



Τμήμα Περιβάλλοντος

Σχολή Τεχνολογίας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



«ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DANIEL»



Πτυχιακή Εργασία

Σιάκα Μαρίνα

AM3020019

Λάρισα 2024

«ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DANIEL»

Πτυχιακή Εργασία

Σιάκα Μαρίνα

AM3020019

Επιβλέπων Καθηγητής :

Κακάβας Κωνσταντίνος,
Επίκουρος Καθηγητής

Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Η παρακάτω υπογράφουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

ΣΙΑΚΑ ΜΑΡΙΝΑ

13/09/2024

Ευχαριστίες

Χωρίς τους ανθρώπους που με στήριξαν δεν θα είχα καταφέρει ούτε να μπω στην σχολή το 2020. Για αυτό το λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την μητέρα μου Βάσω και τον αδερφό μου Γιάννη που στερήθηκαν πολλά για να μπορέσω να σπουδάσω και ελπίζω να τους έκανα έστω και λίγο περήφανους με αυτό μου το επίτευγμά. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω και τους αφανείς ήρωες που μπορεί να ήταν ενεργά δίπλα μου αλλά έβαλαν και αυτοί το χεράκι τους όταν δυσκόλευαν τα πράγματα, ξέρουν αυτοί ποιοι είναι.

Σημαντική βοήθεια έλαβα και από τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Κάκβα Κωνσταντίνο, που με στήριξε από την πρώτη στιγμή που του ανέφερα το θέμα της εργασίας μου. Χωρίς αυτόν θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί το πειραματικό κομμάτι της διατριβής, καθώς ήταν ο άνθρωπος που μου παρείχε ακόμη και το προσωπικό του εργαστήριο για να μπορέσω να διεξάγω τις αναλύσεις. Μαζί με αυτόν θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κυρία Μαρίνα Λαμπρονίκου που με καθοδήγησε και μου έμαθε τα πάντα για το κομμάτι των μικροβιολογικών αναλύσεων. Χωρίς την συμβολή της τίποτα δεν θα ήταν το ίδιο.

Φυσικά δεν μπορώ να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου τα τέσσερα χρόνια των σπουδών μας. Εύη, Άννα, Λένια και Πλάτωνα σας ευχαριστώ για όλα! Ειδικότερη ευχαριστία στον φίλο μου Παναγιώτη και την φίλη μου Εβελίνα που χωρίς δεύτερη σκέψη με ακολούθησαν στην λίμνη για να πάρουμε δείγματα. Χωρίς αυτούς και με τις συνθήκες που έγινε η δειγματοληψία πολύ πιθανό να είχα πνιγεί στη λίμνη. Σας ευχαριστώ που δεν λέτε όχι σε καμία τρελή μου ιδέα!

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΚΡΟΝΥΜΙΑ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
Abstract.....	3
Key words.....	3
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΤΟ ΝΕΡΟ	4
1.1 Σημαντικότητα ύδατος για την ζωή	4
1.2 Κατανομή γλυκού νερού παγκοσμίως	5
1.3 Διαχείριση Υδατικών Πόρων	6
1.4 Λιμναία Οικοσυστήματα.....	8
1.5 Ποιότητα νερού.....	9
1.5.1 Συνθήκες Αναφοράς – Οικολογική Κατάσταση.....	10
1.6 Θεσμικό Πλαίσιο προστασίας Υδάτων	12
1.6.1 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τα ύδατα.....	12
1.6.2 Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/EK	13
1.6.3 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο για τα ύδατα.....	15
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Η ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ.....	17
2.1 Η περιοχή μελέτης.....	17
2.2 Η αποξήρανση της Λίμνης	20
2.3 Μετά την αποξήρανση της λίμνης.....	21
2.4 Ο επαναπλημμυρισμός της Λίμνης Κάρλα.....	23
2.4.1 1 ^η Μελέτη επαναπλημμυρισμού	23
2.4.2 2 ^η Μελέτη επαναπλημμυρισμού	24
2.4.3 Τελικό σχέδιο επαναπλημμυρισμού	24
2.5 Καθεστώς προστασίας λίμνης	25
2. Η καταιγίδα Daniel και οι επιπτώσεις στη λίμνη.....	26
2.6.1 Το φαινόμενο Daniel.....	26
2.6.2 Οι επιπτώσεις του Daniel στη λίμνη	28
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	31
3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπό ανάλυση.....	32
3.2 Ποιοτική κατάσταση επιφανειακών υδάτων λίμνης Κάρλα πριν το φαινόμενο Daniel	36
3.3 Αναλυτικές μέθοδοι	37
3.3.1 Προετοιμασία θρεπτικών υλικών - δειγμάτων	37

3.3.2 Μικροβιολογική Ανάλυση.....	39
3.3.3 Χημική Ανάλυση	45
4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
4.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις.....	51
4.1.1 Κολοβακτηριοειδή – Escherichia coli	51
4.1.2 Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα	55
4.1.3 Εντερόκοκκος	57
4.2 Χημικές αναλύσεις.....	59
4.2.1 Αμμώνιο NH_4^+	59
4.2.2 Νιτρικά NO_3	61
4.2.3 Χαλκός Cu.....	61
4.2.4 Φώσφορος P	63
4.2.5 Σίδηρος Fe	64
4.2.6 Μαγγάνιο Mn.....	65
4.2.7 pH.....	66
4.2.8 Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο COD.....	68
4.2.9 Αγωγιμότητα.....	69
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	77
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	78
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	81

ΑΚΡΟΝΥΜΙΑ

COD : Chemical Oxygen Demand
CFU : Colony Forming Unit
DO : Dissolved Oxygen
SI : International System of Units
TDS : Total Dissolved Solids
WHO : World Health Organization
BA : Βορειοανατολικά
ΒΔ : Βορειοδυτικά
ΔΥΠ : Διαχείριση Υδατικών Πόρων
ΕΕ : Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚ : Ευρωπαϊκή Κοινότητα
ΕΟΚ : Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
ΙΤΥΣ : Ιδιαιτέρως Τροποποιημένα Υδατικά Συστήματα
ΚΥΑ : Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΟΔ : Μέγιστο Οικολογικό Δυναμικό
ΝΑ : Νοτιοανατολικά
ΟΗΕ : Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΟΜΧ : Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα
ΟΠΥ : Οδηγία Πλαίσιο Υδάτων
ΟΦΥΠΕΚΑ : Φορέας Διαχείρισης Κάρλας – Μαυροβουνίου
– Κεφαλόβρυσου – Βελεστίνου – Δέλτα Πηνειού
ΠΔ : Προεδρικό Διάταγμα
ΠΠΠ : Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος
ΣΔΛΑΠ : Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής
ΤΥΣ : Τεχνητά Υδάτινα Συστήματα
ΥΣ : Υδατικό Σύστημα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σημασία των υδροβιότοπων για την φύση και τον άνθρωπο αναγνωρίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την Διακήρυξη της Βενετίας το 1996. Επομένως, τα βλήματα παγκοσμίως είναι στραμμένα στα προβλήματα που σχετίζονται με την επάρκεια, την διασφάλιση και την αειφορική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Η κλιματική αλλαγή και τα ακραία φαινόμενα που εκτυλίσσονται τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς αποτελούν τη βάση του προβλήματος μαζί με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Δεν θα μπορούσε να μείνει ανεπηρέαστος, λοιπόν, και ο Θεσσαλικός Κάμπος από την γενικότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση που υφίσταται ο πλανήτης μας. Ο Θεσσαλικός Κάμπος αποτελεί την μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση σε όλη την χώρα, που όμως τα τελευταία 125 χρόνια έχει δεχθεί πάνω από 10 ακραία πλημμυρικά φαινόμενα με τελευταίο αυτό που προκλήθηκε από την καταιγίδα Daniel τον Σεπτέμβριο του 2023. Αποτέλεσμα του τελευταίου ήταν να χαθούν 17 ανθρώπινες ζωές, πάνω από 200.000 ζώα και να βρεθούν κάτω από το νερό περισσότερα από 800.000στρ καλλιεργήσιμης και όχι μόνο γης. Υπολογίζεται πως οι υλικές ζημιές ανέρχονται στα 2.000.000.000€, ενώ παράλληλα παραμένουν ανυπολόγιστες οι κοινωνικοπολιτισμικές συνέπειες. Αναπόφευκτο λοιπόν, φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα της μόλυνσης και της γενικευμένης υποβάθμισης τους περιβάλλοντος από ένα τόσο ακραίο φαινόμενο. Οι συνέπειες της πλημμύρας εξαπλώνονται σε όλη σχεδόν την έκταση της Θεσσαλίας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή και αξιολόγηση των επιπτώσεων που επέφερε, το φαινόμενο Daniel, στην Λίμνη Κάρλα και στα ποιοτικά και μικροβιολογικά της χαρακτηριστικά. Οι αναλύσεις δειγμάτων νερού και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με δεδομένα από παλαιότερες έρευνες, έδειξαν ότι οι προσπάθειες που γίνονται το τελευταίο διάστημα για την αποκατάσταση των επιπτώσεων από την ρύπανση και την ανεξέλεγκτη άντληση των υδάτων απέχουν παρασάγγας από την πραγματική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η λίμνη Κάρλα, ήταν η μεγαλύτερη αρχαιότερη λίμνη της χώρας που εκτεινόταν στο ΝΑ άκρο της θεσσαλικής πεδιάδας, βοήθησε την οικονομική ανάπτυξη και ευημερία των οικισμών, που σχηματίστηκαν στην κάρλια περιοχή. Το καθεστώς απασχόλησης του πληθυσμού της περιοχής ήταν το εξής: Οι ορεινοί κάτοικοι ήταν ψαράδες, ενώ οι παραλίμνιοι ήταν γεωργοί. Με σκοπό την απόκτηση περισσότερων καλλιεργήσιμων γαιών, την ανάσχεση των πλημμυρών και την αντιμετώπιση της ελαιοσιότητας πάρθηκε η απόφαση το 1962 να γίνει αποξήρανση του ταμειευτήρα μέσω σήραγγας αποστράγγισης προς τον Παγασητικό Κόλπο. Τα κακώς κείμενα όμως αυτής της απόφασης δεν άργησαν να κάνουν την εμφάνισή τους. Τα χωράφια της περιοχής άρχισαν να μην είναι παραγωγικά, οι πλημμύρες δεν σταμάτησαν ποτέ και σιγά σιγά οι ψαράδες έχασαν την δουλεία τους. Οι συνέπειες αυτές είχαν απροσπέλαστες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που ανάγκασαν την αρμόδια αρχή να λάβει την απόφαση επαναπλημμυρισμού της λίμνης μόλις 15 χρόνια μετά από την αποξήρανση της. Οι συνέπειες της πρώτης απόφασης, ακόμη και μετά την ολοκλήρωση του έργου το 2018, έχουν μείνει ανεξίτηλες στο περιβάλλον της λίμνης καθώς πολλά από τα προβλήματα που προκάλεσε η αποξήρανση δεν έχουν ακόμη επιλυθεί.

Abstract

The importance of wetlands for nature and humans was recognized by the European Union with the Venice Declaration in 1996. Consequently, global attention is focused on issues related to the adequacy, security, and sustainable management of water resources. Climate change and extreme phenomena occurring both in our country and internationally are at the root of the problem, along with human activity. Thus, the Thessalian Plain could not remain unaffected by the broader environmental degradation facing our planet. The Thessalian Plain is the largest cultivable area in the country, but over the last 125 years, it has experienced more than 10 extreme flood events, the latest being caused by Storm Daniel in September 2023. As a result of this last event, 17 human lives were lost, over 200,000 animals died, and more than 800,000 acres of cultivable land were submerged. The material damages are estimated to be €2,000,000,000, while the socio-cultural consequences remain incalculable. The outcome of pollution and generalized environmental degradation from such an extreme event seems inevitable. The consequences of the flood extend across almost the entire region of Thessaly.

The purpose of this paper is to document and evaluate the impact of the Daniel Storm on Lake Karla and its qualitative and microbiological characteristics. Analyses of water samples and comparison of the results with data from earlier researches showed that the recent efforts to restore the effects of pollution and uncontrolled water extraction are far from adequately addressing the problem.

Lake Karla was the largest and oldest lake in the country, located at the southeast edge of the Thessalian plain. It contributed to the economic development and prosperity of the settlements that formed in the Karla region. The employment status of the area's population was as follows: the mountain residents were fishermen, while the lakeside residents were farmers. In order to acquire more arable land, prevent floods, and combat malaria, a decision was made in 1962 to drain the reservoir through a drainage tunnel leading to the Pagasetic Gulf. However, the negative consequences of this decision soon became apparent. The fields in the area began to lose productivity, the floods never stopped, and gradually, the fishermen lost their jobs. These consequences had insurmountable socio-economic impacts, forcing the competent authority to decide to reflood the lake just 15 years after its drainage. The effects of the first decision, even after the completion of the project in 2018, remain indelible in the lake's environment, as many of the problems caused by the drainage have yet to be resolved.

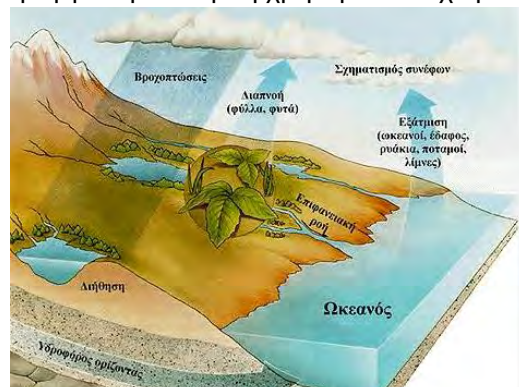
Key words: Lake Karla, wetlands, Daniel Storm, floods, qualitative and microbiological characteristics

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΤΟ ΝΕΡΟ

1.1 Σημαντικότητα ύδατος για την ζωή

Ανεξάρτητα από το φύλο, την φυλή, την θρησκεία, το επάγγελμα ή την κοινωνική μας κατάταξη όλοι ανεξαιρέτως βρισκόμαστε σε άμεση εξάρτηση με το νερό. Είναι απαραίτητο για την διασφάλιση της υγείας μας και την παραγωγή της τροφής μας. Όμως, είναι εξίσου σημαντικό και για κάθε άλλη μορφή ζωής πάνω στον πλανήτη. Ζώα και φυτά αν δεν καταναλώσουν την απαραίτητη ποσότητα νερού για μερικές ημέρες μπορούν να βρεθούν ακόμη και στα πρόθυρα του θανάτου. Το νερό είναι σημαντικό τόσο για την ζωή μας αυτή καθαυτή, όσο και για την κοινωνική μας ζωή. Το χρειαζόμαστε στην βιομηχανία, στις μεταφορές, ακόμη και για να αλλάζουν οι εποχές και τα χρώματα. Επομένως, θα περίμενε κανείς αυτό το σχεδόν «ιερό» αγαθό να το φυλάμε σαν το άγιο δισκοπότηρο. Αντ' αυτού το σπαταλάμε, το μολύνουμε και το λεηλατούμε με κάθε ευκαιρία ξεχνώντας το πόσο σημαντικό είναι και για την δική μας επιβίωση.

Το ανθρώπινο είδος εξελίχθηκε έχοντας στην διάθεση του άφθονη ποσότητα ύδατος και σχεδόν από την αρχή υπήρχε η ανάγκη για ορθολογική χρήση και διαχείριση του. Ήδη από την εποχή των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων υπάρχουν αναφορές για τα τέσσερα στοιχεία της φύσης : αέρας, γη, φωτιά και νερό, που χωρίς έστω και ένα από αυτά δεν μπορεί να υπάρξει η ζωή. Τρεις χιλιάδες χρόνια μετά η αντίληψη αυτή παραμένει ίδια, με την διαφορά πως στον σύγχρονο κόσμο η αναφορά των στοιχείων γίνεται ως ατμόσφαιρα (αέρας), οικοσύστημα (γη), ενέργεια (φωτιά) και νερό. Μέχρι και πριν την Βιομηχανική Επανάσταση



Εικόνα 1: Ο Υδρολογικός Κύκλος
Πηγή: <https://www.noesis.edu.gr/>

(1760-1860) το νερό και ο αέρας θεωρούνταν δύο ανεξάντλητοι φυσικοί πόροι και η σπατάλη τους ήταν σχεδόν ανεξέλεγκτη. Τα τελευταία 250 χρόνια όμως έχουν αρχίσει να εμφανίζονται επικίνδυνα επίπεδα μόλυνσης και κυρίως γίνεται όλο ένα και δυσκολότερη η εύρεση νέων «καθαρών» πηγών τους. Επιπρόσθετα, η άνοδος της χρήσης ορυκτών καυσίμων, για παραγωγή ενέργειας, έχει θέσει σε κίνδυνο πολλά είδη ανάμεσα σε αυτά και το ανθρώπινο. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η δημιουργία δύο απροσπέλαστων ζητημάτων που καλείται να επιλύσει η παγκόσμια κοινότητα, αυτό της ενέργειας και αυτό της εξάντλησης των υδάτινων πόρων. Η ελεύθερα διαθέσιμη ποσότητα του νερού εσωκλείεται στο εσωτερικό της βιόσφαιρας και ισούται με την ποσότητα των υδάτων που κινούνται μέσα στον υδρολογικό κύκλο. Από τα περίπου 325 εκατομμύρια κυβικά μίλια του διαθέσιμου νερού της Γης μόνο το 2,5% είναι γλυκό (περιεκτικότητα σε αλάτι < 0,1%), ενώ το υπόλοιπο 97,5% είναι οι αλμυρές θάλασσες και οι ωκεανοί. (Μυλόπουλος, 2001) Το νερό που πραγματικά καταναλώνουμε προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Με την ποσότητα της βροχής λοιπόν, να είναι

περιορισμένη και με δεδομένο ότι δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε κάθε τελευταία σταγόνα της εύκολα καταλαβαίνουμε γιατί το νερό θεωρείτε αγαθό σε ανεπάρκεια. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αντίθεση με κάθε άλλο οικονομικό προϊόν, το νερό δεν έχει υποκατάστατα. Κατά συνέπεια, η ορθολογική χρήση και διαχείριση του είναι ο μοναδικός τρόπος να διασφαλιστεί η επάρκεια του και για τις επόμενες γενιές.

1.2 Κατανομή γλυκού νερού παγκοσμίως

Η κατανομή του υδατικού δυναμικού καθορίζεται από τον υδρολογικό κύκλο, δηλαδή από τον μηχανισμό συνεχούς κίνησης του νερού εντός της βιόσφαιρας. Ο πλανήτης καλύπτεται κατά τα 2/3 του από νερό, γεγονός που μας δίνει την ψευδαίσθηση πως το νερό είναι ανεξάντλητος φυσικός πόρος. Όμως, ας μην ξεχνάμε πως η κατανομή του είναι άνιση. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, περίπου το 2,5% του συνολικού όγκου του διαθέσιμου νερού έχει τα κατάλληλα ποιοτικά χαρακτηριστικά για να είναι εν δυνάμει αξιοποιήσιμο από τον άνθρωπο. Η ποσότητα του διαθέσιμου γλυκού νερού επομένως, αντιστοιχεί σε περίπου 8,13 εκατομμύρια κυβικά μίλια. Από αυτά το 71% είναι δεσμευμένο στα παγόβουνα, τους παγετούς των πόλων και στις μόνιμα χιονισμένες κορυφές των υψηλών βουνών. Πρακτικά αυτοί οι πόροι είναι αδύνατο να αξιοποιηθούν από τον άνθρωπο καθώς δεν λιώνουν ποτέ ώστε να εισχωρήσουν στον υδρολογικό κύκλο. Το υπόλοιπο 29% είναι μοιρασμένο στις λίμνες, τα ποτάμια, την ατμόσφαιρα, το έδαφος και το υπέδαφος. Οι μεγαλύτερες δεξαμενές νερού με ποιότητα εξέχουσα της ικανοποιητικής για κατανάλωση από τον άνθρωπο βρίσκονται στο υπέδαφος, σε βάθη που είναι οικονομικά ασύμφορο να γίνει η άντληση τους. Έτσι, μας απομένει μια ποσότητα περίπου 65.000 κυβικών μιλίων νερού που μόνο ανεξάντλητη δεν μπορεί να θεωρηθεί. (Μυλόπουλος, 2001)

Με τον όρο άνιση κατανομή νερού εννοούμε:

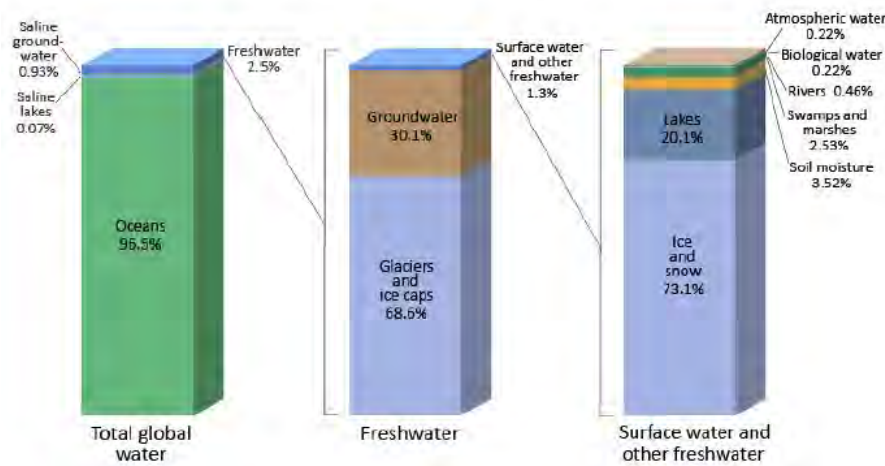
- Διαφορές στη ζήτηση μεταξύ των χρήσεων του νερού.
- Χρονική ανισοκατανομή, αυξημένη ζήτηση νερού τους θερινούς μήνες με μειωμένη προσφορά και αντίστροφα μειωμένη ζήτηση τους χειμερινούς μήνες με αυξημένη προσφορά.
- Χωρική ανισότητα, ψηλά βουνά με περίσσεια υδατικού ισοζυγίου και πεδιάδες με ελλειμματικό ισοζύγιο.

(Briscoe, 1996)

Η ανισοκατανομή του νερού οφείλεται επίσης στις διάφορες καταστάσεις στις οποίες το συναντάμε μέσα στον υδρολογικό κύκλο (νερό, πάγος, υδρατμοί). Βασικός παράγοντας που καθορίζει την κατάσταση του είναι οι κλιματικές συνθήκες και ο ρυθμός εναλλαγής τους. Η ένταση των βροχοπτώσεων, η μεταβολή της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια της εξατμισοδιαπνοής. Εξίσου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αλλαγές στη χρήση γης, η δημιουργία ή αποξήρανση ταμιευτήρων, τα έργα εκτροπής ποταμών είναι μερικά παραδείγματα ανθρώπινης παρέμβασης που έχουν

προκαλέσει στο παρελθόν προβλήματα λειψυδρίας στις περιοχές που πραγματοποιήθηκαν.

Η χώρα μας θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στις ελαφρώς πλούσιες σε υδατικό δυναμικό περιοχές. Αυτό οφείλεται στην εναλλαγή της γεωμορφολογίας του εδάφους της. Όμως, μεγάλες περίοδοι χωρίς βροχόπτωση μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες περιόδους λειψυδρίας στις πεδινές περιοχές της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα στην δυτική Ελλάδα τα χιλιοστά βροχής που πέφτουν ετησίως ξεπερνούν τα 1000 ενώ οι κατακρημνίσεις στο ανατολικό κομμάτι είναι σχεδόν το 1/3. Αντίστοιχα, στη βόρεια Ελλάδα υπάρχουν πολλοί διασυννοριακοί ποταμοί (Έβρος, Αξιός κ.α) που βοηθούν στην ενίσχυση του υδατικού αποθέματος στις λεκάνες απορροής τους. Από τα παραπάνω μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε την έννοια της άνισης κατανομής του υδατικού αποθέματος στη χώρα μας που σε συνδυασμό με την μη ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων οδηγούν σε φαινόμενα λειψυδρίας.



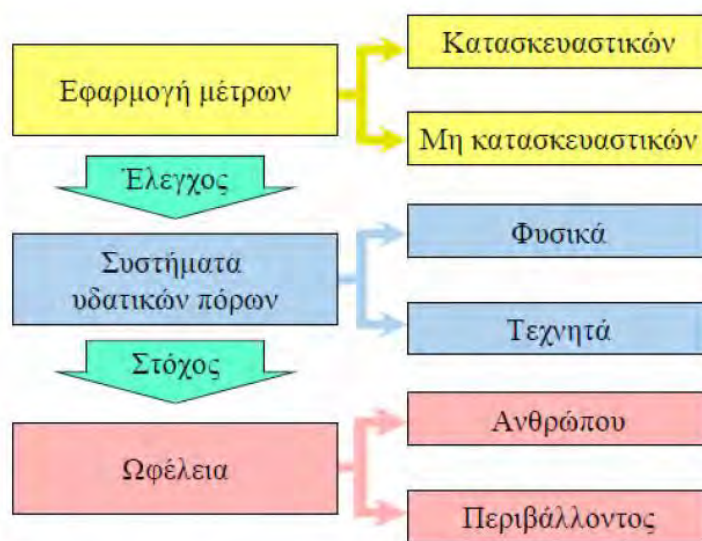
Εικόνα 2: Παγκόσμια Κατανομή νερού
Πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης

1.3 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Κοινή πραγματικότητα για όλους μας αποτελεί το γεγονός ότι οι διαθέσιμοι πόροι νερού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι σταδιακά μειούμενοι. Πολλοί επιστήμονες και ειδικοί στην διαχείριση του νερού κάνουν λόγο για την κλιματική αλλαγή και τις σοβαρές συνέπειες που προκαλεί στα αποθέματα. Ας μην ξεχνάμε όμως τον νόμο της προσφοράς και της ζήτησης. Για να υπάρξει ισορροπία μεταξύ τους θα πρέπει η προσφερόμενη ποσότητα να είναι σταθερή, ενώ ταυτόχρονα και η ζητούμενη ποσότητα παραμένει εξίσου στα ίδια επίπεδα. Στην πράξη όμως κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Η πληθυσμιακή αύξηση των τελευταίων αιώνων έχει οδηγήσει στην ραγδαία ζήτηση καθαρού πόσιμου νερού. Θα περίμενε κανείς ότι σε ένα μεσογειακό κλίμα όπως αυτό της Ελλάδας, με τους πλούσιους υδάτινους πόρους και με έντονα φαινόμενα βροχής το πρόβλημα της διαχείρισης νερού να μην είναι έντονο. Ένα τέτοιο συμπέρασμα όμως είναι τραγικά λάθος, αν σκεφτούμε τα φαινόμενα λειψυδρίας που αντιμετωπίζει η χώρα μας τα τελευταία τουλάχιστον 10 καλοκαίρια. Το πρόβλημα επιδεινώνεται με την έμμονη ρύπανση και την ανεξέλεγκτη

άντληση που καθιστούν τα λιγοστά πλέον αποθέματα ακατάλληλα προς εκμετάλλευση. Έτσι, ένα αγαθό όπως το νερό που είναι συνυφασμένο με την ζωή και την ανάπτυξη βρίσκεται σε έλλειψη, γεγονός που καθιστά ακόμη πιο επιτακτική την ανάγκη για εδραίωση μέτρων με στόχο την αντιμετώπιση της τρέχουσας κατάστασης. (ΥΠΕΚΑ, 2012)

Ως Διαχείριση Υδατικών Πόρων ορίζεται: μια σειρά από μεθοδολογίες και κανονισμούς που αποβλέπουν στην ολοκληρωμένη, κατά το δυνατό, κάλυψη των αναγκών σε νερό τόσο για την τρέχουσα γενιά όσο και για τις μελλοντικές, προετοιμάζει σχέδια και πλαίσια σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο που διασφαλίζουν την βέλτιστη χρήση του νερού, είναι υπεύθυνη για την ορθολογική εφαρμογή των μέτρων καθώς επίσης αναλαμβάνει τον συντονισμό και την κατασκευή των απαραίτητων υδραυλικών έργων. (Τσακίρης, Υδατικοί Πόροι: Τεχνική Υδρολογία, 1995)



Σχήμα 1: Σύστημα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
Πηγή: (Grigg, 1996)

Η «Διαχείριση Υδατικών Πόρων» (ΔΥΠ) οροθετήθηκε από την επιτροπή του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) και έχει ως στόχο:

- Την κάλυψη των αναγκών σε νερό με τις καλύτερες ποιοτικές, ποσοτικές και οικονομικές προτάσεις.
- Την βιώσιμη διαχείριση του νερού, με στόχο την διασφάλιση των πόρων και για τις επόμενες γενιές.
- Την διατήρηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.
- Την προστασία και εξασφάλιση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων.

Η ΔΥΠ είναι μια διαδικασία με χρονική διάρκεια πολύ μεγαλύτερη από την κατασκευή και λειτουργία ενός υδραυλικού έργου. Είναι απαραίτητη σε μία περιοχή όπου υπάρχουν ήδη ή κατασκευάζονται υδραυλικά έργα ή υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για έλλειψη / ρύπανση νερού. Όσο αυξάνεται η ένταση των πιέσεων τόσο αυξάνεται και η αναγκαιότητα της εφαρμογής πολιτικών διαχείρισης υδάτινων πόρων. Η εθνική και διεθνής βιβλιογραφία επιδεικνύει πληθώρα ερευνών και μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων και κατ' επέκταση την εφαρμογή βέλτιστων λύσεων. Αναλύουν το πολύπλοκο φυσικό περιβάλλον, την ένταση και την πολυπλοκότητα

των πιέσεων, τις χρήσεις γης, το κοινωνικό υπόβαθρο, τα διαθέσιμα οικονομικά και τεχνολογικά μέσα και καταλήγουν στην διαμόρφωση μίας πρότασης πάντα με πρωταρχικό στόχο την διαφύλαξη και την αειφορική διαχείριση του νερού. Όπως είναι φανερό το νερό θα πρέπει να εξετάζεται συνδυαστικά με όλους τους τομείς της οικονομίας και της κοινωνίας από τους οποίους εξαρτάται ή εξαρτώνται οι ίδιοι από αυτό.

Στην χώρα μας όμως, η έννοια της ΔΥΠ και ο καταμερισμός των αρμοδιοτήτων στους διάφορους φορείς αποτελεί ένα παζλ με πάρα πολλά κομμάτια που για να συνδεθούν απαιτείται η συνεργασία πληθώρας Υπουργείων, Τομέων, Υπηρεσιών και Οργανισμών. Η πολιτική της ΔΥΠ εκτός από απλή θεσμοθέτηση κανονισμών, νόμων και διαταγμάτων που στη συντριπτική πλειοψηφία τους δεν εφαρμόζονται ή εφαρμόζονται αποσπασματικά (κυρίως λόγω μη συνεννόησης των διαφόρων φορέων), θα πρέπει να διευθετήσει τις αλληλοεπικαλύψεις και τις συγκρούσεις των υπεύθυνων λήψης αποφάσεων με σκοπό να λαμβάνονται ταχύτερα τα μέτρα για την διαφύλαξη των υδάτινων πόρων αλλά και την διασφάλιση της ύδρευσης, άρδευσης.

