



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

«ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

**«Διερεύνηση της ποιότητας του νερού της Λίμνης Καστοριάς
(Ορεστιάδα)»**

Καρασαββίδου Όλγα

Βόλος, 2018

**«Διερεύνηση της ποιότητας του νερού της Λίμνης Καστοριάς
(Ορεστιάδα)»**

Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Ψιλοβίκος Άρης,** Αναπληρωτής Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων.**
- 2. Κορμάς Κωνσταντίνος,** Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος.**

*Αφιερωμένη,
Στους γονείς μου Ηλία και Ράνια
& στον αδελφό μου Μπάμπη!!!!*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες, σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω των Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Ψιλοβίκο Άρη Αναπληρωτή Καθηγητή, για την πολύτιμη βοήθεια του, καθώς και την διαρκή υποστήριξη και καθοδήγηση του, καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας, αλλά και της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το δεύτερο μέλος της εξεταστικής επιτροπής μου, τον Καθηγητή κ. Κορμά Κωνσταντίνο για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγηση του καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της προπτυχιακής μου εργασίας.

Ακόμη, θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω θερμά, την υποψήφια διδάκτορα κα Καραμούτσου Λίνα, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθεια της και για την αμέριστη συμπαράσταση της κατά την διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργασίας. Οι ατελείωτες ώρες δουλειάς, καθώς και η υπομονή της, οδήγησαν σε μια άριστη συνεργασία και προπάντων στη δημιουργία μιας πραγματικής φιλίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες εγκάρδιες ευχαριστίες μου, στην οικογένεια μου, η οποία με στήριξε και με βοήθησε καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στην σχολή, τόσο ψυχολογικά όσο και οικονομικά. Η αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση τους, μου έδιναν δύναμη για να συνεχίσω τον αγώνα μου, όσες δυσκολίες και αν αντιμετώπισα, μέχρι τέλους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	9
1.1 Παράμετροι Ποιότητας.....	9
1.1.1 Οργανοληπτικές παράμετροι.....	9
1.1.2 Φυσικοχημικές παράμετροι.....	9
1.1.3 Βιολογικές παράμετροι.....	10
1.2 Οργανοληπτικές Παράμετροι.....	10
1.2.1 Χρώμα.....	10
1.2.2 Θολότητα ή Θολερότητα (Turbidity)	12
1.2.3 Γεύση και οσμή.....	12
1.2.4 Φως.....	13
1.3 Φυσικοχημικές Παράμετροι	14
1.3.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	14
1.3.2 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής - Redox ή Eh.....	15
1.3.3 Ενεργός Οξύτητα - pH.....	15
1.3.4 Θερμοκρασία	17
1.3.5 Διαλυμένο Οξυγόνο (D.O.).....	18
1.4 Θρεπτικά Συστατικά.....	19
1.4.1 Άζωτο (N).....	19
1.4.2 Φώσφορος (P)	20
1.5 Δείκτες Ποιότητας Νερού	22
1.6 Ευτροφισμός	23
1.6.1 Γενικά για τον ευτροφισμό	23
1.6.2 Παραγωγικότητα υδάτινων οικοσυστημάτων	26
1.6.3 Χλωροφύλλη-α (Chl-a) ως Δείκτης Ευτροφισμού.....	26
1.6.4 Ποσοτικές σχέσεις προσδιορισμού του ευτροφισμού.....	28
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	32
2.1 Περιοχή Μελέτης	32
2.1.1 Υπολεκάνες και ρέματα της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς	34
2.2 Έκταση & Γεωμορφολογικά στοιχεία.....	35
2.3 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά Λίμνης Ορεστιάδας.....	37
3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	38
3.1 Διεθνές δίκαιο περιβάλλοντος με εφαρμογή στην περιοχή της Καστοριάς.....	38
3.2 Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000	39
3.3 Εθνική νομοθεσία με εφαρμογή στην περιοχή της Καστοριάς.....	40

4.	ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ.....	41
4.1	Διάκριση Ρύπων.....	41
4.1.1	Διάκριση των πηγών ρύπανσης ανάλογα με την προέλευση τους.....	41
4.1.2	Διάκριση των πηγών ρύπανσης ανάλογα με τον τρόπο παροχέτευσης στους αποδέκτες.....	42
4.1.3	Διάκριση των ρύπων ανάλογα με την αποικοδομησιμότητα τους.....	43
4.2	Κατηγορίες Μοντέλων.....	44
4.3	Πρόγνωση και Διαχείριση Ποιότητας Υδατικών Συστημάτων.....	45
4.4	Αναπαράσταση των βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών.....	47
5.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	48
6.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	65
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84
	ABSTRACT.....	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό αποτελεί έναν από τους πολυτιμότερους φυσικούς πόρους της γης. Είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την ανάπτυξη, την υγιεινή διαβίωση, καθώς και την ίδια τη ζωή. Χωρίς νερό, η ζωή είναι αδιανόητη. Έτσι, ως ποιότητα του νερού, ορίζεται το σύνολο των χαρακτηριστικών που καθιστούν το νερό αποδεκτό για την επιθυμητή του χρήση ως νερό ύδρευσης, άρδευσης, βιομηχανίας, κολύμβησης και διαβίωσης των υδρόβιων φυτικών και ζωικών οργανισμών. Η λίμνη της Καστοριάς, που είναι γνωστή και ως Λίμνη Ορεστιάδα, εντάσσεται στην Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας και είναι μια φυσική, ρηχή λίμνη με σημάδια ευτροφισμού. Η λίμνη της Καστοριάς, είναι χαρακτηρισμένη ως Ειδική Ζώνη Διατήρησης με κωδικό "GR 1320001" και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας με κωδικό "GR 1320003". Ακόμα, προστατεύεται από κανονισμούς, οδηγίες και διεθνείς συμβάσεις όπως είναι το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000, οι οποίοι φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Σκοπός αυτής της μελέτης, ήταν να πραγματοποιηθεί μια διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών που επικρατούν στα ύδατα της Λίμνης Ορεστιάδας, καθώς και διερεύνηση της κατάστασης του ευτροφισμού. Έτσι λοιπόν, για τον σκοπό αυτό, έγινε έλεγχος της ποιότητας του νερού, ο οποίος περιλαμβάνει τον καθορισμό και τον έλεγχο ορισμένων παραμέτρων, των παραμέτρων της ποιότητας ή αλλιώς των παραμέτρων ρύπανσης. Η επιβάρυνση της του νερού εξαρτάται από ένα τεράστιο αριθμό ρυπαντών και έτσι ο αριθμός των παραμέτρων θα μπορούσε να είναι απεριόριστος. Γίνεται όμως μια επιλογή των παραμέτρων που εξετάζονται, με βάση τους στόχους ελέγχου, την προοριζόμενη χρήση, ή τη συχνότητα εμφάνισης κάποιου ρυπαντή. Οι παράμετροι, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας των υδάτων είναι οι οργανοληπτικές παράμετροι, οι φυσικοχημικές παράμετροι, οι παράμετροι ελέγχου ρύπανσης, τοξικές παράμετροι, βιολογικές παράμετροι και οι μικροβιολογικές παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί, εξετάζονται, προκειμένου να γνωρίζουμε την προέλευση τους, δηλαδή σε ποιες ενώσεις οφείλεται η παρουσία τους, τις επιπτώσεις της παρουσίας τους στο περιβάλλον, καθώς και τον τρόπο αντιμετώπισης τους.

Λέξεις κλειδιά: Λίμνη Ορεστιάδα, ευτροφισμός, ποιότητα νερού, ποιοτικά χαρακτηριστικά

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 Παράμετροι Ποιότητας

Οι ποιοτικές παράμετροι του νερού, διακρίνονται σε οργανοληπτικές, φυσικοχημικές και βιολογικές. Μπορούν επιπλέον να ταξινομηθούν σε αυτά που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία ή την αισθητική, ενώ για περιγραφικούς ή περισσότερο εξειδικευμένους σκοπούς μπορούν να διαχωριστούν σε υποομάδες. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω διαχωρισμός:

1.1.1 Οργανοληπτικές παράμετροι

Περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά του νερού που γίνονται αντιληπτά από τις αισθήσεις του ανθρώπου, δηλαδή την όραση, την αφή, τη γεύση και την οσμή. Αυτά είναι η θολότητα ή θολερότητα, η οποία προκαλείται από τα αιωρούμενα στερεά και γι' αυτό εξετάζονται από κοινού, το χρώμα, η γεύση, η οσμή και το φως.

1.1.2 Φυσικοχημικές παράμετροι

Περιλαμβάνουν τις παραμέτρους: θερμοκρασία, ενεργό οξύτητα (pH), δυναμικό οξειδοαναγωγής (REDOX), ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού (ECw), διαλυμένα αέρια (οξυγόνο-O₂, διοξείδιο του άνθρακα-CO₂, μεθάνιο-CH₄, υδρόθειο H₂S), οργανικές και ανόργανες χημικές ενώσεις, θρεπτικά άλατα, τα οποία είναι ενώσεις του άνθρακα-C, του αζώτου-N, και του φωσφόρου-P, καθώς επίσης τοξικές ουσίες, ραδιενεργές ουσίες και θερμική ρύπανση. Τέλος, συμπεριλαμβάνονται και οι δείκτες ποιότητας του νερού, δηλαδή η σκληρότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) και η σχέση προσροφημένου νατρίου (SAR).

1.1.3 Βιολογικές παράμετροι

Περιλαμβάνουν όλη την υδρόβια χλωρίδα και πανίδα, όπως το φυτοπλαγκτόν, τα μακρόφυτα, το φυτοβένθος, τα υδρόβια έντομα, το ζωοπλαγκτόν, τα αμφίβια, την ιχθυοπανίδα και τους μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες, μικρόβια, ιοί). Σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρατηρούνται φαινόμενα ευτροφισμού, τα οποία οφείλονται στην έκρηξη της άνθισης φυτοπλαγκτού (algal bloom) η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε έλλειψη του διαλυμένου O_2 και προβλήματα γεύσης και οσμών, τα οποία μεταβάλλουν την αισθητική κατάσταση των υδάτων. Η χλωροφύλλη-α Chl-a τέλος, αποτελεί επίσης μια παράμετρο που συμπεριλαμβάνεται στις βιολογικές παραμέτρους, αφού αποτελεί έμμεσο κριτήριο βιολογικής δραστηριότητας.

Οι παράμετροι ποιότητας του νερού, αποτέλεσαν αντικείμενο διερεύνησης από την επιστημονική κοινότητα, αναφορικά με τις μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις τους στα υδατικά συστήματα, έτσι ώστε να υπάρχουν συγκεκριμένα όρια για την προστασία των υδατικών πόρων και των χρήσεων τους, καθώς επίσης και της υγείας των υδατικών οικοσυστημάτων από τις δυσμενείς τους επιπτώσεις.

Για το σκοπό αυτό, έχουν κατά καιρούς θεσμοθετηθεί Νόμοι, Προεδρικά Διατάγματα (ΠΔ), Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις (ΚΥΑ) κ.ά. Οι Νόμοι και οι ΚΥΑ είτε ισχύουν από μόνοι τους ανεξάρτητα, είτε είναι το αποτέλεσμα της εναρμόνισης του κάθε κράτους μέλους με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι ΚΥΑ, σε πολλές περιπτώσεις, προκύπτουν για ειδικές περιπτώσεις μεγάλων κατασκευών (π.χ. φράγματα) για τις οποίες έχουν προκύψει εκτεταμένες ανθρωπογενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Ακολουθούν συνήθως μια Ειδική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, από την οποία προκύπτουν οι περιβαλλοντικοί όροι για την προστασία και διαχείριση του υδατικού πόρου ή οικοσυστήματος, τα αποτελέσματα της οποίας κυρώνονται ως Νόμος του Κράτους με τη μορφή της ΚΥΑ.

1.2 Οργανοληπτικές Παράμετροι

1.2.1 Χρώμα

Ο παρατηρούμενος χρωματισμός των φυσικών υδάτων, είναι αποτέλεσμα της προς τα άνω σκέδασης του φωτός, αφού έχει διεισδύσει σε ποικίλα βάθη εντός του ύδατος και έχει υποβληθεί σε επιλεκτική απορρόφηση κατά την πορεία του. Επειδή η μοριακή διασπορά του φωτός στα ύδατα είναι συνάρτηση της τέταρτης δύναμης της συχνότητας, το παρατηρούμενο φως και κατά συνέπεια ο χρωματισμός

είναι εντονότερος για μικρά παρά για μεγάλα μήκη κύματος και το κυανό χρώμα κυριαρχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος. Ωστόσο, ο σκεδασμός του φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι όλο και ολιγότερο επιλεκτικός αυξανόμενου του μεγέθους των σωματιδίων (Hutchinson, 1957).

Το κολλοειδές CaCO_3 , το οποίο συνήθως υπάρχει σε λίμνες με υψηλής σκληρότητας ύδατα και σε ορισμένους ρύακες τροφοδοτούμενους από παγωμένα νερά, σκεδάζει το φως στα πράσινα και κυανά τμήματα του φάσματος και προσδίδει στα ύδατα αυτά μια πολύ χαρακτηριστική κυανοπράσινη απόχρωση. Το μεγαλύτερο μέρος χρωματισμού των λιμναίων υδάτων, προκύπτει από το διαλυμένο οργανικό υλικό και την ταχεία, επιλεκτική απορρόφηση των μικρότερων μηκών κύματος του ορατού φάσματος. Αποτέλεσμα αυτού, είναι το σκεδαζόμενο φως να κυριαρχεί στο πράσινο τμήμα του φάσματος και με αυξανόμενες συγκεντρώσεις οργανικού υλικού και κυρίως χουμικών ενώσεων, να επεκτείνεται στο κίτρινο και το ερυθρό.

Οποιοδήποτε χρώμα (βάθος απόχρωσης – color shade ή παραλλαγή χροιάς – color tint) έχει πάντοτε δύο καθοριστικά γνωρίσματα, τα οποία είναι η χρωματική ένταση, δηλαδή η ζωηρότητα (brightness) και η φωτεινή ένταση, δηλαδή η φωτεινότητα (lightness) (Albers, 1963). Η δυαδικότητα αυτή στα διαστήματα των χρωμάτων, έχει ως αποτέλεσμα μια εξόχως υποκειμενική ικανότητα διάκρισης των χρωμάτων. Επομένως, η ψυχοφυσική φύση των αντιδράσεων των οπτικών οργάνων στο φως και στο χρώμα, είχε ως αποτέλεσμα αρκετές προσπάθειες τυποποίησης των παρατηρήσεων με την βοήθεια ποικίλων χρωματικών κλιμάκων.

Αρκετές χρωματικές κλίμακες, έχουν επινοηθεί, προκειμένου να συγκρίνεται με εμπειρικό τρόπο ο πραγματικός χρωματισμός του λιμναίου ύδατος, μετά από διήθηση για την απομάκρυνση των κολλοειδών αιωρούμενων σωματιδίων, με διάφορους συνδυασμούς ανόργανων ενώσεων σε σειρά διαλυμάτων. Τα πολύ διαυγή λιμναία ύδατα θα έδιναν μια τιμή 0 μονάδων Pt, ενώ το έντονα χρωματισμένο νερό, θα έδινε μια τιμή 300. Επιπλέον, ο χρωματισμός των υδάτων εμποδίζει τη διέλευση του φωτός και επομένως και τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των αυτότροφων οργανισμών (Λουκάς, 2007).

Ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζεται μεταξύ του καστανού οργανικού χρωματισμού (που προέρχεται κυρίως από τα αποδομούμενα φυτικά θρύμματα) και του ποσού του διαλυμένου οργανικού άνθρακα στα επιφανειακά ύδατα (Juday, Birge, 1933).

Συχνά οι χρωματικές μονάδες αυξάνουν συναρτήσει του βάθους σε λίμνες με έντονη διαστρωμάτωση, γεγονός που πιθανότατα σχετίζεται με τις αυξημένες συγκεντρώσεις διαλυμένου οργανικού υλικού, καθώς και σιδηρούχων ενώσεων πλησίον ιζημάτων. Η υποκειμενικότητα της εκτίμησης του χρωματισμού του νερού, μπορεί να περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό από σχετικά πολύπλοκες οπτικές αναλύσεις και συγκρίσεις με πρότυπες συντεταγμένες χρωματικότητας – Standardized Chromaticity Coordinates - (Smith et al., 1973).

1.2.2 Θολότητα ή Θολερότητα (Turbidity)

Ως θολότητα, καλείται η οπτική ιδιότητα του δείγματος που προξενεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση, χωρίς να γίνεται επιτρεπτή η διέλευση του (Ψιλοβίκος. Α., 2014). Αποτελεί την πιο καθοριστική παράμετρο ελέγχου της ποιότητας των νερών. Οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια από οργανικές ή ανόργανες ενώσεις, φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς (σωματίδια λύος, υδροξειδίων του σιδήρου και αργιλίου, διοξείδιο του πυριτίου, πλαγκτόν, κ.α.). Ανάλογα με το είδος, αλλά και το βαθμό της θολερότητας, η ανθεκτικότητα και η ευαισθησία των οργανισμών, ποικίλλουν, ενώ ακόμη η κατανάλωση του οξυγόνου επηρεάζεται άμεσα από τη θολερότητα. Η αυξημένη θολερότητα στα ύδατα μιας λίμνης, περιορίζει την διέλευση του φωτός και συνεπώς και την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το γεγονός αυτό, μας οδηγεί στην ένδειξη ευτροφισμού στα νερά του λιμναίου οικοσυστήματος. Η θερμοκρασία και η αισθητική αξία κάθε υδάτινης περιοχής, το βιολογικό περιβάλλον, οι τροφικές σχέσεις και οι δραστηριότητες μερικών οργανισμών, επηρεάζονται άμεσα από τη θολερότητα, ενώ έχει αποδειχθεί ότι είναι ικανή να βοηθήσει την αλιεία σε ορισμένες περιπτώσεις (Welch, 1952). Επιπλέον, η γενική παραγωγικότητα μιας υδάτινης μάζας, τείνει να αλλάζει από τις μεγάλες συγκεντρώσεις της θολερότητας, καθώς αυτές ασκούν εκλεκτική επίδραση στους οργανισμούς και μπορούν να τροποποιήσουν την κάθετη με το βάθος κατανομή τους (Κουσουρής, 1998). Η θολερότητα παρουσιάζει ανομοιομορφίες, εξαιτίας της ποσότητας και ποιότητας των νερών που εισρέουν σε μια υδατοσυλλογή, των ανέμων που φέρνουν τα φερτά υλικά, της αφθονίας του πλαγκτού, της διαμόρφωσης των ακτών, και από άλλες τοπικές ιδιαιτερότητες (Welch, 1952; Cole, 1953).

1.2.3 Γεύση και οσμή

Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά συνδέονται με το χρώμα. Τα προβλήματα που αφορούν την γεύση στο νερό, προκαλούνται από τα διαλυμένα άλατα (TDS: Total Dissolved Solids), καθώς και από την παρουσία μετάλλων στο νερό, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn). Όταν ισχύει ότι $TDS < 1200 \text{ mg/l}$, τότε δεν τίθενται λόγος για πρόβλημα στην γεύση και έτσι γίνονται αποδεκτά από τον καταναλωτή, ενώ η ιδανική τιμή, πρέπει να είναι $< 500 \text{ mg/l}$ (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Η δυσάρεστη γεύση, οφείλεται σε περιεχόμενες ξένες ουσίες, όπως είναι οι φαινόλες, το χλώριο, ουσίες σε σήψη, μικροοργανισμούς, μεταλλικά ιόντα. Η χλωρίωση, είναι η σημαντικότερη αιτία για την άσχημη-μη επιθυμητή γεύση στο νερό της ύδρευσης. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με την χλωρίωση του νερού, είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν, κατά την

αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Ακόμη, η παραγωγή δυσάρεστων γεύσεων και οσμών προκαλούνται εξαιτίας της αποικοδόμησης των φυτικών υλικών και των προϊόντων μεταβολισμού των μικροοργανισμών, συνήθως μέσω των νηματοειδών βακτηρίων, των ακτινομυκήτων, των χλωροφυκών (κυανοφύκη) και από άλλους μικροοργανισμούς, καθώς επίσης και των επιφανειακών νερών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως η δυσάρεστη οσμή και γεύση, που θυμίζει την οσμή του κλούβιου αυγού, μπορεί να οφείλεται στο υδρόθειο H₂S, ιδιαίτερα για τα υπόγεια νερά (Ψιλοβίκος Α., 2014).

1.2.4 Φως

Η ηλιακή ακτινοβολία, έχει την ικανότητα να ελέγχει τον μεταβολισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων και να παίζει σημαντικό ρόλο στην δυναμική τους. Η ενέργεια αυτή, διαμέσου της φωτοσύνθεσης, προσδίδει χημική ενέργεια στο οικοσύστημα. Έτσι λοιπόν, η φωτοσύνθεση συνθέτει βιομάζα, η οποία είτε παράγεται στο υδάτινο σύστημα και ονομάζεται αυτόχθονη, είτε στην χερσαία λεκάνη απορροής και λέγεται αλλόχθονη (Κουσουρή, 1998).

Οι υπεριώδεις ακτινοβολία, εισέρχεται κατά το μέγιστο μέχρι τα 3 m βάθος. Έστω και λίγο από το φως που εισέρχεται στην επιφάνεια, μπορεί και να την διαπεράσει. Ένα μεγάλο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από το νερό ή ανακλάται από την επιφάνεια του νερού και χάνεται, ένα μέρος της διεισδύει πιο βαθιά ή λιγότερο βαθιά στην υδάτινη μάζα, ενώ ένα ποσοστό της χάνεται λόγω της διάχυσης του φωτός. Το φως εκείνο που διεισδύει βαθύτερα, είναι απαραίτητο από τους οργανισμούς που φωτοσυνθέτουν έμμεσα και από τους άλλους οργανισμούς (Barco et al., 1986). Περισσότερο από το 50% της ολικής ηλιακής ενέργειας, μπορεί να απορροφηθεί από τα πρώτα μέτρα της υδάτινης στήλης. Το βάθος στο οποίο μπορεί να φτάσει το φως, εξαρτάται από την ποσότητα των διαλυμένων και αιωρούμενων συστατικών-σωματιδίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, εξαρτάται και διαφοροποιείται με βάση το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Η ηλιακή ροή που φτάνει στις υδάτινες επιφάνειες, επηρεάζεται και από την διάρκεια της ημέρας (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Οι λίμνες μπορούν να διαχωριστούν, σε τρεις ζώνες: **α) την παράκτια ζώνη, β) την λιμναία ζώνη και γ) την βενθική ζώνη.** Η παράκτια ζώνη, που χαρακτηρίζεται και ως ρηχή ζώνη, βρίσκεται κοντά στις όχθες, εκεί όπου το φως προσεγγίζει τον πυθμένα της λίμνης και εκεί βρίσκονται υδρόβια φυτά με ριζικό σύστημα, καθώς και ζωικοί οργανισμοί όπως, μαλάκια, καρκινοειδή και υδρόβια έντομα. Η λιμναία ζώνη, είναι απομακρυσμένη από τα παράλια επιφανειακά νερά των λιμνών, ενώ τέλος η βενθική ζώνη βρίσκεται κάτω από το επίπεδο αντιστάθμισης και τη λιμναία ζώνη, όπου το φως είναι ελάχιστο ή ακόμα και ανύπαρκτο (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Το φως είναι απαραίτητος παράγοντας οικολογικής σημασίας, για τα φυτά, αλλά και για τα ζώα. Η φωτεινή ακτινοβολία, συνδέεται απόλυτα με τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. καθώς για να είναι δυνατή η φωτοσύνθεση μέσα στο νερό, θα πρέπει η απαιτούμενη φωτεινή ενέργεια να είναι το λιγότερο, σε ποσοστό 1% του φωτός, που προσπίπτει στην υδάτινη επιφάνεια. Ευφωτική ή φωτική ζώνη, είναι η στήλη του νερού, μέσα στην οποία η φωτεινή ενέργεια, καθιστά δυνατή τη φωτοσύνθεση. Υπάρχουν όμως και ακραίες περιπτώσεις, όπου η διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι δυνατή, όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από το ποσοστό του 1% που αναφέρθηκε προηγουμένως (Wetzel, 1975).

Με την βοήθεια του δίσκου Secchi, μπορούμε να μετρήσουμε την διείσδυση του φωτός στο νερό των λιμνών. Προσδιορίζει δηλαδή, το βάθος στο οποίο δεν είναι πλέον ορατός ο δίσκος από την επιφάνεια. Οπότε, όσο πιο καθαρό είναι το νερό, τόσο πιο μεγάλο θα είναι και το βάθος του δίσκου Secchi (Ψιλοβίκος Α., 2014).

1.3 Φυσικοχημικές Παράμετροι

Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ανήκουν η θερμοκρασία, η ενεργός οξύτητα, η αλκαλικότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θολότητα ή θολερότητα, η οσμή και η γεύση, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, διάφορα άλατα, η σκληρότητα του νερού, διάφορα κατιόντα, όπως αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}), του μαγνησίου (Mg^{2+}), του νατρίου (Na^+) και του καλίου (K^+), διάφορα ανιόντα όπως τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-), τα χλωριούχα (Cl), τα θειικά (SO_4^{2-}) και άλλα, τα θρεπτικά συστατικά όπως τα άλατα του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- και νιτρικά NO_3^-), τα άλατα του φωσφόρου (PO_4^{3-}), του θείου (S) και του πυριτίου (Si), διάφορα ιχνοστοιχεία και τα βαριά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd) και το χρώμιο (Cr). Στα βιοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, ανήκει το διαλυμένο οξυγόνο (D.O.), η οργανική ύλη, δηλαδή ουσίες που προσδιορίζονται με το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) και στα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά, ανήκουν οι μικροοργανισμοί, δηλαδή τα βακτήρια, οι ιοί, οι μύκητες, τα φύκια (άλγη), τα πρωτόζωα, οι έλμινθες (σκουλήκια) και τα μαλακόστρακα (Νταρακάς, 2011).

1.3.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, είναι αριθμητικά η έκφραση της ικανότητας του υδατικού διαλύματος, να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, μια ιδιότητα που συνδέεται με την ολική συγκέντρωση των ιονισμένων ουσιών και τις σχετικές συγκεντρώσεις τους, την κινητικότητα τους και τη θερμοκρασία του νερού κατά τη

στιγμή της μέτρησης της (Ψιλοβίκος Α., 2014). Στα γλυκά νερά, όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η βιολογική τους παραγωγικότητα (Ruttner, 1963). Στα φυσικά γλυκά, η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ σε κάποια βιομηχανικά απόβλητα υπερβαίνει τα 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Βασιλικιώτης & Φυτιανός, 1986). Τα φυσικά νερά, είναι διαλύτες ενός μεγάλου ποσοστού αλάτων (περισσότερο ή λιγότερο διασπασμένα σε ιόντα) και η αγωγιμότητα τους αποτελεί τη μέτρηση της ικανότητας διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος, καθορίζοντας την κινητικότητα του συνόλου των ιόντων μέσα στο νερό. Η αγωγιμότητα, εξαρτάται από την παρουσία των ιόντων στο νερό, τη σκληρότητα και τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων αλάτων (Welch, 1952). Η αύξηση της αγωγιμότητας, συνδέεται με την αύξηση των θρεπτικών συστατικών (ευτροφισμός). Ακόμα, η αύξηση των τιμών της αγωγιμότητας πάνω από ένα όριο, μας δίνει το μέτρο της αλατότητας του νερού.

1.3.2 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής - Redox ή Eh

Ως δυναμικό οξειδοαναγωγής, ορίζεται το μέτρο της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων στο νερό (Ψιλοβίκος Α., 2014). Όσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο στα ύδατα, τόσο μειώνονται οι τιμές του Redox, και έτσι αποτελεί δείκτη για την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων. Είναι η αναλογία, ανάμεσα στις οξειδωτικές και αναγωγικές ενώσεις και αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης που δίνει στοιχεία για τις οξειδωτικές διεργασίες στα ύδατα. Το Redox, μετριέται με ένα ηλεκτρόδιο σε μονάδες τάσεις ρεύματος [mV] (Ψιλοβίκος Α., & Ψιλοβίκος Α., 2010). Όταν έχει θετικές τιμές, έχουμε αερόβιες συνθήκες και γίνεται οξείδωση με τους αερόβιους οργανισμούς, ενώ στις αρνητικές τιμές, έχουμε αναερόβιες συνθήκες και γίνονται οι αναγωγικές διεργασίες με τους αναερόβιους οργανισμούς. Τιμές ίσες με το 0, παίρνει η οριακή επιφάνεια που χωρίζει την ζώνη νερού, η οποία έχει O_2 , από την ζώνη της πλήρους ανοξίας (Ψιλοβίκος Α., 2014).

1.3.3 Ενεργός Οξύτητα – pH

Η οξύτητα ή αλκαλικότητα των υδατικών συστημάτων εκφράζεται με μονάδες αποκαλούμενες pH, δηλαδή μία εκθετική κλίμακα από το 1 έως το 14. Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης του ιόντος υδρογόνου, με την οξύτητα να κυμαίνεται από το 0 έως το 7 και την αλκαλικότητα να κυμαίνεται από το 7 έως το 14. Δηλαδή, $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ (Goldman & Horne, 1994, Dodson, 2005). Η ενεργός οξύτητα (pH) επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων, πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Το pH, εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό, ρυθμίζει τις

χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σ' αυτό, και επιταχύνει ή παρεμποδίζει τις βιοχημικές διεργασίες (Χαραλάμπους, 2006). Έντονα όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα, δυσχεραίνουν την πορεία των αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους (Νταρακάς, 2010). Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9, ενώ τιμές 6,5 - 8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς, παρόλο που σε αυτό το εύρος είναι δυνατό να ενεργοποιηθεί η "δηλητηριώδης" δράση των τοξικών ουσιών. Πολύ χαμηλές τιμές βρίσκονται σε μερικές ηφαιστειακές λίμνες (περίπου 2 μονάδες) (Dodson, 2005), ενώ πολύ υψηλές (περίπου 12 μονάδες) σε μερικές αλκαλικές νατριούχες λίμνες (Κουσουρής, 1998). Οι βαλτώδεις λίμνες, που χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών οξέων, εμφανίζουν τιμές pH από 2-6 μονάδες, ενώ η πλειοψηφία των λιμνών των εύκρατων και τροπικών ζωνών έχουν τιμές από 7-9 μονάδες (Dodson, 2005). Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πρέπει να κυμαίνονται από 6,5-8,5, ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

Όταν τα ύδατα έχουν τιμές pH μικρότερες του 5, τότε κυριαρχεί στο νερό το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), για τιμές μεταξύ 7-9, υπερέχουν τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-), ενώ σε τιμές μεγαλύτερες του 9.5 στο νερό υπάρχουν σημαντικές συγκεντρώσεις διττανθρακικών ιόντων. Δηλαδή, στο νερό το pH εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, των όξινων ανθρακικών ιόντων, των διττανθρακικών ιόντων, των ιόντων υδρογόνου και υδροξυλίου, συχνά των θειικών ιόντων, των μεταλλικών κατιόντων και άλλων ανιόντων όπως του χλωρίου, του θείου και άλλων ενώσεων και ουσιών, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών και των διεργασιών αποσύνθεσης των συστατικών τους.

Εκεί όπου υπάρχουν όξινα νερά, η μακροφυτική βλάστηση είναι γενικά περιορισμένη, ενώ υπάρχει μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στο τύπο της βλάστησης και στο pH, όπως και στο pH και στη φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτών. Έχει αναφερθεί ότι χαμηλές και υψηλές τιμές pH, ίσως επιδρούν στη παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού, όπως και στη διαβίωση των ζωικών οργανισμών.

Κατά τις περιόδους της στρωμάτωσης των νερών σε μία λίμνη, παρατηρούνται προοδευτικές μεταβολές στο pH. Η κατανομή αυτή του pH, είναι κλινοβαθμική και οφείλεται συνήθως στη κατανάλωση του διοξειδίου του άνθρακα στο επιλίμνιο κατά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών και στην απελευθέρωση του στο υπολίμνιο, κυρίως κατά την αποσύνθεση των νεκρών πλαγκτικών οργανισμών και των οργανικών υλικών του πυθμένα. Ειδικότερα, είναι γνωστό ότι στο υπολίμνιο των εύτροφων λιμνών, οι οποίες παρουσιάζουν κλινοβαθμική καμπύλη κατανομής του οξυγόνου, οι τιμές του pH μειώνονται. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και των διττανθρακικών ιόντων αυξάνονται, εξαιτίας του μεταβολισμού των μικροοργανισμών και της μειωμένης κατανάλωσης των ιόντων αυτών από τους φυτικούς οργανισμούς. Συνήθως, η αύξηση των τιμών του pH, σχετίζεται με τη

φωτοσυνθετική δραστηριότητα η οποία χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα, ελαττώνει τα διττανθρακικά ιόντα, ιζηματοποιεί τα ανθρακικά και σχηματίζει υδροξυλικά ιόντα. Επίσης, η αύξηση των τιμών του pH σχετίζεται με την αύξηση του ανθρακικού περιεχομένου του νερού, ενώ η ελάττωση των τιμών του, ίσως οφείλεται στην αποσύνθεση των υπολειμμάτων του πλαγκτού και στη διάσπαση των οργανικών υλικών. Εξάλλου, και άλλοι παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα η αναπνοή των υδρόβιων οργανισμών και οι μεταβολές της θερμοκρασίας, είναι υπεύθυνα για τη διακύμανση των τιμών του pH. Αλκαλικές τιμές pH, συναντώνται σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμός (κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του CO₂ του νερού), σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά κ.ά. από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου (Νταρακάς 2011).

