεριέχοντας με μαθηματικές ή λογικές πράξεις τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το εξεταζόμενο δείγμα νερού. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ο όγκος των πληροφοριών σε μία ενιαία τιμή, απλοποιώντας την έννοια της ποιότητας του νερού, ώστε να είναι κατανοητή μέχρι και στον απλό πολίτη. Οι Δείκτες Ελέγχου Ποιότητας Νερού αποτελούν το μοναδικό και αποτελεσματικό τρόπο για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, εξαλείφοντας υποκειμενικές εκτιμήσεις και προκαταλήψεις

των διαφόρων ειδικών και επιστημόνων της μελέτης ποιότητας του νερού. Ένα σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι δεν έχει βρεθεί ακόμα ένας ενιαίος δείκτης που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως, με αποτέλεσμα η έρευνα για τον εντοπισμό και τον υπολογισμό του να συνεχίζεται (Pesce 2000, Tyagi 2013, Štambuk-Giljanović 1999, Fernández 2004, Said 2004, Sarkar 2006).

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός δύο Δεικτών Ελέγχου Ποιότητας Νερού (RPI και OWQI) για τα δείγματα νερού από τον τεχνητό ταμιευτήρα του Πολυφύτου, στον Αλιάκμονα και η σύγκριση αυτών των δεικτών με άλλους δύο (CCME και NSF), που έχουν ήδη υπολογιστεί για τα ίδια δείγματα. Το γενικότερο πλαίσιο για τα δείγματα νερού του ταμιευτήρα είναι να βρεθεί αυτός ο δείκτης που θα περιγράφει καλύτερα την ποιότητά του.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εμπεριέχεται σε 5 κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η γενική εικόνα για το ζήτημα των WQIs και ο στόχος αυτής της μελέτης. Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφεται η περιοχή μελέτης (τεχνητός ταμιευτήρας Πολυφύτου, Αλιάκμονας), καθώς και τα δεδομένα στοιχεία και χαρακτηριστικά και οι παράμετροι νερού που περιγράφουν το εξεταζόμενο υδάτινο σώμα. Στο Κεφάλαιο 3, παρατίθεται λεπτομερώς η θεωρητική προσέγγιση της επιστήμης των δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού και περιγράφονται εν συντομία οι πρώτοι δείκτες που εξετάστηκαν για την καταλληλότητά τους για τον Πολύφυτο, όσον αφορά τις παραμέτρους που χρησιμοποιούν. Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται οι δύο δείκτες (RPI και OWQI), που τελικά πλησίαζαν περισσότερο τις δεδομένες παραμέτρους. Ακόμα, περιγράφεται η διαδικασία εφαρμογής τους και προβάλλονται τα αποτελέσματά τους για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού του Πολυφύτου αριθμητικά, περιγραφικά και διαγραμματικά. Ολοκληρώνοντας, στο Κεφάλαιο 5, συγκρίνονται οι εξεταζόμενοι δείκτες, ο επικρατέστερος συγκρίνεται με άλλο δείκτη, που έχει αποδειχθεί κατάλληλος για τα δείγματα νερού του Πολυφύτου και τέλος, αναλύονται τα συμπερασματικά σχόλια της διπλωματικής εργασίας.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι δειγματοληψίες του νερού, για την επεξεργασία και τον υπολογισμό των WQIs, πραγματοποιήθηκε στον τεχνητό ταμιευτήρα Πολυφύτου. Ο ταμιευτήρας χωροθετείται στον ποταμό Αλιάκμονα, στο νομό Κοζάνης, στη δυτική Μακεδονία (Εικόνα 2.1.1). Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα έχει έκταση 5630 km² και οι διαστάσεις του υπολογίζονται περίπου σε μήκος περίπου 25 km και πλάτος 1,5 km (Alexakis et al. 2016).

Ο Πολύφυτος κατασκευάστηκε το 1975, με σκοπό να καλυφθούν οι ανάγκες νερού για υδροηλεκτρική ενέργεια και άρδευση. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι χρήσεις του ταμιευτήρα ως προς την αλιεία, την οικότουριστική εκμετάλλευση (αναψυχή, κωπηλασία κ.α.) και την προμήθεια του πόσιμου νερού της περιοχής (Alexakis et al. 2016).

Η παρακολούθηση και οι δειγματοληψίες στην περιοχή μελέτης ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2004 και ολοκληρώθηκαν το Μάιο του 2005. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ευρωπαϊκό, με κρύους χειμώνες και ήπια καλοκαίρια. Κατά την περίοδο των δειγματοληψιών, η χαμηλότερη θερμοκρασία που καταγράφηκε ανερχόταν στους -2⁰C, το Νοέμβριο του 2004, ενώ η υψηλότερη στους 36⁰C, τον Ιούλιο του 2004. Όσον αφορά τα επίπεδα βροχόπτωσης, το ετήσιο βάθος υπολογίστηκε 508 mm και η ξηρή περίοδος διαρκεί από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο (Alexakis et al. 2016).

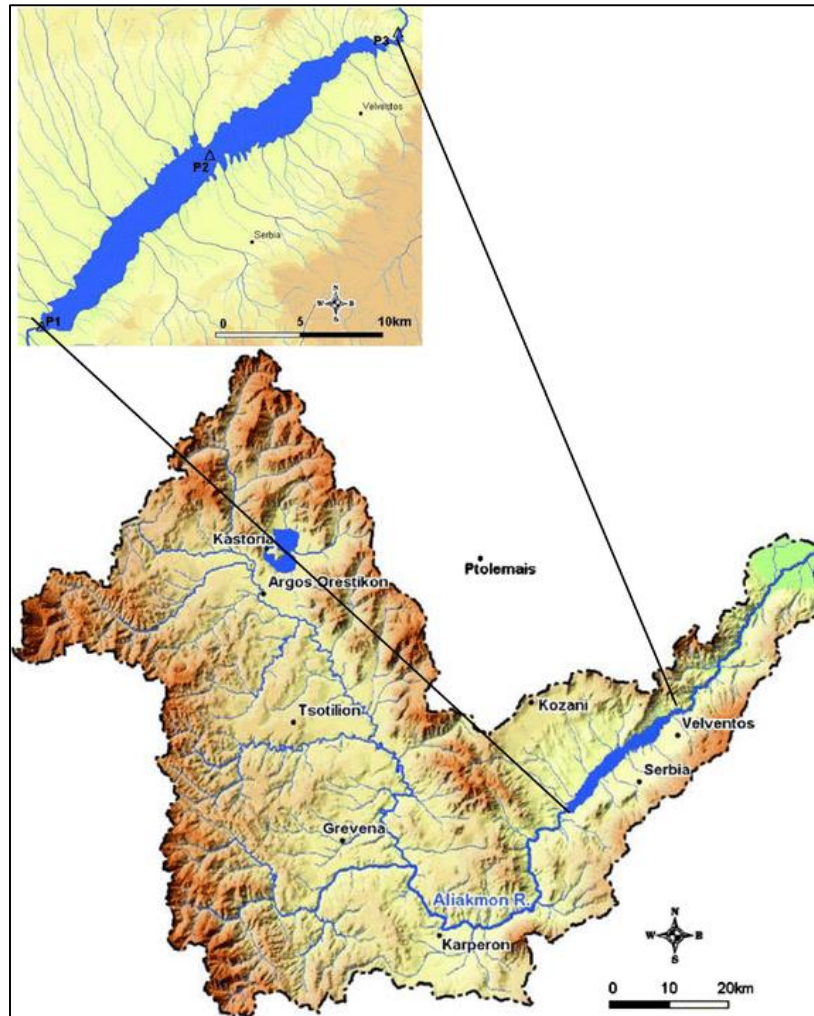
Οι εισροές νερού του τεχνητού ταμιευτήρα Πολυφύτου προέρχονται από τη βροχή, από τις επιφανειακές απορροές της λεκάνης απορροής, καθώς και από την ανατροφοδότηση των υπόγειων νερών. Από την άλλη πλευρά, οι εκροές στον ταμιευτήρα γίνονται μέσω των διαφόρων εξόδων του, για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροσωλήνων, για τη λειτουργία πύργων ψύξης του θερμοηλεκτρικού σταθμού που λειτουργεί στην περιοχή, για άντληση νερού

(άρδευση και ανάγκες πόσιμου νερού), καθώς και διαρροές και εξάτμιση. Δεδομένης της εισροής και της εκροής του ταμιευτήρα, κατά την περίοδο της μελέτης, το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος του επιπέδου του νερού σημειώθηκαν στα +289,20 m τον Ιούνιο του 2004 και στα 280,46 m τον Οκτώβριο του 2004, αντίστοιχα (Alexakis et al. 2016).

Γενικά, η ρύπανση των υδάτων στην περιοχή οφείλεται στη λειτουργία του θερμοηλεκτρικού σταθμού, στις διαδικασίες εξόρυξης άνθρακα, στις μικροβιομηχανίες επεξεργασίας γάλακτος και κρέατος, στη βοσκή και στα υγρά απόβλητα. Ακόμα, ενδεχόμενη πηγή ρύπανσης είναι η εκτεταμένη εξόρυξη χρωμίτη και αμιάντου, η οποία διαδραματίστηκε στο παρελθόν μέχρι το έτος του 1991 (Alexakis et al. 2016).

2.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Όπως προαναφέρθηκε, δείγματα νερού πάρθηκαν από τον τεχνητό ταμιευτήρα Πολυφύτου, στο χρονικό διάστημα Ιούνιος του 2004 με Μάιο του 2005. Πιο συγκεκριμένα, οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε 3 σταθμούς παρακολούθησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1.1: γέφυρα Ρυμνίου (P1) με βάθος νερού 6,4 m, γέφυρα Σερβίων (P2) με βάθος νερού 16,4 m – 25,1 m και φράγμα Πολυφύτου (P3) με βάθος νερού 0,9 – 8,3 m. Σε κάθε σταθμό, έγιναν δύο δειγματοληψίες με δειγματολήπτη 5 L, μία στην επιφάνεια και μία κοντά στον πυθμένα του ταμιευτήρα (Alexakis, 2016).



Εικόνα 2.1.1: Γεωμορφολογία εδάφους περιοχής του τεχνητού ταμειυτήρα Πολυφύτου και σταθμοί παρακολούθησης (P1, P2, P3)

Πηγή: 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.

Στα δείγματα του νερού μετρήθηκαν οι παράμετροι, που χρειάζονται για τον υπολογισμό των WQIs οι οποίες είναι: η θερμοκρασία ($T^{\circ}C$), η αγωγιμότητα ($\mu S/cm$), το διαλυμένο οξυγόνο ($DO\ mg/L$), το pH, τα ολικά αιωρούμενα στερεά ($TSS\ mg/L$), το βάθος δίσκου Secchi, η αμμωνία ($NH_3\ \mu g/L$), τα νιτρικά ($NO_3\ \mu g/L$), τα νιτρώδη ($NO_2\ \mu g/L$), το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl ($TKN\ mg/L$), το φωσφορικό άλας ($PO_4\ \mu g/L$), ο ολικός φώσφορος ($TP\ \mu g/L$), η χλωροφύλλη ($Chl-a\ \mu g/L$), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο ($BOD\ mg/L$) και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο ($COD\ mg/L$).

3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της εισαγωγής, όταν παρουσιάστηκε το πρόβλημα της ρύπανσης του νερού, καθώς και της μείωσης του υδάτινου ορίζοντα, εμφανίστηκε η ανάγκη για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύχθηκε η έννοια και ο υπολογισμός των Δεικτών Ελέγχου Ποιότητας Νερού (Water Quality Indices, WQI). Ένας τέτοιος δείκτης αποτελεί έναν μονοδιάστατο αριθμό, ο οποίος έχει υπολογιστεί μέσω μίας μαθηματικής έκφρασης, αριθμητικής ή λογικής, βασιζόμενος σε επιστημονικά κριτήρια, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους (φυσικές, χημικές και βιολογικές), που περιγράφουν, το κατά περίπτωση μελέτης, δείγμα νερού. Ο WQI έχει την δυνατότητα να συμπύξει τον τεράστιο όγκο πληροφοριών, που μπορεί να προσλάβει ο μελετητής από τη δειγματοληψία ενός υδάτινου σώματος και να αποδώσει, με έναν ενιαίο αριθμό, χωρίς μονάδες, την κατάσταση της ποιότητας του νερού. Αυτός ο αριθμός μετά, είναι κατανοητός σε ένα ευρύ κοινό, στους επιστήμονες, τους μηχανικούς, τους διακρατικούς διαχειριστές αποφάσεων, τους απλούς κατοίκους κτλ. Αποτελεί γενικότερα ένα μέσο επικοινωνίας για τη μετάδοση πληροφοριών όσον αφορά τις διάφορες διαδικασίες διαχείρισης των υδάτινων σωμάτων, για την υγεία των οικοσυστημάτων και την υγιεινή, τη βιομηχανική και γεωργική χρήση, την οικιακή χρήση και την εξασφάλιση πόσιμου νερού (Roopam 2013, Štambuk-Giljanović 1999, Pesce 2000).

Η σημαντικότητα του ρόλου του ελέγχου της ποιότητας του νερού και κατ' επέκταση των δεικτών του, έγινε πιο σαφής τις τελευταίες τρεις δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα. Βέβαια, ως σημειωθεί ότι, το 1848 στη Γερμανία, αναπτύχθηκε μία μορφή ελέγχου, που στηριζόταν στην παρουσία ή απουσία ορισμένων μικροοργανισμών στο νερό, καθορίζοντας έτσι την καταλληλότητα του (Sarkar 2006). Ο Horton (1965), πρότεινε πρώτος την ιδέα των WQIs, υποστηρίζοντας ότι τα διάφορα στοιχεία, που περιγράφουν την ποιότητα του νερού, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα μόνο

δείκτη. Ο Brown (1970) ανέπτυξε το γενικό δείκτη ελέγχου ποιότητας νερού, τον οποίο ήρθε να βελτιώσει ο Deininger το 1975 (Štambuk-Giljanović, 1999). Με τα χρόνια αναπτύχθηκαν διάφοροι δείκτες ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε υδάτινου σώματος και της κάθε περιοχής. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, εισήχθη στον Καναδά η έννοια των WQIs από το Καναδικό Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME). Ο NSFWQI (US National Sanitation Foundation Water Quality Index), ο BCWQI (British Columbia Water Quality Index), ο CCME (Canadian Water Quality Index), ο OWQI (Oregon Water Quality Index), αποτελούν δείκτες που χρησιμοποιούνται συχνά. Ο CCME προήλθε από τροποποίηση του BCWQI (Poonam, 2013). Οι Abbasi αναφέρουν και παρουσιάζουν περίπου 135 δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού, οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε διάφορες περιοχές του κόσμου, για διάφορες χρήσεις. Η έρευνα και η ανάπτυξη τέτοιων δεικτών συνεχίζεται ως σήμερα, καθώς δεν έχει βρεθεί ακόμα αυτός ο ένας δείκτης, ο οποίος θα καλύψει παγκοσμίως τις ανάγκες για τον έλεγχο των υδάτων.

Το 2017, δημοσιεύθηκε έρευνα ελέγχου ποιότητας νερού που πραγματοποιήθηκε στον ποταμό Aksu στην Τουρκία. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε την περίοδο 2011-2012 και το νερό του ποταμού αξιολογήθηκε ως πόσιμο (Şener 2017). Άλλο παράδειγμα σύγχρονης μελέτης ποιότητας νερού, αποτελεί η περίπτωση του ποταμού Ghezeli Ozan στο Ιράν. Η δημοσίευση έγινε το 2017, ενώ η μελέτη διαδραματίστηκε το διάστημα 1966-2010. Στόχος αυτής της μελέτης ήταν η αξιολόγηση των επιφανειακών υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς και η δημιουργία ενός νέου δείκτη ελέγχου ποιότητας νερού για άρδευση, ο οποίος στηριζόταν στο δείκτη NSFWQI (Misaghi 2017). Μέσα στο 2017, δημοσιεύθηκε ακόμα έρευνα που συνέκρινε δείγματα νερού για τις χρονολογίες 1985, 2007 και 2014, με τη χρήση τριών διαφορετικών δεικτών, δύο μορφές του NSFWQI και τον OWQI. Το νερό μελέτης πάρθηκε από τον υγρότοπο Anzali, που χωροθετείται νοτιοδυτικά της Κασπίας θάλασσας στο Ιράν (Fallah 2017).