1.4 Λιμναία Οικοσυστήματα

Ως λίμνη ορίζεται ένα υδάτινο σώμα που καταλαμβάνει μια ενδοηπειρωτική λεκάνη και περιέχει κατά κανόνα γλυκό ή υφάλμυρο νερό. Υπάρχουν βέβαια και λίμνες όπως η Κασπία που αποτελούνται από αλμυρό νερό. Ανάλογα με το βάθος τους οι λίμνες διαθέτουν τρεις ζώνες στρωμάτωσης: α. την εύφωτη ζώνη, στην οποία λαμβάνουν χώρα όλες οι διαδικασίες φωτοσύνθεσης και κυτταρικής αναπνοής όλων των έμβιων όντων της, β. το θερμοκλινές που είναι η ζώνη όπου χαρακτηρίζεται από απότομη πτώση της θερμοκρασίας του νερού και γ. την αφωτική ζώνη στην οποία υπάρχει έλλειψη φωτός και συνήθως εκεί γίνονται όλες οι διαδικασίες αποσύνθεσης της οργανικής ύλης της λίμνης. Ένα λιμναίο οικοσύστημα αποτελεί έναν σημαντικό υδατικό πόρο και βρίσκεται σε άμεση σύνδεση και αλληλεπίδραση με την ανθρώπινη κοινωνία και την βιοποικιλότητα γύρω του. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες κοντά σε μία λίμνη προκαλούν πιέσεις και οδηγούν στην διατάραξη των ισορροπιών και λειτουργιών της με αποτέλεσμα το οικοσύστημα να υφίσταται αλλαγές στη δομή του. (Α. Γκατζιούρα, 2012) Παράδειγμα τέτοιων δραστηριοτήτων αποτελεί η γεωργία, η κτηνοτροφία, η βιομηχανία, οι δραστηριότητες αναψυχής και ο τουρισμός εν γένει. Σημαντικές πιέσεις όμως προκαλούν και παράμετροι που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δράσης όπως είναι η κλιματική αλλαγή. Ως πιέσεις ορίζονται οι συνέπειες που προκύπτουν σε ένα οικοσύστημα όταν σε αυτό ασκούνται δυνάμεις, θετικές ή αρνητικές. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι όταν γίνεται λόγος για πιέσεις, συνήθως αναφερόμαστε στις αρνητικές συνέπειες. Στην περίπτωση της Βαλκανικής χερσονήσου οι πιο έντονες πιέσεις που ασκούνται σε λιμναία οικοσυστήματα αφορούν τις αλλαγές χρήσης γης. Παραδείγματος χάρη η αποξήρανση για απόκτηση καλλιεργήσιμων εκτάσεων ή εκτροπή της ροής των ποταμών που τα τροφοδοτούν για εξασφάλιση υδροδότησης σε κοντινές αστικές περιοχές. Άλλες πιέσεις μπορούν να θεωρηθούν οι απορροές από αγροτικές εκτάσεις, η ρίψη μερικών επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων και η εκτεταμένη παράνομη άρδευση. (Α. Γκατζιούρα, 2012)

Τον τελευταίο αιώνα στη χώρα μας έχουν πραγματοποιηθεί 10 αποξηράνσεις λιμνών με 3 από αυτές να αφορούν υδάτινα σώματα του Θεσσαλικού Κάμπου. Τέτοια είναι η λίμνη Ασκουρίδα που βρίσκεται στους νότιους πρόποδες του Ολύμπου, η λίμνη Νεσσωνής ή Νεσσωνίδα που μέρος αυτής βρίσκεται κοντά στο χωριό Καλοχώρι ΒΑ της Λάρισας και η λίμνη Κάρλα που πλέον έχει ανασυσταθεί ένα τμήμα της και βρίσκεται κοντά στο χωριό Στεφανοβίκειο. Άλλες τέτοιες λίμνες είναι η Κωπαΐδα, η Αμβρακία, η Αχερουσία και άλλες. Βασικός στόχος των αποξηράνσεων ήταν η αντιμετώπιση της ελonoσίας και η κάλυψη της ανάγκης απόκτησης γεωργικής γης. Όμως, ήδη από τα πρώτα χρόνια ξεκίνησαν να εμφανίζονται τα προβλήματα από την απώλεια των υδάτινων σωμάτων στις περιοχές. Η γεωργική εκμετάλλευση των γαιών δεν απέφερε τα προσδοκώμενα οφέλη και σε συνδυασμό με την βαθμιαία μείωση της γονιμότητας των εδαφών, μας οδηγεί ξεκάθαρα στο συμπέρασμα της λανθασμένης απόφασης για αποξήρανση. Άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν από αυτές τις αποφάσεις είναι η σταδιακή ταπείνωση του υπόγειου υδροφόρου συστήματος και η υφαλμύρωση του, με αποτέλεσμα να εντείνεται το πρόβλημα της αλκαλικότητας των εδαφών στον Θεσσαλικό Κάμπο. Επομένως, η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων οφείλει να είναι προτεραιότητα για τους φορείς λήψης αποφάσεων σχετικά με την διαχείριση των υδάτων μίας περιοχής. Απαιτείται η λήψη μέτρων για την αποκατάσταση των υπόγειων και επιφανειακών πόρων καθώς και για την αποφυγή επιπλέον υποβάθμισης του ήδη επιβαρυσμένου οικοσυστήματος. Η οδηγία πλαίσιο 2000/60/EK είναι το πλέον επικαιροποιημένο εργαλείο για την προστασία και διατήρηση των υδάτων, με πρωταρχικό στόχο την επίτευξη μίας «καλής οικολογικής κατάστασης».

1.5 Ποιότητα νερού

Η ποιότητα νερού χαρακτηρίζεται από τα φυσικοχημικά, βιολογικά και αισθητικά γνωρίσματα του, που το καθορίζουν κατάλληλο για τις διάφορες χρήσεις ενώ ταυτόχρονα το υδατικό οικοσύστημα παραμένει στην καλύτερη δυνατή κατάσταση. Τα πρότυπα ποιότητας νερού, όπως καθορίζονται από τα θεσμικά πλαίσια που θα αναλυθούν σε επόμενες παραγράφους, περιγράφουν με ακρίβεια τις παραμέτρους που έχουν οριστεί για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού. Παραθέτουν τα ανώτατα όρια που είναι επιτρεπτά ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων. Στην βιβλιογραφία όμως, υπάρχουν διάφορα είδη προτύπων. Άλλα δίνουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις των ουσιών προτεραιότητας, άλλα καθορίζουν τις ιδανικές συνθήκες για να είναι κατάλληλο το νερό για τις διάφορες χρήσεις (ύδρευση – άρδευση) (Vandas, 2002) και άλλα καθορίζουν το είδος και την ποιότητα των αποβλήτων που μπορούν να δεχτούν οι υδάτινοι αποδέκτες. (Τσακίρης, Υδάτινοι Πόροι: Τεχνική Υδρολογία, 1995) Τα κριτήρια με βάση τα οποία κατηγοριοποιείται ένας υδάτινος πόρος καθορίζονται από την τελική του χρήση. Οι βασικές χρήσεις μπορεί να είναι είτε αστική, είτε βιομηχανική, είτε αγροτική (γεωργία – κτηνοτροφία). Οι δευτερεύουσες χρήσεις του νερού αφορούν την αναψυχή (κολυμβητικά ύδατα), την ναυσιπλοΐα, τις ιχθυοκαλλιέργειες και τέλος την παραγωγή ενέργειας.

Τα θεσμικά πρότυπα που αφορούν την διασφάλιση της ποιότητας του νερού είναι πολύ πιο αυστηρά από άλλες οδηγίες και αποτελούν μέρος της εθνικής νομοθεσίας σε κάθε κράτος της Ευρωπαϊκής Ένωσης που τις έχει εντάξει στο δίκαιο του. Όσο η

τεχνογνωσία αυξάνεται και η εξέλιξη των μέσων που χρησιμοποιούνται γίνεται πιο περίπλοκη τόσο και τα πρότυπα ποιότητας γίνονται αυστηρότερα, πάντα με σκοπό την εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών για ένα υγιές υδάτινο περιβάλλον. Όλα τα πρότυπα ακολουθούν την ίδια διαδικασία για να θεσμοθετηθούν:

- Επιστημονική ανάλυση κινδύνων
- Ποσοτική εκτίμηση κινδύνου – κόστους προστασίας
- Θέσπιση στόχων
- Ρύθμιση πολιτικής διαχείρισης και προστασίας
- Δημόσια διαβούλευση
- Ορισμός οδηγιών και ενσωμάτωση στο δίκαιο της πολιτείας

1.5.1 Συνθήκες Αναφοράς – Οικολογική Κατάσταση

Όλα τα υδατικά οικοσυστήματα κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος των υδάτων από τα οποία αποτελούνται σε επιφανειακά και υπόγεια. Μια δεύτερη και ίσως σημαντικότερη κατηγοριοποίηση είναι αυτή της αξιολόγησης της ποιότητας των υδάτων ως προς την οικολογική τους κατάσταση, σε συνθήκες αναφοράς, υψηλή, μέτρια και κακή κατάσταση. Οι υδάτινοι πόροι ανεξάρτητα από το αν είναι επιφανειακοί ή υπόγειοι πρέπει να αξιολογούνται και ως προς την χημική τους κατάσταση σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων που έχει οργανώσει η αρμόδια αρχή της περιοχής στην οποία ανήκουν. Για τον προσδιορισμό της οικολογικής κατάστασης η διαδικασία που ακολουθείται είναι εξατομικευμένη για κάθε πόρο και εξαρτάται από τα μοναδικά του χαρακτηριστικά, τις πιέσεις που δέχεται, τους δείκτες αναφοράς που έχουν οριστεί και το ποσοστό απόκλισης από τις ιδανικές συνθήκες σε αντίστοιχα αδιατάρακτα οικοσυστήματα που έχουν μελετηθεί και παρέχονται στην βιβλιογραφία. Στόχος της αξιολόγησης της οικολογικής κατάστασης ενός οικοσυστήματος είναι η λήψη αποφάσεων σχετικά με τον



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης Οικολογικής Κατάστασης

Πηγή: Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ.)

Διαθέσιμο:

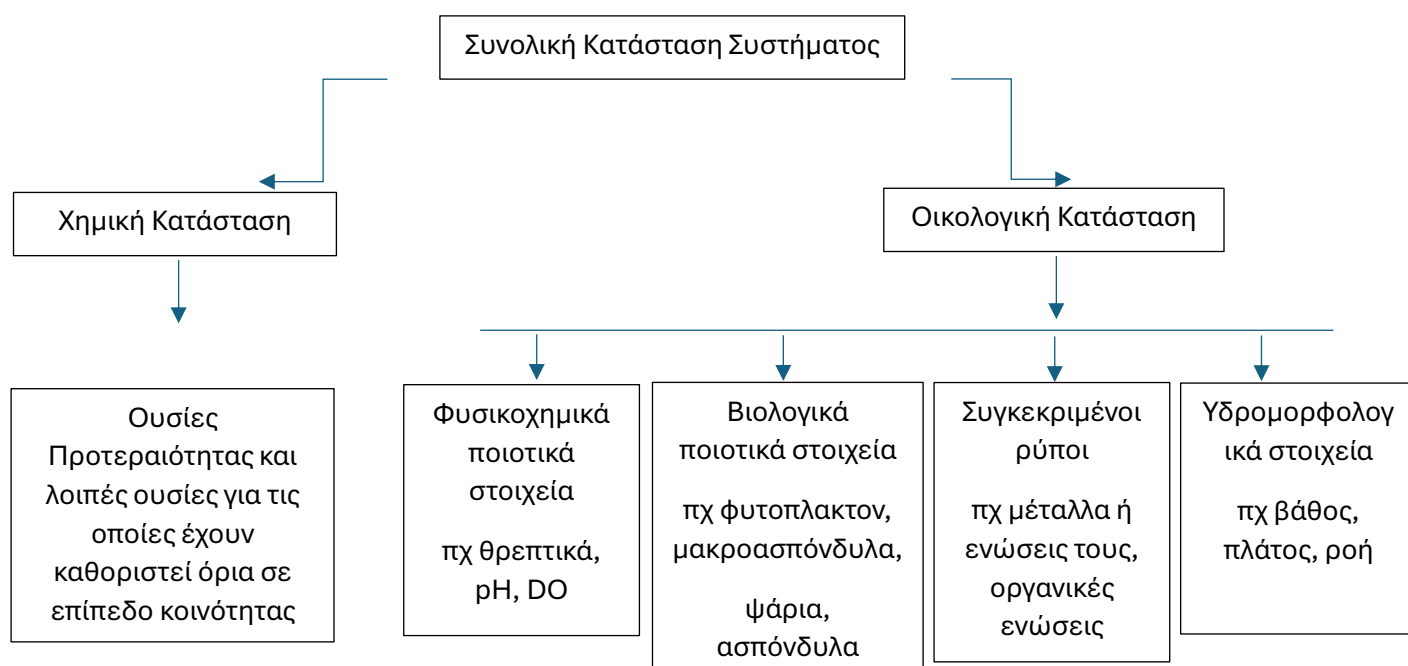
<https://wfd.hcmr.gr/%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%AF%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82->

εάν είναι απαραίτητη ή όχι η εκπόνηση σχεδίου δράσης για την βελτίωση ή την διατήρηση της τρέχουσας κατάστασης.

Οι συνθήκες αναφοράς καθορίζονται σύμφωνα με τους πληθυσμούς ορισμένων ειδών χλωρίδας και πανίδας που έχουν οριστεί ως βιολογικοί δείκτες, λόγω της ευαισθησίας τους ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Ειδικότερα όσο αφορά τις λίμνες, τέτοιοι δείκτες αποτελούν το φυτοπλακτό, τα μακρόφυτα, τα βενθικά ασπόνδυλα, το φυτοβένθος και διάφορα είδη ιχθυοπανίδας. Σε ένα Τεχνητό Υδάτινο Σύστημα (ΤΥΣ), όπως αυτό της λίμνης Κάρλα η οικολογική κατάσταση αξιολογείται με διαφορετική μέθοδο. Ουσιαστικά υπολογίζεται το Μέγιστο Οικολογικό Δυναμικό (ΜΟΔ), δηλαδή η απόκλιση της οικολογικής κατάστασης του συστήματος από τις ιδανικές συνθήκες ενός συγκρίσιμου τύπου Υδατικού Συστήματος (ΥΣ). Για τις συνθήκες αναφοράς των ΤΥΣ δεν έχουν θεσπιστεί σε εθνικό επίπεδο τα όρια μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών κατάστασης, επομένως ορίζονται από τα ΠΠΠ που έχει ορίσει η Οδηγία 2000/60/ΕΚ «περί διαχείρισης υδατικών συστημάτων» και Οδηγία 2008/105/ΕΚ «περί ουσιών προτεραιότητας και καλής οικολογικής κατάστασης επιφανειακών υδάτων». Η κατηγοριοποίηση της οικολογικής κατάστασης των οικοσυστημάτων γίνεται σύμφωνα με το Παράρτημα Ι.

H	Υψηλή Οικολογική Κατάσταση, (High)
G	Καλή Οικολογική Κατάσταση, (Good)
M	Μέτρια Οικολογική Κατάσταση, (Moderate)
P	Ελλιπής Οικολογική Κατάσταση, (Poor)
B	Κακή Οικολογική Κατάσταση, (Bad)

Εικόνα 4: Κατηγορίες Οικολογικής Κατάστασης - Σήμανση



Σχήμα 2: Ποιοτικά στοιχεία για κατηγοριοποίηση Υδατικών Συστημάτων

1.6 Θεσμικό Πλαίσιο προστασίας Υδάτων

1.6.1 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τα ύδατα

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 που είχε γίνει αντιληπτή η ανάγκη προστασίας των υδάτων, ξεκίνησαν να εφαρμόζονται αποσπασματικά διάφορες πολιτικές χωρίς όμως μια ενιαία βάση. Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχοντας κατανοήσει την σημαντικότητα των υδάτινων πόρων και σε συνδυασμό με την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση επαρκώς καθαρού νερού από τον ευρωπαϊκό λαό, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να καθιερωθεί ενιαίο κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο το οποίο θα πρέπει όλα τα κράτη μέλη να σέβονται και να υπακούουν. Ένα από τα πιο σημαντικά θεσμικά πλαίσια που καθιερώθηκε ήταν η Οδηγία 2000/60/ΕΚ για την οποία θα γίνει εκτενής ανάλυση σε επόμενη παράγραφο. Μέσω των οδηγιών που καθιερώνονται, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να πραγματοποιούν αναλύσεις, ταυτοποιήσεις και να ταξινομούν τα ύδατα τους σε υδρογραφικές λεκάνες απορροής. Με βάση την κατηγοριοποίηση των υδάτων αλλά και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο κάθε υδάτινος πόρος σχεδιάζονται εξατομικευμένα πλάνα διαχείρισης και προγραμματίζονται δράσεις προστασίας.

Σύμφωνα με τον Κούγκολο μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπήρχαν δύο νομοθετικά ρεύματα, αυτό των ποιοτικών στόχων και εκείνο της προστασίας των υδάτινων πόρων. Το πρώτο ρεύμα είχε διάρκεια 13 έτη (1975-1988). Στο διάστημα αυτό εκδόθηκαν πολυάριθμες οδηγίες, κανονισμοί και αποφάσεις που αφορούσαν τα εξής θέματα:

- Οδηγία 73/404/ΕΟΚ «Απορρυπαντικά»
- Οδηγία 76/464/ΕΟΚ «περί επικίνδυνων ουσιών και περιβάλλοντος»
- Οδηγία 76/160/ΕΟΚ «περί ποιότητας κολυμβητικών υδάτων»
- Οδηγία 80/68/ΕΟΚ «περί προστασίας υπόγειων υδάτων από ουσίες προτεραιότητας»
- Οδηγία 80/778/ΕΟΚ «περί ποιότητας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης»

Το 1988 στην σύνοδο που έγινε στη Φρανκφούρτη, τα μέλη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αναγνώρισαν τα κενά και τις βελτιώσεις που έπρεπε να γίνουν στο νομοθετικό πλαίσιο και έτσι εφαρμόστηκε το δεύτερο νομοθετικό ρεύμα κατά την διάρκεια του οποίου νομοθετήθηκαν οι παρακάτω οδηγίες:

- Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «περί αστικών λυμάτων»
- Οδηγία 91/676/ΕΟΚ «περί νιτρορύπανσης»
- Οδηγία 91/692/ΕΟΚ «περί εξ ορθολογισμού της υπάρχουσας νομοθεσίας για τα ύδατα»
- Οδηγία 98/83/ΕΚ «περί ποιότητας πόσιμο νερού»

(Κούγκολος, 2004) (Κάλλια-Αντωνίου, 2006)

Από το 1993-2000 και κατά την διάρκεια του 5^{ου} προγράμματος δράσης για το περιβάλλον δόθηκε μεγάλη βάση στην έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και της αειφόρου διαχείρισης των υδάτινων αποθεμάτων. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η εδραίωση της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων με την Οδηγία Πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ. Η παραπάνω οδηγία αποτέλεσε σταθμό για την Ευρωπαϊκή νομοθεσία καθώς έθεσε τα θεμέλια για την διαχείριση του νερού με πρωταρχικό στόχο την προστασία των οικοσυστημάτων και με δευτερεύον στόχο την εξυπηρέτηση των χρηστών. Μετά από την οδηγία σταθμό ακολούθησαν πολλές εξίσου σημαντικές οδηγίες που βασίστηκαν σε αυτή και πλέον αποτελούν αναπόσπαστα κομμάτια της Ευρωπαϊκής πολιτικής. Τέτοιες ήταν:

- Οδηγία 2006/118/ΕΚ «περί προστασίας υπόγειων υδάτων από ρυπαντές»
- Οδηγία 2006/ΕΚ «περί κατάργησης οδηγίας 76/160/ΕΟΚ, περί κολυμβητικών υδάτων»
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ «περί αξιολόγησης κινδύνου πλημμύρας»
- Οδηγία 2008/105/ΕΚ «περί Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ)»
- Οδηγία 2008/56/ΕΚ «περί θαλάσσιας στρατηγικής»

1.6.2 Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ

Με σκοπό την επίτευξη «καλής οικολογικής κατάστασης» για τα ύδατα της ευρωπαϊκής κοινότητας θεσπίστηκε τον Οκτώβριο του 2000 η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ. Σύμφωνα με αυτή «το νερό δεν πρέπει να θεωρείται εμπορικό προϊόν, αλλά αποτελεί κληρονομιά και οφείλουμε να το προστατεύουμε και να το διαχειριζόμαστε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο». Μέσω της οδηγίας, θεσπίστηκαν ποιοτικοί, οικολογικοί και ποσοτικοί στόχοι για την προστασία και την καλή κατάσταση όλων των επιφανειακών, υπόγειων και μεταβατικών υδάτων. Αξίζει να τονιστεί ότι η οδηγία υπογραμμίζει τη μοναδικότητα του κάθε πόρου, αυτό συνεπάγεται και την μοναδικότητα των μέτρων για την διαχείριση και την προστασία του. Τέθηκε επίσης ως στόχος η ολοκληρωμένη διαχείριση σε ότι αφορά την κάλυψη των αναγκών για νερό τόσο στα υδάτινα όσο και στα χερσαία οικοσυστήματα μέχρι το 2015.

Ειδικότερα, στο άρθρο 1 της οδηγίας αναλύονται οι στόχοι που θέτει:

- Την αποτροπή επιδείνωσης, προστασία και βελτίωση της ποιότητας των υδάτινων πόρων.
- Την βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων.
- Τον σταδιακό περιορισμό της ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και αποφυγή νέων μολύνσεων.
- Τον μετριασμό των συνεπειών από φυσικές καταστροφές (πλημμύρες – ξηρασία).
- Την θέσπιση νέων κανόνων περιορισμού των εκπομπών ρυπογόνων ουσιών.

Ορισμένοι σημαντικοί ορισμοί σύμφωνα με το άρθρο 2 της οδηγίας είναι οι εξής:

- «Επιφανειακά ύδατα» : τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων· τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα.
- «Υπόγεια ύδατα» : το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος.
- «Μεταβατικά ύδατα» : επιφανειακά ύδατα κοντά στο στόμιο ποταμών τα οποία είναι πιθανώς υφάλμυρα λόγω της ανάμειξης τους με παράκτια ύδατα.
- «Εσωτερικά ύδατα» : το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων (λίμνες – ποτάμια) επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς.
- «Λίμνη»: στάσιμα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα.
- «Υδροφόρος ορίζοντας» : υπόγειοι βράχοι ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες με πορώδες και διαπερατότητα τέτοια ώστε να επιτρέπουν ροή υπόγειων υδάτων είτε άντληση υπόγειων υδάτων.
- «Λεκάνη απορροής» : η εδαφική έκταση στην οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και διοχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.
- «Κατάσταση επιφανειακών υδάτων» : ο χαρακτηρισμός της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, που ορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και χημικής του κατάστασης.
- «Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων» : η κατάσταση επιφανειακού υδατικού συστήματος που ορίζεται τουλάχιστον ως «καλή», τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη.
- Οικολογική κατάσταση» : ο ποιοτικός χαρακτηρισμός της δομής και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με επιφανειακά ύδατα, η οποία κατηγοριοποιείται σύμφωνα με το παράρτημα Ι.
- «Καλή οικολογική κατάσταση» : η κατάσταση ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων το οποίο κατηγοριοποιείται σύμφωνα με το παράρτημα Ι.

Η οδηγία πλαίσιο αποτελεί το σημαντικότερο εργαλείο προστασίας και αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων τόσο στη χώρα μας, όσο και σε ολόκληρη την ευρωπαϊκή κοινότητα. Η ενσωμάτωση της οδηγίας στην εθνική νομοθεσία έγινε με το ΦΕΚ Α 54, την 8^η Μαρτίου του 2007 και καθορίστηκαν μαζί της οι 33 ουσίες προτεραιότητας καθώς και η μέθοδος ελέγχου του νερού. Η υπόθεση όμως πως ένα τέτοιο εργαλείο δεν χρειάζεται επικαιροποίηση και προσαρμογή στα νέα δεδομένα θα ήταν ασφαλώς λανθασμένη. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις βασικές συμπληρωματικές οδηγίες για την προστασία των υδάτων καθώς και πίνακας με τις τροποποιήσεις της ίδιας της οδηγίας.

Πίνακας 1: Συμπληρωματικές Ευρωπαϊκές οδηγίες

Οδηγία	Περιγραφή
91/692/EK	Ποιότητα επιφανειακών υδάτων από τα οποία γίνεται άντληση πόσιμου νερού
2006/7/EK	Ποιότητα υδάτων κολύμβησης
98/83/EK	Ποιότητα πόσιμου νερού
648/2004/EK	Ρύπανση από απορρυπαντικά
81/885/EK	Μέθοδοι δειγματοληψίας και ελέγχου πόσιμου νερού
79/117/EK	Αντιμετώπιση έμμεσων οργανικών ρύπων (POP)
2007/60/EK	Αντιμετώπιση πλημμυρών
2008/105/EK	Περιβαλλοντικά πρότυπα για τις ουσίες προτεραιότητας άλλους ρυπαντές
91/272/EK	Υποχρέωση επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων
91/676/EK	Προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση που προκαλείται από χρήση λιπασμάτων
78/659/EK	Απαιτούμενη ποιότητα νερών για την διατήρηση της ζωής των ψαριών

Πίνακας 2: Βασικές Αποφάσεις Τροποποίησης Οδηγίας 2000/60/EK

		Επίσημη Εφημερίδα		
		αριθ.	σελίδα	ημερομηνία
► M1	Απόφαση αριθ. 2455/2001/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 20ής Νοεμβρίου 2001	L 331	1	15.12.2001
► M2	Οδηγία 2008/32/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Μαρτίου 2008	L 81	60	20.3.2008
► M3	Οδηγία 2008/105/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008	L 348	84	24.12.2008
► M4	Οδηγία 2009/31/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009	L 140	114	5.6.2009
► M5	Οδηγία 2013/39/EE του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Αυγούστου 2013	L 226	1	24.8.2013

(EuropeanUnion, 2000)

1.6.3 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο για τα ύδατα

Η εθνική πολιτική για την προστασία των υδάτων μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000 δεν ακολουθούσε τα βήματα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Όλα τα θεσμικά πλαίσια είχαν μορφή αποσπασματικής εφαρμογής και στερούνταν συντονισμένων δράσεων. Η έλλειψη συνεκτικού νομοθετικού πλαισίου και η απουσία ισχυρού νομοθετικού σώματος οδήγησε σε αδυναμία συγκρότησης ολοκληρωμένων διατάξεων. Από το 2003 μέχρι και το 2007 όμως, σταδιακά υιοθετήθηκαν τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Η πρώτη προσπάθεια για εναρμόνιση με τις κοινοτικές οδηγίες της Ευρώπης δεν έγινε το 2000. Ήδη από το '86 το Υπουργείο Υγείας εξέδωσε την διάταξη Α5/288/23.1.1986 με σκοπό την αφομοίωση της Οδηγίας 80/778/ΕΟΚ «περί ποιότητας πόσιμου νερού».

Η εθνική πολιτική και νομοθεσία δεν βασιζόταν πάντα στα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Το 1986 το τότε Υπ. Περιβάλλοντος εξέδωσε τον Νόμο – Πλαίσιο με διατάξεις που αφορούσαν την προστασία του νερού. Δυστυχώς όμως καμία από αυτές τις διατάξεις δεν

κατέληξε σε έκδοση απόφασης. (Κάλλια-Αντωνίου, 2006) Αντίστοιχη προσπάθεια έγινε και με τον Νόμο 1739 «περί διαχείρισης υδάτινων πόρων» που εκδόθηκε αυτή τη φορά από το Υπ. Ανάπτυξης περίπου στα μέσα του '87. Βασικός στόχος του οποίου ήταν η αξιοποίηση των υδάτινων πόρων της χώρας με γνώμονα αρχικά την προστασία τους και έπειτα την εξυπηρέτηση των αναγκών για νερό. Ήταν η πρώτη επίσημη αναφορά που χώριζε τη χώρα σε υδατικά διαμερίσματα και θεσμοθετούσε τις περιφερειακές επιτροπές ύδατος. Δυστυχώς ούτε αυτός ο νόμος εντάχθηκε στο Ελληνικό δίκαιο. Αρκετά χρόνια αργότερα και αφού η Ευρωπαϊκή Κοινότητα είχε θεσπίσει ήδη τον σημαντικότερο νόμο πλαίσιο 2000/60/ΕΚ «περί Διαχείρισης Υδατικών Πόρων», το ελληνικό νομοθετικό σώμα αντιλαμβάνεται τις ελλείψεις και τα κενά που υπάρχουν στο εθνικό δίκαιο σε θέματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος εν γένει. Έτσι, το 2003 εκδίδει το Νόμο 3199/2003 με τον οποίο ουσιαστικά γίνεται η ενσωμάτωση της ΟΠΥ. Η κίνηση της κυβέρνησης να εκδώσει Νόμο και όχι μια Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) ή κάποιο Προεδρικό Διάταγμα, αντανακλά και την βαρύτητα της Οδηγίας. (Χαϊνταρλής, 2003). Η πλήρης ενσωμάτωση της στα ελληνικά δεδομένα έγινε με το Προεδρικό Διάταγμα ΠΔ 51/2007.

Εξίσου σημαντικές αποφάσεις για την προσαρμογή της Ελληνικής νομοθεσίας στις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών προτύπων ήταν:

- ΚΥΑ 51354/2641/Ε103/2010 «περί καθορισμού ΠΠΠ», ορίζει τις συγκεντρώσεις των ρύπων στα επιφανειακά ύδατα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2008/105/ΕΚ.
- Νόμος 4042/2012 «περί ποινικής προστασίας περιβάλλοντος», έθεσε την αρχή του «ο ρυπαίνων πληρώνει» σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ.
- ΚΥΑ 38317/1621/2011 «περί ορισμού μεθοδολογίας αναλύσεων νερού – πρότυπα – αξιολόγηση ποιότητας νερού» σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/90/ΕΚ.
- ΚΥΑ 322/2013 «περί οργάνωσης Ειδικής Γραμματείας Υδάτων»
- ΚΥΑ 170766/16 «περί ουσιών προτεραιότητας» σε συμμόρφωση με τις Οδηγίες 2000/60/ΕΚ και 2008/105/ΕΚ.