Τα περισσότερα φυσικά ύδατα, παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, δηλαδή αντιστέκονται στις απότομες μεταβολές του pH. Όταν μία ισχυρή βάση προστεθεί στο νερό, αντιδρά με το ανθρακικό οξύ και σχηματίζει διττανθρακικό άλας και έπειτα ανθρακική ρίζα, η οποία χρησιμοποιείται από τη βάση. Αντίθετα, όταν οξύ προστεθεί στο νερό, χρησιμοποιείται στη μετατροπή των ανθρακικών σε διττανθρακικά και των διττανθρακικών σε ανθρακικό οξύ. Αυτές οι σχέσεις εξηγούν, γιατί η προσθήκη του διοξειδίου του άνθρακα της φωτοσύνθεσης ή η χρησιμοποίησή του από τη φωτοσύνθεση, επιδρούν στις μεταβολές του pH σε φυσικά νερά χαμηλής συνολικής αλκαλικότητας, παρά σε καλά ρυθμιστικά νερά υψηλής συνολικής αλκαλικότητας (Κουσουρή, 1998).

Εν κατακλείδι, το pH των νερών γενικά μειώνεται, όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική (pH>7) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη (pH<7). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση του οργανικού υλικού, που εκλύει CO₂ όταν αποσυντίθεται.

1.3.4 Θερμοκρασία

Ένας από τους κυριότερους αβιοτικούς παράγοντες, είναι η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία, μπορεί να επηρεάσει κάθε στάδιο του κύκλου ζωής. Η θερμοκρασία, μπορεί να έχει δύο μορφές μεταβολών, τις οριζόντιες μεταβολές, καθώς και τις κατακόρυφες μεταβολές, όπου οι τελευταίες συναντώνται κυρίως σε λιμναία οικοσυστήματα. Με αυτόν τον τρόπο, η θερμοκρασία προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την μεταβολική διαδικασία. Η υψηλή θερμοχωρητικότητα του νερού, αποτελεί την κύρια διαφορά μεταξύ του νερού και των υπόλοιπων μέσων. Επιπλέον, η θερμοκρασία επηρεάζει την διαλυτότητα του οξυγόνου, καθώς και τις υπόλοιπες ουσίες που περιέχονται στο νερό (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Η θερμοκρασία του νερού, καθορίζει τόσο την σύνθεση των βιοκοινοτήτων, όσο και τη συμπεριφορά των οργανισμών, καθώς και το μέγεθος των πληθυσμών

τους. Όταν η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται προς το βέλτιστο όριο των θερμοκρασιών για τους διάφορους υδρόβιους οργανισμούς, αυτοί δραστηριοποιούνται περισσότερο, καταναλώνουν περισσότερη τροφή και προσλαμβάνουν περισσότερο οξυγόνο. Επομένως, η θερμοκρασία είναι ο περιοριστικός παράγοντας όσον αφορά την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών. Για το γενετικό υλικό αυτών, την αλληλεπίδραση με τους άλλους οργανισμούς, το μέγεθος τους, την ηλικία τους, την υγιεινή τους κατάσταση κ.ά., γίνεται διαφοροποίηση κάθε φορά τόσο των ορίων της βέλτιστης ανάπτυξης τους, όσο και των ορίων της ανθεκτικότητας τους στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (Wetzel, 1983).

Η διαδικασία που επιτρέπει ή εμποδίζει την θερμική στρωμάτωση των υδάτων και επηρεάζεται από την γεωγραφική θέση της λίμνης, τις κλιματικές συνθήκες και το βάθος της, χαρακτηρίζεται ως θερμική συμπεριφορά των λιμνών. Αυτοί οι παράγοντες, επιδρούν στην εναλλαγή της στρωμάτωσης και της κυκλοφορίας των νερών σε τακτά ή μη χρονικά διαστήματα. Σε σχετικά βαθιές λίμνες, σε εύκρατα γεωγραφικά πλάτη, παρατηρήθηκε ο πλέον ολοκληρωμένος και πολύπλοκος θερμικός κύκλος, όπου σε εκείνες τις περιοχές την χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία των νερών μπορεί να κατεβαίνει κάτω από τους 4°C, ενώ κατά την θερινή περίοδο, η θερμοκρασία είναι πάνω από 4°C και εκεί η στρωματοποιείται η υδάτινη στήλη (Ruttner, 1963).

Η σχετική νομοθεσία, ορίζει τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης της θερμοκρασίας του νερού, τα οποία είναι, το πόσιμο νερό συνιστάται να έχει θερμοκρασία 7-11°C, αν όμως υπερβεί τους 25°C αλλοιώνει την γεύση του νερού (Νταρακάς, 2011).

1.3.5 Διαλυμένο Οξυγόνο (D.O.)

Το διαλυμένο οξυγόνο, διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Σχεδόν όλες οι μορφές ζωής, χρειάζονται οξυγόνο, προκειμένου να επιβιώσουν. Ο υδάτινος αποδέκτης, λοιπόν, έχει τη δυνατότητα να διατηρεί μία μέγιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, η οποία καλείται συγκέντρωση κορεσμού και συμβολίζεται με Cs. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι για τη θερμοκρασία των 20°C η τιμή του κορεσμού Cs είναι 9 mg/l περίπου και μάλιστα μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού, οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου, ενώ οι φιλοξενούμενες μορφές ζωής επηρεάζονται σημαντικά ή ακόμα οδηγούνται μέχρι και στον θάνατο (Βασιλάτος, 2010).

Ο εμπλουτισμός των φυσικών νερών σε οξυγόνο, γίνεται είτε μέσω της διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό είτε μέσω της φωτοσυνθετικής παραγωγής του οξυγόνου από τα ανώτερα υδρόβια φυτά και το φυτοπλαγκτόν.

Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, εξαρτάται κυρίως από την αλατότητα, την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Η παρουσία των οργανικών υλών σε έναν αποδέκτη, έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη εξαιτίας της αερόβιας αναπνοής, σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{Οργανική ύλη} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ενέργεια}$ (Βασιλάτος, 2010). Αναμφισβήτητος δείκτης της κατάστασης και της βιωσιμότητας του υδάτινου οικοσυστήματος, είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) στο νερό. Τα καθαρά ύδατα εμφανίζουν υψηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου οι οποίες φτάνουν τις τιμές κορεσμού, ενώ χαμηλές τιμές δείχνουν ότι τα νερά είναι πολύ μολυσμένα με μεγάλα ποσοστά οργανικών ουσιών (Νταρακάς, 2011).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, συνεπάγεται τη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Έτσι λοιπόν, καθώς η θερμοκρασία ενός διαλύματος αυξάνεται, το αέριο που εμπεριέχεται εκδιώκεται μέχρι να συμβεί πλήρης εξαέρωση του διαλύτη στο σημείο βρασμού. Όταν η θερμοκρασία σταθεροποιηθεί, η πίεση που ασκεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό. Επομένως, η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, αυξάνεται όταν έχουμε αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης αλλά και το αντίστροφο (Νταρακάς, 2011).

Η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, οδηγεί σε αύξηση των συγκεντρώσεων οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου στα φυσικά ύδατα, όπου το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά. Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα, είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά (Λοϊζίδου, 2006).

1.4 Θρεπτικά Συστατικά

1.4.1 Άζωτο (N)

Ο εμπλουτισμός των φυσικών νερών με αζωτούχες ενώσεις, προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου, τους μηχανισμούς διάβρωσης και απόπλυσης των εδαφών της λεκάνης απορροής, με τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά, τα υγρά απόβλητα που εισρέουν στο οικοσύστημα. Το άζωτο στην μοριακή του μορφή N_2 , αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή του σε υδατικά οικοσυστήματα και αποτελεί το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας, καταλαμβάνοντας το 78% του όγκου της. Κάποιοι οργανισμοί, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δεσμευμένο άζωτο, μέσω της κατανάλωσης οργανισμών που το έχουν δεσμεύσει ή μέσω της αφομοίωσης των προϊόντων τους (Κουσουρής, 1998). Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του αζώτου στα φυσικά νερά ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 10

ως 1000 μg/l. Οι ρυθμοί παραγωγικότητας και οι παράγοντες που ελέγχουν μέχρι ένα βαθμό τις βακτηριακές δραστηριότητες, επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ενώσεων του αζώτου. Κατά τη θερινή στρωμάτωση μιας λίμνης, τα νιτρικά μπορεί ακόμα και να εξαφανιστούν στο επιφανειακό στρώμα του νερού, ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησής τους, όπως επίσης και στα βαθύτερα στρώματα, εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου στα στρώματα αυτά. Αρκετές είναι οι ενώσεις του αζώτου που συμπεριλαμβάνονται στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού (νιτρικά, τα πιο εύληπτα από τα φυτά άλατα, νιτρώδη, αμμωνιακά ιόντα). Τα άλατα του αζώτου προέρχονται συνήθως από το ίζημα και απελευθερώνονται ως αμμωνία σε ανοξικές συνθήκες και ως νιτρικά στις περιόδους κυκλοφορίας του νερού, όπου το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία.

Το οργανικό κλάσμα, το οποίο βρίσκεται στα απόβλητα σε διαλυτή ή σωματιδιακή μορφή, αποτελείται από αμινοξέα, αμινοσακχαρίτες και πρωτεΐνες. Η κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων εξαρτάται συνήθως από το pH. Σε απόβλητα με χαμηλό pH κυριαρχεί το άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών (NH_4^+), τα οποία σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,2 mg/l δημιουργούν προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης, συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρωδών αλάτων στα συστήματα ύδρευσης. Ανώτατη αποδεκτή τιμή, είναι τα 0.5 mg/l (Νταρακάς, 2011). Σε υψηλότερες τιμές pH, κυριαρχεί η αμμωνία (NH_3). Τα νιτρώδη (NO_2^-), αποτελούν ένα δείγμα προϋπάρχουσας ρύπανσης, ενώ σπάνια συναντάται υψηλή συγκέντρωση αυτών των ιόντων στα υγρά απόβλητα. Τα νιτρώδη, θεωρούνται σημαντικά για τα υγρά απόβλητα, γιατί είναι ιδιαίτερα τοξικά. Συνήθως όμως, οξειδώνονται πολύ γρήγορα σε νιτρικά (NO_3^-) ιόντα. Τα νιτρώδη που βρίσκονται στις εκροές των υγρών αποβλήτων, οξειδώνονται από το χλώριο κατά την απολύμανση και αυτό οδηγεί στην αύξηση της δόσης του χλωρίου και επομένως και στο κόστος της απολύμανσης. Η υπερίσχυση των νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, τα οποία αποτελούν την πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υγρά απόβλητα, υποδηλώνει ότι τα απόβλητα σταθεροποιήθηκαν αναφορικά με τις απαιτήσεις σε οξυγόνο. Για τα νιτρώδη (NO_2^-), η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση είναι τα 0.1 mg/l (ΦΕΚ 53/20.02.1986, τεύχος Β') και τα 0.5 mg/l (ΦΕΚ 892/11.07.2001, τεύχος Β') και για τα νιτρικά (NO_3^-) τα 50 mg/l.

1.4.2 Φώσφορος (P)

Ο φώσφορος, αποτελεί συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής και ως εκ τούτου έχει καθοριστική σημασία για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας σε έναν υδάτινο αποδέκτη. Αν και είναι ένα από τα έξι κύρια κυτταρικά στοιχεία (C, H, O, N, P, S) η παρουσία του στο φλοιό της γης είναι σπανιότερη από αυτή των άλλων πέντε στοιχείων. Ο φώσφορος, δεν απαντάται ελεύθερος στο φυσικό περιβάλλον, αλλά σε τρεις μορφές, τα ορθοφωσφορικά, τα πολυφωσφορικά ιόντα και τα φωσφορικά που είναι δεσμευμένα με 36 οργανικές

ενώσεις (Κουϊμτζής κ.ά., 1996). Ο φώσφορος, με τη μορφή κυρίως των φωσφορικών ιόντων (PO_4^{-3} και HPO_4^{-2}), αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά τόσο των ζωικών όσο και των φυτικών οργανισμών. Στα νερά ο φώσφορος, συναντάται συχνότερα με την μορφή των ορθοφωσφορικών ιόντων που σε πάνω από το 90% του ποσοστού εντοπίζεται ως οργανοφωσφορικά συστατικά των οργανισμών προσροφημένα σε ανόργανα σωματίδια, όπως και σε νεκρή σωματιδιακή οργανική ύλη (Cole, 1983).

Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό, διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υδάτινο περιβάλλον, μεταβάλλουν διαρκώς την αναλογία των παραπάνω μορφών. Η τυπική διαδικασία ανακύκλωσής του στα φυσικά νερά έχει ως εξής: Ο φώσφορος απελευθερώνεται κατά την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν και την υπόλοιπη υδρόβια βλάστηση. Ο θάνατος και η αποικοδόμηση των οργανισμών, εμπλουτίζει το νερό με φωσφορικές ενώσεις, οι οποίες καθιζάνουν στον πυθμένα, ενώ παράλληλα συμβαίνει διάχυση του φωσφόρου από το ίζημα στο νερό (εσωτερική τροφοδοσία του νερού σε φώσφορο).

Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, είναι τα βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυκών και η περιεκτικότητά του στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών νερών. Στα περισσότερα φυσικά νερά, οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου, δηλαδή το σύνολο του ανόργανου και του οργανικού, του διαλυμένου και του σωματιδιακού φωσφόρου, κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10 και 50 $\mu\text{g/l}$. Ωστόσο, σε μη παραγωγικά, oligότροφα νερά η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου, μπορεί να είναι μικρότερη από 5 $\mu\text{g/l}$, ενώ σε πολύ εύτροφες συνθήκες, μπορεί να υπερβαίνει τα 100 $\mu\text{g/l}$. Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου, οφείλεται στα αστικά λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τον μεταβολισμό. Επίσης, υπάρχει σε πολλά απορρυπαντικά και στα φωσφορικά λιπάσματα. Μικρά ποσά φωσφορικών εισέρχονται στα δίκτυα από την επεξεργασία του νερού, όπου χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και οι επικαθήσεις στους λέβητες. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία.

Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό, είναι η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση των νιτρικών και των νιτρικών ιόντων. Υψηλές θερμοκρασίες, αυξάνουν τους ρυθμούς αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου. Ταυτόχρονα όμως, οι υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν την πρόσληψη φωσφόρου από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συνήθως ο ρυθμός της πρώτης διαδικασίας (απελευθέρωση φωσφόρου) είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεύτερης (δέσμευση φωσφόρου), με αποτέλεσμα οι υψηλές θερμοκρασίες να επιφέρουν αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Το pH, σχετίζεται με την εσωτερική τροφοδοσία του νερού σε φώσφορο, την επαναιώρηση δηλαδή του φωσφόρου του πυθμένα. Σε υψηλές τιμές pH συμβαίνει

ανταλλαγή των ιόντων υδροξυλίου (OH^-) του νερού με φώσφορο από ενώσεις σιδήρου (Fe) και αργιλίου (Al) του πυθμένα. Συνεπώς, αύξηση του pH επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Ανοξικές συνθήκες, ευνοούν τη διάχυση του φωσφόρου από τον πυθμένα στο νερό. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και των νιτρικών ιόντων μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσης του φωσφόρου από τον πυθμένα και συνεπώς τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης. Παράλληλα, η παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης σε μια υδάτινη συλλογή, αυξάνει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό. Οι φυτικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν φώσφορο κυρίως από το υπόστρωμα, ενώ κατά την ανάπτυξή τους απελευθερώνουν μεγάλα ποσά φωσφόρου στο νερό, διαδικασία που συνεχίζεται και κατά την ξήρανσή τους. Η παραμονή ξηρών φυτικών τμημάτων στο νερό, διευκολύνει την αποσύνθεσή τους, εμπλουτίζοντας το νερό με φωσφορικές ενώσεις (Νταρακάς, 2010).

1.5 Δείκτες Ποιότητας Νερού

Υπάρχουν μερικές μετρήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού, ανάλογα με τα ανόργανα συστατικά που περιέχει, όπως είναι η περιεκτικότητα σε πολυσθενή κατιόντα (σκληρότητα), τα διαλυμένα στερεά (TDS), η ηλεκτρική αγωγιμότητα, (ECw) η ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH) και η καταλληλότητα για άρδευση (Sodium Adsorption Ratio – SAR).

- ❖ **Σκληρότητα:** είναι μια μέτρηση που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα (κυρίως Ca^{2+} και Mg^{2+}). Η σκληρότητα είναι σημαντική παράμετρος όσον αφορά το νερό για βιομηχανικές χρήσεις, γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών και άλλων επικαθίσεων στους λέβητες και τους πύργους ψύξης, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων στα βαφεία κ.ά. Για τον υπολογισμό της σκληρότητας, το άθροισμα των χιλιοστοϊσοδυνάμων ασβεστίου και μαγνησίου, θεωρείται ισοδύναμο χιλιοστοϊσοδυνάμων ανθρακικού ασβεστίου. Νερά με τιμές σκληρότητας 0-100 mg/l (ισοδύναμο) CaCO_3 χαρακτηρίζονται ως «μαλακά», 100-200 ως «μέσης σκληρότητας», 200-300 ως «σκληρά» και για τις τιμές > 300 ως «πολύ σκληρά».
- ❖ **Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS):** είναι μια μέτρηση όλων των ιόντων που υπάρχουν σε διάλυση. Η μέτρηση τους γίνεται με διήθηση του νερού για απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, εξάτμιση μέχρι ξηρού του διηθήματος και ζύγιση του στερεού υπολείμματος. Αν και τα ολικά διαλυμένα στερεά δε φαίνονται να είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, συνήθως συνιστάται να είναι λιγότερα από 500 mg/l στο πόσιμο νερό. Μεγαλύτερες τιμές από τη συγκέντρωση αυτή, προσδίδουν στο νερό ιδιαίτερα γεύση.

- ❖ **Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του νερού (ECw):** Αναλύθηκε προηγουμένως στις φυσικοχημικές παραμέτρους.
- ❖ **Σχέση προσροφημένου νατρίου (SAR):** Προκειμένου να μελετηθούν τα προβλήματα αλατότητας και διηθητικότητας, που μπορεί να προκύψουν στα καλλιεργούμενα εδάφη από το νερό άρδευσης, απαιτείται εκτός από τη γνώση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού η γνώση της SAR που δίνεται από τη σχέση (2.1):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (2.1)$$

Όπου

Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2} οι συγκεντρώσεις του νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου αντίστοιχα. Αποτελεί ένα κριτήριο της τοξικότητας του νατρίου στο νερό άρδευσης. Με βάση την τιμή SAR τα νερά άρδευσης κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 $\mu S/cm$ είναι:

- Κατηγορία 1: Τιμή SAR μικρότερη από 6, κίνδυνος νατρίου μικρός
- Κατηγορία 2: Τιμή SAR από 6 έως 12, κίνδυνος νατρίου μέσος
- Κατηγορία 3: Τιμή SAR από 12 έως 18, κίνδυνος νατρίου μεγάλος
- Κατηγορία 4: Τιμή SAR μεγαλύτερη από 18, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος

Οι τιμές αυτές έχουν αντίστροφη σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Γενικά, αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της SAR και το αντίστροφο. Οι τιμές για τις παραπάνω τέσσερις κατηγορίες για ηλεκτρική αγωγιμότητα 100 $\mu S/cm$ είναι <10, 10-18, 18-26, >26, αντίστοιχα.

1.6 Ευτροφισμός

1.6.1 Γενικά για τον ευτροφισμό

Κατά καιρούς έχουν δοθεί ορισμοί για την περιγραφή του ευτροφισμού. Ο Naumann (1929) ήταν από τους πρώτους που εισήγαγε τις γενικές έννοιες ολιγότροφος και ευτροφία και τις διαχώρισε με βάση τους φυτοπλαγκτονικούς πληθυσμούς. Οι ολιγοτροφικές λίμνες, περιελάμβαναν λίγα πλαγκτονικά φύκη, οι ευτροφικές λίμνες περιελάμβαναν περισσότερο φυτοπλαγκτόν και ήταν κοινές σε περιοχές πιο γόνιμες, όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα τις εφοδίαζε με αυξανόμενα αποθέματα θρεπτικών (Wetzel, 2001).

Ο ευτροφισμός, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλες εκείνες τις διεργασίες, με τις οποίες από φυσικά αίτια ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες οι προστιθέμενες θρεπτικές ουσίες στα νερά αυξάνουν το περιεχόμενο τους σε θρεπτικά άλατα, με επακόλουθο τη προοδευτική επιδείνωση της ποιότητας του νερού (Κουσουρή, 1998).

Παρά το γεγονός ότι έχουν δοθεί μέχρι σήμερα πολλοί ορισμοί, όλοι "συμφωνούν" στο ότι ο ευτροφισμός είναι η αύξηση των φυκών, διαφέρουν ως προς την έμφαση που δίνεται στις επιπτώσεις, συμφωνούν όμως σημαντικά όλοι σε ένα κοινό σημείο, πως ο ευτροφισμός αποτελεί μία διαταραχή του οικοσυστήματος και όχι ρύπανση (Καρύδης, 2005).

Αναλυτικότερα, οι oligοτροφικές λίμνες χαρακτηρίζονται από χαμηλή αρχική βιοδραστηριότητα και από μικρή συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων. Η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο είναι υψηλή (κορεσμός), γεγονός που δημιουργεί στο επιλίμνιο ισχυρά οξειδωτικές συνθήκες. Το πάχος του υπολίμνιου τέτοιων λιμνών, είναι μεγαλύτερο από αυτό του επιλίμνιου, ενώ το μέσο βάθος τους δεν ξεπερνά τα 18 μέτρα. Το νερό των λιμνών αυτών έχει σκούρο μπλε προς ανοιχτό πράσινο χρώμα και είναι φτωχό σε νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Το αιρούμενο υλικό τους, είναι κυρίως λεπτόκοκκο αργιλικό και τα ιζήματά τους χαρακτηρίζονται από την απουσία των σαπροπηλών.

Στον αντίποδα, οι ευτροφικές λίμνες χαρακτηρίζονται από υψηλή βιοδραστηριότητα και υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων και οργανικού υλικού. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά αυτών των λιμνών είναι σχετικά μικρή, γεγονός που δημιουργεί ένα ασθενώς ανοξικό περιβάλλον. Το νερό τους έχει κίτρινο έως κιτρινοπράσινο χρώμα και είναι πλούσιο σε φωσφορικά, νιτρικά καθώς και ανθρακικά άλατα. Το αιρούμενο υλικό τους, είναι κυρίως πλαγκτόν σε αφθονία και τα ιζήματά τους είναι κατά κύριο λόγο πορώδη πλούσια σε οργανικό υλικό.

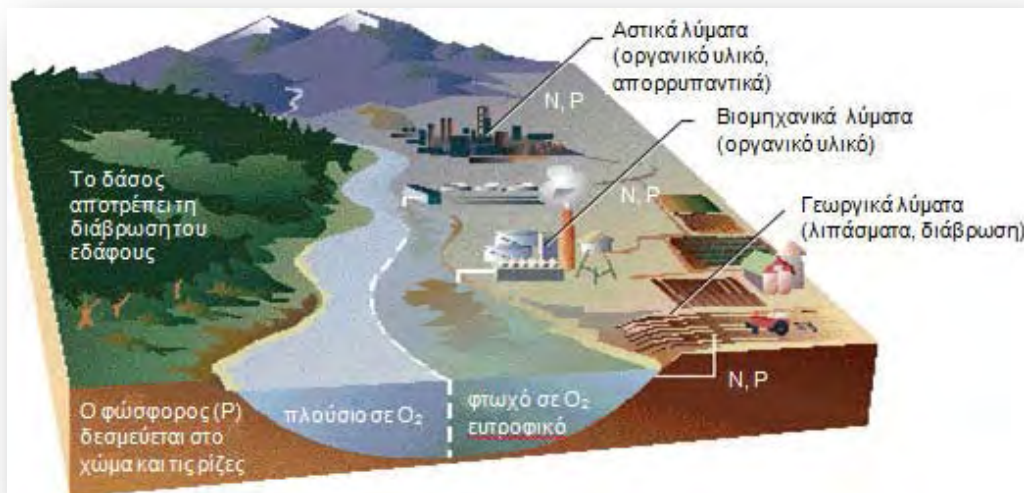
Τέλος οι δυστροφικές λίμνες, χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων στο νερό τους, και με χαμηλή περιεκτικότητα διαλυμένου οξυγόνου, το οποίο συχνά μπορεί και να απουσιάζει. Το γεγονός αυτό, δημιουργεί στις λίμνες αυτής της κατηγορίας έντονες αναγωγικές συνθήκες. Το νερό τους έχει καφέ χρώμα, περιέχει πλούσιο αιώρημα, το οποίο αποτελείται από χουμικά κολλοειδή συστατικά και τα ιζήματά τους αποτελούνται από αργιούχους ιλυολίθους, διτομούχα ορυκτά και λιμναίες σιδηρούχες αποθέσεις.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε, πως ο ευτροφισμός είναι ένα από τα προβλήματα που σχετίζονται με τη ρύπανση των επιφανειακών υδάτων. Είναι όμως αδύνατο να γίνει καθαρή διάκριση μεταξύ του προβλήματος του ευτροφισμού και των άλλων προβλημάτων της ρύπανσης των υδάτων, επειδή μερικώς τουλάχιστον όλα είναι αλληλοσχετιζόμενα. Ρύπανση όμως και ευτροφισμός δεν είναι πάντοτε το ίδιο πράγμα. Μία λίμνη μπορεί να είναι ρυπασμένη χωρίς να έχει γίνει ευτροφική. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι ο ευτροφισμός είναι μία μορφή ρύπανσης που προξενείτε από φυσικές διεργασίες (γήρανση των οικοσυστημάτων) ή και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αστικές απορρίψεις, απορροές από γεωργοκτηνοτροφικές καλλιέργειες κ.α.). Το εμφανέστερο φαινόμενο, που προκαλείται από τα προστιθέμενα θρεπτικά συστατικά σε κάποιο επιφανειακό

νερό, είναι η αύξηση της βιολογικής παραγωγής, συχνά σε ανεπιθύμητα επίπεδα.



Εικόνα 1: Εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού στην Λίμνη Ορεσιτιάδα (φωτογραφία προσωπικού αρχείου)



Εικόνα 2: Πηγές ρύπανσης που προκαλούν ευτροφισμό σε αντιπαράθεση με ένα υγιές οικοσύστημα. Διαθέσιμο στο <http://www.virtualsciencefair.org>

1.6.2 Παραγωγικότητα υδάτινων οικοσυστημάτων

Η παραγωγικότητα, η οποία εκφράζει το ρυθμό παραγωγής οργανικού υλικού, αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες που καθορίζουν τη βιωσιμότητα και λειτουργία ενός υδάτινου οικοσυστήματος. Σε επίπεδο αυτότροφων φυτικών οργανισμών, η παραγωγικότητα (πρωτογενής) εκφράζει το ρυθμό παραγωγής νέας οργανικής ύλης που εξασφαλίζει την αύξηση του μεγέθους τους, ενώ σε επίπεδο ετερότροφων ζωικών οργανισμών η παραγωγικότητα (δευτερογενής) εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο οι ζωικοί οργανισμοί καταναλώνουν οργανική ύλη και αποθηκεύουν ενέργεια.

Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί, είναι οι κυριότεροι πρωτογενείς παραγωγοί στα υδάτινα οικοσυστήματα, όπου με τη βοήθεια του φαινομένου της φωτοσύνθεσης μετατρέπουν ανόργανα συστατικά (CO₂, νιτρικά, φωσφορικά ιόντα κ.ά.) σε οργανικές ενώσεις (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες κ.ά.). Η καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα, εκφράζει το ρυθμό αποθήκευσης της οργανικής ύλης στους οργανισμούς ως φυτική βιομάζα.

Η γνώση του μεγέθους της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας, η οποία αποτελεί την αύξηση της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας, δηλαδή την παραγωγή τροφής στα υδάτινα οικοσυστήματα, είναι πολύ σημαντική. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται εκτεταμένα η συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών οι οποίες αποτελούν θεμελιώδες γνώρισμα των φυκών. Συνήθως υπολογίζεται η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α (Chl-a), που υπάρχει σε ένα συγκεκριμένο όγκο νερού, καθώς είναι η κύρια χρωστική όλων των φωτοσυνθετικών οργανισμών και είναι παρούσα σε όλα τα φύκη, τα κυανοβακτήρια, καθώς και σε άλλες κατηγορίες φυκών.

Η συγκέντρωσή της στα υδάτινα οικοσυστήματα, παρουσιάζει εποχικές ή ακόμα και ημερήσιες διακυμάνσεις, ενώ παράλληλα μπορεί να μεταβάλλεται σε σχέση με το βάθος. Παράγοντες που μπορούν να καθορίσουν την παραγωγικότητα σε μια υδάτινη μάζα, είναι το κλίμα και τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης. Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης, η συσσώρευση θρεπτικών φορτίων, ιδιαίτερα σε φώσφορο, καθώς συνήθως είναι ο πρωταρχικός περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυκών, αποτελώντας τις περισσότερες φορές τη βασική αιτία του φαινομένου του ευτροφισμού (Wetzel, 2001).

1.6.3 Χλωροφύλλη-α (Chl-a) ως Δείκτης Ευτροφισμού

Οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί, είναι οι βασικοί πρωτογενείς παραγωγοί στα υδατικά περιβάλλοντα. Μετατρέπουν ανόργανα συστατικά σε οργανικές ενώσεις μέσω μιας σειράς βιοχημικών αντιδράσεων, που πραγματοποιούνται από όλους τους φυτικούς οργανισμούς τόσο στην ξηρά όσο και στο υδάτινο περιβάλλον. Η φωτοσύνθεση, πραγματοποιείται μόνο με παρουσία φωτός (δηλαδή, κατά τη

διάρκεια της ημέρας). Η ηλιακή ενέργεια, δεσμεύεται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές, που βρίσκονται στους χλωροπλάστες των φυτικών κυττάρων. Υπάρχουν αρκετές χρωστικές στα κύτταρα των φυτικών οργανισμών, όπως η χλωροφύλλες b, c και d, τα καροτενοειδή, οι ξανθοφύλλες και οι φυκομπιλίνες. Η κυρίαρχη όμως φωτοσυνθετική χρωστική των φυτών, είναι η χλωροφύλλη-α.

Η χλωροφύλλη-α απορροφά σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα του φάσματος (κοντά στα 650-700 nm) και λιγότερο στο μπλε-μοβ χρώμα (κοντά στα 450 nm) και για αυτό το λόγο είναι η κυρίαρχη χρωστική των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών που ζουν στα ανώτερα στρώματα της εύφωτης ζώνης, αλλά και συναντάται σε φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς, που ζουν στα κατώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης. Η περιεκτικότητα της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας σε χλωροφύλλη-α επηρεάζεται από τη σύνθεση των ειδών του φυτοπλαγκτού, όπως και από τις διάφορες φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού (Τρύφων, 1997).

Όπως προαναφέρθηκε, το φυτοπλαγκτόν είναι ο κύριος φωτοσυνθετικός οργανισμός. Παρόλα αυτά, χλωροφύλλη-α συναντούμε και σε μερικά φωτοσυνθετικά βακτήρια. Τα βακτήρια αυτά είναι γνωστά ως κυανοπράσινα φύκη ή κυανοβακτήρια. Αυτά θεωρούνται βακτήρια, επειδή έχουν προκαρυωτική κυτταρική οργάνωση. Η φωτοσύνθεση, λαμβάνει χώρα σε πτυχωμένες μεμβράνες μέσα στο κύτταρο αντί στους χλωροπλάστες, όπως συμβαίνει στα ευκαρυωτικά κύτταρα. Ωστόσο, υπάρχουν ομοιότητες ανάμεσα στα κυανοπράσινα φύκη και στους πιο πολύπλοκους πρωτογενείς οργανισμούς, όπως τα φύκη και το φυτοπλαγκτόν. Μια από αυτές τις ομοιότητες είναι και η ύπαρξη της χλωροφύλλης - α στα κύτταρά τους (Castro & Huber, 1999).

Η γνώση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α σε ένα οικοσύστημα, είναι σημαντική και η οικολογική της αξία μεγάλη. Πιο συγκεκριμένα, η χλωροφύλλη-α δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού. Το σημαντικότερο όμως είναι, ότι διαδραματίζει καίριο ρόλο στη φωτοσύνθεση, αφού δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια. Επιπλέον, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α αποτελεί δείκτη ρύπανσης σε ένα υδάτινο οικοσύστημα από τον ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson, 1996).

Αναφέρθηκε προηγουμένως, πως ο ευτροφισμός είναι η διαδικασία με την οποία τα νερά εμπλουτίζονται με θρεπτικά κυρίως νιτρικά και φώσφορο, όπου η περίσσεια των απαραίτητων για τη θρέψη υλικών, προκαλεί υπέρμετρη ανάπτυξη των φυτικών κυρίως οργανισμών με διατάραξη της υπάρχουσας ισορροπίας. Το νερό γίνεται ανοξικό, εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσης αποσυντιθέμενου οργανικού υλικού (Pinet, 2000). Η φωτοσύνθεση, είναι μια διαδικασία που απαιτεί διαλυμένο οξυγόνο (D.O), το οποίο λαμβάνει από τη στήλη του νερού και από το νερό των πόρων του ιζήματος. Το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (B.O.D), το οποίο προκύπτει από το πλεόνασμα των θρεπτικών μπορεί να δημιουργήσει ευτροφισμό, όπου η στήλη του νερού γίνεται υπό-οξική, έχοντας χαμηλές ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου ή τελείως οξική, όπου υπάρχει απουσία οξυγόνου.

Τα ασπόνδυλα και τα ψάρια, που βοσκούν τα φυτά, δεν μπορούν να επιβιώσουν σε τέτοια αφιλόξενα περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση της βόσκησης και κατ' επέκταση, αύξηση των φυτικών οργανισμών και αύξηση του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου (Viviani et al., 1997). Κανονικά ο ευτροφισμός θεωρείται φυσικό φαινόμενο, όταν όμως είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δραστηριότητας τότε μπορεί να θεωρηθεί ως είδος ρύπανσης (Φυτιανός, 1996).

Τα υδάτινα οικοσυστήματα, μπορούν να χαρακτηριστούν ως oligότροφα, mesότροφα και εύτροφα, ανάλογα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σε αυτά. Υπάρχουν διάφορες κλίμακες ευτροφισμού, για την κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό. Μια από αυτές, ενδεικτική για την Ευρωπαϊκή ένωση δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση του ευτροφικού καθεστώτος, με βάση την Χλωροφύλλη-α (μg/l) (Καρύδης, 2005).