Όλοι οι δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού ακολουθούν μία συγκεκριμένη δομή ανάπτυξης. Γενικά, αυτή η δομή στηρίζεται στα 4 παρακάτω βασικά βήματα (Fernández 2004, Sarkar 2006, Boyacioglu 2007, Poonam, 2013):

1. Επιλογή παραμέτρων: πραγματοποιείται από τους ειδικούς που ασχολούνται με την εκάστοτε αξιολόγηση του υδάτινου σώματος, στηριζόμενοι στην επαγγελματική τους κρίση και τις ανάγκες της κάθε περιοχής. Αφορά στην επιλογή εκείνων των χαρακτηριστικών δεδομένων του νερού, τα οποία περιγράφουν την κατάστασή του σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης. Για παράδειγμα, αν στην περιοχή μελέτης εμφανίστηκε η ανάγκη για εξέταση της ποιότητας του νερού όσον αφορά την άρδευση, θα επιλεγθούν εκείνες οι παράμετροι που περιγράφουν την κατάσταση του υδάτινου δείγματος γι' αυτήν την περίπτωση.
2. Ανάπτυξη υποδεικτών: αναφέρεται στην ενσωμάτωση των παραμέτρων, διαφόρων διαστάσεων και μονάδων, που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του δείκτη, σε μία ενιαία κλίμακα. Αποτέλεσμα του κάθε υποδείκτη, μέσω μιας μαθηματικής έκφρασης, είναι ένας αδιάστατος αριθμός.
3. Εκχώρηση βαρών: σε αυτό το βήμα επιλέγονται τα βάρη που χρειάζεται να δοθούν στην κάθε παράμετρο, ώστε να υπολογιστεί η σχετική τους σημασία στη συνολική ποιότητα του νερού. Η κάθε μεταβλητή λαμβάνει μέρος στο τελικό αποτέλεσμα του ελέγχου της κάθε περίπτωσης μελέτης, με βάση τη σημαντικότητά της και τις επιπτώσεις που μπορεί να δίνει στην ποιότητα του νερού.
4. Συσσωμάτωση των υποδεικτών σε ένα συνολικό δείκτη: αφορά το τελικό στάδιο ανάπτυξης ενός δείκτη ποιότητας νερού και τη δημιουργία της τελικής μαθηματικής έκφρασης, που θα δώσει το βαθμό της ποιότητας. Οι υποδείκτες του βήματος 2 συσσωματώνονται με μία μαθηματική έκφραση, η οποία μπορεί να είναι αριθμητικός ή γεωμετρικός μέσος όρος, καθώς και λογική εξίσωση. Το προϊόν της μαθηματικής έκφρασης είναι ένας αριθμός χωρίς μονάδες και περιγράφει την ποιότητα του νερού.

Ακολουθώντας την ιδέα των δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού, μειώνεται αισθητά ο όγκος εργασίας για την αξιολόγηση των υδάτινων σωμάτων και η πληθώρα δεδομένων περιορίζεται στα πιο ουσιώδη και σημαντικά. Όταν χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι δείκτες για την κάθε περίπτωση, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εκφράσεις, απαλείφεται η οποιαδήποτε προσωπική άποψη και προσωπικό συμφέρον και εξασφαλίζεται η αντικειμενικότητα και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Roopam 2013).

3.2 ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός δύο δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού για τα δείγματα νερού, τα οποία πάρθηκαν από τον τεχνητό ταμιευτήρα του Πολυφύτου στον Αλιάκμονα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, πραγματοποιήθηκε έρευνα δεικτών, ώστε να βρεθούν αυτοί οι δείκτες που χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους από τα δεδομένα. Όπως προαναφέρθηκε, οι παράμετροι που υπολογίστηκαν από τις δειγματοληψίες είναι η θερμοκρασία ($T^{\circ}\text{C}$), η αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), το διαλυμένο οξυγόνο (DO mg/L), το pH, τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS mg/L), το βάθος δίσκου Secchi, η αμμωνία ($\text{NH}_3 \text{ mg/L}$), τα νιτρικά ($\text{NO}_3 \text{ mg/L}$), τα νιτρώδη ($\text{NO}_2 \text{ mg/L}$), το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN mg/l), το φωσφορικό άλας ($\text{PO}_4 \text{ mg/L}$), ο ολικός φώσφορος (TP mg/L), η χλωροφύλλη (Chlor-a mg/L), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD mg/L) και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD mg/L). Αποτέλεσμα αυτής της διερεύνησης δεικτών αποτελεί ο Πίνακας 3.2.1.

	T°C	Cond (E.C.)	D O	pH	TSS	Secci disk depth	NH ₃	NO ₃	NO ₂	TKN	PO ₄ ³⁻	TP	Chlor-a	BOD	COD
NSF	√		√	√	√	√		√			√	√		√	
O	√		√	√	√					√		√		√	
PW		√	√			√									
CPCB			√	√										√	
RPI McD.	√		√	√	√		√			√				√	√
RPI EPA			√		√		√							√	
U			√	√				√				√		√	
S		√	√			√						√			
ISQA	√	√	√												
CCME			√	√				√	√			√		√	
MF			√									√		√	

Πίνακας 3.2.1: Παράμετροι-δεδομένα που χρησιμοποιούν δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού

Στον Πίνακα 3.2.1 παρουσιάζονται ανά σειρά οι δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού, οι οποίοι μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας, ενώ ανά στήλη οι παράμετροι οι οποίες υπολογίστηκαν και καταμετρήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες του νερού του Πολυφύτου. Με μια ματιά του πίνακα λοιπόν, μπορεί να διακριθεί ποιος δείκτης χρησιμοποιεί τις περισσότερες μεταβλητές. Πιο αναλυτικά οι δείκτες που εντοπίστηκαν στα πλαίσια της έρευνας είναι οι εξής:

- NSFWQI (National Sanitation Foundation – Εθνικό Ίδρυμα Υγιεινής WQI):** Ο δείκτης NSF προτάθηκε από τους Brown et al. (1970). Αυτός ο δείκτης αναπτύχθηκε στα πλαίσια της προσπάθειας του Εθνικού Ιδρύματος Υγιεινής των Ηνωμένων Πολιτειών να αξιολογήσουν την ποιότητα υδάτινων σωμάτων, τα οποία είναι ιδιαίτερα επιβαρυσμένα. Αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη ελέγχου ποιότητας νερού, καθώς είναι μία ολοκληρωμένη εργασία. Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί είναι η θερμοκρασία, το pH, η θολερότητα, τα κολοβακτηρίδια, το διαλυμένο οξυγόνο, η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, τα συνολικά φωσφορικά, τα νιτρικά και τα ολικά στερεά. Ο τύπος που υπολογίζει την ποιότητα του νερού είναι:

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

όπου Q_i ο υποδείκτης κάθε παραμέτρου, W_i το βάρος που σχετίζεται με την κάθε παράμετρο και n ο αριθμός των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση.

Τα διαστήματα που καθορίζουν την εκτίμηση της ποιότητας του νερού έχουν ως εξής (Tyagi 2013, Poornam 2013):

Τιμή WQI	Εκτίμηση Ποιότητας
91-100	Εξαιρετική Ποιότητα
71-90	Καλή Ποιότητα
51-70	Μέτρια Ποιότητα
26-50	Κακή Ποιότητα
0-25	Πολύ Κακή Ποιότητα

- **Ο WQI (Oregon WQI):** Ο δείκτης Όρεγκον αναπτύχθηκε στα τέλη του 1970, μετά τον NSFQI, από το Τμήμα της Ποιότητας Περιβάλλοντος του Όρεγκον (Oregon Department of Environmental Quality - ODEQ). Συνήθως, χρησιμοποιείται στο δημόσιο τομέα και μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιοχές εκτός των συνόρων του Όρεγκον, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις παραμέτρους και στον υπολογισμό των υποδεικτών τους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το pH, το άζωτο της αμμωνίας και των νιτρικών, ο ολικός φώσφορος, τα ολικά στερεά και τα κολοβακτηρίδια. Ο υπολογισμός του δείκτη είναι ανεξάρτητος από βάρη παραμέτρων και πραγματοποιείται με τη μαθηματική έκφραση:

$$O\ WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}}$$

όπου n ο αριθμός των υποδεικτών και SI ο υποδείκτης κάθε παραμέτρου.

Τα διαστήματα εκτίμησης της ποιότητας του νερού διαμορφώνονται όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Tyagi 2013, Poornam 2013):

Τιμή WQI	Εκτίμηση Ποιότητας
90-100	Εξαιρετική Ποιότητα
85-89	Καλή Ποιότητα
80-84	Μέτρια Ποιότητα
60-79	Φτωχή Ποιότητα
0-59	Πολύ Φτωχή Ποιότητα

Αναλυτικότερα, ο δείκτης Όρεγκον παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

- PW WQI:** Ο δείκτης ελέγχου ποιότητας νερού PW, χρησιμοποιήθηκε από τους Silvia et al., για την αξιολόγηση του νερού του ποταμού Suquia στην Κόρδοβα και στις γύρω περιοχές, λόγω της ρύπανσης από αστικές δραστηριότητες. Η εκτίμηση της ποιότητας γίνεται με τη χρήση τριών διαφορετικών WQI. Οι δύο WQIs (υποκειμενικός WQI_{sub} και αντικειμενικός WQI_{obj}) χρησιμοποιούν 20 παραμέτρους (αμμωνία, βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, ασβέστιο, χλωριούχο, χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, διαλυμένο οξυγόνο, σκληρότητα, μαγνήσιο, νιτρικά, νιτρώδη, λάδι και λιπαντικά, pH, φώσφορος, διαλυμένα στερεά, συνολικά στερεά, θειικά, επιφανειοδραστικές ουσίες, θερμοκρασία, ολικά κολοβακτηρίδια και θολερότητα). Ο τρίτος WQI (ελάχιστος WQI_{min}) λαμβάνει υπόψη τρεις παραμέτρους, τη θολερότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και είτε την αγωγιμότητα είτε τα διαλυμένα στερεά (Pesce 2000).
- CPCB WQI (Central Pollution Control Board - Κεντρικό Συμβούλιο Ελέγχου Ρύπανσης WQI):** Ο δείκτης CPCB, του Κεντρικού Συμβουλίου Ελέγχου Ρύπανσης της Ινδίας, αναπτύχθηκε το 1990 από τον Ved Prakash et al. και βασίστηκε στον NSFWQI. Χρησιμοποιεί τέσσερις παραμέτρους: διαλυμένο οξυγόνο (DO), βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), pH και κολοβακτηρίδια. Η μαθηματική έκφραση υπολογισμού είναι:

$$WQI = \sum_{i=1}^p w_i I_i$$

όπου I_i ο υποδείκτης κάθε παραμέτρου ποιότητας νερού, w_i το βάρος που σχετίζεται με κάθε παράμετρο ποιότητας νερού και p ο αριθμός των παραμέτρων ποιότητας νερού (Sarkar 2006).

- RPI, McDuffie and Haney (River Pollution Index – Δείκτης Ρύπανσης Ποταμού):** Ο δείκτης RPI είναι ένας απλός δείκτης, ο οποίος παρουσιάστηκε το 1973 από τους McDuffie και Haney. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί είναι η θερμοκρασία (T), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), τα φωσφορικά ιόντα (PO_4), το ολικό άζωτο (N), τα ολικά στερεά (TSS) και η αγωγιμότητα (Cond). Οι υποδείκτες που χρειάζονται για τον τελικό υπολογισμό του δείκτη, προέρχονται από γραμμικές ή μη γραμμικές συναρτήσεις. Το τελικό αποτέλεσμα που δίνει την αξιολόγηση του νερού δίνεται από τη μαθηματική έκφραση:

$$RPI = \frac{10}{n+1} (TF + \sum_{i=1}^n 10 * I_i)$$

όπου το n είναι ο αριθμός των παραμέτρων εκτός της θερμοκρασίας, TF ο συντελεστής θερμοκρασίας και I_i ο υποδείκτης κάθε παραμέτρου.

Ο λόγος $\frac{10}{n+1}$ είναι ένας παράγοντας κλιμάκωσης, ο οποίος έχει ως σκοπό να κάνει το δείκτη να ποικίλει από 100 (φυσικά επίπεδα) έως 1000 (υψηλά ρυπασμένα επίπεδα). Παρ' όλα αυτά, ο δείκτης μπορεί να πάρει τιμές και κάτω από το 100 και θεωρητικά να φτάσει το μηδέν (Lohani 1987).

- RPI, EPA (River Pollution Index – Δείκτης Ρύπανσης Ποταμού):** Ο δείκτης RPI χρησιμοποιείται από τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA - Environmental Protection Agency) της Ταϊβάν. Έχει ως σκοπό την

παρακολούθηση των τάσεων των επιφανειακών υδάτων, για τη διαχείριση και το σχεδιασμό της ποιότητάς τους, ως προς όφελος του κοινού. Τη διαδικασία του υπολογισμού του δείκτη RPI διαμόρφωσε ο Liou et al. (2003). Οι παράμετροι που χρησιμοποίησε είναι τέσσερις: το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), τα αιωρούμενα στερεά (SS) και το άζωτο αμμωνίας (NH₃-N). Αυτές οι παράμετροι με λογικές μαθηματικές εκφράσεις μετατρέπονται σε ακέραιους αριθμούς (1, 3, 6 και 10), οι οποίοι αποτελούν τους υποδείκτες. Η τελική τιμή που χαρακτηρίζει την ποιότητα των υδάτων υπολογίζεται μέσω του μέσου όρου των υποδεικτών.

$$RPI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n S_i$$

όπου n είναι ο αριθμός των παραμέτρων της ποιότητας του νερού και S_i το αποτέλεσμα του κάθε υποδείκτη.

Τελικά, ανάλογα με τον αριθμό που προκύπτει, η ποιότητα του νερού ταξινομείται σε τέσσερα επίπεδα: μη-ρυπασμένο, ελαφρά-ρυπασμένο, μετρίως-ρυπασμένο και χονδροειδώς-ρυπασμένο (Liou 2003, 2004).

Περισσότερες πληροφορίες για αυτόν το δείκτη παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

- **U WQI (Universal Water Quality Index – Γενικός Δείκτης Ποιότητας Νερού):**
Ο UWQI αναπτύχθηκε από την Boyacioglu (2007), με σκοπό να περιγραφεί η ποιότητα της επιφάνειας του νερού, που προορίζεται για ανάγκες παροχής πόσιμου νερού, με μία απλή μέθοδο. Η εφαρμογή αυτού του δείκτη πραγματοποιήθηκε σε σταθμό δειγματοληψίας στη δεξαμενή Tahtali στην Τουρκία. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί ο δείκτης είναι το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το νιτρικό άλας, το αρσενικό, το διαλυμένο οξυγόνο, το φθόριο, ο ολικός φώσφορος, ο υδράργυρος, το σελήνιο, το κυάνιο, το

κάδμιο, τα ολικά κολοβακτηρίδια και το pH. Η μαθηματική έκφραση που τον υπολογίζει είναι η εξής:

$$UWQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i$$

όπου w_i το βάρος που σχετίζεται με την κάθε παράμετρο ποιότητας νερού και I_i ο υποδείκτης της κάθε παραμέτρου. Η αξιολόγηση και η ταξινόμηση της ποιότητας του νερού πραγματοποιείται όπως φαίνεται παρακάτω (Boyacioglu 2007):

Τιμή WQI	Εκτίμηση Ποιότητας
95-100	Εξαιρετική Ποιότητα
75-94	Καλή Ποιότητα
50-74	Μέτρια Ποιότητα
25-49	Οριακή Ποιότητα
0-24	Φτωχή Ποιότητα

- **S WQI:** Ο δείκτης ελέγχου ποιότητας νερού S εφαρμόστηκε στο Big Lost River του Αϊντάχο, στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η δημοσίευση αυτής της περίπτωσης μελέτης πραγματοποιήθηκε από τους Said et al. (2004). Τα αποτελέσματά του έδωσαν μία ποσοτική εικόνα της κατάστασης της ποιότητας του νερού, έτσι ώστε να μπορεί να ερμηνευθεί και να αξιολογηθεί για γενικές επωφελείς χρήσεις. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί ο SWQI είναι το διαλυμένο οξυγόνο, το σύνολο των φωσφορικών αλάτων, τα κολοβακτηρίδια, η θολερότητα και η ειδική αγωγιμότητα, δίνοντας υψηλότερο βάρος στο διαλυμένο οξυγόνο και εν συνεχεία στα κολοβακτηρίδια και τον ολικό φώσφορο, και χαμηλότερο στην θολερότητα και την ειδική αγωγιμότητα. Έχοντας ως δεδομένα αυτά και την ανάγκη δημιουργίας μιας απλής εξίσωσης που να επιφέρει αποτελέσματα σε ένα μικρό αριθμητικό διάστημα, για να είναι εύκολα κατανοητό το τελικό συμπέρασμα, υπολογίστηκε η λογαριθμική συνάρτηση του δείκτη:

$$SWQI = \log \left[\frac{(DO)^{1,5}}{(3,8)^{TP} (Turb)^{0,15} (15)^{FCol/10000} + 0,14 (SC)^{0,5}} \right]$$

όπου DO είναι το διαλυμένο οξυγόνο (% κορεσμός οξυγόνου), Turb είναι η θολερότητα (μονάδες θολερότητας Nephelometric [NTU]), TP είναι ο ολικός φώσφορος (mg/L), FCol είναι τα κολοβακτηρίδια (αριθμήσεις/100 mL) και SC είναι η ειδική αγωγιμότητα (MS/cm στους 25⁰ C).

Τα αποτελέσματα που μπορεί να φέρει η εξίσωση του δείκτη κυμαίνονται από το 0 έως το 3, με το 3 να αποτελεί την ιδανική τιμή της ποιότητας του νερού που αξιολογείται (Said 2004).

- **ISQA (Simplified valuation of water quality - Απλοποιημένη αποτίμηση της ποιότητας του νερού):** Αναπτύχθηκε από τον Queralt το 1982 και χρησιμοποιείται συστηματικά από την Υπηρεσία Υδάτων της Καταλονίας για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Αποτελεί έναν αβιοτικό δείκτη και μετρά φυσικοχημικές ιδιότητες. Ο υπολογισμός του δείκτη ISQA βασίζεται σε πέντε παραμέτρους, τη θερμοκρασία (T), τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC), τα αιωρούμενα στερεά (SS), το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και την αγωγιμότητα (Cond). Η μαθηματική έκφραση που καθορίζει αριθμητικά την ποιότητα του νερού, σύμφωνα με αυτόν το δείκτη, είναι μια απλή γραμμική συνάρτηση των υποδεικτών των παραμέτρων.

$$ISQA = I_T * (I_{TOC} + I_{SS} + I_{DO} + I_{Cond})$$

Οι τιμές κυμαίνονται στο διάστημα 0 έως 100, προσδίδοντας αυξανόμενα ανάλογη ποιότητα στο δείγμα που παρακολουθείται (ελάχιστη έως μέγιστη ποιότητα) (Benejam 2008, Terrado 2010).

- CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment - Καναδικό Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος):** Το Καναδικό Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος ανέπτυξε το δείκτη ελέγχου ποιότητας νερού CCME, για την αξιολόγηση των επιφανειακών υδάτων, όσον αφορά την προστασία της υδρόβιας ζωής. Αυτός ο δείκτης, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί και από άλλους οργανισμούς διαχείρισης υδάτων, διαφορετικών περιοχών και χωρών, με μικρές τροποποιήσεις. Οι παράμετροι, που σχετίζονται με τον CCME, πρέπει να είναι τουλάχιστον τέσσερις και η δειγματοληψία για την κατοχή τους να έχει πραγματοποιηθεί τουλάχιστον τέσσερις φορές. Ο δείκτης συνδυάζει μαθηματικά τρεις στατιστικές παρατηρήσεις (συχνότητα, εύρος, πεδίο), όπως παρουσιάζεται παρακάτω, έτσι ώστε να δώσει έναν ενιαίο αριθμό, ο οποίος περιγράφει την τελική αξιολόγηση της ποιότητας του νερού σε μία θέση.

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

όπου F_1 ο αριθμός των μεταβλητών των οποίων οι στόχοι δεν πληρούνται, F_2 ο αριθμός των φορών κατά τις οποίες οι στόχοι δεν πληρούνται και F_3 το ποσό με το οποίο δεν επιτυγχάνονται οι στόχοι.

Ο αριθμός 1,732 του παρονομαστή στη συνάρτηση έχει τοποθετηθεί για να εξασφαλιστεί ότι το αποτέλεσμα θα βρίσκεται στο διάστημα 0 – 100. Τα διαστήματα αξιολόγησης της ποιότητας του νερού έχουν ως εξής (Tyagi, 2013; Roopam, 2013):

Τιμή WQI	Εκτίμηση Ποιότητας
95-100	Εξαιρετική Ποιότητα
80-94	Καλή Ποιότητα
60-79	Μέτρια Ποιότητα
45-59	Οριακή Ποιότητα
0-44	Φτωχή Ποιότητα

- **MF WQI (A fuzzy water quality index for Morocco - Ένας δείκτης ελέγχου ποιότητας νερού λογικής fuzzy για το Μαρόκο):** Ο δείκτης MF σχεδιάστηκε για την εκτίμηση των επιφανειακών υδάτων στο Μαρόκο, με χρήση της λογικής fuzzy. Η ανάπτυξη του στηρίχθηκε στους δείκτες IMBP και IQBP (Συμβατικός Δείκτης του Μαρόκο και Δείκτης Ποιότητας Νερού του Κεμπέκ), συνδυάζοντας τα οφέλη τους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί είναι το διαλυμένο οξυγόνο (DO), η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD), η χημική απαίτηση οξυγόνου (COD), τα κολοβακτηρίδια (FC), ο συνολικός φώσφορος (TP) και το αμμώνιο (NH₄). Ο MF είναι ικανός να επιλύσει προβλήματα που επικρατούν στο ζήτημα της ποιότητας του νερού, την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων και τη γλωσσική ασάφεια μεταξύ των χρηστών και των διαχειριστών των υδάτινων ζητημάτων (Mourhir, 2014).

Σύμφωνα με τα παραπάνω και τον Πίνακα 3.2.1, οι δύο δείκτες, που χρησιμοποιούν περισσότερες παραμέτρους από τις παραμέτρους που υπάρχουν ως δεδομένες σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, είναι ο RPI (McDuffie and Haney) και ο Oregon. Όμως, ο RPI (McDuffie and Haney) ύστερα από υπολογισμούς δεν έδινε σωστά αποτελέσματα και λόγω ελλιπούς βιβλιογραφίας δεν ήταν εφικτό να προσδιοριστεί το λάθος. Έτσι, επιλέχθηκε να υπολογιστεί ο RPI (EPA). Τελικά, οι δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού που υπολογίστηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, για τα δείγματα νερού του Πολυφύτου στον Αλιάκμονα, είναι ο RPI (EPA) και ο Oregon.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται το υπολογιστικό κομμάτι αυτής της διπλωματικής εργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, επιλέχθηκαν να υπολογιστούν δύο δείκτες ελέγχου ποιότητας νερού, ο River Pollution Index (Δείκτης Ρύπανσης Ποταμού, RPI) και ο Oregon Water Quality Index (Δείκτης Ελέγχου Ποιότητας Νερού του Όρεγκον, OWQI). Τα δεδομένα στοιχεία του νερού προήλθαν από τις δειγματοληψίες στον ποταμό Αλιάκμονα (Ιούνιο 2004 - Μάιο 2005) και πιο συγκεκριμένα, στον τεχνητό ταμιευτήρα του Πολυφύτου. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε δείκτη, που αφορούσαν τον υπολογισμό των υποδεικτών, τα δεδομένα επιδέχονταν διάφορες τροποποιήσεις, οι οποίες θα αναφερθούν λεπτομερώς παρακάτω.

4.1 RIVER POLLUTION INDEX – ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ (RPI)

4.1.1 Περιγραφή του Δείκτη RPI

Ο River Pollution Index (Δείκτης Ρύπανσης Ποταμού), χρησιμοποιείται από τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA - Environmental Protection Agency) της Ταϊβάν και η εφαρμογή του δημοσιεύθηκε από τους Liou et al. (2003). Η κυβέρνηση της Ταϊβάν χρησιμοποιεί αυτόν το δείκτη για να χαρακτηρίσει το επίπεδο της ρύπανσης του νερού των ποταμών, έτσι ώστε να διαμορφωθούν οι πολιτικές προγραμματισμού και διαχείρισης των υδάτων, για τους πολίτες και το κοινό. Ο δείκτης RPI είναι κατάλληλος κυρίως στον εντοπισμό της οργανικής ρύπανσης, που προκαλείται από τις διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, σε αντίθεση με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (Terrado 2010).

Για τον υπολογισμό του RPI χρειάζονται τέσσερις παράμετροι, το διαλυμένο οξυγόνο (DO σε mg/L), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅ σε mg/L), τα αιωρούμενα στερεά (SS σε mg/L) και το άζωτο αμμωνίας (NH₃-N σε mg/L). Ανάλογα

με το βαθμό τους, η κάθε μεταβλητή μετατρέπεται σε έναν ακέραιο αριθμό, τον υποδείκτη, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.1.1. Στη συνέχεια, η τελική τιμή του δείκτη προκύπτει από το μέσο όρο των τεσσάρων υποδεικτών και η ποιότητα του νερού κατανέμεται αναλόγως (καλό, ελαφρώς ρυπασμένο, μετρίως ρυπασμένο, βαριά ρυπασμένο), όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1.1.1 και την τελευταία του σειρά. Η μαθηματική έκφραση που περιγράφει τον RPI είναι (Liou 2004, Terrado 2010) <http://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx?Languages=en>):

$$RPI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n S_i$$

όπου n είναι ο αριθμός των παραμέτρων της ποιότητας του νερού και S_i το αποτέλεσμα του κάθε υποδείκτη.

Είδη/Κατάταξη	Καλό	Ελαφρώς Ρυπασμένο	Μετρίως Ρυπασμένο	Βαριά Ρυπασμένο
DO (mg/L)	Πάνω από 6,5	4,6 – 6,5	2,0 – 4,5	Κάτω από 2,0
BOD ₅ (mg/L)	Κάτω από 3,0	3,0 – 4,9	5,0 – 15	Πάνω από 15
SS (mg/L)	Κάτω από 20	20 – 49	50 – 100	Πάνω από 100
NH ₃ -N (mg/L)	Κάτω από 0,5	0,5 – 0,99	1,0 – 3,0	Πάνω από 3,0
Υποδείκτης (S_i)	1	3	6	10
RPI	Κάτω από 2	2,0 – 3,0	3,1 – 6,0	Πάνω από 6,0

Πίνακας 4.1.1.1: Προσδιορισμός υποδεικτών και κατάταξη ρύπανσης νερού σύμφωνα με τον RPI

Αξίζει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα του δείκτη RPI στηρίζεται σε χημικές παραμέτρους του εξεταζόμενου δείγματος νερού, οι οποίες δε συνοδεύονται από βάρη και έχουν ίση αξία. Ακόμα, οι πληροφορίες για την ποιότητα του νερού που προκύπτουν από την εφαρμογή του δείκτη, αναφέρονται στη στιγμή της δειγματοληψίας (Hoseinzadeh 2015).

4.1.2 Υπολογισμός του Δείκτη RPI

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, υπολογίστηκε ο δείκτης RPI για τα δείγματα νερού του Πολυφύτου, στον Αλιάκμονα. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με αυτά που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.1.1 και με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel. Όπως έχει προαναφερθεί, οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα σε τρεις σταθμούς (Ρυμνίο, Σέρβια και Φράγμα Πολυφύτου) και στον κάθε σταθμό σε δύο σημεία καθέτως (επιφάνεια και πυθμένας), άρα σε έξι διαφορετικά σημεία. Επίσης, τα δεδομένα του νερού μετρήθηκαν για δώδεκα μήνες (Ιούνιος 2004 – Μάιος 2005), με αποτέλεσμα να χαρακτηριστεί η ποιότητα του νερού του ταμιευτήρα του Πολυφύτου, με βάση τον RPI, με 72 τιμές, σε 6 διαφορετικά σημεία για 12 διαφορετικούς χρόνους (μήνες). Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να σημειωθεί ότι στις παραμέτρους που δεν είχε πραγματοποιηθεί μέτρηση, για υπολογιστικούς λόγους δόθηκε σε αυτές ο μέσος όρος της αντίστοιχης παραμέτρου για τον αντίστοιχο χρόνο.

Ο RPI χρησιμοποιεί τέσσερις παραμέτρους: το DO σε mg/L, το BOD₅ σε mg/L, το SS σε mg/L και NH₃-N σε mg/L. Το DO και το BOD₅ χρησιμοποιήθηκαν αυτούσια από τα δεδομένα, χωρίς καμία μετατροπή. Ως SS (suspended solids - αιωρούμενα στερεά) πάρθηκαν τα TSS (total suspended solids - συνολικά αιωρούμενα στερεά) των δεδομένων, χωρίς και αυτά να δεχθούν κάποια μετατροπή, αφού και στις δύο περιπτώσεις είναι σε mg/L. Στην περίπτωση της παραμέτρου του αζώτου της αμμωνίας (NH₃-N), χρειάστηκε να απομονωθεί το άζωτο (N) από την ένωση της αμμωνίας (NH₃), που υπάρχει στα δεδομένα. Αυτό υλοποιήθηκε με την απλή μέθοδο των τριών, χρησιμοποιώντας το ατομικό βάρος των στοιχείων του αζώτου (14) και του υδρογόνου (1). Δηλαδή, στα [14+(3*1)] έχω 14 N, στα NH₃ πόσο NH₃-N έχω, το οποίο εκφράζεται μαθηματικά ως $NH_3-N = \frac{14 * NH_3}{17}$. Το αποτέλεσμα δίνεται σε mg/L (αφού το NH₃ στα δεδομένα είναι σε mg/L), το οποίο πολλαπλασιάζοντάς το με το 0,001, μετατρέπεται σε mg/L (οι υπολογισμένες τιμές του NH₃-N βρίσκονται στο Παράρτημα).

Έχοντας τις παραμέτρους διαμορφωμένες με τον τρόπο που τις χρειάζεται ο RPI, και γνωρίζοντας τις λογικές εκφράσεις του Πίνακα 4.1.1.1, οι παράμετροι μετατρέπονται στους υποδείκτες με τη μορφή των ακέραιων αριθμών 1, 3, 6 και 10. Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν του υποδείκτες της κάθε παραμέτρου.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες
Ιουν - 04	1	3	1	10	3	1
Ιουλ - 04	3	3	3	3	10	3
Αυγ - 04	3	1	1	6	10	3
Σεπ - 04	3	3	3	6	10	6
Οκτ - 04	3	6	6	6	6	3
Νοε - 04	3	6	6	6	6	3
Δεκ - 04	6	6	6	6	6	3
Ιαν - 05	3	6	6	6	6	3
Φεβ - 05	6	6	6	6	6	3
Μαρ - 05	3	3	1	3	6	3
Απρ - 05	6	1	6	6	1	3
Μαιος - 05	1	3	1	1	3	1

Πίνακας 4.1.2.1: Υποδείκτες DO

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες
Ιουν - 04	6	3	3	6	3	3
Ιουλ - 04	10	10	10	10	10	10
Αυγ - 04	6	6	6	6	3	3
Σεπ - 04	1	1	1	6	1	1
Οκτ - 04	1	1	1	6	1	3
Νοε - 04	1	3	1	6	1	3
Δεκ - 04	1	1	6	6	1	3
Ιαν - 05	1	1	1	6	1	3
Φεβ - 05	1	1	1	6	1	3
Μαρ - 05	1	1	1	1	1	1
Απρ - 05	1	1	1	1	1	1
Μαιος - 05	1	1	6	1	1	1

Πίνακας 4.1.2.2: Υποδείκτες BOD₅

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες
Ιουν - 04	10	10	1	10	10	1
Ιουλ - 04	1	1	1	1	10	1
Αυγ - 04	3	1	1	6	1	1
Σεπ - 04	6	1	1	10	1	1
Οκτ - 04	10	1	1	10	1	1
Νοε - 04	10	1	1	10	10	1
Δεκ - 04	1	1	1	10	1	1
Ιαν - 05	1	1	1	10	1	1
Φεβ - 05	10	1	1	10	1	1
Μαρ - 05	10	1	1	10	1	1
Απρ - 05	10	10	1	10	10	1
Μαιος - 05	10	10	1	10	10	1

Πίνακας 4.1.2.3: Υποδείκτες TSS

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες	Υποδείκτες
Ιουν - 04	1	1	1	1	1	1
Ιουλ - 04	1	1	1	1	1	1
Αυγ - 04	1	1	1	1	1	1
Σεπ - 04	1	1	1	1	1	1
Οκτ - 04	1	1	1	1	1	1
Νοε - 04	1	1	1	1	1	1
Δεκ - 04	1	1	1	1	1	1
Ιαν - 05	1	1	1	1	1	1
Φεβ - 05	1	1	1	1	1	1
Μαρ - 05	1	1	1	1	1	1
Απρ - 05	1	1	1	1	1	1
Μαιος - 05	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 4.1.2.4: Υποδείκτες NH₃ - N

Ο RPI υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των τεσσάρων παραπάνω πινάκων και έχει ως εξής:

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	RPI	RPI	RPI	RPI	RPI	RPI
Ιουν - 04	4,5	4,25	1,5	6,75	4,25	1,5
Ιουλ - 04	3,75	3,75	3,75	3,75	7,75	3,75
Αυγ - 04	3,25	2,25	2,25	4,75	3,75	2
Σεπ - 04	2,75	1,5	1,5	5,75	3,25	2,25
Οκτ - 04	3,75	2,25	2,25	5,75	2,25	2
Νοε - 04	3,75	2,75	2,25	5,75	4,5	2
Δεκ - 04	2,25	2,25	3,5	5,75	2,25	2
Ιαν - 05	1,5	2,25	2,25	5,75	2,25	2
Φεβ - 05	4,5	2,25	2,25	5,75	2,25	2
Μαρ - 05	3,75	1,5	1	3,75	2,25	1,5
Απρ - 05	4,5	3,25	2,25	4,5	3,25	1,5
Μαι - 05	3,25	3,75	2,25	3,25	3,75	1

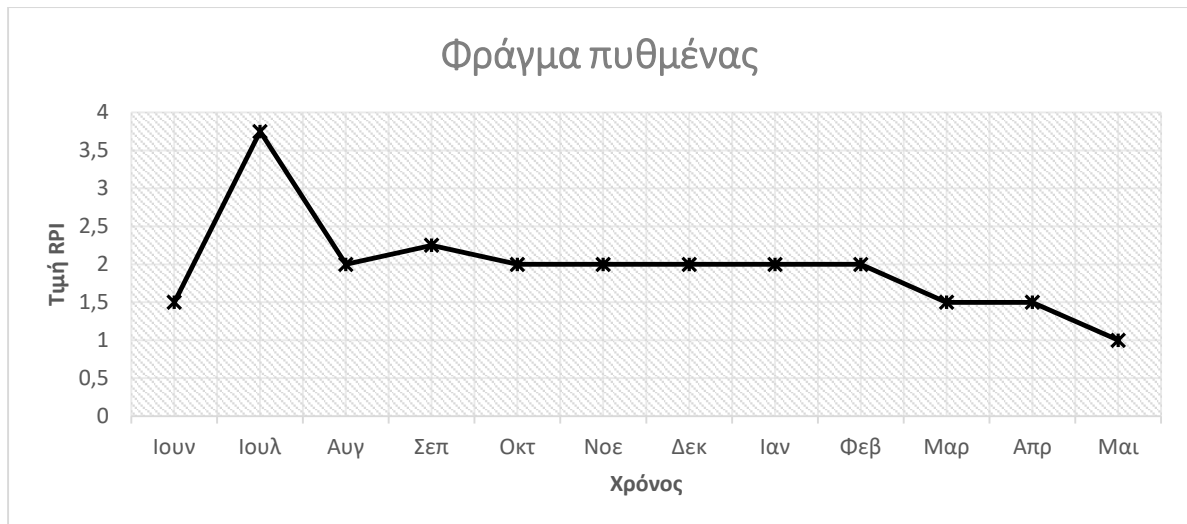
Πίνακας 4.1.2.5: Ο RPI σε κάθε θέση, για κάθε μήνα

Η περιγραφή του επιπέδου της ρύπανσης του νερού στον ταμιευτήρα εξετάστηκε με το πρόγραμμα του Excel, χρησιμοποιώντας τη λογική συνάρτηση «IF», σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.1.1.. Οι χαρακτηρισμοί του νερού είναι καλό, ελαφρώς ρυπασμένο, μετρίως ρυπασμένο και βαριά ρυπασμένο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, τα οποία αποτελούν και το τελικό συμπέρασμα του δείκτη RPI.

