



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

---



## **ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΡΝΑ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΗΡΥΚΟΥ ΣΤΑΜΑΤΟΥΛΑ**

**ΧΑΝΙΑ 2006**



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

# **ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΡΝΑ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΚΗΡΥΚΟΥ ΣΤΑΜΑΤΟΥΛΑ**

Επιβλέπων :

Δρ Γ. Σταυρουλάκης  
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης:

Δρ Κώππη Μελίνα  
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)  
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας      **1**

*Αφιερώνεται στον καθηγητή μου  
Δρ. Γεώργιο Σταυρουλάκη*

## Πρόλογος

Αιώνες πριν, το νερό ήταν ένα αγαθό, το οποίο, παρότι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου, θεωρούνταν ότι ήταν ανεξάντλητο και ήταν αυτονόητο ότι δεν θα χρειαζόταν ποτέ να ασχοληθεί η ανθρωπότητα περαιτέρω για την βελτίωση της ποιότητάς του και γενικότερα για την εξασφάλιση του ποιοτικού του επιπέδου.

Ωστόσο σήμερα το νερό ως φυσικό αγαθό χρήζει μεγάλης προσοχής και προστασίας από τον άνθρωπο δεδομένου ότι, είναι ο κύριος καταναλωτής του και ασφαλώς διότι είναι ο κύριος υπεύθυνος για την παρατηρούμενη ρύπανση και μόλυνσή του. Οι φυσικές ισορροπίες, που αφορούν στα γενικότερα χαρακτηριστικά του νερού, είναι εύκολο να διασαλευτούν όταν υπάρχει απερίσκεπτη επέμβαση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον, κάτι το οποίο δυστυχώς, συμβαίνει πολύ συχνά.

Μεταξύ των παραγόντων που ευθύνονται για την ανατροπή των φυσικών ισορροπιών που καθορίζουν την ποιότητα του νερού είναι η περιεκτικότητα σε ανόργανα και οργανικά συστατικά καθώς και η συγκέντρωση μικροοργανισμών πολλά από τα οποία προέρχονται από δραστηριότητες του ανθρώπου.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να διερευνηθεί η ποιοτική κατάσταση του νερού της λίμνης του Κουρνά. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε 2ετές πρόγραμμα δειγματοληψιών και αναλύσεων δειγμάτων νερού από 5 διαφορετικά σημεία της λίμνης. Έγινε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προκειμένου να διευκρινιστεί το επίπεδο επιβάρυνσης των υδατικών πόρων της λίμνης και τέλος προτείνονται διαχειριστικά μέτρα για την προστασία της.

Η πτυχιακή εργασία αναπτύχθηκε σε εννέα κεφάλαια. Το 1<sup>ο</sup> αναφέρεται στην Γένεση-Σχηματισμό Λιμνών, το 2<sup>ο</sup> στην Ταξινόμηση Λιμνών, το 3<sup>ο</sup> στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Νερού, το 4<sup>ο</sup> στις Λίμνες της Ελλάδος, το 5<sup>ο</sup> στην Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης – Λίμνη Κουρνά, το 6<sup>ο</sup> στην Εθνική Νομοθεσία, το 7<sup>ο</sup> Υλικά και Μέθοδοι Μετρήσεων, το 8<sup>ο</sup> Αποτελέσματα, το 9<sup>ο</sup> Συζήτηση.

Ωστόσο, η εργασία αυτή δεν θα ολοκληρωνόταν χωρίς την συνεισφορά ανθρώπων που προσέφεραν ανιδιοτελώς την βοήθειά τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους :

Σταυρουλάκη Γεώργιο, Καθηγητή του ΤΕΙ Κρήτης, εισηγητή και επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας, για την καθοδήγησή του, τις χρήσιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας,

Κωνσταντίνα Τυροβολά, Υποψήφια διδάκτορα, Εργαστηριακό Συνεργάτη του ΤΕΙ Κρήτης για τη καθοδήγησή της, τις συμβουλές της και τη στήριξη της σε θέματα που με απασχόλησαν κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης αυτής της πτυχιακής εργασίας,

Κατσίβελα Ελευθερία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ΤΕΙ Κρήτης, για τις συμβουλές και τη συμπαράστασή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δ/ση Αλιείας της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Χανίων και ιδιαίτερα την κα. Μαργαρίτα Μπαρμπούνη τόσο για τις μετακινήσεις μου στην λίμνη Κουρνά όσο και για την παροχή φωτογραφικού υλικού, καθώς επίσης και τους συμφοιτητές μου, Στέφανο Τζινευράκη για την παροχή βιβλιογραφικών δεδομένων και τη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, Μιχάλη Αναστόπουλο για τη αμέριστη συμπαράστασή του, Δημήτρη Κουτουλάκη για τις προτάσεις και την συμπαράστασή του, το φίλο μου Νίκο για την κατανόηση του.

ΣΤΑΜΑΤΟΥΛΑ Δ. ΚΗΡΥΚΟΥ

Χανιά, Μάιος 2006

**Abstract**

Kournas Lake is the only natural freshwater lake in Crete, Greece. In this study data are presented for the limnological characteristics of Kournas Lake and the spatial and temporal-variations are interpreted. Water samples from five sites in Kournas Lake were collected at a twenty-day interval from December 2001 until March 2002. Ammonium ions, nitrate ions, chloride ions, phosphate, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and coliform populations were measured. The lowest concentrations were found for ammonium, and nitrate ions, phosphate, BOD and in Faecal coliforms. Chloride ions, COD and Total coliforms exceeded the EU directives (98/83). The chloride ions concentration was prominent and showed that during dry months it increased due to intrusion of seawater whereas during winter months chloride decreased as a result of dilution. COD was high probably because of the organic and inorganic compounds that were not degradable. BOD<sub>20</sub> was higher during the wet months. In general high numbers of coliforms were found and there is a high probability that other pathogenic bacteria or organisms might have been present. This study should be extended to cover the tourist season as well. Only then it will be possible to have a complete view of the temporal changes in water quality in Kournas Lake.

**Keywords:** Kournas Lake, water quality, limnological characteristics, monitoring, EU directives, Crete, Greece.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	σελ. 5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
1.1 ΓΕΝΕΣΗ -ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΙΜΝΩΝ.....	σελ.6
1.1.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ.....	σελ.6
1.1.2 ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ .....	σελ.7
1.1.3 ΠΑΓΕΤΩΔΩΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ.....	σελ.7
1.1.4 ΛΙΜΝΕΣ ΑΛΛΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	σελ.7
1.1.5 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ, ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.....	σελ.9
1.2 Η ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΖΩΝΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΛΙΜΝΗ.....	σελ.10
1.2.1 ΠΥΘΜΕΝΙΚΗ ΖΩΝΗ.....	σελ.10
1.2.2 ΠΕΛΑΓΙΚΗ ΖΩΝΗ.....	σελ. 11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΛΙΜΝΩΝ .....	σελ.12
2.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	σελ. 12
2.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ .....	σελ.12
2.2.1 ΕΥΤΡΟΦΙΚΕΣ, ΟΛΙΓΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ.....	σελ. 13
2.2.2 ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΙΜΝΑΙΑ ΔΙΑΔΟΧΗ.....	σελ. 15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ</b>	
3.1 ΘΟΛΟΤΗΤΑ.....	σελ. 20
3.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	σελ. 22
3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (pH) .....	σελ. 23
3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	σελ. 24
3.5 ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (C.O.D) .....	σελ. 24
3.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (B.O.D).....	σελ. 26
3.7 ΑΖΩΤΟ.....	σελ. 29
3.7.1 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	σελ. 31
3.7.2 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	σελ. 32
3.8 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	σελ. 33
3.9 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (TOTAL ΚΑΙ FECAL COLI FORMS).....	σελ. 34
3.10 ΙΟΝΤΑ ΧΛΩΡΙΟΥ.....	σελ.36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
<b>ΛΙΜΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ</b>	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ. 38
4.2 ΦΥΣΙΚΟ – ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΜΟΛΥΝΣΗΣ.....	σελ. 38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ</b>	
5.1 ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	σελ. 45
5.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ.....	σελ. 46
5.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	σελ. 46
5.4 ΚΛΙΜΑ.....	σελ. 47
5.5 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	σελ. 48
5.6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ.....	σελ. 50
5.7 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	σελ. 52
5.8 ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ.....	σελ. 52
5.9 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΡΝΑ.....	σελ.53
5.10 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	σελ. 54

## 5.11 Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

ΚΟΥΡΝΑ.....	σελ. 55
5.12 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	σελ. 56
5.13 ΚΙΝΔΥΝΟΙ – ΑΠΕΙΛΕΣ.....	σελ. 57

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΕΘΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

6.1 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΡΝΑ.....	σελ. 58
---	---------

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	σελ. 61
7.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑΣ.....	σελ. 63
7.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	σελ. 64
7.4 ΜΕΤΡΗΣΗ Ph.....	σελ. 64
7.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	σελ. 65
7.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ.....	σελ. 65
7.6.1 C.O.D CELL TEST MERCK 14540 ΚΑΙ C.O.D CELL TEST MERCK 14560.....	σελ. 65
7.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ.....	σελ. 67
7.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 70
7.8.1 NITRATE CELL TEST MERCK 14563.....	σελ. 70
7.8.2 NITRATE REAGENT TEST MERCK 09713.....	σελ. 71
7.9 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 71
7.9.1 AMMONIUM CELL TEST MERCK 14739.....	σελ. 73
7.9.2 AMMONIUM REAGENT TEST MERCK 14752.....	σελ. 73
7.10 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 74
7.10.1 PHOSPHATE CELL TEST MERCK 14543.....	σελ. 74
7.10.2 PHOSPHATE REAGENT TEST MERCK 14848.....	σελ. 75
7.11 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	σελ. 75
7.12 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΟΝΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΥ.....	σελ. 77

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	σελ. 79
8.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΟΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	σελ. 79
8.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	σελ. 79
8.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ pH ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	σελ. 80
8.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	σελ. 80
8.5 ΜΕΤΑΒΟΛΗ C.O.D ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ.....	σελ. 81
8.6 ΜΕΤΑΒΟΛΗ BOD <sub>5</sub> ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ.....	σελ. 81
8.7 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 81
8.8 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 81
8.9 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	σελ. 82
8.10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΚΟΠΡΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΑΝΘΡΑΚΩΔΕΩΣ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΟΕΙΔΩΝ.....	σελ. 82
8.11 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΟΛΙΚΩΝ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΟΕΙΔΩΝ.....	σελ. 82
8.12 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΥ.....	σελ. 82

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	σελ. 97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 99

## Εισαγωγή

Αποτελεί κοινή διαπίστωση ότι το νερό αποτελεί το πολυτιμότερο φυσικό αγαθό για τον άνθρωπο. Στην σύγχρονη εποχή οι έρευνες που σχετίζονται με το νερό έχουν στραφεί, εκτός από τις έρευνες που γίνονταν παλαιότερα με κύριο σκοπό την ανεύρεση νερού, και προς την κατεύθυνση της ποιοτικής ανάλυσης νερού. Αυτό συμβαίνει αφενός μεν διότι υπάρχει ανάγκη για οικονομία λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της υπέρμετρης κατανάλωσης, αφετέρου δε διότι η επέμβαση του ανθρώπου έχει επηρεάσει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού. Βεβαίως, η αλλαγή των χαρακτηριστικών του νερού δεν οφείλεται μόνο στην άμεση επέμβαση του ανθρώπου στις φυσικές πηγές νερού αλλά και σε έμμεσες αιτίες που περιλαμβάνουν και την μεταφορά ρυπογόνων ουσιών παραγόμενων από τον άνθρωπο προς τις πηγές του νερού, και τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Το νερό είναι απαραίτητο για τη ζωή των ανθρώπων, τόσο γιατί αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής, όσο γιατί αποτελεί μια από τις απαραίτητες πρώτες ύλες της πρωτογενούς παραγωγής, όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία και της δευτερογενούς παραγωγής όπως είναι η βιομηχανία. Αποδεικνύεται ότι το νερό, ως φυσικός πόρος που συμμετέχει σε κάθε παραγωγική και αναπτυξιακή διαδικασία έχει εισέλθει δυναμικά και προσδιορίζει πλέον τη δυνατότητα ή την αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων καθορίζοντας και την αποδοτικότητα τους. Συγχρόνως καθώς ο πληθυσμός της γης αυξάνεται και η παραγωγή αγαθών αναπτύσσεται και εντατικοποιείται το νερό γίνεται συνεχώς πολυτιμότερο.

Το νερό, το υψίστης σημασίας αγαθό για τον άνθρωπο θεωρείται επικίνδυνο γι' αυτόν όταν δεν λαμβάνονται μέτρα για να πληρεί ορισμένους όρους υγιεινής. Την επί σειρά ετών έλλειψη του μικροβιολογικού ελέγχου του υδάτινου περιβάλλοντος, η ανθρωπότητα πλήρωσε πολύ ακριβά. Εκατομμύρια άνθρωποι έπεσαν θύματα σοβαρών υδατογενών λοιμώξεων. Ακόμα και σήμερα που είναι γνωστή η σημασία της μικροβιολογικής καθαρότητας του νερού για την δημόσια υγεία, ο αριθμός των υδατογενών λοιμώξεων εξακολουθεί να είναι μεγάλος. Είναι γνωστό ότι στις χώρες του τρίτου κόσμου αποτελούν την πρώτη αιτία θανάτου των παιδιών. Οι υδατογενείς αυτές λοιμώξεις οφείλονται στην παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών οι οποίοι, εισερχόμενοι στο νερό μέσω των λυμάτων, επιβιώνουν, παρά το ολιγοτροφικό-αφιλόξενο υδάτινο περιβάλλον, άλλοτε μικρό, άλλοτε μεγάλο χρονικό διάστημα και μεταδίδουν τα διάφορα υδατογενή νοσήματα με ποικίλους τρόπους όπως με κατάποση, επαφή, εισπνοή υδατοσταγονιδίων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 ΓΕΝΕΣΗ - ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΙΜΝΩΝ

Οι υδάτινοι όγκοι ταξινομούνται βάσει της μακροχρόνιας επεξεργασίας από την οποία έχουν δημιουργηθεί. Όλες σχεδόν οι φυσικές λίμνες σχηματίστηκαν από κλιμακωτά ή καταστροφικά γεωλογικά γεγονότα και συνήθως ανανεώνονται ή εκλείπουν από παρόμοιες διαδικασίες. Από γεωλογικής άποψης, οι φυσικές λίμνες είναι εφήμερες και η γεωλογική τους προέλευση μπορεί να καθορίσει το ρυθμό που εξελίσσονται και να προβλέψει μια ενδεχόμενη εξαφάνιση. Η διαδικασία μπορεί να πάρει αρκετό διάστημα. Ο τρόπος γένεσης μιας λίμνης έχει καθοριστικό ρόλο στα έμβια όντα που θα εγκατασταθούν και αναπτυχθούν σε αυτήν καθώς και στη μετέπειτα εξέλιξη της.

Αρχική προϋπόθεση για να γεννηθεί μια λίμνη είναι να σχηματιστεί μια ύφεση στην επιφάνεια της γης με όχθες αρκετά υψηλές ώστε να μπορεί να συγκρατηθεί νερό. Οι περισσότερες λεκάνες απορροής των λιμνών έχουν δημιουργηθεί από σταδιακά γεγονότα όπως παγετώδεις διαδικασίες ή παραμορφώσεις του φλοιού της γης. Κάποιες συνέπειες απότομων καταστροφικών γεωλογικών γεγονότων είναι οι σεισμοί, οι εκρήξεις ηφαιστειών ή η καθίζηση εδάφους. Έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις όπου λίμνες δημιουργήθηκαν και εξαφανίστηκαν με γρήγορο ρυθμό.

Οι λίμνες που υπάρχουν σε μια περιοχή συνήθως δημιουργούνται από τα ίδια φυσικά αίτια. Είναι επομένως σχετικά εύκολο να ομαδοποιηθούν σε λιμναίες περιφέρειες. Παρόλο που οι λίμνες σε αυτή τη περιφέρεια έχουν ίδια χαρακτηριστικά, το σχήμα της λεκάνης μπορεί να τις διαφοροποιεί. Η καθηγήτρια G. Evelyn Hutchinson παρατήρησε ότι η ποικιλία του ενιαίου συνόλου δίνει ιδιαίτερη γοητεία στη λιμνολογία και κατέληξε σε μια λεπτομερή ταξινόμηση των λιμνών βασιζόμενη σε φυσικά αίτια δημιουργίας. Η απλοποιημένη μορφή αναφέρεται παρακάτω σε κατηγορίες τεκτονικών, ηφαιστειακών, παγετωδών και άλλων παραγόντων όπως καθίζηση εδάφους, διάλυση ασβεστόλιθου φυσικές παραλιακές δραστηριότητες, οργανική συσσώρευση, επίδραση πανίδας, μετεωρίτες και διάβρωση ανέμων ή ποταμών [8].

### 1.1.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Οι λίμνες τεκτονικής προέλευσης σχηματίστηκαν από βαθιές κινήσεις του φλοιού της γης με εξαίρεση τα ηφαιστεια. Οι περισσότερες αποτελούν συνέπεια γεωλογικών σφαλμάτων. Υπάρχουν δύο κατηγορίες. Εκείνες που συνδέονται με απλά σφάλματα και άλλες με πολλαπλά. Οι λεκάνες απορροής της πρώτης κατηγορίας προέρχονται από κοιλώματα που προκαλούνται από την κλίση του εδάφους, ενώ της δεύτερης συνδέονται με μεγάλες κοίλες περιοχές που βρίσκονται ανάμεσα σε παρακείμενα γεωλογικά σφάλματα. Οι περισσότερες παλιές, βαθιές και οι μεγαλύτερες λίμνες του κόσμου έχουν τεκτονική προέλευση. Το μέγεθος της λίμνης εξαρτάται από τη σπουδαιότητα του σφάλματος και το ποσό της ιλύος που έχει συγκεντρωθεί από τη δημιουργία της.

Ένας άλλος τύπος τεκτονικών λιμνών οφείλεται στην ανύψωση τμήματος του επιπέδου της θάλασσας. Ο τρίτος τύπος τεκτονικών λεκανών σχηματίστηκε όταν το βύθισμα ή ύψωμα του φλοιού της γης αντιστρέφει το υπάρχον σύστημα αποστράγγισης [8].

### 1.1.2 ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Οι λίμνες που σχηματίστηκαν από ηφαιστειακή δραστηριότητα απαντώνται σε πολλές περιοχές της γης. Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι οι λίμνες - κρατήρες. Οι καλδέρες σχηματίζονται από ηφαιστειακούς κώνους μετά την εκτόξευση του μάγματος. Οι λίμνες που συνδέονται με ηφαιστειακή δράση όχι όμως από τους κρατήρες, δημιουργήθηκαν από τη φραγή μιας περιοχής από λάβα. Άλλη μια περίπτωση είναι η εξέλιξη μιας λεκάνης που σχηματίστηκε από λάβα, εξ' αιτίας της διαφοράς ψύξης που ακολουθεί μετά από έκρηξη [8].

### 1.1.3 ΠΑΓΕΤΩΔΩΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Η παγετώδης δραστηριότητα έχει γίνει η πιο σημαντική αιτία δημιουργίας. Οι περισσότερες λεκάνες λιμνών σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της Πλειστόκαινου εποχής όταν οι παγετώνες κάλυπταν τη μεγαλύτερη επιφάνεια της γης. Όταν έλιωσαν οι παγετώνες η συλλογή του νερού έγινε στις λεκάνες σχηματίζοντας τις λίμνες.

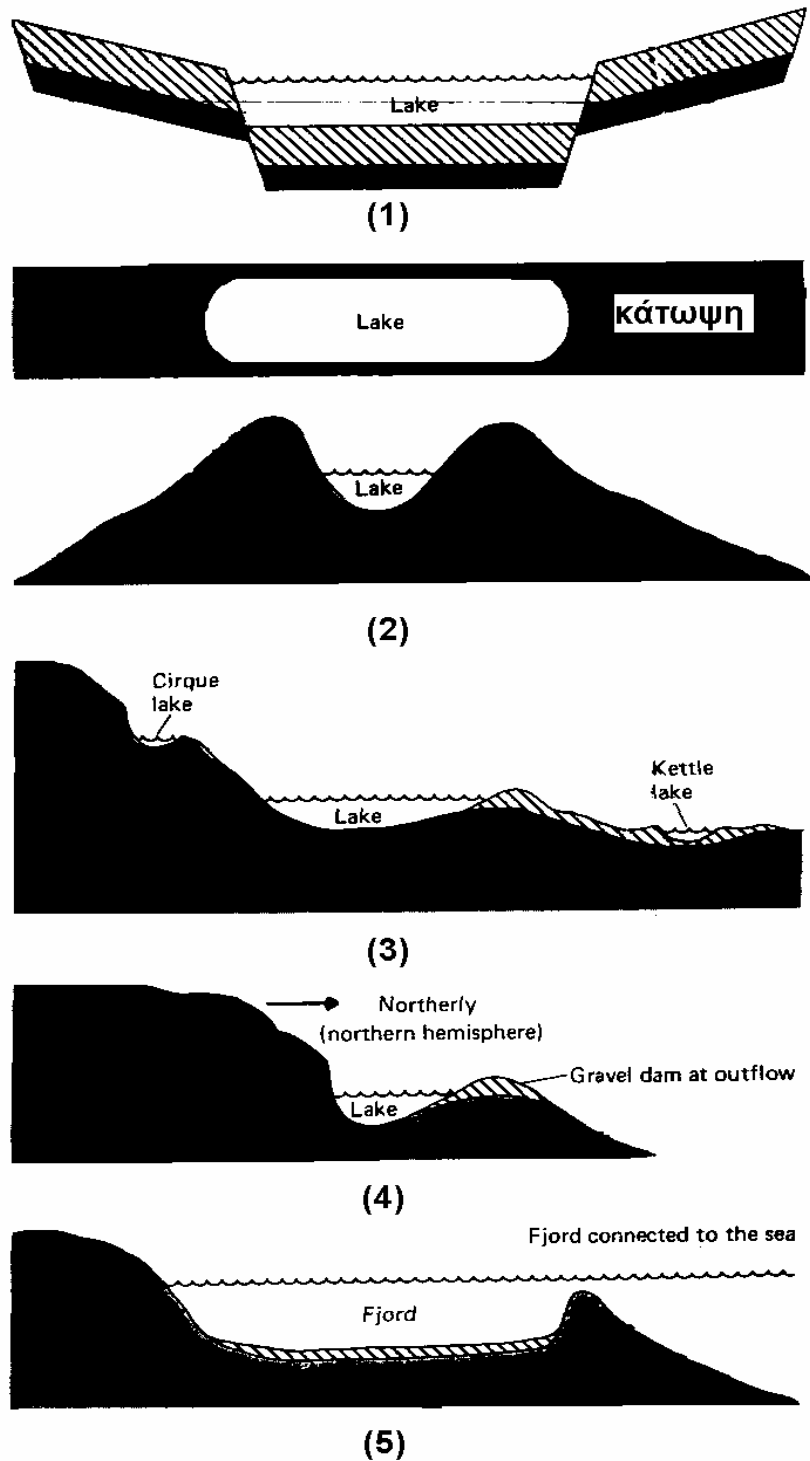
Ένας τύπος που απαντάται σε πολλά μέρη είναι οι ημικυκλικές ή αμφιθεατρικές λίμνες που συνήθως βρίσκονται στις κορυφές των παγετωδών περιοχών εφάπτονται σε βουνά με απότομη κλίση. Αυτές οι λίμνες συνήθως είναι βαθύτερες κοντά σε βράχους και πιο ρηχές στην έξοδο. Εκεί, το νερό φράζεται από τα ερείπια των παγετώνων που σχηματίζουν ένα μικρό φράγμα. Οι βράχοι διαβρώνονται από μικρές κατηφορικές κινήσεις των παγετώνων. Αυτή η κατάσταση επιδεινώνεται από τη συνεχή πήξη και τήξη που μπορεί ακόμα και να σπάει το βράχο [8].

### 1.1.4 ΛΙΜΝΕΣ ΑΛΛΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Οι λίμνες διάλυσης είναι αυτές που προήλθαν από τη διάλυση ευδιάλυτων βράχων από αραιά οξέα. Αποτελούν συνέπεια κατάρρευσης σπηλαίων και είναι συνήθως μικρές και απότομες. Οι ασβεστόλιθοι είναι συνήθως ευπαθείς σε αυτές τις καταστάσεις. Αρκετοί διαφορετικοί τύποι λιμνών έχουν σχηματιστεί από πλημμύρες ποταμών ή πεδιάδων. Οι πιο γνωστές είναι οι κεκλιμένες ή ελικοειδείς λίμνες οι οποίες δημιουργήθηκαν όταν στη καμπή ενός ελικοειδούς ποταμού συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα ιλύος.

Από το προηγούμενο αιώνα τεράστιες λίμνες έχουν δημιουργηθεί ανά τον κόσμο για παραγωγή ενέργειας, αρδεύσεις, έλεγχο πλημμυρών και παροχή πόσιμου νερού. Στους περισσότερους από τους κύριους ποταμούς έχουν κατασκευαστεί φράγματα και στους υπόλοιπους συνεχώς συζητάται αυτό το θέμα [8].

Αφού σχηματιστεί η λίμνη αποκτά μια νέα ιδιότητα που είναι η μορφομετρία. Αφορά το σχήμα, τη γεωλογική προέλευση και το περίγραμμα των υπόγειων νερών. Η λεκάνη της λίμνης σε αντίθεση με τη λεκάνη αποστράγγισης είναι το τμήμα που κατακρατεί το νερό. Η τοπογραφία του περιβάλλοντα χώρου μπορεί να δώσει στοιχεία για τη μορφομετρία αλλά κάποια χαρακτηριστικά όπως το βάθος πρέπει να μετρηθούν. Συχνά, ένας λεπτομερής μορφομετρικός χάρτης είναι διαθέσιμος ωστόσο κάποια στοιχεία είναι ανεπαρκή ή ξεπερασμένα λόγω ιζηματοποίησης [8].



**Σχήμα 1.1:** Σκίτσα σχηματισμού και παρούσας κατάστασης των πιο διαδεδομένων τύπων λιμνών. Το πρώτο σχήμα δείχνει μια τεκτονικά σχηματισμένη λίμνη που προκύπτει μετά από συλλογή νερού σε κοιλοότητες ή καταβυθίσεις του εδάφους. Παραδείγματα αποτελούν οι περισσότερες μεγάλες, βαθιές και παλιές λίμνες παγκοσμίως. Το δεύτερο σχήμα παρουσιάζει μια λίμνη που δημιουργήθηκε σε ένα κρατήρα καλδέρας μέσα σε ηφαιστειακό κώνο. Πολλές μικρές και μεγάλες λίμνες παρατηρούνται σε ηφαιστειακές περιοχές. Τα επόμενα σχήματα παρουσιάζουν παγετωδώς σχηματισμένες λίμνες και ένα φιόρδ που δημιουργήθηκαν από τήξη παγετώνων στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν [8].

### **1.1.5 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ, ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ**

Η μορφολογία των ελληνικών λιμνών είναι αρκετά περίπλοκη. Προέρχονται κυρίως από συνδυασμένες ενέργειες τεκτονικών κινήσεων αλπικών και μετα-αλπικών ορογενετικών αντιδράσεων και διαλυτικής δράσης μετεωρικού ύδατος διεισδύοντας σε ανθρακικά πετρώματα. Οι περισσότερες φυσικές λίμνες στην Ελλάδα βρίσκονται στην καρστική ζώνη ξεκινώντας από τις Άλπεις, στα βόρεια ως την Ελλάδα στα νότια περνώντας από την πρώην Γιουγκοσλαβία. Γεωμορφογενετικά, οι πρόσφατες φυσικές λίμνες ανήκουν σε λεκάνες και ομάδες λιμνών και αποτελούν τα υπολείμματα των μεγαλύτερων λιμνών που καταλάμβαναν τη χώρα κατά τη Πλειστόκαινο εποχή.

Οι περισσότερες ελληνικές λίμνες βρίσκονται στα δυτικά και βόρεια της χώρας όπου τα κατακρημνίσματα υπερβαίνουν τα 1000 mm το χρόνο. Σε σχέση με το υψόμετρο, ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη από αυτές, το υψόμετρο που βρίσκονται, κυμαίνεται από 0-145 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ στο δεύτερο πάνω από 470 m. Τα κύρια μορφογενετικά χαρακτηριστικά των ελληνικών λιμνών παρουσιάζονται στο Πίνακα 1.1. Δεκαέξι από τις 140 λίμνες είναι μικρότερες από 2 km<sup>2</sup>. Μόνο τρεις λίμνες φθάνουν σε βάθος που υπερβαίνει τα 50 m ενώ πολλές ρηχές χαρακτηρίζονται ως προσωρινές. Πέντε λίμνες έχουν κρυπτογενετικές λεκάνες και κάποιες είναι παράκτιες από πρόσφατους σχηματισμούς, αποκλείοντας αρκετές λιμνοθάλασσες στα δυτικά και βόρεια της χώρας [5].