Σήμερα, η Ελληνική νομοθεσία περί προστασίας του περιβάλλοντος και των υδάτων είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου βασισμένη στα ευρωπαϊκά πρότυπα και τις νομοθεσίες της ΕΕ. Η αποτελεσματικότητα και η ουσιαστική εφαρμογή των πλαισίων σε επίπεδο κράτους είναι μία ξεχωριστή συζήτηση που αφορά την λειτουργικότητα των αρμόδιων αρχών και δεν εξαρτάται καθόλου από το είδος, την βαρύτητα και την σημαντικότητα της κάθε Οδηγίας. Κράτος, επιστήμονες και κοινωνία θα πρέπει να δράσουν συνδυαστικά προκειμένου να επιτευχθεί ο κάθε στόχος που θεσπίζει η πολιτεία.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Η ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ

2.1 Η περιοχή μελέτης

Η λίμνη Κάρλα, γνωστή από την αρχαιότητα και ως Βοιβηίδα ή λίμνη της Πελασγιώτιδος είναι αποτέλεσμα τεκτονικού βυθίσματος κατά την τεταρτογενή εποχή το οποίο πληρώθηκε μετέπειτα με ύδατα και ιζήματα που προερχόταν από τον ποταμό Πηνειό και τις γύρω ορεινές περιοχές. Βρίσκεται στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας στα όρια των νομών Λάρισας και Μαγνησίας. Πιο συγκεκριμένα τοποθετείται γεωγραφικά στο νοτιοανατολικό άκρο του Θεσσαλικού κάμπου, με το μεγαλύτερο της τμήμα να βρίσκεται στον νομό Μαγνησίας. Περιτριγυρίζεται από ορεινούς όγκους που ξεπερνούν τα 1900m. Οι ψηλότερες ορεινές μάζες βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό, βορειοανατολικό και νότιο άκρο της λεκάνης. Μικρότεροι λόφοι βρίσκονται στο δυτικό τμήμα, με υψόμετρα που αγγίζουν μόλις τα 100m – 300m. (Μούμου, 2007) Η λεκάνη της τέως λίμνης συνόρευε βόρεια με τον ποταμό Πηνειό και το όρος Όσσα, ανατολικά με τα όρη Μαυροβούνι και Πήλιο, νότια με τα όρη Χαλκοδόνιο και Μεγαβούνι και δυτικά με το όρος Φυλλήιον. (Μουστάκα, 2002) Τα ύδατα της προέρχονταν κυρίως από τον ποταμό Πηνειό, τους παραποτάμους του Άμυρο και Ρεβενίκο, το ρέμα Ασμάκι, και την πηγή Υπέρεια Κρήνη του Βελεστίνου. (Αλεξάνδρου, 2013)



Εικόνα 5 :Λίμνη Κάρλα πριν την αποξήρανση, αεροφωτογραφία της ΓΥΣ τραβηγμένη το 1945. (ΓΥΣ, 1945)

Από την προϊστορική εποχή η στάθμη της είχε έντονες διακυμάνσεις, έτσι κατά το 1938-39 οριοθετήθηκε για πρώτη φορά ανώτερο (48,5m) και κατώτερο (47,3m) όριο

στάθμης με τον νόμο 5800/33. Η φυσική λεκάνη της λίμνης κάλυπτε συνολικά 1663 km² και μέχρι το 1940 και το μεγαλύτερο της βάθος έφτανε τα 4,5-5,5m. (Φορέας Διαχείρισης Κάρλας Μαυροβουνίου Κεφαλοβруσου Βελεστίνου Δελτα Πηνειού, χ.χ.) Η μικρή κλίση του πυθμένα της είχε ως αποτέλεσμα το εμβαδόν της λίμνης να κυμαίνεται, ανάλογα με το ισοζύγιο εισροών-εκροών. Έτσι, στη λεκάνη της Κάρλας συνυπήρχαν δύο διαφορετικά αλλά διακριτά υδάτινα περιβάλλοντα. Το πρώτο επρόκειτο για μία περιοχή περίπου 135.000στρ η οποία καλλιεργούνταν περιοδικά, όταν δεν καλυπτόταν με νερό. Το δεύτερο, επρόκειτο για μία περιοχή 45.000στρ η οποία ανεξάρτητα την εποχή, τις καιρικές συνθήκες ή τα πλημμυρικά φαινόμενα του Πηνειού καλυπτόταν συνεχώς από ένα μέρος των υδάτων της. (Κ. Γκούμας, 2018) Η σύσταση του βυθού της τέως λίμνης ήταν κυρίως αργιλώδης και καλυπτόταν από επιπόλαιο στρώμα ιλύος. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας της Κάρλας, ανήκει στην κατηγορία των καρστικών γεωλογικών συστημάτων και χαρακτηρίζεται από μεγάλες καταβόθρες και υπόγεια αποστραγγιστικά συστήματα. Φαίνεται να δημιουργήθηκε από την θραύση των πετρωμάτων του όρους Μαυροβούνι και στο εσωτερικό του εσωκλείει ανεκμετάλλευτα αποθέματα μαρμάρου μήκους 150Km. Πριν την αποξήρανση της λίμνης, η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα έφτανε τα 45m γεγονός που σήμαινε ότι η στάθμη του σχεδόν ταυτιζόταν με τα επιφανειακά ύδατα της λίμνης, τουλάχιστον κατά τους χειμερινούς μήνες. (Κοβάνη, 2002) Τις περιόδους μεγάλων βροχοπτώσεων στην περιοχή παγιδεύονταν όμβρια και πλημμυρικά ύδατα που είχαν ως αποτέλεσμα τον κατακλυσμό τεράστιων γεωργικών εκτάσεων υψηλής παραγωγικότητας. Η διαχρονική εξέλιξη του μεγέθους της λίμνης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χρονολογία	Εμβαδόν λίμνης (σε τετραγωνικά χλμ)
πριν το 1937	>1.672
1937-1945	1.672
1945-1949	1.334
1949-1952	1.075

Πίνακας 3: Διαχρονική διακύμανση εμβαδού λεκάνης
(Δημητρίου, 2018)

Η λίμνη Κάρλα ήταν ένας από τους πιο σπουδαίους υδροτόπους της Ελλάδας. Η εισροή τόσο μεγάλου όγκου νερού, σε συνδυασμό με τον αργό ρυθμό απομάκρυνσης του και το σχετικά μικρό της βάθος ευνοούσε σημαντικά την βιοποικιλότητα της περιοχής. Τα αποθέματα της ιχθυοπανίδας καθώς επίσης και των υδρόβιων και παρυδάτιων πουλιών είχαν φτάσει σε σημείο να σημειώνουν, πριν την αποξήρανση, πληθυσμούς που ξεπερνούσαν τις εκατοντάδες χιλιάδες άτομα. Πιο συγκεκριμένα, είχαν καταγραφεί περίπου 430.000 πουλιά από 143 είδη, άλλα ως ενδημικά και άλλα ως διαχειμάζοντα ή μεταναστευτικά, καθώς η περιοχή αποτελεί σημαντικό κομμάτι του ανατολικού αεροδιαδρόμου που ακολουθούν τα είδη αυτά. Υπήρχε η εκτίμηση ότι στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης, πριν την αποξήρανση, διαχειμάζαν σχεδόν 1.000.000 πτηνά. (Κοβάνη, 2002) Σύμφωνα με την οδηγία 79/409/ΕΟΚ, 55 από τα είδη ορνιθοπανίδας της παρακάρλιας περιοχής θεωρούνται προστατευόμενα. Ιδιαίτερα πλούσια ήταν και η ποικιλότητα της υδρόβιας βλάστησης η οποία αποτελούνταν από διάφορα είδη

φυτοβέθρους. Το χαρακτηριστικό αυτό προσέδιδε ακόμη περισσότερο στον πολλαπλασιασμό της ιχθυοπαραγωγής, καθώς παρείχε ευνοϊκές συνθήκες περιβάλλοντος λόγω του συνεχούς εμπλουτισμού του νερού με οξυγόνο. (Ζαλίδης, Δημητριάδης, & Χατζηγιαννάκης, 1995)

ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΚΑΡΛΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
<u>Ιχθυοπανίδα</u>	<u>Ορνιθοπανίδα</u>
Καρλόψαρα -Κυπρίνοι	Βαλτόπαπια
Πλατίτσες	Πελεκάνος
Πράσινη Σαρδέλλα	Άσπρος Γλάρος
Γλένι (θαλάσσιο ψάρι που παγιδεύτηκε στη λίμνη)	Νερόκοτα - Μαυρόκοτα
Φιδόψαρα	Κύκνος
Κέφαλος	Βουτηχτάρι
Χέλια	Πρασινοσκούφης - Κοκκινοσκούφης
Ηλιόψαρο	Χηνάρι
Θεσσαλογωβιός	Βαλτοκοτσίφια
Κοβίτης	Βραχόπαπιες
Θεσσαλόσιρκο	Αετοί
Τσιρόνι	Σταχτοτσικνιάδες
Κοκκινοφτέρα	Φλαμίνγκο
	Σφυριχτάρια

Πίνακας 4: Βιοποικιλότητα λίμνης Κάρλα

Το μέγεθος της βιοποικιλότητας και ειδικότερα των πουλιών της λίμνης είτε αποδημητικών, είτε υδρόβιων, βασίζεται στην ποικιλία των διαθέσιμων ενδιαιτημάτων που χαρακτηρίζουν την περιοχή της λίμνης καθώς και την παρακάρλια περιοχή. Τα ενδιαιτήματα αυτά διακρίνονται σε:

- Ανοιχτά νερά: παρέχουν προστασία και σημεία τροφοληψίας για τα υδρόβια πουλιά είτε είναι καταδυόμενα, είτε τρέφονται από τα επιφανειακά στρώματα νερού.
- Επιπλέουσα βλάστηση: αποτελεί τόπο αναπαραγωγής και τροφοληψίας.
- Αβαθή έλη με βούρλα και τύφες: αποτελούν τόπους τροφοληψίας για πουλιά και ψάρια.



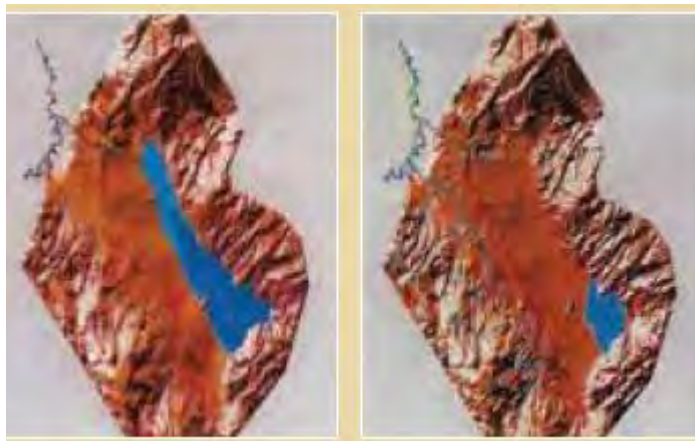
Εικόνα 6: Τύφες – Βούρλα λίμνη Κάρλα.
Φωτογραφία προσωπικού αρχείου.

- Εκτεταμένοι καλαμώνες: αποτελούν καταφύγιο, σημείο τροφοληψίας και αναπαραγωγής για τα πουλιά, καθώς επίσης αποτελούν καταφύγιο για τον γόνο πολλών ειδών ψαριού.
- Βραχώδεις νησίδες: αποτελούν καταφύγιο για φωλιάζοντα είδη πουλιών.

(Δημητρίου, 2018; Gerakis, 1992)

2.2 Η αποξήρανση της Λίμνης

Οι πρώτες αναφορές και μελέτες για την προστασία των εδαφών από τις πλημμύρες χρονολογούνται το 1881, μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλίας. Αντίστοιχες μελέτες εκπονήθηκαν τις περιόδους 1911-13 και 1920-21, με τα πρώτα συντονισμένα έργα να εκτελούνται περίπου στα τέλη της δεκαετίας του '40 αρχές 1950. (Θανασάκης, 2011) Αποτέλεσμα αυτών ήταν η μείωση του συνολικού όγκου νερού που υπερχείλιζε από τον Πηνειό προς την λίμνη. Τα νερά από τα φράγματα που δημιουργήθηκαν ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς, ωστόσο, οι πλημμύρες συνεχιζόταν. Την ίδια περίοδο ξεκίνησε η βιομηχανική παραγωγή αλκοολούχων ποτών και χαρτιού, με τα απόβλητα των παραγωγικών διαδικασιών να καταλήγουν ανεπεξέργαστα στον Πηνειό ποταμό και κατά συνέπεια στη λίμνη. Έτσι, το



Εικόνα 7 : Η λίμνη Κάρλα πριν και μετά την αποξήρανση

Πηγή: (Χ. Αλεξάνδρου, 2014)

1961 η περιφέρεια Θεσσαλίας, με προτροπή του Υπ. Γεωργίας, πήρε την απόφαση μερικής αποξήρανσης της λίμνης μέσω σήραγγας αποστράγγισης 10km (σήραγγα 2Τ) που διοχέτευε τα νερά της στον Παγασητικό κόλπο. Στο σχέδιο της αποξήρανσης περιλαμβανόταν και η δημιουργία ταμειυτήρα εμβαδού 64,7Km² στο ΝΑ άκρο της λεκάνης, που όμως δεν δημιουργήθηκε ποτέ. (Μουστάκα, 2002) (Τζιόγκα, 2018)

Σύμφωνα με την Δ/ση εγχειοβελτιωτικών έργων Θεσσαλίας, η αποξήρανση της λίμνης σε συνδυασμό με τα αντιπλημμυρικά έργα που θα δημιουργούνταν στην περιοχή είχαν ως στόχο την απόκτηση περισσότερων καλλιεργήσιμων εδαφών (βλ. χρήσεις γης Πίνακας 3), την προστασία των ήδη υπαρχόντων γαιών υψηλής παραγωγικότητας από τα πλημμυρικά ύδατα, την μείωση της εμφάνισης εντόμων και κατ' επέκταση των

κρουσμάτων ελονοσίας, καθώς και την παροχή δωρεάν νερού άρδευσης για σχεδόν όλες τις κοντινές περιοχές.

Πίνακας 5: Χρήσεις Γης τέως λίμνης Κάρλα

Καθεστώς ιδιοκτησίας και χρήσης γης της τέως λίμνης Κάρλα (έκταση σε στρέμ.)			
Γη	Ν. Λάρισας	Ν. Μαγνησίας	Σύνολο
Γεωργική Γη			118535 *
<u>Ιδιόκτητη</u>	68.561	**	
Οριστικά αναγνωρισθείσα	53.561		
Κατεχόμενη από τρίτους (Νόμιμη διαδικασία βάση της κείμενης νομοθεσίας)	15.000		
<u>Δημόσια: προσωρινώς παραχωρηθείσα σε ακτήμονες</u>	10.309	39.665	49.974
<u>Άλλες χρήσεις ***</u>			7.635
<u>Ταμιευτήρες:</u>			
Καναλιών		4.000	
Καλαμακίου	2.185		
Νιαμάτων	600		
Γλαύκης	500		
Καστρίου	350		
	82.505	43.665	126.170
* Το σύνολο της γεωργικής γης (118.535στρ) προκύπτει από την άθροιση της ιδιόκτητης (68.561στρ) και της δημόσιας γης (49.974στρ) στο επίπεδο των δύο νομών.			
** Δεν υπάρχει επίσημη εκτίμηση.			
*** Στις άλλες χρήσεις μπορεί να συμπεριληφθεί και το ελικοδρόμιο του Στεφανοβικείου.			

Βασική προϋπόθεση για την ολοκλήρωση των παραπάνω έργων ήταν η κατασκευή του ταμιευτήρα, ο οποίος για λόγους ασυμφωνίας των διαφόρων μελετητών τέθηκε σε παύση. Οι αντιρρήσεις αφορούσαν θέματα όπως η γεωγραφική τοποθέτηση και η έκταση του έργου, οι λειτουργίες που εξυπηρετεί (αντιπλημμυρική προστασία – αποθήκευση νερού άρδευσης) και η αντιμετώπιση της ρύπανσης στον Παγασητικό κόλπο. (Ζαλίδης, Δημητριάδης, & Χατζηγιαννάκης, 1995) Η αποτυχία ολοκλήρωσης των απαραίτητων έργων για την δημιουργία του ταμιευτήρα, οδήγησε στην ολική αποξήρανση της λίμνης το 1964.

2.3 Μετά την αποξήρανση της λίμνης

Τα πρώτα χρόνια μετά την αποξήρανση φαίνεται να αυξήθηκε το κατά κεφαλήν εισόδημα των αγροτών της περιοχής, λόγω της μείωσης των ζημιών από τα πλημμυρικά φαινόμενα και της αύξησης των γεωργικών εδαφών. Τα κακώς κείμενα όμως δεν άργησαν

να εμφανιστούν. Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες ήταν περισσότερες και σημαντικότερες από τα προσδοκώμενα οφέλη.

- Οι ψαράδες της περιοχής έχαναν ένας – ένας τη δουλειά τους, καθώς τα λιγοστά ψάρια της περιοχής θεωρούνταν πλέον ακατάλληλα για κατανάλωση.
- Το νερό άρδευσης γινόταν ολοένα και χειρότερης ποιότητας, λόγω ταπείνωσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και ανάμειξής του με θαλασσινό νερό.
- Η άντληση από νόμιμες και παράνομες γεωτρήσεις γινόταν με ανεξέλεγκτο ρυθμό.
- Οι παραγωγικές εκτάσεις άρχισαν να εμφανίζουν προβλήματα αυξημένης αλκαλικότητας, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται ποσοτικά και ποιοτικά τα παραγόμενα προϊόντα.
- Αυξήθηκε η ρύπανση στα νερά του Παγασητικού κόλπου.
- Επηρεάστηκαν ενδημικά είδη χλωρίδας και πανίδας.
- Αποξηράθηκαν γεωτρήσεις και φυσικές πηγές της περιοχής, μεταξύ άλλων και η Υπέρεια Κρήνη του Βελεστίου.
- Εμφανίστηκαν αλλαγές στο μικροκλίμα της περιοχής που οδήγησαν σε αδυναμία αποτελεσματικής υδροδότησης κοντινών πόλεων και οικισμών.
- Δημιουργήθηκαν ρήγματα λόγω καθιζήσεων μεγάλου βάθους.
- Επανεμφανίστηκαν πλημμυρικά φαινόμενα.

(Φορέας Διαχείρισης Κάρλας Μαυροβουνίου Κεφαλοβρυσου Βελεστίου Δελτα Πηνειού, Χ.Χ.)



Εικόνα 8: Κατάσταση εδάφους μετά την αποξήρανση της λίμνης
Πηγή: (Παπανίκος, 2008)

2.4 Ο επαναπλημμυρισμός της Λίμνης Κάρλα

Με την αποξήρανση της λίμνης η τοπική αυτοδιοίκηση μπήκε στη φάση ερευνών και μελετών για την μετατροπή του ρέματος Ασμάκι και της σήραγγας (T2), της τέως πλέον λίμνης Κάρλα, σε φορείς λυμάτων. Ήδη από το 1977 είχε εκπονηθεί σειρά μελετών από φορείς όπως το Υπουργείο Δημοσίων Έργων, ο Αγροβιομηχανικός Συνεταιρισμός Παρακάρλιων Χωριών «Κάρλα», το Υπουργείο Γεωργίας, το ΥΠΕΧΩΔΕ, η Νομαρχία Μαγνησίας, ο Αναπτυξιακός Σύνδεσμος «Κάρλα». Τα προς διαπραγμάτευση αντικείμενα ήταν η χωροταξική τοποθέτηση του έργου, ο αριθμός και το μέγεθος των ταμιευτήρων που θα δημιουργούνταν (σε στρ) και κυρίως ο προσανατολισμός των αποχετευτικών συστημάτων. Ο διχασμός της επιλογής μεταξύ της εκτροπής των λυμάτων προς το Αιγαίο ή προς τον Παγασητικό κόλπο ήταν και ο λόγος που το έργο δεν ολοκληρώθηκε ποτέ. Η τοπική κοινωνία πρόβαλε αντίστοιχες ενστάσεις, αφήνοντας έτσι τις μελέτες ανολοκλήρωτες. Ταυτόχρονα, οι επιπτώσεις από την αποξήρανση της λίμνης είχαν αρχίσει να γίνεται όλο και εμφανέστερες. Η πληθώρα των επιπτώσεων, σε περιβάλλον και κοινωνία, κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη ανασύστασής της λίμνης. Η οριστική απόφαση λήφθηκε στις αρχές του 1980 από το Υπ. Δημοσίων Έργων και άμεσα ξεκίνησαν οι μελέτες για την αποκατάσταση του κατώτερου ΝΑ τμήματος της τέως Κάρλα με σκοπό την δημιουργία ταμιευτήρα 42Km² για την αποθήκευση αρδευτικού νερού και την ανάσχεση των πλημμυρών.

2.4.1 1^η Μελέτη επαναπλημμυρισμού

Η προμελέτη που πραγματοποιήθηκε το 1982 από την εταιρεία ΑΑΦΑ-ΩΜΕΓΑ και τον κ Ν. Νικολαΐδη προέβλεπε την κατασκευή αρδευτικού δικτύου με κανάλια από σκυρόδεμα, δημιουργία δύο αναχωμάτων για την προσαγωγή των υδάτων του Πηνειού, κατασκευή πρόχειρου φράγματος και αντλιοστασίου που θα εξυπηρετούσε την τροφοδοσία του ταμιευτήρα και δημιουργία αντλιοστασίου – στραγγιστικού που θα εξασφάλιζε την αποφυγή υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας της σήραγγας αποστράγγισης. Η μελέτη αυτή δεν προχώρησε ποτέ σε υλοποίηση, καθώς το 1987 ειδική ομάδα του Υπ. Γεωργίας την απέρριψε ως υπερβολικά κοστοβόρα. Αντίστοιχη αντίδραση εξέφρασε και μεγάλο μέρος της τοπικής κοινωνίας λόγω της μεγάλης έκτασης που θα καταλάμβαναν τα προβλεπόμενα έργα.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη θεωρήθηκε αντιοικονομική καθώς απαιτούσε μεταξύ άλλων:

- Να καλυφθούν το 25% των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, από τα έργα, ενώ την ίδια στιγμή ο νόμος προέβλεπε 10% για έργα αντίστοιχου βεληνεκούς.
- Οικονομικά κεφάλαια ύψους 1.600.000 δρχ/Km², δηλαδή συνολικά 67.000.000 δρχ για τα 42 Km² του ταμιευτήρα.

- Μεγάλες απώλειες νερού από εξάτμιση και διαφυγές, μέσω των καρστικών πετρωμάτων της λίμνης.
- Έργα κεφαλής με έδρα τον νομό Μαγνησίας και τελικό αποδέκτη οφέλους τον νομό Λάρισας (σύγκρουση συμφερόντων μεταξύ των δήμων).

(Ζαλίδης, Δημητριάδης, & Χατζηγιαννάκης, 1995)

2.4.2 2^η Μελέτη επαναπλημμυρισμού

Η δεύτερη πρόταση που ακολούθησε πρότεινε την ανάσχεση των πλημμυρικών υδάτων με σύστημα 72 μικρών ταμιευτήρων, που θα καταλάμβαναν συνολικά 12Km² παραπλεύρως των υδρορροών. Το σύστημα αυτό θα συνδεόταν με τάφρους οι οποίοι θα απομάκρυναν μέσω σήραγγας, προς τον Παγασητικό κόλπο, την περίσσεια νερού που δεν θα αξιοποιούνταν για άρδευση. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να καλυφθούν αρδευτικά περίπου 18 Km² επιφάνειας, σχεδόν όση και η έκταση που είχε καλύψει η λίμνη με τις πλημμύρες του 1920-21. Στο σχέδιο αυτό είχε προβλεφθεί να ενταχθούν επίσης και τα αντιπλημμυρικά έργα που υπήρχαν ήδη στην περιοχή.

Αντίστοιχα με την πρώτη πρόταση και αυτή απορρίφθηκε από το Υπ. Γεωργίας παρά το γεγονός ότι είχε σαν πρωταρχικό κριτήριο τη σχέση σπατάλης – οφέλους εδάφους. Σύμφωνα με την έκθεση που εξέδωσαν, η πρόταση θεωρήθηκε ακατάλληλη προς υλοποίηση καθώς υπήρχε πιθανότητα το πολύπλοκο αυτό σύστημα από τάφρους και κανάλια να προκαλέσει πλημμυρικά φαινόμενα σε περιοχές που μέχρι τότε δεν εμφάνιζαν. Επίσης, τόνισαν ότι στην μελέτη δεν είχε υπολογιστεί το πόσο υψηλή είναι η στάθμη του υπόγειου νερού στην περιοχή, γεγονός που θα προκαλούσε δυσκολίες στη φάση της κατασκευής.

2.4.3 Τελικό σχέδιο επαναπλημμυρισμού

Μέχρι και την έναρξη των έργων για την ολοκλήρωση της αποκατάστασης της λίμνης είχαν γίνει συνολικά 4 διαφορετικές προτάσεις – μελέτες από διαφορετικά μελετητικά γραφεία. Μέσα στις προτάσεις ήταν και η εκτροπή του Αχελώου, όπου ουσιαστικά είναι αυτός που ρυθμίζει την έκταση της λίμνης και τροφοδοτεί τα αρδευτικά δίκτυα της περιοχής. Η πρόταση που τελικά τέθηκε προς υλοποίηση ήταν αυτή της ΑΛΦΑ – ΩΜΕΓΑ με επικεφαλής μηχανικό τον κ. Ν. Νικολαΐδη. Στη μελέτη αυτή έγιναν κάποιες τελικές αλλαγές, όπως αυτή της τελικής έκτασης που θα καταλαμβάνει ο ταμιευτήρας. (Χορταγιάς, 2009)

Ο προϋπολογισμός του έργου, με τιμές 1994, ανήρχετο περί τα 52 δισεκατομμύρια δραχμές. Το δε πρόγραμμα κατασκευής διακρίθηκε σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση περιλάμβανε την κατασκευή των έργων του ταμιευτήρα, τα έργα στεγανώσεως και την δημιουργία αντλιοστασίων αποχέτευσης – άρδευσης με συνολικό κόστος 29 δις δραχμές. Η δεύτερη φάση κατασκευής περιλάμβανε τα έργα οδοποιίας και την κατασκευή των συλλεκτών, συνολικού κόστους περί τα 23 δις δραχμές. Τελικά, τέθηκε προς υλοποίηση το 1999 – 2000 όταν εγκρίθηκε η χρηματοδότηση για την

ανασύσταση του υγροτόπου της Κάρλα από την Ευρωπαϊκή επιτροπή, ύψους 30 δις δραχμών, ενώ παράλληλα εντάχθηκε και στη λίστα των προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 με κωδικό GR1430007.

Για την διαχείριση της περιοχής της λίμνης αλλά και του ίδιου του υγροτόπου συστάθηκε το 2003 με τον νόμο 2742/1999 ο Φορέας Διαχείρισης Κάρλας - Μαυροβουνίου - Κεφαλόβρυσου - Βελεστίου - Δέλτα Πηνειού (Φ.Δ.Κα.Μα.Κε.Βε.Δε.Πη.). Λήφθηκαν επίσης μέτρα για την προστασία της ιχθυοπανίδας – ορνιθοπανίδας της Κάρλας και την δημιουργία λιμναίου οικοσυστήματος. Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω μέτρα οριοθετήθηκε μόνιμο πρόγραμμα παρακολούθησης των υγρών αποβλήτων που καταλήγουν στον Παγασητικό Κόλπο, καθώς και πρόγραμμα παρακολούθησης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους της περιοχής.

Με βάση τα σχέδια της τελικής μελέτης περιβαλλοντικών όρων της κατασκευής του ταμιευτήρα, το έργο εξυπηρετεί τις εξής λειτουργίες:

- Αποκατάσταση του αποξηραμένου οικοσυστήματος της περιοχής της λίμνης – δημιουργία υγροτόπου και επαναδημιουργία ενδιαιτημάτων τοπικής χλωρίδας και πανίδας.
- Ανάσχεση πλημμυρών.
- Εξασφάλιση αρδευτικών υδάτων για τις τοπικές καλλιέργειες.
- Βελτίωση της ποιότητας του νερού που αποστραγγίζει στις τοπικές καλλιέργειες και καταλήγει στον Παγασητικό κόλπο.

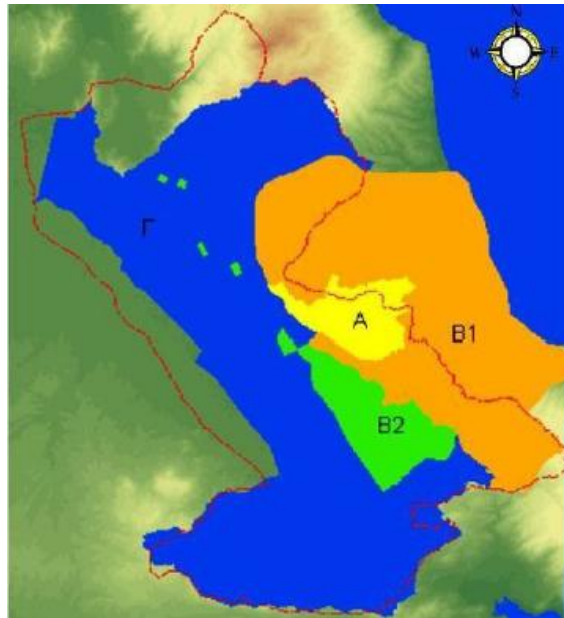
Στα τέλη του 2009 είχε σχεδόν ολοκληρωθεί η αποκατάσταση του υγροτόπου, με βάση τα σχέδια επαναπλημμυρισμού. Μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα φάνηκε πως η περιοχή είχε ήδη αρχίσει να ανακτά μεγάλο αριθμό από πτηνά, ψάρια και βλάστηση που είχαν εκλείψει κατά την περίοδο της αποξήρανσης. Μετά τον πρώτο χρόνο «λειτουργίας» του ταμιευτήρα όμως, ξεκίνησαν να σημειώνονται περιοδικοί μαζικοί θάνατοι πτηνών και ιχθύων που συνδεόταν στενά με τον ευτροφισμό της λίμνης, την υπερβολική άντληση υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς και την ανεξέλεγκτη απόρριψη αποβλήτων κατά μήκος του Πηνειού, τα νερά του οποίου κατέληγαν στην λίμνη. Παρόλα αυτά μέχρι και σήμερα η μερική επαναφορά της λίμνης θεωρείται ένα από τα πιο εξέχοντα περιβαλλοντικά έργα που έχουν υλοποιηθεί στη χώρα μας. (Nikouli, Kosmas, Berillis, Karayianni, & Moustaka-Gouni, 2013)

2.5 Καθεστώς προστασίας λίμνης

Η λίμνη Κάρλα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ανήκει στις περιοχές Natura2000 με την κωδική ονομασία GR1430007. Συγκεκριμένα είναι χαρακτηρισμένη ως «Περιοχή Οικοανάπτυξης Κάρλας – Μαυροβουνίου – Κεφαλόβρυσου – Βελεστίου». Η περιοχή αυτή διαιρείται σε τέσσερις ζώνες προστασίας:

- Ζώνη Α : Περιοχή Προστασίας της φύσης που περιλαμβάνει ένα μέρος του όρους Μαυροβούνι.

- Ζώνη B1 : Περιοχή Διαχείρισης Ορεινού οικοσυστήματος και Θαλάσσιας ζώνης που περιλαμβάνει μέρος του όρους Μαυροβούνι, μέρος του όρους Πηλίου και την θαλάσσια ζώνη στις ακτές του Μαυροβουνίου.
- Ζώνη B2 : Περιοχή Διαχείρισης λιμναίου οικοσυστήματος που περιλαμβάνει της λίμνη Κάρλα και την ευρύτερη περιοχή της.
- Ζώνη Γ : Περιοχή ελεγχόμενων δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει το υπόλοιπο της λεκάνης απορροής της λίμνης.