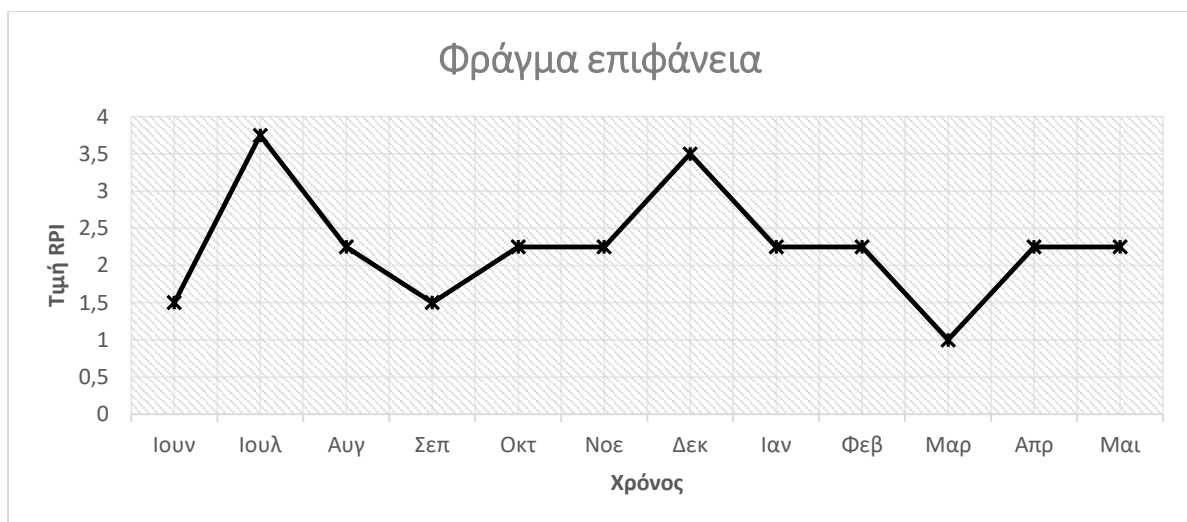
	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή
Ιουν - 04	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό	Βαριά μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό
Ιουλ - 04	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Βαριά μολ.	Μετρίως μολ.
Αυγ - 04	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό
Σεπ - 04	Ελαφρώς μολ.	Καλό	Καλό	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.
Οκτ - 04	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Καλό
Νοε - 04	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό
Δεκ - 04	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Καλό
Ιαν - 05	Καλό	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Καλό
Φεβ - 05	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Καλό
Μαρ - 05	Μετρίως μολ.	Καλό	Καλό	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Καλό
Απρ - 05	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό
Μαιος - 05	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Ελαφρώς μολ.	Μετρίως μολ.	Μετρίως μολ.	Καλό

Πίνακας 4.1.2.6: Περιγραφή RPI της ποιότητας του νερού σε κάθε θέση, για κάθε μήνα

Καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων όμως αποτελούν τα διαγράμματα. Η διαγραμματική απεικόνιση επιτρέπει την εύκολη κατανόηση της πορείας της ποιότητας του νερού στον Πολύφυτο σε βάθος χρόνου, στο χρονικό διάστημα Ιούνιος του 2004 έως Μάιος του 2005. Τα διαγράμματα έχουν στους άξονες των x του μήνες του χρόνου και στους άξονες των y τις τιμές του RPI και είναι έξι, για κάθε σημειακή δειγματοληψία (Φράγμα πυθμένας και επιφάνεια, Σέρβια πυθμένας και επιφάνεια, Ρυμνίο πυθμένας και επιφάνεια).

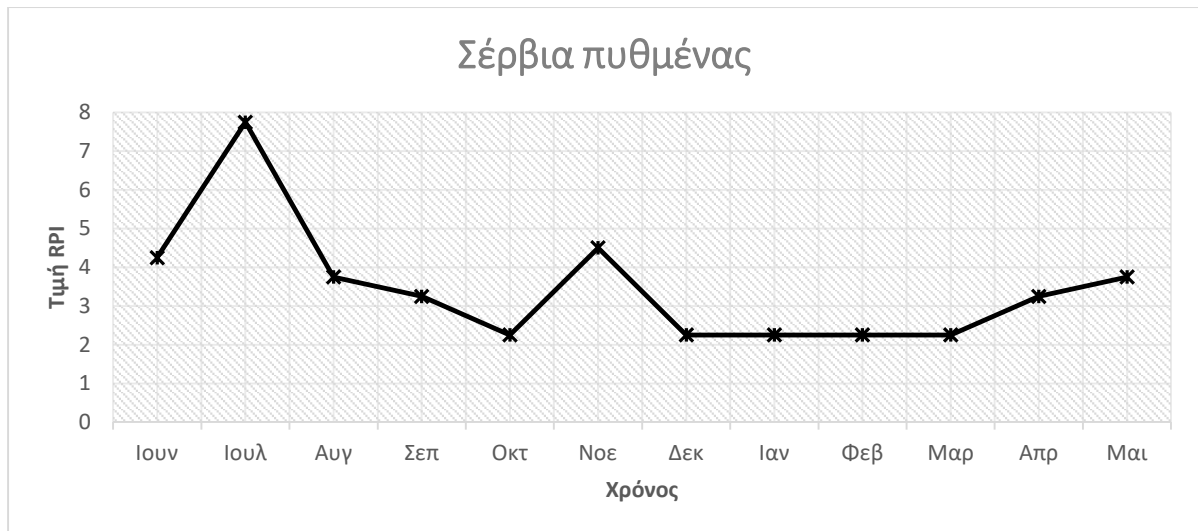


Διάγραμμα 4.1.2.1: Απεικόνιση του RPI στον πυθμένα του Φράγματος

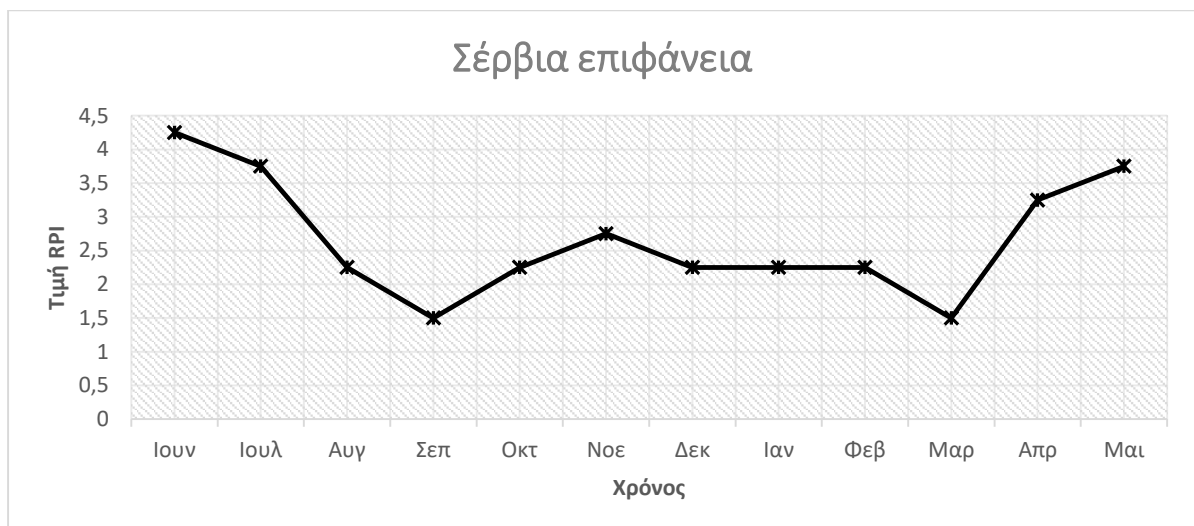


Διάγραμμα 4.1.2.2: Απεικόνιση του RPI στην επιφάνεια του Φράγματος

Εξετάζοντας τα δύο διαγράμματα για τον σταθμό του Φράγματος, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι η μέγιστη ρύπανσης παρουσιάζεται τον μήνα Ιούλιο και για τα δύο σημεία, ενώ η ελάχιστη διαφοροποιείται, στον πυθμένα το μήνα Μάιο και στην επιφάνεια το μήνα Μάρτιο. Ακόμα, στο διάστημα Ιούνιος – Αύγουστος παρατηρείται ότι η ποιότητα του νερού ακολουθεί το ίδιο μοτίβο και για τα δύο σημεία, σε αντίθεση με τον υπόλοιπο χρόνο όπου στον πυθμένα η ποιότητα είναι σε γενικές γραμμές σταθερή και στην επιφάνεια έχει διακυμάνσεις.

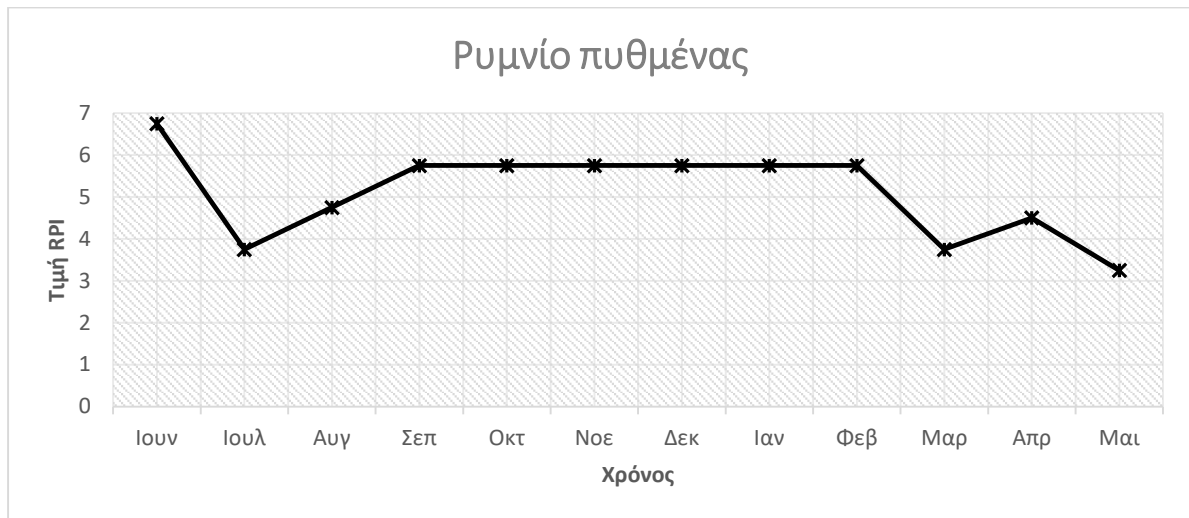


Διάγραμμα 4.1.2.3: Απεικόνιση του RPI στον πυθμένα των Σερβίων

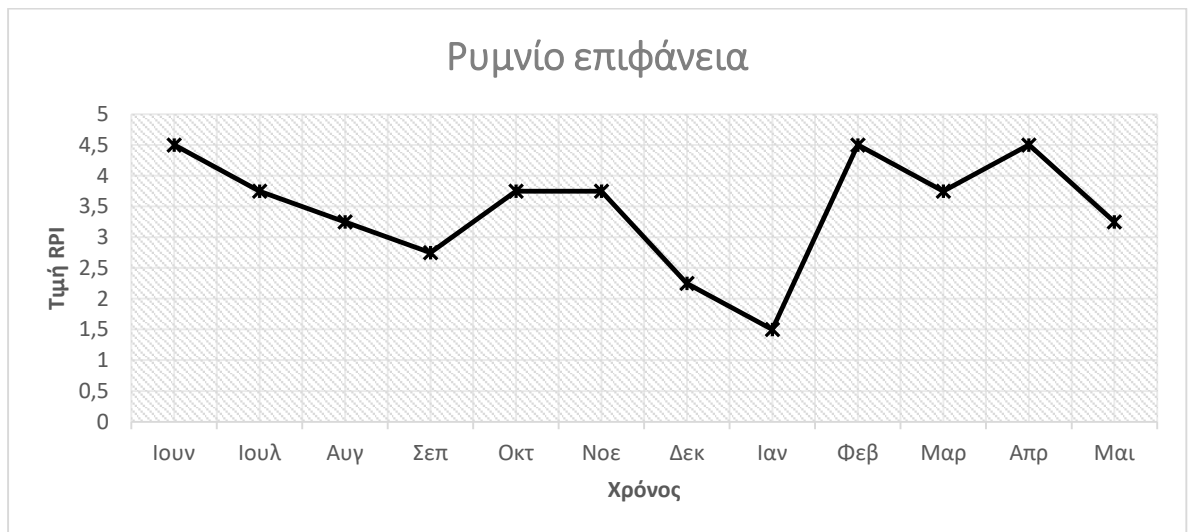


Διάγραμμα 4.1.2.4: Απεικόνιση του RPI στην επιφάνεια των Σερβίων

Στο σταθμό δειγματοληψίας των Σερβίων, στα δύο σημεία, η ρύπανση κυμαίνεται σε διαφορετικό φάσμα τιμών. Στον πυθμένα οι τιμές του RPI είναι πάνω από το 2 και φθάνουν το 7.75, ενώ στην επιφάνεια δεν ξεπερνούν το 4.5. Η μεγαλύτερη τιμή του RPI εμφανίζεται τον Ιούλιο στον πυθμένα και τον Ιούνιο στην επιφάνεια, ενώ η ελάχιστη στον πυθμένα τον Οκτώβριο και το διάστημα Δεκέμβριος – Μάρτιος, και στην επιφάνεια το Σεπτέμβριο και το Μάρτιο.



Διάγραμμα 4.1.2.5: Απεικόνιση του RPI στον πυθμένα του Ρυμνίου



Διάγραμμα 4.1.2.6: Απεικόνιση του RPI στην επιφάνεια του Ρυμνίου

Όπως και στην περίπτωση των Σερβίων, έτσι και στο Ρυμνίο, η καμπύλη του RPI στον πυθμένα είναι πιο ψηλά απ' ό τι στην επιφάνεια. Τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης παρατηρούνται τον Ιούνιο στον πυθμένα, ενώ τα χαμηλότερα στην επιφάνεια το μήνα Ιανουάριο. Στον πυθμένα, το χρονικό διάστημα Σεπτέμβριος – Φεβρουάριος, η ποιότητα νερού είναι ίδια, η οποία χαρακτηρίζεται ως μετρίως ρυπασμένη, με τιμή 5.75.

4.2 OREGON WATER QUALITY INDEX – ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΟΡΕΓΚΟΝ (OWQI)

4.2.1 Περιγραφή του Δείκτη OWQI

Ο δεύτερος δείκτης ελέγχου ποιότητας νερού, που επιλέχθηκε να αξιολογήσει τα δείγματα νερού του ταμιευτήρα του Πολυφύτου, είναι αυτός του Όρεγκον, λόγω της πλειονότητάς του σε παραμέτρους, οι οποίες υπάρχουν ως δεδομένες. Ο OWQI χρησιμοποιείται από το Τμήμα Περιβαλλοντικής Ποιότητας του Όρεγκον (Department of Environmental Quality - DEQ), για την παρουσίαση της κατάστασης και των τάσεων της ποιότητας των υδάτινων πόρων, τόσο στους κρατικούς φορείς για χάραξη πολιτικής, όσο και στο ευρύ κοινό. Σκοπός του δείκτη είναι να επεξεργαστεί και να ενσωματώσει τα διάφορα σύνθετα δεδομένα του νερού, ώστε να υπολογίσει έναν ενιαίο, εύκολα κατανοητό, αριθμό που να περιγράφει την ποιότητα του εξεταζόμενου δείγματος νερού και κατ' επέκταση του υδάτινου σώματος. Η αξιολόγηση των υδάτων, με τη χρήση του δείκτη Όρεγκον, πραγματοποιείται για γενικές ψυχαγωγικές χρήσεις, όπως είναι η αλιεία και η κολύμβηση (Cude 2001).

Ο αρχικός OWQI εισήχθη στην επιστήμη της ποιότητας των υδάτων τη δεκαετία του 1970 (Dunnette, 1979). Το 1983 όμως, σταμάτησε να χρησιμοποιείται, λόγω των υπερβολικών πόρων που απαιτούνταν για τον υπολογισμό και την αναφορά των αποτελεσμάτων του δείκτη. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση στη διαθεσιμότητα υλικού και λογισμικού με όλο και λιγότερους πόρους, το 1995 ο δείκτης αναβαθμίστηκε σύμφωνα με τις προόδους στο σχεδιασμό των δεικτών ελέγχου ποιότητας νερού. Σήμερα, το Τμήμα Περιβαλλοντικής Ποιότητας του Όρεγκον αξιολογεί τα υδάτινα σώματα με το βελτιωμένο σχεδιασμό του δείκτη, ο οποίος αποτελεί ένα σημαντικό παράδειγμα δείκτη ποιότητας νερού, που έχει συμβάλλει γενικότερα στην περιβαλλοντική επικοινωνία (Cude 2001).