Επίπεδα ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-α (μg/l)
Ολιγοτροφικό	< 0,1
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0,1-0,6
Υψηλό Μεσοτροφικό	0,6-2,21
Ευτροφικό	>2,21

1.6.4 Ποσοτικές σχέσεις προσδιορισμού του ευτροφισμού

Η μαθηματική έκφραση που χρησιμοποιείται για να συσχετίσει τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (**TP**) σε ένα υδατικό οικοσύστημα, με την ετήσια φόρτιση σε φώσφορο ανά μονάδα επιφάνειας (**L**), το ποσοστό του φορτίου που κατακρατείται στο ίζημα (**R**), το χρόνο παραμονής του νερού στη λίμνη (**t**) και το μέσο βάθος της λίμνης (**Z**) είναι (Dillon, 1974):

$$L \cdot (1 - R) \cdot t = Z \cdot TP \quad (1.1)$$

Όπου,

L Το επιφανειακό φορτίο του φωσφόρου που διοχετεύεται στην λίμνη [**g/m²/y**]

R Ο συντελεστής του φωσφόρου που κατακρατείται στα ιζήματα. Δίνεται με τη σχέση (1.2):

$$R = 0,426 \cdot e^{-0,271 \cdot q_s} + 0,574 \cdot e^{-0,00949 \cdot q_s} \quad (1.2)$$

Όπου,

q_s το υδραυλικό φορτίο της λίμνης, το οποίο ισούται με το σύνολο των εισροών και εκροών του νερού στη λίμνη ΣQ , προς το εμβαδό της λίμνης A_l [**m/y**]. Δίνεται με τη σχέση (1.3):

$$q_s = \frac{\Sigma Q}{A_l} \quad (1.3)$$

Όπου,

ΣQ το αλγεβρικό άθροισμα

- a) Των απευθείας εισροών νερού διά μέσου του νερού των υδατορευμάτων και της απευθείας απορροής
- b) Του νερού της βροχής που πέφτει απευθείας στην επιφάνεια της λίμνης
- c) Των υπόγειων εισροών και εκροών νερού από και προς τους υπόγειους υδροφορείς
- d) Των επιφανειακών εκροών διαμέσου εκχειλιστών
- e) Της εξάτμισης από την επιφάνεια της λίμνης και
- f) Των απολήψεων νερού για διάφορες χρήσεις, όπως άρδευση, ύδρευση, βιομηχανική χρήση και οικολογική διατήρηση.

Ο υπολογισμός των συνολικών παροχών ΣQ , είναι το αποτέλεσμα της μελέτης του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης και εφαρμογής αντίστοιχου αλγορίθμου.

t Ο χρόνος παραμονής, ο οποίος είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για τις λίμνες. Αποτελεί το θεωρητικό χρόνο που απαιτεί το νερό για να κινηθεί μέσα από το υδατικό σώμα. Δίνεται από τη σχέση (1.4):

$$t = \frac{V}{\Sigma Q} \quad (1.4)$$

Όπου

V : Ο όγκος της λίμνης, ο οποίος υπολογίζεται για μια συγκεκριμένη στάθμη [**m³**]

Η συχνότητα με την οποία γίνεται η ανανέωση των υδάτων σε μία λίμνη, ονομάζεται ρυθμός ανανέωσης και είναι το αντίστροφο του χρόνου παραμονής. Άρα, δίνεται από τη σχέση (1.5):

$$r = \frac{\Sigma Q}{V} \quad (1.5)$$

TP: Η μέση ετήσια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου στη λίμνη [**g/m³ ή mg/l**]

Z: Το μέσο βάθος της λίμνης [**m**]

Οι δείκτες κατά Carlson (Carlson & Simpson, 1996), δίνουν μια ένδειξη για τις συνθήκες ευτροφισμού, εάν είναι γνωστό ένα από τα παρακάτω:

- Βάθος του δίσκου Secchi (SD)
- Ολικός Φωσφόρος (TP)
- Χλωροφύλλη -α (Chl-a)

Οι συγκεκριμένες παράμετροι, θεωρείται ότι είναι από τις πιο σημαντικές στον προσδιορισμό του τροφικού επιπέδου των λιμνών και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ελληνικές λίμνες (Kagalou & Psilonikos, in press). Οι δείκτες αυτοί, δίνονται στη συνέχεια με τις σχέσεις (1.6, 1.7 & 1.8) :

$$TSI (SD) = 60 - 14,41 \cdot \ln(SD) \quad (1.6)$$

$$TSI (TP) = 14,42 \cdot \ln(TP) + 4,15 \quad (1.7)$$

$$TSI (chl - a) = 9,81 \cdot \ln(chl - a) + 30,6 \quad (1.8)$$

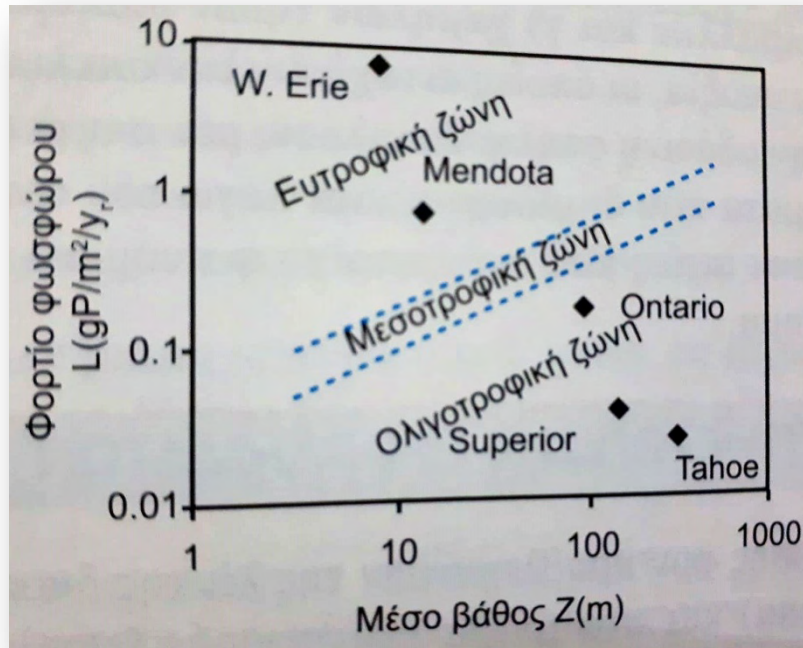
Παρακάτω δίνεται ο συγκριτικός πίνακας (1), που έχει προκύψει από τους Carlson & Simpson (1996), στον οποίο γίνεται η αντιπαράθεση των τιμών του δείκτη TSI και των τιμών των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται ο δείκτης αυτός, δηλαδή SD, TP, Chl-a και D.O_{sat} στο υπολίμνιο.

Πίνακας 2: Οι τιμές του δείκτη Carlson, σε αντιστοιχία με τις τιμές SD, TP & Chl-a και την τροφική κατάσταση (Ψιλοβίκος Α., 2014).

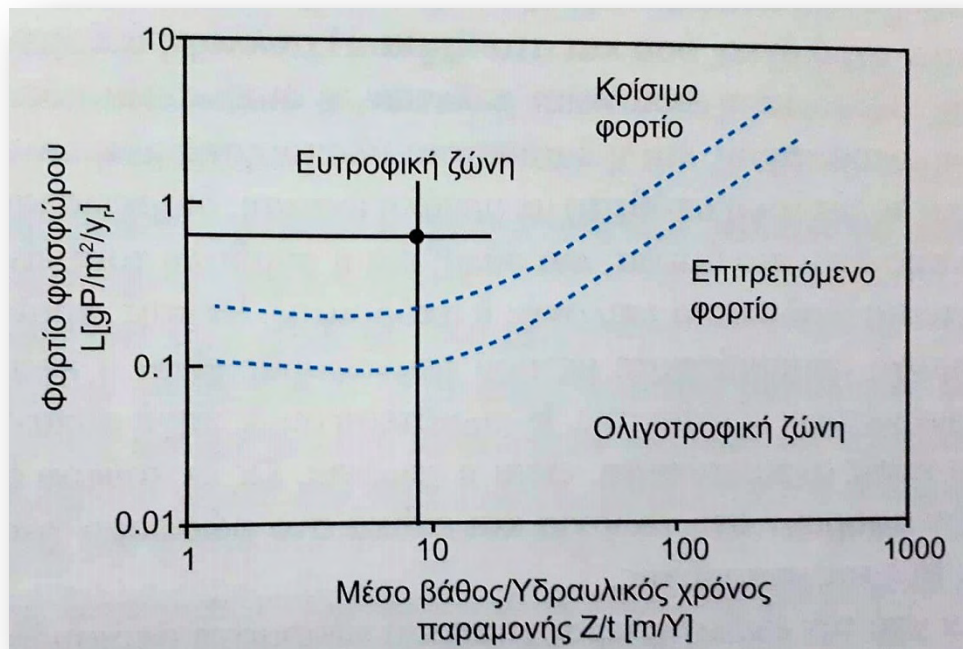
TSI	Chl-a [μg/l]	TP [μg/l]	SD [m]	D.O _{sat} στο υπολίμνιο [%]	Τροφική κατάσταση
< 30-40	0-2,6	0-12	>8-4	>80	Ολιγοτροφική
40-50	2,6-20	12-24	4-2	10-80	Μεσοτροφική
50-70	20-56	24-96	2-0,5	<10	Ευτροφική
70-100+	56-155+	96-384+	0,5-0,25	-----	Υπερευτροφική

Κάθε τροφική κλάση, υποστηρίζει διαφορετικά είδη ψαριών, καθώς επίσης και άλλων οργανισμών. Εάν η βιομάζα των φυκών σε μια λίμνη ή ένα άλλο υδάτινο σώμα πλησιάζει σε πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης (π.χ. TSI >80), τότε προκαλείται στρες στους ιχθυοπληθυσμούς, για το λόγο ότι η βιομάζα αυτή απαιτεί πολύ μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου για την αναπνοή της και έτσι το νερό αποοξυγονώνεται. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να συμβούν και μαζικοί θάνατοι ψαριών οφειλόμενοι σε ανοξικές συνθήκες.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της τροφικής κατάστασης μια λίμνης, είναι και το μοντέλο Vollenweider (1968), το οποίο συσχετίζει την τροφική κατάσταση των λιμνών με το συνολικό ετήσιο φορτίο σε φωσφόρο **L** ανά μονάδα επιφάνειας [**g/m²/y**] και το μέσο βάθος της λίμνης **Z** [**m**] (Σχήμα 1.). Στο διάγραμμα αυτό δίνονται και τα όρια του μέγιστου επιτρεπόμενου φορτίου, ώστε η λίμνη να παραμείνει ολιγοτροφική και του μέγιστου κρίσιμου φορτίου, πάνω από το οποίο η λίμνη θα γίνει ευτροφική. Από μεταγενέστερη μελέτη του ίδιου (Vollenweider, 1975), βρέθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση των τιμών των μεταβλητών **L** και του μέσου βάθους/χρόνος παραμονής – **Z/t** σε μονάδες [**m/y**] (Σχήμα 2.):



Σχήμα 1: Το μοντέλο Vollenweider (1968) (Ψιλοβίκος Α., 2014).



Σχήμα 2: Το μοντέλο Vollenweider (1975) (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, εξετάστηκε ο ευτροφισμός ως αποτέλεσμα της εξωτερικής τροφοδοσίας (external loading) των λιμών σε φωσφόρο, η οποία προκαλείται τόσο από σημειακές όσο και μη σημειακές

πηγές και είναι είτε φυσικής είτε ανθρωπογενούς προελεύσεως. Αυτό με τη σειρά του, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών της χλωροφύλλης-α (Chl-a), τη μείωση της διαφάνειας του δίσκου Secchi (SD) και την παρουσία φαινομένων που όπως περιγράφηκαν προηγούμενα, οδηγούν τις λίμνες στο να χαρακτηριστούν σε ένα από τα παραπάνω τροφικά καθεστώτα, με βάση τις τιμές των δεικτών κατά Carlson, το μοντέλο Vollenweider κλπ.

Αξιοσημείωτη, είναι και η ύπαρξη εσωτερικής τροφοδοσίας (internal loading) σε φωσφόρο, που προέρχεται κυρίως από την απελευθέρωση φωσφόρου από το ίζημα. Αυτό απαντάται κυρίως στα ρηχά λιμναία πολυμικτικά συστήματα, με διεργασίες που οφείλονται στο συνδυασμό **α)** υψηλών τιμών pH, μεγαλύτερων του 8, δηλαδή βασικού περιβάλλοντος, όπου η υδροξυλική ρίζα ανταλλάσσεται με τα φωσφορικά που γίνονται διαλυτά στο νερό, **β)** χαμηλών τιμών Redox, δηλαδή αναγωγικό περιβάλλον και **γ)** χαμηλών τιμών διαλυμένου οξυγόνου, που πλησιάζουν προς την υποξία, οι οποίες ενισχύουν την απελευθέρωση φωσφόρου από το ίζημα προς την υδάτινη στήλη. Επιπλέον, μια σειρά από μηχανικές διεργασίες, όπως τα ρεύματα που δημιουργούνται λόγω του ανέμου, ο κυματισμός και η ναυσιπλοΐα, είναι αιτίες που εντείνουν το φαινόμενο της απελευθέρωσης φωσφόρου από το ίζημα.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Περιοχή Μελέτης

Ως περιοχή μελέτης, ορίζουμε τη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς, γνωστή και ως Λίμνη Ορεστιάδα, δεδομένου ότι οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στην περιοχή αυτή επηρεάζουν έμμεσα τη λίμνη. Η περιοχή αυτή, βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Καστοριάς, στη Βόρειο-Δυτική Ελλάδα (40°31'N, 21°18'E), σε υψόμετρο 620 m (Mourkides & Tsiouris, 1984). Η λίμνη, έχει νεφροειδή μορφή, με μεγάλο άξονα διεύθυνσης από τον Βορρά προς τον Νότο, μήκους 7 km και μικρό άξονα διεύθυνσης από την Ανατολή προς την Δύση, μήκους 5,5 km (Τολίκας, 2000). Έχει μέσο βάθος νερού 4,5 m και μέγιστο βάθος σε μια μικρή έκταση 9,1 m και συνολικό όγκο νερού της τάξεως των 110x10⁶ m³. (Mourkides & Tsiouris, 1984).

Η πόλη της Καστοριάς, βρίσκεται πάνω σε μια βραχώδη ασβεστολιθική χερσόνησο, τη χερσόνησο της Κοριτσάς. Η χερσόνησος αυτή, βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της λίμνης και την διαιρεί σε δύο κύριες επιμέρους λεκάνες την βόρεια, καθώς και την νότια λεκάνη.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς, χωρίζεται στην ευρύτερη και στην άμεση περιοχή μελέτης, τις οποίες μπορούμε να τις οριοθετήσουμε ως εξής:

Οριοθέτηση ευρύτερης περιοχής:

- ❖ Βόρεια από το όρος Βέρνο με ψηλότερη κορυφή το Βίτσι, που είναι και το ψηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής της λίμνης και τα υψώματα Σπυριδάκη, Κορυφή Σικαβίτσας και Αγία Παρασκευή.
- ❖ Ανατολικά από τα υψώματα Φαλακρόν, Κρόνος, Δούκας, Μαυροβούνι, Στενά Κλεισούρας και Πύργος.
- ❖ Νότια από τα υψώματα Πετρώδες, Μικρό Βουνό και Κορησός.
- ❖ Δυτικά από τα υψώματα Κορυφή, Αγία Τριάς, Καζάνι και Περτσέλη.

Οριοθέτηση άμεσης περιοχής:

Η Περιοχή Προστασίας της Φύσης με την επωνυμία «Περιοχή Προστασίας της Φύσης Λίμνης Καστοριάς» και συγκεκριμένα η χερσαία και η υδάτινη περιοχή που βρίσκεται εκτός των ορίων εγκεκριμένων Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων και εκτός ορίων οικισμών κάτω από 2000 κατοίκους των οριοθετούμενων, σύμφωνα με το από 24.4.1985 Π.Δ/γμα (Δ' 181), όπως ισχύει και εκτός των ορίων οικισμών προ του 1923 του Δήμου Καστοριάς (τέως Δήμοι Καστοριάς, Βιτσίου, Μακεδνών και Αγίων Αναργύρων Ν. Καστοριάς), όπως τα όρια της παρουσιάζονται στο Προεδρικό Διάταγμα 14/12 (ΦΕΚ 226/ΑΑ&ΠΘ) «Χαρακτηρισμός της περιοχής της λίμνης Καστοριάς ως περιοχής προστασίας της φύσης και ίδρυση Φορέα Διαχείρισης αυτής». Το κέντρο της Περιοχής Προστασίας της Φύσης Λίμνης Καστοριάς βρίσκεται περί των συντεταγμένων 270800, 4489000 (ΕΓΣΑ '87). Τα όρια της προστατευόμενης περιοχής δεν έχουν σημανθεί στο έδαφος.



Εικόνα 3: Αεροφωτογραφία Λίμνης Ορεστιάδας. Διαθέσιμη πηγή: <https://travelphoto.gr/en/prespes-limni-kastorias/>

2.1.1 Υπολεκάνες και ρέματα της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς

Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής της Λίμνης Ορεστιάδας, υποδιαιρείται σε 11 υπολεκάνες απορροής από τις οποίες οι 9 υπολεκάνες αφορούν βασικά υδατορέματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, 1 αφορά στην υπολεκάνη της πόλης της Καστοριάς, της οποίας οι απορροές εισέρχονται στη λίμνη μέσω των αγωγών αποχέτευσης όμβριων και 1 αφορά στην υπολεκάνη της περιοχής των Αμπελοκήπων, που βρίσκεται νοτιοδυτικά της λεκάνης της Καστοριάς, της οποίας τα επιφανειακά ύδατα οδηγούνται στο Ρέμα Γκιάλε και καταλήγουν στον Αλιάκμονα, ενώ τα υπόγεια συμβάλλουν στην λίμνη (Σ.Δ.Λ.Κ, 2015).

Πίνακας 3: Ρέματα και υπολεκάνες της λεκάνης απορροής της Λίμνης Ορεστιάδας (Τολίκας, 2000).

α/α	Περιοχή ή υπολεκάνη	Έκταση (km ²)
1	Ρέμα Φουντουκλή	4,19
2	Ρέμα Απόσκεπου	8,3
3	Ρέμα Βυσσινιάς	48,46
4	Ρέμα Αγίου Αθανασίου	2,14
5	Ρέμα Τοιχιού	23,25
6	Ρέμα Μεταμόρφωσης	12,28
7	Ρέμα Φωτεινής	9,87
8	Ρέμα Ξηροπόταμου	113,44

9	Ρέμα Ίστακου	9,46
10	Ρέμα Καστοριάς-Δισπηλιού	12,64
11	Ρέμα Αμπελοκήπων	23,47
	Σύνολο έκτασης:	267,5
	Έκταση Λίμνης Ορεστιάδας:	27,9

Στη λίμνη οι κινήσεις των υδάτων που παρατηρούνται, ποικίλλουν. Αυτές λοιπόν, είναι μια γενική βραδεία μόνιμη ροή από το άνω τμήμα της λίμνης, στο οποίο εισρέουν νερά προς το κάτω τμήμα, όπου αυτά εκρέουν στη θέση του ρέματος Γκιόλε, καθώς επίσης, ροές που οφείλονται στους πνέοντες ανέμους και δευτερευόντως στη μεταβολή της πυκνότητας των νερών, λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της λίμνης και ροές στο υπολίμνιο, οι οποίες σχηματίζονται κατά τις πλημμυρικές παροχές των χειμαρρικών ρεμάτων (Τσόμπος, 2011).

Η λίμνη της Καστοριάς, είναι μια πολυμορφική λίμνη, με κύρια χαρακτηριστικά τον υψηλό χρόνο παραμονής του νερού (μεγαλύτερος από 2 έτη), σε περιόδους μη ελεγχόμενης απομάκρυνσης του (Κουσουρή, 1998).

2.2 Έκταση & Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η φυσική λίμνη της Καστοριάς, είναι τεκτονικής προέλευσης λίμνη (Σωτηριάδης, 1984 & Σακκάς, 1993) και αποτελεί υπολειμματική μορφή των μεγάλων λιμνών του Νεογενούς – Τεταρτογενούς, που δέσποζαν στο χώρο της Μακεδονίας, οι οποίες προήλθαν από τις τεκτονικές κοιλάδες, που σχηματίστηκαν στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, κατά το νεοτεκτονικό στάδιο των αλπικών πτυχώσεων (Βαφειάδης, 1983). Είναι καρστική λίμνη και αποτελεί τμήμα της κατά την διλούβιο εποχή υπάρχουσας λίμνης της Πελαγονίας, η οποία είχε έκταση 164 km² και βάθος 50 m (Stanković, 1931). Οι παράγοντες που ρυθμίζουν τη ζωή και την εξέλιξη μιας λίμνης είναι:

- ❖ Η τεκτονική και η λιθολογία της γύρω περιοχής
- ❖ Το ανάγλυφο και το Γεωγραφικό Πλάτος
- ❖ Το βάθος του νερού
- ❖ Το κλίμα
- ❖ Η τροφοδοσία σε νερό και υλικά

Από τους παράγοντες αυτούς, το κλίμα παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο, ενώ τα επί μέρους στοιχεία του κλίματος ρυθμίζουν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες στο χώρο των λιμνών (Ψιλοβίκος Α., 2014)).

Η λίμνη Ορεστιάδα, διαθέτει αυτοτελές υδρογραφικό δίκτυο, από δεκατρία (13) μικρά χειμαρρικά ρέματα. Η λεκάνη απορροής αποτελεί υπολεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα. Η λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς (*Περιοχή Μελέτης*) και η συνολική της έκταση είναι 267,5 km² (Τολίκας, 2000). Ο υδροκρίτης της λεκάνης, ορίζεται ανατολικά από τις κορυφές Μηλιά και Πύργος, βόρεια από το όρος Βερνού και διέρχεται από τις κορυφές Δούκας, Κρόνος, Βίτσι και Σπυρακάκης. Στρέφεται νοτιοανατολικά στη ράχη του όρους Πετρώδες, προκειμένου να καταλήξει στο νότιο τμήμα της λίμνης Καστοριάς (Μάρης, 1997).

Τα κυριότερα ρέματα του υδρογραφικού δικτύου της λίμνης, ανάλογα με το μέγεθος τους είναι οι χείμαρροι Ξεροπόταμος, Βουσιτιάς, Κωτουρή και Μεταμόρφωσης.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης, παρουσιάζει σημαντική δασοκάλυψη κυρίως στον ορεινό χώρο. Οι ορεινές λεκάνες, χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία των δασών πλατύφυλλων, καθώς και των βοσκοτόπων, ενώ αντίστοιχα στις πεδινές κυριαρχούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις. Αναλυτικά μπορούμε να πούμε ότι οι κύριες χρήσεις γης είναι οι εξής:

- ❖ Δάσος πλατύφυλλων 44,17%
- ❖ Βοσκότοποι 32,47%
- ❖ Γεωργικές καλλιέργειες 16,06%

Τα δάση πλατύφυλλων ειδών, είναι σε πρεμνοφυή κύρια μορφή και σε μικρότερα ποσοστά σε σπερμοφυή. Από φυτοκοινωνιολογική, χλωριδική και οικολογική άποψη στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς, κατά την ταξινόμηση της δασικής βλάστησης στην Ελλάδα, εμφανίζεται η παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia rubescentis*) με την υποζώνη της *Quercion confertae* και η ζώνη δασών οξιάς – ελάτης και ορεινών παραμεσογειακών κωνοφόρων (*Fagetalia*) με την υποζώνη της *Fagion moesiaca* (Ντάφης, 1973). Στην επίπεδη περιοχή γύρω από την λίμνη και κυρίως στην ανατολική της ακτή, κυριαρχούν καλαμώνες από *Phragmites australis*, ενώ υπάρχουν σημαντικές συστάδες *Salix alba* και *Populus alba*.

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης, στη λεκάνη απορροής κυριαρχεί:

- ❖ Κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός καλύπτοντας το 73,37% της συνολικής λεκάνης και
- ❖ Ασβεστολιθικός σχηματισμός καλύπτοντας το 17,01%.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω ανάλογα με το χειμαρρικό απόθεμα, η λεκάνη απορροής της λίμνης, ανήκει στον μεικτό τύπο (Κωτούλας, 2001). Μπορούμε να ορίσουμε ως κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ορεινών λεκανών της Λίμνης Καστοριάς, τη σχετική ευπάθεια στις επιφανειακές και χαραδρωτικές διαβρώσεις και αποσαθρώσεις (Μάρης, 1997).

2.3 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά Λίμνης Ορεστιάδας

Κάθε λίμνη μοιάζει μ' ένα ζωντανό οργανισμό. Γεννιέται, μεγαλώνει, ωριμάζει, γερνά και πεθαίνει μέσα στη λεκάνη απορροής της, απ' όπου και τροφοδοτήθηκε με νερό και διαλυμένο και σωματιδιακό υλικό. Κι όπως οι οργανισμοί, έτσι και οι λίμνες ζουν για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο μπορεί να συντομευτεί από τον άνθρωπο. Ο τρόπος ζωής της κάθε λίμνης, εκφράζεται από τις μεταβολικές της διεργασίες συναρτήσει των εκάστοτε συνθηκών που επικρατούν σ' αυτή. Η ζωή μίας λίμνης, είναι κάτι διαφορετικό και πολύ περισσότερο από το άθροισμα όλων των μορφών ζωής μέσα σε αυτήν. Αυτή η αναλογία μεταξύ των λιμνών και των οργανισμών, όσον αφορά τον μεταβολισμό τους συμπεριλαμβάνει και τον άνθρωπο. Ως εκ τούτου η διαχείριση μίας λίμνης, μπορεί να συγκριθεί με τη φροντίδα και την προληπτική ιατρική για ένα υγιές άτομο, ενώ η αποκατάσταση με τη θεραπευτική ιατρική για τον άνθρωπο. Το νερό εκτός από τα χαρακτηριστικά ρευστότητας (ιξώδους) του και της διαπερατότητας του από το φως, τα οποία είναι προφανούς σημασίας για τα φυσικά και βιολογικά φαινόμενα λόγω της υψηλής διαλυτικής ικανότητας, περιέχει διαλυμένα συστατικά τα οποία και στηρίζουν την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών σ' ένα υδάτινο οικοσύστημα. Η σύνθεση του νερού το οποίο συγκεντρώνεται στη λεκάνη μίας λίμνης είναι κυρίως το αποτέλεσμα τριών παραγόντων: α) των φορτίων κατακρήμνισης και του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη απορροής, β) της γεωλογικής σύνθεσης των πετρωμάτων και γ) του γεωμορφολογικού ανάγλυφου της λεκάνης απορροής.

Το νερό μίας λίμνης περιέχει χιλιάδες διαλυμένες ενώσεις που υφίστανται συνεχείς μετατροπές, μια που η χημική ένωση του νερού ως άριστος διαλύτης μπορεί να διαλύσει οποιοδήποτε στοιχείο του φλοιού της γης. Διαφορές στη χημική σύνθεση του νερού των λιμνών προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της κάθε λίμνης. Μερικές από τις χημικές ενώσεις του νερού, είναι απαραίτητες για την αύξηση των υδρόβιων οργανισμών. Από αυτές, οι ενώσεις κλειδιά για την παραγωγικότητα μίας λίμνης, είναι οι ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου.

Αν και το άζωτο έχει μία τεράστια δεξαμενή (αποθήκη) στην ατμόσφαιρα και είναι πολύ άφθονο στοιχείο, αυτό το άζωτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις λίμνες μόνο από τα αζωτοδεσμευτικά κυανοφύκη, ενώ όλοι οι άλλοι οργανισμοί χρησιμοποιούν άζωτο με τη μορφή των διαλυμένων νιτρικών, αμμωνιακών και νιτρωδών ιόντων ή και οργανικών ενώσεων. Ο φώσφορος, βρίσκεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο νερό μια που προέρχεται από την πολύ μικρότερη δεξαμενή του στα πετρώματα. Ο ανόργανος διαλυμένος στο νερό φώσφορος, βρίσκεται ως επί το πλείστον με τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων. Βέβαια στο νερό υπάρχουν και διαλυμένες οργανικές ενώσεις του φωσφόρου καθώς και φώσφορος σε κολλοειδή και σωματιδιακή μορφή.

Με τον όρο ολικός φώσφορος, αναφερόμαστε σ' όλες αυτές τις μορφές του ανόργανου και οργανικού, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου. Χρησιμοποιείται συνήθως ως παράμετρος κλειδί στις υδροβιολογικές μελέτες που στοχεύουν στην αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μίας λίμνης, όπως και στην περίπτωση της Καστοριάς.

Όπως σε μία λίμνη η βιολογική παραγωγή, εξαρτάται από τις χαμηλές συγκεντρώσεις των θρεπτικών του αζώτου και του φωσφόρου, έτσι και στα χερσαία οικοσυστήματα της λεκάνης απορροής της λίμνης η βιολογική παραγωγή εξαρτάται από τα στοιχεία αυτά που βρίσκονται σε μικροποσότητες. Γι' αυτό το λόγο, τα οικοσυστήματα (χερσαία και υδάτινα) έχουν αναπτύξει μηχανισμούς συνεχούς ανακύκλωσης. Ως εκ τούτου ελάχιστες ποσότητες ξεφεύγουν από τη λεκάνη απορροής μέσα στη λίμνη. Και καθόσον οι ενώσεις του φωσφόρου είναι λιγότερο διαλυτές από του αζώτου, ο φώσφορος είναι συνήθως ο περιοριστικός παράγοντας της πρωτογενούς παραγωγής κι ως εκ τούτου παράγοντας κλειδί για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μίας λίμνης.

Τα ιζήματα στις λίμνες, περιέχουν μεγάλες ποσότητες ορισμένων θρεπτικών που μπορεί να είναι διαθέσιμα στους οργανισμούς. Ανάλογα με τις συνθήκες, τα θρεπτικά μπορεί να δεσμεύονται και να απομακρύνονται ως μη διαθέσιμα, όπως τα ορυκτά του φωσφόρου, να μετατρέπονται σε αέρια και να διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, όπως το άζωτο με την απονιτροποίηση των νιτρικών ή να ελευθερώνονται από το ίζημα στο νερό (φωσφορικά και αμμωνιακά ιόντα).

Το πιο εμφανές πρόβλημα σε μία ρηχή λίμνη όπως η λίμνη της Καστοριάς είναι η μετάβαση σε μία κατάσταση που χαρακτηρίζεται από μεγάλη αύξηση κυανοφυκών και μαζική συσσώρευση τους στο επιφανειακό στρώμα νερού ή και ακόμη μεγάλη ανάπτυξη ορισμένων μακρόφυτων (π.χ. καλάμια) με κίνδυνο την επέκτασή τους στην επιφάνεια της λίμνης και μείωση του όγκου του νερού (Μουστάκα κ.ά.,1999).

3. ΤΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Διεθνές δίκαιο περιβάλλοντος με εφαρμογή στην περιοχή της Καστοριάς

- 1. Σύμβαση της Βέρνης (1979)** για τη διατήρηση της Άγριας Ζωής και του Φυσικού Περιβάλλοντος της Ευρώπης
- 2. Σύμβαση της Βόννης (1979)**, που αφορά την προώθηση της προστασίας μεταναστευτικών ειδών που δεν προστατεύονται από άλλες συμβάσεις ή εθνικές νομοθεσίες.
- 3. Η Οδηγία 2009/147/ΕΟΚ (πρώην 79/409/ΕΟΚ)** περί της διατήρησης των αγρίων πτηνών θεσμοθετήθηκε με σκοπό την προστασία, τη διατήρηση και

τη ρύθμιση της εκμετάλλευσης όλων των ειδών πτηνών που ζουν εκ φύσεως σε άγρια κατάσταση στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών. Η Οδηγία **79/409/ΕΟΚ** (όπως κωδικοποιήθηκε με την **Οδηγία 2009/147/ΕΚ**) ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με τις ακόλουθες ΥΑ και ΚΥΑ:

- ❖ ΥΑ 414985/29-11-85 (ΦΕΚ Β'757) «Μέτρα διαχείρισης της άγριας πτηνοπανίδας»
 - ❖ ΚΥΑ Η.Π. 37338/1807/Ε.103/1-9-10 (ΦΕΚ 1495/Β/6-9-10) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας και των οικοτόπων/ενδιαιτημάτων της», σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ, «Περί διατηρήσεως των άγριων πτηνών», του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2ας Απριλίου 1979, όπως κωδικοποιήθηκε με την οδηγία 2009/147/ΕΚ.
 - ❖ ΚΥΑ Η.Π. 8353/276/Ε103/17-2-2012 (ΦΕΚ 415/Β/23-2-2012) «Τροποποίηση και συμπλήρωση της υπ' αριθμών 37338/1807/2010 κοινής υπουργικής απόφασης» «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας και των οικοτόπων/ενδιαιτημάτων της, σε συμμόρφωση με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ...» (Β' 1495), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του πρώτου εδαφίου της παραγράφου 1 του άρθρου 4 της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ «Για τη διατήρηση των άγριων πτηνών» του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2ας Απριλίου 1979, όπως κωδικοποιήθηκε με την οδηγία 2009/147/ΕΚ.
- 4. Η Οδηγία 92/43/ΕΟΚ** «Για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας» θεσμοθετήθηκε από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων με σκοπό να συμβάλλει στην προστασία της βιολογικής ποικιλότητας, μέσω της διατήρησης των φυσικών οικοτόπων, καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών που εφαρμόζεται η συνθήκη.
- Η Οδηγία 92/43/ΕΟΚ, ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με τις ακόλουθες ΚΥΑ:
- ❖ ΚΥΑ 33318/3028/11-12-1998 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων (ενδιαιτημάτων), καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας»
 - ❖ ΚΥΑ Η.Π. 14849/853/Ε103/4-4-2008 (ΦΕΚ 645/Β/11-4-08) «Τροποποίηση των υπ' αριθμών 33318/3028/1998 κοινών υπουργικών αποφάσεων (Β' 1289) και υπ' αριθμών 29459/1510/2005 κοινών υπουργικών αποφάσεων (Β' 992), σε συμμόρφωση με διατάξεις της οδηγίας 2006/105 του Συμβουλίου της 20^{ης} Νοεμβρίου 2006 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

3.2 Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000

Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

- ❖ Τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Οрниθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «Για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»
- ❖ Ο κατάλογος των Ελληνικών Ζωνών Ειδικής Προστασίας δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1495/Β/06.09.2010 ως παράρτημα στη νέα ενσωμάτωση της Οδηγίας 79/4009/ΕΟΚ (η οποία κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ).
- ❖ Τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι των οικοτόπων και τα είδη των Παραστημάτων Ι και ΙΙ της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος ΙΙΙ αυτής.
- ❖ 239 Ελληνικοί Τόποι Κοινοτικής Σημασίας χαρακτηρίστηκαν ως Ειδικές Ζώνες Διατήρησης με το Ν3937/2011 (ΦΕΚ60/Α/31-3-2011) (Πηγή: <http://www.ypeka.gr>).