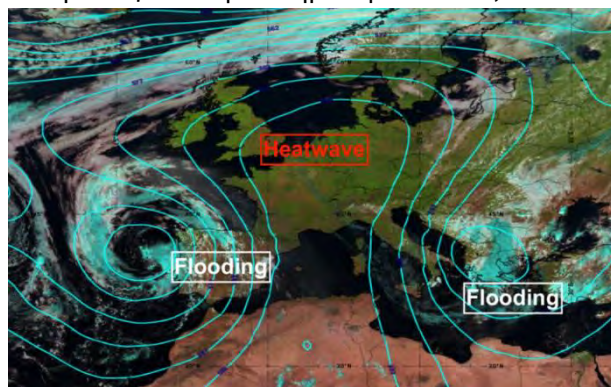


Εικόνα 9: Ζώνες Προστασίας Κάρλιας περιοχής
(Κ.Υ.Α 112839/18-12-2000)

2. Η καταιγίδα Daniel και οι επιπτώσεις στη λίμνη

2.6.1 Το φαινόμενο Daniel

Μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2023 η αποκατεστημένη λίμνη αποτελούσε το ¼ της φυσικής λίμνης (αρχαίας), με την επιφάνεια της να καλύπτει εμβαδόν 38 Km² και την περίμετρό της να αγγίζει 230Km. Το μέγιστο βάθος του ταμιευτήρα έφτανε τα 4,5m και το μέσο βάθος τα 2m. Γεγονός που την κατατάσσει στις ρηχές λίμνες της Ελλάδας. Δεχόταν επιφανειακή απορροή από τις γύρω γεωργικές και ορεινές περιοχές, καθώς επίσης εμπλουτιζόταν συνεχώς με νερά από τον Πηνειό ποταμό. Τα βελτιωτικά έργα δεν είχαν ακόμη σταματήσει στην περιοχή, ενώ παράλληλα βρισκόταν σε εξέλιξη διάφορα

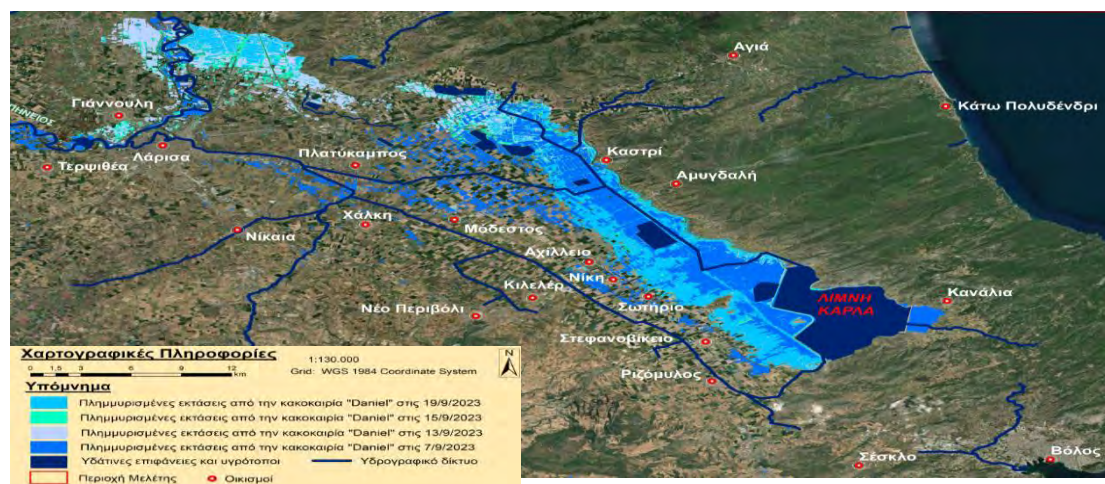


Εικόνα 10: Απεικόνιση Ω block
Πηγή: (ΕΜΥ, 2023)

Ευρωπαϊκά προγράμματα για την προστασία της χλωρίδας και πανίδας της λίμνης και των παρακάρλιων περιοχών.

Πιο συγκεκριμένα, η περιφέρεια Θεσσαλίας το καλοκαίρι του 2023 ανακοίνωσε την κατασκευή αντλιοστασίων και καναλιών που θα επέτρεπαν σε επιπλέον 20.000στρ, από τα ήδη 21.000στρ γης, να αρδεύουν νερό για πότισμα καλλιεργειών. Κανένα από τα παραπάνω έργα όμως δεν ολοκληρώθηκε, καθώς όλα τέθηκαν σε αναστολή μετά την καταστροφική καταιγίδα Daniel που έπληξε ολόκληρη την χώρα και κυρίως την περιοχή του Θεσσαλικού κάμπου την 4^η Σεπτεμβρίου 2023. Το ακραίο φυσικό φαινόμενο Daniel ξεκίνησε από το Ιόνιο Πέλαγος και είχε επίκεντρο τη Θεσσαλική πεδιάδα. Αποτελούνταν από ανυποχώρητες ισχυρές βροχές και καταιγίδες που σε συνδυασμό με τις έντονες ανοδικές κινήσεις του αέρα και την μεταφορά υδρατμών από το Αιγαίο προς την ηπειρωτική χώρα είχαν ως αποτέλεσμα η περιοχή του Βόλου να δεχθεί 150εκ. τόνους νερού και φερτών υλικών εντός 24ωρών. Η σφοδρότητα του φαινομένου οφείλεται στην δημιουργία ενός Ω block γνωστό και ως «σύστημα εμποδισμού».

Το Ω block δημιουργείται όταν δύο συστήματα βαρομετρικού χαμηλού (κυκλώνες) «παγιδεύουν» ανάμεσα τους ένα σύστημα βαρομετρικού υψηλού (αντικυκλώνα), με αποτέλεσμα να εμποδίζουν την μετακίνηση άλλων καιρικών συστημάτων. Βασικό του χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη διάρκεια που προσδίδει στα καιρικά φαινόμενα που μεταφέρει. Ανάλογα με την γεωγραφική θέση κάτω από τον σχηματισμό τα φαινόμενα μπορεί να ποικίλουν από ισχυρές βροχοπτώσεις που οδηγούν σε πλημμύρα ή σε παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας (βλ. εικόνα 10). Ένα μέσο σύστημα εμποδισμού μπορεί να έχει διάρκεια 3-7 ημέρες, ενώ τα πιο ισχυρά μπορεί να διαρκέσουν μέχρι και ένα μήνα.



Εικόνα 11: Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων από 07/09/23 - 19/09/23

Πηγή: Beyond, Center of earth observation research & satellite remote sensing

Διαθέσιμο: <http://beyond-eocenter.eu/index.php/news-events/629-daniel-20-9-23>

Από ειδικούς μετεωρολόγους εκτιμάται ότι κατά την διάρκεια του τετραήμερου αυτού φαινομένου έπεσαν περίπου 55 φορές περισσότερα χιλιοστά βροχόπτωσης σε σχέση με τις μέσες αναμενόμενες τιμές για την ίδια περίοδο, με την βροχόπτωση να ξεπερνά σε ορισμένες περιοχές τα 1000mm. Ο Πηνειός έφτασε να έχει μέση στάθμη που

ξεπερνούσε τα 9m, ενώ υπό φυσιολογικές συνθήκες άγγιζε μόλις τα 4m. Την ίδια στιγμή στην κοιλάδα των Τεμπών η στάθμη του έφτανε τα 18m. Περιοχές όπως το χωριό Ζαγορά δέχτηκαν σχεδόν 750mm βροχής μόνο εντός του 24ώρου μεταξύ της 5^{ης} – 6^{ης} Σεπτεμβρίου. Ο τελικός απολογισμός μετά την φυσική καταστροφή για όλη τη θεσσαλική πεδιάδα ήταν 17 νεκροί, πάνω από 200.000 πνιγμένα ζώα, περισσότερα από 800.000στρ γεωργικής γης κάτω από το νερό και υλικές ζημιές που ξεπερνούσαν τα 2δισ ευρώ. Δεδομένης της γεωργικής σημασίας της περιοχής της Θεσσαλίας, οι επιπτώσεις του φαινομένου αναμένεται να φέρουν σοβαρές συνέπειες και στην παραγωγή.

2.6.2 Οι επιπτώσεις του Daniel στη λίμνη

Η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλα μας προδιαθέτει για την σημείωση πλημμυρικών φαινομένων, καθώς είναι περιτριγυρισμένη από ορεινές μάζες που δέχονται υψηλά ποσοστά βροχής, ενώ η ίδια η λίμνη βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο. Σύμφωνα με την έκθεση που δημοσίευσε το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, τα πλημμυρικά ύδατα δεν έφτασαν αμέσως στην λίμνη (Lekkas E., 2024). Με την έναρξη του φαινομένου στις 4/09/2023 η λίμνη δέχθηκε νερό από τις κατακρημνίσεις και την επιφανειακή απορροή των γειτονικών ορεινών μαζών, όμως μέχρι την στιγμή που έσπασε το ανάχωμα της Λάρισας, στην περιοχή της Γυρτώνης, στις 8/09/2023 δεν είχε δεχθεί πλημμυρικά ύδατα από τον Πηνειό ποταμό (βλ. εικόνα 12). Αξίζει να τονιστεί ότι η κύρια πηγή υδάτων της λίμνης είναι ο Πηνειός ποταμός, με αποτέλεσμα όταν απέτυχε το ανάχωμα όλο το νερό που συγκρατούσε να οδηγηθεί προς την λίμνη. Υπολογίζεται ότι κατά την διάρκεια των βροχοπτώσεων μόνο στην λεκάνη του Πηνειού έπεσαν 363,9mm βροχής, ποσότητα που μεταφράζεται σε 4026hm³ όγκο βρόχινου νερού, σχεδόν όσο και το 50% των κατακρημνίσεων που δέχεται σε 1 έτος. (Dimitriou E., 2024) Περισσότερο από το 40% της επιφανειακής απορροής που δημιουργήθηκε με την λήξη του φαινομένου κατέληξε στη λίμνη, αυξάνοντας την στάθμη της. Ο ρυθμός αύξησης της στάθμης του νερού υπολογίστηκε σε 5-20cm/ημέρα, από το νερό που έφτανε στην σήραγγα αποστράγγισης 2Τ, η παροχή της οποίας είναι περίπου 8.5m³/sec. (Lekkas E., 2024) (Dimitriou E., 2024)



Εικόνα 12: Δορυφορική απεικόνιση πλημμυρικού φαινομένου 10/09/2023, αφού απέτυχε το ανάχωμα της Γυρτώνης

Διαθέσιμη εικόνα:

<https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=11&lat=39.64033&lng=22.61879&hemelId=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX1%2FVQWkLDyqR0YAhtB8Gk%2Fakki%2FJkeAKAH6Ae9YfnnWlQsO86VaCnwJjMm%2FcYHISHndiHzD31HeMBfuYWDKt7Zk%2FgBG>



Εικόνα 13: Απεικόνιση συνολικής βροχόπτωσης σε mm βροχής από 4-7 Σεπτεμβρίου στο Νομό Λάρισας
Πηγή: (Dimitriou E., 2024)

Ο τεράστιος όγκος νερού που έφτασε στην λεκάνη της λίμνης ξεπέρασε την φέρουσα ικανότητα της με αποτέλεσμα μεγάλες εκτάσεις γεωργικής και όχι μόνο γης, που βρισκόταν σε απόσταση έως και 500m από την παράκτια ζώνη, να βρεθούν κάτω από το νερό. Οι περιοχές που επλήγησαν φαίνεται να εμφανίζουν μια κοινή λίστα από συνέπειες:

- Χαμένες ζωές: Άνθρωποι και ζώα παγιδεύτηκαν ή παρσύρθηκαν από τα ορμητικά νερά.
- Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων: Τα πλημμυρικά ύδατα μετέφεραν ρύπους, λύματα, χημικές ουσίες και συντρίμια που μολύνουν τα νερά και βλάπτουν τα υδατικά οικοσυστήματα.
- Διάβρωση εδάφους: Οι έντονες πλημμύρες διάβρωσαν το έδαφος, οδηγώντας σε μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα και αυξημένη καθίζηση στα υδάτινα σώματα.
- Διαταραχή ενδιαιτημάτων: Οι πλημμύρες διατάραξαν τους χερσαίους και υδρόβιους οικοτόπους, εκτοπίζοντας ζώα και αλλοιώνοντας τη διαθεσιμότητα τροφής και καταφυγίων. Επίσης, οι κατολισθήσεις κατέστρεψαν δάση, υγροτόπους και άλλους φυσικούς οικοτόπους, οδηγώντας στην απώλεια της βιοποικιλότητας.
- Απορροή ιζημάτων: Οι κατολισθήσεις είχαν ως αποτέλεσμα την ταχεία κίνηση των ιζημάτων, τα οποία μπορούν να φράξουν ποτάμια και ρέματα, επηρεάζοντας τα υδάτινα οικοσυστήματα.
- Απώλεια βιοποικιλότητας: Η καταστροφή φυσικών οικοτόπων, συμπεριλαμβανομένων των δασών, των υγροτόπων και των παράκτιων περιοχών, οδήγησε στην απώλεια φυτικών και ζωικών ειδών.
- Διαταραχή των φυσικών λειτουργιών του οικοσυστήματος: Οι φυσικοί βιότοποι παρέχουν βασικές υπηρεσίες οικοσυστήματος, όπως ο καθαρισμός του νερού και η ρύθμιση του κλίματος. Η ζημιά σε αυτούς τους οικοτόπους διατάραξε αυτές τις υπηρεσίες.
- Ανταγωνιστικά είδη: Οι καταιγίδες μπορούν να διευκολύνουν την εξάπλωση ανταγωνιστικών ειδών σε κατεστραμμένα οικοσυστήματα, απειλώντας περαιτέρω την εγγενή χλωρίδα και πανίδα.
- Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις: Θα χρειαστούν χρόνια για να ανακάμψουν πλήρως τα οικοσυστήματα από τη ζημιά που προκλήθηκε από το φαινόμενο, επηρεάζοντας την ανθεκτικότητα αυτών των συστημάτων.

(Ioannis Adamopoulos, 2023)

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο των *in situ* αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην λίμνη Κάρλα με σκοπό την εκτίμηση και αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης της, μετά το φαινόμενο Daniel. Πραγματοποιήθηκαν δύο σετ δειγματοληψιών σε δύο εποχές του χρόνου (άνοιξη – καλοκαίρι). Το 1^ο στις 27/04/2024, όπου λήφθηκαν έξι (6) δείγματα περιφερειακά της λίμνης και το 2^ο στις 02/06/2024 όπου, λόγω μη αναμενόμενων έκτακτων καιρικών φαινομένων, λήφθηκαν 3 δείγματα από τα σημεία μεγαλύτερου ενδιαφέροντος. Οι σταθμοί δειγματοληψίας φαίνονται στην Εικόνα 16. Η πρόσβαση στους σταθμούς έγινε οδικώς και η λήψη των δειγμάτων έγινε με πτυσσόμενη αλουμινένια δοκό (βλ. εικόνα 14) που στην άκρη της έφερε ειδικό δοχείο τοποθέτησης φιαλών. Η δειγματοληψία έγινε με αποστειρωμένες γυάλινες φιάλες των 500ml για αποφυγή επιμολύνσεων (βλ. εικόνα 15) και η μεταφορά τους στο εργαστήριο έγινε σε συνθήκες 4°C ώστε να διασφαλιστεί ποιότητα της μικροβιακή ανάπτυξης και να αποφευχθούν τυχών επιδράσεις από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα σημεία λήψης των δειγμάτων είχαν βάθος περίπου 30-50 cm.



Εικόνα 14: Πτυσσόμενη δοκός



Εικόνα 15: Φιάλη δειγματοληψίας

Η αρχική υπόθεση πάνω στην οποία βασίζεται το πειραματικό κομμάτι της εν λόγω διατριβής είναι πως η ολική μικροβιακή ανάπτυξη της λίμνης με την εναλλαγή των εποχών και με την αύξηση της θερμοκρασίας, θα υποστεί δραματική αύξηση. Ταυτόχρονα με την μελέτη της μικροβιακής χλωρίδας της λίμνης, έγιναν και αναλύσεις για την μελέτη της χημικής της ρύπανσης από το ακραίο φαινόμενο με σκοπό να αξιολογηθεί ο ρυθμός απομάκρυνσης των χημικών ουσιών από το νερό της λίμνης.



Εικόνα 16: Σταθμοί Δειγματοληψίας

3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπό ανάλυση

α. Αγωγιμότητα (C) : Είναι η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Εξαρτάται από την παρουσία ιόντων και την συγκέντρωσή τους μέσα στο νερό, το φορτίο τους, της κινητικότητά τους, την θερμοκρασία του διαλύματος, το ιξώδες, καθώς και την διαφορά δυναμικού με την οποία γίνεται η μέτρηση. Η αγωγιμότητα είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των αλάτων που είναι διαλυμένα μέσα στο υδατικό διάλυμα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση των αλάτων, τόσο υψηλότερη και η αγωγιμότητα. Στον πίνακα 8 αναγράφεται η συσχέτιση αγωγιμότητας και σκληρότητας νερού. Το όργανο μέτρησης της αγωγιμότητας ονομάζεται αγωγιμόμετρο και ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στην μέτρηση των διαλυμένων στερεών που βρίσκονται μέσα στο διάλυμα που γίνεται η μέτρηση. Στην πραγματικότητα όμως δεν μετρά τα διαλυμένα στερεά αλλά τα σωματίδια που είναι ηλεκτρικά φορτισμένα.

Πίνακας 6 : Συσχέτιση αγωγιμότητας - σκληρότητας νερού

μS/cm	Χαρακτηρισμός νερού
0-140	Πολύ μαλακό νερό
140-300	Μαλακό νερό
300-500	Κάπως σκληρό νερό
500-640	Αρκετά σκληρό νερό
640-840	Σκληρό νερό
>840	Πολύ σκληρό νερό

β. Θερμοκρασία (T) : Είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την λειτουργία ενός λιμναίου οικοσυστήματος, καθώς επηρεάζει την διαλυτότητα του οξυγόνου, την διάσπαση των οργανικών ουσιών αλλά και άλλων συστατικών. Επίσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και για τους ζωντανούς οργανισμούς της λίμνης καθώς ρυθμίζει τις μεταβολικές διαδικασίες. Ανάλογα με την θερμοκρασία που έχει το νερό μίας λίμνης μπορεί να δημιουργηθούν ευνοϊκές ή όχι συνθήκες για την ανάπτυξη ασθενειών, βακτηρίων και ιών. Η μονάδα μέτρησης της στο S.I. είναι οι βαθμοί Κελβιν (K)

γ. pH : Είναι η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα. Η κλίμακα μέτρησης του εκτείνεται από 0-14 μονάδες, με το 7 να εκπροσωπεί την ουδέτερη κατάσταση. Οι τιμές μεταξύ 0-7 αντιπροσωπεύουν ένα όξινο περιβάλλον και αντίστοιχα οι τιμές 7-14 αντιπροσωπεύουν βασικό (αλκαλικό) περιβάλλον. Οι μικρές τιμές pH μπορεί να οφείλονται στην ύπαρξη τοξικών μετάλλων, ενώ υψηλές τιμές συναντάμε στα σκληρά νερά. Η τιμή του επηρεάζει πολύ βασικές βιολογικές και χημικές διεργασίες του οικοσυστήματος. Καθορίζει τον ρυθμό με τον οποίο εκτελείται ο μεταβολισμός και η αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Οι ιδανικές συνθήκες pH για την συντήρηση της ζωής στα λιμναία οικοσυστήματα είναι μεταξύ 6-8. Στα περισσότερα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα της χώρας είναι μεταξύ 4-9. (Παπανίκος, 2008)

δ. Διαλυμένο Οξυγόνο (D.O.) : Για να εισέλθει οξυγόνο στο νερό πρέπει να υφίσταται διεπιφάνεια μεταξύ του νερού και της ατμόσφαιρας. Οι ιδανικές συνθήκες διαλυμένου οξυγόνου σε νερό θερμοκρασίας 15-25°C είναι 10.1 – 7.8 mg/l. Πολλές φορές εξαιτίας της έντονης φωτοσύνθεσης στα επιφανειακά στρώματα νερού, η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου δύναται να υπερβεί την φέρουσα ικανότητα της υδατικής στήλης και να βρεθεί σε επίπεδα υπερκορεσμού. Αντιθέτως, όταν αυξάνεται η νεκρή οργανική ύλη και κατά συνέπεια οι διαδικασίες αποσύνθεσης (οξειδωση οργανικής ύλης) η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να φτάσει σε επίπεδα ανοξίας. Επίσης το φαινόμενο του ευτροφισμού (blooms) είναι άλλη μία συνθήκη που μειώνει την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Η διαλυτότητα του O₂ εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες θερμοκρασίας, pH και πίεσης του νερού. Η μονάδα μέτρησης του DO στο SI είναι mg/l. (Παπανίκος, 2008)

ε. Χημικός απαιτούμενο οξυγόνο (COD) : Είναι το οξυγόνο που απαιτείται για να οξειδωθούν οι οργανικές ενώσεις που είναι διαλυμένες μέσα στον υδατικό πόρο. Το οργανικό φορτίο μπορεί να προέρχεται είτε από βιομηχανικά απόβλητα, αστικά λύματα, αγροτικές δραστηριότητες ακόμη και η διάβρωση των ορυκτών πόρων εκατέρωθεν και περιφερειακά του υδατινού σώματος.

στ. Αμμώνιο (NH₄⁺) : Είναι ανόργανη παράμετρος του νερού και αποτελεί τοξικό απόβλητο από την διαδικασία μεταβολισμού των ζωικών οργανισμών. Αποβάλλεται απευθείας στο νερό από το πεπτικό σύστημα των ιχθύων και των υδρόβιων ασπόνδυλων. Για το πόσιμο νερό το επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης αμμωνίου είναι τα 0,5mg/l. Το αμμώνιο προσδίδει στο νερό μια απωθητική γεύση και είναι σημάδι μόλυνσης. Η βασική του πηγή σε ένα υδατικό οικοσύστημα πέρα από τους ίδιους τους οργανισμούς που διαβιούν μέσα στο νερό, είναι τα κοντινά ποιμνιοστάσια – βουστάσια και τα γεωργικά λιπάσματα.

Ζ. Νιτρικά (NO_x): Είναι μία από της μορφές που λαμβάνει το άζωτο όταν εισέρχεται σε υδατικό περιβάλλον και αποτελεί μία ανόργανη παράμετρος. Υπάρχουν κυρίως στην ατμόσφαιρα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και καταλήγουν στα υδάτινα οικοσυστήματα μέσω των κατακρημνίσεων. Προκύπτουν από την οξείδωση των αμμωνιακών και των νιτρώδων αλάτων γνωστή και ως νιτροποίηση. Ο ρυθμός της νιτροποίησης εξαρτάται από την θερμοκρασία, το D.O. και το pH. Τα ιόντα νατρίου είναι ένα είδος θρεπτικού συστατικού, απαραίτητο για την ανάπτυξη του φυτοπλακτού. Για να είναι ευνοϊκές οι συνθήκες περιβάλλοντος του νερού για την ευημερία των ιχθύων θα πρέπει η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων να είναι $<<0,5\text{mg/l}$.

η. Χαλκός (Cu) : Είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή εργαλείων, σκευών και όπλων. Έχει ιδιαίτερο κοκκινοπό χρώμα και χαρακτηριστική λάμψη. Ο χαλκός δεν αποτελεί ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο, επομένως δεν αντιδρά με άλλα στοιχεία. Για τον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεί σημαντικό ιχνοστοιχείο. Η παρουσία του διευκολύνει την απορρόφηση του Fe, όμως σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει την νόσο του Wilson, γνωστή και ως ηπατοφακοειδής εκφύλιση. Η μακροχρόνια έλλειψη του από τον οργανισμό επηρεάζει την σύνθεση της ντοπαμίνης. Στο νερό εισχωρεί συνήθως μέσω των υδραυλικών συστημάτων και η συσσώρευση του μπορεί να παρατηρηθεί με γυμνό μάτι καθώς αφήνει μπλε – πράσινους λεκέδες στο χείλος των βρυσών και σε υψηλές συγκεντρώσεις του προσδίδει μία μεταλλική / πικρή γεύση. Τα ασφαλή επίπεδα για το πόσιμο νερό σύμφωνα με τον WHO είναι $0,03\text{mg/Kg}$ σωματικού βάρους.

θ. Ολικός Φώσφορος (TP) : Είναι το βασικότερο θρεπτικό συστατικό για όλου στους ζωντανούς οργανισμούς της λίμνης και βρίσκεται διαλυμένο στο νερό με την μορφή φωσφορικών ιόντων. Ο ολικός φώσφορος αποτελεί έναν συνδυασμό του οργανικού και του ανόrganου φωσφόρου καθώς και του διαλυμένου και του σωματιδιακού φωσφόρου. Η ισορροπία στα επίπεδα φωσφόρου σε μία λίμνη είναι καθοριστική καθώς οι υψηλές ή χαμηλές συγκεντρώσεις του αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των παραγωγών. Οι ενώσεις του φωσφόρου καθιζάνουν εύκολα στον πυθμένα και τα επίπεδά του σε φυσικά νερά είναι της τάξεως των $10\text{-}50\text{ mg/l}$. Σε ολιγοτροφικά ύδατα η συγκέντρωση του δεν ξεπερνά τα 5mg/l , ενώ σε ευτροφικά περιβάλλοντα μπορεί να είναι $>>100\text{mg/l}$. Η συγκέντρωση του εξαρτάται από το pH του νερού, την θερμοκρασία και την ύπαρξη νιτρικών ή νιτρώδων ιόντων. Η υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τον ρυθμό διάσπασης των ενώσεων φωσφόρου οπότε αυξάνεται η συγκέντρωση του. Το pH σχετίζεται με την επαναιώρηση των ενώσεων του από τον πυθμένα. Τα ιόντα αζώτου βοηθούν στην οξείδωση των ενώσεων φωσφόρου που έχουν καθιζάνει στον πυθμένα επομένως, μειώνεται ο ρυθμός απελευθέρωσης του. Βασικές πηγές φωσφόρου για μία λίμνη είναι οι επιφανειακές ροές, τα λιπάσματα, τα απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες, τα βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανίες που χρησιμοποιούν φώσφορο στην γραμμή παραγωγής τους και τα αστικά λύματα (κυρίως απορρυπαντικά).

ι. Σίδηρος (Fe) : Είναι παραπροϊόν της διάβρωσης των ορυκτών που περιέχουν σιδηρούχες ενώσεις. Βασική του πηγή σε ένα λιμναίο σύστημα είναι η επιφανειακή απορροή, τα φερτά υλικά (πχ σιδερένιες σωλήνες κλπ) και τα βιομηχανικά απόβλητα.

Προσδίδει στο νερό μία μεταλλική γεύση και χαρακτηριστική οσμή. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου στο πόσιμο νερό μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ιστούς.

ια. Μαγγάνιο (Mn) : Είναι, όπως ο σίδηρος, παραπροϊόν της διάλυσης των ορυκτών πόρων. Δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση. Οι υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου στο νερό μπορούν να προκαλέσουν θόλωση του και δυσάρεστες οσμές. Η συσσώρευση του στο νερό είναι φανερή με γυμνό μάτι καθώς αφήνει μαύρες κηλίδες στις βρύσες. Έχει αργυρόγκριζο μεταλλικό χρώμα και μοιάζει στην όψη με τον σίδηρο. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεί χρήσιμο ιχνοστοιχείο, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις αποτελεί κίνδυνο για την υγεία.

ιβ. *Escherichia coli* : Το βακτήριο αυτό είναι μέλος της οικογένειας των Enterobacteriaceae, στην οποία ανήκουν και άλλα αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Είναι το κύριο είδος στην ομάδα των κολοβακτηριδίων των κοπράνων. Από τις πέντε γενικές ομάδες βακτηρίων που αποτελούν τα συνολικά κολοβακτηρίδια, μόνο το *E. coli* δεν βρίσκεται να αναπτύσσεται και να αναπαράγεται ελεύθερο στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, το *E. coli* θεωρείται το είδος των κολοβακτηριδίων που είναι ο καλύτερος δείκτης της μόλυνσης από κόπρανα και της πιθανής παρουσίας παθογόνων στο νερό. Για τον άνθρωπο η *E. coli* αποτελεί μέρος της φυσιολογικής χλωρίδας του εντέρου. (Elodie, et al., 2021)

ιγ. Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα (ΟΜΧ) : Η ΟΜΧ επηρεάζεται από την συγκέντρωση συγκεκριμένων ομάδων μικροοργανισμών επομένως, αν αυξηθεί η συγκέντρωση της θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για παρουσία παθογόνων στο νερό. Συνήθως τα ψυχροτροφικά βακτήρια αποτελούν το 10-50% της ΟΜΧ.

ιδ. Total Coliforms : Είναι ένα σύνολο από διάφορα είδη κολοβακτηριδίων. Στα coliforms ανήκουν το *E. coli*, το *Enterobacter aerogenes*, το γένος *Citrobacter* και το γένος *Klebsiella*. Τα περισσότερα είδη δεν είναι παθογόνα, όμως υπάρχουν ορισμένα στελέχη *E. coli* που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες. Όλα τα είδη κολοβακτηριδίων παράγουν την ένωση β-γαλακτοσιδάση, επομένως είναι η τυπική μεθόδους ανίχνευσης τους στο νερό. Υπάρχουν διάφορες άλλες μέθοδοι ανίχνευσης τους ανάλογα με το είδος των μικροοργανισμών που μελετώνται.

ιε. Εντερόκοκκος : Είναι βακτήριο θετικό κατά Gram που συχνά παρατηρούνται σε ζεύγη ή αλυσίδες. Δύο από τα είδη εντερόκοκκου που επιβιώνουν στον ανθρώπινο οργανισμό είναι *E. faecalis* και *E. faecium*. Ο εντερόκοκκος ευημερεί σε θερμοκρασία 35°C. Δεν είναι ικανός να αναπτύξει ενδοσπόρια, όμως αντέχει σε ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος ($T > 40^{\circ}\text{C}$, $\text{pH } 4,5-10$, $[\text{NaCl}] >>$). Τα ενδεικτικά όρια για το νερό είναι 7 αποικίες ανά 100ml. Η αυξημένη συγκέντρωση εντερόκοκκου στο νερό είναι ένδειξη μόλυνσης και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό και σε κάθε άλλο ζωικό οργανισμό που το καταναλώνει. Σε περίπτωση λοίμωξης από εντερόκοκκο η αντιμικροβιακή αγωγή δεν είναι χρήσιμη καθώς τα αντιβιοτικά δεν είναι βακτηριοκτόνα. Επομένως, ο πρόληψη και η αντιμετώπιση αυτού του είδους των λοιμώξεων είναι πολύ δύσκολη. Νέα αντιβιοτικά έχουν παραχθεί με σκοπό την αντιμετώπιση τους όμως η πλήρη εξάλειψη τους είναι αδύνατη. (Πιτυρίγκα, 2016)

3.2 Ποιοτική κατάσταση επιφανειακών υδάτων λίμνης Κάρλα πριν το φαινόμενο Daniel

Η ποιότητα των υδάτινων πόρων εξαρτάται κυρίως από την χημική και ορυκτολογική σύσταση του γεωλογικού υποστρώματος πάνω από το οποίο εκτείνονται. (Siegel, 2002) Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την οικολογική κατάσταση των υδάτων είναι τα φυσικά φαινόμενα, ανεξαρτήτου έντασης. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα προκαλούν διάβρωση των εδαφών και κατ'επέκταση εμπλουτίζεται το νερό με διάφορα ιόντα, τα οποία όταν βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να εμφανίσουν τοξικότητα, ανάλογα με το είδος τους. (Kelepetsis, Alexakis, & Skordas, pp. 76-84) (Κοσμίδης, και συν., 9-11/06/2011) Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, που αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, η ποιοτική κατάσταση των υδάτινων πόρων είναι αποτέλεσμα της οικολογικής και χημικής τους κατάστασης. Ως οικολογική κατάσταση ορίζεται «η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με επιφανειακά ύδατα, η οποία ταξινομείται σύμφωνα με το παράρτημα Ι». Ως χημική κατάσταση ορίζεται «οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών και η αγωγιμότητα».