Οι παράμετροι του νερού, που χρησιμοποιεί ο δείκτης ποιότητας του Όρεγκον είναι η θερμοκρασία (T σε °C), το διαλυμένο οξυγόνο (DO σε mg/L), το βιομηχανικά

απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5 σε mg/L), το pH, το άζωτο της αμμωνίας και του νιτρικού ($NH_3 + NO_2 - N$ σε mg/L), ο ολικός φώσφορος (P σε mg/L), τα ολικά στερεά (TS σε mg/L) και τα κολοβακτηρίδια (FC σε #/100mL). Η θερμοκρασία και ο ολικός φώσφορος προστέθηκαν στο βελτιωμένο σχεδιασμό του δείκτη, αφού αναγνωρίστηκε η σημασία αυτών των μεταβλητών στην ποιότητα των υδάτων του Όρεγκον. Οι οχτώ παράμετροι του δείκτη, με τη βοήθεια ενός τυπολογίου, μετατρέπονται σε υποδείκτες, οι οποίοι συντελούν στο τελικό αποτέλεσμα. Ο υπολογισμός των υποδεικτών στηρίζεται σε λογικές εκφράσεις, οι οποίες οδηγούν στον τελικό υπολογισμό του κάθε υποδείκτη. Το τυπολόγιο του OWQI είναι το παρακάτω (Cude 2001):

Θερμοκρασία - Temperature (T σε °C)

$$T \leq 11 \quad SI_T = 100$$

$$11 < T \leq 29 \quad SI_T = 76,54 + 4,172 * T - 0,1623 * T^2 - 2,0557 * 10^{-3} * T^3$$

$$29 < T \quad SI_T = 10$$

Διαλυμένο οξυγόνο - Dissolved Oxygen ($DO_{saturation}$ σε %, $DO_{concentration}$ σε mg/L)

$$DO_s \leq 100$$

$$DO_c \leq 3,3 \quad SI_{DO} = 10$$

$$3,3 < DO_c < 10,5 \quad SI_{DO} = -80,29 + 31,88 * DO_c - 1,401 * DO_c^2$$

$$10,5 \leq DO_c \quad SI_{DO} = 100$$

$$100 < DO_s \leq 275 \quad SI_{DO} = 100 * e^{(DO_s - 100) * (-1,197 * 10^{-2})}$$

$$275 < DO_s \quad SI_{DO} = 10$$

Βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο - Biochemical Oxygen Demand (BOD_5 σε mg/L)

$$BOD \leq 8 \quad SI_{BOD} = 100 * e^{BOD * (-0,1993)}$$

$$8 < BOD \quad SI_{BOD} = 10$$

pH

$$\text{pH} < 4 \quad \text{SI}_{\text{pH}} = 10$$

$$4 \leq \text{pH} < 7 \quad \text{SI}_{\text{pH}} = 2,628 * e^{\text{pH} * 0,5200}$$

$$7 \leq \text{pH} \leq 8 \quad \text{SI}_{\text{pH}} = 100$$

$$8 < \text{pH} \leq 11 \quad \text{SI}_{\text{pH}} = 100 * e^{(\text{pH}-8) * (-0,5188)}$$

$$11 < \text{pH} \quad \text{SI}_{\text{pH}} = 10$$

Άζωτο αμμωνίας + νιτρικού - Ammonia + Nitrate Nitrogen (N σε mg/L)

$$N \leq 3 \quad \text{SI}_N = 100 * e^{N * (-0,4605)}$$

$$3 < N \quad \text{SI}_N = 10$$

Ολικός Φώσφορος - Total Phosphorus (P σε mg/L)

$$P \leq 0,25 \quad \text{SI}_P = 100 - 299,5 * P - 0,1384 * P^2$$

$$0,25 < P \quad \text{SI}_P = 10$$

Κολοβακτηρίδια - Fecal Coliform (FC σε #/100mL)

$$\text{FC} \leq 50 \quad \text{SI}_{\text{FC}} = 98$$

$$50 < \text{FC} \leq 1600 \quad \text{SI}_{\text{FC}} = 98 * e^{(\text{FC}-50) * (-9,9178 * 10^{-4})}$$

$$1600 < \text{FC} \quad \text{SI}_{\text{FC}} = 10$$

Ολικά Στερεά - Total Solids (TS σε mg/L)

Ο υποδείκτης για τα ολικά στερεά, υπολογίζεται σύμφωνα με τη γεωλογική σύσταση των λεκανών απορροής του Όρεγκον. Σε αυτό το πλαίσιο, κατά την ανάπτυξη του δείκτη, ομαδοποιήθηκαν οι γεωλογικές παρόμοιες λεκάνες και ορίστηκαν οι ανάλογες εξισώσεις.

Παράκτιες λεκάνες - Coastal Basins

$$TS \leq 40 \quad SI_{TS} = 100$$

$$40 < TS \leq 220 \quad SI_{TS} = 142,6 * e^{TS * (-8,862 * 10^{-3})}$$

$$200 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Willamette, Sandy και Hood λεκάνες απορροής

$$TS \leq 40 \quad SI_{TS} = 100$$

$$40 < TS \leq 280 \quad SI_{TS} = 123,4 * e^{TS * (-5,296 * 10^{-3})}$$

$$280 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Umpqua λεκάνη απορροής

$$TS \leq 40 \quad SI_{TS} = 100$$

$$40 < TS \leq 300 \quad SI_{TS} = 124,7 * e^{TS * (-5,552 * 10^{-3})}$$

$$300 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Rogue λεκάνη απορροής

$$TS \leq 50 \quad SI_{TS} = 100$$

$$50 < TS \leq 350 \quad SI_{TS} = 127,1 * e^{TS * (-4,818 * 10^{-3})}$$

$$350 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Deschutes λεκάνη απορροής, Excluding Crooked υπολεκάνες απορροής

$$TS \leq 80 \quad SI_{TS} = 100$$

$$80 < TS \leq 300 \quad SI_{TS} = 179,5 * e^{TS * (-7,326 * 10^{-3})}$$

$$300 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Κlamath λεκάνη απορροής

$$TS \leq 100 \quad SI_{TS} = 100$$

$$100 < TS \leq 450 \quad SI_{TS} = 144,9 * e^{TS * (-3,580 * 10^{-3})}$$

$$450 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

John Day, Umatilla and Grande Ronde λεκάνες απορροής, Crooked υπολεκάνες

$$TS \leq 100 \quad SI_{TS} = 100$$

$$100 < TS \leq 800 \quad SI_{TS} = 116,3 * e^{TS * (-1,498 * 10^{-3})}$$

$$800 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Powder, Burnt, Malheur and Owyhee λεκάνες απορροής

$$TS \leq 200 \quad SI_{TS} = 100$$

$$200 < TS \leq 1600 \quad SI_{TS} = 116,3 * e^{TS * (-7,489 * 10^{-4})}$$

$$1600 < TS \quad SI_{TS} = 10$$

Μετά τον υπολογισμό των υποδεικτών κάθε μίας παραμέτρου, υπολογίζεται το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο περιγράφει και αξιολογεί την ποιότητα του νερού. Ο τελικός τύπος του δείκτη Όρεγκον αποτελεί τη συσσωμάτωση των υποδεικτών σε μία μαθηματική συνάρτηση, που δίνει τον ενιαίο αριθμό, ο οποίος χαρακτηρίζει το εξεταζόμενο υδάτινο σώμα. Αυτός ο τύπος είναι (Cude, 2001):

$$O \text{ WQI} = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (4.2.1.1)$$

όπου n ο αριθμός των υποδεικτών και SI ο υποδείκτης κάθε παραμέτρου.

Αυτός ο δείκτης δε χρησιμοποιεί βάρη στον υπολογισμό του, ώστε να αποδώσει ιδιαίτερη σημασία σε μεταβλητές που πιθανώς να είναι περισσότερο αξιοσημείωτες, στην κάθε περίπτωση μελέτης. Με αυτόν τον τρόπο, ο δείκτης αποκτά γενικό και αντικειμενικό χαρακτήρα, επιτρέποντας στην παράμετρο με τη μεγαλύτερη βλάβη να αποδίδει αυτή τη βλάβη και στο αποτέλεσμα του δείκτη, ανεξάρτητα από ποια παράμετρο από τις οχτώ είναι αυτή (Cude, 2001).

Το εύρος των αποτελεσμάτων του OWQI ξεκινάει από το μηδέν (χειρότερη ποιότητα) και φτάνει το εκατό (καλύτερη ποιότητα). Η ταξινόμηση των χαρακτηρισμών της ποιότητας του νερού έχει ως εξής (Cude, 2001):

Τιμή WQI	Εκτίμηση Ποιότητας
90-100	Εξαιρετική Ποιότητα
85-89	Καλή Ποιότητα
80-84	Μέτρια Ποιότητα
60-79	Φτωχή Ποιότητα
0-59	Πολύ Φτωχή Ποιότητα

Ολοκληρώνοντας, ο μη σταθμισμένος, τετραγωνικός μέσος όρος, που αποτελεί τον τύπο υπολογισμού του OWQI, εμφανίζει ευαισθησία στις αλλαγές της κάθε μεταβλητής και αναγνωρίζει ότι διαφορετική παράμετρος προσδίδει διαφορετική σημασία στο δείκτη, αξιολογώντας έτσι τη γενική ποιότητα του νερού. Σε αυτό το πλαίσιο, ο δείκτης δεν έχει τη δυνατότητα να εκφέρει αποτελέσματα για συγκεκριμένες χρήσεις και να παρέχει οριστικές πληροφορίες χωρίς να λάβει υπόψη όλες τις κατάλληλες παραμέτρους. Η χρήση μόνο της παραμέτρου των κολοβακτηριδίων δεν επιτρέπει στο δείκτη να καλύπτει όλους τους κινδύνους υγείας. Η συμβολή του pH και των ολικών στερεών στον τύπο υπολογισμού, μεταβλητές που ορίζουν τη γεωλογική μεταβλητότητα στο δείκτη, επιτρέπει με τη χρήση του OWQI να συγκριθούν διαφορετικές περιοχές ως προς την ποιότητα των υδάτων τους. Σε αυτό το σημείο, χρειάζεται να σημειωθεί ότι, λόγω του σχεδιασμού του OWQI για τα υδάτινα σώματα του Όρεγκον, η εφαρμογή του δείκτη σε άλλες γεωγραφικές περιοχές πρέπει να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή (Cude 2001).

4.2.2 Υπολογισμός του Δείκτη OWQI

Με τη βοήθεια του δείκτη ελέγχου ποιότητας νερού του Όρεγκον, υπολογίστηκε και χαρακτηρίστηκε η ποιότητα των δειγμάτων νερού από τον Αλιάκμονα. Όπως έχει προαναφερθεί, οι δειγματοληψίες στον τεχνητό ταμιευτήρα του Αλιάκμονα πραγματοποιήθηκε το έτος Ιούνιος 2004 – Μάιος 2005, για τρεις σταθμούς (Ρυμνίο, Σέρβια, Φράγμα Πολύφυτου) και για κάθε σταθμό σε δύο βάθη (επιφάνεια και πυθμένας). Οι υπολογισμοί ολοκληρώθηκαν ακολουθώντας το τυπολόγιο του OWQI και χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα του Excel. Το τυπολόγιο ακολουθήθηκε κατά γράμμα, με μικρές τροποποιήσεις – μετατροπές και κάποιες παραδοχές. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην περίπτωση του υποδείκτη των TS, όπου χρειάστηκε διερεύνηση της γεωλογικής σύστασης του εδάφους των λεκανών απορροής, τόσο στο Όρεγκον, όσο και στον Αλιάκμονα.

Παρακάτω αναφέρονται οι παράμετροι που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό του OWQI και πως επεξεργάστηκαν σύμφωνα με τις ανάγκες του δείκτη και οι τιμές των υποδεικτών τους.

1. Θερμοκρασία (T)

Οι τιμές της θερμοκρασίας δεν επιδέχθηκαν κάποιου είδους μετατροπή, καθώς δίνονταν και χρειάζονταν σε βαθμούς Κελσίου. Έτσι, εισήχθησαν αυτούσιες στις λογικές συναρτήσεις του τυπολογίου και υπολογίστηκαν οι υποδείκτες της.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI T	SI T	SI T	SI T	SI T	SI T
Ιουν-04	45,71	54,77	73,00	57,58	61,63	81,38
Ιουλ-04	24,83	34,87	42,49	53,32	97,50	56,19
Αυγ-04	48,83	26,72	39,17	48,83	93,32	47,28
Σεπ-04	58,27	67,88	70,78	58,27	88,14	70,78
Οκτ-04	96,64	76,65	85,16	96,64	86,32	76,65
Νοε-04	100	94,79	96,64	100	96,27	94,79
Δεκ-04	100	100	100	100	100	100
Ιαν-05	100	100	100	100	100	100
Φεβ-05	100	100	100	100	100	100
Μαρ-05	100	98,48	100	100	100	100
Απρ-05	96,46	94,79	98,83	99,74	100,04	99,14
Μαι-05	70,78	68,47	85,16	82,69	99,68	88,83

Πίνακας 4.2.2.1: Υποδείκτες T

2. Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅)

Οι τιμές και στις δύο περιπτώσεις, των δεδομένων και των ζητούμενων, ήταν σε mg/L, επομένως δεν πραγματοποιήθηκε μετατροπή. Το μόνο που χρειάζεται να σημειωθεί στην περίπτωση των υποδεικτών του BOD₅ είναι ότι στις κενές θέσεις των δεδομένων, όπου δε είχε δοθεί μέτρηση, τοποθετήθηκε ο μέσος όρος των τιμών ανά έτος, ώστε να ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI BOD	SI BOD	SI BOD	SI BOD	SI BOD	SI BOD
Ιουν-04	30,86	38,42	43,30	29,06	40,79	45,97
Ιουλ-04	10	10	10	10	10	10
Αυγ-04	30,86	34,77	30,86	30,86	38,42	38,42
Σεπ-04	100,00	64,50	100,00	34,54	100,00	94,20
Οκτ-04	100,00	80,31	100,00	34,54	100,00	42,08
Νοε-04	75,65	48,80	100,00	34,54	85,26	42,08
Δεκ-04	75,65	100,00	23,34	34,54	75,65	42,08
Ιαν-05	100,00	100,00	100,00	34,54	100,00	42,08
Φεβ-05	100,00	100,00	71,26	34,54	100,00	42,08
Μαρ-05	64,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Απρ-05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Μαι-05	100,00	88,73	36,92	100,00	81,93	67,13

Πίνακας 4.2.2.2: Υποδείκτες BOD₅

3. pH

Οι τιμές του pH χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες και οι κενές θέσεις μετρήσεων στα δεδομένα αντικαταστάθηκαν από τους μέσους όρους του αντίστοιχου έτους.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI pH	SI pH	SI pH	SI pH	SI pH	SI pH
Ιουν-04	80,84	83,40	89,68	99,48	90,14	92,99
Ιουλ-04	81,68	79,18	79,18	88,29	100	91,08
Αυγ-04	85,14	77,15	75,57	100	100	80,84
Σεπ-04	98,97	77,55	90,14	94,78	100	86,48
Οκτ-04	80,42	76,36	68,47	94,78	79,18	80,96
Νοε-04	76,75	76,36	70,27	94,78	77,15	80,96
Δεκ-04	81,26	76,75	69,55	94,78	77,96	80,96
Ιαν-05	67,07	100	79,18	94,78	100	80,96
Φεβ-05	69,55	100	75,96	94,78	100	80,96
Μαρ-05	73,25	100	81,26	81,26	100	90,14
Απρ-05	76,75	100	48,87	81,26	100	55,35
Μαι-05	57,40	78,77	67,07	78,36	100	77,15

Πίνακας 4.2.2.3: Υποδείκτες pH

4. Άζωτο αμμωνίας και νιτρικού (NH₃ + NO₂ – N)

Το άζωτο που χρειαζόταν για τον υπολογισμό του OWQI ήταν αυτό που εμπεριέχει η αμμωνία και το νιτρικό. Στα δεδομένα του Αλιάκμονα υπήρχαν η αμμωνία και το νιτρικό. Επομένως, με την απλή μέθοδο των τριών και την ατομική μάζα των στοιχείων του αζώτου, του υδρογόνου και του οξυγόνου (14, 1 και 16 αντίστοιχα), απομονώθηκε το άζωτο από τις ενώσεις της αμμωνίας και του νιτρικού (βλ. Παράρτημα) και υπολογίστηκε το συνολικό άζωτο. Οι τιμές του αζώτου ήταν σε mg/L και πολλαπλασιάστηκαν με το 0,001, για να μετατραπούν σε mg/L που ζητά το τυπολόγιο για τον υπολογισμό των υποδεικτών. Στα κενά σημεία τοποθετήθηκαν οι μέσοι όροι.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI N	SI N	SI N	SI N	SI N	SI N
Ιουν-04	94,43	95,11	94,74	88,24	93,03	94,44
Ιουλ-04	96,05	96,82	97,04	96,14	90,50	96,82
Αυγ-04	97,27	98,92	97,02	96,99	97,65	95,04
Σεπ-04	79,37	89,24	83,11	93,88	92,38	91,93
Οκτ-04	89,57	90,62	93,26	93,88	92,60	94,39
Νοε-04	92,85	93,30	95,00	93,88	93,92	94,39
Δεκ-04	89,02	88,15	84,31	93,88	88,04	94,39
Ιαν-05	86,75	90,50	89,25	93,88	89,76	94,39
Φεβ-05	91,01	96,70	97,57	93,88	96,28	94,39
Μαρ-05	93,95	94,72	97,04	96,03	97,75	91,50
Απρ-05	95,98	96,80	94,85	95,18	96,57	95,17
Μαι-05	91,41	94,73	95,34	91,01	95,81	95,93

Πίνακας 4.2.2.4: Υποδείκτες N

5. Ολικός φώσφορος (P)