**Πίνακας 1.1:** Τα κυριότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυσικών λιμνών της Ελλάδας [5].

	Όνομασία λίμνης	Επίπεδο επιφανείας (m)	Εμβαδό λίμνης (km <sup>2</sup> )	Εμβαδό περιοχής (km <sup>2</sup> )	Όγκος νερού (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσο βάθος Z (m)	Μέγιστο βάθος Y (m)	Χρόνος ανανέωση ς (χρόνια)
<b>Δυτικά</b>								
1	Τριγωνίδα	15	97	250	2868	29	57	9,4
11	Αμβρακία	16	14	177	62	4,4	35	
12	Λυσιμαχία	14	13	246	53	3,9	9	
14	Οζερός	23	11		59	1,6	2	
16	Βουλκαρία	5	10		16	1,8	2,5	
<b>Βορειοδυτικά</b>								
3	Βεγορίτιδα	523	59	1853	800	20	70	9,5
4	Μικρή Πρέσπα	853	49	260	320	6,7	7,7	3,4
7	Μεγάλη Πρέσπα	849	40				53	
8	Καστοριά	629	30	304	120	4	8,5	2,3
9	Ιωάννινα	470	22	330	120	5,5	11	0,8
15	Χειμαδίτιδα	593	11	229	15	1	2,5	
17	Πετρών	560	8	114	3,7	1	3	
21	Ζαζάρη	602	2		3,4	1,5	3	
<b>Βόρεια</b>								
2	Βόλβη	37	68	1247	940	13,5	22,3	
5	Κορώνεια	75	46	350	175	3,8	9,5	
6	Βιστονίδα	05	45	3200	140	2,5	3,5	2,8
10	Δοϊράνη	145	15	420	110	5,5	10,4	
20	Μιτρικό	2	2,1		2,7	0,5		
<b>Ανατολικά</b>								
13	Υλική	80	12	344	720	28,8	38,5	
18	Παραλίμνη		4	68				
<b>Νότια</b>								
	Στυμφαλία	600	3,8	153	5	1,3	2,3	

## 1.2 Η ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΖΩΝΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΛΙΜΝΗ

Οι λίμνες παρουσιάζουν μεταξύ τους ποικιλότητα. Μπορεί να διαφέρουν σε αρκετά γνωρίσματα όπως μέγεθος, αλατότητα νερού, βάθος, θολότητα νερού, ηλικία, ύπαρξη ελών γύρω τους, δομή και υφή του πυθμένα, κλίμα, μορφή ακτών, ύπαρξη εισροής και εκροής νερών, περιεχόμενα θρεπτικά στοιχεία, περιεχόμενες βιοκοινότητες, παραγωγικότητα. Όμως, παρά την ποικιλότητά τους, στις περισσότερες λίμνες είθισται να διακρίνονται οι παρακάτω ζώνες [3].

### 1.2.1 ΠΥΘΜΕΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

Οι τρεις επιμέρους ζώνες βρίσκονται υπό την ισχυρή επίδραση των ακτών, του πυθμένα ή και των δυο.

- 1. Παραλιακή ζώνη.** Η ζώνη αυτή είναι σχετικά αβαθής. Η θερμοκρασία του νερού μπορεί να παρουσιάζει χρονικά μεγάλες διακυμάνσεις. Το φως διεισδύει εύκολα ως το πυθμένα όταν το νερό δεν είναι πολύ θολό. Παρατηρείται έντονη δράση κυμάτων. Το οξυγόνο του νερού ανανεώνεται συνεχώς. Στον πυθμένα της ζώνης αυτής υπάρχουν ριζωμένα φυτά. Το

- βένθος παρουσιάζει μεγάλη ποικιλότητα γιατί ο πυθμένας είναι συγκριτικά πολύ ανομοιόμορφος οπότε δημιουργούνται πολλές οικολογικές θέσεις.
2. **Υποπαριακή ζώνη.** Είναι στενότερη ζώνη από την προηγούμενη. Αρχίζει εκεί που τελειώνουν τα ριζωμένα φυτά. Το νερό έχει συνήθως επαρκές οξυγόνο και φωτίζεται ικανοποιητικά. Οι μεταβολές θερμοκρασίας δεν είναι πολύ μεγάλες. Το βένθος περιέχει λιγότερο πλούτο ειδών σε σύγκριση με το βένθος της προηγούμενης ζώνης.
  3. **Βαθιά ζώνη.** Η θερμοκρασία του νερού λίγο μεταβάλλεται. Περιέχει λίγο οξυγόνο ή και καθόλου. Από την άλλη μεριά, περιέχει πολύ διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, συχνή, μπορεί να είναι η παρουσία άλλων αερίων όπως μεθανίου. Ο πυθμένας της βαθιάς ζώνης δέχεται ελάχιστο φως ή και καθόλου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η βαθιά ζώνη με τα γνωρίσματα αυτά δεν μπορεί να υπάρξει σε αβαθείς λίμνες. Υπάρχει σε εκείνες που έχουν τόσο βάθος ώστε το νερό τους να παρουσιάζει στρωματοποίηση θερμοκρασίας.

### 1.2.2 ΠΕΛΑΓΙΚΗ ΖΩΝΗ

Η πελαγική ζώνη, που λέγεται και λιμνητική ή ζώνη των ανοιχτών νερών βρίσκεται μακριά από την άμεση επίδραση ακτών του πυθμένα. Ως κατώτερο βάθος της ζώνης αυτής ορίζεται το βάθος εκείνο στο οποίο η ένταση του φωτός που διεισδύει γίνεται ίση με εκείνη του σημείου αντιστάθμισης. Δηλαδή η ένταση στην οποία ο ρυθμός φωτοσύνθεσης είναι ίσος προς το ρυθμό αναπνοής των οργανισμών που φωτοσυνθέτουν. Η πελαγική ζώνη περιέχει πλαγκτό, νηκτό και κάποιες φορές νευστό. Συνήθως είναι επαρκώς εμπλουτισμένη με οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Όπως και στην περίπτωση της βαθιάς ζώνης, η πελαγική ζώνη δεν μπορεί να υπάρξει σε αβαθείς λίμνες [3].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΛΙΜΝΩΝ

Η ταξινόμηση λιμνών σε τύπους και κατηγορίες βοηθά όπως σχεδόν κάθε ταξινόμηση, στην αποτελεσματικότερη μετάδοση των γνώσεων, στη σύλληψη κοινών προβλημάτων των υδάτινων οικοσυστημάτων και στην οργάνωση των συζητήσεων. Ειδικά για τη λιμνολογία, η ταξινόμηση μπορεί να βοηθήσει και στην αντιμετώπιση των θεμάτων προστασίας και διαχείρισης των λιμνών όταν παράλληλα μελετώνται μέτρα αξιοποίησης και προστασίας των λιμνών. Σ αυτή τη περίπτωση, η ταξινόμηση είναι χρήσιμη στη λήψη αποφάσεων και στη νομοθετική κατοχύρωση των αποφάσεων αυτών. Κανένα σύστημα κατάταξης των λιμνών, ωστόσο, δεν μπορεί να συμπεριλάβει όλες τις λίμνες και να γίνει αποδεκτό από τους λιμνολόγους. Αυτό συμβαίνει διότι κάθε λίμνη έχει ξεχωριστές ιδιότητες που εξαρτώνται από τη μορφομετρία, τις φυσικές, χημικές και βιολογικές επιδράσεις. Τα στοιχεία αυτά βοηθούν να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά και ο ρόλος του στην εξέλιξη της λίμνης [8].

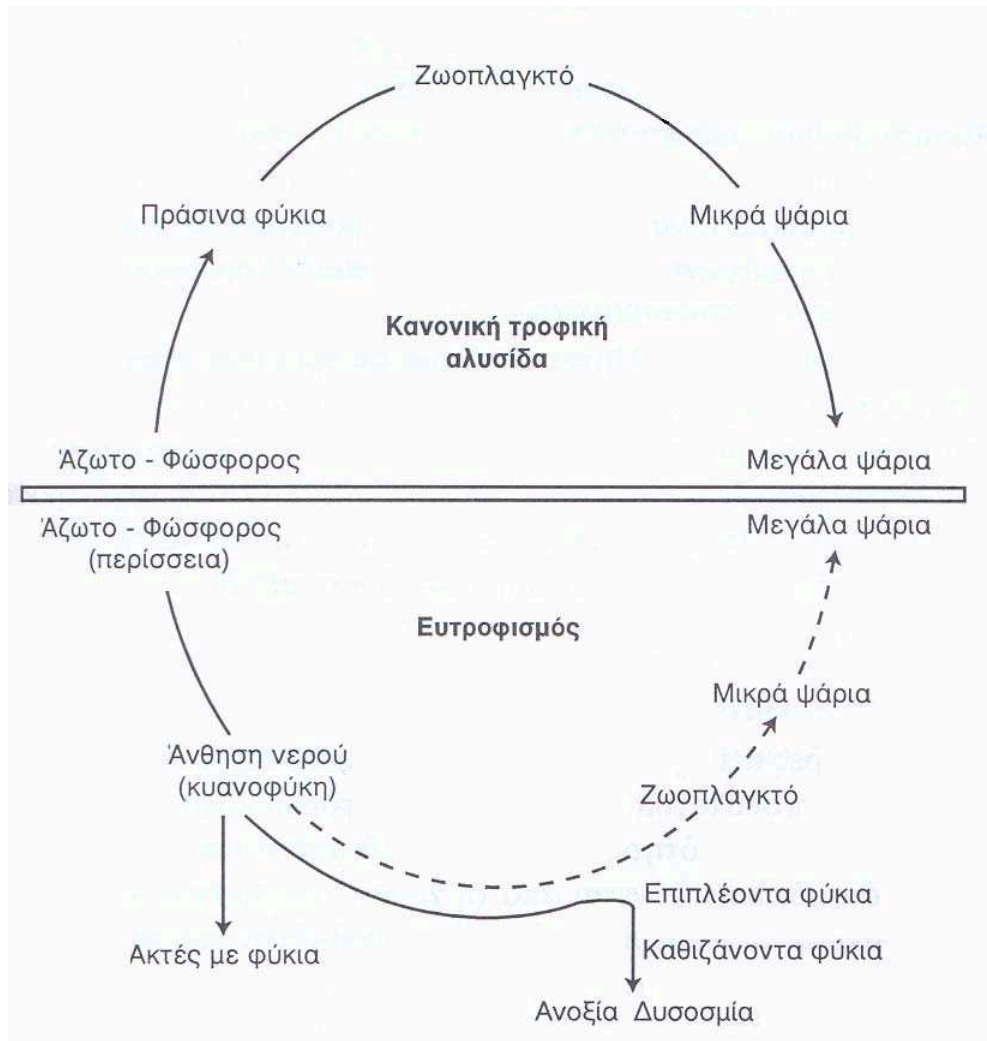
#### 2.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Ένα κριτήριο ταξινόμησης είναι η κυκλοφορία ή μίξη σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του νερού που όμως δεν τυποποιεί όλες τις λίμνες. Υπάρχουν πολλές ενδιαμέσες περιπτώσεις λιμνών και πολύ λίγες τυπικές. Συχνά μάλιστα είναι δύσκολο να ταξινομηθεί μια λίμνη με το κριτήριο αυτό, γιατί ο τρόπος που κυκλοφορεί το νερό της, μπορεί να αλλάζει από έτος σε έτος. Οι λίμνες που έχουν δυο εποχικές περιόδους μίξης του νερού την άνοιξη και το φθινόπωρο ονομάζονται διμικτικές. Αντίστοιχα μονομικτικές ονομάζονται οι λίμνες που παρατηρείται μια περίοδος κυκλοφορίας. Χωρίζονται σε ψυχρές και θερμές μονομικτικές λίμνες. Στη πρώτη κατηγορία, το νερό δεν έχει θερμοκρασία ποτέ πάνω από 4 °C και η περίοδος κυκλοφορίας είναι κατά το θέρος ενώ στη δεύτερη το νερό δεν έχει θερμοκρασία ποτέ κάτω από 4°C και η περίοδος κυκλοφορίας είναι τον χειμώνα. Όταν η κυκλοφορία είναι συνεχής για όλο το έτος οι λίμνες ονομάζονται πολυμικτικές. Αντιθέτως, ολιγομικτικές είναι οι λίμνες που η κυκλοφορία είναι βραδεία ή μόνο σε ορισμένα έτη. Όταν υπάρχει συνεχής θερμική στρωματοποίηση και η κυκλοφορία είναι ατελής ή δεν παρατηρείται η λίμνη ονομάζεται μερομικτική ενώ ολομικτική όταν περιλαμβάνει όλο τον υδάτινο όγκο. Τέλος, αμικτικές είναι οι λίμνες που δεν παρατηρείται καμία ανάμιξη του νερού. Αμικτικές είναι συνήθως οι πολικές λίμνες που σκεπάζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από πάγο. [8]

#### 2.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

Οι πρωτοπόροι λιμνολόγοι παρατήρησαν την προφανή διαφορά μεταξύ των ορεινών λιμνών και των παρακείμενων σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Έτσι εισήχθη η έννοια της τροφικής κατάστασης που αρχικά στηρίχθηκε σε δύο παράγοντες: το ποσό παραγωγής στα επιφανειακά νερά και στις συνθήκες του βαθύτερου στρώματος ή υπολιμνίου της λίμνης στα στρωματοποιημένα νερά. Ακολουθώντας έγινε προσπάθεια να εκτιμηθούν παράγοντες όπως θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, ευδιάλυτα αέρια και συστατικά σε σχέση με το παραγόμενο φυτοπλαγκτόν της λίμνης.

Αποτέλεσμα ήταν η αλγική βιομάζα να συσχετιστεί με τη συγκέντρωση αζώτου και φωσφόρου. Αυτή η προσέγγιση είναι πολύ κοντινή με τη σημερινή ισχύουσα έννοια της τροφικής κατάστασης. Ευτροφική θεωρήθηκε αρχικά η λίμνη υψηλής παραγωγικότητας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 [8].



**Σχήμα 2.1:** Ανατροπή της ισορροπίας της υδροχαρούς ζωής λόγω ευτροφισμού. [2]

## 2.2.1 ΕΥΤΡΟΦΙΚΕΣ, ΟΛΙΓΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Η υπερβολική λίπανση και η απερίσκεπτη εκβολή λυμάτων αύξησαν την ανάπτυξη των αλγών σε παράκτια νερά. Αυτή η αλλαγή ονομάστηκε καλλιεργητικός ευτροφισμός. Αυτό το γεγονός δεν είναι πρόσφατο φαινόμενο. Τα υδάτινα στρώματα είναι παραγωγικότερα σε υψηλά ευτροφικά επίπεδα. Παρόλο που ο ευτροφισμός είναι συχνά συνδεδεμένος με υπερβολική λίπανση και μόλυνση, τα ευτροφικά περιβάλλοντα δεν είναι πάντα μη αποδεκτά από το κοινό. Υπάρχουν πολλές φυσικές ευτροφικές λίμνες που παρατηρούνται μεγάλες ποσότητες ψαριών και είναι κατάλληλες για αλιεία και άθληση.

Τα αστικά λύματα είναι από τις παλιότερες αιτίες του 'πολιτιστικού' ευτροφισμού. Τα οικιακά απόβλητα είναι πλούσια σε συστατικά και αποτελούν τονωτικό για την ανάπτυξη των αλγών και ανώτερων φυτών. Η χρήση απορρυπαντικών, πλούσια σε φώσφορο, έχει επηρεάσει αυτό το φαινόμενο. Σε



πολλές αρχικά ελλειπίες σε φώσφορο λίμνες η ποσότητα ακατέργαστων λιμάτων που λαμβάνεται είναι από απορρυπαντικά.

Η εντατική γεωργία είναι άλλη μία πηγή συστατικών για τα υδάτινα οικοσυστήματα. Για να γίνει κατανοητή η σημασία του προβλήματος αρκεί να θεωρηθεί ότι τα συστατικά λίπανσης περνούν στα νερά αποστράγγισης. Πάντοτε, κάποια από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται ξεπλένονται από τη βροχή ή από την αναπνοή των φυτών. Το ξέπλυμα είναι προφανές, όταν η λίπανση με νιτρικά εφαρμόζεται λίγο πριν την άνοιξη σε παγωμένα εδάφη. Κατά τη διάρκεια της τήξης, μεγάλη ποσότητα οδηγείται στη λίμνη. Το φαινόμενο του ευτροφισμού μπορεί να αντιστραφεί, αν και αυτή η διαδικασία δύναται να είναι δαπανηρή και αρκετά αργή [8].

Τα κύρια χαρακτηριστικά των oligοτροφικών και ευτροφικών λιμνών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Οι λίμνες είναι ανεξάρτητα οικοσυστήματα και κάποιες είναι δύσκολο να ταξινομηθούν. Έχουν επινοηθεί αριθμητικά πρότυπα για κάθε παράμετρο ενώ ακόμα συζητώνται οι όροι που διακρίνουν κάθε τροφική κατάσταση. Σε πολλές έχει παρατηρηθεί η κλίση μιας oligοτροφικής λίμνης προς ευτροφική.

**Ευτροφικές λίμνες.** Οι λίμνες αυτές είναι συχνά ρηχές, το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 10m και στις παρυφές τους παρατηρείται μεγάλη κλίση. Η αναλογία επιφάνειας με την ευρύτερη λεκάνη αποστράγγισης είναι μεγάλη. Η τυπικότερη ορατή απόδειξη ευτροφικής κατάστασης είναι η παρουσία επιφανειακών μπλε-πράσινων αλγών.

Η κατάσταση ευτροφισμού προσδιορίζεται από παράγοντες όπως το μεγάλο εύρος τιμών του διαλυμένου οξυγόνου, τα υψηλά επίπεδα συστατικών (άζωτο, φώσφορος, θείο), η υψηλή συγκέντρωση χλωροφύλλης, η παρουσία αλγών, η μικρή ποικιλία πλαγκτονικών και βενθικών οργανισμών. Η χαμηλή διαύγεια του νερού είναι ο απλούστερος τρόπος εντοπισμού μιας ευτροφικής λίμνης. Σε ευτροφικές λίμνες, το οξυγόνο του υπολιμνίου μειώνεται, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της θερινής στρωμάτωσης αλλά και τη χειμερινή περίοδο. Το νερό, στην ευφωτική ζώνη φθάνει σε επίπεδα υπερκορεσμού σε οξυγόνο κατά τη διάρκεια της μέρας λόγω φωτοσύνθεσης. Τις νυχτερινές ώρες παρατηρείται μείωση σε επίπεδο μικρότερο του κορεσμού, λόγω αναπνοής.

Στις ευτροφικές λίμνες, τα ιζήματα εμπλουτίζονται με οργανική ουσία. Έτσι, τείνει αρχικά, να αυξηθεί η βιομάζα των μακρόφυτων με αποτέλεσμα η φυτοπλαγκτονική ανάπτυξη είναι πυκνή. Η αυξανόμενη παροχή των συστατικών επηρεάζει και τα φυτά που κάποιες φορές υπεραναπτύσσονται και αποσυντίθεται ελλείψει οξυγόνου. Σε θερμές πεδινές περιοχές, το διαλυμένο οξυγόνο των ευτροφικών λιμνών είναι συχνά χαμηλό [8].

**Ολιγοτροφικές λίμνες.** Αυτές οι λίμνες βρίσκονται σε αντίθετη κατάσταση. Είναι βαθιές, απότομες και έχουν μικρή περιοχή αποστράγγισης. Υπάρχουν oligοτροφικές λίμνες που αποτελούνται κυρίως από γρανιτικές κοιλότητες. Οι περισσότερες oligοτροφικές λίμνες χαρακτηρίζονται από χαμηλά επίπεδα συστατικών, καθαρό μπλε νερό που οφείλεται σε μικρό αριθμό πλαγκτονικών οργανισμών και αλγών. Τα επίπεδα βενθικού και υπολιμνίου οξυγόνου δεν αποκλίνουν πολύ από το ποσοστό κορεσμού.

**Μεσοτροφικές λίμνες.** Όπως αναφέρεται και στην ονομασία προσδιορίζονται ανάμεσα στις ευτροφικές και στις oligοτροφικές λίμνες. Είναι πολύ κοινά υδάτινα στρώματα και δεν παρουσιάζουν ακραίες τιμές των κύριων συστατικών παραμέτρων.

**Δυστροφικές λίμνες.** Οι λίμνες αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν χουμικά οξέα προερχόμενα από αποσύνθεση υδάτινης βλάστησης. Τα σκουρόχρωμα οξέα δίνουν στο νερό το χαρακτηριστικό κίτρινο - καφέ χρώμα. Το περιβάλλον είναι όξινο και μη παραγωγικό. Κάποια 'διάτομα' είναι χαρακτηριστικά των δυστροφικών λιμνών

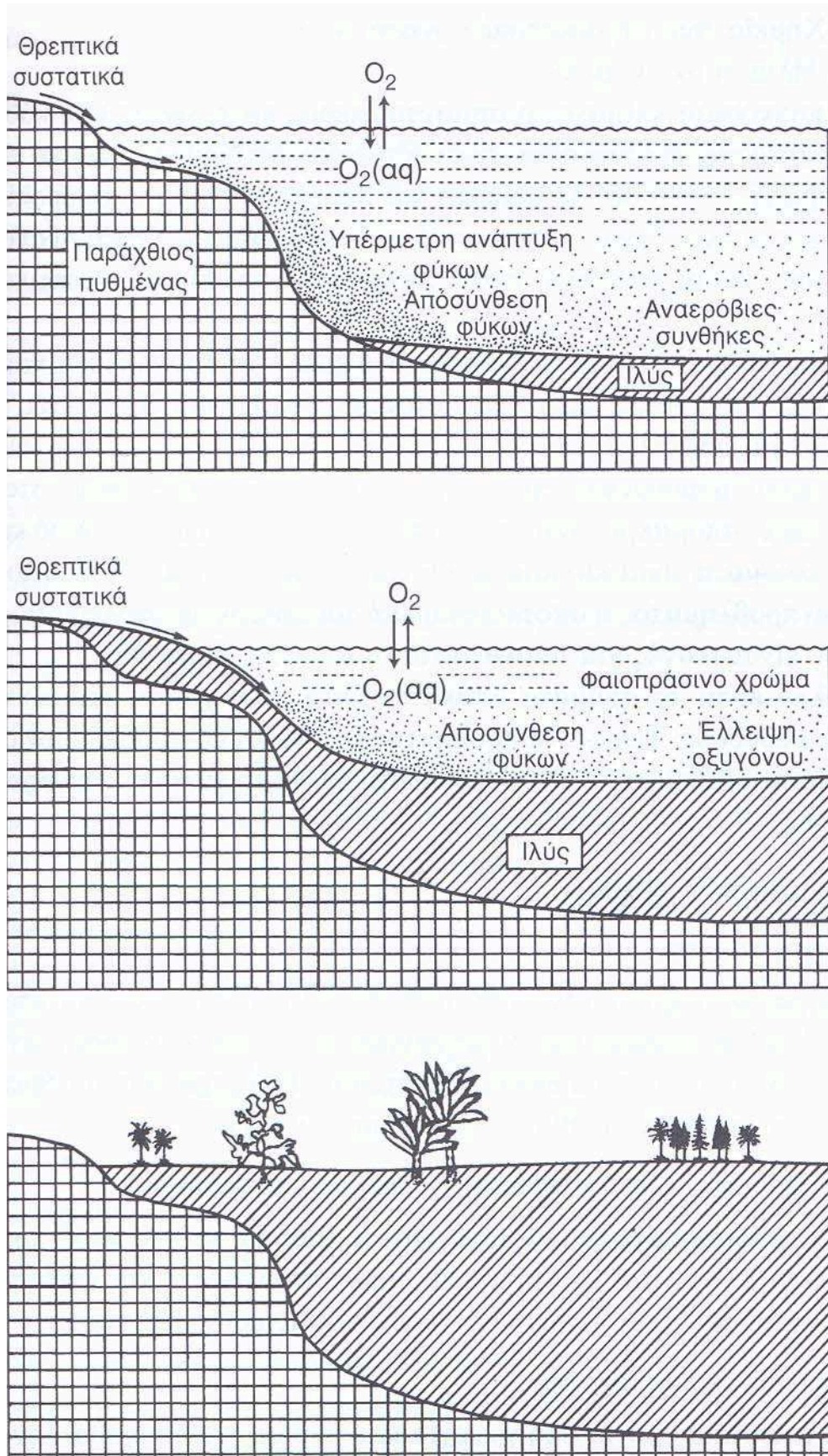
και εξελίσσονται σε ιζήματα που προσβάλλονται από το φως σε ρηχές λίμνες. Οι μικρές δυστροφικές λίμνες εντοπίζονται κυρίως σε ορεινές περιοχές που στραγγίζονται από πευκοδάση και έλη εξασφαλίζοντας τη παροχή χουμικών οξέων [8].

## 2.2.2 ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΙΜΝΑΙΑ ΔΙΑΔΟΧΗ

Ο ευτροφισμός μπορεί να προσδιοριστεί ως η διαδικασία εμπλουτισμού ενός υδάτινου όγκου, λόγω αύξησης των συστατικών. Τα σημαντικότερα συστατικά είναι τα φωσφορικά, τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, θειικών αλλά και σιδήρου σε μικρότερο ποσοστό, συνεπάγονται ευτροφική κατάσταση σε μια λίμνη. Άσχετα από τη προέλευση της λεκάνης μια λίμνη μπορεί να αλλάξει με τη πάροδο του χρόνου. Η διαδοχή περιλαμβάνει αρχικά αποικίες φυτών και ζώων και προοδευτικές αλλαγές στη χημεία του νερού. Σε νεότερες λεκάνες, οι αλλαγές κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων είναι πολύ απότομες όποιο και να είναι το τροφικό στάδιο και ισχύει τόσο για τις φυσικές όσο και για τις τεχνητές λίμνες. Η ιδέα της διαδοχής περιλαμβάνει το πέρασμα από διάφορες τροφικές καταστάσεις ξεκινώντας από μικρή βλάστηση ή ολιγοτροφική κατάσταση και σταδιακά μεταβάλλεται σε μεσοτροφική. Στη συνέχεια μετατρέπεται σε ευτροφική με τελικό στάδιο τη δημιουργία έλους ή εύφορης γης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1. Οι παράγοντες που καθορίζουν τη κατάσταση ευτροφισμού είναι το μέσο βάθος της λίμνης και το μέγεθος και η άρδευση της λεκάνης αποστράγγισης. Η ταχύτητα με τη οποία μια λίμνη αλλάζει κατάσταση εξαρτάται από τη διακύμανση του κλίματος ειδικά της θερμοκρασία και των βροχοπτώσεων [8].

**Πίνακας 2.1:** Χαρακτηριστικά ευτροφικών και ολιγοτροφικών λιμνών [8].

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΟΛΙΓΟΤΡΟΦΙΚΕΣ	ΕΥΤΡΟΦΙΚΕΣ
<b>Συστατικά</b>	Χαμηλά επίπεδα και χαμηλή παροχή των κύριων συστατικών (άζωτο, φώσφορος, θείο)	Υψηλά επίπεδα και υψηλά παροχή κύριων και δευτερευόντων συστατικών
<b>Διαλυμένο οξυγόνο</b>	Δεν διαφοροποιείται αρκετά από στο επιλίμνιο ή το υπολίμνιο ( $10 \pm 10\%$ ).	Μεγάλο εύρος τιμών κορεσμού. Μείωση στο υπολίμνιο (0-100%) και υπερκορεσμός (100-250%)
<b>Βιοτική κατάσταση</b>	Χαμηλή η κύρια παραγωγικότητα. Χαμηλή πυκνότητα και ένδειξη φυτοπλαγκτονικών, ζωοβενθικών ζωοπλαγκτονικών, οργανισμών και ψαριών	Υψηλή παραγωγικότητα. Υψηλή πυκνότητα και ένδειξη φυτοπλαγκτονικών, ζωοβενθικών ζωοπλαγκτονικών οργανισμών, και ψαριών
<b>Φως</b>	Διαυγή νερά, εισβολή φωτός ακόμη και κάτω από το θερμοκλινές	Θαμπό νερό, εισβολή φωτός αρκετά χαμηλή που συχνά δεν φτάνει μέχρι το θερμοκλινές ή τον πυθμένα.
<b>Σχήμα Λεκάνης και διαστρωμάτωση νερού</b>	Βαθιές λίμνες με απότομες πλαγιές άγωνα εδάφη	Ρηχές λίμνες με ελαφρά κεκλιμένα ακτές. Καλλιεργημένο και αναταραγμένο έδαφος



Σχήμα 2.1 : Αποξήρανση μιας λίμνης λόγω ευτροφισμού [2].

**Πίνακας 2.2:** Τιμές κατάταξης σε τροφικό επίπεδο κλειστών συστημάτων. [7]

<b>Τροφικό επίπεδο</b>	<b>Μέση ετήσια τιμή P (σε mg/l)</b>	<b>Μέση ετήσια τιμή Chl-a (σε mg/l)</b>	<b>Μέση ετήσια τιμή Chl-1 (σε mg/l)</b>	<b>Μέση ετήσια διαφάνεια (σε m δίσκου Secchi)</b>	<b>Ελάχιστη ετήσια διαφάνεια (σε m δίσκου Secchi)</b>
Υπερ-ολιγότροφη	<4.0	<1.0	<2.5	>12.0	>6.0
Ολιγότροφη	<10.0	<2.5	<8.0	>6.0	>3.0
Μεσότροφη	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-15
Εύτροφη	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Υπερτροφική	>100	>25	<75	<1.5	<0.7

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Του Νερού

Η ποιότητα του νερού καθορίζεται από διάφορες φυσικοχημικές παραμέτρους μεταξύ των οποίων είναι η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (pH), ηλεκτρική αγωγιμότητα, η συγκέντρωση των ιόντων του χλωρίου, η συγκέντρωση του αζώτου (αμμωνιακά και νιτρικά ιόντα), συγκέντρωση φωσφόρου. Επίσης από χαρακτηριστικά που αποτελούν ενδείξεις μόλυνσης του νερού όπως οι παράμετροι BOD (Biochemical Oxygen Demand) και COD (chemical Oxygen Demand) και επίσης από το μικροβιακό φορτίο κυρίως όσο αφορά τα fecal και total coliform. Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι παραπάνω παράμετροι ποιότητας, ακολουθεί σύντομη θεωρητική αναφορά των βασικών αρχών εκείνων των παραμέτρων οι οποίες αναλύθηκαν στα δείγματα νερού από τη λίμνη του Κουρνά.