Η λίμνη της Καστοριάς είναι χαρακτηρισμένη ως Ειδική Ζώνη Διατήρησης με κωδικό “GR 1320001” και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας με κωδικό “GR 1320003”.

5. Η **Οδηγία 2000/60/ΕΕ**, η οποία επιβάλλει την ολοκληρωμένη εποπτική, επιχειρησιακή και διερευνητική παρακολούθηση και διαχείριση όλων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στον τομέα της πολιτικής των υδάτων του Ευρωπαϊκού χώρου. Η ελληνική νομοθεσία έχει εναρμονιστεί πλήρως με την παρούσα Οδηγία, με το Ν. 3199/2003/ΦΕΚ 280, Τεύχος Α' και την ΚΥΑ 140384/2011/ΦΕΚ 2017, Τεύχος Β, «Ορισμός Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ποιότητας και της Ποσότητας των Υδάτων με καθορισμό των θέσεων (Σταθμών) Μετρήσεων και των Φορέων που υποχρεούνται στη λειτουργία τους κατά το Άρθρο 4, §4 του Ν. 3199/2003 (Α' 280)».

3.3 Εθνική νομοθεσία με εφαρμογή στην περιοχή της Καστοριάς

- ❖ ΥΑ Α/Φ31/26306/2367 (ΦΕΚ640/Β/26-06-1974) «Περί χαρακτηρισμού της Λίμνης Καστοριάς ως τόπου εξαιρετού φυσικού κάλλους». Χαρακτηρίζεται ως τόπος εξαιρετού φυσικού κάλλους η Λίμνη της Καστοριάς μετά ζώνης προστασίας 50 μέτρων από την όχθη της και προς κάθε πλευρά.
Τα Καταφύγια Άγριας Ζωής στο Ν. Καστοριάς είναι τα:
 - Αρρένων Γράμμου (υπ' αρ. 153404/398/10-6-1985 Απόφαση Υπ. Γεωργίας)
 - Κάτω Νεστορίου-Πεύκο-Λιβάδια, Κοτύλης-Παλιά Κοτύλη-Νέα Κοτύλη-Κάτω Νεστόριο (Αρ. Πρωτ. 9102/378/28-4-2010 Απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας)
 - Καστανοφύτου (ΚΗ/2519/14-7-1997 απόφαση Αναπληρωτή Περιφερειακού Δ/ντή Καστοριάς)
 - Λίμνη-Βουνό Καστοριάς (ΚΗ/2698//24-6-2003 απόφαση Γενικού Διευθυντή Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας)

- Λάπανα (Απόφαση 22/ΔΑΣ/4424/17-7-01/ΦΕΚ 1103/22-8-01 και υπ' αριθμών 57910/1614/10-7-2008/ ΦΕΚ/Δ/372/04-08-2008 Απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας).

Η ζώνη γύρω από τη λίμνη χαρακτηρίζεται από το 1987 σύμφωνα με το Γ.Π.Σ. της πόλης της Καστοριάς (ΦΕΚ 951Δ'/2-10-87 & τροποποίηση αυτού ΦΕΚ 84Δ'/22-2-1991) σαν ειδική ζώνη προστασίας ακτών. Επίσης, στο Γ.Π.Σ. καθορίζονται σαν περιοχές όπου πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος η λίμνη, τα δάση της περιοχής της Καστοριάς και η γεωργική περιοχή υψηλής παραγωγικότητας που βρίσκεται περιμετρικά της λίμνης.

4. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ

Η ποιότητα του νερού, είναι ένα χαρακτηριστικό που αναφέρεται στην κατάσταση του σε σχέση με την ενέργεια, δηλαδή τη μορφή θερμότητας ή της ραδιενεργού ακτινοβολίας, με τα αιωρούμενα ή διαλυμένα υλικά και με τους οργανισμούς που περιέχει στον όγκο του. Προσδιορίζεται σε σχέση με ορισμένες παραμέτρους που είναι είτε οι ουσίες, είτε οι ομάδες ουσιών, είτε χαρακτηριστικά του νερού (οργανοληπτικά, φυσικοχημικά και βιολογικά), που καθορίζονται από την περιεκτικότητά τους σε αυτές (Ψιλοβίκος Α., 2014).

4.1 Διάκριση Ρύπων

4.1.1 Διάκριση των πηγών ρύπανσης ανάλογα με την προέλευση τους

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων και οικοσυστημάτων, διακρίνονται σε αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές και φυσικές πηγές (Αντωνόπουλος, 2010).

Οι αστικές πηγές, αποτελούν τις κυριότερες πηγές ρύπανσης των υδατικών οικοσυστημάτων. Περιλαμβάνουν κυρίως τα υγρά απόβλητα των αστικών περιοχών που φτάνουν στους αποδέκτες, είτε διαμέσου των υπονόμων, είτε με την ελεύθερη επιφανειακή απορροή. Η σύνθεση τους εξαρτάται κυρίως από το δίκτυο αποχέτευσης, δηλαδή εάν διαχωρίζονται τα λύματα σε όμβρια και ακάθαρτα ή εάν το δίκτυο είναι παντοροϊκό, από την εισροή ή όχι βιομηχανικών λυμάτων, τη γεωγραφική θέση του οικισμού, την οικονομία, τον τρόπο ζωής των κατοικιών και τέλος από τον χρόνο (Ψιλοβίκος Α., 2014).

Τα λύματα που προέρχονται από βιομηχανικές πηγές, μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω ομάδες (Αντωνόπουλος, 2010):

- ❖ **Ψύξη βιομηχανικών εγκαταστάσεων:** Αποτελούν το μεγαλύτερο όγκο λυμάτων

- ❖ **Πλύσιμο των πρώτων υλών, των προϊόντων και των χώρων παραγωγής:** Αποτελούν τα δεύτερα σε όγκο μετά τα λύματα του νερού ψύξης
- ❖ **Υγιεινή των εργαζομένων**
- ❖ **Παραγωγική διαδικασία**
- ❖ **Επιφανειακή απορροή των χώρων της βιομηχανίας**

Έτσι, τα λύματα που προέρχονται από τις βιομηχανικές δραστηριότητες, μπορούν εύκολα να ελεγχθούν και να υποστούν επεξεργασία καθαρισμού.

Οι γεωργικές πηγές, επιβαρύνουν τους υδατικούς αποδέκτες με τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι αρκετά ανεξέλεγκτες και αποτελούν πηγές ρύπανσης. Τα παράγωγα των καλλιεργειών και τα απόβλητα των ζώων, αποτελούν επίσης πηγές ρύπανσης. Τα απόβλητα προερχόμενα από γεωργικές πηγές, εφαρμόζονται στο έδαφος, παρασύρονται από τα απορρέοντα νερά των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων προς τα στραγγιστικά δίκτυα και από εκεί, μέσω του υδρογραφικού δικτύου, καταλήγουν τελικά στους αποδέκτες που μπορεί να είναι είτε τα εσωτερικά νερά είτε η θάλασσα. Από τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία, το άζωτο είναι εκείνο που κινείται ταχύτερα με το νερό στράγγισης, ενώ τα φωσφορικά δεσμεύονται από το έδαφος και φθάνουν στα ποτάμια ουσιαστικά με την διάβρωση.

Οι φυσικές πηγές, περιλαμβάνουν την ρύπανση που προέρχεται από τα απορρέοντα νερά των βροχών, τα στραγγιστικά δίκτυα σε υγροτοπικά περιβάλλοντα, τη διαρροή του υπόγειου νερού και την υδρόβια ζωή των ποταμών. Τα νερά της απορροής, που προέρχονται από βροχές μεγάλης έντασης, εκπλένουν μεγάλες ποσότητες οργανικού και ανόργανου υλικού και διαβρώνουν τα εδάφη και τις όχθες των ποταμών. Τα στραγγιστικά δίκτυα των ελών και των βάλτων, περιέχουν υψηλή συγκέντρωση χρώματος, οργανικών και ανόργανων υλικών και συνήθως χαμηλό pH και διαλυμένο οξυγόνο. Σε περιόδους μικρών παροχών, η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στα υδατορέματα, αυξάνει και μπορεί να καταστεί επιζήμια σε διάφορους χρήστες του νερού και ιδιαίτερα όταν συμπεριλαμβάνονται τοξικές ουσίες για τον άνθρωπο και τα ζώα. Οι υδρόβιοι οργανισμοί, με τον θάνατο τους, συνεισφέρουν στην ρύπανση των υδατορευμάτων (Αντωνόπουλος, 2010).

4.1.2 Διάκριση των πηγών ρύπανσης ανάλογα με τον τρόπο παροχέτευσης στους αποδέκτες

Μια δεύτερη σημαντική διάκριση, αφορά τον τρόπο με τον οποίο παροχετεύονται τα απόβλητα τους στους αποδέκτες και διακρίνονται σε **σημειακές και μη σημειακές πηγές**.

- ❖ **Σημειακές πηγές,** είναι αυτές κατά τις οποίες τα απόβλητα παροχετεύονται στον αποδέκτη από τις εξόδους των υπονόμων ή των στραγγιστικών αγωγών, δηλαδή ο εντοπισμός τους γίνεται σημειακά. Παραδείγματα σημειακών πηγών ρύπανσης είναι: α) αστικά λύματα, β) θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, γ) παραπόταμοι-χείμαρροι, δ) βιομηχανίες, ε) λύματα ζώων από στάβλους.
- ❖ **Μη σημειακές πηγές,** προκύπτουν όταν οι ρύποι που είναι διάσπαρτοι στη γη, μεταφέρονται με την επιφανειακή απορροή του νερού και με την κίνηση του υπόγειου νερού στους αποδέκτες. Παραδείγματα μη σημειακών πηγών είναι: α) επιφανειακή και υπόγεια στράγγιση εδαφών, β) επιφανειακή απορροή από οικισμούς, γ) μεταλλεία. Η ρύπανση από μη σημειακές πηγές, είναι το αποτέλεσμα της μεταφοράς με το νερό των βροχοπτώσεων, των υλικών και των ουσιών που ξεπλένονται και παρασέρνονται από τον αέρα και την επιφάνεια του εδάφους.

4.1.3 Διάκριση των ρύπων ανάλογα με την αποικοδομησιμότητά τους

Η παρατηρούμενη ρύπανση σε κάθε υδατικό οικοσύστημα, εξαρτάται από το «φυσικό αυτοκαθαρισμό» του, δηλαδή την ικανότητα του να αποικοδομεί και να αφομοιώνει τα απόβλητα, έτσι ώστε να ανακτήσει την αρχική του ποιότητα. Οι ρύποι διακρίνονται σε συντηρητικούς (conservative) και μη συντηρητικούς (non-conservative).

- ❖ **Συντηρητική,** είναι μια ουσία της οποίας η χημική σύσταση δεν μεταβάλλεται, παραμένει δηλαδή αναλλοίωτη στον χρόνο. Έτσι, η ουσία δεν αποσυντίθεται, δεν μεταβάλλεται χημικά, παρά μόνο απομακρύνεται φυσικά σαν αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών. Παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι, τα χλωριόντα, τα βαρέα μέταλλα, οι οργανοχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες της χημικής βιομηχανίας κ.ά.
- ❖ **Μη συντηρητική ουσία,** είναι αυτή που μπορεί να βρεθεί κάτω από κατάλληλες χημικές, βιολογικές ή φυσικές διαδικασίες, εκτός της αραίωσης που τείνουν να τη μεταβάλλουν ή να την απομακρύνουν από το διάλυμα ή μείγμα. Παραδείγματα μη συντηρητικών ουσιών είναι η αμμωνία, τα ανθρακούχα οργανικά και τα βαρέα μέταλλα. Οι διαδικασίες με τις οποίες τα μη συντηρητικά απόβλητα μεταβάλλουν μορφή ή απομακρύνονται από το νερό, συμπεριλαμβάνονται στον όρο φυσικός αυτοκαθαρισμός (Ψιλοβίκος Α., 2014).

4.2 Κατηγορίες Μοντέλων

Για ένα φυσικό πρόβλημα, το οποίο πρέπει να μοντελοποιηθεί με την βοήθεια ενός μοντέλου προσομοίωσης, θα πρέπει να γίνει η αντίστοιχη λεπτομερής αναζήτηση ανάμεσα σε πολλά διαθέσιμα μοντέλα – εργαλεία, που υπάρχουν για το σκοπό αυτό. Είναι χρήσιμο σε πρώτη φάση, να γίνει η ταξινόμηση των Μοντέλων Προσομοίωσης σε κατηγορίες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους:

- I. **Σταθερά (Μόνιμα-Stable) και Ασταθή (Μη Μόνιμα-Unstable) Μοντέλα Προσομοίωσης:** Σταθερό ή μόνιμο, λέγεται ένα μοντέλο του οποίου η κυρίαρχη συνάρτηση G (governing equation), δεν λαμβάνει υπόψη το χρόνο και η εξέλιξη του φαινομένου είναι ανεξάρτητη από αυτόν (Schnoor, 2003). Ασταθές ή μη μόνιμο, είναι το μοντέλο προσομοίωσης το οποίο αναπαριστά ένα σύστημα, όπως αυτό εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου και το οποίο εξαρτάται και μεταβάλλεται με το χρόνο.
- II. **Στατικά (Static) και Δυναμικά (Dynamic) Μοντέλα Προσομοίωσης:** Για την περίπτωση της ποιότητας νερού, χρησιμοποιούνται οι όροι Στατικά και Δυναμικά. Σε ένα Στατικό μοντέλο ποιότητας του νερού, οι εισροές που αφορούν βιολογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες θεωρούνται σταθερές με τον χρόνο, ενώ σε ένα Δυναμικό μοντέλο, μεταβάλλονται με τον χρόνο. Για την αποτελεσματική διαχείριση της ποιότητας του νερού, ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποκτά η ικανότητα προσομοίωσης κρίσιμων καταστάσεων (προσομοίωση συμβάντος) που μπορεί να συμβούν σε ένα υδάτινο σύστημα.
- III. **Αιτιοκρατικά (Ντετερμινιστικά – Deterministic) και Στοχαστικά (Stochastic) Μοντέλα Προσομοίωσης**
- IV. **Χωρικά (Spatial) και Χρονικά (Temporal) Μοντέλα Προσομοίωσης**
- V. **Ενιαία (lumbed) ή Κατανεμημένα (Discrete) Μοντέλα Προσομοίωσης**
- VI. **Αναλυτικά (Analytical) και Αριθμητικά (Numerical) Μοντέλα Προσομοίωσης:** Τα Αναλυτικά μοντέλα, περιγράφονται από μια συνάρτηση η οποία απεικονίζεται με συνεχής αλλαγές στο διάστημα του χρόνου $[t_0, t_n]$, για τον οποίο σχεδιάστηκε. Είναι συνήθως απλής μορφής και εύκολης επίλυσης. Τα Αριθμητικά μοντέλα, δεν περιγράφονται από μια μοναδική συνάρτηση, αλλά χρησιμοποιούν ξεχωριστά χρονικά βήματα, μέσα στο διάστημα του χρόνου $[t_0, t_n]$. Η αριθμητική επίλυση διαφορικών εξισώσεων, επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στις διεργασίες που απαιτούν προσομοίωση σε ότι αφορά την ποιότητα (π.χ. ευτροφισμός, τοξικά) και την ποσότητα (π.χ. άντληση παροχών, πτώση στάθμης σε υδροφορέα).
 - a. **Μονοδιάστατα μοντέλα (x ή z),** όπως για παράδειγμα ποτάμια κατά τη διεύθυνση ροής x , λίμνες στην κατακόρυφη διεύθυνση (βάθος - προφίλ) z , για τα οποία χρησιμοποιούνται ευθύγραμμα τμήματα.

- b. **Δισδιάστατα μοντέλα (x-y ή x-z)**, όπως για παράδειγμα η κατανομή ενός ρύπου (x-y) στην επιφάνεια μιας λίμνης, η πιεζομετρία ενός υδροφορέα, η κατακόρυφη τομή (προφίλ) μιας ποιοτικής παραμέτρου σε μια λίμνη, για τα οποία χρησιμοποιούνται ορθογώνια ή τετράγωνα φατνία (cells).
- VII. **Τα Μοντέλα Μαύρου Κουτιού (Black Box Models)**: Τα μοντέλα Μαύρου Κουτιού, μπορεί να είναι είτε προσδιοριστικά (π.χ. μοντέλα μοναδιαίων και συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων) είτε στοχαστικά (π.χ. μοντέλα στοχαστικών ανελιξεων για δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών παραμέτρων ποιότητας και ποσότητας) Πλεονεκτούν έναντι των άλλων κατηγοριών μοντέλων, γιατί περιγράφουν οποιαδήποτε πολύπλοκα συστήματα με πολύ μικρότερο υπολογιστικό φόρτο, όπως είναι τα νευρωνικά δίκτυα σε εφαρμογές υδρολογίας (Diamantopoulou et al., 2006; Tolika et al., 2007; Κοτοπούλη κ.ά., 2008; Kourakos & Mantoglou, 2009) και εφαρμογές στην ποιότητα του νερού (Jokiel & Loucks, 1997; Antonopoulos & Paramichail, 1990; Diamantopoulou et al., 2007; Sentas & Psilonikos, 2012; Σέντας, 2013).
- VIII. **Εμπειρικά και Μηχανιστικά Μοντέλα**: Όλες οι παραπάνω κατηγορίες μοντέλων, ανάλογα με τη διατύπωση της κυρίαρχης συνάρτησης, χωρίζονται σε εμπειρικά και μηχανιστικά μοντέλα. Τα Εμπειρικά μοντέλα, βασίζονται σε μακροχρόνιες παρατηρήσεις και εξαγωγή εμπειρικών σχέσεων που κατά περίπτωση ισχύουν. Στα Μηχανιστικά μοντέλα, αυτό που διαφέρει, είναι η διατύπωση αποδεδειγμένων ποσοτικών σχέσεων που ισχύουν στις φυσικές, μαθηματικές και βιολογικές επιστήμες (Wool et al., 2001).
- IX. **Φυσικής Βάσης (Physical based) και Εννοιολογικά Μοντέλα (Conceptual)**: Οι κατηγορίες αυτές, αφορούν κυρίως τα υδρολογικά μοντέλα. Έτσι, τα μοντέλα Φυσικής Βάσης, είναι εξ ορισμού κατανεμημένα, καθώς αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες μικρής κλίμακας, βασιζόμενα στους φυσικούς νόμους που σχετίζονται με την κίνηση του νερού (δηλαδή τις ακόρεστης και κορεσμένης ροής), καθώς και σε ημι- εμπειρικές σχέσεις που έχουν προκύψει από έρευνες σε πειραματικές λεκάνες. Τα Εννοιολογικά μοντέλα, διατυπώνουν όχι τους φυσικούς νόμους, αλλά παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα, που αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες στην ελάχιστη χωρική ενότητα που υποστηρίζεται από την σχηματοποίηση (λεκάνη, υπολεκάνη).

4.3 Πρόγνωση και Διαχείριση Ποιότητας Υδατικών Συστημάτων

Τα μοντέλα που δόθηκαν αναλυτικά παραπάνω, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, έχουν τις εξής δυνατότητες και λειτουργίες:

- ❖ Προσομοίωση των συνθηκών ποιότητας και ποσότητας του νερού, με ακρίβεια

- ❖ Συμπλήρωση δεδομένων που έχουν χαθεί, ή δεν έχουν ληφθεί καθόλου, με μεθόδους συμπλήρωσης χρονοσειρών που βασίζονται στις αρχές της στατιστικής και στοχαστικής ανάλυσης
- ❖ Αντιπροσωπεύουν βασικές διεργασίες, οι οποίες αλληλεπιδρούν με την ποιότητα νερού
- ❖ Χρησιμοποιούνται ως δυναμικά μοντέλα πρόβλεψης – πρόγνωσης, σε βραχύ χρονικό ορίζοντα, για τύπους υδατικών συστημάτων που βρίσκονται σε κίνδυνο, εξαιτίας χημικών ουσιών – ρυπαντών, με επαπειλούμενες οικολογικές καταστροφές
- ❖ Καθορίζουν μέγιστες δυνατές τιμές συγκέντρωσης συγκεκριμένων παραμέτρων ποιότητας (π.χ. BOD), ή αντίστοιχα μέγιστες και ελάχιστες τιμές σε ποσοτικές παραμέτρους (άντληση παροχής και διατήρηση ελάχιστης στάθμης αντίστοιχα) με στόχο την προστασία των περιβαλλοντικών συνθηκών
- ❖ Ολιστική εφαρμογή σύζευξης επιμέρους μοντέλων, σε διαφορετικές χωροχρονικές κλίμακες, τα οποία έχουν ως αντικείμενο την Οικοϋδραυλική ανάλυση μιας λεκάνης απορροής από την πλευρά της α) υδρολογίας, β) υδραυλικής, γ) διάβρωσης – μεταφοράς – απόθεσης φερτών υλικών, δ) κλιματικής αλλαγής και ε) επίδρασης στους υδρόβιους οργανισμούς (Κατοπώδης κ.ά., 2009).

Η υδρόβια ζωή και οι χρήστες του νερού, επηρεάζονται από την ποιότητα των φυσικών υδατικών συστημάτων. Η ποιότητα υποβαθμίζεται από την εισροή ρυπαντικών ουσιών, με συνέπεια να επηρεάζονται δυσμενώς οι ευεργετικές χρήσεις του νερού και η υγεία του υδατικού οικοσυστήματος. Η πρόγνωση της υποβάθμισης της ποιότητας που προκαλείται από την διοχέτευση των ρυπαντικών ουσιών, είναι το πρώτο σημαντικό βήμα για τη διαχείριση των φυσικών και τεχνητών υδατικών συστημάτων.

Σε ότι αφορά τη διαχείριση της ποιότητας, το ενδιαφέρον εστιάζεται στον έλεγχο της, έτσι ώστε οι επιπτώσεις από την ελεγχόμενη διάθεση των ρυπαντικών φορτίων, να μην επηρεάζουν αρνητικά τις υπόλοιπες ευεργετικές χρήσεις του νερού.

Εφόσον τα μελλοντικά ρυπαντικά φορτία και οι ποσότητες του νερού είναι άγνωστα, εφόσον κάθε μοντέλο πρόβλεψης θα αποτελεί πάντα μια απλοποίηση της πραγματικότητας και καθώς οι τιμές των παραμέτρων κάθε μοντέλου ποιότητας νερού θα είναι πιθανά αβέβαιες, θα υπάρχει πάντοτε αβεβαιότητα συνδεδεόμενη με κάθε πρόβλεψη ενός μοντέλου. Η πρόγνωση της ποιότητας του νερού δεν είναι ακριβής επιστήμη. Έτσι, προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις για την διαχείριση της ποιότητας, μαζί με την πρόβλεψη της ποιότητας πρέπει στον βαθμό που αυτό είναι δυνατό, να εκτιμάται και η αβεβαιότητα της πρόβλεψης. Σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού ποταμών και λιμνών έχουν:

- ❖ **Η μείωση του οξυγόνου (oxygen depletion)**
- ❖ **Ο ευτροφισμός (eutrophication)**
- ❖ **Η οξίνιση του νερού (acidification)**

- ❖ Η αύξηση της αλατότητας (salinization)
- ❖ Η θολότητα (turbidity)
- ❖ Ιζηματοπόθεση (sedimentation)
- ❖ Η ρύπανση από τοξικές ουσίες (toxic contamination)
- ❖ Η ρύπανση από παθογόνους οργανισμούς (pathogenic organisms)

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς που δόθηκαν, μπορούν να περιγραφούν επιγραμματικά τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των μαθηματικών μοντέλων ποιότητας νερού ως εξής (Αντωνόπουλος, 2010 από U.S.EPA, 1997):

1. **Αρχική εκτίμηση**
 - ❖ Περιοχή μελέτης
 - ❖ Ανάλυση υπαρχόντων δεδομένων
 - ❖ Προκαταρκτική ανάλυση
 - ❖ Επιλογή ή σχεδιασμός
2. **Μετρήσεις και δειγματοληψίες πεδίου**
 - ❖ Υδραυλικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά
 - ❖ Χρόνος διαδρομής ή παραμονής
 - ❖ Δειγματοληψίες ποιότητας του νερού
 - ❖ Καταγραφή πηγών ρύπανσης
 - ❖ Βιολογικές παράμετροι
3. **Ρύθμιση του μοντέλου**
 - ❖ Εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου
 - ❖ Ανάλυση διαδικασιών και συνιστωσών
 - ❖ Ποσοτική σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων και δεδομένων
4. **Επιβεβαίωση του μοντέλου**
 - ❖ Προσαρμογή του μοντέλου
 - ❖ Ανάλυση ευαισθησίας
 - ❖ Έλεγχος ακρίβειας του μοντέλου
5. **Εφαρμογή του μοντέλου και διαχείριση συστήματος**
 - ❖ Ανάπτυξη σεναρίων
 - ❖ Κατανομή φορτίων λυμάτων
 - ❖ Κατανομή φόρτισης
 - ❖ Όρια ασφάλειας
 - ❖ Ανάλυση αβεβαιότητας

4.4 Αναπαράσταση των βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών

Τα μοντέλα ποιότητας νερού, μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την αναπαράσταση των βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών (Jokiel & Loucks, 1997; Ταταρίδου, 2007), ως εξής:

- ❖ **Κινητικά μοντέλα (kinetic models)**
- ❖ **Βιοκοινοτικά μοντέλα (biocoenotic models)**
- ❖ **Οικολογικά μοντέλα (ecological models)**

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ένας από τους κύριους στόχους της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων της Λίμνης της Καστοριάς (Λίμνη Ορεστιάδα). Η έρευνα επίσης, ασχολείται με την μελέτη του φαινομένου του ευτροφισμού που εμφανίζεται κατά καιρούς στην λίμνη, κατά κύριο λόγο εποχιακά, καθώς και με την εφαρμογή ορισμένων μέτρων αντιμετώπισης για την αποφυγή αυτών των φαινομένων.

Σύμφωνα, με την μελέτη που πραγματοποιήθηκε βασιζόμενοι σε παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει για την Λίμνη της Καστοριάς, καταλήξαμε σε κάποια αποτελέσματα, καθώς και σε ορισμένα γενικά συμπεράσματα για την ποιοτική κατάσταση των υδάτων της Λίμνης Ορεστιάδας.

Με βάση λοιπόν, τα αποτελέσματα παλαιότερων μελετών, προκύπτει πως οι υδατικοί πόροι του καρστικού συστήματος, χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, χωρίς την ύπαρξη κάποιου προβλήματος ποιοτικής υποβάθμισης (Στάμος & Ματθαιόπουλος, 2002).

Στο παρελθόν, είχαν γίνει αναφορές για εστιασμένα προβλήματα σημαντικής υποβάθμισης της ποιότητας του νερού, που αποδόθηκαν σε επεισόδια ρύπανσης, λόγω της κακής διαχείρισης των εκροών ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Στάμος, 2004). Όσον αφορά την ποιότητα του νερού του προσχωματικού υδροφορέα, μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο παλαιότερων μελετών των (Βαφειάδης, 1983), (Στάμος & Ματθαιόπουλος, 2002) και (Γιαννέλη, 2009), παρουσιάζουν σε γενικά πλαίσια μια σχετικά καλή ποιότητα νερού με περιορισμένες εκδηλώσεις υποβάθμισης, οι οποίες υπάρχουν κυρίως εξαιτίας των αγροτικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη περιοχή. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε, ότι στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποίησαν οι παραπάνω ερευνητές, αποτυπώνεται η επίδραση του τύπου του υπόγειου νερού από τους περιβάλλοντες γεωλογικούς σχηματισμούς, χωρίς όμως αυτό να μας προκαλεί κάποιον ιδιαίτερο προβληματισμό.

Με βάση τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του έργου: «Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής των ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας» (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013), αναφορικά με τη σχέση των υπόγειων, αλλά και των επιφανειακών νερών, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τις μετρήσεις που έγιναν για τις φυσικοχημικές παραμέτρους (TDS, αγωγιμότητα, αλατότητα κ.λπ.) στα υπόγεια και στα επιφανειακά νερά της λεκάνης, προέκυψε ότι για ορισμένες από αυτές υπάρχει σχετική ταύτιση

(χαμηλές τιμές αγωγιμότητας, ιόντων χλωρίου) και για κάποιες άλλες υπάρχουσες διαφοροποιήσεις, τόσο στο εύρος κύμανσης όσο και στη χρονική μεταβολή (νιτρικά, αμμωνιακά, θειικά) (Παπαδοπούλου- Μουρκίδου, 2013).

- Με βάση λοιπόν, τα αποτελέσματα αυτά, προκύπτει ότι δεν υπάρχει σαφής σχέση τροφοδοσίας των επιφανειακών νερών με τα υπόγεια, αλλά διαφαίνεται η ύπαρξη μηχανισμού διήθησης από τα επιφανειακά νερά και πιο συγκεκριμένα τα στραγγιστικά και τα ρέματα προς την φρεάτια προσχωματική υδροφορία. Έτσι, καταλαβαίνουμε πως η ποιότητα του νερού της λίμνης, εμφανίζεται βελτιωμένη σε σχέση με αυτήν της υπόγειας υδροφορίας, προφανώς σαν αποτέλεσμα της τροφοδοσίας της, τόσο από τα υψηλού δυναμικού αλλά και καλής ποιότητας καρστικά συστήματα που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή όσο και από την απευθείας τροφοδοσία από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
- Ωστόσο, στη λίμνη καταλήγουν μέσω επιφανειακής απορροής και ποσότητες ρύπων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων από την λεκάνη τροφοδοσίας της (γεωργική και αστική χρήση), όπως αποτυπώνεται από τις συγκεντρώσεις φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών στα υπόγεια νερά των προσχωματικών υδροφοριών, μαρτυρά την έντονη γεωργική δραστηριότητα που ασκείται στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και την ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών για τη διήθηση των ρύπων μέσω της ακόρεστης ζώνης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της περιορισμένης τροφοδοσίας που δέχονται οι προσχωματικοί υδροφορείς και της εφαρμογής κακών καλλιεργητικών πρακτικών (π.χ. μη ορθή λιπαντική αγωγή) (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013).
- Η παρουσία γεωργικών φαρμάκων, φαίνεται να είναι εκτεταμένη κυρίως στα υπόγεια νερά και στα στραγγιστικά δίκτυα και δευτερευόντως στη λίμνη. Τα αποτελέσματα αυτά, δε σημαίνουν απαραίτητα την άμεση σχέση υδραυλικής επικοινωνίας προσχωματικής υδροφορίας στραγγιστικών δικτύων και λίμνης, η οποία δεν τεκμηριώνεται από την πιεζομετρία της περιοχής. Τούτο το αποτέλεσμα σχετίζεται με το γεγονός, ότι η ευρύτερη περιοχή υπόκειται σε ίδιες συνθήκες εκμετάλλευσης των φυσικών της πόρων και διαχείρισης της γης και του νερού. Έτσι, στη λίμνη παρουσιάζονται υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων και καφεΐνης, καθώς η λίμνη είναι ο αποδέκτης των επιφανειακών απορροών της γύρω γεωργικής περιοχής, αλλά και αστικών αποβλήτων αντίστοιχα. Στα υπόγεια νερά, πιστοποιείται ότι υπάρχει υψηλή διήθηση από την επιφάνεια του εδάφους προς την κορεσμένη ζώνη, καθώς και από το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο προς την κορεσμένη ζώνη.
- Για αυτό το λόγο, στα υπόγεια νερά εμφανίζεται υψηλή συγκέντρωση από υπολείμματα φυτοφαρμάκων, τα οποία εμφανίζουν εμμονή σε συνθήκες υπόγειας υδροφορίας, δεδομένης και της περιορισμένης τροφοδοσίας των υπόγειων νερών της περιοχής (προσχωματική υδροφορία) και επομένως των δυνατοτήτων διάλυσης του ρύπου σε μεγάλο όγκο διαλύτη. Η ανίχνευση της καφεΐνης στην περιοχή, οφείλεται στην εκτεταμένη διάθεση υγρών αστικών

αποβλήτων σε απορροφητικούς βόθρους (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013).

Σύμφωνα με τους Κουσσουρή κ.ά. (1991), πραγματοποιήθηκε μια μελέτη, η οποία ασχολήθηκε με την υδρολογική ανάλυση της λίμνης Ορεσιτιάδας, την εκτίμηση των θρεπτικών, την αξιολόγηση της τροφικής της κατάστασης με βάση την συνολική εισροή του φωσφόρου και τέλος με τις τεχνικές αποκατάστασης που εφαρμόζονται στη λίμνη. Η έρευνα αυτή βασίστηκε σε αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από το 1968 έως και το 1988.