Πίνακας 7: Παράμετροι ταξινόμησης και όρια καλής/μέτριας κατάστασης λιμναίων οικοσυστημάτων Θεσσαλίας

Πηγή: (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2014) Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής ΥΔ Θεσσαλίας (ΣΔΛΑΠ).

Επίπτωση	Μετρούμενη παράμετρος	Όρια καλής / μέτριας κατάστασης
Οξυγόνωση	Διαλυμένο οξυγόνο	70% 4mg/l στο υπολύμνιο
Οξίνιση	pH	6 έως 9
Διαφάνεια	Δίσκος Secchi	4m
Τροφική Κατάσταση	Ολικός φώσφορος	30 mg/l
	Ολικό άζωτο	1 mg/l
	Αμμώνιο	0,5 mg/l
	Νιτρώδη	0,05mg/l

Η κύρια πηγή ρύπανσης του υδατικού αποθέματος της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλα είναι ο Πηνειός ποταμός, καθώς αυτός είναι που την τροφοδοτεί κατά 70%. Τα νερά του Πηνειού επιβαρύνονται τόσο από γεωργικά φάρμακα όσο και από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα από τους διάφορους Δήμους και τα Κοινοτικά Διαμερίσματα τα οποία διαπερνά. Τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα από ελαιοτριβεία, τυροκομία και εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, που καταλήγουν στα νερά του Πηνειού είναι εμπλουτισμένα με βαρέα μέταλλα, υψηλές ποσότητες νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, ενώ τα αστικά απόβλητα φέρουν ισχυρό φορτίο βακτηριδίων. Σύμφωνα με την έκθεση που κοινοποίησε το Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, στην λεκάνη απορροής της λίμνης έχουν βρεθεί πολλές σημειακές πηγές ρύπανσης που είναι αποτέλεσμα της παράνομης και ανεξέλεγκτης ρίψης λιπασμάτων, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων και της απόπλυσης των ψεκαστικών μηχανημάτων από αγρότες σε ρέματα και τάφρους. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις γεωργικών φαρμάκων ήταν από ζιζανιοκτόνα που

χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες αραβόσιτου και βάμβακος. (Παππάς, 2017) Οι διάχυτες πηγές ρύπανσης του Πηνειού αφορούν επίσης την γεωργική δραστηριότητα και έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της αλκαλικότητας – αγωγιμότητας και την αύξηση των διαλυμένων στερεών (total dissolved solids – TDS) στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα της λεκάνης και κυρίως στις περιοχές των Καναλίων και του Καλαμακίου. Επομένως, η γενική εικόνα που εμφανίζει η τεχνητή λίμνη Κάρλα, είναι η εκτεταμένη υποβάθμιση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων της. Γεγονός που καθιστά το νερό ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση και για την επιβίωση των ιχθυοποθεμάτων. Άρα ο ταμιευτήρας της Κάρλα κρίνεται ακατάλληλος για να εκτελέσει κάθε μορφής σκοπό για τον οποίο επανασυστάθηκε.

Φυσικοχημικοί παράμετροι	Όρια		Τιμές λίμνης Κάρλα
	Οδηγία 2000/44/ΕΚ	ΚΥΑ Υ2/2600/2001	
DO	≥6mg/l (A) ≥4 mg/l (B)	-	6,8-8,2
NO ₃	-	≤50mg/l	3,25-10,36
NO ₂	≤0,01 mg/l (A) ≤0,03mg/l (B)	≤0,5mg/l	0,4-0,86
NH ₄	≤0,04 mg/l (A) ≤0,02mg/l (B)	≤0,5mg/l	0,22-1,22
P ₂ O ₅	-	≤5mg/l	0,18-1,68
BOD	≤3 mg/l (A) ≤6mg/l (B)	-	3,8-18,4
TSS	≤25mg/l	-	11,22-835
pH	6 έως 9	6,5-9,5	8-8,37
Αγωγιμότητα	-	≤2500 μS/cm	225-490 μS/cm

Πίνακας 8: Όρια φυσικοχημικών παραμέτρων (Οδηγία 2000/44/ΕΚ και ΚΥΑ Υ2/2600/2001)

(Α): όρια για σολομοειδή (Β): όρια για κυπρινοειδή

Πηγή: (Φορέας Διαχείρισης Κάρλας Μαυροβουνίου Κεφαλοβρυσου Βελεσίνου Δελτα Πηνειού, χ.χ.)

3.3 Αναλυτικές μέθοδοι

3.3.1 Προετοιμασία θρεπτικών υλικών - δειγμάτων

Για την παρασκευή των τρυβλίων petri με τα διάφορα θρεπτικά υλικά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία:

α. Ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας με κλωβό η κατάλληλη ποσότητα από το κάθε θρεπτικό:

- Bile Esculine Azide Agar (BEA) 28gr + 500ml H₂O
- Chromogenic Coliform Agar (CCA) 14.35gr + 500ml H₂O
- Tryptone Soy Agar (TSA) 18.5gr + 500ml H₂O
- Slanetz & Bartley Medium Membrane Enterococcus Agar (SBA) 21.75gr + 500ml H₂O

β. Σε γυάλινη πυρίμαχη φιάλη προστέθηκαν 500ml απιονισμένο νερό στο οποίο έγινε η ανάμειξη του θρεπτικού μέχρι να ομογενοποιηθεί το μείγμα.

γ. Θερμαίνουμε το μείγμα μέχρι να διαλυθεί εντελώς.

δ. Ελέγχθηκε το pH των μειγμάτων και σε όσα ήταν απαραίτητο έγινε προσαρμογή του προσθέτοντας αναλόγως διάλυμα βάσης ή οξέος. Οι συνιστώμενες τιμές pH για κάθε θρεπτικό υλικό με βάση τον κατασκευαστή είναι

- TSA: $7,1 \leq \text{pH} \leq 7,5$ Η τιμή του διαλύματος $\rightarrow \text{pH}: 7.19$
- CCA: $6,6 \leq \text{pH} \leq 7$ Η τιμή του διαλύματος $\rightarrow \text{pH}: 6.74$
- BEA: $6,9 \leq \text{pH} \leq 7,3$ Η τιμή του διαλύματος $\rightarrow \text{pH}: 6.95$
- SBA: $7 \leq \text{pH} \leq 7,45$ Η τιμή του διαλύματος $\rightarrow \text{pH}: 7.02$

ε. Όταν έπεσε η θερμοκρασία του μείγματος στους 47°C περίπου έγινε διανομή στα τρυβλία.

στ. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε εντός άσηπτου απαγωγού, για αποφυγή επιμολύνσεων.

ζ. Για τα όλα θρεπτικά υλικά έγινε χρήση αποστειρωμένων τρυβλίων και αντίστοιχα αποστείρωση και του θρεπτικού υλικού.



Εικόνα 17: Συσκευασίες υλικού θρεπτικού υλικού



Εικόνα 18: Προετοιμασία θρεπτικών υλικών σε άσηπτες συνθήκες

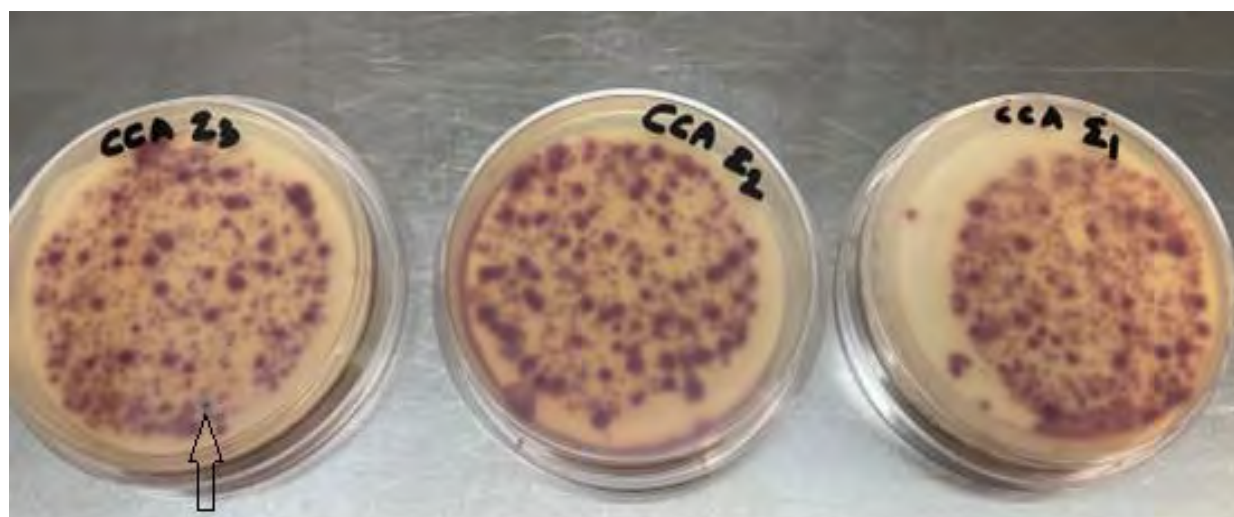
3.3.2 Μικροβιολογική Ανάλυση

Η μικροβιακή ανάλυση που διεξάχθηκε στα δείγματα αφορούσε την ανίχνευση και καταμέτρηση στελεχών κολοβακτηριοειδών (coliforms), *E. Coli*, εντερόκοκκου και την καταμέτρηση της Ολικής Μικροβιακής Χλωρίδας(ΟΜΧ). Η καλλιέργεια των δειγμάτων για την καταμέτρηση των στελεχών **E.coli** και **coliforms** έγινε με βάση το πρότυπο iso 9308 – 1:2014. Χρησιμοποιήθηκαν τα θρεπτικά υλικά:

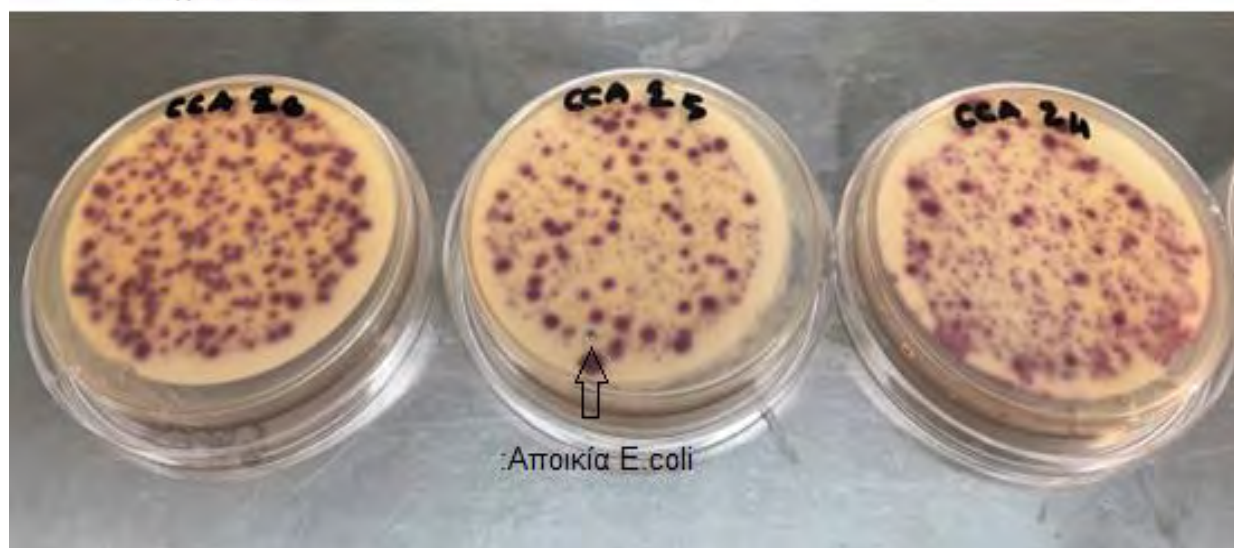
- Chromogenic Coliform Agar (CCA), για την ταυτόχρονη ανίχνευση *E.coli* και coliforms
- Tryptone Soy Agar (TSA), για την ανίχνευση και καταμέτρηση της *E.coli* και των coliforms στο νερό με την τεχνική φίλτρου μεμβράνης.
- Τεστ οξειδάσης, για την επιβεβαίωση της απουσίας στελέχους *E. coli* στο δείγμα του νερού.

Η διαδικασία βασίζεται στη διήθηση του νερού μέσα από φίλτρο μεμβράνης και στη συνέχεια καλλιεργήθηκε σε Chromogenic θρεπτικό υλικό (CCA) για την ανάπτυξη των κολοβακτηριοειδών. Αναλυτικότερα:

- Φιλτράραμε 100ml δείγματος νερού με φίλτρο κυτταρίνης διαμέτρου 47-50mm και διαμέτρου πόρων 0,45μm.
- Μετά την ολοκλήρωση της διήθησης τοποθετήθηκε η μεμβράνη, με αποστειρωμένη λαβίδα για αποφυγή επιμολύνσεων, σε τρυβλίο petri με θρεπτικό υλικό CCA. Η τοποθέτηση έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην παγιδευτεί αέρας κάτω από το φίλτρο.
- Τα τρυβλία μπήκαν σε κλίβανο επώασης σε ανάστροφη θέση για 24hr στους 37° C.
- Μετά το πέρας των 24hr τα βακτήρια είχαν σχηματίσει αποικίες κόκκινου χρώματος (coliforms) και μπλε χρώματος (*E.coli*). Το χρώμα που εμφανίζουν οι αποικίες εξαρτάται από τις ουσίες που παράγει ο κάθε μικροοργανισμός. Όλα τα κολοβακτηριοειδή παράγουν β-D galactosidase που τους προσδίδει το κόκκινο – ροζ χρώμα. Η *E.coli* παράγει β-D galactosidase και β-D glucuronidase που της προσδίδει το χαρακτηριστικό μπλε – βιολετί χρώμα.
- Για την καταμέτρηση των αποικιών χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός καταμετρητής αποικιών αντίστοιχος με την εικόνα 20.
- Για την αποφυγή ψευδούς αποτελέσματος (μπλε αποικίες εμφανίζουν και τα βακτήρια *Pseudomonas spp*) κάνουμε επιβεβαίωση παραγωγής οξειδάσης, με αντίστοιχο τεστ οξειδάσης για τουλάχιστον 10 αμιγείς αποικίες.



Μπλε αποικία
Δείγμα E.coli



Αποικία E.coli

Εικόνα 19: Αποτελέσματα καλλιέργειας CCA



Εικόνα 20: Ψηφιακός καταμετρητής αποικιών

Για το OXIDASE TEST ακολουθήθηκαν τα παραπάνω βήματα:



Εικόνα 21 : Ταινίες τεστ οξειδάσης

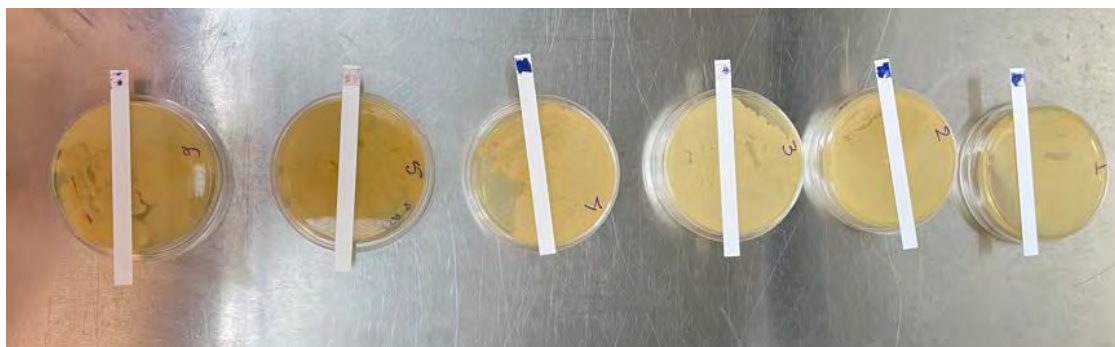
- Από το CCA τρυβλίο απομονώθηκαν 10 κόκκινες αποικίες με αποστειρωμένο μικροβιολογικό κρίκο και ανα καλλιιεργήθηκαν με την μέθοδο των διαδοχικών αραιώσεων σε τρυβλίο με θρεπτικό υλικό TSA.
- Τα TSA τρυβλία επωάστηκαν σε κλίβανο για 24hr στους 37° C.
- Μετά το πέρας των 24hr από το τρυβλίο TSA απομονώθηκε μία αποικία, με αποστειρωμένο μικροβιολογικό κρίκο, και έγινε επιστροφή πάνω σε ταινία οξειδάσης.



Εικόνα 22: Ανα καλλιέργεια σε TSA θρεπτικό υλικό

- Σε χρονικό διάστημα 30” εμφανίζεται το αποτέλεσμα του τεστ. Με την εμφάνιση μπλε χρώματος στην ταινία το τεστ είναι θετικό, επομένως δεν υπάρχουν στελέχη E.coli στις κόκκινες αποικίες (Το στέλεχος E.coli O157:H7 εμφανίζει άχρωμες αποικίες). Αν η ταινία εμφανίσει άλλο χρώμα ή παραμείνει άχρωμη σημαίνει ότι έχει ανιχνεύσει το ένζυμο τριπτοφάνη που είναι ένδειξη ότι στο δείγμα υπάρχουν επιπλέον στελέχη E.coli στο δείγμα νερό.

- Το σύνολο των κολοβακτηριοειδών είναι το σύνολο των μπλε και κόκκινων αποικιών που καταμετρήθηκαν στην μεμβράνη.



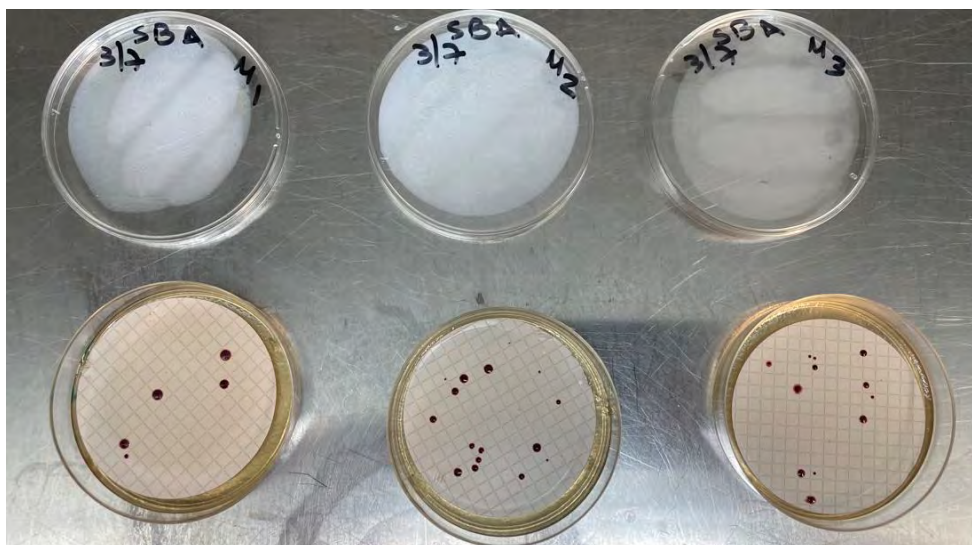
Εικόνα 23: Αποτελέσματα τεστ οξειδάσης

Η καλλιέργεια των δειγμάτων για την ανίχνευση και καταμέτρηση **εντερόκοκκου** έγινε σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7899 – 2:2000. Χρησιμοποιήθηκαν τα θρεπτικά υλικά:

- Enterococcus agar (Stanetz- Bartley Medium / SBA), για αριθμητική εκτίμηση και ταυτοποίηση του εντερόκοκκου.
- Bile Esculine Azide Agar (BEA), για επιβεβαίωση εντερόκοκκου.

Η διαδικασία βασίζεται στη διήθηση του νερού μέσα από φίλτρο μεμβράνης και στη συνέχεια καλλιεργήθηκε σε SBA θρεπτικό υλικό για την ανάπτυξη του εντερόκοκκου. Αναλυτικότερα:

- Φιλτράραμε 100ml δείγματος νερού με φίλτρο κυτταρίνης διαμέτρου 47-50mm και διαμέτρου πόρων 0,45μm.
- Μετά την ολοκλήρωση της διήθησης τοποθετήθηκε η μεμβράνη, με αποστειρωμένη λαβίδα για αποφυγή επιμολύνσεων, σε τρυβλίο petri με θρεπτικό υλικό SBA. Η τοποθέτηση έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην παγιδευτεί αέρας κάτω από το φίλτρο.
- Τα τρυβλία μπήκαν σε κλίβανο επώασης σε ανάστροφη θέση για 48hr στους 37° C.
- Μετά το πέρας των 48hr τα βακτήρια του εντερόκοκκου έχουν αναπτύξει καφέ αποικίες πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης (εικόνα24).
- Για την καταμέτρηση των αποικιών χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός καταμετρητής αποικιών αντίστοιχος με την εικόνα 20.
- Για την επιβεβαίωση της ύπαρξης στελεχών εντερόκοκκου στο δείγμα, γίνεται ανά καλλιέργεια της ίδιας μεμβράνης σε BEA θρεπτικό υλικό για τουλάχιστον 2hr στους 44°C, αν υπάρχουν εμφανής αποικίες πάνω στην μεμβράνη του SBA θρεπτικού.
- Οι αποικίες με καφέ – μαύρο χρώμα επιβεβαιώνονται ως εντερόκοκκοι.



Εικόνα 24: Αποτέλεσμα καλλιέργειας σε SBA θρεπτικό υλικό

Η καλλιέργεια για την καταμέτρηση της Ολικής Μικροβιακής Χλωρίδας (ΟΜΧ) έγινε με την μέθοδο της ενσωμάτωσης και τις προδιαγραφές του προτύπου ISO 6222:2000. Χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υλικό Plate Count Agar (PCA), για την καταμέτρηση της ΟΜΧ σε ψυχρό και θερμό περιβάλλον. Αναλυτικότερα:

- Μετά την παρασκευή του PCA θρεπτικού υλικού, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.3.1, τοποθετήθηκε 0,1ml στο κέντρο του τρυβλίου και από πάνω προστέθηκε το υγρό, ακόμη, θρεπτικό υλικό και αναδεύτηκε προκειμένου να αναμειχθεί το δείγμα με το agar. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε μέσα σε άσηπτο αεραγωγό για την αποφυγή επιμολύνσεων.
- Μετά την πήξη του μείγματος θρεπτικού-δείγματος, τα τρυβλία μπήκαν για επώαση σε κλίβανο για 72hr. Για την θερμοφιλή μικροβιακή χλωρίδα η επώαση έγινε σε θερμοκρασία 37°C, ενώ για την ψυχρόφιλη μικροβιακή χλωρίδα η επώαση έγινε σε θερμοκρασία 23°C.
- Για την καταμέτρηση των αποικιών χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός καταμετρητής αποικιών αντίστοιχος με την εικόνα 20.
- Στην καταμέτρηση συμπεριλήφθηκαν οι αποικίες που εμφάνιζαν **οβάλ** σχήμα.



Εικόνα 25: Αποικίες ψυχρόφιλης μικροβιακής χλωρίδας



Εικόνα 26: Αποικίες θερμόφιλης μικροβιακής χλωρίδας

3.3.3 Χημική Ανάλυση

Η χημική ανάλυση για όλες τις παραμέτρους έγινε με το φωτόμετρο της εταιρείας Lovibond. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το MultiDirect polymeter (εικόνα 27). Με τη χρήση αυτής της συσκευής δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού ευρείας γκάμας χημικών παραμέτρων. Ανάλογα με τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για την κάθε μέτρηση, είναι δυνατός και ο προσδιορισμός διαφορετικών ευρών συγκέντρωσης της κάθε παραμέτρου. Μετρήσεις πεδίου έγιναν με την φορητή συσκευή MeterMulti 3620 IDS (εικόνα 28). Η αντίστοιχη συσκευή χρησιμοποιήθηκε και για μετρήσεις εντός εργαστηρίου που αφορούσαν φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, όπως το pH και η αγωγιμότητα.



Εικόνα 27: Φωτόμετρο Lovibond



Εικόνα 28: Φορητό πολύμετρο MeterMulti 3620 IDS

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Παρασκευή κενού δείγματος (blank), με χρήση μίας φιάλης αντιδραστηρίου νιτρικών στην οποία προστέθηκε 1ml απιονισμένο νερό (εικόνα 29 αριστερά).
- Προπαρασκευή δειγμάτων ανάλυσης με την χρήση αντίστοιχης φιάλης αντιδραστηρίου νιτρικών και την προσθήκη 1ml δείγματος νερού.
- Προσθήκη μίας συσκευασίας Vario Nitrate Chromotropic Powder Pack (εικόνα 29 δεξιά) σε κάθε ένα από τα φιαλίδια.
- Σταθερή ανάδευση μέχρι να αρχίσουν τα φιαλίδια να θερμαίνονται. Πραγματοποίηση εξώθερμης αντίδρασης κατά την ανάμειξη.
- Περίοδος αναμονής για ολοκλήρωση αντίδρασης 5min.
- Μετά το πέρας των 5min μηδενίζουμε την συσκευή με την χρήση του blank διαλύματος, πλήκτρο ZERO.
- Μετά τον μηδενισμό η συσκευή είναι έτοιμη να μετρήσει τα δείγματα.
- Αφού αφαιρέσουμε τυχών αποτυπώματα πάνω από τα γυάλινα φιαλίδια, για να μην επηρεαστεί η μέτρηση του φωτόμετρου, τοποθετούμε διαδοχικά κάθε δείγμα και μετράμε την συγκέντρωση με το πλήκτρο TEST.



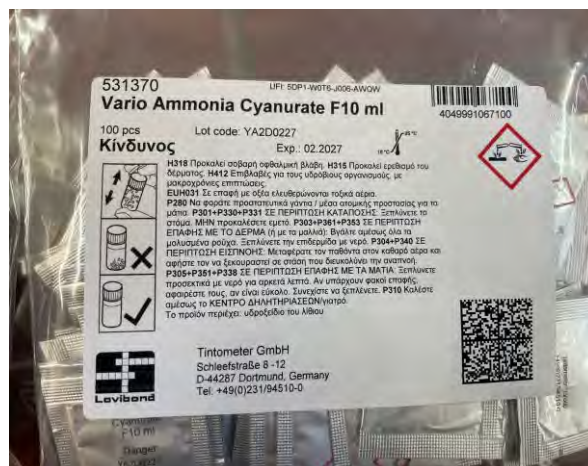
Εικόνα 29: Αντιδραστήρια προσδιορισμού νιτρικών



Εικόνα 30: Φιαλίδια αντιδραστηρίων, έτοιμα προς μέτρηση

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της αμμωνίας στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Παρασκευή κενού δείγματος (blank), με χρήση μίας φιάλης αντιδραστηρίου στην οποία προστέθηκαν 10ml απιονισμένο νερό.
- Προπαρασκευή δειγμάτων ανάλυσης με την χρήση αντίστοιχης φιάλης αντιδραστηρίου και την προσθήκη 10ml δείγματος νερού.
- Προσθήκη σε όλες τις φιάλες μίας συσκευασίας Vario Ammonia Salicylate F10 Powder Pack.
- Ανάμειξη των μειγμάτων και αναμονή 3min.
- Μετά το πέρας των 3min προσθέτουμε μία συσκευασία Vario Ammonia Cyanurate F10 Powder Pack σε όλες τις φιάλες και αναμειγνύουμε καλά.
- Αναμονή 15min.
- Μετά το πέρας των 15min μηδενίζουμε την συσκευή με την χρήση του blank διαλύματος, πλήκτρο ZERO.
- Μετά τον μηδενισμό η συσκευή είναι έτοιμη να μετρήσει τα δείγματα.
- Αφού αφαιρέσουμε τυχόν αποτυπώματα πάνω από τα γυάλινα φιαλίδια, για να μην επηρεαστεί η μέτρηση του φωτόμετρου, τοποθετούμε διαδοχικά κάθε δείγμα και μετράμε την συγκέντρωση με το πλήκτρο TEST.



Εικόνα 31: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της αμμωνίας

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του χαλκού στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Προπαρασκευή των δειγμάτων με προσθήκη 10ml δείγματος νερού σε ένα φιαλίδιο.
- Μηδενισμός της συσκευής με το πλήκτρο ZERO.
- Προσθήκη δύο ταμπλετών COPPER No1 και No 2 στο δείγμα και διάλυση τους με καθαρό αναδευτήρα.
- Ανάμειξη του δείγματος και απευθείας μέτρηση της συγκέντρωσης με το πλήκτρο TEST.



Εικόνα 32: Δείγματα έτοιμα για προσδιορισμό συγκέντρωσης χαλκού

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Προπαρασκευή των δειγμάτων με προσθήκη 10ml δείγματος νερού σε φιαλίδιο και μηδενισμός της συσκευής με το πλήκτρο ZERO.
- Προσθήκη δύο ταμπλετών PHOSPHORATE HR P1 tablet και PHOSPHORATE HR P2 tablet και ανάμειξη τους με καθαρό αναδευτήρα.
- Ανάδευση των δειγμάτων και αναμονή 10 min.

- Μετά το πέρας των 10 min και αφού αφαιρέσουμε τυχόν αποτυπώματα πάνω από τα γυάλινα φιαλίδια, για να μην επηρεαστεί η μέτρηση του φωτόμετρου, τοποθετούμε διαδοχικά κάθε δείγμα και μετράμε την συγκέντρωση με το πλήκτρο TEST.



Εικόνα 33: Ταμπλέτες αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό του φωσφόρου

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του σιδήρου στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Προπαρασκευή των δειγμάτων με προσθήκη 10 ml δείγματος νερού σε φιαλίδιο και μηδενισμός της συσκευής με το πλήκτρο ZERO.
- Προσθήκη μίας συσκευασίας Vario Ferro F10 Power Pack σε κάθε φιαλίδιο και ανάμειξη του μείγματος.
- Αναμονή 3 min και αυτόματη μέτρηση της συγκέντρωσης μετά το πέρας του χρόνου αναμονής.

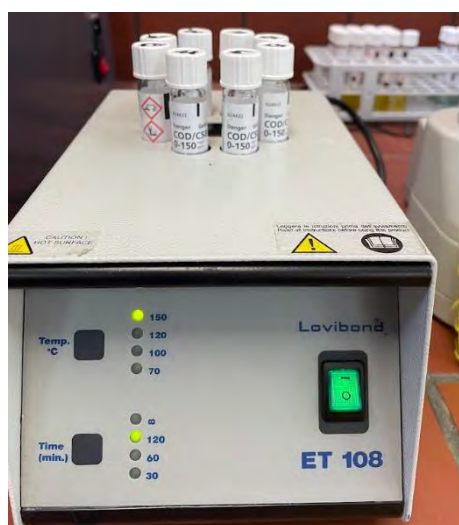
Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του μαγνησίου στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Για την διαδικασία απαιτείται όλα τα δείγματα να έχουν pH 5-7, επομένως έγινε διόρθωση τους με προσθήκη διαλύματος οξέος.
- Παρασκευή κενού δείγματος (blank), με χρήση μίας φιάλης αντιδραστηρίου στην οποία προστέθηκαν 10ml απιονισμένο νερό.
- Προπαρασκευή δειγμάτων ανάλυσης με την χρήση αντίστοιχης φιάλης αντιδραστηρίου και την προσθήκη 10ml δείγματος νερού.
- Προσθήκη σε όλες τις φιάλες μίας συσκευασίας Vario Ascorbic Acid Powder Pack και ανάδευση του μείγματος.