**Πίνακας 3.1:** Παραμετρικές τιμές ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για υδροληψία πόσιμου νερού σύμφωνα με την Υπ.Απ 46399/1352/86 (ΦΕΚ 438/τ.β/3.7.86).

Παράμετροι	A <sub>1</sub> G	A <sub>1</sub> I	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	ΑΚΡΙΒΕΙΑ
1 pH	6,5-8,5		0,1	0,2
2 Χρωματισμός	10	20(O)	10%	20%
3 Σύνολο αιωρούμενων στερεών	25		5%	10%
4 Θερμοκρασία	22	25(O)	0,5	1
5 Αγωγιμότητα	1000		5%	10%
6 Οσμή	3			
7 Νιτρικά	25	50(O)	10%	20%
8 Φθοριούχα	0,7-1	1,5	10%	20%
9 Ολικό χλώριο				
10 Διαλυμένος σίδηρος	0,1	0,3	10%	20%
11 Μαγγάνιο	0,05		10%	20%
12 Χαλκός	0,02	0,05(O)	10%	20%
13 Ψευδάργυρος	0,5	3	10%	20%
14 Βόριο	1		10%	20%
19 Αρσενικό	0,01	0,05	20%	20%
20 Κάδμιο	0,001	0,005	30%	30%
21 Ολικό χρώμιο		0,5	20%	30%
22 Μόλυβδος		0,5	20%	30%
23 Σελήνιο		0,01		
24 Υδράργυρος	0,0005	0,001	30%	30%
25 Βάριο		0,1	15%	30%
26 Κουαννούχα		0,05	20%	30%
27 Θειικά	150	250	10%	10%
28 Χλωριούχα	200		10%	10%

29	Επιφανειακοί παράγοντες (που αντιδρούν με κυανούν του μεθυλενίου)	0,2		
30	Φωσφορικά	0,4	10%	20%
31	Φαινόλες	0,0005	0,001	30% 50%
32	Υδρογονάνθρακες διαλυμένοι ή γαλακτοποιημένοι (mg / l )	0,01 0,04 ( <sup>3</sup> )	20%	30%
35	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο		20%	20%
36	Ποσοστό κορεσμού σε διαλυμένο οξυγόνο	>70	10%	10%
37	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	<3	1,5	2
38	Άζωτο Kjeldahl	1	0,5	0,5
39	Αμμωνία	0,05	0,03 10%	0,03 20%
40	Ουσίες δυνάμενες να εκχυλιστούν σε χλωροφόρμιο	0,1		
41	Ολικός οργανικός άνθρακας			
42	Υπολειμματικός οργανικός άνθρακας κατόπιν κροκίδωσης και διύλισης επί μεμβράνη			
43	Ολικά κολοβακτηριοειδή	50		+
44	Περιττωματικά κολοβακτηριοειδή	20		
45	Περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι	20		
46	Σαλμονέλες	Απουσία σε 5000 ml		

**Πίνακας 3.2:** Παραμετρικές τιμές ποιότητας νερών κολύμβησης σύμφωνα με την Υπ.Απ 46399/1352/ 86 (ΦΕΚ 438/τ.β/3.7.86).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΥΨΗΛΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΠΙΤΡΕΠΤΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΔΕΚΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΥΨΗΛΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΙΜΗ
pH	6-9	5%	—	—
Χρωματισμός				
Διαύγεια	>2m	10%	>2m	10%
Ολικά κολοβακτηριοειδή	500/100ml	20%	10000/100ml	5%
Περιττωματικά κολοβακτηριοειδή	100/100ml	20%	2000/100ml	5%
Περιττωματικοί στρεπτόκοκκοι	100/100ml	10%	—	—

### 3.1 Θολότητα

Όπως στα χερσαία οικοσυστήματα έτσι και στα υδάτινα η ενέργεια του φωτός που προσπίπτει στους παραγωγούς οργανισμούς του συστήματος και που δεσμεύεται από αυτούς είναι ο αρχικός παράγοντας της παραγωγικότητας. Στα υδάτινα όμως οικοσυστήματα η παραγωγικότητα επηρεάζεται έμμεσα και από το φως που προσπίπτει στους χερσαίους παραγωγούς οργανισμούς της λεκάνης απορροής. Κι αυτό γιατί τα απορρέοντα νερά από την λεκάνη απορροής προς την υδατοσυλλογή μεταφέρουν διαλυμένες οργανικές ουσίες και οργανικά θρύμματα που αποτελούν έναν από τους παράγοντες που ρυθμίζουν την παραγωγικότητα του υδάτινου οικοσυστήματος [9].

Από το φως που προσπίπτει στην επιφάνεια μιας υδατοσυλλογής το 80 – 95% διεισδύει. Το υπόλοιπο ανακλάται. Το ποσοστό ανακλάσεως εξαρτάται από τη γωνία προσπτώσεως. Σε ήρεμο νερό το χειμώνα η ανάκλαση είναι ως 10% ενώ το θέρος που οι ακτίνες πέφτουν πιο κάθετα η ανάκλαση είναι 5 – 6%. Σε νερό με κυματισμούς η ανάκλαση μπορεί να φτάσει και το 20%. Το διάχυτο ηλιακό φως ανακλάται λιγότερο από το άμεσο.

Η θολότητα αποτελεί μία έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει και να απορροφά το φως που διέρχεται από αυτό και να μη μεταδίδει το φως σε ευθεία γραμμή. Μετριέται σε ntu (nephelometric turbidity units) και οι τιμές θολότητας άνω των 5 ntu's γίνονται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Η θολότητα δεν πρέπει να συγχέεται με τα αιωρούμενα στερεά (TSS-Total Suspended Solids) στο νερό. Συσχέτιση της θολότητας με το περιεχόμενο του δείγματος σε βάρους αιωρούμενων στερεών είναι δύσκολη, διότι το διαφορετικό μέγεθος, σχήμα και σύσταση των στερεών επηρεάζουν το βαθμό σκέδασης του φωτός [9,7].

Ένας καθαρά βιοτικός παράγοντας που μπορεί καμιά φορά να επηρεάσει τη διείσδυση του φωτός είναι τα φύκη, όταν αυτά βρίσκονται σε υψηλές πυκνότητες. Η περίπτωση αυτή μοιάζει με τη περίπτωση της αλληλοσκίασης που συμβαίνει σε χερσαίες φυτοκοινότητες όταν τα φυτά φύονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Και στις υδάτινες φυτοκοινότητες μπορεί να συμβεί αρκετή αλληλοσκίαση δηλαδή το ένα φίκος να σκιάζει το άλλο μόνο σε περιόδους που συμβαίνει μεγάλη αύξηση του αριθμού τους [9].

Διείσδυση του φωτός στο νερό συνεπάγεται οπωσδήποτε και σκέδαση του. Τη σκέδαση μπορούμε να τη φανταστούμε ως ανάκλαση προς όλες τις κατευθύνσεις, του φωτός που προσπίπτει στα μόρια του νερού και στα μόρια των άλλων ουσιών που υπάρχουν είτε σε διάλυση είτε σε αιώρηση. Το ποσοστό του φωτός που θα σκεδαστεί εξαρτάται από την ποσότητα των περιεχομένων ουσιών στο νερό, όπως από τις οπτικές τους ιδιότητες και από τη γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων. Γι' αυτό και παρατηρείται διαφορετική σκέδαση τις διάφορες εποχές του χρόνου στην ίδια λίμνη.

Όλες οι ζώνες της φωτεινής ακτινοβολίας δεν σκεδάζονται ομοιόμορφα γιατί το μήκος κύματος επηρεάζει τόσο τους συντελεστές σκέδασης όσο και την απορρόφηση του φωτός από μια ουσία. Σε πολύ καθαρό νερό, η σκέδαση αφορά κυρίως το κυανό μέρος του φάσματος. Το κυανό χρώμα των καθαρών λιμνών οφείλεται σε αυτόν ακριβώς τον λόγο [7].

Η αξία μιας λίμνης για αναψυχή εξαρτάται μεταξύ των άλλων και από το χρώμα της. Επίσης, το χρώμα παρέχει μερικές ενδείξεις για τη φυσική, χημική και βιολογική κατάσταση του νερού όπως φαίνεται από τα ακόλουθα παραδείγματα:

- i. Όταν το νερό περιέχει μεγάλη ποσότητα κολλοειδούς ανθρακικού ασβεστίου τότε φαίνεται πρασινοκυανό γιατί η ουσία αυτή σκεδάζει το πράσινο και το κυανό μέρος του φάσματος

ii. Νερό με μέτριες ποσότητες διαλυμένων οργανικών ουσιών φαίνεται πρασινωπό ενώ με μεγάλες ποσότητες των ουσιών αυτών το χρώμα γίνεται κιτρινέρυθρο ιδίως μάλιστα όταν περιέχονται πολλά χουμικά οξέα

iii. Όταν υπάρχει αιώρημα αργίλου ή ηφαιστειακής τέφρας τότε το νερό γίνεται κίτρινο ως καφέ – ερυθρό.

iv. Άφθονα κυανοπράσινα φύκη στο επιφανειακό στρώμα του νερού κάνουν το νερό να φαίνεται κυανοπράσινο ενώ όταν υπερτερούν τα διάτομα τότε το χρώμα γίνεται κιτρινωπό ως καφέ.

Οι παραπάνω παράγοντες συνήθως επηρεάζουν το χρώμα κάθε ένας και σε διαφορετικό βαθμό (άλλος πολύ, άλλος λίγο, άλλος καθόλου). Έτσι, στην πραγματικότητα το πραγματικό χρώμα που βλέπουμε να έχουν τα νερά των λιμνών είναι αποτέλεσμα συνδυασμού παραγόντων οι οποίοι όμως μεταβάλλονται από εποχή σε εποχή και από έτος σε έτος.

Η θολότητα αυτή καθ' αυτή δεν έχει κάποιο άμεσο αποτέλεσμα στην υγεία. Ωστόσο ορισμένα ορυκτά υλικά (όπως βαρέα μέταλλα), οργανικές ενώσεις (φυτοφάρμακα κλπ) ή και βακτήρια έχουν την τάση να προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια.

Αιωρούμενα στερεά που προκαλούν αύξηση της θολότητας βοηθούν την ανάπτυξη βακτηρίων, επειδή στην επιφάνειά τους που προσκολλώνται τα 7 βακτήρια, προσρροφώνται και ανόργανα και οργανικά θρεπτικά υλικά. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα συσχέτισης θολότητας και χαμηλής ποιότητας νερού. Η υψηλή θολότητα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης [9].



**Εικόνα 3.1.** Διαφορά χρώματος λόγω διαφοράς βάθους νερού της λίμνης Κουρνά.

Η θολότητα του νερού είναι μία καθοριστική παράμετρος που περιορίζει τις χρήσεις του. Αντίθετα η διαύγεια είναι απαραίτητη τόσο για να χαρακτηρίζεται το νερό ως πόσιμο όσο και για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις π.χ. στη βιομηχανία ποτών, αναψυκτικών, τροφίμων κ.α. Για τους λόγους αυτούς η θολότητα είναι μία βασική παράμετρος ελέγχου της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης των νερών.



### 3.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι η βασικότερη παράμετρος και από αυτή επηρεάζονται αρκετές άλλες παράμετροι ενώ η τιμές της εκφράζονται σε κλίμακα βαθμών Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ). Για να κατανοηθούν πληρέστερα τα διάφορα φυσικά, χημικά και βιολογικά φαινόμενα μιας λίμνης χρειάζεται να υπενθυμίσουμε μερικές από τις θερμικές ιδιότητες του νερού. Το νερό, σε σύγκριση με άλλες ουσίες, έχει πολύ μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Δηλαδή, χρειάζονται πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας για να υψωθεί ή να ταπεινωθεί η θερμοκρασία του κατά  $1^{\circ}\text{C}$ . Επίσης, η λανθάνουσα θερμότητα τήξεως ή πήξεως είναι πολύ μεγάλη. Χρειάζονται  $80\text{cal}$  για να λιώσει  $1\text{ gr}$  πάγου. Ομοίως η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως ( $539\text{ cal}$ ) είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με τις άλλες ουσίες. Μια τέταρτη πολύ σπουδαία θερμική ιδιότητα που είναι υπεύθυνη για το ότι οι λίμνες τυπικά δεν παγώνουν ως τον πυθμένα, είναι η εξής: Το νερό παρουσιάζει τη μέγιστη πυκνότητα του στους  $4^{\circ}\text{C}$ . Πάνω και κάτω από αυτή τη θερμοκρασία η πυκνότητα είναι μικρότερη γι' αυτό και ο πάγος επιπλέει. Η ζωή σε όλη βιόσφαιρα και όχι μόνο στις υδατοσυλλογές θα ήταν αρκετά διαφορετική από αυτή που ξέρουμε σήμερα αν οι θερμικές ιδιότητες του νερού ήταν διαφορετικές από αυτές που αναφέραμε [7,3].

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται εποχικά πολύ δυσκολότερα και βραδύτερα σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα. Είναι γνωστή άλλωστε η ρυθμιστική επίδραση των μαζών νερού στο κλίμα. Οποσδήποτε, σε περιοχές όπως οι εύκρατες, στις οποίες υπάρχουν μεγάλες εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα, οι λίμνες υφίσταται και αυτές κυμάνσεις θερμοκρασίας του νερού τους. Οι κυμάνσεις αυτές μπορούν να δημιουργήσουν, σε διάφορες εποχές, δυο πολύ ενδιαφέροντα φαινόμενα: την κυκλοφορία (ανάμιξη) του νερού και τη στρωματοποίηση της θερμοκρασίας του.

Η θερμοκρασία είναι επίσης ο κύριος παράγοντας επιρροής της θερμότητας στις λίμνες η οποία (θερμότητα) παίζει δυο σημαντικούς ρόλους. Ο ένας είναι στη δομή της λίμνης. Η θερμότητα μαζί με το φως ευθύνονται για τη δημιουργία κάθε θερμικής στρωματοποίησης στους υδάτινους όγκους. Ο δεύτερος είναι στις χημικές και βιολογικές αντιδράσεις όπου κανονίζει το ρυθμό. Η αύξηση της θερμότητας το καλοκαίρι εντείνει τους ρυθμούς μεταβολής. Η διαδικασία ανακύκλωσης μετάλλων και οργανικών ενώσεων σε λίμνες αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Σε γενικές χημικές αντιδράσεις και βιολογικές δραστηριότητες όπως η αναπνοή που διπλασιάζεται όταν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά  $10^{\circ}\text{C}$ .

Η θερμότητα εισβάλλει στις λίμνες με την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο μέρος της μετατρέπεται σε θερμότητα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα αλλά η θερμοκρασία αυξάνεται αργά διότι το νερό έχει τεράστια ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Οι κυριότερες αιτίες απώλειας είναι η εξάτμιση και σε μικρότερο βαθμό τα ιζήματα που απορροφούν μεγάλα ποσά για την αποικοδόμηση τους. Οι λίμνες που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο αν και δέχονται μεγαλύτερη ακτινοβολία το καλοκαίρι παραμένει χαμηλή η θερμοκρασία τους γιατί ο αέρας έχει χαμηλή θερμοκρασία [3].

Η θερμοκρασία μαζί με το διαλυμένο οξυγόνο αποτελούν τις σημαντικότερες ίσως παραμέτρους που επηρεάζουν τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Όλοι οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν σε πολύ συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το ξεπέρασμα του οποίου επιφέρει, αρχικά «στρες» και στη συνέχεια το θάνατο. Γι' αυτό η μέτρηση της θερμοκρασίας πρέπει να συνοδεύει κάθε δειγματοληψία.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ακόμη απαραίτητη στη διαδικασία μέτρησης ορισμένων χαρακτηριστικών του νερού, όπως το pH, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο κλπ.

Επίσης, σε ωκεανογραφικές και λιμνολογικές έρευνες, η μέτρηση της θερμοκρασίας μαζί με εκείνη του βάθους, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας είναι βασική προϋπόθεση προκειμένου να υπολογιστεί το επίπεδο κορεσμού του νερού σε οξυγόνο.

Η θερμοκρασία των επεξεργασμένων αποβλήτων που αποχετεύονται στη θάλασσα ή άλλα επιφανειακά νερά επίσης, πρέπει να βρίσκεται σε ορισμένα όρια (25-40 °C) και πρέπει να ελέγχεται τακτικά σύμφωνα με τη νομοθεσία [3].

### 3.3 Συγκέντρωση Κατιόντων Υδρογόνου (pH)

Ως pH εκφράζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου ( $-\log[H^+]$ ) στο νερό και αποτελεί ένα μέτρο της ισορροπίας όξινων και βασικών ενώσεων που βρίσκονται σε διάλυση. Η κλίμακα μέτρησης του pH παίρνει τιμές από 0 - 14. Στην κλίμακα αυτή η τιμή το 7 αντιστοιχεί σε ουδέτερο διάλυμα. Για μικρότερη τιμή από 7 το διάλυμα θεωρείται όξινο και όσο μικρότερη τιμή έχουμε τόσο μεγαλύτερη οξύτητα παρουσιάζει, ενώ για τιμές pH μεγαλύτερες από 7 το διάλυμα θεωρείται αλκαλικό (βασικό) και όσο μεγαλύτερη τιμή έχουμε τόσο μεγαλύτερη αλκαλικότητα παρουσιάζει [9].

Τα γλύκα νερά ποικίλουν όχι μόνο ως προς την τιμή του pH αλλά και ως προς το είδος των διαλυμένων ουσιών που καθορίζουν την τιμή αυτή. Τα περισσότερα γλύκα νερά έχουν pH μεταξύ 6 και 9. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το pH του νερού είναι κυρίως το ελεύθερο  $CO_2$ . Επίσης καίριο ρόλο μπορεί να έχουν διάφορα οργανικά και ανόργανα οξέα και άλατα ισχυρών οξέων. Μια ειδική αιτία που μπορεί να προκαλέσει υποβίβαση του pH του νερού μιας υδατοσυλλογής είναι η πτώση σε αυτήν βροχής που έχει εμπλουτισθεί με  $SO_2$ . Αυτό μπορεί να συμβεί όταν η ατμόσφαιρα έχει ρυπανθεί με  $SO_2$  είτε αν αυτό προέρχεται μέσω φυσικών διεργασιών (π.χ λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας) ή από ανθρωπογενείς αιτίες (π.χ βιομηχανικά αέρια και απόβλητα)

Η τιμή του pH μπορεί να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του νερού. Η χλωρίωση με αέριο χλώριο συνήθως μειώνει το pH, ενώ η αποσκληρυνση με προσθήκη άλμης / σόδας αυξάνει το pH.

Το pH των φυσικών νερών έχει ιδιαίτερη σημασία για τους ζωντανούς οργανισμούς οι οποίοι παρουσιάζουν μικρή αντοχή στις μεταβολές του. Κάποια είδη σαύρας και βατράχων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μεταβολές του κυρίως στο χαμηλό Ph [9].

Μελέτες έχουν δείξει ότι νερά με pH μεταξύ 6,7 και 8,6 βοηθούν την ανάπτυξη των ψαριών με άριστες τιμές 7,5 έως 8,5. Όσο οι τιμές του pH βρίσκονται μέσα σε αυτά τα όρια δεν υπάρχει δυσμενής επίπτωση για την ανάπτυξη της ζωής και για την αναπαραγωγή. Πολλά είδη ψαριών βέβαια μπορούν να ζήσουν και σε νερά με τιμές pH υψηλότερες ή χαμηλότερες. Σαν παραδείγματα αναφέρουμε την πέστροφα με όρια pH 5,5 - 9,4, τον κυπρίνο με όρια pH 4,5 - 10,8. Υπάρχουν όμως και ψάρια που δεν μπορούν να ζήσουν έξω από τα όρια 5 - 9.

Αν διαπιστώσουμε ότι μια υδάτινη μάζα έχει pH που υπερβαίνει τα όρια 7 - 8,5 τότε πρέπει να υποπτευθούμε ότι υπάρχει μόλυνση και ρύπανση του νερού.

Μία απευθείας συσχέτιση του pH του νερού με την ανθρώπινη υγεία είναι αδύνατον να προσδιοριστεί αφού το pH σχετίζεται με πολλές άλλες ποιοτικές παραμέτρους του νερού. Τιμές του pH πάνω από 10 προκαλούν ερεθισμό ή ακόμα και βλάβη στο δέρμα. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του pH τόσο εντονότερος είναι ο ερεθισμός που μπορεί να προκληθεί στα μάτια.

Υψηλές τιμές pH μπορούν να έχουν έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία αφού μειώνουν την απολυμαντική ικανότητα της χλωρίωσης και συντελούν στην αύξηση

της διάβρωσης των μεταλλικών σωλήνων, αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Υψηλές τιμές pH μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα αισθητικής, όπως έντονο χρωματισμό και πικρή γεύση.

### 3.4 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Η αγωγιμότητα ορίζεται ως το αντίστροφο της αντίστασης  $R$  ( $L=1/R$ ) και εκφράζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από τους διάφορους αγωγούς ή αλλιώς την ενεργότητα των ιόντων.

Έτσι, εξαρτάται από την παρουσία ιόντων στο διάλυμα και εξασφαλίζει την ύπαρξη διαλυμένων στερεών ή αλάτων στο δείγμα νερού. Για να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης των τιμών της αγωγιμότητας που λαμβάνονται με διάφορα ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ο όρος *ειδική αγωγιμότητα* ( $\kappa$ ) με μονάδες μέτρησης  $\mu\text{hos/cm}$  ή  $\text{mS/cm}$ , όπου  $1\mu\text{S/cm} = 1\mu\text{hos/cm}$ . Η αγωγιμότητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τα αποτελέσματα εκφράζονται πάντα σε συνάρτηση με αυτή και αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό, κάθε φορά που γίνονται μετρήσεις αγωγιμότητας, καταγράφεται και η θερμοκρασία του νερού κι αν είναι απαραίτητο γίνονται οι σχετικές διορθώσεις με τη βοήθεια των πινάκων σχέσης αγωγιμότητας-θερμοκρασίας [9].

Ένα από τα πλεονεκτήματα της αγωγιμότητας είναι ότι μπορεί εύκολα να μετρηθεί στο σημείο δειγματοληψίας ή από όργανα συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου. Η υπάρχουσα τεχνολογία σήμερα επιτρέπει την παραγωγή νερού σε μεγάλες ποσότητες με ειδική αγωγιμότητα ως  $55 \mu\text{hos/cm}$  για ειδικές εφαρμογές όπως είναι το νερό πλύσης στη βιομηχανία ημιαγωγών. Καθώς η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνεται, ελαττώνεται η ενεργότητα των ιόντων και κατά συνέπεια ελαττώνεται η ικανότητα τους να μεταφέρουν ρεύμα [3].

Είναι μία πολύ χρήσιμη παράμετρος στον έλεγχο της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης των νερών. Η παράμετρος αυτή δίνει ένα μέτρο της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο νερό.

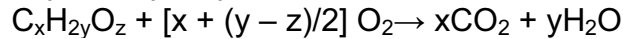
Το νερό που διέρχεται μέσα από ασβεστόλιθους, που αποτελούν την πλειοψηφία των ελληνικών βουνών, διαλύει σημαντική ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) που συντελεί στην αύξηση της αγωγιμότητας. Έτσι το νερό των γεωτρήσεων και των χειμάρρων είναι συνήθως πάνω από  $250 \mu\text{S/cm}$ .

Επίσης η τιμή της ειδικής αγωγιμότητας μας δώσει πληροφορίες για τον βαθμό επιβάρυνσης του νερού της βροχής με διάφορα ιόντα. Οι καθαρές βροχές έχουν κατά κανόνα τιμές αγωγιμότητας που κυμαίνονται από  $20\text{-}50 \mu\text{hos/cm}$ . Νέφη που σχηματίζονται ή περνούν από περιοχές με αυξημένη ρύπανση εμφανίζουν αυξημένες τιμές οι οποίες ορισμένες φορές φθάνουν και τα  $500 \mu\text{hos/cm}$ , π.χ. ορισμένες βροχές που πέφτουν στην Ελλάδα με προέλευση τη Β.Αφρική (λασποβροχές).

### 3.5 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (C.O.D.)

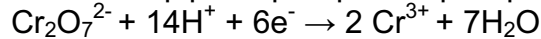
Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – C.O.D.) είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση – σε ισχυρά οξειδωτικό περιβάλλον – των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα υδάτων ή αποβλήτων. Είναι μία ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη για την εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και για τον έλεγχο και σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων [7].

Εάν έχουμε μία οργανική ένωση του τύπου  $C_xH_yO_z$  αυτή θα οξειδωθεί με οξυγόνο προς  $CO_2$  και  $H_2O$  κατά την αντίδραση:



Έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε τον ολικό άνθρακα εφόσον γνωρίζουμε το λόγο  $(y - z)/2$ . Ο λόγος αυτός είναι άγνωστος τις περισσότερες φορές και έτσι η μέθοδος C.O.D. αποκτά μεγάλη αξία.

Το  $K_2Cr_2O_7$  δρα ως οξειδωτικό σύμφωνα με την αντίδραση:



Η οξείδωση των περισσότερων οργανικών ενώσεων είναι επιτυχής σε ποσοστό πάνω από το 90% της θεωρητικής τιμής. Το ποσοστό των οργανικών ενώσεων που οξειδώνονται αυξάνει σημαντικά παρουσία θειικού αργύρου [7].

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές μιας μέτρησης C.O.D. είναι:

- η οξείδωση ανόργανων συστατικών,
- των χλωριώντων, ιωδίου και βρώμιου (δημιουργούνται ιζήματα και μερικώς μόνο οξειδώνονται),
- των νιτρωδών (επηρεάζει τη μέτρηση του C.O.D. κατά 1,1 mg  $O_2$ /mg  $NO_2$ ),
- του δισθενούς σιδήρου και
- των θειούχων.

Τα δείγματα που πρόκειται να αναλυθούν για C.O.D. τοποθετούνται σε δοχεία πολυαιθυλενίου ή γυάλινα και διατηρούνται μέχρι 7 ημέρες, εφ' όσον προστεθεί  $H_2SO_4$  (pH<2).

Οι τιμές C.O.D. δε συνδέονται άμεσα με τις τιμές του B.O.D. αλλά έμμεσα και εμπειρικά όταν πρόκειται για δείγματα σταθερής σύνθεσης. Στα δείγματα αυτά είναι δυνατό με βάση τις τιμές C.O.D να εκτιμήσουμε τις τιμές του B.O.D. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τον έλεγχο του οργανικού φορτίου δειγμάτων, τα οποία περιέχουν τοξικές ουσίες, και επομένως δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός του B.O.D.

Ο βαθμός συσχέτισης του C.O.D. με το θεωρητικό απαιτούμενο οξυγόνο, για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων του δείγματος, εξαρτάται από τη δυνατότητα πλήρους οξείδωσης των ουσιών που περιέχονται σε αυτό. Πολλές οργανικές ενώσεις, οξειδώνονται, σε ποσοστό 90-100 % και σε νερά που περιέχουν κυρίως τέτοιες ενώσεις, όπως τα αστικά λύματα, η τιμή του C.O.D. είναι ένα αρκετά καλό μέτρο του θεωρητικά απαιτούμενου οξυγόνου. Έτσι, στα αστικά λύματα η σχέση C.O.D./B.O.D. κυμαίνεται από 2,5/L έως 3,0/L

Όταν όλες οι οργανικές ενώσεις είναι βιοαποικοδομήσιμες και δεν έχουμε ανόργανες οξειδωσιμες ενώσεις, το υλικό B.O.D. έχει την ίδια τιμή με το C.O.D. [7].

Πάντως το C.O.D. σχεδόν πάντα διαφέρει από το B.O.D. και αυτό οφείλεται σε έναν αριθμό παραγόντων :

- Πολλές οργανικές ενώσεις δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες, οξειδώνονται όμως από τα διχρωμικά ιόντα.
- Είναι δυνατόν να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα ανόργανες ενώσεις που οξειδώνονται από τα διχρωμικά, όπως είναι ο δισθενής σίδηρος, το δισθενές μαγγάνιο, τα θειούχα, τα θειώδη, τα θειοθειικά, τα νιτρώδη κ.α. με αποτέλεσμα την αύξηση του C.O.D. Όταν υπάρχουν τέτοιες ενώσεις το C.O.D. δεν αποτελεί μέτρο μόνο της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων.
- Η μέτρηση του B.O.D. εξαρτάται και από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο δείγμα όταν γίνεται η καλλιέργεια
- Μερικές οργανικές ενώσεις δεν οξειδώνονται αποτελεσματικά από το διχρωμικό ανιόν, π.χ. μόρια ευθέων αλυσίδων, αλειφατικά οξέα και αλκοόλες. Για την καλύτερη οξείδωση προστίθεται  $Ag_2SO_4$ .