Μία από τις παραμέτρους του OWQI είναι ο συνολικός φώσφορος σε mg/L. Τα δεδομένα από τις δειγματοληψίες του Αλιάκμονα εμπεριέχουν το συνολικό φώσφορο (TP) σε mg/L. Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του TP με το 0,001 για τη μετατροπή των μονάδων, υπολογίστηκαν οι τιμές του P που χρειάζεται ο δείκτης για να υπολογίσει του υποδείκτες του φωσφόρου. Στις κενές θέσεις μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς οι μέσοι όροι.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI P	SI P	SI P	SI P	SI P	SI P
Ιουν-04	92,93	65,92	88,71	68,69	80,44	76,49
Ιουλ-04	70,86	77,12	88,71	68,69	80,44	96,74
Αυγ-04	70,86	64,60	95,66	73,04	85,29	87,75
Σεπ-04	58,88	10	89,37	68,69	10	10
Οκτ-04	10	97,66	96,20	68,69	95,51	76,49
Νοε-04	62,14	10	75,50	68,69	86,94	76,49
Δεκ-04	47,73	100,00	100,00	68,69	80,44	76,49
Ιαν-05	90,20	88,84	80,40	68,69	89,65	76,49
Φεβ-05	58,07	85,56	87,21	68,69	86,10	76,49
Μαρ-05	70,05	100,00	90,72	72,50	91,82	93,47
Απρ-05	82,57	87,21	89,37	52,89	85,02	78,76
Μαι-05	95,09	95,66	94,01	76,31	85,29	82,30

Πίνακας 4.2.2.5: Υποδείκτες P

6. Κολοβακτηρίδια (FC)

Στις παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο OWQI εμπεριέχεται και αυτή των κολοβακτηριδίων. Όμως, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του νερού του Αλιάκμονα, δεν υπολογίστηκαν τα κολοβακτηρίδια που υπάρχουν σε αυτό. Λόγω έλλειψης δεδομένων για τα κολοβακτηρίδια έγινε η εξής παραδοχή: χρησιμοποιήθηκε το ½ της συγκέντρωσης του ειδικού όρου διάθεσης των κολοβακτηριδίων (500/100 ml) για τον ποταμό του Αλιάκμονα, όπως καθορίστηκε από την Απόφαση 5662/88 του (ΦΕΚ 464/Β/7-07-88).

$$FC = \frac{500/100ml}{2} = 250/100 \text{ ml}$$

Αυτή η τιμή των FC χρησιμοποιήθηκε για ολόκληρο το χρονικό διάστημα που μελετάται και για όλους τους σταθμούς και τα σημεία.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI FC	SI FC	SI FC	SI FC	SI FC	SI FC
Ιουν-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Ιουλ-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Αυγ-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Σεπ-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Οκτ-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Νοε-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Δεκ-04	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Ιαν-05	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Φεβ-05	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Μαρ-05	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Απρ-05	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37
Μαι-05	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37	80,37

Πίνακας 4.2.2.6: Υποδείκτες FC

7. Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Για τον υπολογισμό των υποδεικτών του διαλυμένου οξυγόνου χρειάστηκε τόσο η συγκέντρωση του (DO concentration), όσο και ο κορεσμός του (DO saturation). Ως δεδομένο δόθηκε η συγκέντρωση του οξυγόνου, η οποία έπρεπε να μετατραπεί και σε κορεσμό. Αυτή η μετατροπή υλοποιήθηκε με τη βοήθεια μιας εφαρμογής, η οποία με τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση του οξυγόνου (mg/L) και το επίπεδο του νερού στο εξεταζόμενο υδατικό σώμα (m), υπολογίζει τον κορεσμό του οξυγόνου (%) (<http://www.hbuehrer.ch/Rechner/O2satur.html>). Στο επίπεδο του νερού επιλέχθηκε να δοθεί η τιμή των 285 m, η οποία είναι αυτή που βρίσκεται ανάμεσα στο υψηλότερο επίπεδο νερού, που σημειώθηκε στον Πολύφυτο κατά την περίοδο παρακολούθησης, τον Ιούνιο του 2004 στα +289,20 m και στο χαμηλότερο επίπεδο, που σημειώθηκε τον Οκτώβριο 2004 στα +280,46 m (για πίνακα τιμών του κορεσμού του DO βλ. Παράρτημα). Έχοντας λοιπόν, τη συγκέντρωση και τον κορεσμό του διαλυμένου οξυγόνου, σύμφωνα με το τυπολόγιο του OWQI υπολογίστηκαν οι υποδείκτες του DO.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI DO	SI DO	SI DO	SI DO	SI DO	SI DO
Ιουν-04	81,08	59,03	77,77	10	45,33	71,07
Ιουλ-04	59,49	55,59	65,80	39,53	10	36,90
Αυγ-04	54,63	76,85	99,08	20,84	10	54,95
Σεπ-04	64,52	51,01	46,73	28,29	10	24,81
Οκτ-04	54,79	22,73	32,66	28,29	14,13	53,93
Νοε-04	52,50	30,49	29,29	28,29	20,62	53,93
Δεκ-04	16,32	10	10	28,29	10	53,93
Ιαν-05	54,13	18,06	10	28,29	15,23	53,93
Φεβ-05	10	12,35	15,45	28,29	10	53,93
Μαρ-05	63,51	43,37	68,42	62,05	25,84	56,70
Απρ-05	26,87	96,13	19,77	15,23	94,61	44,62
Μαι-05	82,84	60,55	91,76	70,42	55,43	77,32

Πίνακας 4.2.2.7: Υποδείκτες DO

8. Ολικά στερεά (TS)

Όπως έχει προαναφερθεί, η παράμετρος των συνολικών στερεών είναι αυτή που εξαρτάται από το γεωλογικό χαρακτήρα του εξεταζόμενου υδάτινου σώματος και γι' αυτό το λόγο υπάρχουν στο τυπολόγιο οχτώ διαφορετικές ομάδες συναρτήσεων υπολογισμού των υποδεικτών, ανάλογα με τη γεωλογική σύσταση των ομαδοποιημένων λεκανών απορροής του Όρεγκον. Έτσι, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της γεωλογικής σύστασης τόσο των λεκανών απορροής του Όρεγκον, όσο και του Αλιάκμονα. Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του Όρεγκον, σε περιβάλλον ΣΓΠ (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών) (<http://www.oregongeology.org/geologicmap/>), οι ομαδοποιημένες λεκάνες απορροής του τυπολογίου έχουν τα εξής γεωλογικά χαρακτηριστικά:

Willamette, Sandy και Hood λεκάνες απορροής -> ιζήματα μικτών κόκκων

Umpqua λεκάνη απορροής -> λεπτοί μικτοί κόκκοι

Rogue λεκάνη απορροής -> ιζήματα μικτών κόκκων

Deschutes λεκάνη απορροής, Excluding Crooked υπολεκάνες απορροής -> μελανόλιθος

Klamath λεκάνη απορροής -> χαλαζίτης

John Day, Umatilla and Grande Ronde λεκάνες απορροής, Crooked υπολεκάνες -> ιζήματα μικτών κόκκων

Η πιο λεπτομερής περιγραφή της γεωλογίας των λεκανών απορροής εξετάστηκε με διερεύνηση του χάρτη.

Όσον αφορά τη γεωλογία του Αλιάκμονα και πιο συγκεκριμένα στα σημεία Σέρβια, Ρυμνίο και Φράγμα Πολυφύτου, η σύσταση περιγράφηκε με βάση του γεωλογικού χάρτη που εμπεριέχεται στη «Σύντομη Περιγραφή του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (EL09)», της 1^{ης} Αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών της Χώρας

(<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WshASKiSGk8%3D&tabid=924&language=el-GR>, σελ.9)

Εκεί, τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί (πρακτικά αδιαπέρατοι ιζηματογενείς σχηματισμοί).

Επεξεργάζοντας τις παραπάνω περιγραφές και διερευνώντας του γεωλογικούς χάρτες του Όρεγκον και της περιοχής του Αλιάκμονα, καμία περιγραφή των λεκανών απορροής του Όρεγκον δεν ταιριάζει ακριβώς με αυτή του Αλιάκμονα, αλλά αυτή που πλησίαζε ήταν του Rogue. Έτσι, επιλέχθηκε να υπολογιστούν οι υποδείκτες των TS σύμφωνα με την ομάδα συναρτήσεων της Rogue λεκάνης απορροής.

Για τα συνολικά στερεά (TS) του δείκτη του Όρεγκον, χρησιμοποιήθηκαν τα συνολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), που υπήρχαν στα δεδομένα. Δεν επιδέχθηκαν καμία μετατροπή και τα κενά σημεία δεδομένων αντικαταστάθηκαν από τους μέσους όρους.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	SI TSS	SI TSS	SI TSS	SI TSS	SI TSS	SI TSS
Ιουν-04	44,25	77,20	100	10	66,50	100
Ιουλ-04	100	100	100	100	60,93	100
Αυγ-04	100	100	100	99,79	100	100
Σεπ-04	78,58	100	100	10	100	100
Οκτ-04	26,63	100	100	10	100	100
Νοε-04	72,86	100	100	10	49,05	100
Δεκ-04	100	100	100	10	100	100
Ιαν-05	100	100	100	10	100	100
Φεβ-05	41,50	100	100	10	100	100
Μαρ-05	28,54	100	100	10	100	100
Απρ-05	10	34,61	100	10	10	100
Μαι-05	10	10	100	10	10	100

Πίνακας 4.2.2.8: Υποδείκτες TSS

Έχοντας υπολογισμένους του υποδείκτες του OWQI και χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 4.2.1.1, καθορίστηκαν οι τιμές του δείκτη και αξιολογήθηκε η ποιότητα του νερού ανά μήνα, για κάθε σημείο. Οι πίνακες με τις τιμές του OWQI και την περιγραφή της ποιότητας του νερού παρατίθενται παρακάτω.

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	OWQI	OWQI	OWQI	OWQI	OWQI	OWQI
Ιουν-04	54,16	61,65	72,93	19,03	61,35	73,63
Ιουλ-04	25,18	26,00	26,45	26,15	19,56	26,22
Αυγ-04	56,54	50,30	57,15	42,53	26,50	61,66
Σεπ-04	73,01	26,50	75,45	24,83	19,66	25,36
Οκτ-04	25,42	52,40	65,47	25,01	36,87	67,24
Νοε-04	72,42	25,66	61,49	25,02	47,27	68,39
Δεκ-04	40,00	27,15	25,16	25,02	27,00	68,62
Ιαν-05	79,23	45,46	27,10	25,02	39,54	68,62
Φεβ-05	26,31	32,99	39,40	25,02	27,22	68,62
Μαρ-05	56,86	78,41	87,39	26,89	59,30	84,41
Απρ-05	25,64	69,69	46,69	22,88	27,20	71,68
Μαι-05	26,81	26,79	68,79	26,90	26,87	81,82

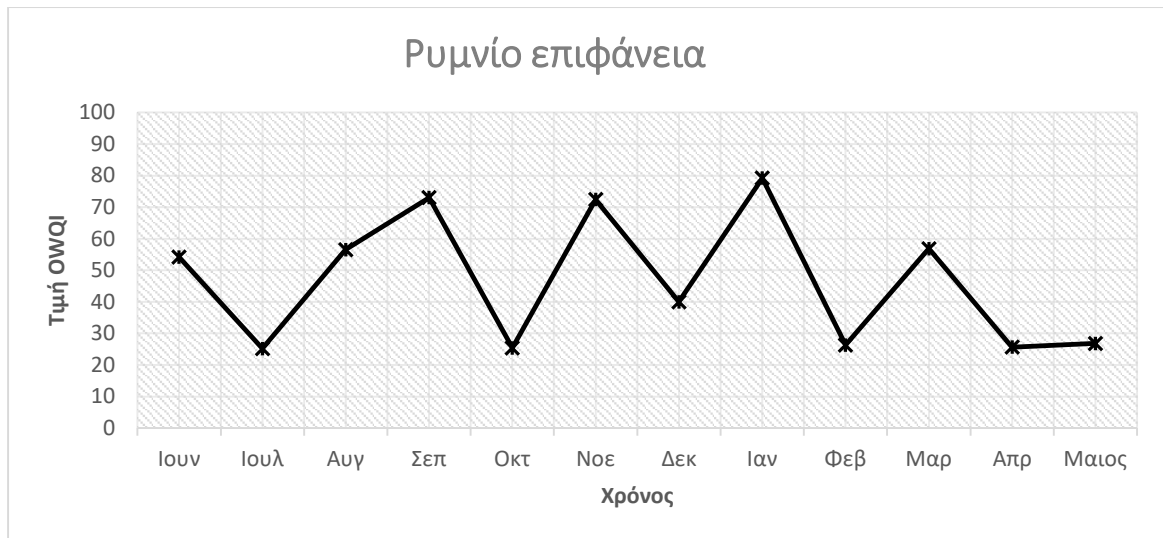
Πίνακας 4.2.2.9: Ο OWQI σε κάθε θέση, για κάθε μήνα

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή	Περιγραφή
Ιουν-04	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Φτωχή
Ιουλ-04	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή
Αυγ-04	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Σεπ-04	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή
Οκτ-04	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Νοε-04	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Δεκ-04	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Ιαν-05	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Φεβ-05	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Μαρ-05	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Καλή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Σωστή
Απρ-05	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή
Μαι-05	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πολύ φτωχή	Σωστή

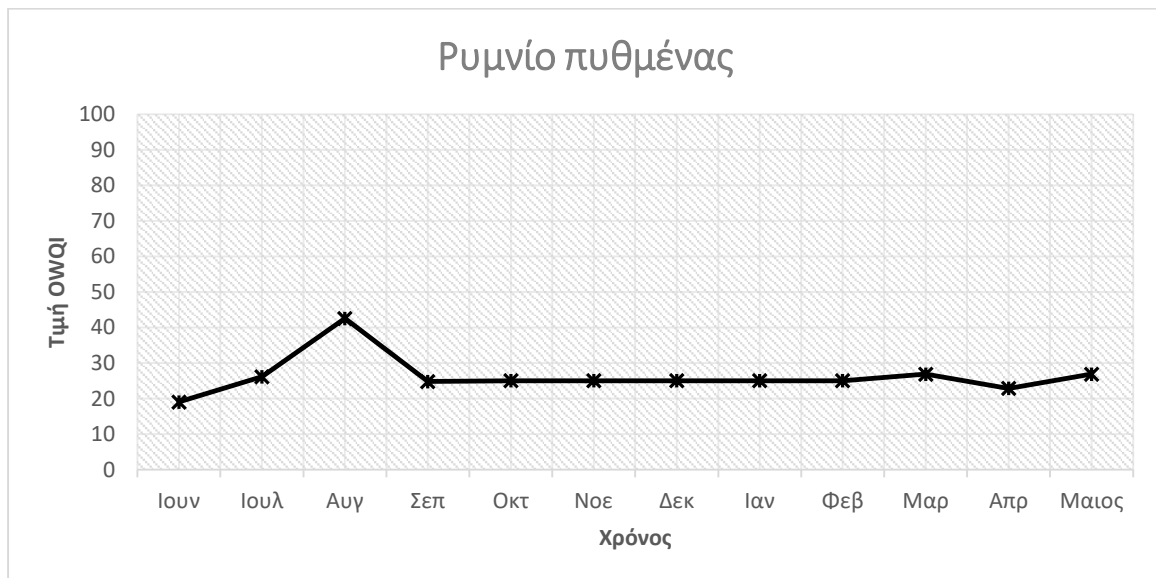
Πίνακας 4.2.2.10: Περιγραφή OWQI της ποιότητας του νερού σε κάθε θέση, για κάθε μήνα

Σε γενικότερα πλαίσια, η ποιότητα του νερού του τεχνητού ταμιευτήρα Πολυφύτου σύμφωνα με το δείκτη του Όρεγκον αξιολογείται ως φτωχή.

Η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, που αποτελεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα, παρουσιάζεται παρακάτω για κάθε σημείο δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 4.2.2.1: Απεικόνιση του OWQI στην επιφάνεια του Ρυμνίου

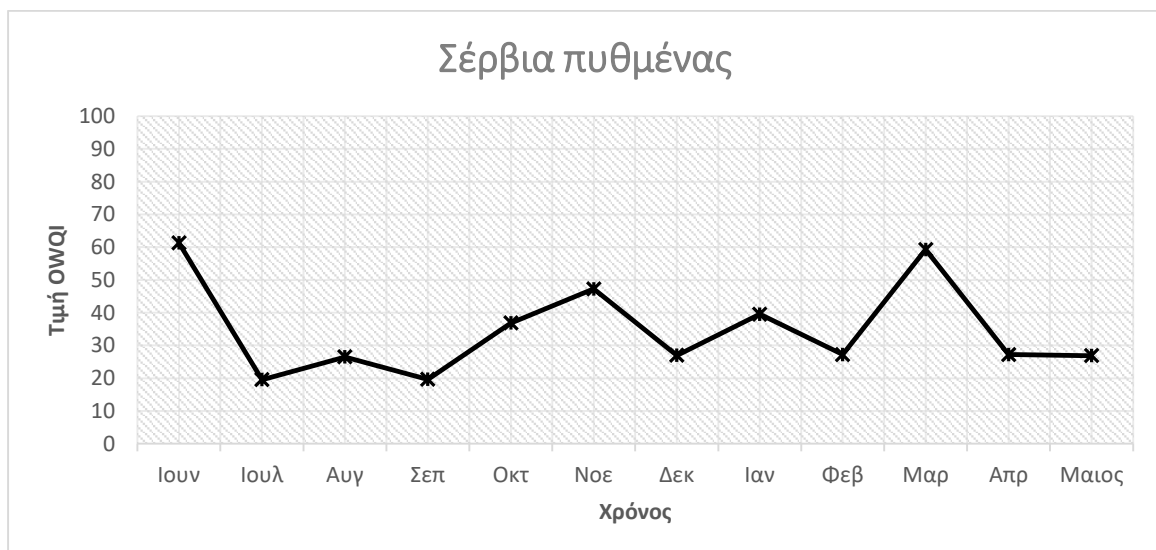


Διάγραμμα 4.2.2.2: Απεικόνιση του OWQI στον πυθμένα του Ρυμνίου

Η ποιότητα του νερού στον πυθμένα του Ρυμνίου κινείται σε χαμηλά και σταθερά επίπεδα, σε αντίθεση με την επιφάνεια, όπου η ποιότητα έχει διακυμάνσεις, με χαμηλότερη τιμή το 25,28 (πολύ φτωχή ποιότητα) το μήνα Ιούλιο του 2004 και υψηλότερη το 79,96 (φτωχή προς σωστή ποιότητα) τον Ιανουάριο του 2005.