Με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία (1968-1988), το κλιματικό καθεστώς της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί από ημίυγρο έως υγρό με μεσοθερμικές συνθήκες. Η άγονη περίοδος παρατείνεται από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο και η περίοδος βροχής επεκτείνεται από τον Σεπτέμβριο μέχρι και τον Μάιο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα (μέσος όρος 20 ετών) είναι 12,9°C (εύρος 2,6 - 23,2°C), η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 599 mm στη λίμνη και 670 mm στη λεκάνη απορροής, ενώ οι άλλες μετεωρολογικές παράμετροι, σε ετήσιες τιμές είναι:

- ❖ Εξάτμιση: 738 mm
- ❖ Εξατμισοδιαπνοή: 362 mm
- ❖ Πιθανή εξατμισοδιαπνοή: 762 mm
- ❖ Σχετική υγρασία: 65 %
- ❖ Κύρια διεύθυνση ανέμου: Βόρεια, Βορειοδυτικά, Βορειοανατολικά

Η λίμνη Ορεσιτιάδα, παρουσιάζει μια ασταθή θερμική διαστρωμάτωση, στην οποία συμβαίνουν κατά κύριο λόγο διμικτικές και περιστασιακά μεσομικτικές καταστάσεις. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο πάγος καλύπτει την επιφάνεια της λίμνης και σε ορισμένες περιπτώσεις έχει πάχος έως και 50 cm. Η θερμοκρασία του νερού T_w , κυμαίνεται συνήθως μεταξύ:

- ❖ 19,9 - 25,7°C, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού
- ❖ 9,3 - 22,9°C, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου
- ❖ 5,4 - 7,0°C, κατά τη διάρκεια του χειμώνα
- ❖ 3,5 - 13,3°C, κατά την άνοιξη.

Τα στρώματα των επιφανειακών υδάτων, είναι καλά οξυγονωμένα, ενώ τα στρώματα κοντά στον πυθμένα, δείχνουν χαμηλά επίπεδα σε ορισμένες περιόδους. Ιδιαίτερα, καθώς εδραιώνεται η στρωματοποίηση, το υπολίμνιο φθάνει γρήγορα σε αναερόβιες συνθήκες. Η κατακόρυφη κατανομή του pH, εμφανίζεται με υψηλότερες τιμές στην επιφάνεια και την χαμηλότερη τιμή στο κάτω μέρος του πυθμένα (Κουσσουρή κ.ά., 1991).

Η συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών είναι υψηλή. Τα φωσφορικά άλατα κυμαίνονταν μεταξύ 3,0-254 μg/l PO₄-P, με μέση τιμή 21,0 μg/l PO₄-P, ενώ ο συνολικός φωσφόρος έχει μέση ετήσια τιμή 63 μg/l. Τα νιτρικά άλατα κυμαίνονταν μεταξύ 5,0-1011 μg/l NO₃-N, τα νιτρώδη άλατα μεταξύ 3,0-19,0 μg/l NO₂-N με μέση τιμή 58 μg/l NO₂-N και το αμμώνιο κυμαίνεται μεταξύ 6,0-288 μg/l NH₄-N με μια

μέση τιμή 22,4 $\mu\text{g/l}$ $\text{NH}_4\text{-N}$. Με βάση τη μέση ετήσια συγκέντρωση των παραπάνω θρεπτικών ουσιών, τα νερά της λίμνης της Καστοριάς, δείχνουν να υπερβαίνουν μερικές φορές τα νιτρώδη πρότυπα βάση των οδηγιών της ΕΟΚ (1978) για τα *Cyprinidae*, δηλαδή τον κυρίαρχο πληθυσμό των ιχθύων της λίμνης, καθώς και των νιτρικών και αμμωνιακών προτύπων για την παροχή του πόσιμου νερού. Τα συνολικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού της λίμνης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 με ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές (Κουσσουρή κ.ά., 1991).

Πίνακας 4: Οι παράμετροι της ποιότητας του νερού της λίμνης της Καστοριάς σε ετήσια βάση (στοιχεία 1981-1984 και 1986-1988 από τους Koussouris et al., 1985 και 1989)

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσο
Δίσκος Secchi	m	0,5	2,8	1
Διαλυμένο Οξυγόνο	mg/l	0,1	12,1	7,9
pH		5,9	9,5	8,2
Ολική Αλκαλικότητα	meq/l	1,7	3,3	2,8
Αγωγιμότητα	$\mu\text{S/cm}$	50	310	239
Χλώριο	mg/l	7	40	12
Ολική Σκληρότητα	mg/l CaCO_3	80	152	121
Ασβεστίου				
$\text{PO}_4\text{-P}$	$\mu\text{g/l}$	3	254	21
$\text{NO}_3\text{-N}$	$\mu\text{g/l}$	5	1011	15,8
$\text{NO}_2\text{-N}$	$\mu\text{g/l}$	3	10	5,8
$\text{NH}_4\text{-N}$	$\mu\text{g/l}$	6	288	22,4
Ολικός Φώσφορος	$\mu\text{g/l}$	28,1	87,6	63
Chl-a	mg/m^3	4,6	187	18,3
N/P στην ανατροπή της άνοιξης	-	15	22	17

Η σύνθεση του πυθμένα και οι θρεπτικές ουσίες στο νερό και στο έδαφος, φαίνεται να ευνοούν την ανάπτυξη πολλών υδρόβιων φυτών. Μεταξύ αυτών ο *Phragmites australis*, σχηματίζει ζώνη καλαμιού σε πολλές παράκτιες περιοχές και συνδέεται με *Typha angustifolia*, *Trapa natans*, *Potamogeton crispus*, *Ceratophyllum submersum* κ.ά. (Koussouris et al., 1985).

Άλλα στοιχεία ευτροφικών συνθηκών στη λίμνη της Καστοριάς περιελάμβαναν, εκτός από την εκτεταμένη ανάπτυξη των υδρόβιων μακροφύτων, τα άνθη των γαλαζοπράσινων φυκών (*Microcystis flos-aquae*, *Microcystis*

aeruginosa, *Aphanizomenon* spp, *Aphanocapsa elachista*) που καλύπτουν συνήθως την επιφάνεια της λίμνης, πέντε μήνες κάθε χρόνο (Koussouris et al., 1985).

Όσον αφορά τη δομή της κοινότητας του φυτοπλαγκτού, η ανάλυση δείχνει (Koussouris et al., 1989) ότι η κυρίαρχη ομάδα στο μεγαλύτερο μέρος του έτους είναι τα κυανοφύκη, ενώ τα χλωροφύκη (π.χ. *Selenastrum gracile*, *Ankistrodesmus falsatus*) και τα διάτομα (π.χ. *Melosira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella ocellata*) κυριαρχούν κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Η σύνθεση του ζωπλαγκτού, κυριαρχείται από τροχόζωα (π.χ. *Polyarthra minor*, *Keratella quadrata*, *Brachionus angularis*) και βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα (π.χ. *Tintinnopsis lacustris*). Τα κωπήποδα (*Mesocyclops crassus*, *Eucyclops serratus*) και οι cladoceras (*Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*) συμμετείχαν με μικρό πληθυσμό. Τα ζωοβενθικά είδη εμφανίζονται με μαλάκια, (π.χ. *Viviparus viviparus*, *V. fasciatus*, *Dreissena polymorpha*), καρκινοειδή (π.χ. *Gammarus veselii*, *Asellus aquaticus*), προνύμφες διπτέρων και ολιγόχαιτους (*Tubifex tubifex*, *Nais variabilis*, *Dero digitata*, *Stylaria lacustris*), που δείχνει ότι η σαπροβιοτική φύση της βενθικής κοινότητας, κυριαρχεί σε πολλές παραθαλάσσιες περιοχές (Koussouris et al., 1985).

Κυρίαρχο ψάρι στη λίμνη της Καστοριάς, είναι ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) και ένας μεγάλος τραχύς πληθυσμός αποτελούμενος από τσιρόνι (*Rutilus rubilio*), γληνί (*Tinca tinca*), κοκκινοφτέρα (*Scardinius erythrophthalmus*) και πέρκα (*Perca fluviatilis*) (Koussouris et al., 1985).

Μια γενική μείωση της ποιότητας και της ποσότητας της αλιείας κατά την τελευταία δεκαετία, οφείλεται στη μείωση των θέσεων αναπαραγωγής, στις συνθήκες χαμηλού οξυγόνου και σε μεγάλες ποσότητες φυκών και μακροφύτων, καθώς έχει αναφερθεί ότι επηρεάζει τον πληθυσμό των ψαριών και σε άλλες λίμνες (Pearson, 1978).

Λίγα χρόνια αργότερα από την μελέτη των Κουσσουρή κ.ά. (1991), η οποία βασίστηκε σε αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από το 1968 έως και το 1988, έρχεται μια νέα έρευνα. Η έρευνα αυτή, πραγματοποιήθηκε από τους Μουστάκα-Γούνη κ.ά. (2006), και ο σκοπός της ήταν να ποσοτικοποιήσει τα συστατικά της κοινότητας του πλαγκτού (λειτουργικές ομάδες, ταξινομικές ομάδες και κυρίαρχα είδη) σε μια λίμνη με προηγούμενο ιστορικό τοξικών κυανοβακτηριακών ανθών και να εντοπίσει τις πιθανές επιδράσεις αυτών των ανθών στη δομή μικροβιακού διατροφικού ιστού. Μια οξεία αύξηση της ταχύτητας έκπλυσης της λίμνης της Καστοριάς, την άνοιξη του 1999, ανέστειλε τη συσσώρευση της βιομάζας των κυανοβακτηρίων και παρείχε την ευκαιρία να ποσοτικοποιηθούν τα συστατικά της κοινότητας του πλαγκτόν κατά τη διάρκεια των παροδικών ολιγοτροφικών συνθηκών. Η παρούσα μελέτη συμβάλλει στην κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων των τοξικών κυανοβακτηρίων στη διαδικτυακή δομή του φυτοπλαγκτού σε επίπεδο οικοσυστήματος, θέμα που αποτέλεσε το επίκεντρο της εντατικής έρευνας (Christoffersen, 1996; Christoffersen et al., 2002; Engstr. et al., 2002).

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνονται δείγματα νερού από τον Μάρτιο έως και τον Οκτώβριο του 1999, για τον προσδιορισμό του οξυγόνου, των θρεπτικών συστατικών κ.ά. Η θερμοκρασία του νερού, το pH και η διαφάνεια, μετρήθηκαν επί τόπου χρησιμοποιώντας ένα φορητό πεχάμετρο τύπου WTW και ένα δίσκο του Secchi. Το διαλυμένο οξυγόνο, προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Winkler (Strickland & Parsons, 1968) και οι συγκεντρώσεις μετατράπηκαν σε τιμές κορεσμού (%). Οι διαλυμένες συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών ουσιών [SRP], νιτρικού αζώτου $\text{NO}_3\text{-N}$ και νιτρώδους αζώτου $\text{NO}_2\text{-N}$, σε δείγματα που διηθήθηκαν μέσω φίλτρων Whatman GF/C, προσδιορίστηκαν με την χρήση των μεθόδων της Αμερικανικής Ένωσης Δημόσιας Υγείας (1976), με εξαίρεση για το άζωτο της αμμωνίας $\text{NH}_4\text{-N}$, η οποία προσδιορίστηκε με τη μέθοδο των Liddicoat et al. (1976). Το διαλυμένο ανόργανο άζωτο (DIN), εκφράζει το συνολικό άζωτο νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών. Το TP, προσδιορίστηκε μετά από πέψη με υπερθειικό άλας, σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση Δημόσιας Υγείας (1976).

Τον Μάρτιο και τον Απρίλιο 1999, οι υπεύθυνοι φορείς της λίμνης, μείωσαν τη στάθμη του νερού απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες επιφανειακών υδάτων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μέσα σε αυτή τη χρονική περίοδο. Από τον Μάρτιο μέχρι τον Απρίλιο 1999, η εισροή ψυχρότερου και πυκνότερου νερού ($6,0\text{-}12,5^\circ\text{C}$) ξέπλυσε το θερμότερο νερό της λίμνης ($7,8\text{-}17,1^\circ\text{C}$). Ο υψηλότερος ρυθμός έκπλυσης ήταν το 0,53% του όγκου της λίμνης ανά ημέρα, το οποίο υπολογίστηκε από τις μεταβολές της στάθμης του νερού. Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας έκπλυσης, υπολογίζονται από το ημερήσιο άθροισμα της εκροής με βάση τις μετρήσεις που ήταν εβδομαδιαίας διάρκειας, την άνοιξη του 1999 (Tolikas, 2000).

Υπήρξε ένας ισχυρός εποχιακός κύκλος θερμοκρασίας νερού, που κυμαίνεται από 0°C έως $26,8^\circ\text{C} \pm 0,4^\circ\text{C}$, με διακυμάνσεις από τον Μάιο έως τον Αύγουστο. Η διαφάνεια των υδάτων, η οποία ήταν γενικά χαμηλή (ετήσια μέση τιμή: $97,9 \pm 36,9$ cm), διέφερε σημαντικά μεταξύ 22 Μαρτίου και 14 Ιουνίου. Το διαλυμένο οξυγόνο D.O, μεταβλήθηκε αισθητά στο χρόνο και στο χώρο, μειώνοντας σε $46,2\% \pm 15,1\%$, γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχει κορεσμός στο κάτω στρώμα του νερού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι μέσες τιμές του pH κυμαίνονταν από $8,1 \pm 0,1$ έως $9,7 \pm 0,1$. Οι μέσες συγκεντρώσεις SRP κυμαίνονταν μεταξύ $1,1 \pm 0,1$ και $32,5 \pm 2,8$ $\mu\text{g L}^{-1}$. Το νιτρικό άζωτο $\text{NO}_3\text{-N}$, έπεσε σε χαμηλά επίπεδα το καλοκαίρι (ελάχιστο = $4,8 \pm 1,9$ $\mu\text{g L}^{-1}$), ενώ το άζωτο της αμμωνίας $\text{NH}_4\text{-N}$, ήταν μη ανιχνεύσιμο τον Ιούνιο (Μουστάκα-Γούνη κ.ά., 2006).

Μετά το πέρας δύο ετών από την μελέτη των Μουστάκα-Γούνη κ.ά., (2006), που πραγματοποιήθηκε το 1999, οι Μαντζαφλήρη κ.ά., (2009), πραγματοποίησαν μια μελέτη, βασισμένοι σε ένα πρόγραμμα μηνιαίας παρακολούθησης για έξι χρόνια από το 2002 έως και το 2008, σε πέντε σταθμούς δειγματοληψίας στην περιοχή της λίμνης της Καστοριάς, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τον Δήμο Καστοριάς. Η μελέτη αυτή, επικεντρώθηκε στις παραμέτρους της ποιότητας του νερού, οι οποίες είναι η θερμοκρασία του νερού (Tw), το διαλυμένο οξυγόνο (D.O), το pH, η διαφάνεια του νερού (Wt), το νιτρικού άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$), το άζωτο του αμμωνίου ($\text{NH}_4\text{-N}$) και ο διαλυτός αντιδραστικός φώσφορος (SRP- $\text{PO}_4\text{-P}$). Η χρονική

διακύμανση, οι επιπτώσεις και οι αξιολογήσεις αυτών των δεδομένων παρακολούθησης παρουσιάζονται παρακάτω.

Η κατάσταση της ποιότητας του νερού, είναι ένα πολύπλοκο αποτέλεσμα τόσο των φυσικών όσο και των ανθρώπινων διαδικασιών, καθώς και της αλληλεπίδρασής τους στο χώρο και το χρόνο. Ο σκοπός της παρακολούθησης των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υδρόβιων οικοσυστημάτων (πηγές, ρέματα, ποτάμια, φιόρδ, εκβολές ποταμών, υπεράκτια και θαλάσσια ύδατα) είναι να επιτευχθεί η προσέγγιση και η εκτίμηση της περιβαλλοντικής τους κατάστασης και των τάσεων τους (Μαντζαφλήρη κ.ά., 2009).

Η λίμνη της Καστοριάς είναι μια αστική λίμνη που δεχόταν τα λύματα της αποχέτευσης μέχρι το 1991, όπου τέθηκε σε λειτουργία ο βιολογικός καθαρισμός. Τις τελευταίες δεκαετίες, το οικοσύστημα της Καστοριάς πιέστηκε από πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η άρδευση, η απόρριψη οικιακών λυμάτων και η εναπόθεση ιζημάτων, προκαλώντας σοβαρό πρόβλημα στην τροφική του κατάσταση. Η λεκάνη απορροής του είναι κυρίως αγροτική περιοχή και οι ανθρώπινες επιπτώσεις στη λίμνη εκδηλώνονται πρωτίστως με το φαινόμενο του ευτροφισμού (Μαντζαφλήρη κ.ά., 2009).

Ο ευτροφισμός προκαλεί συχνές ανθοφορίες φυκών, εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου και ταχεία συσσώρευση ιζήματος, μείωση του βάρους και αύξηση της ζώνης των μακροφύτων. Τοξικές κυανοβακτηριακές ανθοφορίες είναι κοινές στη λίμνη της Καστοριάς. Οι τοξίνες εντοπίστηκαν στη λίμνη για πρώτη φορά το 1987. Η αποκατάσταση των ρηχών ευτροφικών λιμνών, μπορεί να είναι πιο δύσκολη από ότι στις βαθύτερες λίμνες, λόγω της ισχυρότερης αλληλεπίδρασης μεταξύ των ιζημάτων και του νερού των λιμνών. Στις ρηχές λίμνες, η εσωτερική φόρτωση, μπορεί να οφείλεται σε συσσώρευση των θρεπτικών ουσιών στο νερό και στην επακόλουθη απελευθέρωση μέσω της διεπαφής ίζημα-νερό, ακόμη και όταν η στήλη του νερού οξυγονώνεται.

Συμφώνα λοιπόν, με τους Μαντζαφλήρη κ.ά., (2009), στην συγκεκριμένη μελέτη, παρακολουθήθηκε η ποιότητα των υδάτων για μια χρονική περίοδο έξι ετών (2002-2008), προκειμένου να αποκτηθεί μια συνολική εικόνα και να καθοριστεί μια αρχική κατάσταση της αβαθούς και ευτροφικής λίμνης της Καστοριάς. Τα αποτελέσματα από τη συλλογή των δεδομένων, την εποχική δυναμική και τις αλληλεξαρτήσεις, μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη ενός σχεδίου διαχείρισης και τέλος σε μια στρατηγική αποκατάστασης.

Η δειγματοληψία, διεξήχθη σε πέντε σταθμούς στις βαθύτερες περιοχές της λίμνης (βάθος $\geq 4\text{m}$). Τα T_w και $D.O$, μετρήθηκαν επί τόπου με τη χρήση φορητού $Oxy330$ VTV, η διαφάνεια του νερού W_t , υπολογίστηκε με τη χρήση δίσκου Secchi και το pH μετρήθηκε με πεχάμετρο. Η δειγματοληψία διεξήχθη από τον Σεπτέμβριο του 2002 έως τον Νοέμβριο του 2004 κατά περιόδους και από τον Φεβρουάριο του 2005 έως τον Δεκέμβριο του 2008 συστηματικά. Δείγματα νερού πάρθηκαν και από το βάθος των 30 cm.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ και $\text{NH}_4\text{-N}$, καθώς και του $\text{SRP-PO}_4\text{-P}$, διεξήχθη με φασματοφωτόμετρο τύπου Hack. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$ διεξήχθη με τη μέθοδο του σουλφανλικού οξέος, ο προσδιορισμός του $\text{NH}_4\text{-N}$ με τη μέθοδο Nessler και τέλος ο προσδιορισμός $\text{PO}_4\text{-P}$ διεξήχθη με τη μέθοδο αμμωνίου μολυβδαινίου. Η μονάδα μέτρησης, ήταν σε mg/l. Οι μηνιαίες μέσες τιμές, από τους πέντε σταθμούς, χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν τις εποχιακές διακυμάνσεις των παραμέτρων που εξετάστηκαν.

Κατά την περίοδο παρακολούθησης των 6 ετών, παρατηρήθηκαν παρόμοιες εποχιακές διακυμάνσεις για το T_w , που κυμαίνονταν μεταξύ των 5°C σε ψυχρές περιόδους έως 26°C σε θερμές περιόδους. Η χαμηλότερη θερμοκρασία ($3,7^\circ\text{C}$) μετρήθηκε τον Φεβρουάριο του 2005, ενώ η υψηλότερη ($27,66^\circ\text{C}$) τον Ιούλιο του 2007. Σε σχέση με την μελέτη που πραγματοποίησαν οι Μουστάκα-Γούνη κ.ά., (2006), το 1999 παρατηρείται παρόμοια διακύμανση στην θερμοκρασία του νερού. Η T_w σύμφωνα με τους Μουστάκα-Γούνη κ.ά., (2006), κυμαίνονταν από 0°C σε ψυχρές περιόδους έως $26,8^\circ\text{C}$ σε θερμές περιόδους. Παρατηρούμε λοιπόν, πως οι τιμές της θερμοκρασίας είναι σχεδόν ίδιες φυσικά με την ύπαρξη μιας απόκλισης.

Το D.O στην επιφάνεια των υδάτων κυμαίνεται μεταξύ $2,95\text{ mg/l}$ τον Ιούλιο του 2004 και $14,07\text{ mg/l}$ τον Οκτώβριο του 2004. Οι ελάχιστες τιμές εμφανίζονται κυρίως σε θερμές περιόδους, όπου οι διεργασίες αποσύνθεσης και η ζήτηση του οξυγόνου σε ιζήματα ήταν επαρκείς για να προκαλέσουν χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μέγιστες τιμές εμφανίζονται κυρίως τον χειμώνα κατά τη διάρκεια των ισοθερμικών συνθηκών στη στήλη ύδατος (Μαντζαφλέρη κ.ά., 2009).

Η τιμή του W_t (διαφάνεια του νερού), ήταν γενικά χαμηλή. Διακυμάνθηκε μεταξύ $0,3\text{ m}$, τον Ιούλιο του 2007 και $2,72\text{ m}$ τον Μάιο του 2006. Η υψηλότερη τιμή του W_t των τελευταίων έξι ετών παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 2006. Οι υψηλότερες τιμές, μπορεί να σχετίζονται με τη βιομάζα χαμηλού φυτοπλαγκτού. Παράγοντες που ευνοούν τη θολή κατάσταση του νερού της λίμνης της Καστοριάς, είναι η βιομάζα των φυκών και η ανάδευση του ιζήματος μετά από ατυχήματα και βροχοπτώσεις (Μαντζαφλέρη κ.ά., 2009).

Το pH έχει μέση τιμή $8,25$, ενώ η χαμηλότερη τιμή ήταν $7,47$ (Απρίλιος 2006) και η υψηλότερη ήταν $9,23$ (Ιούλιος 2007). Σχεδόν το ίδιο pH, παρατηρείται και στις μετρήσεις που έγιναν από τους Μουστάκα-Γούνη κ.ά., (2006), το 1999. Οι τιμές που κυμάνθηκε, λοιπόν, το 1999 ήταν από $8,1\pm 0,1$ έως $9,7\pm 0,1$.

Οι συγκεντρώσεις του $\text{PO}_4\text{-P}$ είχαν εποχιακό εύρος από $0,017\text{ mg/l}$ τον Απρίλιο του 2007 έως $0,64\text{ mg/l}$ τον Οκτώβριο του 2006 σε επιφανειακά ύδατα, με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται κυρίως τον Ιούλιο, τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο, πιθανώς επηρεασμένες από τη δυναμική των φυκών και την εσωτερική φόρτωση. Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, οι συνθήκες του D.O και του pH αυξάνουν την εσωτερική διαδικασία φόρτωσης, εμπλουτίζοντας τη στήλη νερού με φωσφόρο από τα ιζήματα. Το γεγονός αυτό, σε σχέση με τη χαμηλή στάθμη του

νερού, έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές συγκεντρώσεις PO₄-P (Μαντζαφλήρη κ.ά., 2009).

Το NO₃-N, έδωσε αριθμό μεγίστων και ελαχίστων τιμών κατά τα έτη παρακολούθησης που εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά την άνοιξη και τον χειμώνα. Οι υψηλότερες τιμές σε υγρές περιόδους μεταβλήθηκαν μεταξύ 1,4 mg/l τον Απρίλιο του 2003 και 0,540 mg/l τον Οκτώβριο του 2007. Αυτό θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα τις εισροές αζώτου από γεωργικές δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις που κυμαίνονταν από 0,020mg/l τον Ιούνιο 2007 έως 0,060mg/l τον Αύγουστο του 2006, είναι πιθανώς το αποτέλεσμα βιολογικών δραστηριοτήτων. Κατά τη διάρκεια των ετών 2006 και 2007, η ισχυρή αναζωογόνηση των υδάτων, λόγω των υγρών χειμώνων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων NO₃-N. Ακριβώς το ίδιο παρατηρήθηκε και το έτος 1999, στην μελέτη των Μουστάκα-Γούνη κ.ά., (2006), όπου το NO₃-N, κυμαινόταν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Το 2008 περιορίστηκε η ποσότητα της βροχόπτωσης που προκάλεσε αύξηση του NO₃-N στα νερά της λίμνης.

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις NH₄-N, φαίνεται να συσχετίζονται με τις υγρές περιόδους. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε τον Ιούνιο του 2006 (0,416 mg/l), πιθανώς λόγω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε τον Αύγουστο του 2008, η οποία μπορεί να αποδοθεί στις βροχοπτώσεις, στους επικρατούμενους ανέμους προηγούμενων ημερών δειγματοληψίας, καθώς και στη μείωση του pH. Το NO₂-N, κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και σε ορισμένα σημεία δειγματοληψίας ήταν μη ανιχνεύσιμο (Ιούνιος και Ιούλιος 2008). Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν τον Φεβρουάριο του 2007 και τον Ιούνιο του 2007. Την ίδια χρονική περίοδο, γυρνώντας όμως 9 χρόνια πίσω στον χρόνο, δηλαδή τον Ιούνιο του 1999, παρατηρήθηκε ένα παρόμοιο φαινόμενο. Σύμφωνα λοιπόν, με τους Μουστάκα-Γούνη κ.ά. (2006), στην μελέτη αυτή βρέθηκε ότι το NH₄-N ήταν μη ανιχνεύσιμο, τον Ιούνιο του 1999, όπως συνέβη με το NO₂-N τον Ιούνιο και Ιούλιο του 2008.

Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών ουσιών φαίνεται να επηρεάζονται από το υγρό και το θερμικό μήκος της βιομάζας των φυκών, τις τιμές D.O και pH. Οι υψηλές τιμές pH αυξάνουν τη υψηλή συγκέντρωση SRP. Όσον αφορά το NH₄-N, η χαμηλή συγκέντρωση του D.O οφείλεται σε υψηλές συγκεντρώσεις, λόγω της μείωσης της νιτροποίησης (Μαντζαφλήρη κ.ά., 2009).

Σύμφωνα με τις μελέτες των Vollenweider, 1968; Vollenweider, 1975; Wetzel, 1975, η λίμνη της Καστοριά χαρακτηρίζεται ως ευτροφική λίμνη. Το φαινόμενο του ευτροφισμού, αποδίδεται κυρίως στις απορρίψεις λυμάτων που έπεφταν στο παρελθόν στη λίμνη, αλλά και στις αστικές σημειακές πηγές ρύπανσης κατά μήκος της όχθης της λίμνης, καθώς και στη γεωργική μη σημειακή ρύπανση. Μετά τη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων, τη δεκαετία του 1990, η μείωση του φωσφορικού φορτίου, οδήγησε στη βελτίωση της ποιότητας του νερού. Η περαιτέρω μείωση των θρεπτικών συστατικών, μπορεί να επιτευχθεί με την

ελαχιστοποίηση της σημειακής και μη σημειακής φόρτισης. Αυτό θα συνέβαλε στη μετατροπή της παρούσας κατάστασης του ευτροφισμού σε χαμηλότερη τροφική κατάσταση.

Σε αυτή τη μελέτη, παρέχεται μια βασική λιμνολογική κατάσταση της ρηχής, ευτροφικής λίμνης της Καστοριάς. Φαίνεται ότι οι θρεπτικές ουσίες, έχουν εποχιακές διακυμάνσεις. Έτσι, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ποιότητα του νερού της λίμνης και η οικολογική της κατάσταση βελτιώνονται αξιοσημείωτα, αλλά αυτό είναι προσωρινό. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της άνοιξης, η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών ουσιών πιθανώς οφείλεται σε εισροές αστικών και γεωργικών πηγών ρύπανσης. Ως αποτέλεσμα, η συσσώρευση της βιομάζας αυξάνεται και αρχίζει ένας κύκλος ευτροφισμού. Χρονιές με υψηλές ποσότητες κατακρημνισμάτων και ήπια καλοκαίρια, είχαν ως αποτέλεσμα την ανανέωση του νερού της λίμνης, προκαλώντας μείωση στον χρόνο κατακράτησης με θετική επίδραση στον ευτροφισμό. Απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για τη συλλογή μακροπρόθεσμων αβιοτικών και βιοτικών δεδομένων, προκειμένου να κατανοηθούν και να προβλεφθεί η συμπεριφορά του οικοσυστήματος της λίμνης. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατόν να εκτιμηθούν τα προστατευτικά μέτρα, να διατηρηθεί η ποιότητα του νερού και ακόμη και να αποκατασταθεί η λίμνη. Τέτοια μέτρα θα μπορούσαν να είναι:

1. Η παρακολούθηση των παραμέτρων της ποιότητας της λίμνης της Καστοριάς σε ένα ολοκληρωμένο τηλεμετρικό, αυτόνομο σύστημα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας με συνεχείς μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο σε 24ωρη βάση.
2. Η μείωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ και του $\text{PO}_4\text{-P}$ με τη χρήση παρασιτοκτόνων που μπορούν να αποσυντεθούν εύκολα ή ακόμα καλύτερα να αντικατασταθούν οι συμβατικές γεωργικές δραστηριότητες με βιολογικές, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον.
3. Η στήριξη της λειτουργίας του εργοστασίου καταθέσεων στερεών αποβλήτων του Νομού της Καστοριάς, θα συγκρατήσει τη ρύπανση που κινείται μέσω του υδροφόρου ορίζοντα στη λίμνη.
4. Σύνδεση των χωριών που δεν έχουν ακόμη συνδεθεί με το σύστημα αποχέτευσης, για να αποφευχθεί η περαιτέρω ρύπανση.
5. Ρυθμίσεις ροής και υδραυλικά έργα, όπως χαμηλής κατασκευής φράγματα, για τον περιορισμό των αιωρούμενων υλικών και των πλημμυρών από τις κορυφές των βουνών, ρυθμίσεις με τεχνικές εγκαταστάσεων και αναδάσωση.

Η εφαρμογή όλων των παραπάνω επιπτώσεων στη διαχείριση θα οδηγήσει σταδιακά στην αποκατάσταση της ισορροπίας της λίμνης και θα αποκαταστήσει την οικολογική κατάσταση της λίμνης Καστοριάς, η οποία αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της πόλης της Καστοριάς, παρέχοντας ασύγκριτη φυσική ομορφιά.

Περνώντας τα χρόνια και καθώς η επιστήμη συνεχώς αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, έρχονται στο προσκήνιο καινούργιες έρευνες. Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τους Μαντζαφλήρη κ.ά. (2009), πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στην οποία μελετήθηκαν διάφορες παράμετροι της ποιότητας του νερού. Η μελέτη αυτή, επικεντρώνεται στις παραμέτρους της ποιότητας του νερού Tw, DO, NH₄-N, NO₃-N και PO₄-P. Παρουσιάζονται δεδομένα από δύο εποχές (χειμώνας - παγωμένη λίμνη και υψηλό επίπεδο ευτροφισμού το καλοκαίρι) και 2 έτη (2005 και 2006), έτσι ώστε οι συγκρινόμενες περιόδους να είναι Φεβρουάριος 2005, Ιούλιος 2005, Φεβρουάριος 2006 και Ιούλιος 2006.

Πίνακας 5: Τα δεδομένα παρακολούθησης για το Φεβρουάριο του 2005 και του 2006, καθώς και για τον Ιούλιο του 2005 και τον Ιούλιο του 2006 (Tw σε βαθμό Κελσίου και όλα τα άλλα παραμέτρων σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο) (Μαντζαφλήρη κ.ά., 2009).