- Η ύπαρξη χλωριόντων παρεμβάλλεται στη μέτρηση του C.O.D. και πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια για την απάλειψη αυτής της παρέμβασης. Τα χλωριόντα οξειδώνονται από τα διχρωμικά, αυξάνοντας έτσι την απαίτηση σε οξυγόνο.

### 3.6 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (B.O.D.)

Το οργανικό φορτίο που βρίσκεται σ' ένα φυσικό υδάτινο οικοσύστημα, μαζί με ορισμένα ανόργανα συστατικά αποτελεί κατάλληλο θρεπτικό υλικό για μια ποικιλία μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί για να εξασφαλίσουν την ενέργεια που τους χρειάζεται, αφομοιώνουν τις οργανικές αυτές ουσίες μ' έναν πολύπλοκο μηχανισμό. Ο μηχανισμός αυτός καταλήγει τελικά στη διάσπαση των οργανικών ουσιών και στη μετατροπή τους στην πιο σταθερή μορφή που είναι ανόργανα άλατα, ενώ ταυτόχρονα εκλύονται διάφορα αέρια. Η αποικοδόμηση είναι αερόβια όταν υπάρχει διαλυμένο στο νερό οξυγόνο και γίνεται από αερόβιους μικροοργανισμούς με τελικά προϊόντα  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και αναερόβια όταν δεν υπάρχει διαλυμένο ελεύθερο οξυγόνο και γίνεται από αναερόβιους οργανισμούς με τελικά προϊόντα  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , που είναι δύσοσμα, τοξικά κι εκρηκτικά κι επηρεάζουν την υγεία φυτών και ζώων. Γι' αυτό μας ενδιαφέρει να επικρατούν στο περιβάλλον αερόβιες συνθήκες αποικοδόμησης [7].

Το οξυγόνο που χρειάζεται για τη βιοχημική αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών του υδάτινου αποδέκτη από αερόβιους μικροοργανισμούς ονομάζεται βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand).

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο αποτελεί σήμερα μια σημαντική παράμετρο όσον αφορά την ποιότητα του νερού. Αποτελεί ένδειξη για το βαθμό της οργανικής ρύπανσης που προκαλεί το αποσυντιθέμενο οργανικό υλικό. Το B.O.D. μετρά το ποσό του οξυγόνου που καταναλώνουν οι μικροοργανισμοί όχι μόνο για την αποικοδόμηση μιας ρυπαντικής ουσίας αλλά όλου του υπάρχοντος οργανικού υλικού.

Το οργανικό υλικό στα νερά προέρχεται από αστικά λύματα, γεωργικά, κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα, καθώς και υπολείμματα σοδειάς, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, όπως επίσης και από τη φυσική βλάστηση της περιοχής που όταν αποξηραίνεται εμπλουτίζει τους αποδέκτες. Επειδή η αποσύνθεση του οργανικού αυτού υλικού απαιτεί οξυγόνο, η μέτρηση του B.O.D. μας διευκολύνει να εκτιμήσουμε τα επίπεδα της ρύπανσης. Τα ρυπασμένα νερά αυτοκαθαρίζονται βιολογικά με τους αερόβιους αποικοδομητές - βακτήρια χρησιμοποιώντας το διαλυμένο οξυγόνο [7].

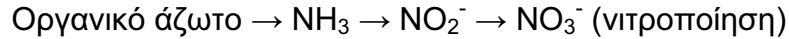
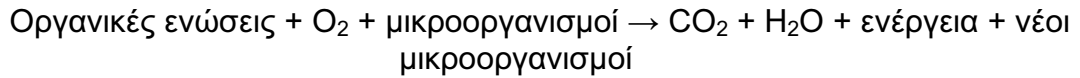
B.O.D. 20mg/L σημαίνει ότι 20mg οξυγόνου καταναλώνονται σε ένα λίτρο ακάθαρτων νερών σε 5 ημέρες και στους 20°C. Ο χρόνος των 5 ημερών είναι συμβατικός και χρησιμοποιείται διεθνώς γιατί μετρήθηκε ότι οι οργανικές ουσίες που υπάρχουν στα αστικά λύματα διασπώνται κατά 70 - 80% μέσα σε 5 ημέρες. Υδάτινες περιοχές με μικρή επιβάρυνση από τον άνθρωπο έχουν γενικά B.O.D. μεγαλύτερο από 2 mg/L ενώ όταν είναι πάνω από 5 mg/L θα πρέπει να αναζητηθεί η πηγή ρύπανσης.

Τα απόβλητα περιέχουν εκτός των άλλων και οργανικές αζωτούχες ενώσεις (με αμμωνιακές ομάδες), οι οποίες οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από νιτροποιητικά βακτήρια σε αργούς ρυθμούς και είναι μία από τις τρεις βασικές κατηγορίες οργανικών ενώσεων που οξειδώνονται βιοχημικά, οι οποίες και είναι:

- Υδατάνθρακες με τυπικά παραδείγματα την γλυκόζη, την κυτταρίνη και την κελουλόζη.
- Αζωτούχες ενώσεις με τυπικά παραδείγματα τις πρωτεΐνες, τα αμινοξέα και την ουρία.

- Λίπη και έλαια.

Η οξείδωση όλων των οργανικών ενώσεων των αποβλήτων δίνεται παραστατικά από την ακόλουθη αντίδραση.

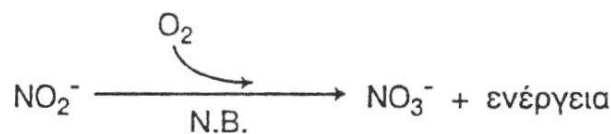
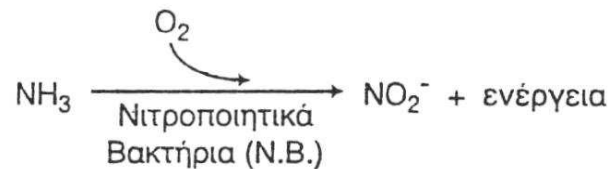


Όπως ήδη αναφέρθηκε οι αζωτούχες ενώσεις μετατρέπονται αρχικά σε αμμωνιακά ιόντα, στη συνέχεια, σε νιτρώδη και τέλος σε νιτρικά. Αντίστοιχα το θείο που είναι δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις μετατρέπεται σε θειικά ιόντα ενώ ο φώσφορος σε ορθοφωσφορικά.

Η γενική βιολογική αντίδραση για την αποσύνθεση των ανθρακούχων ενώσεων σε αερόβιο περιβάλλον εκφράζεται με το παρακάτω σχήμα [2].



Ενώ η νιτροποίηση ακολουθεί το γενικό σχήμα:



Σε περιπτώσεις που η βιολογική διάσπαση είναι βραδεία (π.χ. ξερά καλάμια αργούν να αποικοδομηθούν βιολογικά), οπότε το B.O.D. σε 5 ημέρες δεν μπορεί να δείξει το πραγματικό οργανικό φορτίο, είτε η παρουσία τοξικών ουσιών παρεμποδίζει τη δράση των μικροοργανισμών, έτσι ώστε οι τιμές B.O.D. να εμφανίζονται μικρότερες ή ακόμη και μηδενικές χρησιμοποιείται η μέτρηση του C.O.D. (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

Η μικροβιακή αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- είδος και αριθμός μικροοργανισμών
- προσφορά θρεπτικών συστατικών
- προσφορά οξυγόνου
- θερμοκρασία, φωτισμός, κ.ά.

Οι τιμές BOD<sub>5</sub> διάφορων υγρών αποβλήτων κυμαίνονται πολύ ανάλογα με την

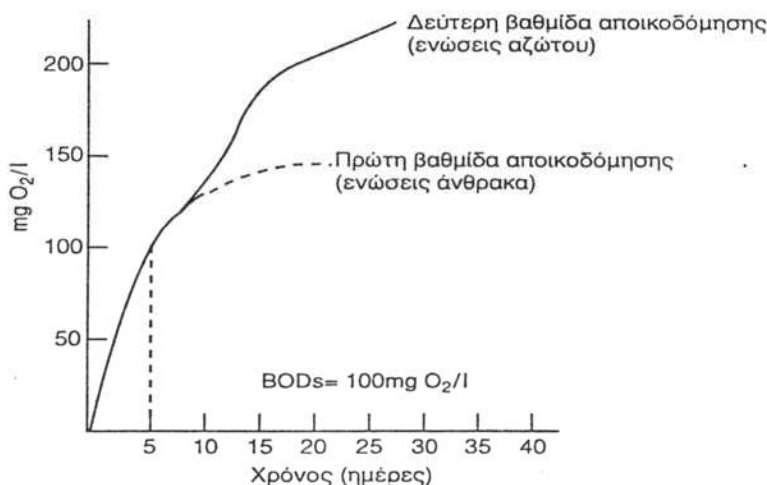
προέλευσή τους. Υπάρχουν παραδείγματα όπου έχουν αναφερθεί τιμές BOD<sub>5</sub> 100-400 ppm για απόβλητα οχετών πόλεων και 100-10.000 ppm για απόβλητα κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων και εργοστασίων επεξεργασίας τροφίμων. Είναι φανερό πόσο γρήγορα μπορεί να μειωθεί το διαλυμένο οξυγόνο του νερού μιας θαλάσσιας λεκάνης (π.χ. Σαρωνικός, Θερμαϊκός, Παγασητικός) ή λίμνης (π.χ. Καστοριάς, Ιωαννίνων, Κορώνειας) όταν εκχύνονται μεγάλες ποσότητες από τέτοια απόβλητα χωρίς προηγουμένως να γίνει καθαρισμός τους.

Στις παραπάνω περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ισχυρά οξειδωτικά μέσα όπου οξειδώνεται ολόκληρο το οργανικό περιεχόμενο του νερού.

Η ρίψη σε υδατοσυλλογές ανεπεξέργαστων αποβλήτων που απαιτούν οξυγόνο δεν επιφέρει μόνο μεταβολές στη σύνθεση των ειδών. Υπερβολική μείωση του διαλυμένου οξυγόνου ευνοεί την αναερόβια αποικοδόμηση σε βάρος της αερόβιας. Όταν σε μια υδατοσυλλογή επικρατεί αναερόβια αποικοδόμηση δημιουργούνται προϊόντα δύσοσμα. π.χ. αμίνες, υδρόθειο, τα οποία προκαλούν ισχυρές ενοχλήσεις στους παρακείμενους αστικούς πληθυσμούς.

Υποστηρίζεται ότι ο προσδιορισμός του B.O.D. είναι σημαντικότερος ακόμη και από τον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου επειδή, μειωμένη κατανάλωση οξυγόνου μπορεί να σημαίνει ότι το νερό είναι απαλλαγμένο από μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών ή ότι οι υπάρχοντες μικροοργανισμοί δεν "ενδιαφέρονται" για τη διάσπαση της οργανικής ύλης ή ακόμα ότι ένας μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών από εκείνους που αρχικά υπήρχαν έχει αποβιώσει.

Η καμπύλη που ακολουθεί (Σχ 3.5) παριστάνει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο.



Σχήμα 3.1: Γραφική παράσταση κατανάλωσης βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου [7].

Η πρώτη βαθμίδα αποικοδόμησης (διακοπτόμενη γραμμή) αντιστοιχεί στις ενώσεις του άνθρακα, ενώ η δεύτερη (συνεχής γραμμή) στις ενώσεις του αζώτου. Το οξυγόνο που καταναλώνεται στις πρώτες πέντε ημέρες (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την τιμή B.O.D. του εξεταζόμενου δείγματος.

Αν η απομάκρυνση του οξυγόνου είναι πλήρης (επομένως η τιμή του B.O.D. υψηλή), σημαίνει ότι στον φυσικό αποδέκτη δεν μπορούν να ζήσουν αερόβιοι οργανισμοί αλλά μόνο αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Στην περίπτωση αυτή, ο άνθρακας μετατρέπεται σε μεθάνιο, το άζωτο παραμένει στη μορφή των αμμωνιακών

ιόντων, το θείο μετατρέπεται σε υδρόθειο και ο φώσφορος σε φωσφίνη ( $\text{PH}_3$ ). Οι ενώσεις αυτές, είναι δύσσομες και τοξικές για τους υδρόβιους οργανισμούς.

### 3.7 Άζωτο

Το άζωτο βρίσκεται στο νερό μιας υδατοσυλλογής σε ποσότητες συχνά περιοριστικές για την πρωτογενή παραγωγικότητα. Οι μορφές υπό τις οποίες υπάρχει στη λίμνη είναι ποικίλες αλλά μπορούν να διαιρεθούν στις ακόλουθες πέντε κατηγορίες από τις οποίες η τρίτη και η πέμπτη είναι οι κυρίως προσλήψιμες από τους αυτότροφους οργανισμούς:

(α) Μοριακό  $\text{N}_2$  σε διάλυση. Δεν είναι πολύ διαλυτό στο νερό. Κατά τις περιόδους κυκλοφορίας παρατηρούνται μέγιστες τιμές 15-20 mL  $\text{N}_2$  ανά λίτρο. Ύψωση θερμοκρασίας μειώνει τη διαλυτότητα.

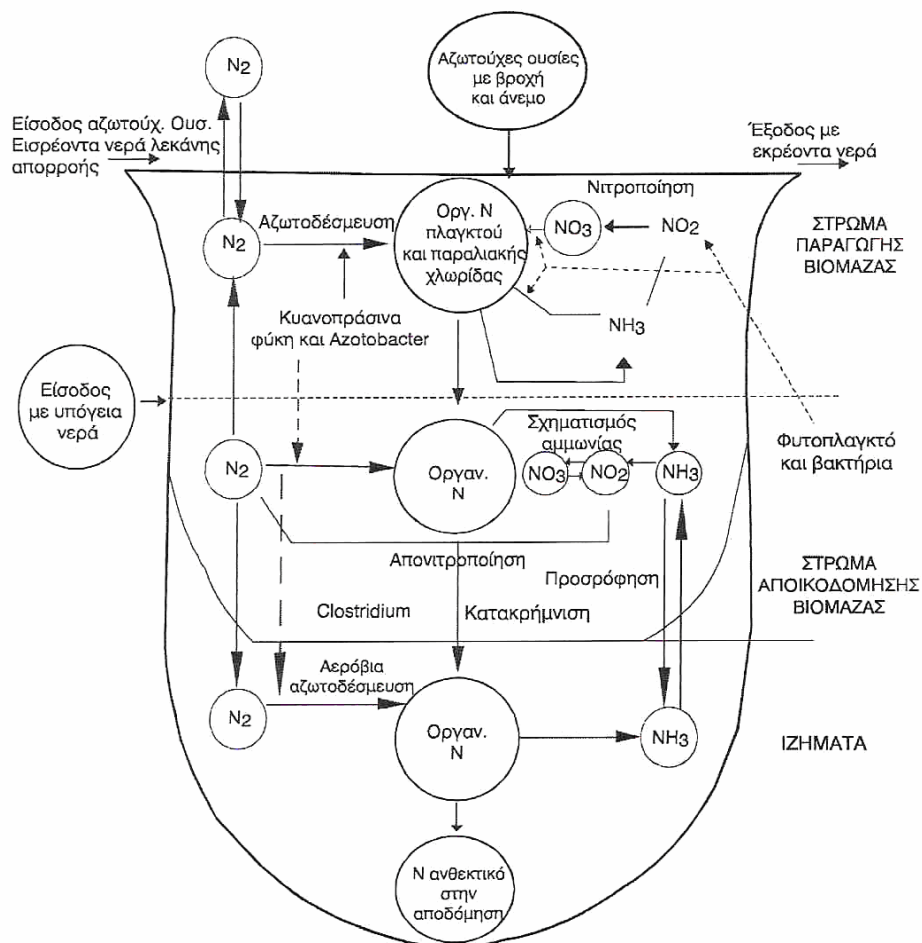
(β) Οργανικές αζωτούχες ενώσεις που περιλαμβάνουν διάφορα προϊόντα αποικοδομήσεως της οργανικής ουσίας Π.χ. πρωτεΐνες, αμινοξέα, ουρία, μεθυλαμίνες.

(δ) Νιτρώδη, κυρίως ως  $\text{NO}_2^-$ . Καμιά φορά υπάρχει και  $\text{NH}_2\text{OH}$ .

(γ) Αμμωνία, κυρίως ως  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

(ε) Νιτρικά, κυρίως ως  $\text{NO}_3^-$ .

Ο κύκλος του αζώτου στη λίμνη είναι, συγκριτικά με τις ανακυκλώσεις άλλων θρεπτικών στοιχείων, πιο ενδιαφέρον αλλά λιγότερο κατανοητός. Μια απλοποιημένη εικόνα της ανακυκλώσεως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 3.2:** Γενική εικόνα των διεργασιών που είναι υπεύθυνες για την ανακύκλωση του αζώτου σε μια λίμνη [3].



Για τη λίμνη Bantam έχει υπολογισθεί ότι η ποσοστιαία περιεκτικότητα των διαφόρων μερών του οικοσυστήματος, σε άζωτο είναι: του νερού 13% του όλου οικοσυστήματος, των φυκών 33%, των ανώτερων φυτών 3% και των ιζημάτων του πυθμένα (βάθους 1 cm) 51%. Όπως δείχνει και το Σχήμα το άζωτο των τεσσάρων αυτών μερών του οικοσυστήματος βρίσκεται σε συνεχή εναλλαγή [3].

Η βροχή, πέφτοντας απευθείας στη λίμνη, παρέχει άζωτο σε ποσότητα 0,1-1,0 g N/m<sup>2</sup>/έτος. Η ποσότητα είναι μεγαλύτερη όταν παρασυρθεί κονιορτός που περιέχει άζωτο και όταν διαλυθούν στη βροχή οξείδια αζώτου που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα από αστικές, βιομηχανικές και άλλες πηγές ρυπάνσεως [9].

Το νερό που εισρέει προς τη λίμνη από τη λεκάνη απορροής, είτε επιφανειακά είτε υπόγεια, περιέχει άζωτο και άλλα θρεπτικά στοιχεία. Το ποσό αζώτου που περιέχει εξαρτάται από τη χημική σύσταση των εδαφών και πετρωμάτων τα οποία διαπερνά το νερό, από τη φυτοκάλυψη και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που ασκούνται στη λεκάνη απορροής.

Ο εμπλουτισμός μέσω βιολογικής δέσμευσης είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Άζωτο δεσμεύουν κυρίως κυανοπράσινα φύκη (π.χ. *AZoZa*, *Anabaenaazollae*) αλλά και βακτήρια. Στα κυανοπράσινα φύκη το φως και η παρουσία οργανικού αζώτου ευνοεί τη δέσμευση ενώ αντίθετα τα δυσκολεύει η ταπείνωση της θερμοκρασίας και η παρουσία ανόργανου αζώτου.

Ειδικά για τη βακτηριακή δέσμευση είναι διαπιστωμένο ότι αυτή συμβαίνει. Υπεύθυνα γι' αυτήν είναι μερικά ετερότροφα βακτήρια (π.χ. διάφορα είδη των γενών *Azotobacter* και *Clostridium*) και σχεδόν όλα τα αυτότροφα βακτήρια.

**Πίνακας 3.1.** Δυνατές πηγές εμπλουτισμού και απώλειας αζώτου που ρυθμίζουν το ισοζύγιο αζώτου μιας λίμνης [3].

Εμπλουτισμοί	Απώλειες
<b>Από την ατμόσφαιρα</b>	Εκροή νερού
Βροχή	Διήθηση προς υπόγεια νερά
Αερολύματα και κονιορτός	Αλιεύματα
Φυτικοί ιστοί και διάφορα οργανικά υλικά	Απομάκρυνση υδρόβιων φυτών
<b>Από την επιφάνεια της γης</b>	Έντομα
Στράγγιση αγρών	Ατμοί αμμωνίας
Απορροή ζωικών αποβλήτων	Εξάτμιση (σχηματισμός αερολυμάτων από αφρούς της επιφάνειας του νερού)
Στράγγιση γαιών	Απονιτροποίηση
Απορροή από χερσαία εδάφη και δάση	Εναπόθεση οργανικών θρυμμάτων στον πυθμένα
Οικιακά απόβλητα (υπόνομοι)	Προσρόφηση αμμωνίας από ιζήματα πυθμένα
Βιομηχανικά απόβλητα	
Απόβλητα πλοιαρίων	
<b>Από το έδαφος</b>	
Φυσικά υπόγεια νερά	
Υποστράγγιση από αγρούς και οικισμούς	
Υποστράγγιση από βόθρους	
<b>Επιτόπου</b>	
αζωτοδέσμευση	
Έκπλυση ιζημάτων	

Τα ετερότροφα βακτήρια δεσμεύουν πολύ μικρές ποσότητες γιατί οι υδατοσυλλογές περιέχουν λίγους εξωγενείς υδατάνθρακες από τους οποίους, όπως είναι γνωστό, τα βακτήρια αυτά παίρνουν την ενέργειά τους. Παρόλο που οι πληροφορίες για τη βακτηριακή δέσμευση του αζώτου είναι ελλιπείς, φαίνεται ότι η διεργασία αυτή δεν παίζει σπουδαίο ρόλο στην ανακύκλωση του αζώτου μιας υδατοσυλλογής. Πρέπει να προστεθεί ότι και η αζωτοδέσμευση από χερσαίους οργανισμούς της λεκάνης απορροής συνεισφέρει κι' αυτή στον εμπλουτισμό της

υδατοσυλλογής αλλά έμμεσα [9].

Οι απώλειες υπό μορφή διαλυτού ανόργανου και οργανικού αζώτου καθώς και υπό μορφή αδιάλυτου οργανικού αζώτου που περιέχεται στα νερά που εκρέουν από τη λίμνη μπορεί συχνά να είναι αξιόλογες. Επίσης, απώλειες μπορεί να σημειωθούν από πτητικές αζωτούχες ουσίες που δημιουργούνται κατά την απονιτροποίηση. Τέλος, ως προσωρινή έξοδος από τον κύκλο μπορεί να θεωρηθεί ο "εγκλωβισμός" ανόργανου και οργανικού αζώτου στα ιζήματα του πυθμένα. Αναφέρεται ενδεικτικά ότι σε ένα στρέμμα πυθμένα τα ιζήματα πάχους 10 cm μπορεί να περιέχουν 5-20 kg αζώτου. Απ' αυτό, το περισσότερο είναι ακινητοποιημένο και προσροφημένο σε ανόργανα σωματίδια.

### 3.7.1 Νιτρικά Ιόντα

Το νιτρικό ιόν είναι η σταθερή μορφή του οξειδωμένου αζώτου των  $\text{NO}_3^-$ . Τα  $\text{NO}_3^-$  παίζουν ουσιώδη ρόλο στην αύξηση των φυτικών οργανισμών, κυρίως ως συστατικό των πρωτεϊνών. Η παρουσία όμως  $\text{NO}_3^-$  σε υψηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι δυνατό να θέσει σε κίνδυνο και τον άνθρωπο με την προμήθεια πόσιμου νερού και παραγωγή διαφόρων τροφίμων με υψηλή συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$ .

Τα νιτρικά διαλύονται εύκολα στο νερό και έχουν βρεθεί στη βροχή, στο χιόνι, στους ποταμούς, στις λίμνες, στη θάλασσα και στα πορώδη πετρώματα όπως είναι τα ανθρακικά και τα αμμώδη. Το πόσιμο νερό που προέρχεται από τις ανωτέρω πηγές παρουσιάζει μια σταθερή ύψωση της συγκέντρωσης των  $\text{NO}_3^-$  τα τελευταία 40 έτη. Αυτή η ύψωση συμπίπτει με την αύξηση της χρησιμοποίησης των αζωτούχων λιπασμάτων στη γεωργία [7,9].

Το πρόβλημα των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) θα έπρεπε να ονομάζεται πρόβλημα νιτροδών ( $\text{NO}_2^-$ ) διότι τα  $\text{NO}_2^-$  είναι αυτά που επηρεάζουν αρνητικά την υγεία

των ανθρώπων. Τα νιτρικά αντιθέτως χρησιμοποιούνται στη συντήρηση των τροφίμων και κυρίως εναντίον του *Chlostridium botulinum*, μικροοργανισμό υπεύθυνο για τον Βουτιλισμό. Τα  $\text{NO}_3^-$  μετατρέπονται σε  $\text{NO}_2^-$  με την παρουσία μικροοργανισμών που απαιτούν  $\text{O}_2$ . Αυτό μπορεί να συμβεί στο έδαφος, στο νερό και στο ανθρώπινο σώμα.

Τα  $\text{NO}_3^-$  στο ανθρώπινο σώμα δεν είναι τοξικά. Στην Ιατρική χρησιμοποιούνται με τη μορφή του  $\text{NaN}_3$  και  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  για την θεραπεία της φωσφατικής πέτρας των νεφρών των ανθρώπων. Δόσεις μέχρι 9 g την ημέρα έχουν χορηγηθεί γι' αυτό τον σκοπό χωρίς παρενέργειες. Τα  $\text{NO}_3^-$  γίνονται πρόβλημα όταν μετατρέπονται σε  $\text{NO}_2^-$ . Όταν αυτό συμβαίνει είναι δυνατή η εμφάνιση ασθενειών όπως η μεθαιμογλοβιναιμία και ο καρκίνος του στομάχου [7,9].

Η μεθαιμογλοβιναιμία (b1ue - baby syndrome) μπορεί να προκληθεί όταν παιδιά ηλικίας μικρότερης του έτους καταναλώσουν πολλά νιτρικά. Τα νιτρικά στον πεπτικό σωλήνα των παιδιών, όπου το pH του στομάχου δεν είναι πολύ όξινο (5-7) και υπάρχουν οι κατάλληλοι μικροοργανισμοί, μετατρέπονται σε  $\text{NO}_2^-$  τα οποία στη συνέχεια εισέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα όπου αντιδρούν με την αιμογλοβίνη του αίματος, την οποία καθιστούν ανίκανη πλέον να μεταφέρει  $\text{O}_2$  στους ιστούς του σώματος με τελικό αποτέλεσμα το "μελάνιασμα" του παιδιού (blue baby). Αυτή η "χημική ασφυξία" μπορεί να αποβεί μοιραία για τα παιδιά όταν η μισή περίπου ποσότητα της αιμοσφαιρίνης έχει μετατραπεί σε μεθαιμοσφαιρίνη. Άλλα συμπτώματα εκτός του κυανού χρώματος είναι η διάρροια και οι εμετοί. Στη φύση μπορεί να υποστεί αναγωγή και μετατροπή του σε νιτρώδες ( $\text{NO}_2^-$ ) μέσω βακτηριακής δράσης [3].

Τα νιτρικά άλατα χρησιμοποιούνται κυρίως στην παρασκευή λιπασμάτων. Η εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής οδήγησε στη χρήση, μετά το 1950,

τεράστιων ποσοτήτων λιπασμάτων που περιείχαν άζωτο με την μορφή των νιτρικών ιόντων. Τα νιτρικά ιόντα είναι προϊόν της αποικοδόμησης των πρωτεϊνών στο νερό. Τα φυτά δεν αξιοποιούν το σύνολο του προστιθέμενου αζώτου και σε συνδυασμό με την μεγάλη διαλυτότητα των νιτρικών ιόντων στο νερό αυτά παρασύρονται προς τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα. Εκεί αν επικρατούν αερόβιες συνθήκες παραμένουν σαν νιτρικά ενώ αν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες ανάγονται σε νιτρώδη ιόντα αλλά η διαδικασία αυτή μπορεί να φθάσει και μέχρι πλήρους μετατροπής σε μοριακό άζωτο (απονιτροποίηση).

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά είναι σχετικά χαμηλή (0 – 18 mg/L) αλλά όταν υπάρχουν εισροές από στραγγίσματα γεωργικών εκμεταλλεύσεων ή σκουπιδότοπων, οι συγκεντρώσεις μπορεί να φτάσουν σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα [3].

Σε υπόγεια νερά που δεν επηρεάζονται από εντατικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις οι συνήθεις συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων είναι μερικά mg/L. Όμως αυτά που επηρεάζονται υδρολογικά από εκτάσεις που γίνεται έντονη χρήση λιπασμάτων οι συγκεντρώσεις μπορεί να φτάσουν πολύ ψηλά. Σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν παρατηρηθεί αυξητικές τάσεις που είναι της τάξης των 0.2 – 1.3 mg/L.

Τέλος πιστεύεται ότι το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα και το οποίο κατά ένα ποσοστό προέρχεται από την απονιτροποίηση των αζωτούχων λιπασμάτων, παίζει σημαντικό ρόλο στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος της στρατόσφαιρας και συμβάλλει έτσι στην διαταραχή των κλιματικών συνθηκών του πλανήτη μας .

### 3.7.2 Αμμωνιακά Ιόντα

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ή ελεύθερης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), ανάλογα με το pH του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας:



Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του αμμωνίου είναι χαμηλή και συνήθως κάτω από 0,5 mg/L. Ωστόσο, σε υπόγεια νερά όπου το υπέδαφος είναι πλούσιο σε χουμώδεις ουσίες ή περιέχει στρώματα πλούσια σε σίδηρο, το αμμώνιο μπορεί να ανέλθει στα 1-3 mg/L. Σε νερό από πολύ βαθείς υδροφόρους, έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις μέχρι και 50 mg/L.