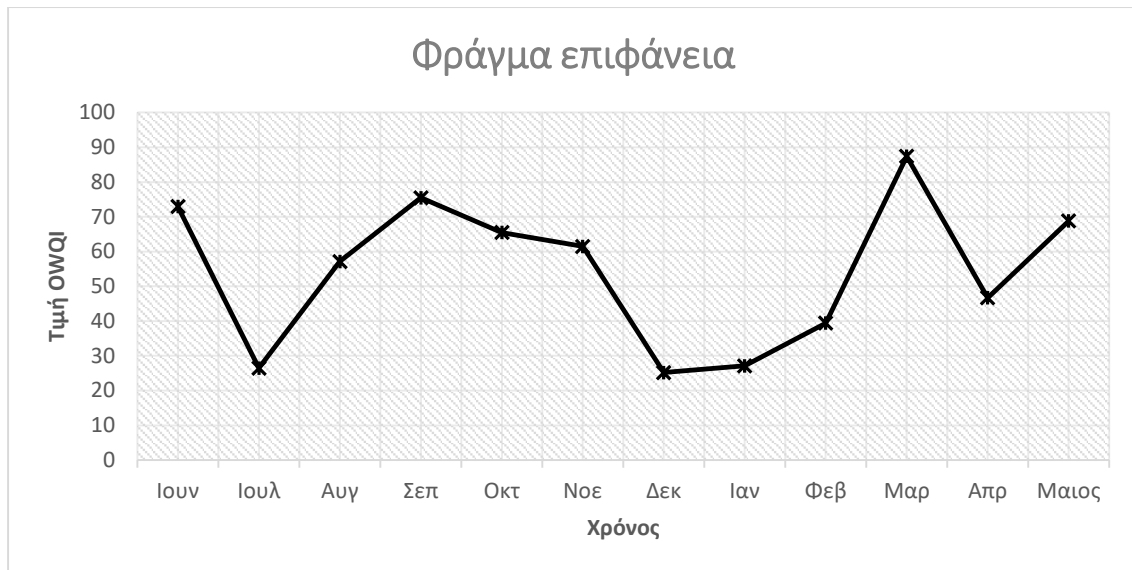


Διάγραμμα 4.2.2.3: Απεικόνιση του OWQI στην επιφάνεια των Σερβίων

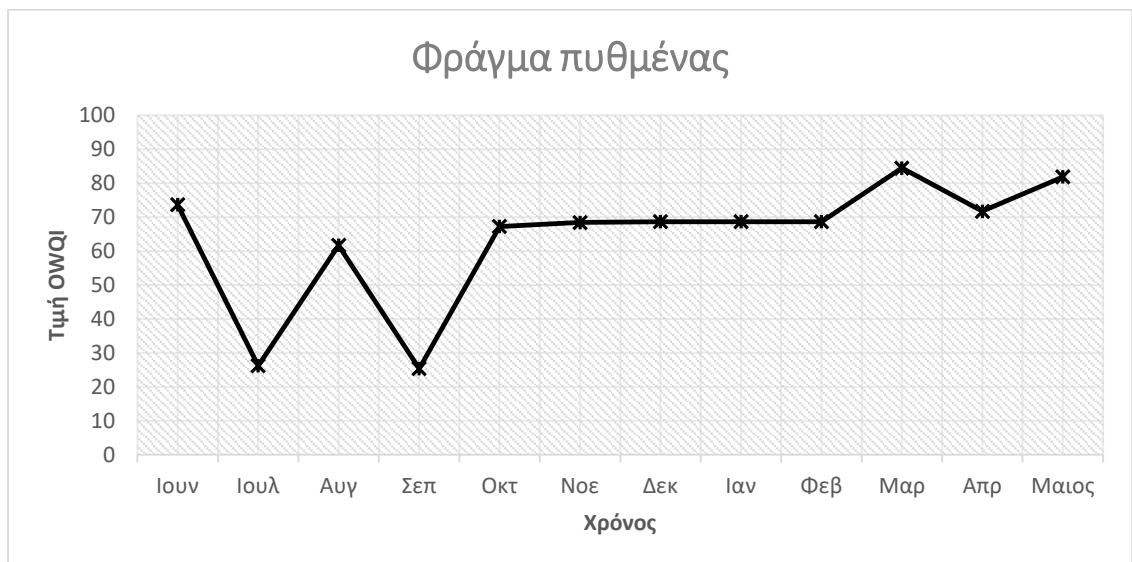


Διάγραμμα 4.2.2.4: Απεικόνιση του OWQI στον πυθμένα των Σερβίων

Γενικά, η ποιότητα του νερού στην επιφάνεια και τον πυθμένα των Σερβίων ακολουθεί κοινή πορεία, με εξαίρεση το διάστημα Ιούλιος 2004 – Νοέμβριος 2004. Η υψηλότερη τιμή ποιότητας σημειώνεται στην επιφάνεια των Σερβίων το Μάρτιο του 2005 (78,41), ενώ η χαμηλότερη στον πυθμένα των Σερβίων τον Ιούλιο του 2004 (19,56).



Διάγραμμα 4.2.2.5: Απεικόνιση του OWQI στην επιφάνεια του Φράγματος



Διάγραμμα 4.2.2.6: Απεικόνιση του OWQI στον πυθμένα του Φράγματος

Το διάστημα Οκτώβριος 2004 – Φεβρουάριος 2005, η ποιότητα του νερού στον πυθμένα του Φράγματος παραμένει σταθερή, ενώ στην επιφάνεια ελαττώνεται. Κατά τ' άλλα, η γραμμή απεικόνισης ακολουθεί το ίδιο μοτίβο και στα δύο σημεία δειγματοληψίας, με πιο απότομες εναλλαγές αυτή που περιγράφει την επιφάνεια. Το Μάρτιο του 2005, στην επιφάνεια, παρατηρείται η υψηλότερη ποιότητα (88,30) και το Δεκέμβριο του 2004, ξανά στην επιφάνεια, σημειώνεται η χαμηλότερη με τιμή 25,16.

5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

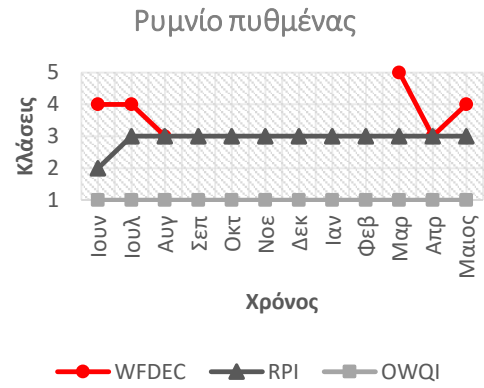
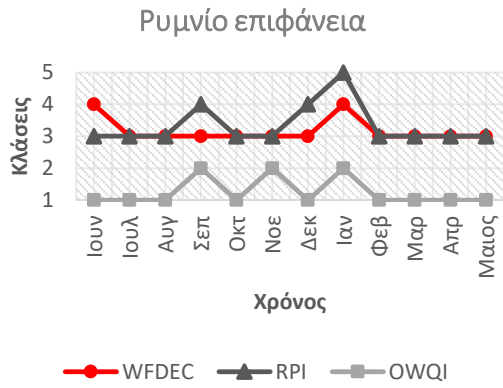
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων, από την αξιολόγηση του νερού του Πολυφύτου που πραγματοποιήθηκε με τους δείκτες RPI και OWQI, ολοκληρώθηκε με την προσέγγιση ECOFRAME. Το σύστημα ECOFRAME αποτελεί την εφαρμογή της οδηγίας πλαισίου για τα ύδατα (Water Framework Directive – WFD) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης, αναπτύχθηκε ένα πανευρωπαϊκό τυπολόγιο για την αξιολόγηση και την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης των ρηχών λιμνών. Παρ' όλα αυτά, το ECOFRAME – WFD έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί και σε άλλα υδάτινα σώματα. Η ταξινόμηση του νερού σύμφωνα με το ECOFRAME – WFD διαχωρίζει την ποιότητα σε υψηλή, καλή, μέτρια, φτωχή και κακή, με κλίμακα από το ένα μέχρι το πέντε αντίστοιχα (Moss, 2003). Σε αυτήν την περίπτωση μελέτης, το WFD – EC χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά για τη σύγκριση αποτελεσμάτων, καθώς αποτελεί μία πιο αντικειμενική και σωστή προσέγγιση της ποιότητας του νερού. Οι τιμές του, για τα διαθέσιμα μηνιαία δεδομένα νερού για την περίοδο Ιούνιος 2004 – Μάιος 2005 του Πολυφύτου, πάρθηκαν από τη μελέτη για αξιολόγηση, με άλλους δείκτες ελέγχου ποιότητας («Suitability of Water Quality Indices for Application in Lakes in the Mediterranean», Alexakis, 2016).

Όπως προαναφέρθηκε, το WFD – EC χρησιμοποιεί πέντε κατηγορίες αξιολόγησης νερού. Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των δεικτών, έπρεπε να γίνει αντιστοίχιση των κατηγοριών ταξινόμησης των δύο δεικτών (RPI και OWQI) με το WFD – EC. Στην περίπτωση του OWQI δεν υπήρξε κάποιο θέμα, καθώς και αυτός ο δείκτης αξιολογεί την ποιότητα του νερού με πέντε χαρακτηρισμούς και διαστήματα αξιολόγησης. Όμως, ο RPI χρησιμοποιεί τέσσερις. Έτσι, αποφασίστηκε η αντιστοίχιση να γίνει με βάση το κοινό σημείο του RPI και του WFD – EC, το οποίο είναι ο χαρακτηρισμός της «μέτριας» ποιότητας νερού και έτσι δεν χρησιμοποιήθηκε η τιμή 2 του WFD – EC στον RPI. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι αντιστοιχίσεις που περιγράφηκαν.

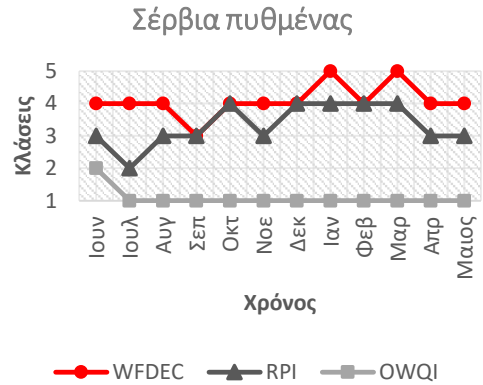
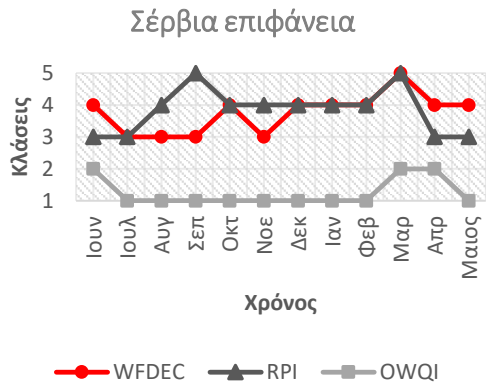
RPI			ΩΩQI		WFD-EC
Κλάση	Εκτίμηση	Τιμή	Εκτίμηση	Τιμή	Εκτίμηση
5	Καλό	< 2	Εξαιρετικό	90 – 100	Υψηλό
4	Ελαφρώς μ.	2,0 – 3,0	Καλό	85 – 89	Καλό
3	Μετρίως μ.	3,1 – 6,0	Μέτριο	80 – 84	Μέτριο
2	Βαριά μ.	> 6,0	Φτωχό	60 – 79	Φτωχό
1			Πολύ φτωχό	0 – 59	Κακό

Πίνακας 5.1.1: Αντιστοίχιση δεικτών με WFD – EC

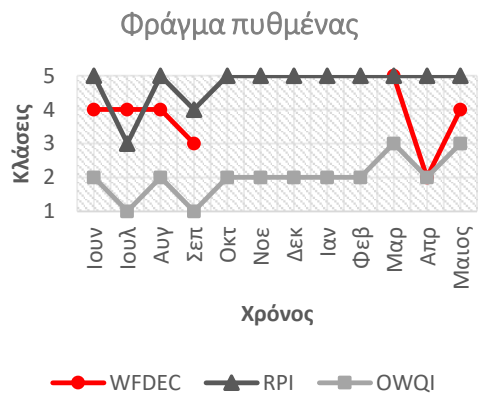
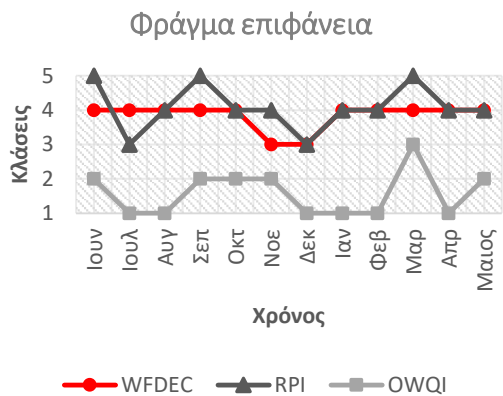
Αφού τοποθετήθηκαν οι δείκτες σε ένα κοινό πλαίσιο, δίνοντας τις αντίστοιχες τιμές από το ένα μέχρι το πέντε, ήταν σε θέση να συγκριθούν.



Διάγραμμα 5.1.1: Αντιστοίχιση RPI, OWQI με WFD – EC στο Ρυμνίο επιφάνεια και πυθμένα



Διάγραμμα 5.1.2: Αντιστοίχιση RPI, OWQI με WFD – EC στα Σέρβια επιφάνεια και πυθμένα



Διάγραμμα 5.1.3: Αντιστοίχιση RPI, OWQI με WFD – EC στο Φράγμα επιφάνεια και πυθμένα

Τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.1.1 – Διάγραμμα 5.1.3) απεικονίζουν την ταξινόμηση της ποιότητας του νερού του τεχνητού ταμιευτήρα του Πολύφυτου στον Αλιάκμονα. Η τιμή 5 αναφέρεται σε υψηλή ποιότητα νερού και το 1 σε κακή.

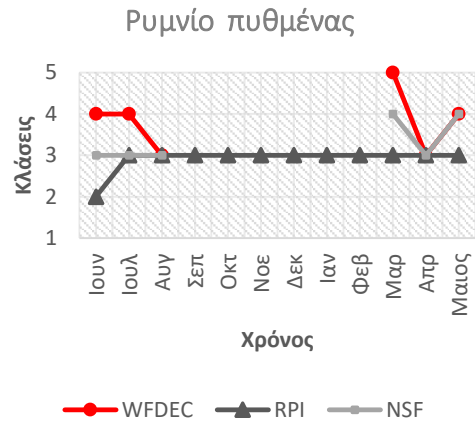
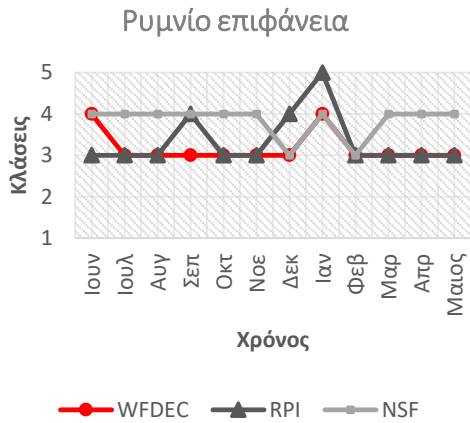
Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, ο δείκτης OWQI κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές, κυρίως στο 1 και το 2, αναδεικνύοντας φτωχή και κακή ποιότητα νερού, με εξαίρεση το σταθμό του Φράγματος και στα δύο βάθη, που το μήνα Μάρτιο (επιφάνεια και πυθμένα) και Μάιο (πυθμένα) του 2005 αξιολογεί μέτρια την κατάσταση του νερού. Το WFD – EC και ο RPI ανεβαίνουν στις πιο πάνω κλάσεις. Το WFD – EC παρουσιάζεται κυρίως στις κλάσεις των 3 και 4 (μέτρια, καλή ποιότητα) και αξιολογεί «υψηλά» νερά στον πυθμένα των Σερβίων, ενώ τα χειρότερα με την τιμή 2 στον πυθμένα του Φράγματος, το μήνα Απρίλιο 2005. Και ο RPI κινείται στις μέτριες προς υψηλές κλάσεις. Οι χαμηλότερες του τιμές (2 – φτωχή ποιότητα) εμφανίζονται στον πυθμένα του Ρυμνίου (Ιούνιος 2004) και στον πυθμένα των Σερβίων (Ιούλιος 2005). Πέρα από αυτό, ο RPI χαρακτηρίζει καλή προς υψηλή την ποιότητα του νερού του ταμιευτήρα στο σταθμό του Φράγματος και στα δύο βάθη.