- Προσθήκη σε όλα τα φιαλίδια 15 σταγόνων Alkaline-Cyanide Reagenz και ανάδευση του μείγματος.
- Προσθήκη σε όλα τα φιαλίδια 21 σταγόνων PAN indicator και ανάδευση του μείγματος.
- Αναμονή 2min και μηδενισμός της συσκευής με το πλήκτρο ZERO και την χρήση του blank διαλύματος.
- Αφού αφαιρέσουμε τυχών αποτυπώματα πάνω από τα γυάλινα φιαλίδια, για να μην επηρεαστεί η μέτρηση του φωτόμετρου, τοποθετούμε διαδοχικά κάθε δείγμα και μετράμε την συγκέντρωση με το πλήκτρο TEST.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του COD στα δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Παρασκευή κενού δείγματος (blank), με χρήση μίας φιάλης αντιδραστηρίου στην οποία προστέθηκαν 2ml απιονισμένο νερό.
- Προπαρασκευή δειγμάτων ανάλυσης με την χρήση αντίστοιχης φιάλης αντιδραστηρίου και την προσθήκη 2ml δείγματος νερού.
- Ανάμειξη των δειγμάτων και τοποθέτηση τους στην συσκευή επώασης για 120min στους 150° C.
- Μετά το πέρας του χρόνου επώασης, επαναφορά της θερμοκρασίας των φιαλιδίων σε θερμοκρασία τουλάχιστον 60° C.
- Μηδενισμός της συσκευής με το πλήκτρο ZERO και την χρήση του blank διαλύματος.
- Αφού αφαιρέσουμε τυχών αποτυπώματα πάνω από τα γυάλινα φιαλίδια, για να μην επηρεαστεί η μέτρηση του φωτόμετρου, τοποθετούμε διαδοχικά κάθε δείγμα και μετράμε την συγκέντρωση με το πλήκτρο TEST.



Εικόνα 34: Συσκευή επώασης αντιδραστηρίων COD (αριστερά), αντιδραστήρια COD (δεξιά)

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλες οι τιμές συγκέντρωσης που ορίζει η νομοθεσία αναγράφονται στο Παράρτημα II, όπως ορίζεται από την οδηγία 98/83/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για όποια παράμετρο έχει χρησιμοποιηθεί άλλη τιμή παρατίθεται η αντίστοιχη βιβλιογραφική αναφορά.

4.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι μικροβιολογικές αναλύσεις αφορούσαν την καταμέτρηση των αποικιών των κολοβακτηριοειδών, της *E. coli*, του εντερόκοκκου και της ΟΜΧ στα δείγματα νερού που λήφθηκαν από τα 6 σημεία δειγματοληψίας περιμετρικά της λίμνης (εικόνα 16). Η δειγματοληψία έγινε με την σειρά που αναφέρονται παρακάτω. Για λόγους συντομίας τα δείγματα μετονομάστηκαν με το σύμβολο Σ και τον αριθμό της θέσης τους στη σειρά κατάταξης.

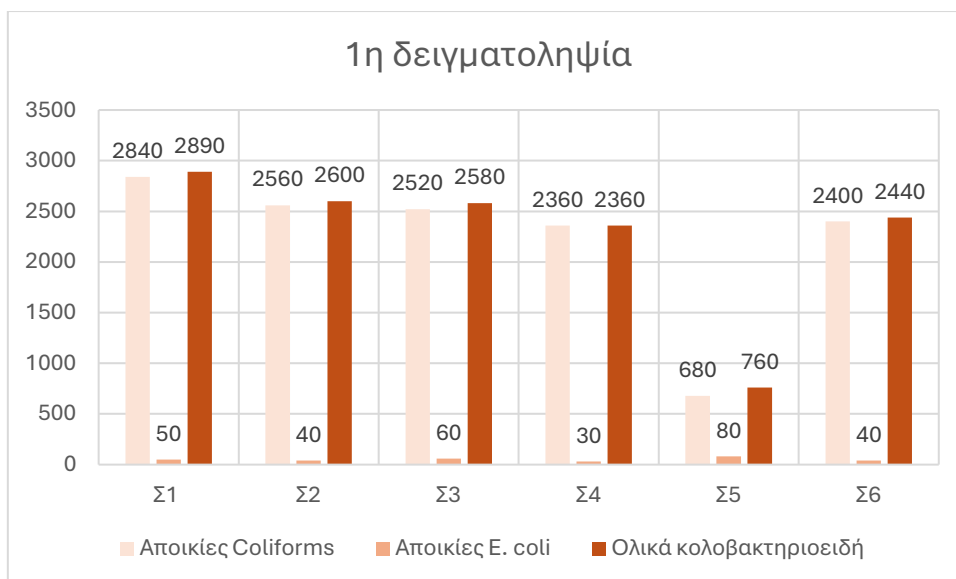
- α. Σ1 – Δρόμος προς στρατόπεδο
- β. Σ2 – Αεράνη
- γ. Σ3 – Σημείο παρατήρησης ορνιθοπανίδας (bird watching station)
- δ. Σ4 – Αντλιοστάσιο πέτρας μέσα
- ε. Σ5 – Αντλιοστάσιο πέτρας έξω
- στ. Σ6 – Εκβολή Παγασητικού

Για λόγους ευκολίας καταμέτρησης των αποικιών, σε όλα τα δείγματα έγινε αραιώση 1/10, δηλαδή έγινε χρήση 10 ml νερού από το κάθε δείγμα και σε αυτό προστέθηκαν 90 ml απιονισμένου νερού. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται «μέθοδος των διαδοχικών αραιώσεων» και έχει ως στόχο την κατάλληλη αραιώση του δείγματος ώστε μέσα στο τρυβλίο να υπάρχει ανάπτυξη αποικιών που είναι εύκολα μετρήσιμες. Η περίπτωση της αραιώσης 1/10 μας επιτρέπει να αναπτυχθούν στον περιορισμένο χώρο του τρυβλίου αποικίες με αριθμό μικρότερο των 300 και μεγαλύτερο των 30. (Μπανταβάνη Μ., 2014)

4.1.1 Κολοβακτηριοειδή – *Escherichia coli*

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα 1ης Δειγματοληψίας – coliforms / *E.coli*

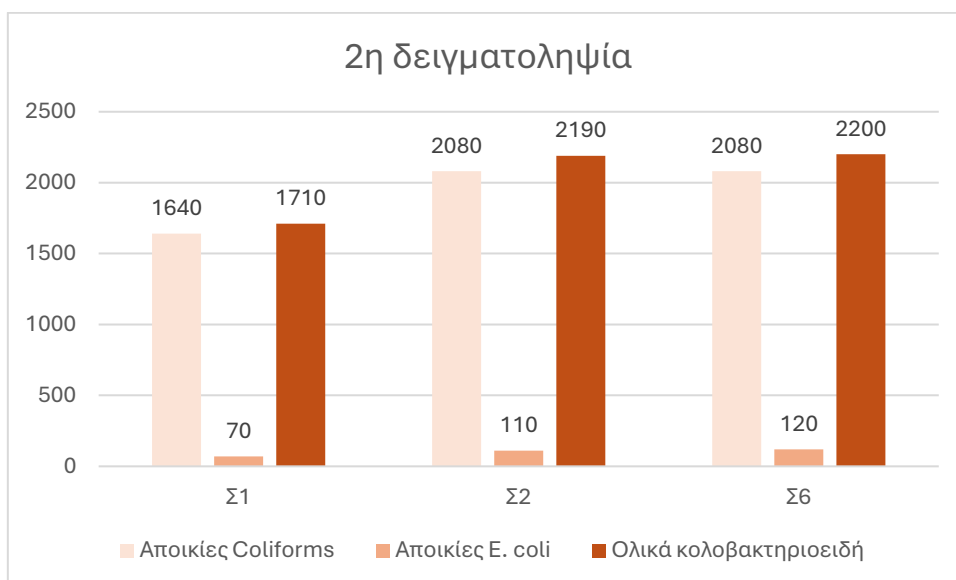
A/A sample	Αποικίες Coliforms	Αποικίες <i>E. coli</i>	Ολικά κολοβακτηριοειδή
Σ1	2840	50	2890
Σ2	2560	40	2600
Σ3	2520	60	2580
Σ4	2360	>30	≈2360
Σ5	680	80	760
Σ6	2400	40	2440



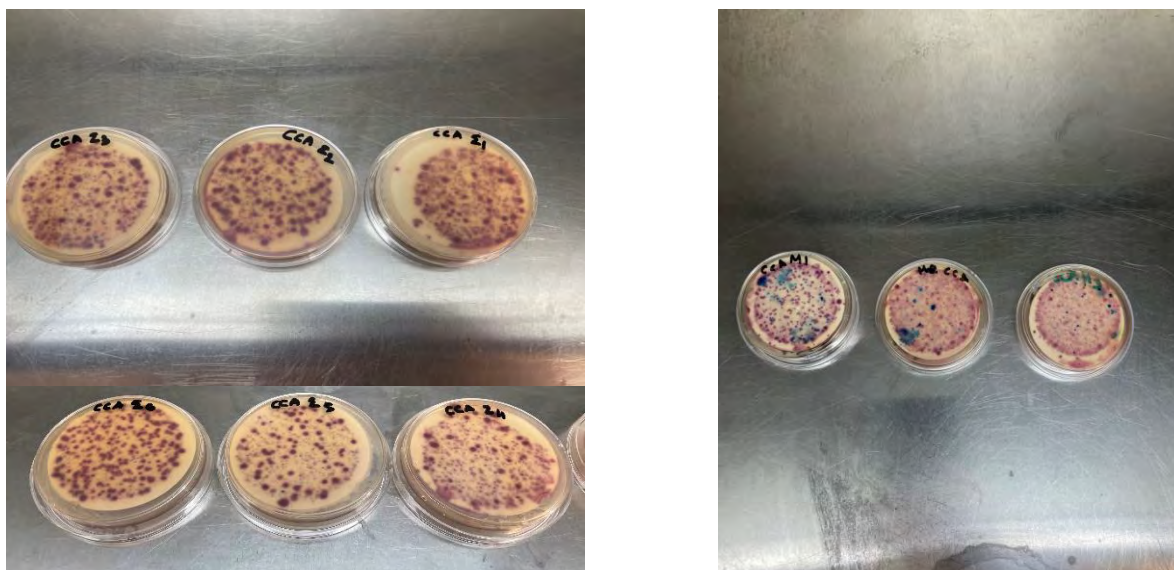
Σχήμα 3: Αποτελέσματα 1^{ης} μικροβιολογικής ανάλυσης – coliforms/ E. coli/ Ολικά κολοβακτηριοειδή

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα 2ης Δειγματοληψίας– coliforms / E.coli

A/A sample	Αποικίες Coliforms	Αποικίες E. coli	Ολικά κολοβακτηριοειδή
Σ1	1640	70	1710
Σ2	2080	110	2190
Σ6	2080	120	2200



Σχήμα 4: Αποτελέσματα 2^{ης} μικροβιολογικής ανάλυσης – coliforms/ E. coli/ Ολικά κολοβακτηριοειδή



Εικόνα 35: Καλλιέργειες κολοβακτηριοειδών και *E. coli* σε CCA θρεπτικό υλικό

1^η δειγματοληψία (αριστερά)

2^η δειγματοληψία (δεξιά)

Η ύπαρξη κολοβακτηριοειδών στο νερό δεν είναι απαραίτητα ένδειξη κοπρανώδους μόλυνσης, καθώς ένα μεγάλο μέρος των βακτηρίων αυτής της οικογένειας βρίσκεται φυσικά στο περιβάλλον (έδαφος, φύλλα κλπ). Η μέση τιμή των ολικών κολοβακτηριδίων στην 1^η δειγματοληψία είναι 2271,7 αποικίες /100ml δείγματος. Με αναγωγή στο λίτρο η συγκέντρωση των βακτηρίων ανέρχεται στις 11358,3 cfu/L. Αντίστοιχα στη 2^η δειγματοληψία ο μέρος όρος των ολικών coliforms είναι 2033,3 αποικίες/ 100ml, όπου με αναγωγή στο λίτρο είναι 10166,7 cfu/L. Η διαφορά που προκύπτει ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας εμφανίζει μία πτώση της τάξεως του 10,5%. Η μείωση του πληθυσμού είναι αποτέλεσμα του μικρού κύκλου ζωής που έχουν τα κολοβακτηριοειδή εν γένει. Η αυξημένη τους συγκέντρωση όμως επιβάλει την περαιτέρω έρευνα του δείγματος για άλλα είδη επικίνδυνων βακτηρίων όπως είναι η *Escherichia coli*.

Η *E. coli* είναι βασικό σημάδι κοπρανώδους επιμόλυνσης των υδάτων. Δεδομένου λοιπόν, ότι στην περιοχή της λίμνης υπήρχαν πάνω από 100 αδειοδοτημένα ποιμνιοστάσια και πολλά περισσότερα τα οποία λειτουργούσαν παράνομα η μόλυνση του νερού από κοπρανώδη βακτήρια είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Πόσο μάλλον αν λάβουμε υπόψιν την ένταση του φαινομένου Daniel που έπληξε την περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι παρόλο που η ολική βακτηριακή μόλυνση μειώνεται με το πέρασ των εποχών (από άνοιξη σε καλοκαίρι) τα στελέχη της *E. coli* σε ορισμένα σημεία δειγματοληψίας έχουν αυξηθεί έντονα. Λόγος γίνεται για τα σημεία Αεράνη και εκβολή προς Παγασητικό κόλπο (σταθμοί Σ2 και Σ6) όπου η συγκέντρωση της *E. coli* έχει τριπλασιαστεί σε διάστημα σχεδόν 2 μηνών. Γενικά η *E. coli* είναι βακτήριο το οποίο ακμάζει σε υψηλές θερμοκρασίες επομένως, όσο θερμαίνεται η ατμόσφαιρα με το πέρασ των εποχών είναι αναμενόμενο να υπάρχει αύξηση του πληθυσμού της στο νερό. Πιθανές εξηγήσεις της αυξημένης μόλυνσης στα συγκεκριμένα σημεία είναι πως πρόκειται για εκ νέου παράνομη ρίψη

κτηνοτροφικών λυμάτων καθώς είναι πολύ εύκολη η πρόσβαση με τα πόδια και με όχημα. Επίσης για τον σταθμό Σ6 που αφορά την εκβολή θα μπορούσε να δικαιολογηθεί η αύξηση της *E.coli* στο σημείο καθώς από εκεί γίνεται η αποστράγγιση όλων των πλημμυρικών υδάτων προς τον Παγασητικό, συνεπώς η συσσώρευση της βακτηριακής μόλυνσης είναι αναπότρεπτη.

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις κολοβακτηριοειδών στο νερό της λίμνης εκτός από αισθητική βλάβη (εικόνα 36) μπορούν να προκαλέσουν και πληθώρα ασθενειών με διαφορετική σοβαρότητα. Αυτές ποικίλλουν από ήπια έως σοβαρή γαστρεντερίτιδα, και μερικές φορές θανατηφόρα διάρροια, δυσεντερία, ηπατίτιδα ή τυφοειδή πυρετό. Σίγουρα η αυξημένη μικροβιακή μόλυνση δεν αφήνει ανεπηρέαστη την ιχθυοπανίδα και την ορνιθοπανίδα της περιοχής. Σύμφωνα με τον κ. Ιωάννη Βέργο, βιολόγο του ΟΦΥΠΕΚΑ και υπεύθυνου για την προστασία της βιοποικιλότητας της λίμνης, οι πληθυσμοί των ιχθύων έχουν μειωθεί σχεδόν στο μισό με αρκετά είδη να βρίσκονται στο όριο του αφανισμού. Αντίστοιχες συνθήκες επικρατούν και για τα υδρόβια πτηνά που ζουν στην περιοχή.



Εικόνα 36: Στάθμος Εκβολή Παγασητικού

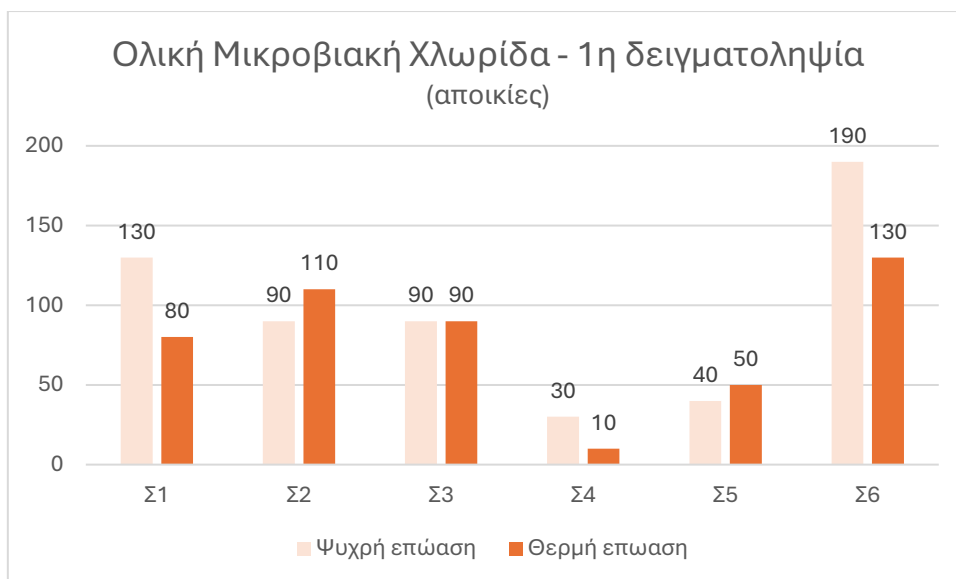


Εικόνα 37: Σταθμός Αεράνη

4.1.2 Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα

Πίνακας 11 : Αποτελέσματα 1ης Δειγματοληψίας– ΟΜΧ

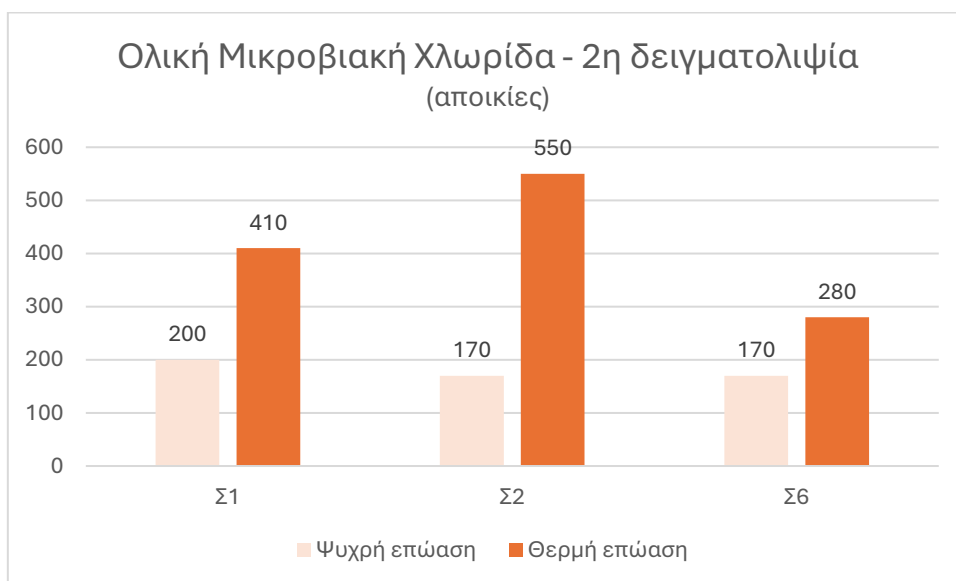
A/A sample	Ψυχρή επώαση	Θερμή επώαση
Σ1	130	80
Σ2	90	110
Σ3	90	90
Σ4	30	10
Σ5	40	50
Σ6	190	130



Σχήμα 5: ΟΜΧ θερμοφιλή / ψυχρόφιλη
1^η δειγματοληψία

Πίνακας 12 : Αποτελέσματα 2ης Δειγματοληψίας- ΟΜΧ

A/A sample	Ψυχρή επώαση	Θερμή επώαση
Σ1	200	410
Σ2	170	550
Σ6	170	280



Σχήμα 6: ΟΜΧ θερμοφιλή / ψυχρόφιλη
2^η δειγματοληψία

Το νερό από φυσικού του περιέχει μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών που αποτελούν την φυσική μικροχλωρίδα του. Σε συνθήκες υψηλής ποιότητας το νερό δεν είναι επικίνδυνο προς κατανάλωση, ούτε επηρεάζει οποιονδήποτε έρθει σε επαφή με αυτό. Αυτό γίνεται καθώς σε ιδανικές συνθήκες το νερό έχει την ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Η επιβάρυνση του όμως με υψηλούς πληθυσμούς από μικροοργανισμούς απορρυθμίζει αυτό το μηχανισμό και έτσι το νερό καθίσταται ακατάλληλο προς χρήση. Ο υπολογισμός της ολικής μικροβιακής χλωρίδας μας βοηθά να εκτιμήσουμε την συνολική υγιεινή του και δεν αφορά την καταμέτρηση μόνο παθογόνων μικροοργανισμών. Για το νερό οι ασφαλής συγκέντρωση ΟΜΧ για τα ψυχρόφιλα μικρόβια είναι 100 cfu/100ml και 20 cfu/100ml για τα θερμόφιλα. (ΦΕΚ Αριθμ. Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322, 2017) Από τους παραπάνω πίνακες μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε πως η βασική θεωρία πάνω στην οποία στηρίζεται όλη η εργασία επιβεβαιώνεται. Τα μικρόβια που υπάρχουν μέσα στο νερό με το πέρασμα του χρόνου και την αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τις ευτροφικές συνθήκες που επικρατούν στην λίμνη βρίσκουν εύφορο έδαφος για να πολλαπλασιαστούν. Αυτό δεν είναι απαραίτητα ανησυχητικό όταν συμβαίνει σε μικρή έκταση. Όμως στην περίπτωση της λίμνης Κάρλα από την πρώτη κιάλας δειγματοληψία φαίνεται στα σημεία ενδιαφέροντος (Σ1, Σ6) να υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση ΟΜΧ. Πιο συγκεκριμένα για στην εκβολή προς Παγασητικό, για τα ψυχρόφιλα βακτήρια, η συγκέντρωση είναι 90 μονάδες πάνω από το επιτρεπτό όριο που θέτει ο WHO ενώ στον σταθμό Σ1 εμφανίζει αύξηση 90%. Αντίστοιχα για τα θερμόφιλα βακτήρια στις ίδιες θέσεις εμφανίζει 400% αύξηση πάνω από το επιτρεπτό όριο για τον σταθμό Σ1 και 650% για τον σταθμό Σ6. Στην δεύτερη δειγματοληψία όπως είναι αναμενόμενο, οι διαφορές από τα επιτρεπτά όρια είναι πολύ μεγαλύτερες, κυρίως για τα θερμόφιλα βακτήρια. Ενώ τα ψυχρόφιλα βακτήρια εμφανίζουν μια μικρή μείωση της τάξεως του 20% τα θερμόφιλα εμφανίζουν ιλυώδη αύξηση. Ο μέσος όρος αύξησης των αποικιών τους στα 3 σημεία ενδιαφέροντος είναι περίπου 2000%. Η τόσο μεγάλη αύξηση των θερμόφιλων βακτηρίων είναι επικίνδυνη για τους χρήστες του νερού καθώς στα θερμόφιλα είδη ανήκουν κυρίως παθογόνα βακτήρια όπως είναι η *Legionella*, η *Pseudomonas aeruginosa*, η *E. coli*, οι εντερόκοκκοι, η *Salmonella typhimurium* και η *Salmonella Enteritis*. Η κατανάλωση νερού που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις των παραπάνω βακτηρίων μπορεί να προκαλέσει από απλή γαστρεντερίτιδα έως τυφώδη πυρετό και θάνατο.

4.1.3 Εντερόκοκκος

Πίνακας 13 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών – *enterococcus*

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	Under range	50
Σ2	Under range	160
Σ3	Under range	-
Σ4	Under range	-

Σ5	Under range	-
Σ6	Under range	120



Σχήμα 7: Εντερόκοκκος 1η και 2η δειγματοληψία

Η παρουσία εντερόκοκκων στο νερό σε συνδυασμό με αυξημένη συγκέντρωση *E. coli* είναι σημάδι παλιάς κοπρανώδους μόλυνσης, καθώς είναι μέρος της μικροβιακής χλωρίδας του εντέρου των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων. Ο εντερόκοκκος είναι παρασιτικό βακτήριο, δηλαδή για να αναπτυχθεί και να πολλαπλασιαστεί απαιτείται η ύπαρξη κάποιου ξενιστή, επομένως δεν έχει την δυνατότητα να πολλαπλασιαστεί ελεύθερα μέσα στο νερό. Επίσης δεν παράγουν επικίνδυνες τοξίνες οπότε θεωρούνται χαμηλού κινδύνου ως προς την πρόκληση νόσων. Το ανώτατο όριο που έχει θέσει ο WHO είναι 7 ζωντανοί οργανισμοί ανά 100 ml νερού για τα κολυμβητικά ύδατα. Στον πίνακα 13 αναγράφονται οι τιμές των συγκεντρώσεων εντερόκοκκου στους διάφορους σταθμούς δειγματοληψίας. Αναλυτικότερα, στην 1^η δειγματοληψία δεν φαίνεται να υπάρχει στέλεχος εντερόκοκκου σε κανένα από τα 6 δείγματα, αντίθετα όμως στην 2^η δειγματοληψία στα σημεία ενδιαφέροντος υπάρχει ανάπτυξη εντερόκοκκου σε τιμές απαγορευτικές από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας. Η ανάλυση των 3 δειγμάτων της 2^{ης} δειγματοληψίας επιβεβαιώνουν την υπόθεση νέας μόλυνσης των υδάτων από κτηνοτροφικά λύματα που καταλήγουν στην λίμνη παράνομα, καθώς στα 3 αυτά σημεία είναι ευκόλως προσβάσιμα από τον άνθρωπο αλλά και από άλλα είδη ζώων όπως οι αγελάδες πουν κατά εκατοντάδες στην περιοχή.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις εντερόκοκκου στο νερό μπορούν να προκαλέσουν στον χρήστη λοιμώξεις του ουροποιητικού συστήματος, βακτηριαιμία, εκκολπωματίτιδα και μηνιγγίτιδα. Η επικινδυνότητα των εντερόκοκκων είναι αποτέλεσμα της προσαρμογής τους στα ευρέως χρησιμοποιούμενα αντιβιοτικά. Η συχνή χρήση κοινών αντιβιοτικών έχει προκαλέσει την προσαρμογή των βακτηρίων. Οι εντερόκοκκοι πλέον είναι ικανοί να

παράξουν ένζυμα τα οποία καταλύουν την δράση των αντιβιοτικών, καθιστώντας τα άχρηστα προς την αντιμετώπιση των λοιμώξεων που προκαλούνται από αυτούς.



Εικόνα 38: Αγελάδες σε νησίδα γύρω από την λίμνη Κάρλα

4.2 Χημικές αναλύσεις

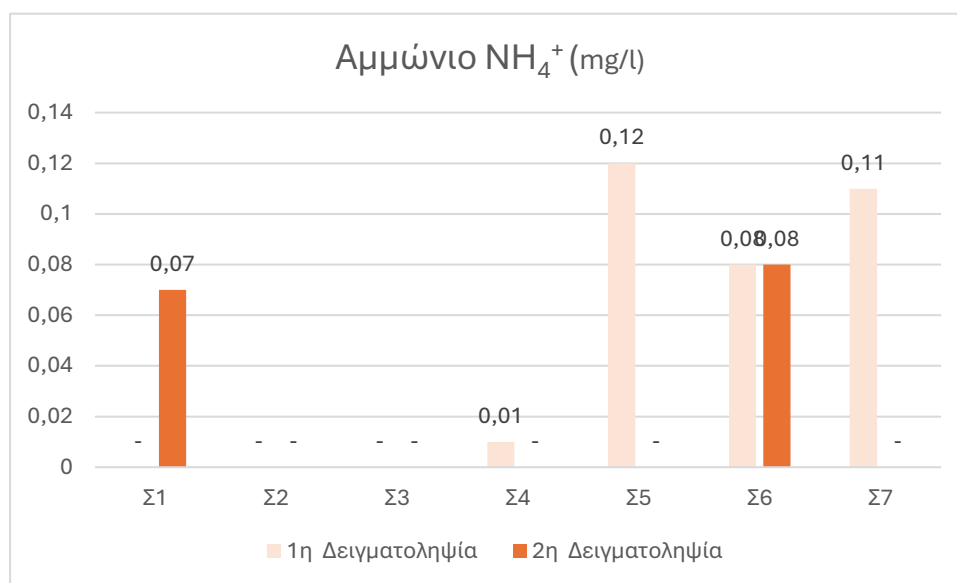
Στα δείγματα των χημικών αναλύσεων προστέθηκε ένας ακόμη σταθμός που αφορά λιμνάζοντα ύδατα που παραμένουν στην περιοχή εκτός του ταμιευτήρα καθώς δεν υπάρχει τρόπος διαφυγής τους προς την θάλασσα. Το δείγμα αυτό ονομάστηκε Σ7 και δεν υπάρχουν καθόλου παλαιότερα δεδομένα για το νερό της περιοχής εκεί καθώς πριν την πλημμύρα ήταν ξηρά. Ο λόγος για τον οποίο πάρθηκε δείγμα από τον συγκεκριμένο σταθμό είναι για να εκτιμηθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού της πλημμύρας που μένουν στάσιμα στο σημείο και δεν ανανεώνονται με κανέναν τρόπο, όπως γίνεται φυσικά στα νερά της λίμνης.

4.2.1 Αμμώνιο NH_4^+

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Ammonium

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	Under range	0,07 mg/l N

Σ2	Under range	Under range
Σ3	Under range	-
Σ4	0,01 mg/l N	-
Σ5	0,12 mg/l N	-
Σ6	0,08 mg/l N	0,08 mg/l N
Σ7	0,11 mg/l N	-



Σχήμα 8: Αποτελέσματα Αμμώνιο NH_4^+

Το ανώτατο όριο αμμωνιακών στα νερά σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία είναι τα 0,5 mg/l. Όπως συμπεραίνουμε από τον πίνακα 14 τα επίπεδα που μετρήθηκαν στους διάφορους σταθμούς δειγματοληψίας είναι περίπου 4 φορές πιο χαμηλά από αυτά που προβλέπει η νομοθεσία για τα επιφανειακά ύδατα. Η μέγιστη τιμή αμμωνιακών που καταμετρήθηκε είναι τα 0,12mg/l στον σταθμό Σ5 – Αντλιοστάσιο πέτρας έξω, ενώ η χαμηλότερη τιμή είναι τα 0,01 mg/l στον σταθμό Σ1 – δρόμος προς Στρατόπεδο. Η απελευθέρωση αμμωνιακών στο νερό είναι συνήθως αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δραστηριότητας όπως είναι η γεωργία, η βιομηχανική επεξεργασία τροφίμων και τα αστικά λύματα. Σε σύγκριση με παλαιότερα δεδομένα, πριν το φαινόμενο Daniel, η συγκέντρωση των αμμωνιακών είναι σε σχετικά παρόμοια επίπεδα. Η συγκέντρωση των αμμωνιακών στα νερά της λίμνης παραμένει σταθερά σε χαμηλά και ταυτόχρονα ασφαλή επίπεδα σχεδόν από την εποχή που αποφασίστηκε ο επαναπλημμυρισμός της.