Η αμμωνία είναι προϊόν αποσύνθεσης των φυτικών και ζωικών πρωτεϊνών και απορριμμάτων. Σχηματίζεται ακόμα από την διάσπαση της ουρίας και του ουρικού οξέος. Με δεδομένο ότι πολλά λιπάσματα περιέχουν αμμωνία και ενώσεις αμμωνίας, η έκπλυση των χωραφιών μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στο νερό. Μελετώντας κάποιος τον κύκλο του αζώτου σε ένα φυσικό οικοσύστημα καταλαβαίνει και τον ρόλο της αμμωνίας [3,7].

Το αμμώνιο δεν επηρεάζει την υγεία στις συνήθεις συγκεντρώσεις που απαντάται στο πόσιμο νερό (συνήθως κάτω από 0,5 mg/L) αλλά ούτε και σε υψηλότερες. Συνήθως αυξημένες συγκεντρώσεις γίνονται αντιληπτές με την οσμή. Εν τούτοις, είναι ιδιαίτερης σημασίας για το πόσιμο νερό επειδή είναι δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης και αντιδρά με το χλώριο που τυχόν προστίθεται για απολύμανση και μειώνει την αποτελεσματικότητά του. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίου ευνοεί την ανάπτυξη αυτοχθόνων βακτηρίων και φυκών στο νερό επειδή

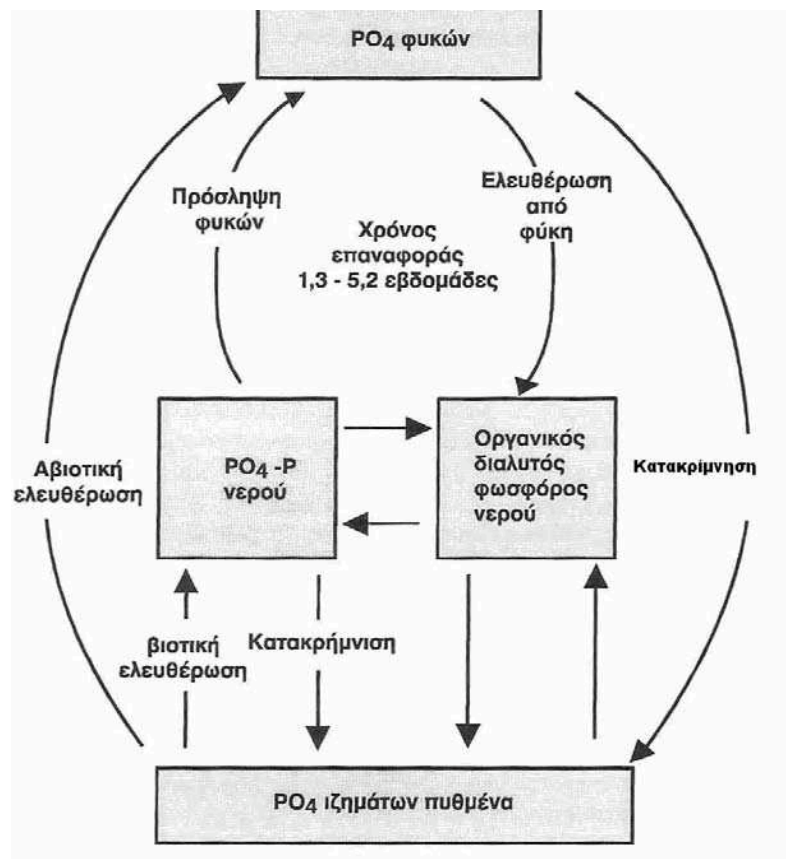
αποτελεί βασικό θρεπτικό συστατικών αυτών. Επίσης το αμμώνιο συμβάλλει σημαντικά στη διάβρωση του χαλκού και των κραμάτων αυτού.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στη χώρα μας, η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση αμμωνιακών στο πόσιμο νερό είναι 0,50 mg/L, ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο στα γλυκά νερά για τη διαβίωση της πέστροφας και των ειδών της οικογένειας των Σαλμονίδων και Κυπρινίδων, είναι 0,025 mg/L. Στα απόβλητα που εκβάλλουν στα επιφανειακά νερά η τιμή της ολικής αμμωνίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15 mg/L.

### 3.8 Φωσφορικά Ιόντα

Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα, ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) και πολυορθοφωσφορικών (π.χ.  $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ ) ιόντων και ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις [3,7].

Όταν τα νερά είναι καθαρά, τα ορθοφωσφορικά ιόντα ανιχνεύονται σε μικρές μόνο ποσότητες. Τα ιόντα αυτά προέρχονται κατά το πλείστον από τις βροχές και από τη διάβρωση ορθοφωσφορικών πετρωμάτων (π.χ. απατίτης). Η παρουσία τους οφείλεται και σε πολλές άλλες πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρημένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου.



**Σχήμα 3.3.** Κύκλος του φωσφόρου σε ένα υδάτινο οικοσύστημα [3].

Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά νερά, οφείλεται σε πολλές πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης:

- Απορρυπαντικά, οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρημένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου.
- Φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου.
- Οργανικός φώσφορος, δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες. Περιέχεται στα περιττώματα και υπολείμματα τροφών και συνεπώς και στα λύματα.
- Βιολογικός καθαρισμός λυμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη ιζημάτων σε λίμνες, λιμνοθάλασσες, κλειστές θάλασσες και στη βιολογική ύλη.
- Υπό την μορφή ανόργανων αλάτων ή δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.



**Εικόνα 3.1.** Φαινόμενο ευτροφισμού στη λίμνη Κουρνά. Οκτώβριος 2002.

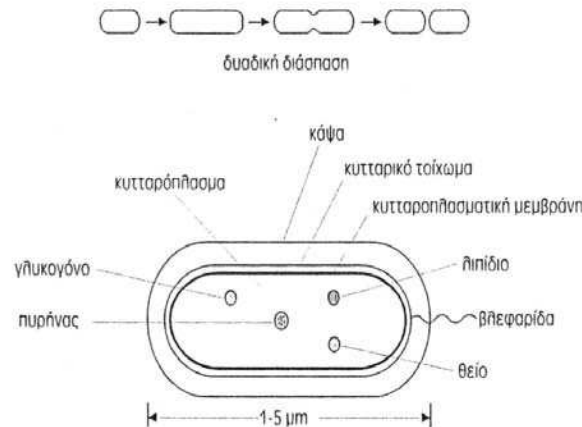
Ο φώσφορος είναι το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψή του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε μια υδατική μάζα. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου παρουσιάζεται το φαινόμενο του ευτροφισμού (εικ.3.1), το οποίο αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο πρόβλημα σε ποταμούς, λίμνες, εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές.

### 3.9 Μικροβιακό Φορτίο (Total και Fecal Coliforms)

Τα βακτήρια είναι μονοκύτταροι οργανισμοί που χρησιμοποιούν διαλυτή τροφή κυρίως οργανική αν και υπάρχουν πολλά είδη. Το μέγεθος τους είναι μεταξύ 0.5-5μm και είναι διαφόρων σχημάτων. Τα περισσότερα βακτήρια είναι ευαίσθητα σε αλλαγές pH και προτιμούν την αλκαλική περιοχή αν και κάποια είδη π.χ τα βακτήρια του θείου μπορούν να υπάρξουν και να αναπτυχθούν στην όξινη περιοχή. Είναι επίσης

ευαίσθητα στις αλλαγές της θερμοκρασίας και κάθε είδος έχει μια ειδική θερμοκρασία βέλτιστης ανάπτυξης [7].

Η απομόνωση και ο προσδιορισμός των παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στο νερό αποτελούν τον κύριο σκοπό των διαφόρων μικροβιακών αναλύσεων. Επειδή όμως η αναγνώριση του κάθε μικροοργανισμού παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες και επειδή ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών είναι σε σχέση με άλλους μικροοργανισμούς πολύ μικρός, για τον προσδιορισμό της πιθανότητας που έχει το νερό να μεταδώσει ασθένειες χρησιμοποιούνται οργανισμοί που ονομάζονται *δείκτες* (κοπρικής ρύπανσης).



**Σχήμα 3.4:** Κύρια χαρακτηριστικά των βακτηρίων [7]

Οι οργανισμοί - δείκτες είναι μικροοργανισμοί η ύπαρξη των οποίων στο νερό επιβεβαιώνει μόλυνση του νερού (από περιπτώματα ή λύματα από ζώα ή τον άνθρωπο). Οι δείκτες ενδέχεται να συνοδεύονται από παθογόνους μικροοργανισμούς, οι ίδιοι όμως δεν είναι παθογόνοι. Ο ιδανικός οργανισμός - δείκτης (κοπρικής ρύπανσης) πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Να είναι εφαρμόσιμος σε όλα τα νερά.
- Να συνυπάρχει με τα παθογόνα είδη.
- Να έχει αρκετή συγκέντρωση σε σχέση με τα παθογόνα είδη.
- Η συγκέντρωσή του να είναι ανάλογη με το βαθμό μόλυνσης.
- Να έχει χρόνο ζωής παραπλήσιο με τα παθογόνα είδη.
- Να μην υπάρχει σε καθαρά νερά.
- Να είναι εύκολα ανιχνεύσιμος .
- Να έχει σταθερά βιοχημικά χαρακτηριστικά για ανίχνευση.
- Να είναι αβλαβής.
- Να μην πολλαπλασιάζεται στο εξωτερικό περιβάλλον.
- Να δίνει χαρακτηριστικές αντιδράσεις εξειδικευμένες και σχετικά απλές που να επιτρέπουν γρήγορες και μονοσήμαντες αναγνώσεις.

Πιο κοντά στην ικανοποίηση των περιορισμών βρίσκονται τα κολοβακτηρίδια. Αυτά ορίζονται σαν θετικά κατά Gram, μη σχηματίζοντα σπόρια βακτήρια, τα οποία έχουν την ικανότητα να προκαλούν ζύμωση της λακτόζης με ταυτόχρονη παραγωγή οξέος και αερίου μέσα σε 48 ώρες στους 35 °C.

Για το χαρακτηρισμό του νερού ως κατάλληλου ή ακατάλληλου για χρήση είναι τα ολικά κολοβακτηρίδια (total coliforms) και τα κολοβακτηρίδια κοπρανώδους προέλευσης (fecal coliforms).

Παίρνουν το όνομά τους από την μορφολογική τους ομοιότητα με την *Escherichia coli*, βακτήριο που ζει συμβιωτικά στο τμήμα κόλον του εντερικού σωλήνα του ανθρώπου και ορισμένων ζώων.

Η ομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών (total coliforms) περιλαμβάνει αερόβια και προαιρετικά αναερόβια Gram-αρνητικά βακτήρια που ζυμώνουν την λακτόζη στους 35°C σε 48 ώρες με παραγωγή αερίου. Ανήκουν στην οικογένεια των εντεροβακτηρίων που περιλαμβάνει τα είδη *E.coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*. Επειδή μερικά στελέχη της ομάδας αυτής δεν βρίσκονται μόνο στην εντερική χλωρίδα, αλλά μπορούν να βρεθούν και στο περιβάλλον (έδαφος κτλ), η παρουσία τους δε σημαίνει αποκλειστικά κοπρανώδη προέλευση, αλλά δείχνει ύπαρξη βακτηρίων που δεν ανήκουν στη φυσική χλωρίδα του νερού, δηλαδή τα βακτήρια αυτά έχουν εξωγενή προέλευση. Τα ολικά κολοβακτηριοειδή απομονώνονται εύκολα και εξαιτίας του μεγαλύτερου χρόνου επιβίωσης τους από τους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την μετάδοση διαφόρων ασθενειών, αποτελούν έναν πολύ χρήσιμο δείκτη για την πιθανή παρουσία εντερικών παθογόνων βακτηρίων και ιών στο νερό. Συμπερασματικά ένα νερό που είναι απαλλαγμένο από ολικά κολοβακτήρια είναι αυτόματα απαλλαγμένο από βακτήρια που μεταδίδουν επιδημίες όπως τυφώδης πυρετός, δυσεντερία και χολέρα [7].

Στα κοπρανώδη κολοβακτήρια (fecal coliforms) περιλαμβάνονται είδη που ζουν αποκλειστικά στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Τα κοπρικά κολοβακτήρια περιέχονται σε μεγάλους αριθμούς, της τάξεως των εκατομμυρίων, στα περιττώματα, λύματα και κτηνοτροφικά απόβλητα. Ταξινομικά ανήκουν στην οικογένεια *Enterobacteriaceae* που περιλαμβάνει και το είδος *Escherichia coli*. Η παρουσία τους στο νερό αποτελεί σαφή ένδειξη κοπρικής επιμόλυνσης, χωρίς όμως να καθιστά το νερό υγειονομικά επικίνδυνο εάν δεν έχει ανιχνευθεί και η παρουσία συγκεκριμένων παθογόνων παραγόντων.

Από το πλήθος των μικροοργανισμών που υπάρχουν στη φύση λίγοι είναι εκείνοι που είναι παθογόνοι και μπορούν να μεταδοθούν στον άνθρωπο από το νερό. Στους παθογόνους όμως μικροοργανισμούς, περιλαμβάνονται είδη που προκαλούν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο όπως τύφος από *Salmonella typhosa*, η χολέρα από *Vibrio comma*, η δυσεντερία από *Entamoeba histolytica* κτλ. Σε μικροοργανισμούς οφείλονται επίσης και διάφορες ιώσεις όπως η ηπατίτιδα, η πολυεμελίτιδα κ.α. καθώς και μυκητιάσεις όπως κολπίτιδες, οι δερματίτιδες κα [7].

### 3.10 Ιόντα Χλωρίου

Το χλώριο είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση και συνιστά περίπου το 0,05 % του στερεού φλοιού της γης. Το μεγαλύτερο από αυτό το ποσό βρίσκεται διαλυμένο στη θάλασσα. Εν τούτοις το χλώριο που βρίσκεται στο φυσικό γλυκό νερό είναι σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανόργανα ανιόντα των υδάτων και των αποβλήτων. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό [7,9].

Υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες που βρίσκονται κοντά στην ακτή μπορεί να παρουσιάσουν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Μερικοί ποταμοί επίσης μπορεί να παρουσιάσουν υψηλές συγκεντρώσεις λόγω ρύπανσης από βιομηχανικά απόβλητα.

Το ιόν του χλωρίου ( $Cl^-$ ) είναι το πλέον διαδεδομένο στο ανθρώπινο σώμα και συμβάλλει σημαντικά στις οσμωτικές διαδικασίες των εξωκυτταρικών υγρών. Το επίπεδο των χλωριόντων στο σώμα ρυθμίζεται από ένα περίπλοκο σύστημα. Η ημερήσια λήψη χλωρίου από έναν ενήλικα είναι 2 – 5 g.

Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων αλάτων στο νερό προσδίδουν μία δυσάρεστη γεύση. Το όριο με κριτήριο γεύσης από τα χλωριούχα είναι 250-500 mg/L

και πάνω από 1500 mg/L θεωρούνται επικίνδυνα για τους καταναλωτές. Γενικά υψηλές συγκεντρώσεις αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού.

Τα χλωριόντα χρησιμοποιούνται ως δείκτης ρύπανσης στα φυσικά νερά, αφού η αλμυρότητα που εμφανίζεται μπορεί να προέρχεται από οικιακά λύματα λόγω της παρουσίας χλωριούχων ιόντων (συστατικά των ούρων).

Πολλές κατηγορίες βιομηχανιών (τσιμεντοβιομηχανίες, κεραμικά, βιομηχανίες άντλησης πετρελαίου κ.α.) επιβαρύνουν, με υψηλές τιμές χλωριόντων, τα απόβλητα τους και στη συνέχεια τους φυσικούς αποδέκτες στους οποίους καταλήγουν [7,9].

Οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων έχουν ως αποτέλεσμα, την αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του πόσιμου νερού, την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών ενώ έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΛΙΜΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνέπεια της γεωλογικά νέας μορφολογίας της χώρας και του ημίξηρου κλίματος ενός μεγάλου μέρους της, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος μικρών λεκανών με μικρές λίμνες. Υπάρχουν 40 λίμνες στο ελληνικό έδαφος με μια συνολική επιφάνεια περίπου 560km<sup>2</sup>. Η επιφάνεια αυτή αποφέρει ποσοστό λιγότερο από 0.5% της συνολικής επιφάνειας της χώρας. Το Σχήμα 4.1 εμφανίζει τις βασικές φυσικές λίμνες της χώρας. Η επιφάνεια απορροής ανέρχεται σε περίπου 45km<sup>3</sup>/s. Αυτό το ποσό αντιστοιχεί σε 18% της απορροής της Ευρώπης στη Μεσόγειο.

Η Ελλάδα βρίσκεται στη μεσογειακή εύκρατη κλιματολογική ζώνη, με μια ανομοιογενή χωρική και εποχιακή κατανομή μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Αυτό το γεγονός, μαζί με τη μεταβλητή γεωμορφολογική κατατομή και το γεωλογικό υπόβαθρο της ελληνικής χερσονήσου, προκαλεί σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή και τις υδρολογικές μεταβλητές των ποταμών και των λιμνών της [13].

Η εντατική και συχνά αδιάκοπη διαχείριση των υδάτινων πόρων στις λεκάνες απορροής κατά τη διάρκεια των ετών έχει συμβάλει σε μια σταθερή μείωση των υδάτινων πόρων επιφάνειας. Τα υψηλά ποσά διαπεριφερειακού ύδατος καταναλώνονται στις γειτονικές χώρες (Βουλγαρία και πρώην Γιουγκοσλαβία), ενώ μεγάλης κλίμακας προγράμματα αποκατάστασης αποξηράνσεων και εδάφους έχει μειώσει δραστικά τις επιφάνειες απορροής και τις επιφάνειες των λιμνών. Επιπλέον, οι υψηλοί ρυθμοί ιζηματογένεσης, που ενισχύονται από την εκτενή εδαφολογική διάβρωση λόγω της αποδάσωσης, έχουν μειώσει εντυπωσιακά τον όγκο των λιμνών. Επιπλέον, τα γεωργικά, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα έχουν μεταβάλλει τη σύσταση του επιφανειακού νερού και έχουν περιορίσει τη χρήση του.

Οι πηγές επιφανειακού νερού στην Ελλάδα εξυπηρετούν τους σκοπούς ανθρώπινης κατανάλωσης και άρδευσης, την υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας, τις βιομηχανικές χρήσεις, την αλιεία και τις δραστηριότητες αναψυχής. Επιπλέον, πολλές λίμνες καταλαμβάνουν τους υγρότοπους της διεθνούς σημασίας (προστατευόμενοι από τη συνθήκη Ramsar).

Προκειμένου να προχωρήσει κανείς σε μια ενσωματωμένη και βιώσιμη διαχείριση και προστασία των επιφανειακών υδάτων και των χρήσεών τους, είναι μεγάλης σημασίας να γνωρίζουμε τη σύσταση των ποταμών και των λιμνών και να κατανοήσουμε τις εποχικές και χωρικές παραλλαγές τους [13].

Με στόχο να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά και να παρουσιαστεί η περιβαλλοντική κατάσταση των λιμνών της ελληνικής επικράτειας, μια σειρά μακροπρόθεσμων δεδομένων από διάφορους οργανισμούς, όπως η Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Ε.ΥΔ.ΑΠ.), το Υπουργείο Γεωργίας, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και δημοσίων έργων καθώς επίσης και από ιδιώτες ερευνητές έχουν συγκεντρωθεί [13].

#### 4.2 ΦΥΣΙΚΟ – ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται το εύρος για την ελάχιστη και μέγιστη τιμή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των ελληνικών λιμνών σύμφωνα με κρατικούς οργανισμούς και ερευνητές. Κάποιες ιδιομορφίες που παρατηρούνται αποδίδονται σε

ανθρωπογενείς επιρροές, κλιματικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, μορφολογικούς και γεωλογικούς παράγοντες.

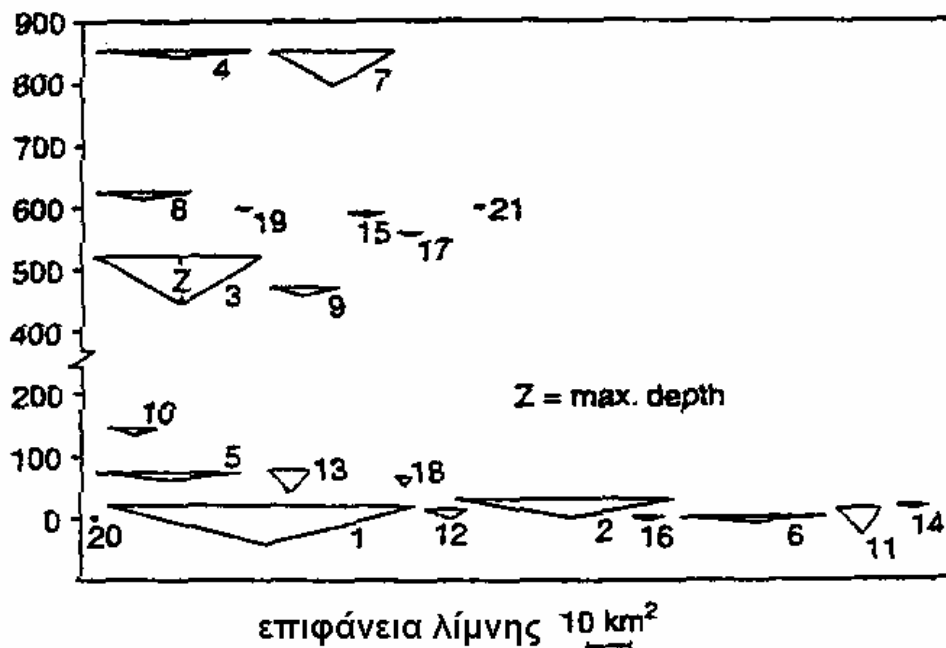


**Σχήμα 4.1:** Οι κυριότερες Ελληνικές λίμνες: Μιτρικού, Βιστωνίδα, Κερκίνη, Βόλβη, Κορωνίδα, Δοϊράνη, Βεγορίτιδα, Πετρών, Ζαζάρη, Χειμαδίτιδα, Καστοριά, Μικρή Πρέσπα, Μεγάλη Πρέσπα, Πολύφυτος, Σφικιά, Ασωμάτων, Αώου, Ιωαννίνων, Πουρνάρη, Λούρου, Πλαστήρα, Κρεμαστά, Καστράκη, Στράτος, Αμβρακία, Οζερός, Λυσιμαχεία, Τριχωνίδα, Μόρνου, Παραλίμνη, Υλίκη, Πηνειού. [13]

Η πλειοψηφία των ελληνικών λιμνών παρουσιάζει θερμική στρωματοποίηση τους καλοκαιρινούς μήνες, που είναι πιο έντονη στις βαθιές λίμνες όπως η Τριχωνίδα, η Μεγάλη Πρέσπα, η Βόλβη, η Βεγορίτιδα και η Αμβρακία. Οι παραπάνω βαθιές και μεγάλες λίμνες δεν καλύπτονται από πάγο και χαρακτηρίζονται θερμές μονομικτικές. Οι βόρειες ελληνικές λίμνες, όπως η Καστοριά, η Μικρή Πρέσπα και η λίμνη Παμβώτιδα που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο καλύπτονται από πάγο

για λίγες μέρες μόνο κάθε 3-5 χρόνια και χαρακτηρίζονται διμικτικές. Η μείωση οξυγόνου στις ελληνικές λίμνες είναι ο καθοριστικός παράγοντας επηρεαζόμενος από την εμπορική αλιεία και δραστηριότητες αναψυχής. Κατά τη διάρκεια της θερινής στρωματοποίησης, οι μεγάλες και βαθιές λίμνες παρουσιάζουν κοντά στην επιφάνεια του πυθμένα τη μικρότερη τιμή κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου, ενώ οι ρηχές ανοξικό υπολίμνιο για εκτεταμένη περίοδο από το καλοκαίρι έως αργά το φθινόπωρο. Από αυτή τη περίοδο έως αργά την άνοιξη, το υδάτινο δυναμικό των περισσότερων λιμνών είναι επαρκώς οξυγονωμένο από την επίδραση των ανέμων. Γενικότερα, η αυξανόμενη κατάσταση της μείωσης του οξυγόνου του υπολίμνιου είναι συνέπεια του εμπλουτισμού συστατικών από αλλόχθονες και αυτόχθονες πηγές δηλαδή συνθήκες ευτροφισμού. Οι χειρότερες συνθήκες οξυγόνου παρατηρήθηκαν σε λίμνες που καταλήγουν λύματα και/ή αγροτικές αποθέσεις, όπως η Βιστονίδα, η Καστοριά, η λίμνη Παμβώτιδα και η Κορωνίδα. Σε λίμνες που παρατηρούνται κυρίως αγροτικές αποθέσεις όπως η Μικρή Πρέσπα, η Λυσιμαχία, η Αμβρακία και η Δοϊράνη η μείωση οξυγόνου είναι μικρότερη [13].

Οι μέσες ετήσιες τιμές pH ποικίλουν μεταξύ 7.8 και 8.6 με μέγιστη τιμή 10.6 ενώ τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δίσκου Secchi διαφάνειας ποικίλουν ανάλογα με το βάθος της λίμνης. Υψηλές τιμές pH και μικρή διαφάνεια σημαίνουν βιολογική δραστηριότητα κατά την παραγωγική περίοδο στο επιλίμνιο. Για την ακρίβεια, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Vollenweider (1975), η πλειοψηφία των ελληνικών λιμνών είναι ευτροφικές και μόνο οι βαθιές λίμνες μπορούν να χαρακτηριστούν ως ολιγοτροφικές ή μεσοτροφικές.



**Σχήμα 4.2:** Μορφολογική παρουσίαση των Ελληνικών λιμνών σε σχέση με το ύψος. Το βάθος των λιμνών είναι στο ίδιο γράφημα ως ύψος τριγώνου [14].

Η μέση ετήσια συγκέντρωση αλκαλικότητας ποικίλει μεταξύ 1.4 και 5.6 mval/l. Οι μικρότερες τιμές (1.4-2.6 mval/l) έχουν μετρηθεί στις περισσότερες λίμνες. Μέτριες τιμές (3.2-3.7 mval/l) παρατηρήθηκαν στις λίμνες Βεγορίτιδα, Δοϊράνη, Λυσιμαχία και Χειμαδίτιδα, ενώ οι μέγιστες στη Βόλβη και στην Κορωνίδα (4.7-7.3 mval/l) αντίστοιχα. Η χαμηλή αλκαλικότητα υποδεικνύει σύμφωνα με τη φωτοσύνθεση, ανθρακικά κατακρημνίσματα ενώ υψηλές τιμές προκλήθηκαν από τη διάλυση

ανθρακικών από σχηματιζόμενο διοξείδιο του άνθρακα κατά την επεξεργασία αναπνοής. Το εύρος τιμών της αγωγιμότητας κυμαίνεται από 247-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$  με μέγιστη τιμή να φθάνει στα 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , για τη Βιστονίδα εξ' αιτίας της εισροής επιφανειακού θαλασσινού νερού. Αντίστοιχα, οι υψηλές τιμές αγωγιμότητας στις λίμνες Κορωνεία και Βόλβη σε νερό ακτών. Αυτές οι τρεις λίμνες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου, ενώ η υψηλή περιεκτικότητα άλλων λιμνών οφείλεται σε αστικές αποθέσεις. Τα υψηλότερα επίπεδα θειικών ιόντων μετρήθηκαν στην Αμβρακία και οφείλονται στην απόθεση Τριασικού γύψου. Στις λίμνες Βιστονίδα και Κορωνίδα, τα θειικά ιόντα προέρχονται πρωτίστως από την εισαγωγή θαλασσινού νερού και σε μικρότερο ποσοστό από ανθρωπογενείς πηγές. Η λίμνη Πετρών είναι εμπλουτισμένη με θειικά που προέρχονται από αρδεύσεις, ενώ στη Λυσιμαχία καταλήγουν θειικά ιόντα από υπολείμματα Τριασικού γύψου και ανθρωπογενείς πηγές, όπως λύματα της πόλης του Αγρινίου και αγροτικές εργασίες [13].