Η σύγκριση των RPI, OWQI και WFD – EC πραγματοποιήθηκε παρατηρώντας τις χαμηλότερες τιμές των δεικτών σε κάθε διάγραμμα. Στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και για τους τρεις σταθμούς, η χαμηλότερη τιμή των WFD – EC και RPI είναι το 3, ενώ του OWQI το 1. Στον πυθμένα η κατάσταση αλλάζει, όπου το WFD – EC φτάνει στο 3 το λιγότερο, ο RPI στο 2 και ο OWQI ξανά στο 1, με μία διαφοροποίηση στο σταθμό παρακολούθησης του Φράγματος, όπου το WFD – EC και ο RPI ανταλλάζουν τιμές (2 και 3 αντίστοιχα). Έτσι, ο δείκτης RPI σε σχέση με τον OWQI είναι αυτός που πλησιάζει περισσότερο την οδηγία WFD – EC.

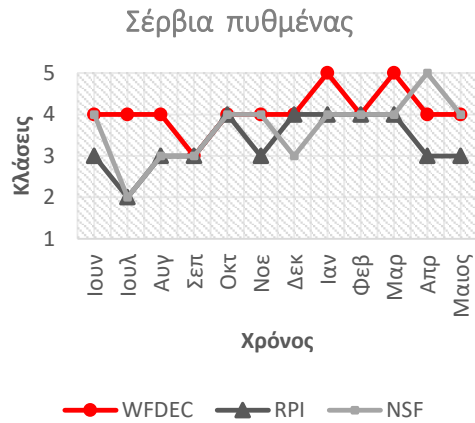
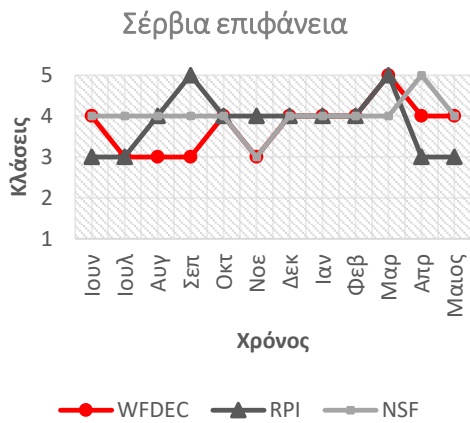
Η διαφοροποίηση των δύο εξεταζόμενων δεικτών οφείλεται στις διαφορές στους υπολογισμούς, στον αριθμό των επιλεγμένων παραμέτρων νερού και στις ταξινομήσεις της ποιότητας, στις παραδοχές που πάρθηκαν κατά την επεξεργασία του OWQI και στην αντιστοίχιση των κλάσεων όπου ο RPI χρησιμοποίησε τέσσερις.

5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ RPI ΜΕ NSFWQI

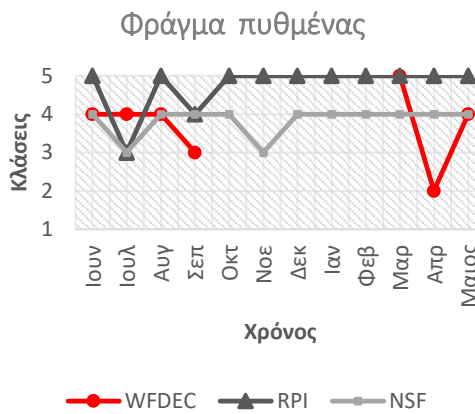
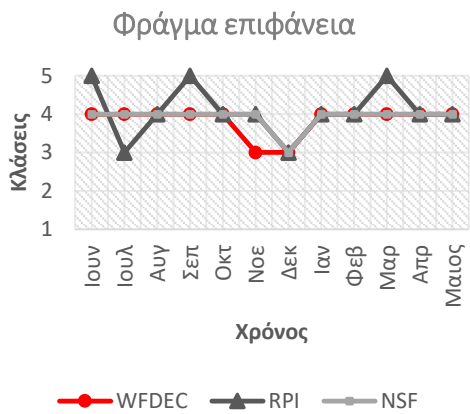
Οι Alexakis et al. (2016) στο άρθρο τους, του οποίου το αντικείμενο μελέτης είναι το ίδιο με αυτής της διπλωματικής εργασίας, οι δείκτες που συγκρίθηκαν ήταν ο NSFWQI και ο CCMEWQI. Αυτός που αποδείχθηκε ότι πλησιάζει την προσέγγιση WFD – EC ήταν ο NSFWQI. Επομένως, χρειάστηκε να συγκριθούν και οι δείκτες NSFWQI και RPI με αναφορά σύγκρισης το WFD – EC , ώστε να επιλεγθεί αυτός ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα το υδάτινο σώμα του τεχνητού ταμιευτήρα Πολυφύτου, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα διαθέσιμα δεδομένα. Παρακάτω, παρουσιάζεται διαγραμματικά η ταξινόμηση του νερού στους τρεις σταθμούς και για τα δύο βάθη, όπως προέκυψε από τους RPI και NSFWQI, σύμφωνα με το WFD – EC.



Διάγραμμα 5.2.1: Αντιστοίχιση RPI, NSF, WFDEC με WFD – EC στο Ρυμνίο επιφάνεια και πυθμένα



Διάγραμμα 5.2.2: Αντιστοίχιση RPI, NSF, WFDEC με WFD – EC στα Σέρβια επιφάνεια και πυθμένα



Διάγραμμα 5.2.3: Αντιστοίχιση RPI, NSF, WFDEC με WFD – EC στο Φράγμα επιφάνεια και πυθμένα

Και οι δύο δείκτες και το WFD – EC κυμαίνονται κυρίως στις ίδιες κλάσεις. Στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και στους τρεις σταθμούς, η χαμηλότερη τιμή που παρουσιάζουν οι δείκτες και το WFD – EC είναι το 3. Στον πυθμένα όμως, εμφανίζεται και η τιμή 2 ως χαμηλότερη, στο σταθμό του Ρυμνίου για τον RPI, στα Σέρβια για τον RPI και τον NSF και στο Φράγμα για το WFD – EC.

Η σύγκριση των δεικτών γίνεται πιο εύκολη, παρατηρώντας τα διαγράμματα. Είναι προφανές ότι ο δείκτης που βρίσκεται πιο κοντά στην προσέγγιση WFD – EC είναι ο NSF. Ο RPI ξεφεύγει σε αρκετά σημεία, όπως στην επιφάνεια του Ρυμνίου τον Ιανουάριο 2005 και στην επιφάνεια του Φράγματος, όπου ενώ ο NSF ταυτίζεται με το WFD – EC σε μία σχεδόν σταθερή πορεία (τιμή 3 και 4 για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο), ο RPI μεταβάλλεται έντονα αναδεικνύοντας και υψηλής ποιότητας νερά, αλλά και μέτριας. Ενώ, ο NSFWQI στις περιπτώσεις που δεν ταυτίζεται με το WFD – EC, απέχει από αυτό μόνο μία κλάση, με εξαίρεση δύο σημεία, στον πυθμένα των Σερβίων (Ιούλιος 2004) και του Φράγματος (Απρίλιος 2005), όπου απέχουν 2 κλάσεις.

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω προκύπτουν τα γενικά συμπεράσματα αυτής της περίπτωσης μελέτης, για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, για τον τεχνητό ταμιευτήρα Πολυφύτου, στον Αλιάκμονα.

Ο δείκτης ελέγχου ποιότητας νερού RPI, σύμφωνα με το τυπολόγιό του, αξιολογεί τα νερά του ταμιευτήρα κυρίως μετρίως ρυπασμένα προς καλά. Όμως, παρουσιάζει και βαριά ρύπανση του νερού στον πυθμένα του Ρυμνίου και των Σερβίων, τον Ιούλιο του 2004.

Ο δείκτης του Όρεγκον, με βάση την ταξινόμηση του νερού σε τιμές διαστήματος 0 – 100, γενικά χαρακτηρίζει την ποιότητα του νερού ως πολύ φτωχή, ενώ αναδεικνύει εξαιρετική ποιότητα (αφού πλησιάζει το 90) στην επιφάνεια του σταθμού παρακολούθησης του Φράγματος, το Μάρτιο του 2005.

Κατά τη σύγκριση των δύο δεικτών με την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας πλαίσιο, WFD – EC, ο δείκτης που αναδείχθηκε ως ο πιο σωστός, με καλύτερα αποτελέσματα, τα οποία πλησιάζουν την πραγματικότητα, είναι ο RPI. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει από το γεγονός ότι ο RPI κυμαίνεται στις κλάσεις του WFD – EC, σε αντίθεση με τον OWQI, ο οποίος αγγίζει χαμηλότερες κλάσεις ταξινόμησης.

Παρ' όλο ότι ο OWQI χρησιμοποιεί περισσότερες παραμέτρους νερού (8 παράμετροι) από τον RPI (4 παράμετροι), κάτι το οποίο θα έπρεπε να καθιστά το δείκτη πιο αποτελεσματικό, οι παραδοχές και οι διάφορες μετατροπές κατά τον υπολογισμό του δεν βοήθησαν στην αποτελεσματικότητά του. Άλλος παράγοντας, που ίσως επηρέασε την ορθότητα του OWQI, είναι ότι ο δείκτης αυτός δημιουργήθηκε σύμφωνα με τη γεωλογική σύσταση των λεκανών απορροής του Όρεγκον, η οποία διαφέρει σημαντικά από αυτήν του Αλιάκμονα.

Τέλος, συγκρίνοντας τον RPI με τον NSFQI, ο δείκτης που περιγράφει καλύτερα το υδάτινο σώμα του ταμιευτήρα είναι ο NSFQI. Ο NSFQI για την παραγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιεί περισσότερες παραμέτρους (9 παραμέτρους) από τον RPI. Ακόμα, κατά την αντιστοίχισή του με το WFD – EC, τα διαστήματα ταξινόμησης του δείκτη ταυτίστηκαν με τις κλάσεις του WFD – EC, σε αντίθεση με τον RPI, ο οποίος χρησιμοποίησε μόνο τέσσερις κλάσεις. Έτσι, ο NSFQI περιέγραψε πιο ολοκληρωμένα την ποιότητα του νερού του Πολυφύτου, σύμφωνα με το WFD – EC.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Άζωτο Αμμωνίας (NH₃ – N)

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	NH ₃ -N (μg/L)	NH ₃ -N (μg/L)	NH ₃ -N (μg/L)	NH ₃ -N (μg/L)	NH ₃ -N (μg/L)	NH ₃ -N (μg/L)
Ιουν-04	89,60	75,68	88,86	235,45	128,47	93,80
Ιουλ-04	87,54	70,16	65,31	85,40	216,67	70,16
Αυγ-04	60,04	23,47	46,28	66,29	19,35	110,44
Σεπ-04	387,55	175,00	371,58		133,33	182,66
Οκτ-04	118,75	114,64	86,31		103,52	
Νοε-04	157,87	147,00	109,78		135,22	
Δεκ-04	252,58	273,82	370,59		276,54	
Ιαν-05	213,46	199,71	247,06		234,71	
Φεβ-05	199,71	65,22	53,53		82,35	
Μαρ-05	53,53	94,71	29,48	53,53	37,06	192,87
Απρ-05	76,18	38,46	82,35	72,72	43,24	77,58
Μαϊ-05	163,31	102,28	94,71	187,35	75,52	76,18

Άζωτο Νιτρικού (NO₃ – N)

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	NO ₃ -N (μg/L)	NO ₃ -N (μg/L)	NO ₃ -N (μg/L)	NO ₃ -N (μg/L)	NO ₃ -N (μg/L)	NO ₃ -N (μg/L)
Ιουν-04	34,91	33,24	28,43	36,33	28,45	30,46
Ιουλ-04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αυγ-04	0,00	0,00	19,44	0,00	32,34	0,00
Σεπ-04	114,28	72,26	30,08	20,44	38,88	0,00
Οκτ-04	120,54	99,31	65,12	20,44	63,47	10,64
Νοε-04	3,25	3,70	1,51	20,44	0,88	10,64
Δεκ-04	0,00	0,00	0,00	20,44	0,00	10,64
Ιαν-05	95,25	17,07	0,00	20,44	0,00	10,64
Φεβ-05	4,85	7,56	0,00	20,44	0,00	10,64
Μαρ-05	81,90	23,12	35,81	34,44	12,31	0,00
Απρ-05	12,92	32,06	32,52	34,53	32,52	30,01
Μαϊ-05	31,70	15,33	9,03	17,32	17,52	13,98

Διαλυμένο Οξυγόνο – Κορεσμός (DO)

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	DO %	DO %	DO %	DO %	DO %	DO %
Ιουν-04	95,54	72,6	85,1	1,34	61,25	76,13
Ιουλ-04	77,53	72,96	80,49	58,66	18,13	56,52
Αυγ-04	70,16	94,1	100,77	47,56	11,67	70,66
Σεπ-04	76,45	64,04	60,5	50,85	12,99	46,99
Οκτ-04	57,33	44,86	48,63	42,46	38,53	64,18
Νοε-04	48,28	44,44	42,97	36,67	38,86	57,94
Δεκ-04	31,04	27,29	24,8	35,95	26,83	51,63
Ιαν-05	46,05	32,12	26,62	34,35	30,45	48,71
Φεβ-05	26,46	29,85	29,78	33,74	27,18	48,71
Μαρ-05	56,41	49,18	58,17	53,91	37,92	49,7
Απρ-05	41,84	98,65	37,03	34,1	87,02	49,2
Μαι-05	91,27	71,02	97,48	75,11	54,59	78,79

Φώσφορος Φωσφορικών (PO₄ – P)

	Ρυμνίο επ.	Σέρβια επ.	Φράγμα επ.	Ρυμνίο πυθ.	Σέρβια πυθ.	Φράγμα πυθ.
	PO ₄ -P (μg/L)	PO ₄ -P (μg/L)	PO ₄ -P (μg/L)	PO ₄ -P (μg/L)	PO ₄ -P (μg/L)	PO ₄ -P (μg/L)
Ιουν-04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ιουλ-04	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αυγ-04	1,15	4,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Σεπ-04	11,90	4,34	6,38	3,05	6,57	5,52
Οκτ-04	22,91	2,33	0,00	3,05	4,63	3,02
Νοε-04	3,48	4,34	1,74	3,05	5,81	3,02
Δεκ-04	3,77	0,00	4,63	3,05	0,00	3,02
Ιαν-05	0,00	1,74	4,93	3,05	2,62	3,02
Φεβ-05	8,43	10,72	0,00	3,05	8,71	3,02
Μαρ-05	2,90	0,00	0,00	2,90	0,00	1,44
Απρ-05	0,00	9,00	13,05	15,38	0,00	0,00
Μαϊ-05	0,00	0,00	9,57	0,00	8,43	14,20

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). *Water quality indices*. Elsevier.
- 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.
- Benejam, L., Aparicio, E., Vargas, M. J., Vila-Gispert, A., & García-Berthou, E. (2008). Assessing fish metrics and biotic indices in a Mediterranean stream: effects of uncertain native status of fish. *Hydrobiologia*, 603(1), 197-210.
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water Sa*, 33(1), 101-106.
- Cude, C. G. (2001). Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137.
- Dunnette, D. A. (1979). A geographically variable water quality index used in Oregon. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 53-61.
- Fallah, M., & Zamani-Ahmadmahmoodi, R. Assessment of water quality in Iran's Anzali Wetland, using qualitative indices from 1985, 2007, and 2014. *Wetlands Ecology and Management*, 1-9.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2004). Physico-chemical water quality indices-a comparative review. *Revista BISTUA ISSN*, 120, 4211.
- Liou, S. M., Lo, S. L., & Hu, C. Y. (2003). Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan. *Water Research*, 37(6), 1406-1416.
- Liou, S. M., Lo, S. L., & Wang, S. H. (2004). A generalized water quality index for Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96(1), 35-52.
- Lohani, B. N., & Maw-Sen, C. (1987). Water classification in the Tanshui river basin in Taiwan. *International Journal of Water Resources Development*, 3(3), 154-164.
- Hoseinzadeh, E., Khorsandi, H., Wei, C., & Alipour, M. (2015). Evaluation of Aydughmush River water quality using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), River Pollution Index (RPI), and Forestry Water Quality Index (FWQI). *Desalination and Water Treatment*, 54(11), 2994-3002.
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., & Myers, B. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of The Total Environment*, 589, 107-116.

Moss, B., Stephen, D., Alvarez, C., Becares, E., Bund, W. V. D., Collings, S. E., ... & Fernández-Aláez, M. (2003). The determination of ecological status in shallow lakes—a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13(6), 507-549.

Mourhir, A., Rachidi, T., & Karim, M. (2014). River water quality index for Morocco using a fuzzy inference system. *Environmental Systems Research*, 3(1), 1-12.

Pesce, S. F., & Wunderlin, D. A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River. *Water Research*, 34(11), 2915-2926.

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.

Said, A., Stevens, D. K., & Sehlke, G. (2004). An innovative index for evaluating water quality in streams. *Environmental management*, 34(3), 406-414.

Sarkar, C., & Abbasi, S. A. (2006). QUALIDEX—a new software for generating water quality indice. *Environmental monitoring and assessment*, 119(1), 201-231.

Şener, Ş., Şener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584, 131-144.

Štambuk-Giljanović, N. (1999). Water quality evaluation by index in Dalmatia. *Water Research*, 33(16), 3423-3440.

Terrado, M., Barceló, D., Tauler, R., Borrell, E., & de Campos, S. (2010). Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(1), 40-52.

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.

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

<http://wq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx?Languages=en>

<http://www.hbuehrer.ch/Rechner/O2satur.html>

<http://www.oregongeology.org/geologicmap/>

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WshASKiSGk8%3D&tabid=924&language=el-GR>