4.2.2 Νιτρικά NO₃

Πίνακας 15 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για *Chromotropic Nitrate*

A/A sample	1η Δειγματοληψία	2η Δειγματοληψία
Σ1	Under range	Under range
Σ2	Under range	Under range
Σ3	Under range	-
Σ4	Under range	-
Σ5	Under range	-
Σ6	Under range	Under range
Σ7	Under range	-

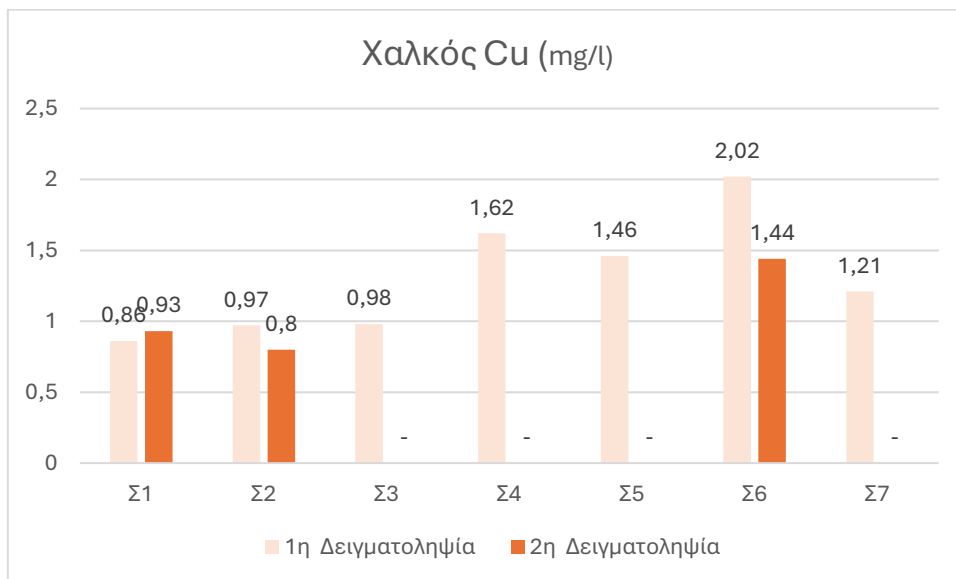
Όπως φαίνεται από τον πίνακα 15 τα επίπεδα των νιτρικών στη λίμνη είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, τόσο που με την τεχνική εκτίμησης τους από το φασματογράφο δεν βρέθηκε κάποιο μετρήσιμο αποτέλεσμα. Τα νιτρικά γενικά είναι υπεύθυνα για την το φαινόμενο του ευτροφισμού σε έναν υδάτινο αποδέκτη. Η ανώτερη επιτρεπτή τιμή που ορίζεται από την νομοθεσία είναι τα 25 mg/l. Επομένως, αντιλαμβανόμαστε πως αυτό είναι ένα αρκετά ελπιδοφόρο μήνυμα ειδικά μετά από το ακραίο φαινόμενο της πλημμύρας. Σε σύγκριση με τα παλαιότερα δεδομένα η συγκέντρωση των νιτρικών παραμένει σχετικά σταθερή με μία ελάχιστη απόκλιση. Το γεγονός όμως πως τα επίπεδα των νιτρικών είναι χαμηλά δεν συνεπάγεται αυτόματα πως η λίμνη δεν είναι ευτροφική. Αντιθέτως, παρά τα χαμηλά επίπεδα η λίμνη έχει αναπτύξει ένα ευτροφικό περιβάλλον που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού όλων των ρυπαντών που έχουν καταλήξει στον ταμειευτήρα.

4.2.3 Χαλκός Cu

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για *Copper*

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	0,86 mg/l Cu	0,93 mg/l Cu
Σ2	0,97 mg/l Cu	0,8 mg/l Cu
Σ3	0,98 mg/l Cu	-
Σ4	1,62 mg/l Cu	-
Σ5	1,46 mg/l Cu	-

Σ6	2,02 mg/l Cu	1,44 mg/l Cu
Σ7	1,21 mg/l Cu	-



Σχήμα 9: Αποτελέσματα χαλκός Cu

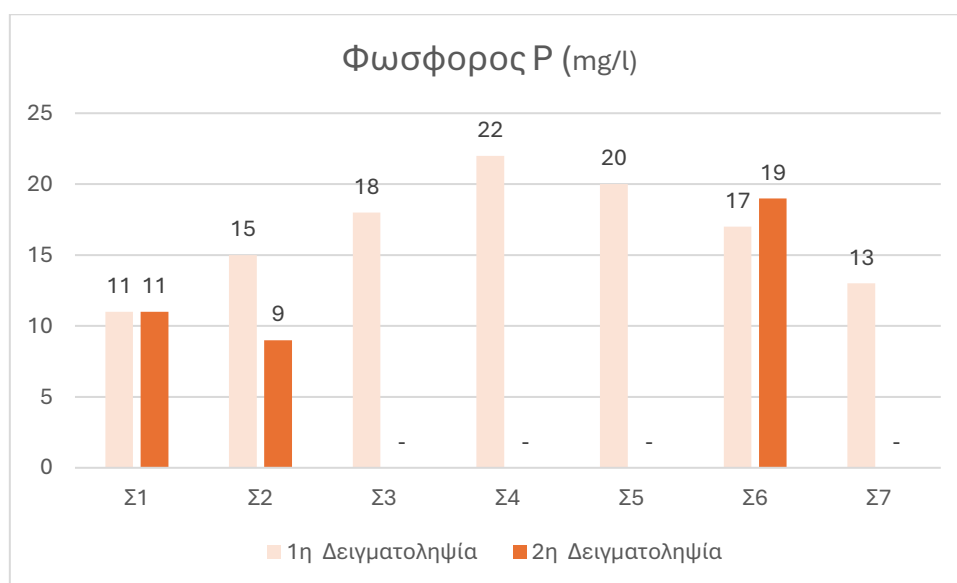
Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) η μέγιστη ασφαλής συγκέντρωση χαλκού στο νερό είναι τα 1,3 mg/l. Από τον πίνακα 16 διαπιστώνουμε ότι η μέση τιμή του χαλκού στα νερά της λίμνης για την 1^η δειγματοληψία ανέρχεται στα 1,3 mg/l και για την 2^η δειγματοληψία στα 1,06 mg/l. Οι δύο μέσες τιμές βρίσκονται εντός των ορίων που θεσπίζει η ισχύουσα νομοθεσία. Μεμονωμένα όμως, σε κάποιους σταθμούς εμφανίζονται αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις. Λόγος γίνεται για τους σταθμούς Σ4, Σ5 και Σ6 για την 1^η δειγματοληψία και για τον σταθμό Σ6 για την 2^η δειγματοληψία. Η συσσώρευση χαλκού στο νερό των σταθμών Σ4 - Σ5 είναι αποτέλεσμα της αποσάθρωσης των σκληρών πετρώσεων του αντλιοστασίου πέτρας που βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση, λόγω της έκθεσης τους σε υψηλές τιμές pH για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα, για τον σταθμό Σ6 που είναι η εκβολή του Παγασητικού, η υψηλή συγκέντρωση χαλκού είναι αποτέλεσμα της συσσώρευσης του στο σημείο, καθώς είναι η μοναδική έξοδος του νερού προς την ανοιχτή θάλασσα. Στον σταθμό Σ6 μεταξύ των δύο δειγματοληψιών υπάρχει μία μείωση στη συγκέντρωση της τάξεως του 28,7%. Η μείωση είναι πιθανό να προέκυψε λόγω της απορρόφησης του χαλκού από τους διάφορους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς που βρίσκονται στο σημείο. Ο χαλκός είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού. Στους ανώτερους οργανισμούς μάλιστα θεωρείται απαραίτητος για την σωστή απορρόφηση του σιδήρου.

(Environmental Protection Agency, 2023)

4.2.4 Φώσφορος P

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Total Phosphate

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	11 mg/l P	11 mg/l P
Σ2	15 mg/l P	9 mg/l P
Σ3	18 mg/l P	-
Σ4	22 mg/l P	-
Σ5	20 mg/l P	-
Σ6	17 mg/l P	19 mg/l P
Σ7	13 mg/l P	-



Σχήμα 10: Αποτελέσματα Φωσφόρος P

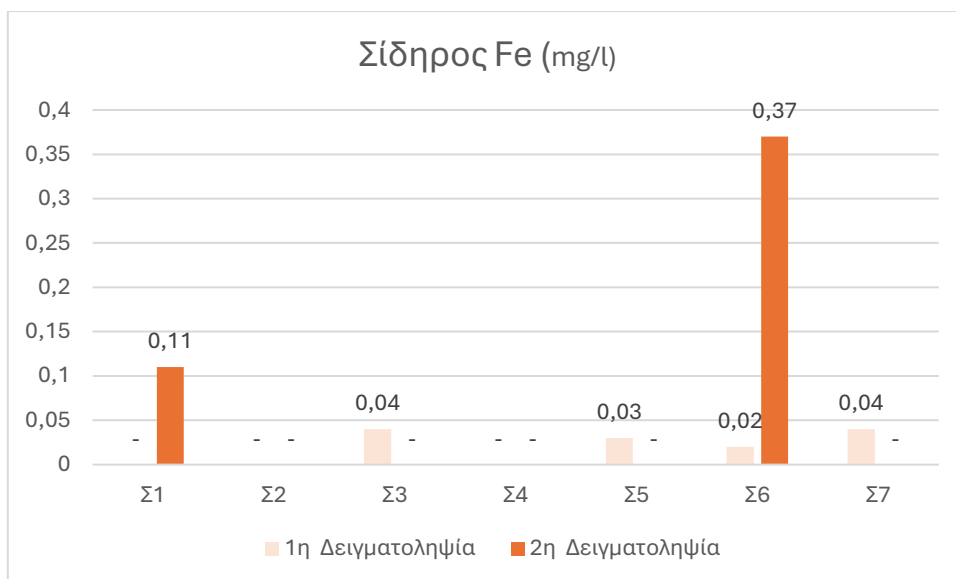
Στην επιτόπου εξέταση των υδάτων κατά την περίοδο της 1^{ης} δειγματοληψίας διαπιστώθηκε πως τα νερά στην παράκτια ζώνη σχεδόν σε όλους στους σταθμούς εμφάνιζαν αφρισμό και αυξημένη θολρότητα. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά ενισχύουν τις υποψίες για μία ευτροφική λίμνη. Στις μετρήσεις για τον φώσφορο έγινε εκτίμηση του ολικού φωσφόρου που περιέχεται στα δείγματα. Η μέγιστη επιτρεπτή τιμή συγκέντρωσης φωσφόρου στα επιφανειακά ύδατα που ορίζει η νομοθεσία ανέρχεται στα 0,05mg/l. Ο μέσος όρος συγκέντρωσης φωσφόρου για την 1^η δειγματοληψία είναι 16,6 mg/l, ενώ για την 2^η είναι 13 mg/l. Μεταξύ των δύο δειγματοληψιών υπάρχει μία μείωση στη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου της τάξεως του 21,6%. Παρόλη την μείωση

όμως τα επίπεδα φωσφόρου είναι 296 φορές πιο υψηλά από το ασφαλές όριο. Ο φώσφορος είναι συστατικό πάρα πολλών οικιακών καθαριστικών και απορρυπαντικών, επομένως ένα μεγάλο μέρος της συγκέντρωσης του στα νερά της λίμνης θα μπορούσε να οφείλεται σε αστικά λύματα. Μια ακόμη πιθανή πηγή φωσφόρου είναι οι επιφανειακές απορροές από τα γύρω καλλιεργήσιμα εδάφη, ειδικότερα εκείνα στα οποία έγιναν εφαρμογές γεωργικών λιπασμάτων τους τελευταίους 6 μήνες. Αν αναλογιστούμε λοιπόν το μέγεθος των γεωργικών εκτάσεων που καλύφθηκαν με νερό από την πλημμύρα σε συνδυασμό με την εποχή που διαδραματίστηκε το φαινόμενο Daniel, είναι φυσική εξέλιξη των γεγονότων να αυξηθεί η συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό, καθώς δεν είχαν περάσει ούτε 4 μήνες από τις τελευταίες εφαρμογές φωσφορικών και νιτρικών λιπασμάτων. Η αυξημένη συγκέντρωση φωσφόρου στα νερά της λίμνης είναι ο κύριος παράγοντας για να χαρακτηριστεί ως ευτροφική, γεγονός που συνάδει απόλυτα με τις *in situ* διαπιστώσεις.

4.2.5 Σίδηρος Fe

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Ferro

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	Under range	0,11 mg/l Fe
Σ2	Under range	Under range
Σ3	0,04 mg/l Fe	-
Σ4	Under range	-
Σ5	0,03 mg/l Fe	-
Σ6	0,02 mg/l Fe	0,37 mg/l Fe
Σ7	0,04 mg/l Fe	-



Σχήμα 11: Αποτελέσματα Σίδηρος Fe

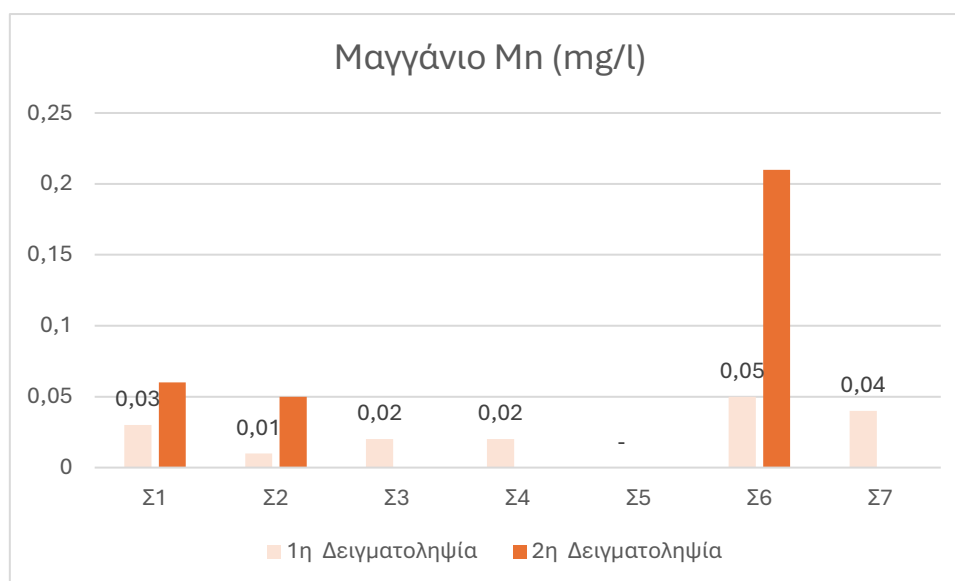
Η νομοθεσία προβλέπει πως η ασφαλής συγκέντρωση σιδήρου στο νερό είναι τα 0,2 mg/l. Από τις δύο δειγματοληψίες, τα αποτελέσματα των οποίων αναγράφονται στον πίνακα 18 αντιλαμβανόμαστε πως οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν με την τεχνική του φασματογράφου είναι εντός των προβλεπόμενων επιπέδων. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την επιτόπια εξέταση του νερού καθώς, όταν τα νερά έχουν υπερβολική συγκέντρωση από σίδηρο φέρουν ένα κοκκινοπό θολό χρώμα. Το μόνο δείγμα που φέρει σχετικά υψηλή συγκέντρωση σιδήρου είναι αυτό της Εκβολής του Παγασητικού (Σ6), την περίοδο της 2^{ης} δειγματοληψίας. Στο σημείο εκείνο υπάρχει μια σιδερένια γέφυρα που κατασκευάστηκε με σκοπό το προσωπικό του ΟΦΥΠΕΚΑ να έχει πρόσβαση στην σήραγγα. Η γέφυρα αυτή κατά την περίοδο της 2^{ης} δειγματοληψίας βρίσκονταν κάτω από το νερό λόγω καταστροφής. Την περίοδο της 1^{ης} δειγματοληψίας ήταν ετοιμόρροπη, αλλά παρέμενε εκτός της επιφάνειας του νερού. Το γεγονός της κατάρρευσης της γέφυρας σε συνδυασμό με τις υψηλές συγκεντρώσεις pH προκαλούν την αποσάθρωση της γέφυρας, με αποτέλεσμα σωματίδια σιδήρου να απελευθερώνονται στο νερό του σημείου.

4.2.6 Μαγγάνιο Mn

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Manganese

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	0,03 mg/l Mn	0,06 mg/l Mn
Σ2	0,01 mg/l Mn	0,05 mg/l Mn
Σ3	0,02 mg/l Mn	-
Σ4	0,02 mg/l Mn	-
Σ5	Under range	-

Σ6	0,05 mg/l Mn	0,21mg/l Mn
Σ7	0,04 mg/l Mn	-



Σχήμα 12: Αποτελέσματα Μαγγάνιο Mn

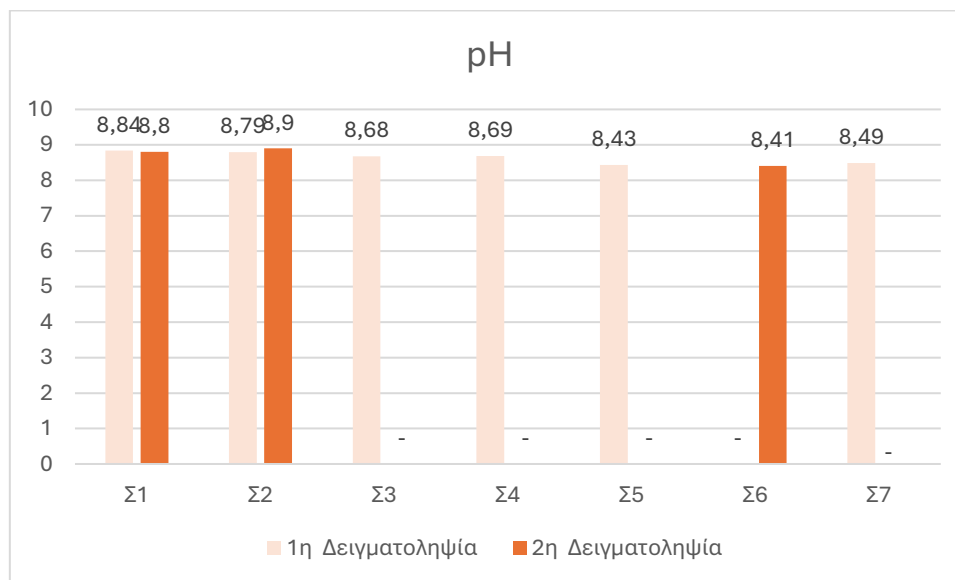
Η προβλεπόμενη συγκέντρωση μαγγανίου στο νερό είναι τα 0,05mg/l. Από τον πίνακα 19 μπορούμε να καταλάβουμε ότι όσον αφορά την 1^η δειγματοληψία όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν βρισκόταν εντός των επιτρεπόμενων και ασφαλών ορίων συγκέντρωσης. Αντίθετα, στην 2^η δειγματοληψία στον σταθμό Σ6 εμφανίζεται αυξημένη συγκέντρωση σχεδόν 5 φορές πάνω από το προβλεπόμενο όριο. Η παρουσία στο νερό βακτηριδίων μαγγανίου και σιδήρου αυξάνει την θολότητα, γεγονός που εξηγεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το νερό στο σημείο (βλ. εικόνα 36). Η υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου στο νερό είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής ρύπανσης και κοπρανώδους μόλυνσης.

4.2.7 pH

Πίνακας 20 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για pH

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	8,84	8,80
Σ2	8,79	8,90
Σ3	8,68	-
Σ4	8,69	-
Σ5	8,43	-

Σ6	8.14	8,41
Σ7	8,49	-



Σχήμα 13: Αποτελέσματα pH

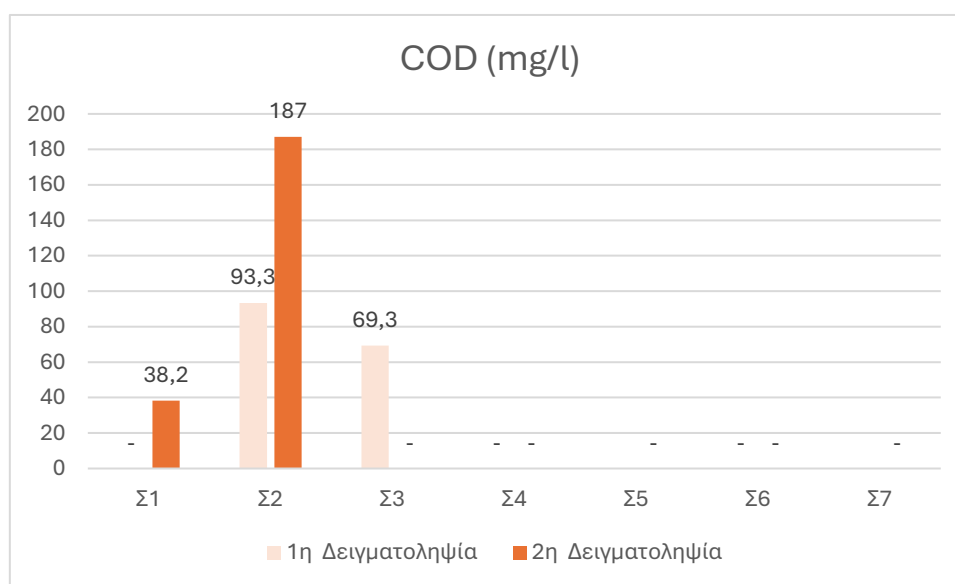
Η ανώτατη τιμή pH που προβλέπει η νομοθεσία για τα επιφανειακά ύδατα είναι οι 9 μονάδες ώστε το νερό να είναι ασφαλές για τους υδρόβιους οργανισμούς που διαβιούν μέσα, έξω και γύρω από το νερό. Η μέση τιμή pH που προέκυψε από τις μετρήσεις της 1^{ης} δειγματοληψίας είναι 8,58 μονάδες, με την μέγιστη τιμή να φτάνει τις 8,84 μονάδες για την ίδια δειγματοληψία. Αντίστοιχα, για την 2^η δειγματοληψία η μέση τιμή είναι στις 8,71 μονάδες με την μέγιστη τιμή να είναι στις 8,8 μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες τιμές pH και για τις δύο περιόδους βρέθηκαν στον ίδιο σταθμό (Σ1- δρόμος προς στρατόπεδο). Η τιμή του pH επηρεάζει πολύ βασικές βιολογικές και χημικές διεργασίες του οικοσυστήματος και καθορίζει τον ρυθμό με τον οποίο εκτελείται ο μεταβολισμός και η αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Η υπέρβαση της τιμής του για μικρό χρονικό διάστημα δεν είναι απαραίτητα επικίνδυνη για την ισορροπία του συστήματος. Σε εκτεταμένη περίοδο υψηλού pH όμως τίθενται σε κίνδυνο τόσο τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ίδιου του νερού αλλά και οι οργανισμοί που έχουν άμεση επαφή με αυτό, κατά συνέπεια και η συνολική οικολογική του κατάσταση. Σύμφωνα με το ινστιτούτο θαλάσσιων βιολογικών πόρων και εσωτερικών υδάτων για το έτος 2023 η λίμνη κατέγραψε τιμές pH μεταξύ των 8,59 με 10,1 μονάδων. Η μεγαλύτερες τιμές καταγράφηκαν λίγο μετά την πλημμύρα Daniel. Η αυξημένη καταγραφή δικαιολογείται λόγω της ανάμειξης των υδάτων της λίμνης με φερτά νερά/υλικά που παρασύρθηκαν από τους χειμάρρους που δημιουργήθηκαν κατά την πλημμύρα. Σε σύγκριση λοιπόν, με παλαιότερα δεδομένα η τιμή του pH της λίμνης παραμένει σε αντίστοιχα επίπεδα, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως είναι διαταραγμένη η ισορροπία του οικοσυστήματος.

(Ινστιτούτο θαλάσσιων πόρων και εσωτερικών υδάτων, 2023)

4.2.8 Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο COD

Πίνακας 21 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για COD

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	Under range	38,2 mg/l O ₂
Σ2	93.3 mg/l O ₂	187 mg/l O ₂
Σ3	69.3 mg/l O ₂	-
Σ4	Under range	-
Σ5	Under range	-
Σ6	Under range	Under range
Σ7	Under range	-



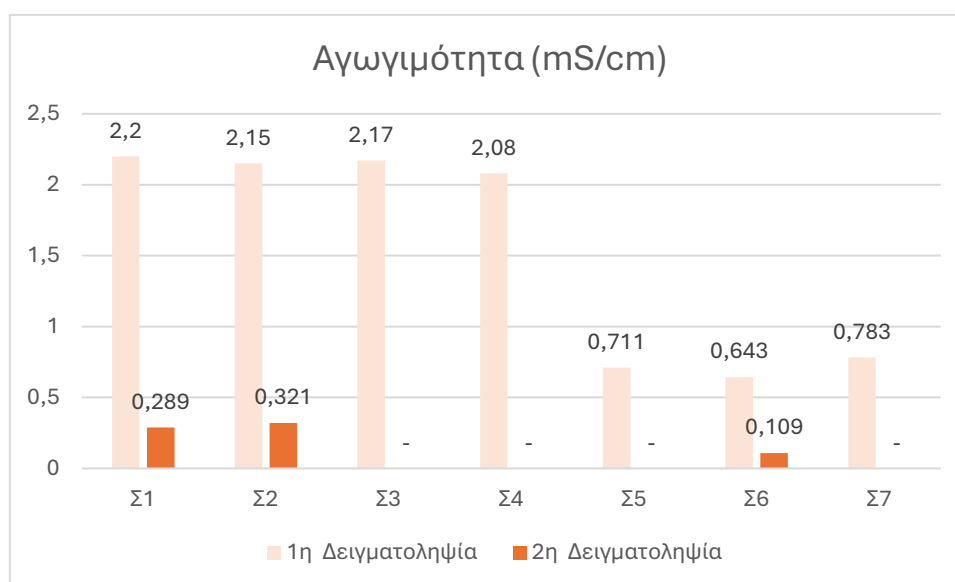
Σχήμα 14: Αποτελέσματα COD

Για την ποσότητα του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου το όριο συγκέντρωσης είναι κάτω από 25-50mg/l. Το COD είναι η ενδεικτική ποσότητα που απαιτείται για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις οξείδωσης των οργανικών ενώσεων και ουσιών μέσα στο νερό. Προσδιορίζοντας την τιμή του COD μέσα σε ένα διάλυμα προσδιορίζουμε την ποσότητα των ρύπων που είναι ικανοί να οξειδωθούν. Κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, αναλόγως υψηλή είναι και η συγκέντρωση των οργανικών ρύπων μέσα στο νερό.

4.2.9 Αγωγιμότητα

Πίνακας 22 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Αγωγιμότητα

A/A sample	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία
Σ1	2.2 mS/cm	289 μS/cm
Σ2	2.15 mS/cm	321 μS/cm
Σ3	2.17 mS/cm	-
Σ4	2.08 mS/cm	-
Σ5	711 μS/cm	-
Σ6	643 μS/cm	109 μS/cm
Σ7	783 μS/cm	-



Σχήμα 15: Αποτελέσματα Αγωγιμότητα

Η νομοθεσία προβλέπει ως ανώτατο όριο για την ηλεκτρική αγωγιμότητα τις 2500 μS (μικροζήμενες) ή αλλιώς τις 2,5 mS (χιλιοστοζήμενες). Οι μετρήσεις της 1^{ης} δειγματοληψίας έχουν μέσο όρο αγωγιμότητας 1,53 mS, ενώ της 2^{ης} 0,24 mS. Μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας εμφανίζεται μία διαφορά στη ηλεκτρική αγωγιμότητα της τάξεως του 81%. Τα δεδομένα όμως δεν είναι αρκετά για να γνωρίζουμε την πραγματική διαφορά. Για το σύνολο των σταθμών οι τιμές στις αγωγιμότητας είναι κάτω από το επιτρεπτό ανώτατο όριο. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των αλάτων που είναι διαλυμένα μέσα στο υδατικό διάλυμα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση των αλάτων, τόσο υψηλότερη και η αγωγιμότητα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι λίμνες είναι σημαντικές πηγές νερού, τροφής, εισοδήματος και βιοπορισμού για εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως. Ωστόσο, έχουν αναγνωριστεί και ως δεξαμενές παθογόνων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, γεγονός που οδηγεί σε υψηλούς κινδύνους για το οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία. Οι υδάτινοι πόροι επηρεάζονται έντονα από τη ρύπανση με μια ευρεία γκάμα αναδυόμενων οργανικών ενώσεων (π.χ., φαρμακευτικά προϊόντα, χημικά οικιακής χρήσης), παθογόνων οργανισμών και βακτηριακών γονιδίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά που απορρίπτονται από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και άλλες σημειακές πηγές ρύπανσης. Αυτό το φαινόμενο αυξάνεται με την αστικοποίηση και την πυκνότητα του πληθυσμού, όπως συμβαίνει στη Μεσόγειο. Ειδικότερα, όταν τέτοιες καταστάσεις συνδυάζονται με ακραία φυσικά φαινόμενα όπως αυτό που συνέβη στη Θεσσαλία των Σεπτεμβρίου του 2023, η οικολογική κατάσταση των υδάτινων πόρων έρχεται σε ακόμη δυσχερέστερη θέση.