Τα πρώτα σημάδια του ποιοτικού υποβιβασμού των νερών των λιμνών έχουν γίνει εμφανή πριν δεκαετίες. Τα τελευταία χρόνια, πολλές ελληνικές λίμνες έγιναν οι αποδέκτες αγροτικών, βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων και εμπλουτίστηκαν με θρεπτικά συστατικά, ιζήματα και βαρέα μέταλλα. Η είσοδος θαλασσινού νερού είναι ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα που είναι εμφανές στις ακτές των λιμνών. Τα επίπεδα των συστατικών είναι μείζονος σημασίας διότι σχετίζονται με τον ευτροφισμό. Οι βόρειες λίμνες Βεγορίτιδα, Πετρών, Χειμαδίτιδα, Ζάζαρη, και Βιστονίδα παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Στην πλειοψηφία, οι τιμές ολικού φωσφόρου υπερβαίνουν τα 20 $\mu\text{g}/\text{l}$  αποδεικνύοντας ότι υπάρχει ανθρωπογενής επίδραση. Σε αντίθεση, τα επίπεδα ολικού ανόργανου αζώτου υπερβαίνουν την οριακή τιμή των 0.5 $\text{mg N}/\text{l}$  για μη μολυσμένες λίμνες εκτός από δύο. Οι αγροτικές αποθέσεις και τα ανεπεξέργαστα λύματα είναι οι κυριότερες αιτίες εμπλουτισμού συστατικών των ελληνικών λιμνών. Ειδικότερα, η λίμνη Βεγορίτιδα έχει αυξημένο ανόργανο άζωτο σαν αποτέλεσμα της κατάληξης λυμάτων από το εργοστάσιο λιπασμάτων. Οι λίμνες Καστοριά και Ιωαννίνων είναι εμπλουτισμένες με θρεπτικά συστατικά σαν αποτέλεσμα των αστικών οικιακών λυμάτων, ενώ στις άλλες λίμνες παρατηρούνται αγροτικά και τοπικής προέλευσης λύματα. Για την πλειοψηφία των ελληνικών λιμνών η αναλογία N/P, που καθορίζει την κύρια παραγωγικότητα είναι μεγαλύτερη από 12, κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Αυτή η τιμή αποδεικνύει, σύμφωνα με τον OECD (1983), ότι ο περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των αλγών είναι ο φώσφορος. Μόνο η Μεγάλη Πρέσπα, η Καστοριά και η Υλίκη έχουν αναλογία N/P αρκετά μικρότερη από 7, δικαιολογεί τη οριακή φωτοσύνθεση λόγω αζώτου.

Σύμφωνα με το Πίνακα 4.1 τα βαρέα μέταλλα φθάνουν σε υψηλές συγκεντρώσεις. Βαρέα μέταλλα θεωρούνται τα στοιχεία που έχουν υψηλή πυκνότητα και συγκεκριμένα μεγαλύτερη των 5 $\text{g}/\text{cm}^3$ . Έχουν συνήθως μεγάλο ατομικό βάρος, μεγαλύτερο του 20, εκτός των αλκαλικών γαιών, λανθανιδίων και ακτινιδίων. Σε αντίθεση με τις περισσότερες οργανικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται, παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι τοξικά για το βίοκοσμο. Τοξικολογικά πειράματα σε οργανισμούς των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων με βαρέα μέταλλα συνηγορούν για τη παρακάτω γενική σειρά τοξικότητας των μετάλλων:

- Θαλάσσιοι οργανισμοί:  $\text{Hg} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Cr}$
- Λειχήνες:  $\text{Hg} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni}$

Από τα βαρέα μέταλλα, εκείνα που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως ρύποι, είναι ο υδράργυρος, ο μόλυβδος, το αρσενικό, το κάδμιο, το χρώμιο και το νικέλιο. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται ιδιαίτερα τοξικά για τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς και δεν ανήκουν στα απαραίτητα για την αύξηση και ανάπτυξή τους. Στα παραπάνω, θα μπορούσαν να προστεθούν και άλλα όπως ο χαλκός και ο ψευδάργυρος τα οποία

παρόλο ότι είναι απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, όταν βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό ή στο έδαφος είναι πολύ τοξικά. Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά και προσλήψιμα από τους οργανισμούς [11].

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα, μπορεί κανείς να συνοψίσει ότι οι περισσότερες μολυσμένες λίμνες είναι οι Κορωνίδα, Παραλίμνη, Βεγορίτιδα, Βιστονίδα και Καστοριά. Οι κυριότερες πηγές καδμίου, χαλκού και ψευδαργύρου είναι η λίπανση και υπολείμματα εντομοκτόνων. Στη περίπτωση της Βιστονίδας, υψηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων οφείλονται και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. [13]

Συνοψίζοντας, οι ελληνικές λίμνες παρουσιάζουν θερμική στρωματοποίηση και είναι στη πλειοψηφία τους μονομικτικές. Οι ρηχές είναι ευτροφικές, ενώ οι βαθιές κατατάσσονται ως ολιγοτροφικές και μεσοτροφικές. Ο ευτροφισμός των ελληνικών λιμνών είναι αποτέλεσμα εισροών προερχόμενων από αρδεύσεις, οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Ο ευτροφισμός, που εξαρτάται κυρίως σε φώσφορο, αυξάνει την στρωμάτωση και προκαλεί ανοξικό περιβάλλον στο υπολίμνιο από το καλοκαίρι έως αργά το φθινόπωρο ειδικά στις ρηχές λίμνες [13].

**Πίνακας 4.1:** Συγκεντρώσεις Βαρέων μετάλλων των κυριότερων Ελληνικών λιμνών σε  $\mu\text{g/l}$  [13].

Όνομασία λίμνης	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Cd	Hg	As
Τριχωνίδα		47.8	18.9						2.1
Βόλβη		5.9	4.8						30.2
Βεγορίτιδα	24.2	92.0	15.2				1.4	0.08	
Βεγορίτιδα	1.2	16.3	0.7	8.2		0.5			
Μικρή Πρέσπα		23.6	14.4						
Μικρή Πρέσπα	0.2	1.2	0.4	2.5			0.1		2.0
Κορωνεία		115.5	3.7						53.7
Κορωνεία	36.8	121.0	21.8			15.3	1.8	0.46	
Βιστονίδα	58.4	83.7	43.2		4.0	38.9	5.0	0.16	
Καστοριά		32.8	6.6						1.1
Καστοριά	31.1	81.2	19.4				0.7	0.25	
Ιωάννινα		33.1	5.2						1.9
Δοϊράνη		40.0	9.6						43.3
Δοϊράνη	22.3	62.5	12.4				1.6	0.04	
Στυμφαλία		22.8	9.7						2.2
Παραλίμνη		112.0	39.3						3.0

**Πίνακας 4.2** Φυσικοχημικές παράμετροι (μέση/μέγιστη τιμή) των κυριότερων Ελληνικών λιμνών. Οι τιμές που αναγράφονται με αστερίσκο (\*) αναφέρονται στην ελάχιστη τιμή [13].

Όνομασία Λίμνης		T <sup>a</sup> (°C)	C <sup>b</sup> (μS/cm)	pH	Secchi (m)	Total Alcalinity (mval/l)	SO <sub>4</sub> (mval/l)	Cl (,val/l)	D.O. <sup>d</sup> (mg/L)	Chl-a <sup>e</sup> (mg/m)	T.P. <sup>f</sup> (μg/L)	P-PO <sub>4</sub> (μg/L)	N-NO <sub>2</sub> (μg/L)	N-NO <sub>3</sub> (μg/L)	N-NH <sub>3</sub> (μg/L)
Τριχωνίδα	Μέσο	15	247	8.1	8.5	2.6	0.48	0.51	9	2.3	17	3	1.33	41	20
	Μέγιστο	30	380	8.7	13	3	1.68	0.75	11	4.3		14	3.24	147	136
Βόλβη	Μέσο	6.8	980	7.9	0.7	4.7	0.48	3.36	8	10*	30		0	0	10
	Μέγιστο	29	1320	9.3	2	5.4	0.5	3.93	13	30			57	190	240
Βεγορίτιδα	Μέσο	18	517	8.2	3.3	3.5	0.68	0.87	8.4	0*	24	165	72	1090	326
	Μέγιστο	26	1012	9	5.5	4	1.58	2.43	15.5	15		1222	888	2270	2995
Μικρή Πρέσπα	Μέσο	21	266	8.3	1	2.5	0.12	0.21	7		28	276	8.9		109
	Μέγιστο	28	520	8.8	1.6	3	0.16	1.14	8.5			844	20.6		288
Κορωνίδα	Μέσο		1170	8.1		7.3	1.24	4.38			42				
	Μέγιστο		1660	9		8.8	1.7	5.07							
Βιστονίδα	Μέσο	4*	1200	7.8	0.2	2.6	2.3	9.72	0*	0*	42	36	0	0	0
	Μέγιστο	28	11000	9.2	1	3.6	9.6	10.8	17	197		104	120	780	1325
Μεγάλη Πρέσπα	Μέσο	16	219	8.3	6	2.1	0.1	0.18	7.5		6.4	142	4.2		39
	Μέγιστο	22	260	8.9	7	2.3	0.16	0.66	8.5			755	29.1		265
Καστοριά	Μέσο	15	239	8.2	1.2	2.8	0.13	0.36	8.2	27	39.4	31		75	35
	Μέγιστο	22	310	9.5	2.3	3	0.2	1.2	14.2	280		460		1066	364
Ιωάννινα	Μέσο	17	308	8.4		2.4	0.32	1.35	6		38		4	226	192
	Μέγιστο	28	560	9.8		3.1	0.72	6.75	14				20	499	942
Δοϊράνη	Μέσο		408	8.1		3.7	0.56	0.42			26				
	Μέγιστο		630	9.3		4.6	0.66	0.66							
Αμβρακία	Μέσο	9.2*	550	8.3		2	7.4	1.44		1*	37	5*		65	5
	Μέγιστο	26	1100	8.9		2.6	13	2.25		9		50		630	140
Λυσιμαχία	Μέσο		343	8.1		3.4	1.54	0.66			23				
	Μέγιστο		460	8.7		4.1	1.62	1.11							
Υλίκη	Μέσο		368	8.2			0.46	0.36			23	67	2.4	2.27	9
	Μέγιστο		577	8.8			0.80	1.41				566	4.5	5.22	48
Χειμαδίτιδα	Μέσο	22	480	8.1	3.2	3.2	0.80	0.6	7			498		195	514
	Μέγιστο	29	910	10.5	3.6	3.6	2.4	0.9	11			1671		338	1455
Πετρών	Μέσο	21	685	8.5	2.1	2.1	2.74	0.99	11			2257	54	336	1641
	Μέγιστο	30	1430	9.3	5.8	5.8	3.2	1.29	18			4305	95	536	2420
Παραλίμνη	Μέσο	17	427	8.2			0.5	1.02			18	17	5	114	
	Μέγιστο	23	1093	9.2			1.88	1.47				33	57	341	
Ζαζάρη	Μέσο	23	370	8.6	0.7	1.4	0.2	0.29	11			524	12.4	109	303
	Μέγιστο	28	520	10.6	1.6	2.1	0.4	1.42	17			1670	33.6	372	615

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης – Λίμνη Κουρνά



Εικόνα 5.1: Λίμνη Κουρνά. Ιούνιος 2005.

#### 5.1 Πολιτιστικά και Κοινωνικά Χαρακτηριστικά

«Κόριον, τόπος εν Κρήτη από κόρης τινός, ο πολίτης Κορήσιος και η λίμνη Κορησία και Αθηνάς ιερόν Κορησίας». Αυτό ήταν το όνομα του χωριού στην αρχαιότητα και μέχρι σήμερα στη θέση αυτή είναι το χωριό Κουρνάς. Βρίσκεται σε υψόμετρο 200m και απόσταση 43 km από τη πόλη των Χανίων. Από το χωριό πήρε και το όνομα της η λίμνη που ονομάστηκε Κορησία και αργότερα δημιουργήθηκε ένας θρύλος για αυτή.

Στη θέση της λίμνης του Κουρνά υπήρχε κάποτε ένα χωριό. Ένας κάτοικος του χωριού είχε μια ωραία κόρη και μια μέρα πήγαιναν μαζί στις γεωργικές δουλειές. Στο δρόμο η κόρη κουράστηκε, κάθισε σε μια πέτρα και άρχισε να χτενίζει τα μαλλιά της. Στον πατέρα της, βλέποντας την τόσο όμορφη με τα ξέπλεγα μαλλιά της, δημιουργήθηκε μια κτηνώδης επιθυμία. Η κόρη τον παρακάλεσε να την αφήσει να πει τρία λόγια και είπε: «Βούλα και βουλολίμνα και εγώ στοιχειό στη λίμνα». Και αμέσως ο τόπος βούλιαξε και έγινε λίμνη.

Το πρώτο όνομα της λίμνης οι αρχαίοι συγγραφείς αναφέρουν ότι ήταν Κορησία, υπήρξε μάλιστα στην περιφέρεια της ο ναός της «Κορησίας Αθηνάς». Στα αραβικά η λέξη Κουρνά σημαίνει λουτήρας και λίμνη. Ίσως, να μετονομάσθηκε λοιπόν από Κορησία σε Κουρνά από τους Άραβες κατακτητές. Προτείνεται και η εκδοχή ότι η λέξη 'Κουρνάς' είναι παράφραση της ελληνικής λέξης κρουνός (βρύση), από τη μεγάλη πηγή το μάτι ή Αμάτι απ' όπου αναβλύζουν μεγάλες ποσότητες νερού.

Πάντως και σήμερα ακόμη η λίμνη περιβάλλεται από ένα μυστήριο που ξεκινά από το μύθο. Από τους ντόπιους θεωρείται «άπατη» σαν άβυσσος. Ακόμα, την ονομάζουν και «αματάτη». Έχει ένα κυκλώπειο μάτι. Στην άκρη της λίμνης τα νερά σχηματίζουν με αποχρώσεις μπλε επάλληλους κύκλους στο κέντρο των οποίων η πηγή, ο «ανάβολος» αναβλύζει.

## 5.2 Γεωγραφική Θέση και Διοικητική Υπαγωγή

Η περιοχή των υγροτόπων «Κουρνά – Γεωργιούπολης» βρίσκεται στη βορειοανατολική πλευρά του νομού Χανίων. Αποτελεί περιοχή της τέως επαρχίας Αποκορώνου και διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Γεωργιούπολης. Απέχει 40 km από τη πόλη των Χανίων και 11 km από τη πόλη του Ρεθύμνου. Η περιοχή Life / Δυτικής Κρήτης «Κουρνά – Γεωργιούπολης» περιλαμβάνει την λίμνη και τα παράχθια συστήματα της, το τμήμα του εδάφους και τα διάφορα ρεύματα που εκβάλλουν στη παραλία της Γεωργιούπολης, το έλος, τις πηγές και τις αμμοθίνες της Γεωργιούπολης και τμήμα της βραχώδους ακτής βόρεια και δυτικά της Γεωργιούπολης [1].

Η λίμνη Κουρνά ως υγρότοπος έχει καταχωρηθεί στην Απογραφή των Ελληνικών Υγροτόπων – ΕΚΒΥ με τα εξής στοιχεία:

Κωδικός: 434380000

Γεωγραφικό Μήκος: 24<sup>0</sup> 16' 26"

Γεωγραφικό Πλάτος: 35<sup>0</sup> 21' 50"

Έκταση: 60 εκτάρια

Τύπος Υγρότοπου: Εσωτερική μονίμως κατακλυσμένη λίμνη γλυκού νερού

Η περιοχή αναφέρεται σε διεθνείς – ευρωπαϊκούς καταλόγους βιοτόπων και υγροβιοτόπων και θεωρείται ως σημαντική περιοχή για την ορνιθοπανίδα ICBP – IWRB, CORINE Biotopes.



Εικόνα 5.2: Δορυφορική φωτογραφία του Νομού Χανίων.

## 5.3 Γεωμορφολογία της Περιοχής

Το ανάγλυφο ολόκληρης της περιοχής περιλαμβάνει δύο μορφολογικές ζώνες. Τη παραλιακή ζώνη και την εσωτερική ορεινή ζώνη των Λευκών Ορέων.



- Η πρώτη ζώνη είναι σχεδόν επίπεδη. Ξεκινάει από υψόμετρο 100m και κλίνει ομαλά έως το επίπεδο της θάλασσας με κλίση 4% περίπου. Δυτικά της λίμνης, το ανάγλυφο αρχίζει να γίνεται λοφώδες. Αυτή η ζώνη καλύπτεται από Νεογενείς αποθέσεις και σε υψόμετρο 5 m από το επίπεδο της θάλασσας, από κόκκινες Πλειστόκαινες αποθέσεις και νεότερες προσχωματικές αποθέσεις. Στο άκρο περίπου αυτής της ζώνης είναι η λίμνη Κουρνά .
- Η εσωτερική ζώνη των Λευκών Ορέων, έχει ανώμαλη επιφάνεια με πολύ απότομες πλαγιές. Έχει σχήμα βαθουλωτού καθίσματος με άξονα από Δύση προς Ανατολή. Καλύπτεται από ασβεστόλιθους. Το ανώμαλο ανάγλυφο οφείλεται σε τεκτονικές αιτίες, αλλά και στην καρστική δράση.



**Εικόνα 5.3:** Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής της λίμνης του Κουρνά.

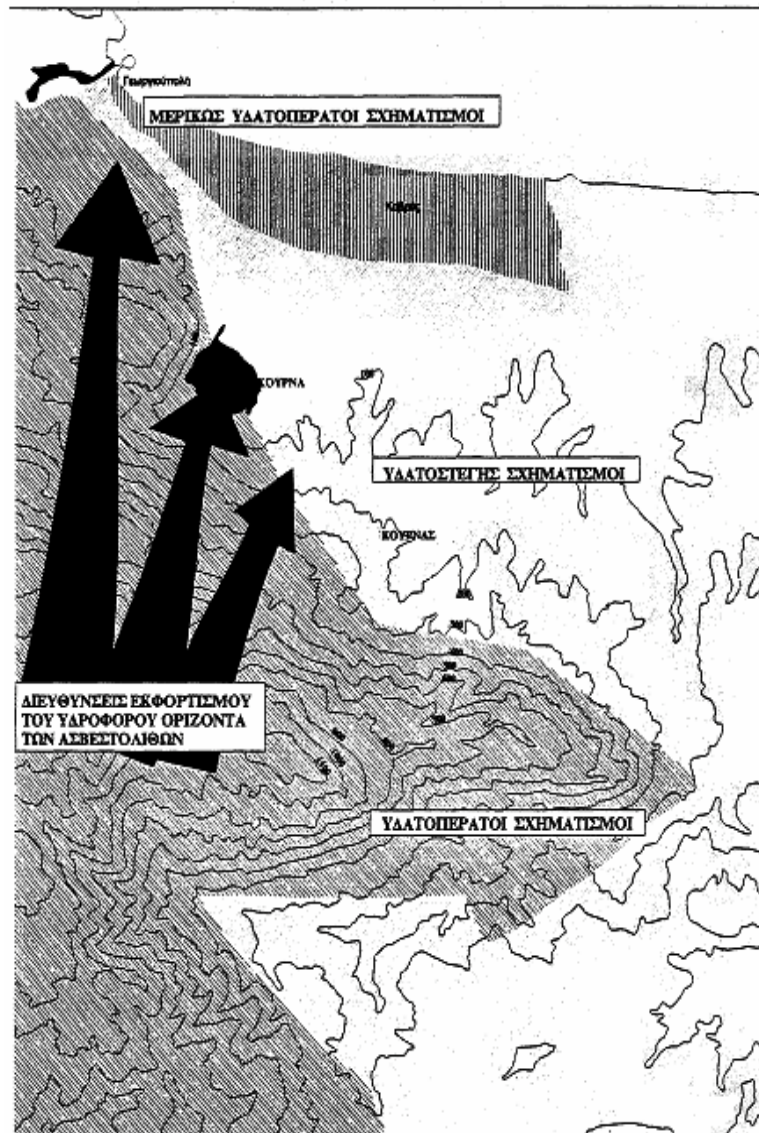
Η λίμνη του Κουρνά βρίσκεται στο βάθος της πρώτης ζώνης (νότια και δυτικά). Είναι η μοναδική φυσική λίμνη σε νησί της Μεσογείου. Αποτελεί μια υδρολογική και βιολογική ενότητα με το υφάλμυρο δέλτα της Γεωργιούπολης – Αλμυρού, καθ' όσον δρόμος εκφόρτισης των νερών της λίμνης, είναι αυτός των τεκτονισμένων και καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων. Ο εμπλουτισμός της λίμνης γίνεται από την ορεινή μάζα των Λευκών Ορέων, μέσω της πηγής 'αμάτι' στο Νοτιοανατολικό άκρο της. Η υδρολογική λεκάνη που ανήκει η περιοχή του σχεδίου είναι αυτή του ανατολικού Αποκόρωνα, η οποία διαιρείται σε δύο υπολεκάνες. Ανατολικά η υπολεκάνη Ασή Γωνιάς – Μουσέλα και δυτικά η υπολεκάνη Κουρνά Γεωργιούπολης, όπου και εντάσσονται ολοκληρωτικά οι αναφερόμενοι υγράτοποι. Η υπολεκάνη δέχεται ετησίως 33.000.000 m<sup>3</sup> όγκο βροχής [1].

## 5.4 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό, με θερμό και ξηρό καλοκαίρι και βροχερό ήπιο χειμώνα . Αυτό βρίσκεται υπό την επίδραση :

- Του Κρητικού πελάγους όπου πνέουν βόρειοι άνεμοι ισχυροί κατά το χειμώνα και ασθενείς κατά το θέρος και το φθινόπωρο και

- Του Ιονίου πελάγους, κυρίως ως προς τη βροχερότητα δεδομένου ότι από εκεί καταφθάνουν τα βροχερά νέφη.



**Σχήμα 5.1:** Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής [1].

Για τη μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά στοιχεία από τον σταθμό της ΥΕΒ που ήταν εγκατεστημένο στο Μουρί (στη λεκάνη της λίμνης του Κουρνά) σε υψόμετρο 24m. Ο σταθμός αυτός έχει γεωγραφικές συντεταγμένες πλάτος  $35^{\circ} 20'$  και μήκος  $24^{\circ} 17'$  και λειτουργεί από το 1964. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν κλιματολογικά στοιχεία του σταθμού του Ινστιτούτου Υποτροπικών και Ελιάς Χανίων στους Αρμένους. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε υψόμετρο 50m με γεωγραφικό πλάτος  $24^{\circ} 9'$  και πλάτος  $35^{\circ} 25'$  και λειτουργεί από το 1978 [1].

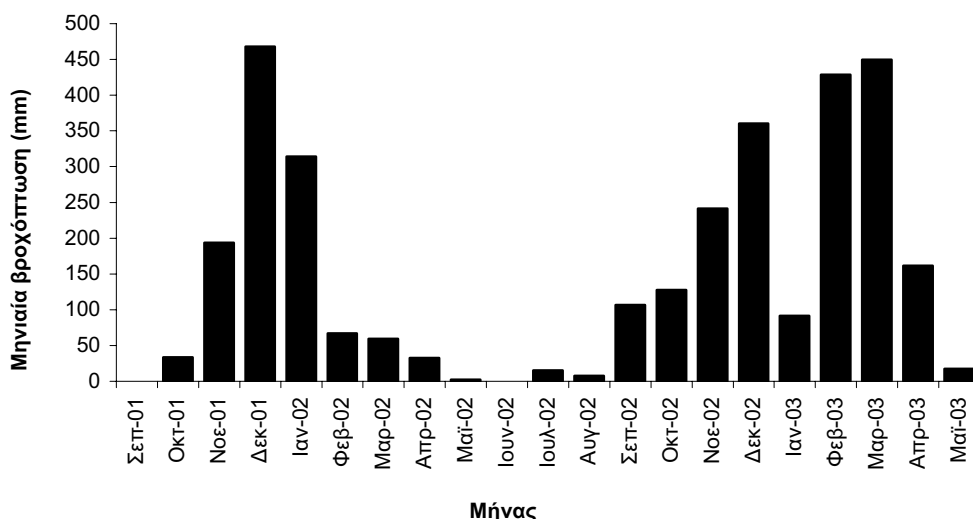
## 5.5 Βροχοπτώσεις

Οι τιμές των βροχοπτώσεων προέκυψαν από μετρήσεις 30 ετών (1964 – 1994). Οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις σε χιλιοστά (mm) δίδονται στον πίνακα 5.1 Από τον πίνακα προκύπτει ότι στην περιοχή πέφτουν αρκετές βροχοπτώσεις οι

οποίες είναι εντονότερες τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Δεκέμβριο και Νοέμβριο και ασθενέστερες τους μήνες Μάρτιο και Οκτώβριο.

**Πίνακας 5.1:** Μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων 1964 – 1994

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ (mm)
Ιανουάριος	212,65
Φεβρουάριος	167,71
Μάρτιος	100,54
Απρίλιος	49,98
Μάιος	17,79
Ιούνιος	9,28
Ιούλιος	1,94
Αύγουστος	13,56
Σεπτέμβριος	47,1
Οκτώβριος	112,55
Νοέμβριος	149,12
Δεκέμβριος	150,82
Μέσες ετήσιες τιμές	1033,04



**Σχήμα 5.2:** Μέση μηνιαία μεταβολή κατακρημνισμάτων 2001-2003

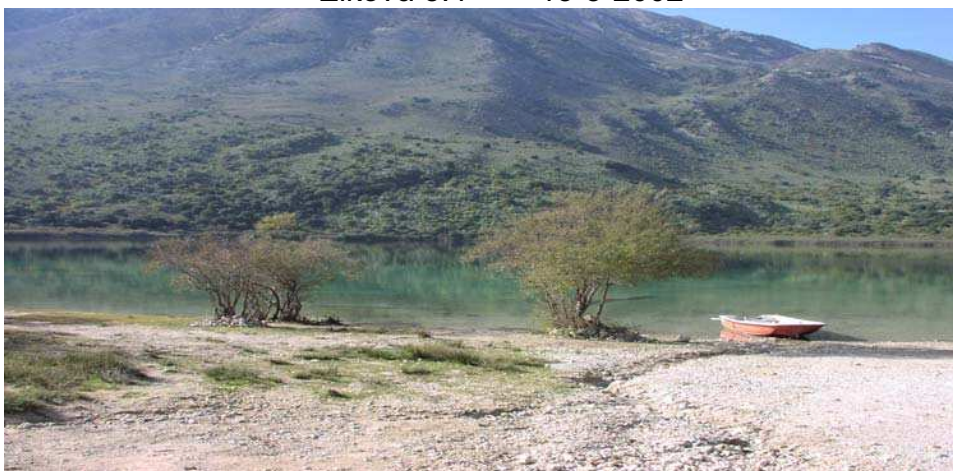
Η μηνιαία βροχόπτωση την περίοδο μελέτης από Σεπτέμβριο 2001 έως τον Μάιο 2003 φαίνεται στο σχήμα 5.2 και παρατηρήθηκαν έντονες βροχοπτώσεις του μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο [1].

Στις εικόνες 5.4, 5.5 και 5.6 παρουσιάζεται η διαμόρφωση της στάθμης στην λίμνη κατά το έτος 2002. Παρατηρείται ότι κατά τον μήνα Μάρτιο 2002 η στάθμη της λίμνης βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα αφού έχουν προηγηθεί έντονες βροχοπτώσεις τους χειμερινούς μήνες Δεκέμβριο 2001 – Ιανουάριο 2002 όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.2. Επίσης, ιδιαίτερα χαμηλή στάθμη της λίμνης παρατηρήθηκε τον μήνα Νοέμβριο 2002 καθώς είχαν προηγηθεί οι καλοκαιρινοί μήνες με την αυξημένη κατανάλωση, σε συνδυασμό με την καθυστερημένη έναρξη των χειμερινών βροχοπτώσεων (Σχήμα 5.2).

Στην συνέχεια, τον μήνα Δεκέμβριο παρατηρείται μια γρήγορη αύξηση στην στάθμη του νερού της λίμνης έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν κατά τον μήνα Νοέμβριο άλλα και κατά την διάρκεια του Δεκεμβρίου (Σχήμα 5.2).



Εικόνα 5.4 13-3-2002



Εικόνα 5.5 15-11-2002



Εικόνα 5.6 18-12-2002

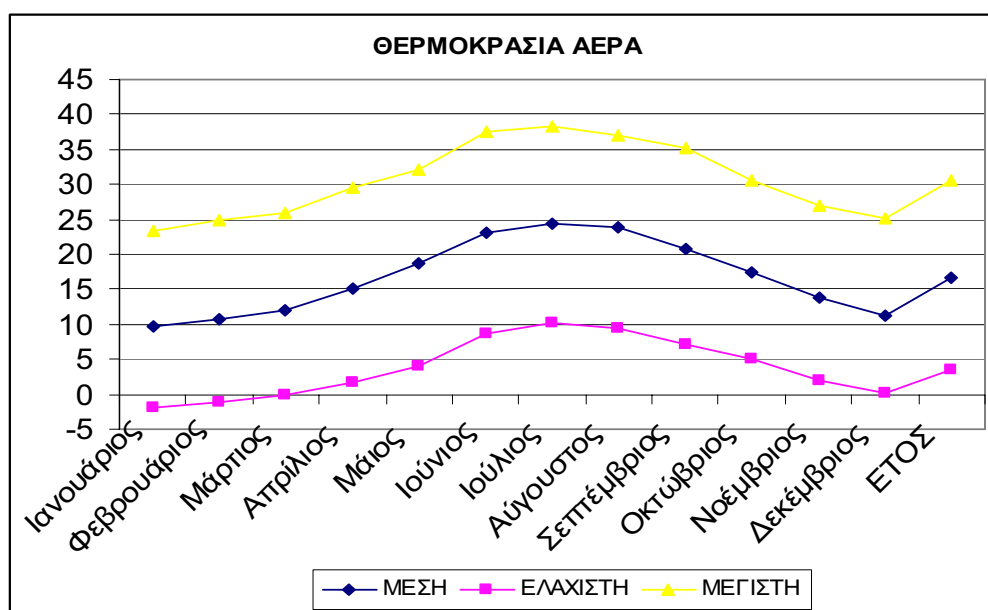
**Εικόνα 5.4 – 5.6:** Διαμόρφωση της στάθμης της λίμνης Κουρνά από τον Μάρτιο μέχρι τον Δεκέμβριο 2002.