SS	Tw (Sur)	Tw (2.5 m)	D.O (Sur)	D.O (2.5 m)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
Φεβρουάριος 2005							
1	3,90	3,60	11,40	8,81	0,02	0,040	0,060
2	3,80	3,70	10,35	8,90	0,05	0,013	0,056
3	3,40	3,40	10,37	9,00	0,03	0,013	0,040
Ιούλιος 2005							
1	26,70	26,60	9,70	6,00	0,08	0,133	0,010
2	26,40	26,20	9,76	6,85	0,06	0,186	0,016
3	26,50	26,40	9,78	6,82	0,11	0,200	0,062
4	26,80	26,50	9,14	6,49	0,08	0,250	0,010
5	25,70	25,50	8,50	5,40	0,07	0,160	0,040
Φεβρουάριος 2006							
1	6,90	6,60	5,20	4,12	0,04	0,200	0,050
2	6,80	6,50	5,20	4,25	0,05	0,200	0,074
3	6,70	6,50	5,19	4,18	0,02	0,118	0,078
4	7,30	6,80	5,66	4,55	0,13	0,100	0,074
5	6,90	6,60	5,19	4,20	0,05	0,118	0,050
Ιούλιος 2006							
1	26,50	25,90	8,45	8,10	<0,001	0,100	0,022
2	25,70	24,80	8,10	7,80	<0,001	0,100	0,124
3	26,10	25,00	8,60	8,67	0,05	0,100	0,042
4	26,01	25,90	8,42	7,50	0,04	0,096	0,038
5	27,00	26,10	7,46	7,31	0,06	0,092	0,024

Η υψηλότερη τιμή του D.O, παρατηρήθηκε τον Φεβρουάριο του 2005, στο σημείο 1 (11,4 mg/l), ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε τον Φεβρουάριο του 2006, σχεδόν σε όλα τα σημεία (1, 2, 3, 5, 5.19-5.20 mg/l). Οι χαμηλές συγκεντρώσεις του D.O το Φεβρουάριο του 2006, μπορούν να εξηγηθούν από το

γεγονός ότι το επιφανειακό στρώμα της λίμνης πάχους περίπου 30 cm πάγωσε, για μια περίοδο περίπου τριών εβδομάδων από τα μέσα Ιανουαρίου έως τις αρχές Φεβρουαρίου 2006 και δεν υπήρξε εκ νέου αερισμός του υδατικού συστήματος. Ωστόσο, αυτό είναι ένα παράδοξο δεδομένου ότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η θερμοκρασία ήταν υψηλότερη το Φεβρουάριο του 2006, ενώ για μεγάλο χρονικό διάστημα, η λίμνη είχε παγώσει (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι τιμές του $\text{NH}_4\text{-N}$ τον Φεβρουάριο του 2005 (0,02-0,05 mg/l, πίνακας 5) και 2006 (0,02-0,13 mg/l, πίνακας 5) κυμαίνονταν σε παρόμοιες τιμές, με εξαίρεση μονάχα μια απομονωμένη υψηλή τιμή, η οποία παρατηρήθηκε στο σημείο 4 τον Φεβρουάριο του 2006 (0,13 mg/l). Αυτό το σημείο είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές (Νότια Παραλία) με ψυχαγωγικές δραστηριότητες, οπότε αυτή η υψηλή τιμή $\text{NH}_4\text{-N}$ μπορεί να προκλήθηκε από διαρροή λυμάτων ή από ροές ιζημάτων (Hensen and Zabel, 2000). Σε αυτή την περίπτωση, οι χαμηλές τιμές D.O τον Φεβρουάριο του 2006, θα μπορούσαν να είναι ένας άλλος λόγος για τις αυξημένες τιμές του $\text{NH}_4\text{-N}$ (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι τιμές του $\text{NO}_3\text{-N}$ το Φεβρουάριο του 2005 (Πίνακας 5) ήταν σημαντικά χαμηλότερες (0,013-0,040 mg/l) από εκείνες του Φεβρουαρίου 2006 (0,100-0,200 mg/l, Πίνακας 5) για όλα τα σημεία της δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε τον Φεβρουάριο του 2005, στα σημεία 2 και 3 (0,013 mg/l) και η υψηλότερη το Φεβρουάριο του 2006, στα σημεία 1 και 2 (0,200 mg/l). Οι έντονες και ακραίες βροχοπτώσεις που συνέβησαν τον Φεβρουάριο του 2006, σε σύγκριση με εκείνες του 2005, οδήγησαν στην έξαψη $\text{NO}_3\text{-N}$ από καλλιεργούμενες εκτάσεις στη λίμνη. Έτσι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στα σημεία 1 και 2, οι οποίες είναι πολύ κοντά στις εκβολές των ρεμάτων της Βυσινιας και του Ξηροποτάμου αντίστοιχα, οι οποίες λεκάνες χαρακτηρίζονται από γεωργικές δραστηριότητες (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι συγκεντρώσεις του $\text{PO}_4\text{-P}$ τον Φεβρουάριο του 2005 (Πίνακας 5), κυμαίνονταν μεταξύ χαμηλών τιμών (0,040-0,060 mg/l), σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του Φεβρουαρίου 2006 (0,050-0,118 mg/l (Πίνακας 5)). Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε τον Φεβρουάριο του 2005, στο σημείο 3 (0,040 mg/l) και το υψηλότερο, τον Φεβρουάριο του 2006, στο σημείο 5 (0,118 mg/l). Παρόμοια με την ερμηνεία για το $\text{NO}_3\text{-N}$, οι έντονες βροχοπτώσεις που οδηγούν στην έκπλυση των εδαφών, τις διεργασίες μεταφοράς ιζημάτων και την εισροή τους στη λίμνη, θα μπορούσαν να εξηγήσουν την υψηλότερη συγκέντρωση του $\text{PO}_4\text{-P}$ κατά το Φεβρουάριο του 2006. Επιπλέον, στο σημείο 5, στη θέση Σταυρός (Νότια Παραλία) που βρίσκεται κοντά στις κατοικημένες περιοχές της Καστοριάς στην Νότια Παραλία. Μια πιθανή εξήγηση θα μπορούσε να είναι η διαρροή σωλήνων αποχέτευσης, που περιέχουν απορρυπαντικά πλούσια σε φωσφόρο. Τέλος, μια άλλη ερμηνεία θα μπορούσε να είναι οι χαμηλές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου 5.19-5.66 mg/l στην επιφάνεια και ακόμα χαμηλότερες στη λίμνη (Πίνακας 5) σε

επαφή με το ίζημα, που οδήγησαν το οικοσύστημα της λίμνης να απελευθερώσει τον φωσφόρο από τα ιζήματα της λίμνης (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Τον Ιούλιο του 2005 και του 2006 (Πίνακας 5), η T_w ποίκιλλε στις ίδιες υψηλές τιμές, όπως αναμενόταν, σε όλα τα σημεία της δειγματοληψίας. Τον Ιούλιο του 2005, η T_w διέφερε μεταξύ 25,70°C και 26,80°C, ενώ τον Ιούλιο του 2006, μεταξύ 25,70°C και 27,00°C.

Οι συγκεντρώσεις του D.O, ήταν υψηλότερες τον Ιούλιο του 2005 (8,50-9,78 mg/l, πίνακας 5) σε όλα σχεδόν τα σημεία δειγματοληψίας, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του Ιουλίου 2006 (7,46-8,60 mg/l, Πίνακας 5). Και στις δύο περιόδους, αυτές οι τιμές μπορούν να χαρακτηριστούν αρκετά υψηλές. Αξίζει να σημειωθεί πως, δεδομένου ότι οι μετρήσεις λειτουργούσαν κατά το μεσημέρι, οι υψηλές συγκεντρώσεις D.O μπορούν να εξηγηθούν με τις διαδικασίες παραγωγής οξυγόνου με φωτοσύνθεση, κυρίως με μπλε και πράσινα φύκη. Οι συγκεντρώσεις του D.O διακυμαίνονται σημαντικά, κατά τη διάρκεια της ημέρας, διότι το D.O παράγεται με φωτοσύνθεση και μερικές φορές μπορεί να φθάσει σε επίπεδα υπερκορεσμού. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ωστόσο, όταν λαμβάνει χώρα η αναπνοή, το DO μειώνεται σε κρίσιμες συγκεντρώσεις για την υδρόβια ζωή (4-5 mg/l). Οι ελάχιστες τιμές του D.O, παρατηρούνται συνήθως νωρίς το πρωί, πριν την ανατολή (~ 4 mg/l). Οι ημερήσιες διαφορές στις συγκεντρώσεις DO, παρατηρούνται γενικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι συγκεντρώσεις NH_4-N τον Ιούλιο του 2005 (0,06-0,11 mg/l, πίνακας 5) ήταν υψηλότερες σε όλα τα σημεία, σε σύγκριση με εκείνες τον Ιούλιο του 2006 (<0,001-0,06 mg/l, Πίνακας 5). Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα σημεία 1 και 2, τον Ιούλιο του 2006 (<0,001 mg/l) και το υψηλότερο, μια απομονωμένη τιμή στο σημείο 3, τον Ιούλιο του 2005 (0,11 mg/l). Οι συγκεντρώσεις του D.O, η οποία ήταν αρκετά υψηλή, τόσο τον Ιούλιο του 2005 και 2006, διατηρούνται οι συγκεντρώσεις των NH_4-N σε χαμηλά επίπεδα (με εξαίρεση στο σημείο 3, τον Ιούλιο του 2005), δεδομένου ότι η διαδικασία της νιτροποίησης ήταν υπέρ, αντί τη διαδικασία της αμμωνιοποίησης (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι τιμές του NO_3-N τον Ιούλιο του 2005 (0,133-0,250 mg/l, πίνακας 5) ήταν υψηλότερες από εκείνες του Ιουλίου 2006 (0,092-0,100 mg/l, πίνακας 5) σε όλα τα σημεία της δειγματοληψίας. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στο σημείο 5, τον Ιούλιο του 2006 (0,092 mg/l) και η υψηλότερη τιμή, στο σημείο 4, τον Ιούλιο του 2005 (0,250 mg/l). Αυτή η υψηλή τιμή, συνέβη πιθανότατα λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που αφορούν τη διαρροή λυμάτων στην περιοχή της Βόρειας Παραλίας (Σημείο 4). Τόσο το NO_3-N όσο και το NH_4-N είναι αρκετά υψηλότερα τον Ιούλιο του 2005 από ότι τον Ιούλιο του 2006 (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Οι τιμές του PO_4-P , ήταν ελαφρώς χαμηλότερες τον Ιούλιο του 2005 (0,010-0,062 mg/l, πίνακας 5), σε σύγκριση με εκείνες του Ιουλίου 2006 (0,022-0,124 mg/l, Πίνακας 5). Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα σημεία 1 και 4, τον Ιούλιο του 2005 (0,010 mg/l) και η υψηλότερη τιμή στο σημείο 2 τον Ιούλιο του 2006, η

οποία είναι μια απομονωμένη τιμή ίση με 0,124 mg/l. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις γεωργικές δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του Ξηροπόταμου, οι οποίες ευθύνονται για την απομονωμένη υψηλή τιμή του PO₄-P στο σημείο 2.

Η εξέταση των παραπάνω ποιοτικών παραμέτρων του νερού στη λίμνη της Καστοριάς, καθώς και η γεωγραφική κατανομή τους, οδήγησαν στα ακόλουθα σημαντικά συμπεράσματα.

Σύμφωνα με τα προτεινόμενα όρια (OECD, 1982) για τις συγκεντρώσεις PO₄-P, η Λίμνη Ορεοσιάδα φαίνεται να είναι ευτροφική και υπερευτροφική μόνο για δύο περιπτώσεις (Φεβρουάριος 2006 - σημείο 5. με 0.118 mg/l και Ιουλ 2006 - σημείο 2. με 0.124 mg/l, αντίστοιχα) για την παρούσα μελέτη. Εκτιμάται λοιπόν, ότι το PO₄-P απελευθερώθηκε από τα ιζήματα, ειδικά σε περιόδους με χαμηλές συγκεντρώσεις D.O που ευνοούν αυτή τη διαδικασία. Άλλες πηγές PO₄-P, είναι οι γεωργικές πηγές από τις δραστηριότητες σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής (καλλιέργειες, χερσαίες εκτάσεις, κτηνοτροφία κλπ.) και λιγότερο οι εγχώριες πηγές, καθώς η πλειονότητα των κατοικιών στην περιοχή συνδέεται με τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Παρόλα αυτά η οικολογική κατάσταση της λίμνης, έχει βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Οι αυξημένες κατακρημνίσεις κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους Οκτώβριος 2005 - Σεπτέμβριος 2006, προκάλεσε την ανανέωση των υδάτων. Ως αποτέλεσμα, η αποβάθρα στο Ρέμα Γκιόλε, όπου είναι το σημείο εξόδου της λίμνης στον ποταμό Αλιάκμονα, παρέμεινε ανοιχτή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό, οδήγησε σε μικρό χρόνο παραμονής του νερού και σε σημαντικό βάθος διαφάνειας (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Όσον αφορά στις τιμές των NO₃-N, σημείο 4 (Βόρεια Παραλία), παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές τον Ιούλιο του 2005, πιθανότατα λόγω των τουριστικών δραστηριοτήτων. Τα σημεία 1 και 2, που βρίσκονται κοντά στις εκβολές των ποταμών της Βυσινιάς και του Ξηροπόταμου, αντίστοιχα, καταγράφουν τις υψηλότερες τιμές του NO₃-N το Φεβρουάριο του 2006, λόγω των μέγιστων τιμών της επιφανειακής απορροής, εκροής NO₃-N από τη λεκάνη απορροής. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Wetzel (Wetzel, 2001), το διαλυμένο ανόργανο άζωτο DIN (NO₃-N+NO₂-N+NH₄-N), έφθασε τα επίπεδα ευτροφισμού τόσο για τα έτη 2005 και 2006. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις NH₄-N, ήταν μικρότερες από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο 1 mg/l, βάσει της Εθνικής υπουργικής απόφασης 46399/1352 (1986), για τα πρότυπα διαβίωσης των ψαριών γλυκού νερού και ιδιαίτερα των κυπρινοειδών (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Το D.O κυμαίνεται γενικά σε υψηλά επίπεδα εκτός από τον Φεβρουάριο του 2006, όταν η λίμνη παρέμεινε παγωμένη, για περίπου 3 εβδομάδες κατά τη διάρκεια του Ιανουαρίου-αρχές Φεβρουαρίου του 2006, λόγω του εξαιρετικά κρύου καιρού που επικρατούσε. Τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιος 2005 και 2006) απαιτούνται συστηματικότερες μετρήσεις για το D.O κατά τη διάρκεια της ημέρας, για την ανίχνευση των ημερήσιων διακυμάνσεων. Οι διεργασίες φωτοσύνθεσης

κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αντίθετες ενέργειες αναπνοής και αποσύνθεσης, διαδικασίες που γίνονται κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι υπεύθυνες για τη διακύμανση του D.O, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες (Μαντζαφλήρη κ.ά, 2009).

Ύστερα από 2 χρόνια μετά την μελέτη των Μαντζαφλήρη κ.ά, (2009), που πραγματοποιήθηκε τις χρονιές 2005 και 2006 και περνώντας πλέον στο 2008, έχουμε μια νέα έρευνα. Σύμφωνα, λοιπόν, με τους Κάγκαλου Ι., και Ψιλοβίκο Α., (2014), πραγματοποίησαν μια έρευνα στην οποία έγινε η ταξινόμηση της ποιοτικής κατάστασης της Λίμνης της Καστοριάς. Στην μελέτη αυτή, η WFD προτείνει την κατανομή της λίμνης, σύμφωνα με τα φυσικοχημικά της στοιχεία και την υποστήριξη των βιολογικών της στοιχείων. Έτσι, συμπεριλαμβάνεται μια σειρά σχετικών παραμέτρων, οι περισσότερες από τις οποίες αποδίδουν το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων που βρέθηκαν για τη λίμνη της Καστοριάς, τα νιτρικά άλατα, κυμαίνονταν από 0,023 έως 0,418 mg/l με μέση τιμή 0,164 mg/l. Οι μέγιστες τιμές, καταγράφηκαν κατά την άνοιξη (Απρίλιος και Μάιος 2008), υποδηλώνοντας ότι αυτές οι συγκεντρώσεις αυξάνονται πιθανόν, λόγω της επιφανειακής απορροής (Κάγκαλου Ι., και Ψιλοβίκος Α., 2014).

Τα νιτρώδη άλατα, κυμάνθηκαν μεταξύ 0,001 και 0,026 mg/l και δεν μπορούν να εκτιμηθούν καλά, επομένως είναι μια πολύ ασταθής ένωση. Το αμμώνιο NH_4^+ , κυμαίνεται από 0,009 έως 0,166 mg/l, με μέση τιμή 0,088 mg/l. Οι μέσες τιμές του ανόργανου αζώτου (DIN), κυμαίνονταν μεταξύ 0,08 (Σεπτέμβριος 2008) και 0,59 (Απρίλιος 2008) (Κάγκαλου Ι., και Ψιλοβίκος Α., 2014).

Φαίνεται ότι η πιο σημαντική μορφή, είναι το νιτρικό άζωτο $\text{NO}_3\text{-N}$ (μέσος όρος 58,6%), ακολουθούμενος από το αμμώνιο NH_4^+ (μέσος όρος 39%), ενώ το νιτρώδες άζωτο $\text{NO}_2\text{-N}$, είχε ασήμαντο ρόλο στη συγκέντρωση DIN (μέσος όρος 0,04%). Το φθινόπωρο (Οκτώβριος και Νοέμβριος 2008), το αμμώνιο φαίνεται να είναι το πιο σημαντικό συστατικό, συμβάλλοντας σε ένα ποσοστό που κυμαίνεται από 82 έως 88%. Το υψηλό ποσοστό $\text{NO}_3\text{-N}$, μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι εμφανίζονται μη σημειακές πηγές ρύπανσης, λόγω των γεωργικών δραστηριοτήτων και της εξάπλωσης από τη λεκάνη απορροής. Ο Διαλυτός Αδρανές Φωσφόρος (SRP), κυμαίνεται μεταξύ 0,046 και 0,57 mg/l, με μέση τιμή 0,214 mg/l. Η ελάχιστη τιμή του, καταγράφηκε την άνοιξη (Μάρτιος 2008), ενώ η μέγιστη τιμή του καταγράφηκε το καλοκαίρι (Ιούλιος 2008), υποδεικνύοντας ως δυνητικούς παράγοντες την επίδραση της αραίωσης, η οποία είναι μεγαλύτερη κατά την άνοιξη. Η απελευθέρωση φωσφόρου από το ίζημα στη υδάτινη στήλη υπό χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, μπορεί να λάβει χώρα κατά την ίδια περίοδο. Ο βιολογικός διαθέσιμος φώσφορος (SRP) και το άζωτο (DIN), πιστεύεται ότι ελέγχουν την πρωτογενή παραγωγικότητα. Η αύξηση της συγκέντρωσης P ή N μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχη αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής, υποστηρίζοντας μια σημαντική αύξηση των φυκών (Κάγκαλου Ι., και Ψιλοβίκος Α., 2014).

Οι τροφικές ταξινομήσεις, συγκρίθηκαν σύμφωνα με τα σχέδια του OECD, τους δείκτες TSI Carlson και τους TSI Carlson που τροποποίησαν οι Toledo et al. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ταξινόμησης ECOFRAME (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Ταξινόμηση σύμφωνα με τους τροφικούς δείκτες και τους οικολογικούς δείκτες (Κάγκαλου Ι., Ψιλοβίκος Α., 2014)

<u>Δείκτης</u>	<u>Καστοριά</u>
OECD (Secchi Disk and Chl- <i>a</i>)	Ευτροφική
TSI Carlson	Υπερευτροφική
TSI modified by Toledo et al.	Ευτροφική
ECOFRAME	Κακή έως καλή

Με βάση λοιπόν, την ταξινόμηση της Λίμνης της Καστοριάς, χρησιμοποιώντας το σύστημα ταξινόμησης «ανοιχτού ορίου» του OECD, φαίνεται ότι ανήκει στην ευτροφική κατηγορία (Πίνακας 6). Τα άλλα δύο κριτήρια ταξινόμησης, σύμφωνα με τους TSI Carlson και τους τροποποιημένους δείκτες TSI Carlson, δείχνουν ότι η λίμνη της Καστοριάς, βρίσκεται σε υπερευτροφική και ευτροφική κατάσταση, αντίστοιχα. Η χαμηλή διαφάνεια του βάθους που καταγράφηκε με τον Δίσκο του Secchi κατά την εξεταζόμενη περίοδο, δείχνει την απουσία σαφούς φάσης αυξάνοντας έτσι τον ευτροφισμό. Προηγούμενες μελέτες, είχαν επίσης επισημάνει τις θορυβώδεις ευτροφικές συνθήκες στη λίμνη της Καστοριάς, που σχετίζονται με την υψηλή βιομάζα των φυκών (Κάγκαλου Ι., Ψιλοβίκος Α., 2014).

Συγκρίνοντας λοιπόν, τους τροφικούς δείκτες, ο «θερμότερος» φαίνεται να περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις τροφικές συνθήκες, αφού η λίμνη της Καστοριάς, αποτελεί ένα ευτροφικό σύστημα με σημάδια υπερτροφίας (κατά τις περιόδους άνθησης των φυκών).

Σύμφωνα με το πρόγραμμα ECOFRAME, η οικολογική ταξινόμηση της λίμνης της Καστοριάς, εμπίπτει στην κατηγορία «υπερβολικά κακή» που συμπίπτει με την παραπάνω περιγραφή που βασίζεται στους τροφικούς δείκτες. Αυτό, υπογραμμίζει τη σημασία των κατάλληλων τροφικών δεικτών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και επιπλέον, ποιό είναι το πλήρες σύστημα παρακολούθησης που πρέπει να εφαρμοστεί, το οποίο πληροί τις απαιτήσεις της WFD.

Γενικά, οι τρεις τροφικοί δείκτες, περιγράφουν τις τροφικές συνθήκες της λίμνης της Καστοριάς ως ευτροφικές και μερικές φορές βρίσκονται στην υπερευτροφική κατάσταση. Τα αποτελέσματά, μας επιβεβαιώνουν τη γνώμη που τεκμηριώνει ο Shen et al., σχετικά με την ασάφεια των κριτηρίων της περιβαλλοντικής ποιότητας, λόγω των ασυνεπειών και των ιδιαιτεροτήτων των επιμέρους ρύπων. Πολυάριθμες μελέτες πεδίου και πειραματικές μελέτες, έχουν δώσει μια καλή εικόνα για το πώς λειτουργούν οι εύκρατες λίμνες. Με βάση όμως την μελέτη μας, υπερτονίζεται η ανάγκη της πειραματικής εργασίας, με σκοπό την

καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των μεσογειακών λιμνών (Κάγκαλου Ι., Ψιλοβίκος Α., 2014).

Πίνακας 7: Με βάση τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν στην συζήτηση, δημιουργήσαμε τον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα.

Παράμετροι	Κουσσουρής κ.ά. (1991)	Μουστάκα-Γούνη κ.ά. (2006)	Μαντζαφλέρη κ.ά. (2009)	Μαντζαφλέρη κ.ά. (2009)	Κάγκαλου Ι., & Ψιλοβίκος Α. (2014)
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l)	0,1 έως 12,1	Αισθητή μείωση	2,95 Ιούλιος 2004 & 14,07 Οκτώβριος 2004	Min=5,19 (Φεβρουάριος 2006) & Max=11,40 (Φεβρουάριος 2005)	-
pH	5,9 έως 9,5	8,1 ± 0,1 έως 9,7 ± 0,1	Min=7,47 Απρίλιος 2006 & Max=9,23 Ιούλιος 2007, με μέση τιμή 8,25	-	-
Chl-a (mg/m ³)	4,6 έως 187	-	-	-	-
Θερμοκρασία νερού T _w (°C)	-	0°C έως 26,8°C ± 0,4°C	Min= 3,7°C Φεβρουάριος 2005 & Max=27,66°C Ιούλιος 2007	Min=3,40°C (Φεβρουάριος 2005) & Max=27,00°C (Ιούλιος 2006)	-
Διαφάνεια του νερού (Wt)	-	Ετήσια μέση τιμή: 97,9 ± 36,9 cm	Μέγιστη τιμή το καλοκαίρι του 2006	-	-
PO ₄ -P	3 έως 254	-	Max τιμές τον Ιούλιο, Σεπτέμβριο & Οκτώβριο	Min=0,01 (Ιούλιος 2005) & Max=0,124 (Ιούλιος 2006)	Min τιμή Μάρτιος 2008 & Max τιμή Ιούλιος 2008

NO₃-N	5 έως 1011	Min= 4,8 ± 1,9 μg L ⁻¹	Μέγιστες τιμές άνοιξη & χειμώνα	Min=0,013 (Φεβρουάριος 2005) & Max=0,25 (Ιούλιος 2005)	Υψηλό ποσοστό (μέσος όρος 58,6%)
NO₂-N	3 έως 10	-	Μin τιμές Αύγουστος 2008 & Max=0,416 mg/l Ιούνιος 2006	-	Χαμηλό ποσοστό (μέσος όρος 0,04%)-0,001 και 0,026 mg/l
NH₄-N	6 έως 288	Μη ανιχνεύσιμο	-	Max=0,13 (Φεβρουάριος 2006) & Min=<0,001 (Ιούλιος 2006)	0,009 έως 0,166 mg/l
Ολικός Φωσφόρος	28,1 έως 87,6	-	-	-	-

6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η λίμνη της Καστοριάς, εκτίθεται σε σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης, τόσο από αστικές όσο και από γεωργικές δραστηριότητες. Ο υψηλός βαθμός του ευτροφισμού στη λίμνη της Καστοριάς είναι αναμενόμενος, καθώς είναι μια αστική λίμνη. Παρόλα αυτά, η οικολογική κατάσταση της λίμνης, έχει βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Οι αυξημένες και ταυτόχρονα έντονες κατακρημνίσεις κατά την πάροδο των ετών, οδήγησαν στην σημαντική ανανέωση των υδάτων. Το γεγονός αυτό, λοιπόν, οδήγησε σε μικρό χρόνο παραμονής του νερού στην λίμνη και σε σημαντικό βάθος διαφάνειας.

Σύμφωνα με τα προτεινόμενα όρια (OECD, 1982) για τις συγκεντρώσεις PO₄-P, που έχουν ανιχνευτεί στη Λίμνη Ορεστιάδα, την κατατάσσουν ως ευτροφική και υπερευτροφική κυρίως κατά τις περιόδους άνθησης των φυκών. Εκτιμάται, λοιπόν, ότι το PO₄-P απελευθερώνεται από τα ιζήματα, ειδικά σε περιόδους με χαμηλές συγκεντρώσεις D.O που ευνοούν αυτή τη διαδικασία, δηλαδή την διαδικασία του ευτροφισμού. Άλλες πηγές PO₄-P, είναι οι γεωργικές πηγές από τις δραστηριότητες

σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής (καλλιέργειες, χερσαίες εκτάσεις, κτηνοτροφία κλπ.) και λιγότερο οι εγχώριες πηγές, καθώς η πλειονότητα των κατοικιών στην περιοχή συνδέεται με τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Η μεταβλητότητα και η πολυπλοκότητα των παραμέτρων της ποιότητας του νερού, θα πρέπει να αναγκάσει τους διαχειριστές και τους ενδιαφερόμενους να επικεντρωθούν σε ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα παρακολούθησης. Αυτό μπορεί να επιτρέψει τη δημιουργία μιας επιστημονικής υδρολογικής βάσης δεδομένων, με στόχο την αξιολόγηση των χωρικών και εποχιακών αλλαγών. Το ζήτημα αυτό, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη δημιουργία ηλεκτρονικού συστήματος παρακολούθησης, στο οποίο μπορούν να εκφραστούν αξιόπιστα συμπεράσματα για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων, βάσει ημερήσιας παρακολούθησης ή τουλάχιστον, πιο εντατικής παρακολούθησης από μία φορά το μήνα. Εξάλλου, οι θεματικοί χάρτες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες GIS, αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για την εφαρμογή της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60 της WFD.

Όλα τα μέτρα εξυγίανσης που αφορούν στην γεωργία και ειδικά στον φωσφόρο, χρήζουν άμεσης προτεραιότητας και εφαρμογής. Τα μέτρα, λοιπόν, που πρέπει να εφαρμοστούν, προκειμένου να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας των υδάτων της Λίμνης Ορεστιάδας είναι να υπάρχει περιμετρική φύλαξη της λίμνης σε συνεργασία με το Δασαρχείο, την αστυνομία, διάφορες περιβαλλοντικές οργανώσεις και συλλόγους, καθώς και μια οργάνωση εθελοντικών ομάδων φύλαξης και πάταξης της παρανομίας. Επιπλέον, ένα ακόμη μέτρο το οποίο αν εφαρμοστεί θα είναι αποτελεσματικό είναι η δημιουργία ενός προγράμματος περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης. Το πρόγραμμα αυτό θα αναφέρεται σε αγρότες, οι οποίοι θα ενημερώνονται για τη χρήση των φυτοφαρμάκων, σε πολίτες και σχολεία για τη μείωση της αστικής ρύπανσης και σε κτηνοτροφικούς συνεταιρισμούς.

Υπάρχουν ορισμένα μέτρα, τα οποία πρέπει να εφαρμοστούν για την αστική ρύπανση. Κάποια από αυτά, είναι ο εντοπισμός των παράνομων αποχετευτικών αγωγών και η σύνδεση τους με το κεντρικό δίκτυο με έξοδα φυσικά των ιδιοκτητών τους. Αυτό συνεπάγεται δικαστική επίλυση του προβλήματος, με την άμεση κινητοποίηση των εισαγγελικών αρχών, προκειμένου να επέλθει η επίλυση του προβλήματος της παράνομης διάθεσης των υγρών αποβλήτων στο λιμναίο οικοσύστημα. Επιπλέον, απαιτείται η έκθεση και διερεύνηση της σωστής λειτουργίας του αποχετευτικού συστήματος και του συστήματος όμβριων υδάτων από τη ΔΕΥΑΚ. Σε περίπτωση προβληματικής λειτουργίας, απαιτείται η αντιμετώπιση των προβλημάτων και η αποκατάσταση του δικτύου χωρίς απώλειες. Όλα τα νοικοκυριά και οι παραλίμνιοι οικισμοί, είναι υποχρεωτικό να είναι συνδεδεμένοι με τη μονάδα του βιολογικού καθαρισμού της πόλης. Οι αρμόδιοι φορείς διαχείρισης των σκαφών της λίμνης, υποχρεούνται να ελέγχουν την πιθανή ρύπανση από τα πλωτά μέσα (κινητήρες, αλλαγή λαδιών, βαφές και συντηρήσεις). Είναι σημαντική η υιοθέτηση των μη ρυπογόνων κινητήρων τόσο χημικά όσο και θερμικά ή ηχορρυπαντικά. Ένα αποτελεσματικό μέτρο, είναι η εφαρμογή ενός

ολοκληρωμένου προγράμματος για την ορθολογική χρήση των ρυπογόνων ουσιών (φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων) ανά στρέμμα και ανά καλλιέργεια υπό την επίβλεψη ενός ειδικού γεωπόνου (μελέτη, εφαρμογή, παρακολούθηση - έλεγχος αγοράς).

Τα μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων της λίμνης Ορεστιάδας, διακρίνονται στα μέτρα εξυγίανσης που είναι τα εξωλίμνια και στα μέτρα επαναφοράς που είναι τα εσωλίμνια (Ψιλοβίκος, 2014; Βουρνέλης, 2008). Όσον αφορά στα εσωλίμνια μέτρα θεραπείας, απαιτούν διαδικασίες επέμβασης, τόσο στον υγρό όγκο, όσο και στο ίζημα. Η συλλογή δεδομένων, η εκπόνηση μελετών, η διαδικασία επιλογής μεθόδων, η διαδικασία αδειοδότησης, η διαδικασία χρηματοδότησης και η διαδικασία υλοποίησης μέτρων επαναφοράς, είναι εξαιρετικά πολύπλοκη υπόθεση με μεγάλη έκταση, διάρκεια και κόστος. Τα μέτρα εξυγίανσης, είναι πιο άμεσα, πιο σαφή και η συμβολή τους είναι δεδομένη, χωρίς να απαιτείται διαδικασία επιλογής ή απόρριψης. Ακόμη, απαραίτητη προϋπόθεση πριν από την εφαρμογή οποιουδήποτε μέτρου επαναφοράς, είναι η εφαρμογή όλων των αντίστοιχων μέτρων εξυγίανσης. Η κυριότερη όμως πηγή ρύπανσης, η οποία παραμένει χωρίς αντιμετώπιση, είναι η γεωργία. Ως εκ τούτου, όλα τα μέτρα εξυγίανσης που αφορούν στην γεωργία και ειδικά στον φωσφόρο, χρήζουν προτεραιότητας και άμεσης εφαρμογής.

Αρχικά, πριν από την επιλογή, ιεράρχηση και εφαρμογή οποιουδήποτε μέτρου, πρέπει να υπάρχει συνεχή παρατήρηση και να πραγματοποιούνται μετρήσεις των βασικών βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων, με σκοπό την διαρκή παρακολούθηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης. Στη συνέχεια, αφού διαπιστωθεί η ακριβής οικολογική κατάσταση, είναι απαραίτητο να καθοριστεί η κατάσταση στην οποία θέλουμε να επαναφέρουμε το οικοσύστημα. Καταγράφονται αναλυτικά, οι ρυπογόνες πηγές, δημιουργείται μια βάση δεδομένων, εντοπίζονται τα μέτρα διαχείρισης, εξωλίμνια και εσωλίμνια, όπως θα αναφερθούν παρακάτω και τέλος γίνεται επιλογή βάσης των υδρομορφολογικών, ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος. Στη συνέχεια, γίνεται ιεράρχηση των επιλεχθέντων μέτρων, τόσο από πλευράς σπουδαιότητας, όσο και από άποψη χρονικής σειράς εφαρμογής και εκπονούνται οι αναγκαίες μελέτες, λαμβάνοντας τις αντίστοιχες αδειοδοτήσεις και χρηματοδοτήσεις. Τέλος, έπεται η εφαρμογή των μέτρων, η οποία θα πρέπει να συνοδεύεται από τακτικό έλεγχο της αποτελεσματικότητας τους.