Η λίμνη Κάρλα σύμφωνα με μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί στα νερά της τα τελευταία 5 χρόνια (2018 ολοκληρώθηκε το έργο επαναπλημμυρισμού) χαρακτηρίστηκε ως ευτροφική. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Vollenweider, σχεδόν το σύνολο των ελληνικών λιμνών θεωρούνται ευτροφικές και μόνο οι βαθιές λίμνες μπορούν να χαρακτηριστούν олиγοτροφικές ή μεσοτροφικές. Σε μια ευτροφική λίμνη η πιθανότητα εμφάνισης μικροβιακών κινδύνων αυξάνεται. Γενικά, τα ποτάμια μεταφέρουν δείκτες κοπράνων και πιθανούς παθογόνους οργανισμούς από ανθρώπινα και ζωικά λύματα (άγρια και οικόσιτα ζώα, συμπεριλαμβανομένων ζώων τροφίμων), λόγω της έντονης ανθρωπογενούς και ζωικής δραστηριότητας σε οικισμούς, μεγάλες πόλεις, βιομηχανίες, γεωργία κ.λπ., κατά μήκος των ποταμών. Οι βιολογικοί ρύποι από την ενδοχώρα, όπως οι βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων ζωικής προέλευσης, η γεωργία, τα νοσοκομεία, οι βοσκοτόποι και οι μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, είναι μερικές ακόμη πηγές που καταλήγουν μέσω των ποταμών στις λίμνες. Το οικοσύστημα της Λίμνης Κάρλα συνδέεται στενά με διάφορες πηγές πιθανής ρύπανσης, κυρίως με την εισροή του Πηνειού, την κτηνοτροφική δραστηριότητα περιφερειακά της λίμνης και τα ρυάκια. Στην περίπτωση μας, η εισροή του Πηνειού είναι το βασικό μέσο μεταφοράς βιολογικών ρύπων στη λίμνη, καθώς ο Πηνειός δέχεται τα σημεία εκροής οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων και μη σημειακών αγροτικών επιστροφικών ροών. Επιπλέον, η κτηνοτροφική δραστηριότητα στην περιοχή γύρω από τη λίμνη μπορεί να είναι υπεύθυνη για τη μόλυνση με σοβαρά παθογόνα τροφιμογενή εντεροπαθογόνα όπως *E. coli* O157, εντερόκοκκους κ.α. Ωστόσο, κανένα από τα παραπάνω βακτήρια ή άλλα σοβαρά παθογόνα βακτήρια (τροφιμογενή ή υδατογενή) τα οποία συχνά αναφέρονται σε άλλες λίμνες στον κόσμο, δεν βρέθηκαν στο νερό από τη Λίμνη Κάρλα σύμφωνα με τις αναλύσεις που διεξήχθησαν από τον Αναγνωστόπουλο και τους συνεργάτες του. Ο συνολικός αριθμός των μικροοργανισμών και οι υπόλοιπες μελετηθείσες μικροβιολογικές παράμετροι βρέθηκαν σε αποδεκτά επίπεδα (4 cfu/mL και 2–4 cfu/mL, εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα *E. coli*/κολοβακτηριδίων) στο νερό, δείχνοντας ότι το νερό της Λίμνης Κάρλας θα μπορούσε

να χρησιμοποιηθεί για δραστηριότητες όπως άρδευση, αναψυχή και αλιεία. (Anagnostopoulos, et al., 2022)

Από τις αναλύσεις που διεξάγαμε στο νερό της λίμνης μετά το ακραίο φαινόμενο Daniel, τα δεδομένα της μικροβιακής κατάστασης της Κάρλα άλλαξαν δραματικά. Οι συγκεντρώσεις των παθογόνων βακτηρίων που εντοπίστηκαν είναι σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα σε σχέση με τα ασφαλή προβλεπόμενα όρια που θέτει η νομοθεσία για την ποιότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων. Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή των ολικών κολοβακτηριοδών στις δύο δειγματοληψίες που πραγματοποιήσαμε είναι 2152,5 αποικίες/100ml νερού. Η νομοθεσία προβλέπει 7 ζωντανές αποικίες ανά 100 ml νερού. Η κοπρανώδης μόλυνση της λίμνης είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας χειμάρρων που παρέσυραν τόνους κτηνοτροφικών αποβλήτων από τα κοντινά ποιμνιοστάσια. Η αντίστοιχη μελέτη για τις αποικίες E.coli έδειξε πως ο μέσος όρος τους ήταν 66,6 αποικίες E.coli ανά 100ml νερό, με την νομοθεσία να προβλέπει 0 ζωντανές αποικίες ανά 100ml νερού. Η ολική μικροβιακή χλωρίδα ξέρουμε πως δεν αφορά μόνο παθογόνους μικροοργανισμούς και πως πολλές από τις αποικίες που καταμετρήθηκαν αφορούν μικροοργανισμούς που υπάρχουν υποχρεωτικά στο νερό και δεν είναι επικίνδυνοι για τους καταναλωτές. Η νομοθεσία προβλέπει για τα ψυχρόφιλα βακτήρια 100 cfu/100ml και 20 cfu/100ml για τα θερμόφιλα βακτήρια. Από τις μικροβιολογικές αναλύσεις προέκυψε πως ο μέσος όρος της ΟΜΧ ήταν 123,3 αποικίες /100 ml νερό για τα ψυχρόφιλα και για τα θερμόφιλα 190 αποικίες /100ml. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η λίμνη είναι επιβαρυνμένη με σχεδόν 9 φορές περισσότερα θερμόφιλα βακτήρια και 23,3% περισσότερα ψυχρόφιλα.

Επομένως, είναι ζήτημα υψηλής προτεραιότητας να ενημερωθούν οι τοπικές κοινότητες και όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη για την μικροβιολογική κατάσταση του νερού της λίμνης και των ψαριών. Τα παραπάνω συμπεράσματα καθιστούν το νερό ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση και για την επιβίωση των ιχθυοαποθεμάτων. Άρα ο ταμειευτήρας της Κάρλα κρίνεται ακατάλληλος για να εκτελέσει κάθε μορφής σκοπό για τον οποίο επανασυστάθηκε. Υψηλός είναι ο κίνδυνος επηρεασμού και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς το νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια φιλτράρεται και περνά στα κατώτερα στρώματα του εδάφους μέχρι να καταλήξει στους υπόγειους ταμειευτήρες. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί μόλυνση των υπόγειων υδάτων από E.coli ή οποιοδήποτε άλλο κολοβακτηρίδιο τίθεται σε κίνδυνο η δημόσια υγεία, καθώς η Θεσσαλία σε πολύ μεγάλο βαθμό υδροδοτείται από γεωτρήσεις. Για μία τέτοια έρευνα όμως απαιτούνται περεταίρω δειγματοληψίες και αναλύσεις τις οποίες δεν έχουμε πραγματοποιήσει.

Όσο αφορά την χημική κατάσταση της λίμνης, πριν το φαινόμενο Daniel, βρισκόταν τα όρια της υποβάθμισης. Οι φυσικοχημικοί δείκτες ήταν σχετικά σε επιτρεπτά όρια με αποτέλεσμα η λίμνη αν και ευτροφική να αποτελεί ένα σημαντικό οικοσύστημα για τα υδρόβια πουλιά που διαβιούσαν γύρω από αυτή αλλά και για την ευαίσθητη ιχθυοπανίδα. Η κατάσταση όμως μετά την κακοκαιρία άλλαξε δραματικά. Οι έντονες βροχοπτώσεις πλημμύρισαν και προκάλεσαν υπερχειλίση στη λίμνη, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις τόσο στην πανίδα και χλωρίδα όσο και στο φυσικό περιβάλλον της κάρλιας περιοχής. Τόνοι φερτών υλικών και ρυπασμένων υδάτων έπεσαν στη λίμνη επηρεάζοντας την οικολογική κατάσταση του συστήματος. Οι συνέπειες του φαινομένου εκτείνονται από μόλυνση των υδάτων και απώλεια της βιοποικιλότητας μέχρι και

μελλοντική ευαισθησία του συστήματος, καθώς η λίμνη πλέον είναι ένα αρκετά ευαίσθητη σε φαινόμενα ξηρασίας / πλημμύρας εφόσον έχουν πλέον καταστραφεί οι φυσικές της άμυνες.

Από την χημική ανάλυση που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι φανερό πως τα νερά της λίμνης έχουν υποστεί σοβαρή χημική ρύπανση από διάφορους ρυπαντές όπως ο φώσφορος με 296 φορές πιο υψηλά επίπεδα από το ασφαλές όριο, το μαγγάνιο με συγκέντρωση σχεδόν 5 φορές πάνω από το προβλεπόμενο όριο και ο χαλκός με σχεδόν διπλάσιες ποσότητες από τα προβλεπόμενα όρια. Η ποσότητα του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου σε μεγάλο ποσοστό των σταθμών ήταν σχεδόν μη ανιχνεύσιμη, σε 2 από τα 9 δείγματα όμως το απαιτούμενο οξυγόνο ξεπερνούσε την προβλεπόμενη ποσότητα με αποκορύφωμα το δείγμα Σ2 της δεύτερης δειγματοληψίας που ήταν 3,5 φορές πιο υψηλό από το ασφαλές όριο των 50mg/l. Αντίστοιχα προέκυψε πως η αγωγιμότητα και το pH του νερού βρίσκονται σε παραδόξως ασφαλή επίπεδα παρά την υψηλή ανάδευση των υδάτων με μολυσματικούς παράγοντες. Σε εξίσου ασφαλή επίπεδα βρέθηκαν η συγκέντρωση των νιτρικών, που ήταν σχεδόν μη ανιχνεύσιμα στο νερό και η συγκέντρωση του σιδήρου που ήταν ακριβώς στο επιτρεπόμενο όριο, δηλαδή 0,2 mg/l. Στην περίπτωση του σιδήρου υπήρχε μία αύξηση κατά την δεύτερη δειγματοληψία μόνο σε έναν σταθμό (Σ6) που οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες. Με τον όγκο της πλημμυρισμένης λίμνης όμως να μειώνεται μέρα με την μέρα οι συγκεντρώσεις των ρύπων θα αυξάνονται συνεχώς. Αν δεν γίνουν δράσεις από την πολιτεία προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ρύπανση οι συγκεντρώσεις θα φτάσουν σε τοξικά επίπεδα και οι συνέπειες στο περιβάλλον της λίμνης θα είναι απροσπέλαστες. Η ποιότητα του νερού μπορεί να μην επιστρέψει ποτέ σε συνθήκες αναφοράς αλλά με τα κατάλληλα μέτρα και σχέδια διαχείρισης υδατικών πόρων, υπάρχει η πιθανότητα βελτίωσης της κατάστασης.

Η αποκατάσταση της λίμνης Κάρλα μετά την κακοκαιρία Daniel απαιτεί ένα συνδυασμό άμεσων και μακροπρόθεσμων μέτρων για την επαναφορά της οικολογικής ισορροπίας και τη μείωση της ρύπανσης. Μερικά προτεινόμενα μέτρα για την αποκατάσταση της λίμνης είναι:

1. Άμεση Απομάκρυνση των Ρυπογόνων Υλικών

- **Συλλογή και απομάκρυνση φερτών υλικών:** Τα φερτά υλικά που εισήλθαν στη λίμνη πρέπει να απομακρυνθούν, καθώς περιέχουν ρύπους και οργανικές ουσίες που επιβαρύνουν το νερό.
- **Αποκατάσταση ποιότητας του νερού:** Προγράμματα καθαρισμού των υδάτων και της παροχής οξυγόνου μέσω αερισμού, καθώς και η χρήση φίλτρων για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ουσιών.

2. Περιορισμός της Εισροής Ρυπογόνων Ουσιών

- **Έλεγχος γεωργικών απορροών:** Εγκατάσταση φραγμάτων και φίλτρων στα σημεία εισροής νερού στη λίμνη για να αποτρέπεται η είσοδος αγροτικών χημικών όπως νιτρικά και φωσφορικά.

- **Βελτίωση αποχετευτικού συστήματος:** Έλεγχος της διαχείρισης των λυμάτων και των αγροτικών αποβλήτων για να αποφεύγεται η μόλυνση των υδάτων της λίμνης.

3. Επανόρθωση του Οικοσυστήματος

- **Αποκατάσταση της βλάστησης και της πανίδας:** Εισαγωγή φυτών που μπορούν να καθαρίσουν φυσικά το νερό (βιοκαθαρισμός) και να ενισχύσουν τη βιοποικιλότητα, ενώ η προστασία των πουλιών και της υδρόβιας ζωής είναι απαραίτητη για τη φυσική αναγέννηση του οικοσυστήματος.
- **Ενίσχυση των ενδιαιτημάτων των υδρόβιων οργανισμών:** Ειδικά έργα για την αποκατάσταση των ενδιαιτημάτων που καταστράφηκαν από την πλημμύρα.

4. Μακροπρόθεσμη Διαχείριση

- **Παρακολούθηση και έλεγχος ποιότητας υδάτων:** Συνεχής παρακολούθηση των φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως το pH, η θερμοκρασία, τα νιτρικά και τα βαρέα μέταλλα, για να διασφαλίζεται η ποιότητα των νερών.
- **Προστασία από μελλοντικές πλημμύρες:** Κατασκευή ή βελτίωση αντιπλημμυρικών έργων, όπως φράγματα, ώστε να προστατευτεί η λίμνη από μελλοντικά ακραία καιρικά φαινόμενα.

5. Περιβαλλοντική Ευαισθητοποίηση και Συμμετοχή

Εκπαίδευση τοπικών κοινοτήτων: Εκστρατείες ευαισθητοποίησης για την ανάγκη προστασίας της λίμνης και προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών που μειώνουν τη ρύπανση.

Συνεργασία με περιβαλλοντικές οργανώσεις: Ενθάρρυνση της συμμετοχής επιστημονικών και περιβαλλοντικών οργανώσεων στην αποκατάσταση της λίμνης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anagnostopoulos, D. A., Parlapani, F. F., Natoudi, S., Sydopoulou, F., Kyritsi, M., Vergos, I., . . . Baziaris, I. S. (2022). Bacterial Communities and Antibiotic Resistance of Potential Pathogens Involved in Food Safety and Public Health in Fish and Water of Lake Karla, Thessaly, Greece. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/publication/366021742_Bacterial_Communities_and_Antibiotic_Resistance_of_Potential_Pathogens_Involved_in_Food_Safety_and_Public_Health_in_Fish_and_Water_of_Lake_Karla_Thessaly_Greece
- Briscoe, J. (1996, September). Water as an economic good: The idea and what it means in practice. Cairo, Egypt.
- Dimitriou E., E. A. (2024). Post-Analysis of Daniel Extreme Flood Event in Thessaly, Central Greece: Practical Lessons and the Value of State-of-the-Art Water-Monitoring Networks. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, σσ. 10-12. Ανάκτηση από <https://www.mdpi.com/journal/water>
- Elodie, R., Grippa, M., D, E. N., Kergoat, L., Koudougou, H., Auda, Y., & Rochelle Newall, E. (2021). Environmental determinants of E. coli. France.
- Environmental Protection Agency. (2023). *EPA's assessments of water quality and agriculture*. Ανάκτηση από <https://www.epa.ie/environment-and-you/freshwater-and-marine/water-quality-and-agriculture/>
- European Union. (2000). *EUR-Lex Πρόσβαση στο δίκαιο της Ε.Ε.* Ανάκτηση από Επίσημη Εφημερίδα Ε.Ε - Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20130913&from=EN>
- Gerakis, P. (1992). *Conservation and management of Greek wetlands*. Gland, Switzerland: IUCN - The World Conservation Union. Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WTL-002.pdf>
- Grigg, N. (1996). *Water resources management: Principles, Regulations and Cases*. McGraw - Hill.
- Ioannis Adamopoulos, A. (2023). *Climate Crises Associated with Epidemiological, Environmental, and Ecosystem Effects of the Storm, from Flooding, Landslides, and Damage to Urban and Rural Areas (Extreme Weather Events Daniel in Thessaly, Greece)*.
- Kelepetsis, A., Alexakis, D., & Skordas, K. (χ.χ.). Arsenic, antimony and other toxic elements in drinking water of Eastern Thessaly – Greece and its possible effects on human health. In *Environmental Geology*.

Lekkas E., V. N. (2024). *Newsletter of Environmental, Disaster, and Crises Management Strategies "The early September 2023 Daniel storm in Thessaly Region (Central Greece)"*. National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Dynamic Tectonic Applied Geology, Athens.

Nikouli, E., Kosmas, K. A., Berillis, P., Karayianni, H., & Moustaka-Gouni, M. (2013). Harmful and Parasitic Unicellular Eukaryotes Persist in a Shallow Lake water Reconstruction (L. Karla, Greece). *Hydrobiology* 718, σσ. 73-83. doi:10.1007/s10750-013-1604-8

Siegel, R. (2002). *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. New York.

Vandas, S. J. (2002). *Water and the environment*. American Geological Institute in cooperation with Bureau of Reclamation. doi:ISBN: 0-922152-63-2

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΥΠΕΚΑ. (2012). *Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων, Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας, Αρ. έργου 2010 ΣΕ07580000*.

Α. Γκατζιούρα. (2012). Ανάλυση πιέσεων στη "Νέα" λίμνη Κάρλα με την μέθοδο DPSIR. Βόλος.

Αλεξάνδρου, Χ. (2013, Ιούνιος 26). *Μεσογειακό Ινστιτούτο για την Φύση και τον άνθρωπο*. Ανάκτηση από Med-Ina: <https://med-ina.org/wp-content/uploads/2020/12/Karla-Lake-Walking-Guide-GR-2014.pdf>

ΓΥΣ, Γ. Υ. (1945). *Γεω-υρετήριο*. Ανάκτηση από <https://www.gys.gr/hmgs-geoindex.html>

Δημητρίου, Α. Μ. (2018, Ιανουάριος). Μοντελοποίηση των υδροχημικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής Λίμνης Κάρλα με εφαρμογή του μοντέλου SWAT. Ξάνθη.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2014). *Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Θεσσαλίας*. Ανάκτηση από ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΜΕΡΟΣ ΣΤ' ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 9: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ: https://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/04/files/GR08/GR08_P09_Taxinimisi_SW.pdf

ΕΜΥ. (2023). Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Ζαλίδης, Γ. Χ., Δημητριάδης, Ξ. Π., & Χατζηγιαννάκης, Σ. Α. (1995, Ιούλιος). *Ο ιδεότοπος της τέως λίμνης Κάρλα*. Ανάκτηση από ΕΚΥΒ: <https://ekby.gr/>

Θανασάκης, Δ. (2011). Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα. Βόλος.

Ινστιτούτο θαλάσσιων πόρων και εσωτερικών υδάτων. (2023). Ανάκτηση από <https://hydro-stations.hcmr.gr/station/karla-lake/realtime/>

Κ. Γκούμας, Τ. Μ. (2018). *Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας*. Ανάκτηση από ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΗΜΕΡΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ 2018 - ΑΦΙΕΡΩΜΑ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ:

<https://www.ypethe.gr/news/pagkosmia-imera-perivallontos-2018-afieroma-sti-limni-karla>

- Κάλλια-Αντωνίου, Α. (2006). Νομικό Πλαίσιο διαχείρισης υδάτινων πόρων - Η εφαρμογή της οδηγίας πλαίσιο 2000/60/ΕΚ. *Δικαστικό Περιοδικό 4*.
- Κοβάνη, Ε. Θ. (2002). *Λιμνών Αποξηράνσεις*. Αθήνα: Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών.
- Κοσμίδης, Δ., Λιάπης, Γ., Σκόρδας, Κ., Τζιάντζιου, Λ., Νεοφύτου, Ν., Νεοφύτου, Χ., & Βαφειάδης, Δ. (9-11/06/2011). *Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων της λίμνης Κάρλα*. 4ο Γιεθνές Συνέδριο "Υδροβιολογίας – Αλιείας", Βόλος.
- Κούγκολος, Α. (2004). Κριτική Θεώρηση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2000/60 και του Ν 3199/2003. *Δικαστικό Περιοδικό 1*.
- Μούμου, Χ. (2007). *Η δράση των χειμάρρων της λεκάνης της Κάρλας σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον*. Ανάκτηση από <http://ikee.lib.auth.gr/record/100713/files/gri-2008-1029.pdf>
- Μουστάκα, Ε. (2002, Μάρτιος 11). Διαχείριση υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της υπο ανασύσταση λίμνης Κάρλα με χρήση ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. Βόλος.
- Μπανταβάνη Μ. (2014). Μεταπτυχιακή εργασία: "Μικροβιακή ποιότητα νερού της λίμνης Κάρλας". Βόλος.
- Μυλόπουλος, Ν. (2001). Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Βόλος.
- Παπανίκος, Ν. (2008). Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα Θεσσαλίας. Βόλος.
- Παππάς, Κ. (2017). Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης των υδάτων απορροής της Λίμνης Κάρλα. Βόλος.
- Πιτυρίγκα, Β. Χ. (2016). ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ. ΑΘΗΝΑ. Ανάκτηση από <http://indeepanalysis.gr/analyseis/arthra/mikroviologikh-poiothta-tou-posimou-nerou-mikroviologikoi-deiktes>
- Τζιόγκα, Λ. (2018). Μοριακή ταυτοποίηση τοξικών μικροοργανισμών σε περιβαλλοντικά δείγματα της λίμνης Κάρλα. Λάρισα. Ανάκτηση από <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/48975/17541.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Τσακίρης, Γ. (1995). *Υδατικοί Πόροι: Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Τσακίρης, Γ. (1995). *Υδάτινοι Πόροι: Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- ΦΕΚ Αριθμ. Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322, Φ. (2017, Σεπτεμβρίου 19). Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015). Αθήνα.
- Φορέας Διαχείρισης Κάρλας Μαυροβουνίου Κεφαλοβρυσου Βελεστίνου Δελτα Πηνειού. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.fdkarlas.gr/History.aspx>

Χ. Αλεξάνδρου, Μ. Β. (2014). *Περιπατητικός Οδηγός Λίμνης Κάρλα*. Αθήνα: Μεσογειακό Ινστιτούτο για τη Φύση και τον Άνθρωπο (Med-INA).

Χαϊνταρλής, Μ. (2003). Η Οδηγία 2000/60 για τα νερά και η ορθή ενσωμάτωσή της στην ελληνική νομική και διοικητική πραγματικότητα. *3ο Συνέδριο Ανάπτυξης της Θεσσαλίας (Επιστημονικό συνέδριο για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και την αειφόρο ανάπτυξη στη Θεσσαλία)*. Λάρισα.

Χορταγιάς, Α. (2009). *Λίμνη Κάρλα: Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά έργα στην Ευρώπη*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Ανάκτηση από Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ο Υδρολογικός Κύκλος, Πηγή: <https://www.noesis.edu.gr/>

Εικόνα 2: Παγκόσμια Κατανομή νερού, Πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης

Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης Οικολογικής Κατάστασης, Πηγή: Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ.)

Εικόνα 4: Κατηγορίες Οικολογικής Κατάστασης – Σήμανση

Εικόνα 5: Λίμνη Κάρλα πριν την αποξήρανση, αεροφωτογραφία της ΓΥΣ τραβηγμένη το 1945

Εικόνα 6: Τύφες – Βούρλα λίμνη Κάρλα, φωτογραφία προσωπικού αρχείου.

Εικόνα 7 : Η λίμνη Κάρλα πριν και μετά την αποξήρανση

Εικόνα 8: Κατάσταση εδάφους μετά την αποξήρανση της λίμνης

Εικόνα 9: Ζώνες Προστασίας Κάρλιας περιοχής

Εικόνα 10: Απεικόνιση Ω block, Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

Εικόνα 11: Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων από 07/09/23 - 19/09/23, Πηγή: Beyond, Center of earth observation research & satellite remote sensing

Εικόνα 12: Δορυφορική απεικόνιση πλημμυρικού φαινομένου 10/09/2023, αφού απέτυχε το ανάχωμα της Γυρτώνης

Εικόνα 13: Απεικόνιση συνολικής βροχόπτωσης σε mm βροχής από 4-7 Σεπτεμβρίου στο Νομό Λάρισας

Εικόνα 14: Πτυσσόμενη δοκός, Εικόνες προσωπικού αρχείου

Εικόνα 15: Φιάλη δειγματοληψίας, Εικόνες προσωπικού αρχείου

Εικόνα 16: Σημεία Δειγματοληψίας

Εικόνα 17: Συσκευασίες υλικού θρεπτικού υλικού

Εικόνα 18: Προετοιμασία θρεπτικών υλικών σε άσηπτες συνθήκες

Εικόνα 19: Αποτελέσματα καλλιέργειας CCA

Εικόνα 20: Ψηφιακός καταμετρητής αποικιών

Εικόνα 21 : Ταινίες τεστ οξειδάσης

Εικόνα 22: Ανα καλλιέργεια σε TSA θρεπτικό υλικό

Εικόνα 23: Αποτελέσματα τεστ οξειδάσης

Εικόνα 24: Αποτέλεσμα καλλιέργειας σε SBA θρεπτικό υλικό

Εικόνα 25: Αποικίες ψυχρόφιλης μικροβιακής χλωρίδας

Εικόνα 26: Αποικίες θερμόφιλης μικροβιακής χλωρίδας

Εικόνα 27: Φωτόμετρο Lovibond

Εικόνα 28: Φορητό πολύμετρο MeterMulti 3620 IDS

Εικόνα 29: Αντιδραστήρια προσδιορισμού νιτρικών

Εικόνα 30: Φιαλίδια αντιδραστηρίων, έτοιμα προς μέτρηση

Εικόνα 31: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της αμμωνίας

Εικόνα 32: Δείγματα έτοιμα για προσδιορισμό συγκέντρωσης χαλκού

Εικόνα 33: Ταμπλέτες αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό του φωσφόρου

Εικόνα 34: Συσκευή επώασης αντιδραστηρίων COD (αριστερά), αντιδραστήρια COD (δεξιά)

Εικόνα 35: Καλλιέργειες κολοβακτηριοειδών και E. coli σε CCA θρεπτικό υλικό 1^η δειγματοληψία (αριστερά) 2^η δειγματοληψία (δεξιά)

Εικόνα 36: Εκβολή Παγασητικού

Εικόνα 37: Αεράνη

Εικόνα 38: Αγελάδες σε νησίδα γύρω από τη λίμνη Κάρλα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συμπληρωματικές Ευρωπαϊκές οδηγίες

Πίνακας 2: Βασικές Αποφάσεις Τροποποίησης Οδηγίας 2000/60/EK

Πίνακας 3: Διαχρονική διακύμανση εμβαδού λεκάνης

Πίνακας 4: Βιοποικιλότητα λίμνης Κάρλα

Πίνακας 5: Χρήσεις Γης τέως λίμνης Κάρλα

Πίνακας 6 : Συσχέτιση αγωγιμότητας - σκληρότητας νερού

Πίνακας 7: Παράμετροι ταξινόμησης και όρια καλής/μέτριας κατάστασης λιμναίων οικοσυστημάτων Θεσσαλίας

Πίνακας 8: Όρια φυσικοχημικών παραμέτρων (Οδηγία 2000/44/EK και ΚΥΑ Υ2/2600/2001)
(Α): όρια για σολομοειδή (Β): όρια για κυπρινοειδή

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα 1^{ης} Δειγματοληψίας– coliforms / E.coli

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα 2^{ης} Δειγματοληψίας– coliforms / E.coli

Πίνακας 11 Αποτελέσματα 1^{ης} Δειγματοληψίας – ΟΜΧ

Πίνακας 12 : Αποτελέσματα 2^{ης} Δειγματοληψίας – ΟΜΧ

Πίνακας 13 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών – enterococcus

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Ammonium

Πίνακας 15 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Chromotropic Nitrate

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Copper

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Total Phosphate

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Ferro

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Manganese

Πίνακας 20 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για pH

Πίνακας 21 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για COD

Πίνακας 22 : Αποτελέσματα Δειγματοληψιών για Αγωγιμότητα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σύστημα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Σχήμα 2: Ποιοτικά στοιχεία για κατηγοριοποίηση Υδατικών Συστημάτων

Σχήμα 3: Αποτελέσματα 1^{ης} μικροβιολογικής ανάλυσης – coliforms/ E. coli/ Ολικά κολοβακτηριειδή

Σχήμα 4: Αποτελέσματα 2^{ης} μικροβιολογικής ανάλυσης – coliforms/ E. coli/ Ολικά κολοβακτηριειδή

Σχήμα 5: OMX θερμοφιλή / ψυχρόφιλη 1^η δειγματοληψία

Σχήμα 6: OMX θερμοφιλή / ψυχρόφιλη 2^η δειγματοληψία

Σχήμα 7 : Εντερόκοκκος 1η και 2η δειγματοληψία

Σχήμα 8: Αποτελέσματα Αμμώνιο NH_4^+

Σχήμα 9: Αποτελέσματα χαλκός Cu

Σχήμα 10: Αποτελέσματα Φωσφόρος P

Σχήμα 11: Αποτελέσματα Σίδηρος Fe

Σχήμα 12: Αποτελέσματα Μαγγάνιο Mn

Σχήμα 13: Αποτελέσματα pH

Σχήμα 16: Αποτελέσματα COD

Σχήμα 17: Αποτελέσματα Αγωγιμότητα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κανονιστικοί ορισμοί για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης

Γενικοί ορισμοί για τους ποταμούς, τις λίμνες, τα μεταβατικά ύδατα και τα παράκτια ύδατα

Στο κείμενο που ακολουθεί, δίδεται γενικός ορισμός της οικολογικής ποιότητας. Για τους σκοπούς της ταξινόμησης, οι τιμές των ποιοτικών στοιχείων της οικολογικής κατάστασης

Στοιχείο	Υψηλή κατάσταση	Καλή κατάσταση	Μέτρια κατάσταση
Γενικά	Έλλειψη, ή ήσσονος μόνον σημασίας ανθρωπογενείς μεταβολές των τιμών των φυσικοχημικών και των υδρομορφολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων σε σχέση με εκείνα που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά τον τύπο αυτόν υπό μη διαταραγμένες συνθήκες. Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων φυσιολογικά τον τύπο αυτόν υπό μη διαταραγμένες συνθήκες. Υπάρχουν τυποχαρακτηριστικές συνθήκες και κοινότητες.	Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων εμφανίζουν χαμηλού επιπέδου αλλοιώσεις λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά παραμένουν μόνον ελαφρώς από τις τιμές που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το τυπικό σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες.	Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων παρουσιάζουν μετρίως από τις τιμές που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το τυπικό σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες. Οι τιμές εμφανίζουν μέτριες αλλοιώσεις λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων και είναι σημαντικά πιο διαταραγμένες από ό,τι υπό τις συνθήκες καλής κατάστασης.

Τα ύδατα κατάστασης κάτω της μέτριας ταξινομούνται ως ελλιπούς ή κακής κατάστασης. Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν ενδείξεις σημαντικών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και στα οποία οι σχετικές βιολογικές κοινότητες διαφέρουν ουσιαστικά από εκείνες που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το τυπικό σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες, ταξινομούνται ως ελλιπούς κατάστασης. Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν σοβαρών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και από τα οποία απορρέει μεγάλο μέρος των σχετικών βιολογικών κοινότητων που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το τυπικό σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες, ταξινομούνται ως κακής κατάστασης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

ΜΕΡΟΣ Α

Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0/250 ml
Εντερόκοκκοι	0/250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 ml
Αριθμός αποικιών σε 22 °C	100/ml
Αριθμός αποικιών σε 37 °C	20/ml

ΜΕΡΟΣ Β
Χημικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Ακαθαρσία	0,10	μg/l
Αντιμόνιο	5,0	μg/l
Αρσενικό	10	μg/l
Βενζόλιο	1,0	μg/l
Βενζο-α-πυρένιο	0,010	μg/l
Βόριο	1,0	mg/l
Βρεγματά άλατα	10	μg/l
Κάδμιο	5,0	μg/l
Χρόμιο	50	μg/l
Χαλκός	2,0	mg/l
Κυανούχα άλατα	50	μg/l
1,2-διχλωροαιθέριο	3,0	μg/l
Επιχλωρυδρίνη	0,10	μg/l
Φθορισόχα άλατα	1,5	mg/l
Μόλυβδος	10	μg/l
Υδράργυρος	1,0	μg/l
Νιόβιο	20	μg/l
Νιτρικά άλατα	50	mg/l
Νιτρώδη άλατα	0,50	mg/l
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/l
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/l
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/l
Σελήνιο	10	μg/l
Τετραχλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	10	μg/l
Ολικά τριαιλογονομεθάνια	100	μg/l
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/l

ΜΕΡΟΣ Γ

Ενδεικτικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Αργίλιο	200	μg/l
Αμμώνιο	0,50	mg/l
Χλωριούχα άλατα	250	mg/l
<i>Clostridium perfringens</i> (συμπεριλαμβανομένων των σπορίων)	0	αριθμός/100 ml
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αγωγιμότητα	2 500	μS cm ⁻¹ στους 20 °C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	≥ 6,5 και ≤ 9,5	μονάδες pH
Σίδηρος	200	μg/l
Μαγγάνιο	50	μg/l
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/l O ₂
Θεικά άλατα	250	mg/l
Νάτριο	200	mg/l
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αριθμός αποικιών σε 22°C	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Κολοβακτηριοειδή	0	αριθμός/100 ml
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Θολότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	