## 5.6 Θερμοκρασία Αέρα

Οι μέσες μηνιαίες, η μέση ετήσια, η μέση μέγιστη καθώς και η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία αέρα, δίδονται στον Πίνακα 6.2. Τα μεγέθη προκύπτουν από την επεξεργασία στοιχείων 13 ετών, από το 1978 μέχρι το 1990 [1].

**Πίνακας 5.2:** Θερμοκρασίες σε ημερήσιο επίπεδο [1].

ΜΗΝΕΣ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΕ °C			ΜΕΣΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΥΡΟΣ ΣΕ °C
	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	
Ιανουάριος	9,8	-1,8	23,3	25,1
Φεβρουάριος	10,8	-1,2	24,8	26
Μάρτιος	11,9	-0,2	25,8	26
Απρίλιος	15	1,8	29,5	27,7
Μάιος	18,7	3,9	32,1	28,2
Ιούνιος	23	8,6	37,4	28,8
Ιούλιος	24,4	10,3	38,2	27,9
Αύγουστος	23,8	9,5	36,9	27,4
Σεπτέμβριος	20,9	7,1	35,1	28
Οκτώβριος	17,4	5	30,5	25,5
Νοέμβριος	13,8	1,9	27	25,1
Δεκέμβριος	11,2	0,1	25,2	25,1
ΕΤΟΣ	16,7	3,5	30,5	26,7

**Σχήμα 5.3:** Μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο από τις μηνιαίες τιμές των ετών από 1978 έως 1990 [1].

Από τον πίνακα προκύπτουν οι μέσες κατά εποχή τιμές θερμοκρασίας:

Χειμώνας	10,4 °C
Άνοιξη	15,2 °C
Καλοκαίρι	23,7 °C
Φθινόπωρο	23,7 °C

Ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Μάρτιος ενώ θερμότεροι είναι ο Ιούλιος, ο Αύγουστος και ο Ιούνιος. Από τα θερμικά στοιχεία προκύπτει ότι οι θερμοκρασίες είναι πολύ ευνοϊκές για την ανάπτυξη πρώιμων και όψιμων καλλιεργειών [1].

## 5.7 Σχετική Υγρασία

Η περιοχή εμπίπτει στην ετήσια ισόυγρο καμπύλη των 67% σχετικής υγρασίας. Στον Πίνακα 6.3 δίδονται οι μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας.

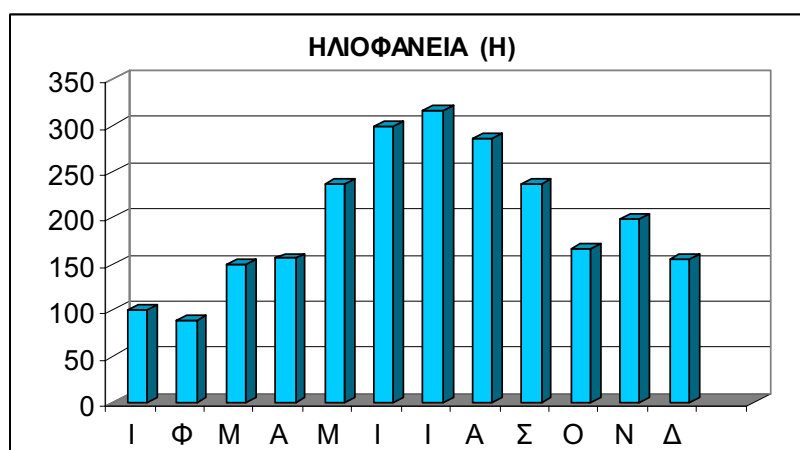
**Πίνακας 5.3:** Μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας [1].

ΜΗΝ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
ΣΧΕΤ. ΥΓΡ.	73,8	72	70	66,9	62,6	58,7	58,3	60	66	71,4	73,6	73	67

Οι χαμηλότερες τιμές της μέσης σχετικής υγρασίας, σημειώνονται τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες. Οι μέσοι όροι των μηνών αυτών κυμαίνονται από 58 – 60% και είναι τιμές πολύ καλές έως άριστες για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και της φυσικής βλάστησης [1].

## 5.8 Ηλιοφάνεια

Για τα λιμναία και γενικότερα τα υδάτινα οικοσυστήματα, η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας αφού αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας για το νερό και καθορίζει τις μετεωρολογικές συνθήκες στη λεκάνη απορροής της λίμνης και τον κυματισμό του νερού. Παράλληλα, η ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με την πρωτογενή και τη δευτερογενή παραγωγή οργανικής ύλης μέσω της φωτοσύνθεσης, που μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε χημική. Η φωτοσύνθεση παράγει βιομάζα (οργανική ύλη) είτε μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα (αυτόχθονη) είτε στη λεκάνη απορροής (αλλόχθονη) η οποία μεταφέρεται στο λιμναίο οικοσύστημα είτε ως διαλυμένη είτε ως σωματιδιακή οργανική ύλη εξασφαλίζοντας έτσι τροφή σε ένα μεγάλο αριθμό των οργανισμών της λίμνης. Η ένταση του φωτός που δέχεται στιγμιαία κάθε φυτοπλαγκτονικός οργανισμός εξαρτάται από τη θέση του μέσα στην υδάτινη στήλη και την κατανομή του φωτός στο νερό. Όσο πιο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως στο νερό τόσο πιο βαθιά μπορούν να αναπτυχθούν φωτοσυνθετικές δραστηριότητες [1].



**Σχήμα 5.4:** Μηνιαία μεταβολή της ηλιοφάνειας [1].

Στον Πίνακα 5.4 δίνεται η ηλιοφάνεια σε ώρες / μήνα και έτος

**Πίνακας 5.4:** Μηνιαίες τιμές ηλιοφάνειας

ΜΗΝΕΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
ΗΛΙΟΦ. ΣΕ (H)	100	89	150	156	236	300	317	285	236	166	199	155	

**5.9 Τεκτονική και Γεωλογική Μελέτη της Λίμνης Κουρνά**

Η λίμνη Κουρνά είναι η μοναδική μεγάλη φυσική λίμνη της Κρήτης. Είναι η νοτιότερη λίμνη της Ευρώπης. Τα βασικά της στοιχεία είναι:

Απόσταση από τη θάλασσα: 2500m

Απόσταση από τον οικισμό Κουρνά ΒΔ: 2300m

Μέγιστο μήκος Β – Ν: 1080m

Μέγιστο πλάτος Α – Δ: 880m

Μέγιστο βάθος (θερινή στάθμη): 22.5m

Έκταση επιφάνειας (θερινή στάθμη): 579 στρέμματα

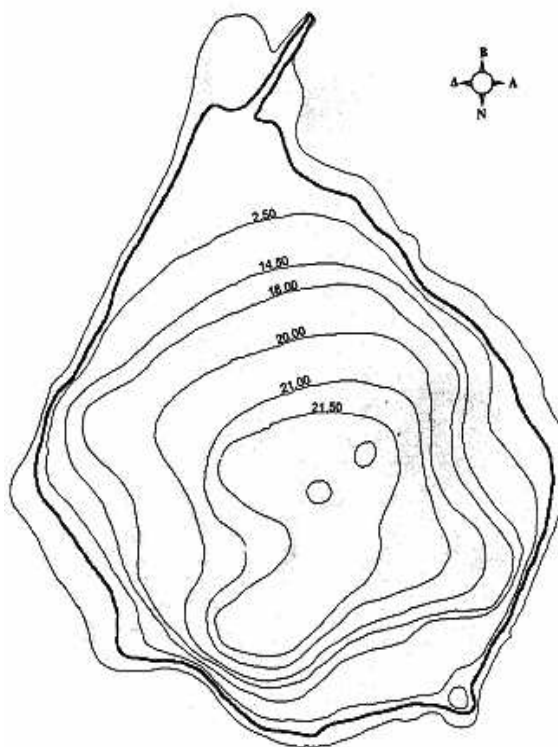
Βάθος πηγής Αμάτι: 16.5m

Όγκος (θερινή στάθμη): 7.484736m<sup>3</sup>

Υψόμετρο επιφάνειας (θερινή στάθμη): περίπου 19m

Υψος χειμερινής υπερχειλίσης: +3.5m

Υψόμετρο επιφάνειας από τη στάθμη της θάλασσας: 15 – 20m



**Σχήμα 5.5:** Οι ισοβαθείς καμπύλες της λίμνης Κουρνά [1].

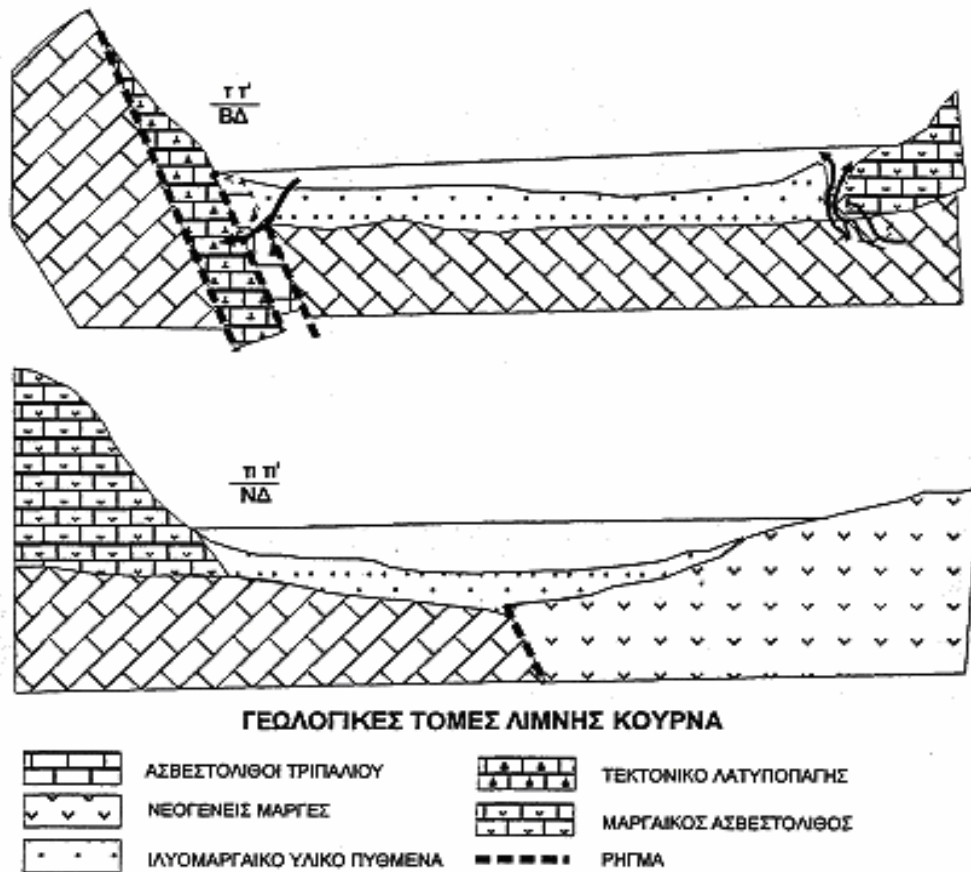
Το βαθύτερο σημείο της λίμνης βρίσκεται 3,5m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο πυθμένας και οι ανατολικές παρυφές αποτελούνται από νεογενή πετρώματα, κυρίως μάργες, ενώ οι δυτικές και νότιες παρυφές από σκληρούς ασβεστόλιθους. Η τροφοδοσία της λίμνης γίνεται από υπόγεια πηγή στο Νοτιοανατολικό άκρο της. Διαυγές νερό έχει η λίμνη από τις Δυτικές και Βορειοδυτικές παρυφές.

Η περιοχή της λίμνης μπορεί να χαρακτηριστεί ως τεκτονικό ρήγμα γεμισμένο με νεογενείς αποθέσεις που εξασφαλίζουν την στεγανότητα της. Στο νότιο τμήμα της λίμνης επικρατούν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με τεκτονικές ρήξεις στο σώμα τους και έντονη καρστική διεργασία. – υδροπερατός σχηματισμός. Το υπόλοιπο τμήμα, με εξαίρεση το Δυτικό, περιβάλλεται από υδατοστεγείς σχηματισμούς.

Εκ της γεωλογικής δομής, από την ύπαρξη της θέσης του προαναφερόμενου ρήγματος ΒΒΔ – ΝΝΑ το οποίο διέρχεται από τη θέση 'Αμάτι' εκδηλώθηκε η ανάβλυση της πηγής της λίμνης. Η εισροή του νερού γίνεται μόνο από αυτή τη θέση. Η είσοδος γίνεται από κάτω προς τα πάνω αλλά και πλευρικά.

Η εκροή γίνεται στους δυτικούς πρόποδες του βουνού της λίμνης, όπου το νερό βρίσκει δρόμους εξόδου από τα ημιδιαπερατά υλικά τεκτονισμένων και καρστικών ασβεστόλιθων προς τις παραλιακές πηγές.

Η στάθμη της λίμνης εμφανίζει μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις που εξαρτώνται άμεσα από τις βροχοπτώσεις στην ορεινή ζώνη. Το μέγιστο της λίμνης κυμαίνεται μεταξύ 21.40 και 15.00 μέτρων [1].



**Σχήμα 5.6:** Γεωλογικές τομές της λίμνης Κουρνά [1].

### 5.10 Παραγωγικά Χαρακτηριστικά της Περιοχής

Η γεωργία αποτελεί βάση της τοπικής οικονομίας. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ένα σχετικό δυναμισμό και σ' αυτό έχει συμβάλει η ανάπτυξη σύγχρονων αρδευτικών έργων, αυξήθηκε σημαντικά η στρεμματική απόδοση των καλλιεργειών. Παρ' όλα αυτά η γεωργία διατηρεί τη παραδοσιακή της μορφή. Η καλλιέργεια που κυριαρχεί είναι η ελιά και λιγότερο, τα κηπευτικά και τα αμπέλια.



Η κτηνοτροφική παραγωγή της περιοχής επικεντρώνεται κυρίως στην αιγοπροβατοτροφία και διακρίνεται σε οικόσιτη και σε ποιμενική – συστηματικής εκτροφής με κυριότερα κτηνοτροφικά προϊόντα το γάλα και το κρέας. Η βοοτροφία, η χοιροτροφία, η πτηνοτροφία και η μελισσοκομία δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη.

Αντιθέτως, η ανάπτυξη της τουριστικής και οικιστικής δραστηριότητας είναι αλματώδης τη τελευταία δεκαπενταετία (εικ 5.7-5.10). Η ανάπτυξη του τριτογενούς τομέα και συγκεκριμένα των δραστηριοτήτων που είναι άμεσα συνδεδεμένες με το τουρισμό και την αναψυχή, γίνεται κατά κύριο λόγο κατά μήκος της παραλίας με μεγαλύτερη συγκέντρωση στον οικισμό της Γεωργιούπολης και γύρω από τη λίμνη Κουρνά [1].

### 5.11 Η Εκμετάλλευση των Υδατικών Πόρων της Λίμνης Κουρνά

Στην περιοχή του δήμου Γεωργιούπολης έχει κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια και λειτουργεί μεγάλο αρδευτικό έργο από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ, από το οποίο αρδεύονται οι καλλιέργειες της περιοχής και υδρεύονται ορισμένες περιοχές. Ένα από τα υδροληπτικά κέντρα του συστήματος είναι η λίμνη Κουρνά. Από πολυετή στοιχεία μετρήσεων της στάθμης της λίμνης Κουρνά και την ανάλυση των καμπύλων διακύμανσης της, υπολογίστηκαν τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα της λίμνης, η παροχή εκροής και ο ετήσιος όγκος τροφοδοσίας.

Η συνολική εισροή νερού στη λίμνη υπολογίζεται σε:

- $69 \times 10^6 \text{ m}^3$  για το μέσο υδρολογικό έτος
- $129 \times 10^6 \text{ m}^3$  για το έτος μέγιστης στάθμης
- $41 \times 10^6 \text{ m}^3$  για το έτος της ελάχιστης στάθμης



**Εικόνα: 5.7- 5.10 :** Τουριστική ανάπτυξη στα παράλια της λίμνης του Κουρνά. Μάιος 2002

Η εκμετάλλευση που γίνεται με άντληση νερού της λίμνης επηρεάζει ελάχιστα την ταπείνωση της στάθμης. Οι μεγάλες απώλειες και η ταπείνωση της στάθμης της λίμνης έχουν φυσικά αίτια(εικ.5.11). Η αναπλήρωση του όγκου του νερού που αντλείται και η επαναφορά της στάθμης της λίμνης πάνω από το +15 θεωρείται εξασφαλισμένη δεδομένου ότι οι απώλειες κάτω της στάθμης +15 είναι χαμηλές, μικρότερες του  $1,1 \text{ m}^3/\text{sec}$ , αφετέρου ο ελάχιστος όγκος τροφοδότησης είναι  $41 \times 10^6 \text{ m}^3$  περίπου [1].

## 5.12 Λειτουργίες της Λίμνης και Αλληλεπιδράσεις

Νότια και δυτικά της λίμνης ξεκινούν οι πρόποδες των Λευκών Ορέων. Βόρεια και ανατολικά της λίμνης εκτείνεται μια μικρή πεδινή περιοχή που φτάνει μέχρι τη θάλασσα. Ολόκληρη η περιοχή αυτή είναι πλούσια σε νερό που απορρέει από τα Λευκά Όρη.

Η περιοχή νοτιοδυτικά της λίμνης χρησιμοποιείται ως βοσκότοπος και έχει υποστεί πυρκαγιές αρκετές φορές κατά το παρελθόν. Κατά τα τελευταία χρόνια, τουλάχιστον σε περιοχές που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τη λίμνη, δεν έχει παρατηρηθεί χρήση φωτιάς με αποτέλεσμα η βλάστηση να έχει ανακάμψει σε σημαντικό βαθμό.



**Εικόνα: 5.11** : Μείωση στάθμης στην λίμνη Κουρνά (σημείο Αμάτι).

Μεγάλο μέρος της λίμνης περιβάλλεται από πυκνή παρόχθια βλάστηση, με κυρίαρχη η λυγαριά που είναι σημαντικό ενδιαίτημα για όλα τα υδρόβια και παρυδάτια ζώα ενώ και η ίδια η λίμνη φιλοξενεί σημαντική χλωρίδα και πανίδα (εικ.5.12).

Οι επιδράσεις που δέχεται η περιοχή προέρχονται κυρίως από τον άνθρωπο. Οι δραστηριότητες του τουρισμού περιορίζουν τα ζωτικά ενδιαίτηματα σε όρια, που περαιτέρω μείωση του, θα οδηγήσει αναμφίβολα σε μη αναστρέψιμες βλάβες. Το κυνήγι αποτελεί σημαντική όχληση για τα πουλιά που μεταναστεύουν στις περιοχές κοντά στη λίμνη [1].

### 5.13 Κίνδυνοι – Απειλές

Η μεγαλύτερη απειλή για τη λίμνη συνίσταται στις αυθαίρετες κατασκευές, στις επεκτάσεις στις όχθες της λίμνης και στη καταπάτηση της. Η ρύπανση των νερών της λίμνης από τα υπολείμματα από λιπάσματα και γεωργικά φάρμακα των καλλιεργειών της ανατολικής όχθης. Η ρύπανση είναι δυστυχώς είναι αναπόφευκτη, καθώς τα νερά της βροχής παρασέρνουν τα κατάλοιπα των προϊόντων αυτών προς τη λίμνη. Επειδή το τμήμα της λεκάνης απορροής της λίμνης το οποίο καλλιεργείται είναι μικρό δεν υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για ρύπανση λόγω γεωργίας. Το επίπεδο του ευτροφισμού στη λίμνη είναι πολύ μικρό. Οι απορροφητικοί βόθροι και τα αστικά λύματα αποτελούν δεύτερη πηγή ρύπανσης των νερών της λίμνης από τις εγκαταστάσεις που αναπτύσσονται κοντά στις όχθες. Στη δυτική και νοτιοδυτική πλευρά της λίμνης υπάρχουν κοπάδια αιγοπροβάτων. Τα τελευταία χρόνια δεν έχει χρησιμοποιηθεί η φωτιά για τη διαχείριση των βοσκοτόπων αλλά θεωρείται ότι ο κίνδυνος εξακολουθεί να υπάρχει [1].



**Εικόνα 5.12:** Παρόχθια βλάστηση στην λίμνη Κουρνά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Εθνική Νομοθεσία

Οι χρήσεις και ο έλεγχος των υδάτων στη χώρα μας, ρυθμίζονται από ένα σύνθετο νομικά καθεστώς, στο οποίο εμπλέκονται πολλές Υπηρεσίες και Οργανισμοί του Δημόσιου Τομέα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κεντρικός σχεδιασμός και συχνά, να ορίζονται αντικρουόμενες μεταξύ τους και αναποτελεσματικές ρυθμίσεις ως προς τη χρήση των υδάτων. Κάθε Υπηρεσία προσπαθεί να εξασφαλίσει τις ποσότητες και την ποιότητα του νερού που θεωρεί πως απαιτείται για την εκπλήρωση της θεσμικής της αποστολής. Έτσι εύκολα διαφαίνεται η σπουδαιότητα ανάπτυξης και βελτίωσης του ποιοτικού ελέγχου του πόσιμου ύδατος [1].

#### 6.1 Νομικό Πλαίσιο για τη Περιοχή της Λίμνης Κουρνά

Το 1990 τροποποιήθηκε στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης ο Ν. 1512/1985 σύμφωνα με το Ν. 1337/1983 όπου καθορίζει τη ζώνη οικιστικού ελέγχου (ΖΟΕ), κατώτατου ορίου κατάτμησης λοιπών όρων και περιορισμών δόμησης στην εκτός εγκεκριμένου σχεδίου και εκτός ορίων οικισμών προϋφισταμένων έτους 1923 περιοχή των κοινοτήτων Καλαμίτσι – Αμυγδάλι, Μάζης, Γεωργιούπολης, Κουρνά, Φυλακή, Καστέλου (Ν. Χανίων) και επισκοπής (Ν. Ρεθύμνης). Μέσα στη ΖΟΕ καθορίζονται οι περιοχές κατά τμήματα με στοιχεία 1 – 4, το κατώτατο όριο κατάτμησης, οι χρήσεις γης, οι όροι και οι περιορισμοί δόμησης. Η περιοχή γύρω από τη λίμνη του Κουρνά περιλαμβάνεται στα τμήματα με στοιχεία 1 και 2 [1].

Α. Στη περιοχή με στοιχείο 1

1. Στη περιοχή αυτή περιλαμβάνονται εκτάσεις γεωργικής γης υψηλής παραγωγικότητας καθώς επίσης και ο βοσκότοπος βορειοδυτικά της λίμνης Κουρνά
2. Στην περιοχή αυτή επιτρέπεται η δόμηση για χρήση
  - Κατοικίας
  - Γεωργικών αποθηκών
  - Δεξαμενών – υδατοδεξαμενών
  - Θερμοκηπίων
  - Αντλητικών εγκαταστάσεων
  - Φρεατίων
  - Ποτιστρών ζώων βάσει προδιαγραφών του υπουργείου Γεωργίας

Το 1992 τροποποιείται ο νόμος 1650/1986 που δημοσιεύεται στην εφημερίδα της κυβέρνησης και αφορά τα μέτρα για την προστασία του υδροβιότοπου Γεωργιούπολης – λίμνης Κουρνά και της ευρύτερης περιοχής του.

Σύμφωνα με αυτό το νόμο καθορίζονται έξι ζώνες προστασίας και ειδικών χρήσεων. Η λίμνη του Κουρνά περιλαμβάνεται στη ζώνη Α όπου κρίνεται ως ζώνη απόλυτης προστασίας. Σε αυτή τη ζώνη εντοπίζεται ο πυρήνας του υδροβιότοπου δηλαδή η λίμνη Αλμυρού, οι ποταμοχείμμοροι, τα έλη και οι πηγές Γεωργιούπολης, η λίμνη Κουρνά, τα ρέματα Μουσέλλας, Καβρός, Δελφίνος και τα λοιπά που εκβάλλουν στην ακτή της Γεωργιούπολης και η αμμώδης ακτή μήκους 7km και την επιφάνεια που δεν έχει αποδοθεί στη δόμηση και βρίσκεται υπό κάλυψη φυσικής χλωρίδας ανατολικά του οικισμού. Είναι η περιοχή με το μεγαλύτερο οικολογικό ενδιαφέρον και απαιτεί προστασία και αποκατάσταση. Για τη διατήρηση της οικολογικής αξίας του υδροβιότοπου είναι απαραίτητη η τήρηση ορισμένων όρων και προϋποθέσεων

καθώς και ορισμένων απαγορεύσεων και περιορισμών. Οι όροι αυτοί τίθενται και ως στόχοι διαχειριστικών μέτρων είναι:

- Διατήρηση και αύξηση του οικολογικού ενδιαφέροντος
- Διατήρηση και εμπλουτισμός της φυσικότητας
- Καθορισμός χρήσεων γης σε ισορροπία με το οικοσύστημα και τις κοινωνικοοικονομικές ανάγκες της περιφέρειας
- Παροχή εκπαιδευτικών και ερευνητικών δυνατοτήτων σε θέματα οικολογίας και προστασίας του περιβάλλοντος

Ακόμη απαγορεύονται ή επιτρέπονται υπό όρους τα εξής:

Απαγορεύονται:

1. Οι εκχερσώσεις ή καταλήψεις προς όφελος της γεωργίας, κτηνοτροφίας και δασοπονίας
2. Η αλλαγή χρήσης γης όπως
  - από βοσκότοπο ή φυσική κάλυψη σε χωράφι
  - από χωράφι σε οικισμό
3. Οι αμμοληψίες
4. Οι στραγγίσεις, αποξηράνσεις, αντλήσεις υδάτων για άρδευση ( εφόσον δεν έχει προηγηθεί έγκριση περιβαλλοντικών όρων)
5. Έργα έγγειων βελτιώσεων γενικώς, χωρίς επαρκή αιτιολόγηση των γεωργοοικονομικών στόχων και σκοπιμοτήτων σε σχέση με τις νέες απαιτήσεις σε εισροές λίπανσης και φυτοπροστασίας, εισαγωγή νέου φυτικού υλικού, αγοραστική απορρόφηση των προϊόντων
6. Η επέκταση, διαπλάτυνση, ασφαλτόστρωση του υπάρχοντος αγροτικού και δασικού δικτύου χωρίς καθορισμό και έγκριση περιβαλλοντικών όρων
7. Κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων μαζικής εξυπηρέτησης
8. Το κυνήγι
9. Ανέγερση κτισμάτων ή εγκαταστάσεων, χωρίς άδεια από τον αρμόδιο φορέα για τον υδροβιότοπο και τις πολεοδομικές υπηρεσίες και μόνο για λειτουργίες ξένες για τον βιότοπο
10. Η απόρριψη σκουπιδιών
11. Κατασκευή έργων μόνιμης τουριστικής υποδομής
12. Εγκατάσταση και λειτουργία βιοτεχνικών και βιομηχανικών μονάδων
13. Η κίνηση τροχοφόρων εκτός αυτών που έχουν άδεια από τον αρμόδιο φορέα για τον υδροβιότοπο
14. Επέκταση και δημιουργία οικισμών
15. Αντιπλημμυρικά έργα χωρία άδεια από τον φορέα για τον υδροβιότοπο
16. Η παρέκκλιση πεζών και τροχοφόρων από συγκεκριμένους δρόμους και μονοπάτια
17. Η αφαίρεση φυτών, καρπών, ανθέων, βολβών
18. Η συλλογή αυγών φωλεών, νεοσσών και η εξόντωση ή παρενόχληση οποιουδήποτε ζώου με οποιοδήποτε τρόπο
19. Τα ελεύθερα σκυλιά
20. Η χρήση φωτιάς

Επιτρέπονται:

1. Η κτηνοτροφία με τους όρους που αναλύονται στη μελέτη διαχείρισης
2. Η αλιεία υπό όρους που θα προσδιορίζονται από τον αρμόδιο φορέα για τον υδροβιότοπο
3. Έργα για τη διατήρηση και βελτίωση του υδροβιότοπου όπως αυτά προβλέπονται από το διαχειριστικό σχέδιο ή από εξειδικευμένες μελέτες ανάδειξης φυσικού τοπίου

4. Οι δασοπονικές δραστηριότητες με βάση διαχειριστικό σχέδιο που να λαμβάνει υπόψη τη προστασία της άγριας ζωής και αποσκοπεί στην επαύξηση και βελτίωση των υπαρχουσών δασοκαλύψεων και θαμνοκαλύψεων
5. Οι ερευνητικές δραστηριότητες μετά από άδεια του αρμόδιου φορέα
6. Η κατασκευή φραγμάτων κατόπιν έγκρισης από τον αρμόδιο φορέα και εφόσον συμβάλλουν στον εμπλουτισμό του οικοσυστήματος και τις διευκολύνσεις πανίδας και εποίκισμού χλωρίδας
7. Η αναψυχή με την ήπια μορφή οικοτουρισμού και επιστημονική και φυσιολατρική έννοια
8. Κάθε είδους επεμβάσεις αποκατάστασης τοπίου και συνοδευτικές παρουσίες ατόμων, μηχανημάτων, εργοταξίων και οχημάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7.1 Υλικά και μέθοδοι ανάλυσης

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν την περίοδο από τις 05/04/2002 έως 4/08/2004 σε μηνιαία βάση, μέρες που δεν επικρατούσαν άνεμοι ούτε κυματισμός και οι συνθήκες ήταν κατάλληλες για να χρησιμοποιηθεί ποδήλατο θαλάσσης.