6.1 Εξωλίμνια μέτρα

Σύμφωνα με τους Ψιλοβίκος, 2014 και Βουρνέλης, 2008, κατηγοριοποιώντας τα εξωλίμνια μέτρα εξυγίανσης, σε πρώτη φάση προκύπτει ότι στο σύνολο τους αφορούν στα παρακάτω:

1. **Περιορισμός ρύπων των αστικών λυμάτων:**
 - ❖ Διαρκής συντήρηση των δικτύων ακαθάρτων
 - ❖ Σύνδεση στο δίκτυο όλων των νοικοκυριών
 - ❖ Περιορισμός απορρίψεων από βυτιοφόρα βοθρολυμάτων
2. **Περιορισμός ρύπων των βιομηχανικών αποβλήτων:** Απαραίτητος, σε περιπτώσεις που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο των ακαθάρτων, που οδηγείται στον βιολογικό καθαρισμό, αλλά με το δίκτυο των όμβριων.
3. **Περιορισμός ρύπων των χειμάρρων όμβριων υδάτων:** Αποτελεί μια πολύ ακριβή διαδικασία η επεξεργασία των υδάτων των χειμάρρων, με αμφιβόλου ποιότητας αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, μπορεί να προταθούν:
 - ❖ Εκτροπή των ρυπογόνων χειμάρρων
 - ❖ Επεξεργασία των υδάτων των χειμάρρων (βιολογική ή χημική)
 - ❖ Συνδυασμός εκτροπής και επεξεργασίας
4. **Περιορισμός ρύπων των αστικών όμβριων υδάτων:** Μπορεί να επιτευχθεί με:
 - ❖ Εκτροπή των αστικών όμβριων υδάτων
 - ❖ Επεξεργασία των αστικών όμβριων υδάτων
 - ❖ Αντικατάσταση των αδιαπέρατων επιφανειών (μπετόν, ασφαλτικά) με διαπερατές επιφάνειες. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται ο συντελεστής απορροής και αυξάνεται το ποσό του νερού που διηθείται στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αυτοκαθαρίζεται.
 - ❖ Κατασκευή διαπερατών επιφανειών στην παρόχθια ζώνη (παραλία)
5. **Περιορισμός των στερεών αποβλήτων από τις αστικές περιοχές:** Ορισμένα από τα μέτρα που προτείνονται είναι τα εξής:
 - ❖ Έλεγχος της ρίψης απορριμμάτων, αστυνόμευση και εφαρμογή αυστηρών κυρώσεων
 - ❖ Επιμελής καθαρισμός των παρόχθιων περιοχών από τους Δήμους
 - ❖ Κατασκευή έργων κατακράτησης φερτών υλικών (δεξαμενές όμβριων, φρεάτια κατακράτησης φερτών υλικών)
 - ❖ Κατασκευή έργων εσχάρωσης όμβριων, όπως για παράδειγμα ανοξείδωτες χονδροεσχάρες, λεπτοεσχάρες, καθώς και υπερχειλιστές σε κεντρικά φρεάτια όμβριων
 - ❖ Έλεγχος παράνομου μπαζώματος της λίμνης, με οριοθέτηση γραμμής αιγιαλού και έλεγχος απόρριψης μπαζών στην λίμνη και στους χείμαρρους που καταλήγουν σε αυτήν
6. **Περιορισμός των στερεών αποβλήτων από χείμαρρους με:**
 - ❖ Ορεινά φράγματα ανάσχεσης χειμάρρων
 - ❖ Δενδροφύτευση ορεινών περιοχών
 - ❖ Λεκάνες κατακράτησης φερτών υλικών
 - ❖ Διευθετήσεις χειμάρρων
7. **Έλεγχος της Κτηνοτροφίας**
 - ❖ Σύνδεση των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων με βιολογικό καθαρισμό
 - ❖ Καθορισμός αποστάσεων σταυλισμού από όχθες χειμάρρων και λίμνης
 - ❖ Απαγόρευση βόσκησης στην παρόχθια ζώνη

8. Έλεγχος της Γεωργίας

- ❖ Αλλαγή χρήσης εκτάσεων ή/και καλλιεργειών
- ❖ Έλεγχος χρήσης φυτοφαρμάκων
- ❖ Εφαρμογή βιολογικών καλλιεργειών
- ❖ Ελεγχόμενη, κατανεμημένη, περιοδική λίπανση
- ❖ Απαγόρευση λίπανσης κατά την χειμερινή περίοδο
- ❖ Εκτροπή στραγγισμάτων με τάφρους
- ❖ Καθορισμός απόστασης ασφαλείας των καλλιεργειών από τα ρέματα
- ❖ Ενίσχυση βλάστησης στις όχθες των χειμάρρων
- ❖ Έλεγχος πλύσης βυτιοφόρων φυτοφαρμάκων

9. Περιορισμός των ρύπων από ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων)

- ❖ Εντοπισμός ΧΑΔΑ στη λεκάνη απορροής
- ❖ Απομόνωση των μη αποκατεστημένων ΧΑΔΑ από επιφανειακές απορροές
- ❖ Πλήρης και αποτελεσματική αποκατάσταση ΧΑΔΑ
- ❖ Αυστηρές κυρώσεις για ανεξέλεγκτη ρίψη απορριμμάτων στη λεκάνη απορροής της λίμνης

6.2 Εσωλίμνια μέτρα

Σύμφωνα με τους Ψιλοβίκος, 2014 και Βουρνέλης, 2008, οι επεμβάσεις τόσο στον υγρό όγκο της λίμνης, όσο και στο ιζημα του πυθμένα σχετίζονται κατά κύριο λόγο, με τη δέσμευση ή και την απομάκρυνση του φωσφόρου σε όποια μορφή κι αν αυτός βρίσκεται (χλωροκυανοφύκη, άλατα, σύμπλοκα ιόντα κλπ). Κατηγοριοποιώντας, λοιπόν, τα εσωλίμνια μέτρα εξυγίανσης σε πρώτη φάση προκύπτει ότι στο σύνολο τους αφορούν στα παρακάτω:

1. **Απομάκρυνση του φωσφόρου εντός:** Η επεξεργασία του νερού εντός, σχετίζεται κατά κύριο λόγο, με την χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια μεταλλικών αλάτων σε μορφή σκόνης ή διαλύματος, είτε μέσω αγωγών από την όχθη, είτε με την βοήθεια ενός ταχύπλου, είτε με ρίψη από αεροπλάνο. Η κατακρήμνιση αφορά ρίψη αλάτων σιδήρου (Fe), αλουμινίου ή ενώσεις ασβεστίου (Ca).
2. **Απομάκρυνση του φωσφόρου εκτός:** Πραγματοποιείται με την βοήθεια των παρακάτω μεθόδων:
 - ❖ Χημική κατακρήμνιση
 - ❖ Μονάδα επίπλευσης
 - ❖ Φίλτραση
 - ❖ Τεχνητοί Υγρότοποι
3. **Επεξεργασία του ιζήματος εντός:** Στόχος του μέτρου αυτού, είναι η βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου που θα έχει ως αποτέλεσμα, την μείωση του όγκου της ιλύος του πυθμένα, καθώς και την αποτροπή αναερόβιων συνθηκών στην περιοχή του πυθμένα, η οποία

συνδέεται με την επανατροφοδοσία της στήλης του νερού με φωσφορικά. Πραγματοποιείται με δυο τρόπους:

- ❖ Οξειδωση με νιτρικά
- ❖ Βιολογική επεξεργασία με περιοδικό τεχνητό αερισμό

4. Επεξεργασία του ιζήματος εκτός: Η απομάκρυνση του ιζήματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί, είτε με βυθοκόρο είτε με άντληση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του συγκεντρωμένου φωσφόρου που είναι ενσωματωμένος μέσα στο ίζημα, καθώς και όλων των οργανικών ενώσεων, αλλά και των βαρέων μετάλλων που βρίσκονται σε αυτό. Επίσης, επιφέρει και μια αύξηση του ωφέλιμου βάθους της λίμνης. Το μεγάλο μειονέκτημα είναι το κόστος, το οποίο αυξάνεται δραματικά εάν συνυπολογιστεί και η επεξεργασία – διάθεση της λάσπης. Το κόστος αυτό, είναι της τάξης των 100 €/m³ ιζήματος και είναι απαγορευτικό, δεδομένου ότι πρόκειται για άντληση-επεξεργασία-μεταφορά-διάθεση δεκάδων εκατομμυρίων m³ λάσπης. Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σοβαρές, δεδομένης της καταστροφής του βένθους του πυθμένα και των επιπτώσεων από την μεταφορά και διάθεση της λάσπης. Οι κυριότερες μέθοδοι επεξεργασίας του ιζήματος είναι οι εξής:

- ❖ **Ασβεστοποίηση:** Είναι η ανάμειξη της λάσπης με ασβέστη. Έχει την ικανότητα να αδρανοποιεί την λάσπη και να την καθιστά ικανή προς διάθεση.
- ❖ **Λιπασματοποίηση:** Με την βοήθεια διάφορων κλαδιών και φύλλων στην λάσπη, αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα την αποικοδόμηση μεγάλου μέρους του οργανικού φορτίου και την αδρανοποίηση αυτής. Υπό κατάλληλες όμως προϋποθέσεις η λάσπη μπορεί να χρησιμεύσει ως λίπασμα για τη γεωργία.

5. Τεχνητός αερισμός: Στοχεύει στην οξειδωση του οργανικού φορτίου και στην διατήρηση των αερόβιων συνθηκών στην περιοχή του πυθμένα της λίμνης. Επιτυγχάνεται με τις εξής μεθόδους:

- ❖ Άντληση νερού από τον βυθό προς την επιφάνεια
- ❖ Άντληση νερού από τον βυθό και τεχνητή οξυγόνωση
- ❖ Υποβρύχιος αερισμός μεσαίας και λεπτής φυσαλίδας
- ❖ Συσκευές νανοφυσαλίδας
- ❖ Σιντριβάνια

6. Τεχνητή ανάμιξη: Η τεχνητή ανάμιξη, πραγματοποιείται με αερισμό χονδρής φυσαλίδας.

7. Αλλαγή μορφολογίας με επιλεκτική εκβάθυνση: Αφορά στην αφαίρεση ιζήματος, αλλά τοπικά σε μικρής κλίμακας επεμβάσεις, όπου υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης της αρχικής μορφολογίας της λίμνης.

- ❖ Τοπικές εκβαθύνσεις (π.χ. γύρω από πηγές)
- ❖ Αφαίρεση τεχνητών μπαζωμάτων αστικών περιοχών
- ❖ Σταδιακή επαναφορά αρχικού σχήματος της όχθης της Λίμνης στις εκβολές των ρεμάτων.

- 8. Απομάκρυνση νερού βυθού με αντλία:** Ενδείκνυται η απομάκρυνση του φωσφόρου του πυθμένα, στην περίπτωση που δεν λαμβάνει χώρα η ανάμειξη είτε λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, είτε λόγω ισχυρών ανέμων. Εάν για παράδειγμα, υπάρχει κάποιο τεχνικό έργο, μικρό φράγμα ή υπερχειλιστής, χρησιμοποιείται για την υπερχείλιση της λίμνης, τότε η απομάκρυνση του νερού δεν γίνεται από χαμηλά, με αποτέλεσμα να υπάρχει συσσώρευση και παγίδευση του υλικού. Άλλοι τρόποι επίλυσης του προβλήματος είναι:
- ❖ Η αναδιαμόρφωση της διάταξης εξόδου
 - ❖ Η κατασκευή διάταξης σιφωνισμού, με ανοξείδωτο χαλυβδοσωλήνα και «sifon braker» στην έξοδο
- 9. Αραίωση με καθαρό νερό:** Δε συνιστά σημαντική απομάκρυνση φωσφόρου, αλλά μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο παραμονής και να συμβάλλει έτσι στην καταπολέμηση των έντονων φαινομένων ευτροφισμού.
- 10. Διαχείριση της υδρόβιας βλάστησης:** Μπορεί να υλοποιηθεί με τις παρακάτω δράσεις:
- ❖ Περιοδική κοπή των καλαμώνων
 - ❖ Προστασία και διατήρηση των μακρόφυτων
 - ❖ Καλλιέργεια νούφαρων
- 11. Μηχανική αντιμετώπιση των φυκών:** Θεωρητικά μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους παρακάτω τρόπους:
- ❖ Καταστροφή με χημικά
 - ❖ Καταστροφή με συσκευές υπερήχων
 - ❖ Απομάκρυνση με σαρωτή επιπλεόντων
 - ❖ Απομάκρυνση με επιφανειακή άντληση

Οι δύο πρώτοι μέθοδοι, θεωρούνται επικίνδυνοι για το ζωοπλαγκτόν και την ιχθυοπανίδα.

- 12. Επέμβαση στην τροφική αλυσίδα:** Είναι εφικτή με την εφαρμογή βιοχειρισμού, που έχει ως στόχο τη διαχείριση και την προστασία του ζωοπλαγκτού και επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση των πλαγκτονοφάγων ψαριών και ενίσχυση των σαρκοφάγων. Εδώ βέβαια, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στους εμπλουτισμούς με ιχθυοπληθυσμούς, ούτως ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα, όπως κάποιο ξενικό είδος σε ένα λιμναίο οικοσύστημα να επικρατήσει, έναντι κάποιου είδους τοπικού και να υπάρξει διατάραξη της τροφικής αλυσίδας.
- 13. Εφαρμογή νέων ημιεμπειρικών μεθόδων.** Οι μέθοδοι αυτές, είναι φιλοπεριβαλλοντικές και έχουν φέρει αποτέλεσμα σε περιπτώσεις μικρών οικοσυστημάτων. Χρειάζεται προσεκτικές αποφάσεις, οι οποίες εμπεριέχουν και κάποιο ρίσκο. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:
- ❖ Ενεργοί μικροοργανισμοί
 - ❖ Μέθοδος «Plocher»
 - ❖ Μέθοδος «Graviton»

6.3 Διαδικασία Επιλογής – Απόρριψης

Η διαδικασία επιλογής, απόρριψης και ιεράρχησης των μέτρων αντιμετώπισης των προβλημάτων της λίμνης, είναι ένα βασικό στάδιο πριν από την υποβολή προτάσεων και λήψης μέτρων. Όσον αφορά στα εξωλίμνια μέτρα, δεν τίθεται θέμα επιλογής-απόρριψης, διότι όλα τα μέτρα είναι αναγκαία, όλα έχουν αποτέλεσμα και μάλιστα προηγούνται της εφαρμογής των εσωλίμνιων μέτρων. Συνεπώς, για τα εξωλίμνια μέτρα, τίθεται θέμα μόνο ιεράρχησης, ανάλογα με την σημασία τους, αλλά και με τα δεδομένα ωριμότητας και χρονικού σχεδιασμού κάθε μέτρου. Όσον αφορά δε στα εσωλίμνια μέτρα, πρέπει να ληφθεί σοβαρά η αποτελεσματικότητα αυτών, η οποία διαφέρει σημαντικά από λίμνη σε λίμνη, καθώς και η αλληλεπίδραση σε επίπτωση ταυτόχρονης εφαρμογής δύο ή περισσότερων μέτρων. Η γερμανική οδηγία DWA – M606, παραπέμπει σε διαδικασίες απόρριψης-επιλογής, οι οποίες προήλθαν μετά από την μακροχρόνια εμπειρία εφαρμογής μέτρων σε λίμνες της Κεντρικής Ευρώπης, σε συνδυασμό με το επιστημονικό υπόβαθρο, όπως έχει εξελιχθεί την τελευταία δεκαετία. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση των συμπερασμάτων αυτών θεωρήθηκε βασικός γνώμονας για την επιλογή-απόρριψη εσωλίμνιων μέτρων με εφαρμογή την Λίμνη της Καστοριάς (Βουρνέλης, 2008).

6.4 Διαχείριση Καλαμώνων Λίμνης Καστοριάς

Η κατανόηση των οικολογικών λειτουργιών των καλαμώνων και η λήψη μέτρων για την προστασία τους έχει απασχολήσει σημαντικό αριθμό επιστημόνων και φορέων στο πλαίσιο πολυάριθμων ερευνητικών και διαχειριστικών προγραμμάτων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Δράσεις και προγράμματα διαχείρισης καλαμώνων έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια και στην Ελλάδα. Η διαχείριση των καλαμώνων, στοχεύει στη ρύθμιση αφενός των υδατικών παραμέτρων και αφετέρου της δομής και σύνθεσης της βλάστησης. Όσον αφορά στη διαχείριση της βλάστησης, οι δοκιμασμένες μέθοδοι μπορεί να στοχεύουν στη δημιουργία ή βελτίωση των καλαμώνων, στη διατήρησή τους σε κάποια επιθυμητή κατάσταση ή στη διαχείριση τμημάτων τους, με σκοπό την ανασύσταση ή δημιουργία συγκεκριμένων βιοτόπων όπως ανοικτές εκτάσεις νερού ή δημιουργία μωσαϊκού βλάστησης. Οι δοκιμασμένες πρακτικές στην τελευταία κατηγορία περιλαμβάνουν συνήθως περιοδική διαχείριση βασισμένη σε παραδοσιακές μεθόδους όπως κοπή, βόσκηση ή καύση της βλάστησης. Στις περιπτώσεις που οι διαχειριστικές πρακτικές απαιτούν τη χρήση μηχανημάτων, η πλέον συχνή μέθοδος είναι η εκσκαφή των επιφανειακών στρωμάτων του εδάφους και η απόθεσή τους μέσα ή κοντά στην περιοχή παρέμβασης.

Αντίθετα, η υπερβολική πύκνωση των καλαμώνων, μειώνει κατά πολύ τους χώρους αναζήτησης τροφής για τα πουλιά, καθώς στις περιοχές αυτές έχουν εκλείψει κάθε είδους θύλακες με ανοικτά νερά, περιοχές με πιο αραιή βλάστηση ή

με βλάστηση που βρίσκεται σε διάφορες φάσεις ανάπτυξης. Η υπερβολική πύκνωση επηρεάζει και τη φωλεοποίηση, καθώς η εξαιρετικά πυκνή υφή των καλαμιών δεν επιτρέπει την δημιουργία φωλιών ανάμεσα τους. Επίσης, η μείωση των εκτάσεων με νεροκάλαμα και η αντικατάστασή τους από συμπαγείς εκτάσεις με ψαθιά, αποθαρρύνει το φώλιασμα εξειδικευμένων ειδών στους καλαμώνες.

Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζεται με την υπερανάπτυξη των καλαμιών σε συγκεκριμένες ζώνες της λίμνης, τα οποία αφού στη συνέχεια νεκρωθούν και αποσυντεθούν, οδηγούν σε φαινόμενα ευτροφισμού.

Για αυτούς τους λόγους, προτείνεται η περιοδική διαχείριση/κοπή των καλαμώνων και κατ' επέκταση η απομάκρυνση βιομάζας, μέτρο το οποίο αποτελεί βασική διαχειριστική τακτική για την οργανική αποφόρτιση της λίμνης.

Το Σχέδιο διαχείρισης των καλαμιώνων (ΟΜΙΚΡΟΝ, 2012) διαχωρίζει την περιοχή σε πέντε διαχειριστικές μονάδες και ενότητες Βλάστησης:

- ❖ Διαχειριστική Μονάδα 1: Περιαστική ζώνη (Δημοτική Κοινότητα Καστοριάς, Τοπική Κοινότητα Δισπηλιού)
- ❖ Διαχειριστική Μονάδα 2: Περιοχή ρέματος Γκιόλε (Τοπική Κοινότητα Δισπηλιού)
- ❖ Διαχειριστική Μονάδα 3: Ανατολική παρόχθια ζώνη (Τοπικές Κοινότητες Μαυροχωρίου, Πολυκάρπης και Μεταμόρφωσης)
- ❖ Διαχειριστική Μονάδα 4: Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης (Εκβολές ρεμάτων στις περιοχές Τοιχιού, Βυσσινιάς και Φουντουκλή)
- ❖ Διαχειριστική Μονάδα 5: Περιοχές ιδιαίτερης οικολογικής αξίας και αναψυχής (Δημοτική Κοινότητα Καστοριάς).

Επιλεγμένες διαχειριστικές πρακτικές

Οι μέθοδοι που επιλέγονται και μπορούν να εφαρμοστούν στην περιοχή, είναι η κοπή των καλαμώνων (Χειμερινή και Καλοκαιρινή κοπή).

6.4.1 Χειμερινή Κοπή Καλαμώνων

Η περιοδική χειμερινή κοπή των καλαμώνων, επιτελεί τους εξής στόχους :

- ❖ Παράγει καλής εμπορικής ποιότητας στελέχη
- ❖ Επιβραδύνει τον ρυθμό διαδοχής από τον καλαμόνα προς τα χερσαία οικοσυστήματα
- ❖ Βοηθάει την άγρια ζωή διατηρώντας σε καλή κατάσταση τα συγκεκριμένου τύπου ενδιαιτήματά της.

Η χειμερινή κοπή, απομακρύνει μόνο τα νεκρά στελέχη του κοινού καλαμιού (*Phragmites australis*) αποσκοπώντας ουσιαστικά στην αναβάθμιση της ζωτικότητας του καλαμιώνα, αλλά και στη βελτίωση της ποιότητας των στελεχών του καλαμιού. Ωστόσο η χειμερινή κοπή δεν αφήνει εντελώς αδιατάρακτο το οικοσύστημα, καθώς οι καλαμώνες αποτελούν ενδιαίτημα για αρκετά είδη ασπόνδυλων μερικά από τα οποία είναι σπάνια και προστατευόμενα ακόμη και κατά τη χειμερινή περίοδο. Συνεπώς, κατά σχεδιασμό διαχείρισης των καλαμιώνων μιας περιοχής με χειμερινή κοπή θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να παραμένουν στον καλαμιώνα αρκετές επιφάνειες οι οποίες είτε θα μένουν εκτός διαχείρισης είτε θα διαχειρίζονται με κοπή μεγάλου περίτροπου χρόνου.

Η εποχή εφαρμογής της χειμερινής κοπής καθορίζεται από τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς σχετίζεται με την ξήρανση των στελεχών των καλαμιών. Σαφή ένδειξη για το παραπάνω, αποτελεί η πτώση των φύλλων των καλαμιών η οποία συμβαίνει συνήθως μετά τα μέσα Δεκεμβρίου. Για τη διευκόλυνση της πρόσβασης, τόσο των ειδικών κοπτικών μηχανημάτων όσο και του ειδικευμένου προσωπικού στον καλαμιώνα ίσως είναι επιθυμητή η πτώση της στάθμης του νερού εντός του καλαμιώνα, ώστε αυτή να καταστεί δυνατή η διεξαγωγή της κοπής. Σε περιοχές, όπου η φυσική υδροπερίοδος έχει ελάχιστο στάθμη στις αρχές ή στα μέσα του χειμώνα, ο προγραμματισμός της κοπής μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να συμπίπτει με αυτό το ελάχιστο. Σε άλλες περιπτώσεις, όπου υπάρχουν μηχανισμοί ελέγχου της στάθμης μπορεί να πραγματοποιείται ρύθμιση αυτής έτσι ώστε να διευκολύνεται η χειμερινή κοπή. Η επιθυμητή στάθμη, καθορίζεται από τις διαστάσεις και τον τύπο του χρησιμοποιούμενου κοπτικού μηχανήματος.

Η συχνότητα της κοπής, μπορεί να είναι: ετήσια, διετής ή μεγαλύτερου περίτροπου χρόνου (μεταξύ 3-15 ετών). Μετά την κοπή, καλό είναι να πραγματοποιείται απομάκρυνση των προϊόντων αυτής, καθώς έτσι μειώνεται ο ρυθμός εναπόθεσης οργανικής ύλης στον υγρότοπο και επακόλουθα μειώνεται η αύξηση του πάχους του οργανικού υποστρώματος στον καλαμιώνα, λειτουργώντας εξυγιαντικά για την ποιότητα του νερού του υγροτόπου (Δημαλέξης Α., 2004).

6.4.2 Καλοκαιρινή κοπή Καλαμιώνων

Η καλοκαιρινή κοπή των καλαμιώνων, έχει ως στόχο την μείωση της ζωτικότητας του καλαμιού, καθώς και της ανταγωνιστικότητας του σε σχέση με τα άλλα υδρόφυτα και την βελτίωση των συνθηκών του ενδιαιτήματος για την πανίδα (Husak, 1978). Με την καλοκαιρινή κοπή:

- ❖ Απομακρύνονται τα χλωρά τμήματα των φυτών, εκείνα δηλαδή που φωτοσυνθέτουν, εκμηδενίζοντας ταυτόχρονα τις αυξητικές δυνατότητες των ριζωμάτων

- ❖ Εάν η κοπή γίνεται κάτω από το νερό, μειώνει ακόμη περισσότερο τόσο τη ζωτικότητα του καλαμιού, όσο και αυτή των υπόλοιπων υδροφύτων του καλαμώννα
- ❖ Συνήθως αυξάνεται η χλωριδική ποικιλότητα του καλαμώννα
- ❖ Διατηρούνται και επεκτείνονται οι ελεύθερες επιφάνειες νερού στο εσωτερικό και τις παρυφές του καλαμώννα.

Η καλοκαιρινή κοπή, απομακρύνει το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας των υψηλών κυρίαρχων υπερυδατικών ειδών, υποβοηθώντας έτσι την βιοποικιλότητα του βιοτόπου μέσω της δημιουργίας καλύτερων συνθηκών αύξησης για τα υπόλοιπα υδρόφυτα και δημιουργώντας ελεύθερες επιφάνειες νερού. Σε παλιότερες εποχές, το καλοκαιρινό κόψιμο γινόταν από κτηνοτρόφους οι οποίοι αποθήκευαν τα κομμένα στελέχη ως ζωτροφή για το χειμώνα (Δημαλέξης Α., 2004). Η αποτελεσματικότητα της καλοκαιρινής κοπής στην αύξηση της βιοποικιλότητας, εξαρτάται από τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούν στο ενδιαίτημα την περίοδο της κοπής. Γενικά πάντως, η καλοκαιρινή κοπή ευνοεί τα υδροφυτικά είδη του καλαμώννα (εκτός από το καλάμι) τη σκίαση στο εσωτερικό του καλαμώννα, μειώνοντας τον ανταγωνισμό για θρεπτικά συστατικά και παρέχοντας διαθέσιμο χώρο αύξησης στα υπόλοιπα φυτά. Λόγω ακριβώς της ελάττωσης της ζωτικότητας του καλαμιού, η καλοκαιρινή κοπή δεν εφαρμόζεται σε καλαμώνες που διαχειρίζονται για εμπορική αξιοποίηση του καλαμιού, αλλά εφαρμόζεται συχνά σε προστατευόμενους φυσικούς υγροτόπους.

Σήμερα, το κόψιμο τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτελεί συνήθη πρακτική περιβαλλοντικής διαχείρισης, η οποία εφαρμόζεται για την αναβάθμιση της βιοποικιλότητας του καλαμώννα. Η κομμένη βιομάζα μπορεί είτε να μεταφέρεται εκτός του υγροτόπου, είτε να συσσωρεύεται σε σημεία εκτός του καλαμώννα για να αποσυντεθεί με φυσικό τρόπο. Μία άλλη μέθοδος χρήσης της καλοκαιρινής βιομάζας του καλαμιού που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια, είναι η παραγωγή οργανικού λιπάσματος ή φυτοχώματος μέσω της διαδικασίας κομποστοποίησης.

Η καλοκαιρινή κοπή των καλαμιών μπορεί να εφαρμόζεται είτε πάνω είτε κάτω από την επιφάνεια του νερού (Hawke et al., 1996).

Η καλοκαιρινή κοπή επάνω από την επιφάνεια του νερού εφαρμόζεται συνήθως σε καλαμώνες, οι οποίοι κατά τη θερινή περίοδο παραμένουν ακάλυπτοι από νερό είτε καλύπτονται από νερό πολύ μικρού βάθους. Η μέγιστη αποτελεσματικότητα της θερινής κοπής, επιτυγχάνεται όταν η περίοδος εφαρμογής της συμπίπτει με την περίοδο της αύξησης του καλαμιού (Απρίλιος - Ιούλιος), ενώ ικανοποιητικά αποτελέσματα επιτυγχάνονται συνήθως μέχρι και τις αρχές του Φθινοπώρου (Σεπτέμβριος). Λόγω του ότι η περίοδος αύξησης του καλαμιού (Απρίλιος – Ιούλιος) συμπίπτει με την αναπαραγωγική περίοδο των περισσότερων ειδών της υγροτοπικής πανίδας, σε προστατευόμενους φυσικούς υγροτόπους η περίοδος καλοκαιρινής κοπής, συνήθως μετατίθεται κατά 1-2 μήνες. Πέραν όμως

τούτου, η πρώιμη κοπή του καλαμιού (Απρίλιος - Ιούλιος) δεν ενδείκνυται, καθώς αφήνει χρόνο στο καλάμι για να αναπτυχθεί και πάλι, οπότε μπορεί να απαιτηθεί και δεύτερη ή και τρίτη κοπή εντός του ίδιου έτους (Hawke et al., 1996).

Κατά το έτος εκκίνησης ενός προγράμματος καλοκαιρινής κοπής, είναι σκόπιμο, για να μειωθεί η βιομάζα του καλαμιού που θα παραμείνει στον υγρότοπο τα επόμενα χρόνια, να πραγματοποιηθούν και μία ή περισσότερες επαναληπτικές κοπές. Με αυτό τον τρόπο, έπειτα από αρκετά χρόνια ετήσιας καλοκαιρινής κοπής, η βιομάζα του καλαμιού μειώνεται σε τέτοιο βαθμό που δεν είναι πια απαραίτητη η συλλογή και απομάκρυνση των κομμένων στελεχών.

Η εφαρμογή καλοκαιρινής κοπής πάνω από την επιφάνεια του νερού επιτρέπει την απομάκρυνση του υπερυδατικού τμήματος των στελεχών το οποίο είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο αποτελεσματική από αυτήν που γίνεται κάτω από την επιφάνεια όσον αφορά τον έλεγχο της κυριαρχίας του καλαμιού έναντι των υπόλοιπων υδροφυτικών ειδών. Έτσι, σε πολλές περιοχές επιλέγεται συνδυασμός των δύο μεθόδων, ενώ σε θέσεις με βαθύ σχετικά νερό προτιμότερη είναι η δεύτερη μέθοδος.

Η καλοκαιρινή κοπή κάτω από την επιφάνεια του νερού, επιτρέπει τον έλεγχο της υπερυδατικής βλάστησης, χωρίς να απαιτείται στράγγιση ή μείωση της στάθμης του νερού στην υπό διαχείριση θέση. Με αυτό τον τρόπο, μειώνονται οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η συγκεκριμένη μορφή διαχείρισης στην πανίδα του υγροτόπου, αφού δεν απαιτούνται αλλαγές στην υδροπερίοδο αυτού. Η μέθοδος αυτή, μπορεί να εφαρμοστεί για κοπή τόσο από τις παρυφές του καλαμώνα, (αυξάνοντας έτσι τις ελεύθερες επιφάνειες νερού), όσο και στο εσωτερικό του (δημιουργώντας ανοικτές επιφάνειες εντός του καλαμώνα) (Hawke et al., 1996).

Η εφαρμογή καλοκαιρινής κοπής κάτω από την επιφάνεια του νερού επιτρέπει τα ακόλουθα:

- ❖ Απομάκρυνση του υπερυδατικού τμήματος των στελεχών το οποίο είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση,
- ❖ Παρεμπόδιση της παροχής οξυγόνου στα ριζώματα και επομένως αναστολή της αύξησής τους και
- ❖ μείωση της παραγωγής νέων βλαστών κατά την επόμενη αυξητική περίοδο.

Η παραπάνω μέθοδος, χρησιμοποιείται για τη δημιουργία νέων μόνιμων ελεύθερων επιφανειών νερού εντός ή στις παρυφές καλαμώνων, έτσι ώστε να αυξηθεί η αναλογία παρυφών/εσωτερικού, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για πολλά είδη ψαριών, υδρόβιων ασπόνδυλων, φυτών και πτηνών. Ο σχεδιασμός του προγράμματος κοπής, πρέπει να είναι προσανατολισμένος προς την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην πανίδα του υγροτόπου (ΟΜΙΚΡΟΝ, 2012).

6.5 Μέτρα Διαχείρισης Λίμνης Ορεσιτιάδας

Η διαχείριση των υδάτων της λεκάνης απορροής της Λίμνης Ορεσιτιάδας, είναι υπόθεση της διαχείρισης τόσο της ποσότητας όσο και της οικολογικής ποιότητας τους. Με την οδηγία 2000/60/ΕΕ, οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα, η χώρα μας υποχρεώθηκε στη λήψη μίας σειράς μέτρων και δράσεων, με σκοπό τη προστασία και τη βελτίωση όλων των οικοσυστημάτων γλυκού νερού.

Οι παρεμβάσεις που θα πραγματοποιηθούν, θα προχωρούν πέρα από τα θέματα της ποιότητας των υδάτων, στη διασφάλιση της υγείας των υδάτινων οικοσυστημάτων και την αιεφορική χρήση τους, εμποδίζοντας τη ρύπανση, αποκαθιστώντας τη βιοποικιλότητα, βελτιώνοντας τη κατάσταση και τη λειτουργία των ποταμών, των λιμνών, των εκβολών, των υπογείων και των παράκτιων υδάτων. Ο απώτερος σκοπός, είναι όλα τα ύδατα της κοινότητας, να φτάσουν σε μια καλή οικολογική και χημική κατάσταση το ταχύτερο δυνατό.

Για την ορθολογική ποιοτική και ποσοτική διαχείριση των υδατικών πόρων σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60 έχει εκδοθεί η υπ' αριθμό Ε.Γ. οικ.107 ΦΕΚ 181/Β' /31-01-14 Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων με την οποία έλαβε χώρα η έγκριση του σχεδίου διαχείρισης για το υδατικό διαμέρισμα 09 της Δυτικής Μακεδονίας.

Σύμφωνα με την παρ. 1 του Άρθρου 11 (Πρόγραμμα Μέτρων) της Οδηγίας 2000/60: *«Κάθε κράτος μέλος μεριμνά για τη θέσπιση, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή για το τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκεται εντός της επικράτειας του, προγράμματος μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων που απαιτούνται δυνάμει του άρθρου 5 (Χαρακτηριστικά της περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος), προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που καθορίζονται δυνάμει του άρθρου 4 (Περιβαλλοντικοί Στόχοι). Τα εν λόγω προγράμματα μέτρων μπορούν να αναφέρονται σε μέτρα που προκύπτουν από νομοθεσία, η οποία έχει θεσπισθεί σε εθνικό επίπεδο, και καλύπτουν το σύνολο της επικράτειας κράτους μέλους. Κατά περίπτωση, ένα κράτος μέλος μπορεί να θεσπίζει μέτρα που ισχύουν για όλες τις περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού ή/και τα τμήματα διεθνών περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκονται στην επικράτεια του».*

Κάθε πρόγραμμα μέτρων περιλαμβάνει τα "βασικά" μέτρα και, όπου απαιτείται, "συμπληρωματικά" μέτρα. Τα βασικά μέτρα, αποτελούν τις στοιχειώδεις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται, προκειμένου να επιτευχθούν οι Περιβαλλοντικοί Στόχοι του Άρθρου 4 της Οδηγίας. Στην πλειοψηφία τους, αφορούν σε προληπτικές ενέργειες για την προστασία των Υδατικών Συστημάτων. Τα Βασικά Μέτρα, εφόσον είναι υποχρεωτικά, εφαρμόζονται «οριζόντια» σε όλα τα ΥΣ του Υδατικού διαμερίσματος. Τα συμπληρωματικά μέτρα, εφαρμόζονται επιπλέον των βασικών σε συγκεκριμένα Υδατικά Συστήματα, τα οποία ακόμη και μετά από την

εφαρμογή των βασικών μέτρων, κινδυνεύουν να μην επιτύχουν τους Περιβαλλοντικούς Στόχους.

Για την ορθολογική διαχείριση της ποιότητας και της ποσότητας, είναι πολύ σημαντικό να παρακολουθούνται συστηματικά τα νερά της λίμνης και να υπάρχουν δεδομένα που θα μας δείχνουν τις γενικότερες τάσεις και όχι μόνο τις εποχιακές μεταβολές.

Όσον αφορά στην είσοδο φερτών υλικών στη λίμνη, επισημαίνεται ότι συντελείται η υποβάθμισή της, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η χωρητικότητά της και υποβαθμίζεται η ποιότητα των νερών.

Σήμερα, τα δεδομένα σχετικά με την ποσότητα των ιζημάτων που καταλήγουν στη λίμνη δεν είναι επαρκή. Για το λόγο αυτό, στο Διαχειριστικό Σχέδιο της Λίμνης Ορεστιάδας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μιας έρευνας το 2015, προτείνεται η συστηματική παρακολούθηση των φυσικοχημικών, βιολογικών και οικολογικών παραμέτρων, αλλά και η παρακολούθηση της μεταβολής του βάθους της λίμνης, ώστε να προσδιοριστεί το ποσό των φερτών υλικών που καταλήγουν στη λίμνη και η επίδραση που έχουν στην ποιότητα των νερών. Είναι απαραίτητο, προτού γίνει οποιαδήποτε ενέργεια συγκράτησης φερτών υλικών, να προσδιοριστεί πως αυτά επηρεάζουν το βυθό, αλλά και την υδάτινη στήλη της λίμνης.

Έχουν ήδη εντοπιστεί τα βασικά προβλήματα και στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί η προσέγγιση για την επιλογή των συγκεκριμένων προτεραιοτήτων δράσης για τα θέματα διαχείρισης των υδάτων στο πλαίσιο του Σχεδίου Διαχείρισης που διαμορφώνεται. Οι προτεραιότητες αυτές, καλύπτουν τα παρακάτω θεματικά πεδία τα οποία είναι η ενίσχυση των υποδομών διαχείρισης των λυμάτων της περιοχής, υιοθετώντας λύσεις εφικτές, σχετικά απλές στην εφαρμογή τους και οικονομικά βιώσιμες, η ενίσχυση της υποδομής και των εργαλείων παρακολούθησης των υδάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από την Οδηγία 2000/60, για τη «Θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», καθώς και η συστηματική διερεύνηση της ροής φερτών υλών προς τη λίμνη και της επίδρασης που προκύπτει, ώστε να διαπιστωθούν μελλοντικές τυχόν προτάσεις αντιμετώπισης του θέματος.

Η γνώση του μηχανισμού λειτουργίας, της τροφοδοσίας και άλλων υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων της λίμνης είναι στοιχεία που πρέπει να ερευνηθούν και να κατανοηθούν με ακρίβεια, γιατί είναι απαραίτητα στον προσδιορισμό και σύνταξη εκείνων των τεχνικών έργων που έχουν σκοπό την προστασία και διατήρηση της λίμνης και των φυσικών λειτουργιών της (Τσόμπος, 2011).

6.5.1 Περιορισμός χρήσης λιπασμάτων / φυτοφαρμάκων στις αγροτικές Καλλιέργειες

Οι αγροτικές καλλιέργειες στη λεκάνη απορροής στη Λίμνη Καστοριάς, υφίστανται επί μακρό χρονικό διάστημα εντατική λίπανση και εισαγωγή φυτοφαρμάκων προς αύξηση της παραγωγής και την αντιμετώπιση των ασθενειών που απειλούν τα καλλιεργήσιμα φυτά. Αποδεικνύεται ωστόσο, ότι η πρακτική της υπέρ-διοχέτευσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων δρα αρνητικά, όχι μόνο στο περιβάλλον της περιοχής (εισαγωγή των ουσιών στον υδροφόρο ορίζοντα, τη λίμνη και την ατμόσφαιρα) και τη δημόσια υγεία, αλλά και στην ίδια την ανάπτυξη των καρπών, αφού τα επιπλέον θρεπτικά συστατικά, ευνοούν την ανάπτυξη του δενδρώδους ιστού και όχι την περαιτέρω ανάπτυξη των καρπών.

Μία πρόταση που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι η **Γεωργία Ακριβείας** που αποτελεί μία νέα αντίληψη για τη γεωργία και ταυτοχρόνως μία νέα μέθοδος γεωργικής πρακτικής. Σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες, τα πρώτα βήματα του νέου αυτού διατομεακού και πολυεπιστημονικού γεωργικού κλάδου έχουν ήδη γίνει, ενώ όλο και πιο προηγμένες τεχνικές βρίσκουν συνεχώς έδαφος για εφαρμογή.

Η γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture), αποτελεί ένα σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων, που στηρίζεται στη διαχείριση των εισροών σε ένα αγρό σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Τα συστήματα της γεωργίας ακριβείας, στηρίζονται στις δυνατότητες που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες για την αναγνώριση της χωρικής-χρονικής παραλλακτικότητας των αναγκών της καλλιέργειας και την ανάπτυξη συστημάτων μεταβλητών παροχών των εισροών. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους αγροτικής παραγωγής, όπου οι εισροές παρέχονται ενιαία στον αγρό, θεωρώντας ότι υπάρχει μια αποδεκτή ομοιογένεια στις εδαφολογικές ιδιότητες και τη γονιμότητα του εδάφους, την εδαφική υγρασία, τους πληθυσμούς των ζιζανίων και των εντόμων, και τα χαρακτηριστικά των φυτών, η γεωργία ακριβείας διαχειρίζεται τον αγρό σε μικρότερες περιοχές (διαχειριστικές ζώνες) που εμφανίζουν μια σχετική ομοιομορφία που ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Με τη γεωργία ακριβείας διαχειριζόμαστε αποτελεσματικότερα την τοπική παραλλακτικότητα ενός αγρού με στόχο:

- ❖ Την αύξηση της απόδοσης της παραγωγής.
- ❖ Τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.
- ❖ Την ορθολογική και αποτελεσματικότερη χρήση των χημικών εισροών.
- ❖ Τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας.
- ❖ Την προστασία του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

6.5.2 Επεμβάσεις στον πρωτογενή τομέα

Ο πρωτογενής τομέας της περιοχής μελέτης μας, που αφορά κυρίως τους τομείς της κτηνοτροφίας και της γεωργίας, συμβάλλει και αυτός σε αξιόλογο βαθμό στην πρόκληση περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ασκούν «πίεση» στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης, με την παραγωγή ρυπαντικών φορτίων. Για την αποφυγή των επιδράσεων από τους τομείς αυτούς, προτείνονται τα εξής:

- ❖ Ορθολογική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων
- ❖ Προώθηση και εφαρμογή εναλλακτικών γεωργικών καλλιεργειών, με μικρότερες ή μηδενικές ανάγκες σε χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (π.χ. χρήση βιολογικών καλλιεργειών)
- ❖ Απαγόρευση ή σημαντικός περιορισμός χειμερινής λίπανσης, λόγω αυξημένης απορροής των επιβλαβών ουσιών στη λίμνη
- ❖ Σχολαστικός έλεγχος για την πλύση των βυτιοφόρων των φυτοφαρμάκων και κατασκευή σταθμού πλύσης τους.

6.5.3 Υδατικοί πόροι

Οι στόχοι των υδατικών πόρων, είναι η διατήρηση του υδρολογικού ισοζυγίου, η εξασφάλιση καλής ποιότητας νερών σε ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη, η παρακολούθηση της ποιότητας των νερών της λίμνης και των μεταβολών που υφίσταται με το χρόνο. Οι διαχειριστικές επιλογές που μπορούν να εφαρμοστούν είναι να υπάρχει σταθερός έλεγχος της μεταβολής της χωρητικότητας της λίμνης και επιπλέον να είναι δυνατή η παρακολούθηση της ποσότητας και της ποιότητας των ιζημάτων που καταλήγουν στη λίμνη της Καστοριάς (Οίκος, 2004).

6.6 Δράσεις Διαχείρισης

6.6.1 Διαχείριση Λυμάτων

Για τη προστασία της ποιότητας των υδάτων της λίμνης και των υδάτινων αποδεκτών, που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής της απαιτούνται σειρά δράσεων που στόχο έχουν την οργάνωση της διαχείρισης των λυμάτων από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης.

6.6.2 Καθορισμός της βέλτιστης «εποχικής» στάθμης για τη Λίμνη της Καστοριάς

Αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας για τη τοπική κοινωνία, ο καθορισμός των «βέλτιστων στάθμεων» και η θεσμοθέτηση τους για την ασφαλή οικοσυστημική λειτουργία της λίμνης στην ολότητα της (φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον).

Στο Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας, που εγκρίθηκε με την Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων αριθμ. Ε.Γ. οικ.107 ΦΕΚ 181/Β'/31-01-14, στα μέτρα για την αντιμετώπιση αρνητικών επιπτώσεων στην κατάσταση επιφανειακών υδάτινων συστημάτων από υδρομορφολογικές αλλοιώσεις, περιλαμβάνεται η δυνατότητα «Προσδιορισμού της κατώτερης στάθμης λιμνών (κωδικός μέτρου ΟΜ08-02)».

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον καθορισμό της ανώτερης και κατώτερης στάθμης της λίμνης είναι:

1. Διασφάλιση της οικολογικής στάθμης (ποιοτικής και ποσοτικής) του λιμναίου οικοσυστήματος.
2. Απαιτούμενη οικολογική παροχή, στους ποταμοχειμάρους του υδρολογικού συστήματος της προστατευόμενης περιοχής
3. Προστασία και διατήρηση του λιμναίου και χερσαίου περιβάλλοντος
4. Διατήρηση των υφιστάμενων ενδιαιτημάτων της πανίδας και των ειδών χλωρίδας. Εκτίμηση πιθανής βελτίωσης της σύνθεσής τους, ιδίως των ειδών εκείνων που συναρτώνται άμεσα με το υδάτινο στοιχείο (π.χ. υδρόβια είδη και ψάρια)
5. Διατήρηση της φυσικότητας - αντιπροσωπευτικότητας της λίμνης Καστοριάς
6. Διασφάλιση του κύκλου του νερού, εμπλουτισμού της υπόγειας υδροφορίας και ελαχιστοποίηση των όποιων ρυπαντικών διαδικασιών
7. Βιώσιμη ανάπτυξη μέσω οργάνωσης, διαχείρισης, ανάδειξης των υδατικών πόρων
8. Η χρήση των νερών για ύδρευση – άρδευση
9. Διάνοιξη γεωτρήσεων
10. Αθλητικές δραστηριότητες
11. Απαιτήσεις πολιτισμικού περιβάλλοντος (π.χ. λιμναίος οικισμός Δισπηλιού)
12. Επαγγελματική και ερασιτεχνική αλιεία
13. Διακίνηση σκαφών (για τουριστικούς λόγους, για αλιεία, για λόγους αναψυχής και για ναυαγοσωστικούς σκοπούς)
14. Χρήση της παρόχθιας ζώνης για αναψυχή και κολύμβηση
15. Απαιτήσεις βιομηχανικών και σταβλικών εγκαταστάσεων
16. Απρόσκοπτη λειτουργία των έργων υποδομής στην περιοχή
17. Διασφάλιση της αντιπλημμυρικής προστασίας των παραλίμνιων περιοχών

18. Τρόπος σύνδεσης των χρήσεων/δραστηριοτήτων, που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση με τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης

6.6.3 Αποκατάσταση καλής ποιότητας νερού

Τα μέτρα που πρέπει να εφαρμοστούν, προκειμένου να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας των υδάτων είναι τα εξής:

- ❖ Περιμετρική φύλαξη της λίμνης, συνεργασία με το Δασαρχείο, την αστυνομία, περιβαλλοντικές οργανώσεις και συλλόγους. Οργάνωση εθελοντικών ομάδων φύλαξης και πάταξης της παρανομίας
- ❖ Πρόγραμμα περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης. Αναφέρεται σε αγρότες για τη χρήση των φυτοφαρμάκων, σε πολίτες και σχολεία για τη μείωση της αστικής ρύπανσης και σε κτηνοτροφικούς συνεταιρισμούς

Όσον αφορά τα μέτρα που πρέπει να εφαρμοστούν για την αστική ρύπανση είναι τα εξής:

- ❖ Εντοπισμός παράνομων αποχετευτικών αγωγών και σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο με έξοδα των ιδιοκτητών τους. Δικαστική επίλυση του προβλήματος με κινητοποίηση των εισαγγελικών αρχών. Επίλυση προβλήματος παράνομης διάθεσης υγρών αποβλήτων
- ❖ Έκθεση και διερεύνηση της σωστής λειτουργίας του αποχετευτικού συστήματος και του συστήματος όμβριων υδάτων από τη ΔΕΥΑΚ. Σε περίπτωση προβληματικής λειτουργίας, απαιτείται η αντιμετώπιση των προβλημάτων και η αποκατάσταση του δικτύου χωρίς απώλειες. Επίλυση προβλήματος κακής λειτουργίας του αποχετευτικού δικτύου και της ευκαιριακής διάθεσης υγρών αποβλήτων στη λίμνη
- ❖ Υποχρεωτική σύνδεση όλων των νοικοκυριών και των παραλίμνιων οικισμών με τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού
- ❖ Διερεύνηση της ρύπανσης από τα πλωτά μέσα (δύχρονοι κινητήρες, αλλαγή λαδιών, βαφές και συντηρήσεις). Δημιουργία ειδικής μονάδας συντήρησης και αλλαγής λαδιών εκτός λίμνης. Υιοθέτηση κινητήρων μη ρυπογόνων τόσο χημικά, όσο και θερμικά ή ηχορρυπαντικά. Προώθηση παραδοσιακών σκαφών. Η νηολόγηση των βαρκών, ώστε να υπάρχει αρχείο με τις βάρκες και τους ιδιοκτήτες τους, και ευδιάκριτη πινακίδα του αριθμού κυκλοφορίας τους, ώστε να διευκολυνθεί η διαχείριση της ρύπανσης από τα πλωτά
- ❖ Πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης στα σχολεία για τη χρήση μη μηχανοκίνητων μέσων, για τη μη ρύπανση και προστασία της λίμνης. Δράσεις δημοσιότητας του προβλήματος

- ❖ Εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου προγράμματος για την ορθολογική χρήση ρυπογόνων ουσιών (φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων) ανά στρέμμα και ανά καλλιέργεια υπό την επίβλεψη γεωπόνου (μελέτη, εφαρμογή, παρακολούθηση - έλεγχος αγοράς).
- ❖ Επιδότηση βιολογικών καλλιεργειών στις παραλίμνιες εκτάσεις, και προώθηση της διάθεσης πιστοποιημένων βιολογικών προϊόντων με το σήμα του Φ.Δ

6.6.4 Επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των παραλίμνιων οικισμών

Μέχρι την έναρξη λειτουργίας της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού της πόλης της Καστοριάς που έγινε το έτος 1992, η διάθεση του συνόλου των υγρών αστικών αποβλήτων, κατέληγε ανεπεξέργαστο στη λίμνη. Είναι προφανές, ότι η χρονική περίοδος πριν την λειτουργία της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού, προκάλεσε σοβαρότατη επιβάρυνση της λίμνης με οργανικό ρυπαντικό φορτίο και ανόργανα θρεπτικά συστατικά. Το γεγονός αυτό, οδήγησε σε υπερσυσσώρευση ρυπαντικού φορτίου, το οποίο εκδηλώνει την υπολειμματική του παρουσία ακόμα και σήμερα στον πυθμένα της λίμνης, αρκετά χρόνια μετά τη λειτουργία του Βιολογικού Καθαρισμού. Η κατάσταση αυτή, προκάλεσε όπως ήταν αναμενόμενο, προβλήματα και στην ιχθυοπανίδα της λίμνης και οδήγησε στη μείωσή της, ακόμη και στην απειλή εξαφάνισης ειδών. Ωστόσο, η έναρξη της λειτουργίας του Βιολογικού Καθαρισμού Καστοριάς, ανέκοψε την εισαγωγή του ρυπαντικού φορτίου στη λίμνη, με εμφανή στη συνέχεια θετικά αποτελέσματα στο οικοσύστημά της.

Πρέπει να ληφθεί μέριμνα και για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από μικρότερους οικισμούς (ποσοστό 4,6% του πληθυσμού).

Απαιτείται, επίσης, έλεγχος και διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του δικτύου σύνδεσης των αστικών λυμάτων όλων των παραλίμνιων οικισμών με τον βιολογικό καθαρισμό, έτσι ώστε να εκμηδενιστεί η πιθανότητα εισαγωγής φορτίων θρεπτικών από αστικά λύματα.

6.6.5 Στερεά απόβλητα

Η επιβάρυνση της λίμνης με ρυπαντικό φορτίο στερεών αποβλήτων (τόσο εντός όσο και εκτός αστικού ιστού), μπορεί να αποφευχθεί με:

- ❖ Την απαγόρευση ρίψης απορριμμάτων (η οποία σημειώνεται ότι έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια, λόγω της συνεχούς περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης των πολιτών αλλά και των διαχειριστικών λύσεων που εφαρμόζονται πλέον για τα στερεά απόβλητα)
- ❖ Επιμελή και τακτικό καθαρισμό της παρόχθιας ζώνης
- ❖ Συγκράτηση φερτών υλικών
- ❖ Εσχάρωση όμβριων υδάτων
- ❖ Έλεγχο παράνομου μπαζώματος της λίμνης (ANKO, 2010)

6.6.6 Όμβρια αστικά ύδατα

Παρατηρείται ότι είναι αρκετά σημαντική και η εισροή όμβριων αστικών υδάτων (με σχετικά υψηλό ρυπαντικό φορτίο) από τον αστικό ιστό της πόλης της Καστοριάς, εντός της λίμνης. Απαιτείται επομένως, διαχείριση των όμβριων αστικών υδάτων, ώστε να επέλθει μείωση ρυπαντικού φορτίου(ΑΝΚΟ, 2010).

Η διαχείριση των αστικών όμβριων επιτυγχάνεται με:

- ❖ Εκτροπή των αστικών όμβριων υδάτων
- ❖ Την αντικατάσταση αδιαπέρατων επιφανειών (μπετόν, ασφαλτικά) με διαπερατές επιφάνειες (λιθόστρωτα, χαλίκια, πράσινο) και
- ❖ Την υποχρεωτική κατασκευή διαπερατών επιφανειών στην Παρόχθια Ζώνη

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε. (2008). Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Μακεδνών. Αναπτυξιακή Δυτικής Μακεδονίας Α.Ε.
2. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε. (2010). Επιχειρησιακό σχέδιο εξυγίανσης, προστασίας & ανάδειξης λίμνης Καστοριάς.
3. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε. (2010). Επιχειρησιακό σχέδιο εξυγίανσης, προστασίας & ανάδειξης λίμνης Καστοριάς.
4. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε. (2013). Εκτέλεση δημόσιων δασοτεχνικών έργων ορεινής υδρονομίας σε τμήμα της λεκάνης του υδατορέματος της Βυσσινιάς (Κ.Α.11.05.03) στην περιοχή του Δήμου Καστοριάς της Π.Ε Καστοριάς.
5. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε. (2013). Εκτέλεση δημόσιων δασοτεχνικών έργων ορεινής υδρονομίας σε τμήμα της λεκάνης του υδατορέματος Ξηροποτάμου (Κ.Α.11.05.07) στην περιοχή του Δήμου Καστοριάς της Π.Ε Καστοριάς και Δήμου Αμυνταίου της Π.Ε Φλώρινας.
6. ΑΝ.ΚΟ Α.Ε.(2011). Διευθέτηση κοίτης ρέματος Γκιόλε Λίμνης Καστοριάς.
7. Αντωνόπουλος, Β. (2010). Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Τζιόλα: Θεσσαλονίκη, σ. 675.
8. Βασιλικιώτης, Γ., & Φυτιανός Κ., (1986). Μέθοδοι ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος. ΑΠΘ, σ. 238.
9. Βαφειάδης, Π. (1983). "Υδρολογική Μελέτη της Λεκάνης Καστοριάς" (Διδακτορική Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας.

10. Βουρνέλης, Ε. (2008). Λίμνη της Καστοριάς. Ρυπογόνες πηγές και μέτρα αντιμετώπισης τους. Παρουσίαση σε Ημερίδα με τίτλο : «Λίμνη της Καστοριάς και φιλοπεριβαλλοντικές μέθοδοι γεωργίας», Πολυκάρπη, Καστοριά, 23 Νοεμβρίου 2008.
11. Γιαννέλη, Χ., (2009). Υδρογεωλογική έρευνα λεκανών του ελληνικού χώρου. Παράδειγμα από τη λεκάνη Αγίων Αναργύρων (Καστοριά).
12. Δημαλέξης, Α., Μαντζαβέλλας, Α., & Συνεργάτες. (1997). Μελέτη Διαχείρισης Καλαμώνων - Χλωρίδας της Λίμνης Καστοριάς". Αναπτυξιακή Καστοριάς Α.Ε.
13. Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη. ECOS Μελετητική ΕΠΕ, ΑΝ.ΚΑΣ. ΑΕ. (1997). Πρόγραμμα αντιμετώπισης ειδικών περιβαλλοντικών προβλημάτων, οριοθέτηση του υδροβιότοπου λίμνης Καστοριάς και ευρύτερης περιοχής του.
14. Κατωπόδης, Ν., Ιβανον, V., & Webb, P. (2009). Επίπτωση των κλιματικών αλλαγών στη μορφολογία εκβολών ποταμών και υδροβιότοπων. Πρακτικά του 1^{ου} Κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών, Τόμος Ι, σελ. 1-10, Βόλος.
15. Κουϊμτζής, Θ. Α., Φυτιάνου, Κ., & Σαμαρά, Κ. (1998). Χημεία περιβάλλοντος. *Εκδόσεις Επιστημονικών βιβλίων και περιοδικών University Studio Press, Θεσσαλονίκη.*
16. Κουσουρή, Θ. Σ. (1998). Το νερό στη φύση, στην ανάπτυξη, στην προστασία του περιβάλλοντος. Μονογραφίες θαλασσίων επιστημών. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, 188.
17. Μουστάκα-Γούνη, Μ. (2000). Διερεύνηση υδροβιολογικών παραμέτρων στη λίμνη Καστοριάς. Επιλογή βέλτιστης μεθόδου αποκατάστασης της οικολογικής ισορροπίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας.
18. Νταρακάς, Ε. (2010). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). *Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, σ. 22.*
19. Νταρακάς, Ε., & Καθηγητής, Ε. (2010). Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.*
20. Ντάφης, Σ., Παπαστεργιάδου, Ε., Λαζαρίδου, Ε., Τσιαφούλη, Μαρία. (2001). Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ).
21. ΟΙΚΟΣ-Διαχείριση Φυσικού Περιβάλλοντος ΕΠΕ. (2004). Εκπόνηση Διαχειριστικού Σχεδίου Λίμνης Παμβώτιδας Ιωαννίνων.
22. Ομάδα Εθελοντών Επιστημόνων Λίμνης Καστοριάς. (2008). Προτάσεις Προστασίας και Εξυγίανσης Λίμνης Καστοριάς.
23. ΟΜΙΚΡΟΝ ΕΠΕ. (2012). Επικαιροποίηση Σχεδίου Διαχείρισης Καλαμώνων Λίμνης Καστοριάς.

24. Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, Ε. (1998). Ρύπανση υπογείων και επιφανειακών νερών από φυτοπροστατευτικά προϊόντα. *Εξελίξεις σε Ελλάδα και Ευρώπη. Πρακτικά 2ης Πανελλήνιας Συνάντησης Φυτοπροστασίας, Λάρισα, 5-7.*
25. Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, Ε., (ΑΠΘ), «Σπυρίδης, Α., -Κούταλου, Β., Ο.Ε. – ΥΕΤΟΣ», Περλέρος, Β., Λιονής Μ., Λεβογιάννης Μ. (2013). Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας.
26. Πολίτη, Τ. (2011). *Συμβολή στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων που περιέχουν υδρογονάνθρακες με τη χρήση τροποποιημένων γεωργικών καταλοίπων* (Master's thesis).
27. Στάμος, Α. (2002). Έκθεση διερεύνησης των υδρογεωλογικών συνθηκών για τη βελτίωση της υδρευτικής κατάστασης στο Δήμο Άργους Ορεστικού Καστοριάς. ΙΓΜΕ.
28. Στάμος, Α. (2004). Συμπληρωματικά υδρογεωλογικά στοιχεία για την πηγή Μπουζμπουνάρ, της μελέτης Υδρογεωλογική αναγνώριση Δ. Καστοριάς Ν. Καστοριάς. ΙΓΜΕ.
29. Στάμος, Α. (2005). Υδρολογική - Υδρογεωλογική Μελέτη της Λίμνης της Καστοριάς -Προτάσεις εμπλουτισμού. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
30. Ταταρίδου, Α. (2007). Προσομοίωση της ποιότητας των υδάτων ποταμών και υδατορρευμάτων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σ. 278.
31. Τολίκας, Δ., Μυλόπουλος, Γ. (2000). “Προσδιορισμός παροχών, φερτών υλών και ποιότητας του νερού των χειμάρρων-ρεμάτων της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Διερεύνηση τάσεων και εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων μείωσης φόρτου”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
32. Τσόμπος, Π. & Συνεργάτες, (2011). Εκπόνηση Βυθομετρικών και ιζηματολογικών ερευνών στον πυθμένα της λίμνης Καστοριάς. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
33. Φυτιάνος, Κ. (1996). Η ρύπανση των θαλασσών. β' έκδοση. University press, Θεσσαλονίκη 1996, 83-85.
34. Ψιλοβίκος Α., & Ψιλοβίκος Α. (2010). Ιζηματολογία. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. σ. 358.
35. Ψιλοβίκος, Α. (2014). Οικοϋδραυλική. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. 307-412.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Albers, J. (2006). Interaction of Color [1963]. *New Haven: Yale University*.
2. Bachand, P. A., & Horne, A. J. (1999). Denitrification in constructed free-water surface wetlands: I. Very high nitrate removal rates in a macrocosm study. *Ecological Engineering, 14*(1-2), 9-15.
3. Barco, J.W., Adams, M. & Clesceri, N. (1986). Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation. *J. Aquat. Plant Manag., 24*, 1-10.
4. Carlson, R., & Simpson, J. (1996). A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society, 96 pp.
5. Castro P. & Huber M. (1999), Θαλάσσια βιολογία (απόδοση στα ελληνικά: Κούκουρας Α., Βουλτσιάδου Ε.), University studio press, Θεσσαλονίκη, σελ. 89, 119-120, 280.
6. Christoffersen, K. (1996). Ecological implications of cyanobacterial toxins in aquatic food webs. *Phycologia 35*: 42–50.
7. Cole, G.A. (1953). Textbook of Limnology. Mosby Co. St. Louis, 401 pp.
8. Cole, G.A. (1975). Textbook of Limnology. Mosby.
9. Dillon, D. (1975). The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario: The importance of flushing rate relative to the degree of eutrophy of a lake. *Limnology & Oceanography, Vol. 20*, 28-39 pp.
10. Dodson, S. I., Lillie, R. A., & Will-Wolf, S. (2005). Land use, water chemistry, aquatic vegetation, and zooplankton community structure of shallow lakes. *Ecological Applications, 15*(4), 1191-1198.
11. ENGSTROM-O' ST, J., AND OTHERS. 2002. Effects of toxic cyanobacteria on a plankton assemblage community development during decay of *Nodularia spumigena*. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 232*: 1–14.
12. Hawke, S., Stevenson, P. G., Freeman, S., & Bangham, C. R. (1998). Long-term persistence of activated cytotoxic T lymphocytes after viral infection of the central nervous system. *Journal of Experimental Medicine, 187*(10), 1575-1582.
13. Hutchinson, G.E., 1957. A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. New York: John Wiley & Sons. 1115 pp.
14. Jokiel, C., & Loucks, D. (1997). Water-Quality prediction and management, In: *Water Resources Environmental Planning Management and Development*, Ed. Biswas A. K., McGraw-Hill, Ch. 7: 249-262.
15. Jorgensen B. & Richardson K. (1996). Eutrophication: definition, history and effects in eutrophication in coastal, marine ecosystems, coastal and estuarine studies, Elsevier.
16. Kagalou, I., & Psilovikos, A. (2014). Assessment of the typology and the trophic status of two Mediterranean lake ecosystems in Northwestern Greece. *Water resources, 41*(3), 335-343

17. Karydis, M., & University of the Aegean, Lesvos I.(Greece). Department of Environmental Studies; University of the Aegean, Lesvos I.(Greece). Department of Environmental Studies. (2009, December). Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review. In *Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology* (Vol. 1). University of the Aegean, Chania(Greece).
18. Katsiapi, M., Moustaka-Gouni, M., Vardaka, E., & Kormas, K. A. (2013). Different phytoplankton descriptors show asynchronous changes in a shallow urban lake (L. Kastoria, Greece) after sewage diversion. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 182(3), 219-230.
19. Kormas, K. A., Vardaka, E., Moustaka-Gouni, M., Kontoyanni, V., Petridou, E., Gkelis, S., & Neofitou, C. (2010). Molecular detection of potentially toxic cyanobacteria and their associated bacteria in lake water column and sediment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(8), 1473-1482.
20. Koukouzas, N., Vasilatos, C., Itskos, G., Mitsis, I., & Moutsatsou, A. (2010). Removal of heavy metals from wastewater using CFB-coal fly ash zeolitic materials. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 581-588.
21. Koussouris, T., Diapoulis, A., Photis, G. (1985). Development and protection of the inland water of Greece. Lake Kastoria. Technical report 108. Spec. Publ. IOKAE, 10, 1985.
22. Mantzafleri, N., Psilovikos, A., & Blanta, A. (2009). Water quality monitoring and modeling in Lake Kastoria, using GIS. Assessment and management of pollution sources. *Water resources management*, 23(15), 3221-3254.
23. Matzafleri, N., Margoni, S., & Psilovikos, A. (2009). Assessment of water quality monitoring data in Lake Kastoria, Western Macedonia, Greece. In *Proc. 2nd Intern. Conf. Environ. Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE)*(pp. 725-730).
24. Moustaka-Gouni, M., Kormas, K. A., Vardaka, E., Katsiapi, M., & Gkelis, S. (2009). *Raphidiopsis mediterranea* Skuja represents non-heterocytous life-cycle stages of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju in Lake Kastoria (Greece), its type locality: evidence by morphological and phylogenetic analysis. *Harmful Algae*, 8(6), 864-872.
25. Moustaka-Gouni, M., Vardaka, E., & Tryfon, E. (2007). Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady-state dominance of *Limnithrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia*, 575(1), 129-140.
26. Moustaka-Gouni, M., Vardaka, E., Michaloudi, E., Kormas, K. A., Tryfon, E., Mihalatou, H., ... & Lanaras, T. (2006). Plankton food web structure in a eutrophic polymictic lake with a history in toxic cyanobacterial blooms. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2), 715-727.

27. Naumann, E. (1929). The scope and chief problems of regional limnology. *International Review of Hydrobiology*, 22(1), 423-444.
28. Pearson, J. (1978). Fish management at Skinner lake. *Dep. Nat. Res. Div. Fish and Wild 1. Indian*. 18, 1978.
29. Pinet, P. (2000). *Introduction to oceanography*. 2nd Edition. Jones & Barlett publishers, Sudbury Massachusetts, p.405-409.
30. Ruttner, F. (1963). *Fundamentals of Limnology*. Toronto, Univ. Press, 295 pp.
31. Smith, VH (2006). Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography* 51: 377-384.
32. Smith, VH, Tilman, GD & Nekola, JC. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environ Pollut* 100: 179-196.
33. Strickland, J. D. H., and Parsons, T.R. (1968). A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Board Can.* 167: 1–311.
34. Tryfon, E., & Moustaka-Gouni, M. (1997). Species composition and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. In *Lake Prespa, Northwestern Greece* (pp. 61-75). Springer, Dordrecht.
35. Tryfon, E., Moustaka-Gouni, M., & Nikolaidis, G. (1997). Planktic cyanophytes and their ecology in the shallow Lake Mikri Prespa, Greece. *Nordic Journal of Botany*, 17(4), 439-448.
36. Vardaka, E., Moustaka-Gouni, M., & Lanaras, T. (2000). Temporal and spatial distribution of planktic cyanobacteria in Lake Kastoria, Greece, a shallow, urban lake. *Nordic Journal of Botany*, 20(4), 501-511.
37. Vollenweider, R.A. (1968). Scientific fundamentals of the eutrophication of Lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Rep. OECD, DAS/CSI/6287, Paris, 192 pp.
38. Vollenweider, R.A. (1975). Input-Output Models with Special References to the Phosphorus Loading Concept in Limnology , Schweiz. Z. Hydrol., 37 (1), 53-84.
39. Welch, P. (1952). *Limnology*. McGraw-Hill Publ., N.Y., 538 pp.
40. Wetzel, R. (1975). *Limnology*. W.B. Saund., Co. 743 pp.
41. Wetzel, R. (1983). *Limnology*. CBS Coll. Publ., USA, 848 pp.
42. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press, San Diego, CA.
43. Wetzel, R.G. (1990). Limnology. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *VerhIntVerLimnol* 24:6-24.
44. Wool, T., Ambrose, R., Martin, J., & Comer, E. (2001). *Water Quality Analysis Simulation (WASP) Version 6.0 Draft: User's Manual*, US EPA.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. <http://www.virtualsciencefair.org>
2. <https://travelphoto.gr/en/prespes-limni-kastorias/>

ABSTRACT

“Water quality investigation of Lake Kastoria (Orestiada)”

Water is one of the most valuable natural resources of the earth. It is the most important factor for growth, healthy living, and life itself. Without water, life is unthinkable. So, as water quality, it is defined as the set of characteristics that make water acceptable for its desirable use as water for drink, irrigation, industry, bathing and living aquatic plants and animal organisms. Lake Kastoria, also known as Lake Orestiada, is in Region of Western Macedonia and is a natural, shallow lake with signs of eutrophication. The Lake of Kastoria is designated as Special Conservation Area with code "GR 1320001" and as Special Protection Area with code "GR 1320003". It is also protected by regulations, directives and international conventions such as the Natura 2000 European Ecological Network, which hosts natural habitat types and habitat types that are important at European level. The purpose of this study was to investigate the quality characteristics prevailing in the waters of Lake Orestiada, as well as to investigate the state of eutrophication. Thus, for this purpose, water quality control has been carried out, which includes the determination and control of certain parameters, parameters of quality or otherwise of the pollution parameters. The charge of water depends on a huge number of pollutants, so the number of parameters could be unlimited. However, there is a choice of parameters to be considered, based on the control objectives, the intended use, or the incidence of a pollutant. The parameters that used to characterize water quality are therefore organoleptic parameters, physicochemical parameters, pollution control parameters, toxic parameters, biological parameters and microbiological parameters. These parameters are considered, in order to know their origin, i.e. the reactions that take place, the impact of their presence on the environment, and how they are addressed.

Key words: Lake Orestiada, eutrophication, water quality, quality characteristics