Για την δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκε ως δειγματολήπτης γυάλινη διάφανη φιάλη με λαστιχένιο πώμα στο άκρο της οποίας ήταν δεμένη μια μετροταινία και ένας σπάγκος (Εικ 7.1). Η χρήση του δειγματολήπτη ήταν απαραίτητη για το βάθος λήψης των δειγμάτων που ήταν αυστηρά το 1 m.



**Εικόνα 7.1:** ειδική συσκευή δειγματολήπτη που χρησιμοποιήθηκε στην λίμνη Κουρνά.

Ο δίσκος Secchi (Εικ 7.2), χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της διαφάνειας του νερού καθώς και για το βάθος της λίμνης.

Για την μεταφορά των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν καθαρές φιάλες όγκου 500 mL τυλιγμένες με αλουμινόχαρτο για την αποφυγή αλλοίωσης των δειγμάτων από το φως.

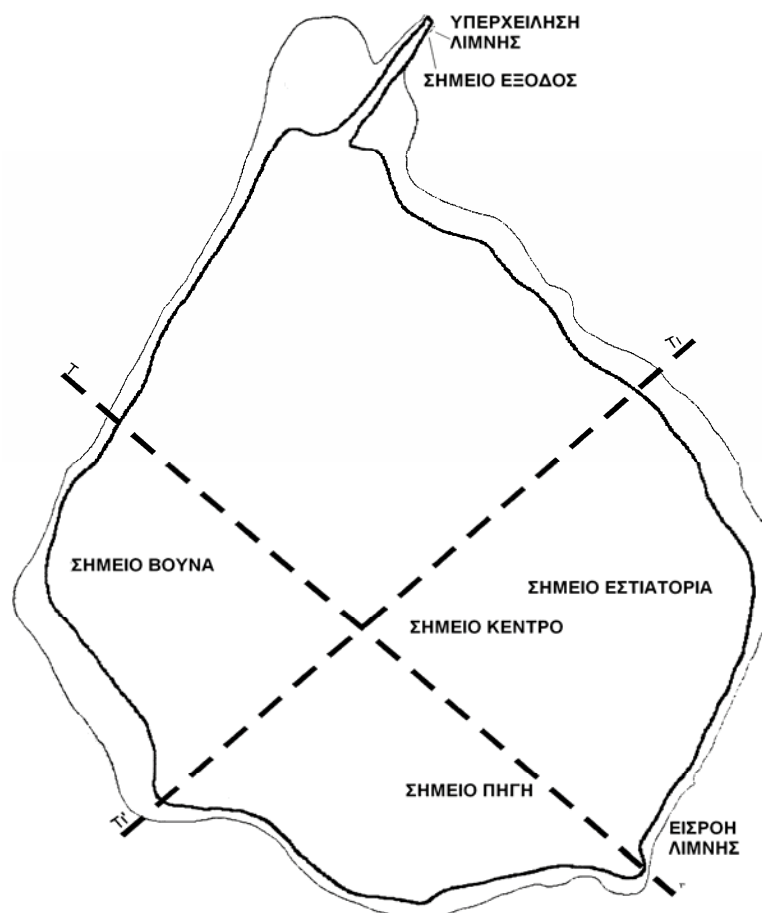
Τα σημεία δειγματοληψίας (Εικ. 7.3) ήταν τα εξής: το σημείο ανάβλησης (Αμάτι), το κατ' εκτίμηση κέντρο της λίμνης (κέντρο), η δυτική πλευρά της λίμνης (βουνά), η ανατολική πλευρά της λίμνης (εστιατόρια), η βορεινή πλευρά της λίμνης (έξοδος) και το αντλιοστάσιο του Δήμου Γεωργιούπολης. Τα παραπάνω σημεία επελέγησαν διότι το σημείο Αμάτι είναι το μοναδικό που τροφοδοτεί τη λίμνη με νερό, στο σημείο του κέντρου παρατηρείται το μεγαλύτερο βάθος της λίμνης και πραγματοποιείται καλή ανάμιξη της υδάτινης μάζας, το αντλιοστάσιο παρέχει νερό για ύδρευση, τα βουνά αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης λόγω της κτηνοτροφίας, τα εστιατόρια αποτελούν πιθανή ρύπανση ανθρωπογενούς προέλευσης ενώ η έξοδος αποτελεί το κατάλληλο σημείο εκτίμησης του πιθανού ρυπαντικού φορτίου που κατευθύνεται προς τη θάλασσα.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν: pH, Αγωγιμότητα, COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο), BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο), συγκέντρωση

νιτρικών, αμμωνιακών και φωσφορικών ιόντων, χλωριόντων, αποικίες ολικών και κοπρανωδών θερμοανθεκτικών κολοβακτηρίων .



**Εικόνα 7.2:** δίσκος secchi που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις στην λίμνη Κουρνά.



**Εικόνα 7.3:** Σημεία δειγματοληψιών στη λίμνη Κούρνα [1].



## 7.2 Μέτρηση Θολερότητας

Η μέτρηση της διαφάνειας του νερού έγινε με δίσκο Secchi (Εικ 7.2). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκτίμηση της απόστασης που απαιτείται για να εξαφανιστεί από το οπτικό πεδίο του παρατηρητή, δίσκος λευκού χρώματος που βυθίζεται στο νερό.

Ο δίσκος Secchi είναι μεταλλικός διαμέτρου 30 cm, χρωματισμένος με λευκή αδιάβροχη βαφή. Στο κέντρο του δίσκου τοποθετούνται δύο δακτύλιοι, ένας στην άνω και ένας στην κάτω πλευρά. Στον πρώτο δακτύλιο, συνδέεται σπάγγος βαθμονομημένος με μήκος πενήντα μέτρων. Στο δεύτερο δακτύλιο συνδέεται βαρίδι για να επιτρέπει την βύθιση του δίσκου στο νερό.

Ο δίσκος βυθίζεται στο νερό από τον βαθμονομημένο σπάγγο σιγά-σιγά και μέχρις ότου να μην είναι πια ορατός. Όταν ο δίσκος χαθεί από το οπτικό μας πεδίο, μετράται το βάθος του νερού στο οποίο είναι βυθισμένος ο δίσκος. Στη συνέχεια, ο δίσκος ανελκύεται λίγο μέχρις ότου να γίνει πάλι ορατός και μετράται ξανά το βάθος επανεμφάνισης του. Η διαδικασία γίνεται από τη σκιασμένη πλευρά του σκάφους κρατώντας σταθερή την απόσταση του παρατηρητή από το νερό

Η θολερότητα μετριέται κατευθείαν στον βαθμονομημένο σπάγγο και εκφράζεται σε μέτρα και εκατοστά.



**Εικόνα 7.4** : Διαδικασία μέτρησης θολερότητας με δίσκο Secchi στην λίμνη Κουρνά.

### 7.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η μέτρηση της θερμοκρασίας στην λίμνη έγινε με ψηφιακό θερμόμετρο ακίδος. Αρχικά γινόταν καταγραφή μετρήσεως της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και ακολουθούσε η μέτρηση του νερού.



**Εικόνα 7.5:** ψηφιακό θερμόμετρο ακίδος που χρησιμοποιήθηκε στην λίμνη Κουρνά .

### 7.4 Μέτρηση pH.

Το pH μετράται είτε με χρωματομετρική μέθοδο, είτε με ηλεκτρομετρική μέθοδο. Στην παρούσα εργασία η μέτρηση του pH έγινε ηλεκτρομετρία (εικ.7.6). Κατά τη μέθοδο αυτή μετράται η διαφορά δυναμικού του διαλύματος και αντιστοιχίζεται σε συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου ( $[H^+]$ ). Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι για τιμές pH από 1 έως 10 δεν επηρεάζεται από έγχρωμα διαλύματα, ύπαρξη οξειδωτικών ή αναγωγικών ουσιών, διασπαρμένα κολλοειδή ή θολότητα του δείγματος, παράγοντες που επηρεάζουν την αλλαγή του χρώματος στη χρωματομετρική μέθοδο.



**Εικόνα 7.6:** pH-μέτρο HACH sension™156

Η θερμοκρασία λαμβάνεται πάντα υπόψη κατά τη μέτρηση του pH.

Χρησιμοποιήθηκαν τα pH-μετρα CONSORT (multi-parameter analyzer, C532) και HACH (sension<sup>TM</sup>156) (Εικόνα 5.1) για τη μέτρηση του pH.

Όταν το όργανο έχει βαθμονομηθεί, η μέτρηση του pH στο δείγμα γίνεται διά εμβάπτισης του ηλεκτροδίου σ' αυτό. Το δείγμα αναδεύεται με τη βοήθεια του ηλεκτροδίου για να είναι περισσότερο ομογενές.

Η μέτρηση του pH γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία.

## 7.5 Μέτρηση Ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

*Αρχή της μεθόδου* : Η μέτρηση της ειδικής αγωγιμότητας του νερού γίνεται με τη βοήθεια της γέφυρας Wheastone. Στη γέφυρα αυτή εξισορροπείται η αγωγιμότητα του αγνώστου δείγματος, με την αγωγιμότητα γνωστών διαλυμάτων.

Χρησιμοποιήθηκαν τα αγωγιμόμετρα CONSORT (multi-parameter analyzer, C532) και HACH (sension<sup>TM</sup>156) για τη μέτρηση της αγωγιμότητας(εικ.7.6). Οι συσκευές αυτές είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση του pH με διαφορετικά όμως ηλεκτρόδια.

Όταν το όργανο έχει βαθμονομηθεί, η μέτρηση της αγωγιμότητας στο δείγμα γίνεται δια εμβάπτισης του ηλεκτροδίου σ' αυτό. Το δείγμα αναδεύεται με τη βοήθεια του ηλεκτροδίου για να είναι περισσότερο ομογενές.

Η μέτρηση της αγωγιμότητας γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία.

## 7.6 Μέτρηση του Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, C.O.D.)

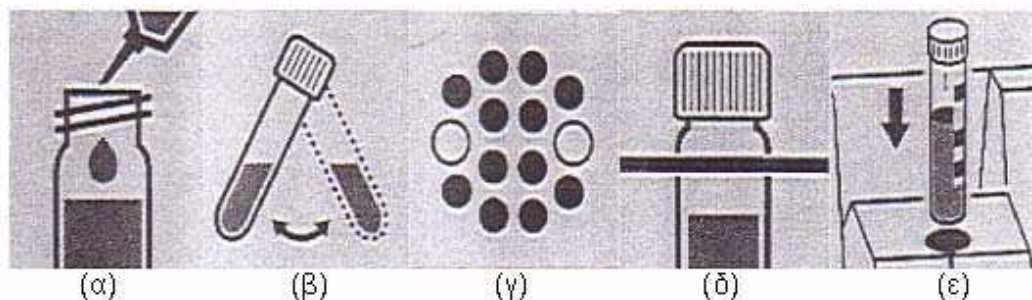
*Αρχή της μεθόδου* : Η μέθοδος βασίζεται στην οξείδωση δείγματος νερού με θερμό διάλυμα διχρωμικού καλίου και θειικό άργυρο ως καταλύτη. Το χλώριο του δείγματος εξουδετερώνεται με νιτρικό υδράργυρο. Η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  κίτρινου χρώματος που δεν καταναλώθηκαν προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (C.O.D.) εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που προέρχεται από το διχρωμικό κάλιο ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), το οποίο αντιδρά με οξειδώσιμες ενώσεις που περιέχονται σε 1 L νερό υπό δεδομένες συνθήκες. Ισχύει η ισοδυναμία  $1 \text{ mole } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \Leftrightarrow 1 \text{ mole } \text{O}_2$ . Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L C.O.D. (= mg/L  $\text{O}_2$ ).

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση του C.O.D. χρησιμοποιήθηκε ημιοσοπική φωτομετρική μέθοδος με kit. Στις δειγματοληψίες χρησιμοποιήθηκε το C.O.D. Cell Test MERCK 14560 και το C.O.D. Cell Test MERCK 14540. Η διαδικασία μέτρησης είναι κοινή και στα δύο test kit.

### 7.6.1 C.O.D. Cell Test MERCK 14540 και C.O.D. Cell Test MERCK 14560

Κατά τη διαδικασία μέτρησης C.O.D. ακολουθείται η εξής διαδικασία. Προστίθεται στο φιαλίδιο προσεκτικά με πιπέτα 3 mL δείγματος, βιδώνεται το καπάκι και αναδεύεται καλά.



**Εικόνα 7.7:** διαδικασία προετοιμασίας για την μέτρηση του C.O.D.

Πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή γιατί το φιαλίδιο θερμαίνεται πολύ. Κατόπιν το φιαλίδιο με το test τοποθετείται στους 148 °C για 120 min, βγαίνει από τον θερμοαντιδραστήρα (εικ.7.8) και αφήνεται στο πλέγμα στήριξης να κρυώσει.



**Εικόνα 7.8:** θερμοαντιδραστήρας

Μετά από 10 min ανακινείται ξανά το φιαλίδιο, επανατοποθετείται στο πλέγμα στήριξης και αφήνεται να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου (διάρκεια τουλάχιστον 30 min). Το φιαλίδιο τοποθετείται στον υποδοχέα φιαλιδίων με την κατακόρυφη γραμμή να δείχνει προς την εγκοπή.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60)(εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cell or start measurement”. Το φιαλίδιο τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών φιαλιδίων ως ότου να κουμπώσει. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του φιαλιδίου πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Δείγματα που περιέχουν  $Cl^- > 2000 \text{ mg/L}$  πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό πριν τον καθορισμό του C.O.D. Επίσης θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν αρνητικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες πρέπει να είναι καθαρές.



**Εικόνα 7.9** :φωτόμετρο MERCK Spectroquant® NOVA 60.

Το εύρος του test C.O.D. Cell Test MERCK 14540 είναι 10 - 150 mg/L C.O.D. Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα με 80 mg/L C.O.D (Spectroquant Combicheck 10) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test, της συσκευής της μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας και επίσης ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Το εύρος του test C.O.D. Cell Test MERCK 14560 είναι 4 - 40 mg/L C.O.D.

## 7.7 Μέτρηση του Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand B.O.D.)

Η μέτρηση του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου πραγματοποιήθηκε μανομετρικά με την ειδική συσκευή B.O.D. (Lovibond).

*Αρχή μεθόδου:* Ο εξοπλισμός της συσκευής αποτελείται από την κεφαλή – ψηφιακό αισθητήρα B.O.D. (Lovibond) που απλά βιδώνει στη σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη με το δείγμα(εικ.7.10). Η αρχή μέτρησης βασίζεται σε ένα κλειστό σύστημα στο οποίο το οξυγόνο που καταναλώνουν τα βακτήρια στο δείγμα, αναπληρώνεται από το οξυγόνο του αέρα που βρίσκεται επάνω από το δείγμα. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τα βακτήρια απομακρύνεται από το σύστημα με την προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου καλίου (KOH) που περιέχεται σε θήκη από καουτσούκ. Το αποτέλεσμα είναι μία πτώση πίεσης στη φιάλη που μετρείται από την κεφαλή, που είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας και εμφανίζει την ένδειξη στην οθόνη σαν mg/L B.O.D.

Ο αισθητήρας μετρά απευθείας τιμές B.O.D. Τα δείγματα μπορούν να ελεγχθούν σε αραιωμένη ή μη μορφή.

Η τιμή του B.O.D. δεν πρέπει κανονικά να περιλαμβάνει την αζωτούχο απαίτηση οξυγόνου που προκύπτει από τη δραστηριότητα των νιτροποιητικών βακτηρίων που καταναλώνουν οξυγόνο στο δείγμα. Αυτό μπορεί να εμφανιστεί ακόμα και στην περίοδο των πέντε πρώτων ημερών και συμβαίνει συνήθως σε δείγματα που περιέχουν χαμηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας. Η νιτροποίηση μπορεί να αποφευχθεί με την προσθήκη του αναστολέα νιτροποίησης B. Σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να υπολογιστεί και η αζωτούχος απαίτηση οξυγόνου η μέτρηση γίνεται σε δύο δείγματα, ένα με προσθήκη του αναστολέα νιτροποίησης και ένα χωρίς. Η διαφορά των δύο αποτελεσμάτων αντιστοιχεί στην αζωτούχο απαίτηση οξυγόνου που προκύπτει από τη δραστηριότητα των νιτροποιητικών βακτηρίων.

Το δείγμα επωάζεται σε θερμοκρασία 20°C. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της σκουρόχρωμης φιάλης σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας καθώς το δείγμα αναδεύεται συνεχώς.

Οι πρότυπες μέθοδοι για τον προσδιορισμό του B.O.D. επιβάλλουν μία σταθερή θερμοκρασία 20°C. Μία σταθερή γνωστή θερμοκρασία είναι πολύ σημαντική καθώς κάθε απόκλιση ή διακύμανση από τους 20°C θα επηρεάσει τα αποτελέσματα. Μία απόκλιση 1-1,5°C μπορεί να προκαλέσει τιμές B.O.D. που να αποκλίνουν 5-10%.

*Απαιτούμενος εξοπλισμός:* Τα σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του B.O.D. ήταν ειδικές σκουρόχρωμες φιάλες με κεφαλές ενσωματωμένες με ψηφιακούς αισθητήρες (Lovibond), υπερχειλιστής χωρητικότητας 428 mL, μαγνητικοί ράβδοι ανάδευσης, μαύρες θήκες από καουτσούκ για το KOH και θερμοστατούμενος θάλαμος επώασης σε θερμοκρασία 20°C (Lovibond).



**Εικόνα 7.10 :** ειδικος εξοπλισμος για την μετρηση του B.O.D. Μπουκάλια (1), κεφαλές- ψηφιακοί αισθητήρες (2), θήκες από καουτσούκ (3), ογκομετρική φιάλη υπερχειλίστη 428 ml (4) μαγνητικές ράβδοι ανάδευσης (5).

*Προετοιμασία δείγματος:* Αρχικά μετράται το pH του δείγματος και ρυθμίζεται μεταξύ 6,5-7,5 που είναι η καλύτερη τιμή pH για το test του B.O.D. Εάν το pH του δείγματος βρίσκεται εκτός αυτού του εύρους, θα προκύψουν χαμηλότερες τιμές B.O.D. Σ' αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να ρυθμιστεί το pH του δείγματος εντός του εύρους. Στα δείγματα που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, οι υψηλότερες τιμές pH ελαττώνονταν με προσθήκη H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N. Χαμηλές τιμές pH μπορεί να διορθωθούν με προσθήκη διαλύματος NaOH 0,1N.

Γεμίζουμε την φιάλη του υπερχειλίστη με το δείγμα έως ότου να ξεχειλίσει και το περιεχόμενο του υπερχειλίστη μεταφέρεται στη φιάλη του B.O.D. Συνιστάται να υπάρχει μία ομοιόμορφη κατανομή των διαλυμένων στερεών στο δείγμα.

Για την αποφυγή νιτροποίησης συνιστάται η προσθήκη του αναστολέα νιτροποίησης Β (ΑΤΗ) στο δείγμα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στο χαμηλό εύρος μέτρησης 0-40 mg/L B.O.D. και για δείγματα σχετικά με τον έλεγχο απορροών από εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού. Η δόση του ΑΤΗ για το εύρος 0-40 mg/L στο οποίο εφαρμόστηκε η μέθοδος ήταν 10 σταγόνες.

Τοποθετείται μία καθαρή μαγνητική ράβδος ανάδευσης σε κάθε σκουρόχρωμη φιάλη, προσθέτονται 2 σταγόνες διαλύματος υδροξειδίου του καλίου 45% ή 4 ταμπλέτες στερεού NaOH σε μία μαύρη θήκη από καουτσούκ και τοποθετείται στη φιάλη.

Για την εξασφάλιση ακριβών μετρήσεων πρέπει όλα τα εξαρτήματα (φιάλη δείγματος, θήκη από καουτσούκ, μαγνητική ράβδος) να καθαρίζονται προσεκτικά μετά από κάθε χρήση, διαφορετικά τα παραμένοντα βακτήρια ενδέχεται να αυξηθούν,

οδηγώντας σε ανακριβείς μετρήσεις. Τα μπουκάλια πρέπει να αδειάζονται και να ξεπλένονται αρκετές φορές με νερό, μετά να καθαρίζονται με ζεστό σαπουνόνερο ή με απορρυπαντικό του εργαστηρίου και βούρτσα. Κατόπιν πρέπει να ξεπλυθούν επανειλημμένα με νερό βρύσης και εν τέλει με απιονισμένο νερό. Το προσεκτικό πλύσιμο είναι απαραίτητο, καθώς τα απορρυπαντικά και τα υπολείμματα οργανικών αντιδραστηρίων μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένη μέτρηση. Τα πώματα από καουτσούκ και οι μαγνητικές ράβδοι ανάδευσης πρέπει να καθαρίζονται με παρόμοιο τρόπο.

**Μέτρηση B.O.D:** Τοποθετείται η κεφαλή με τον ψηφιακό αισθητήρα B.O.D. (Lonibond) στη φιάλη του δείγματος και κλείνεται ερμητικά. Αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό γιατί το σύστημα πρέπει να είναι εντελώς αεροστεγές.

Πατιούνται ταυτόχρονα τα κουμπιά S και M για δύο δευτερόλεπτα, η οθόνη θα δείξει 00. Μ' αυτόν τον τρόπο σβήνονται οι ήδη αποθηκευμένες τιμές. Τα κουμπιά S και M αφήνονται και η μέτρηση του B.O.D. έχει ενεργοποιηθεί. Η φιάλη τότε τοποθετείται σε μία βάση στήριξης μέσα στο θάλαμο όπου επωάζεται στους 20°C καθώς αναδεύεται συνεχώς.



**Εικόνα 7.11 :** επωαστικός θάλαμος και βάση στήριξης B.O.D φιαλών.

**Ερμηνεία των αποτελεσμάτων:** Η κεφαλή με τον ψηφιακό αισθητήρα του B.O.D. καταγράφει μία μέτρηση κάθε 24 ώρες για μία περίοδο μεγαλύτερη των 5 ημερών. Η μετρούμενη τιμή αποθηκεύεται αυτόματα στη μνήμη. Πατώντας το κουμπί M για ένα δευτερόλεπτο εμφανίζεται η τιμή της τρέχουσας μέρας.

Μετά από 5 ημέρες οι τιμές θα έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του αισθητήρα. Πατώντας διαδοχικά το κουμπί S αυτές οι τιμές εμφανίζονται σε χρονολογική σειρά:

- Πατιέται μία φορά το S: η οθόνη δείχνει μια παύλα
- Πατιέται γρήγορα άλλη μία φορά το S: η οθόνη δείχνει την ημέρα της μέτρησης (1) και ακολουθεί η τιμή μέτρησης γι' αυτήν την ημέρα
- Πατώντας ξανά το S εμφανίζονται οι τιμές για τη δεύτερη, τρίτη, τέταρτη και πέμπτη ημέρα

**Παρατηρήσεις:**

1. Η τιμή του B.O.D. για μία συγκεκριμένη ημέρα πρέπει πάντα να είναι μεγαλύτερη από την τιμή της προηγούμενης ημέρας
2. Η αύξηση του B.O.D. με το χρόνο δεν είναι γραμμική αλλά μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

3. Αν για τις πρώτες ημέρες της επώασης παρατηρηθεί μία περίπου γραμμική αύξηση του B.O.D. το δείγμα θα έχει μια υψηλότερη τιμή B.O.D. από αυτήν που είχε αρχικά εκτιμηθεί και χρειάζεται να επιλεγεί μεγαλύτερο εύρος.

4. Αν η τιμή του B.O.D. ελαττώνεται από την μία μέρα στην άλλη το σύστημα πρέπει να ελεγχθεί για διαρροή αέρα από τη φιάλη.



Εικόνα 7.12 : κεφαλή ψηφιακού αισθητήρα του B.O.D.

## 7.8 Προσδιορισμός Νιτρικών Ιόντων

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των νιτρικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικά test, το Nitrate Cell Test MERCK 14563 και το Nitrate Reagent Test MERCK 09713. Τα νιτρικά ιόντα σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή εκφράζονται ως νιτρικό άζωτο ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

*Αρχή της μεθόδου:* Σ' ένα διάλυμα που έχει οξιμιστεί με θειικό και φωσφορικό οξύ, το νιτρικό άλας αντιδρά με 2,6-διμεθυλοφαινόλη για να σχηματίσει 4-νιτρο-2,6-διμεθυλοφαινόλη πορτοκαλί χρώματος, η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.

### 7.8.1 Nitrate Cell Test MERCK 14563

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, με χρήση σιφωνίου 1 mL τοποθετείται 1,0 mL του εξεταζόμενου δείγματος στο φιαλίδιο με το test και αυτό κλείνεται χωρίς να ακολουθήσει ανάδευση. Προστίθεται με χρήση σιφωνίου 1,0 mL του αντιδραστήριου  $\text{NO}_3\text{-1K}$ . Το φιαλίδιο ζεσταίνεται καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη. Βιδώνεται καλά το καπάκι και ακολουθεί ανάδευση σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Το φιαλίδιο πρέπει πάντα να κρατιέται μόνο από το βιδωτό καπάκι. Το ζεστό φιαλίδιο διατηρείται σε ηρεμία για 10 min. Δεν χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση κρύο νερό για την επαναφορά του σε θερμοκρασία δωματίου.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60)(εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "insert Cell or start



measurement”. Τοποθετείται το κυλινδρικό φιαλίδιο στον υποδοχέα των κυλινδρικών φιαλιδίων ως ότου να κουμπώσει. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του φιαλιδίου πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Δείγματα που περιέχουν  $\text{Cl}^- > 1000 \text{ mg/L}$  πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό. Επίσης πολύ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις τα φιαλίδια πρέπει να είναι καθαρά.

Το εύρος του test είναι  $0,5 - 25,0 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ .

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα  $9 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$  (Spectroquant Combichack 20) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test, της συσκευής μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας και επίσης ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

### 7.8.2 Nitrate Reagent Test MERCK 09713

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, χρησιμοποιώντας μία από τις δύο βαθμονομημένες σύριγγες που περιέχονται στο πακέτο, τοποθετούνται  $4,0 \text{ mL}$  του αντιδραστήριου  $\text{NO}_3\text{-1}$ , σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθενται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας  $0,5 \text{ mL}$  δείγματος στο δοκιμαστικό σωλήνα, χωρίς να ακολουθήσει ανάδευση. Προστίθενται  $0,5 \text{ mL}$  του αντιδραστήριου  $\text{NO}_3\text{-2}$ , χρησιμοποιώντας σιφώνιο. Το φιαλίδιο ζεσταίνεται καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη. Ακολουθεί ανάδευση σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Ο δοκιμαστικός σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για  $10 \text{ min}$ . Έπειτα το περιεχόμενό του μεταφέρεται με προσοχή σε ορθογώνια κυψελίδα των  $10 \text{ mm}$  για να μετρηθεί στο φωτόμετρο. Χρησιμοποιείται γυάλινη κυψελίδα λόγω της τοξικότητας των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60) (εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cell or start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Η κυψελίδα τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι δίνουν θετικά σφάλματα. Δείγματα που περιέχουν  $\text{Cl}^- > 1000 \text{ mg/L}$  πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό.

Το εύρος του test είναι  $1,0 - 25,0 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ .

### 7.9 Προσδιορισμός Αμμωνιακών Ιόντων

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικά test, το Ammonium Cell Test MERCK

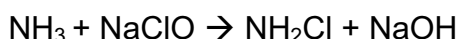
14739, και το Ammonium Cell Test MERCK 14752. Τα αμμωνιακά ιόντα σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή εκφράζονται ως αμμωνιακό άζωτο (NH<sub>4</sub>-N).

*Αρχή της μεθόδου:* Το αμμωνιακό άζωτο υφίσταται μερικώς με τη μορφή αμμωνιακών ιόντων και μερικώς με τη μορφή αμμωνίας. Μεταξύ των δύο αυτών μορφών υπάρχει μία δυναμική ισορροπία, εξαρτημένη από το pH. Σε ισχυρά αλκαλικά διαλύματα το NH<sub>4</sub>-N βρίσκεται ως επί το πλείστον με τη μορφή αμμωνίας, η οποία αντιδρά με τα υποχλωριώδη ιόντα σχηματίζοντας μονοχλωραμίνες. Οι μονοχλωραμίνες παρουσία φαινόλης σχηματίζουν την μπλε ινδοφαινόλη, η συγκέντρωση της οποίας προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Μετά από ρύθμιση του pH σε 13 (με το αντιδραστήριο NH<sub>4</sub>-1B) η αμμωνία αντιδρά με υποχλωριώδες άλας (αντιδραστήριο NH<sub>4</sub>-2B) σχηματίζοντας μονοχλωραμίνη, η οποία με τη σειρά της σχηματίζει μία χρωστική ουσία, την μπλε ινδοφαινόλη, σε μία αντίδραση δύο σταδίων, παρουσία καταλύτη, με θυμόλη (αντιδραστήριο NH<sub>4</sub>-3B).

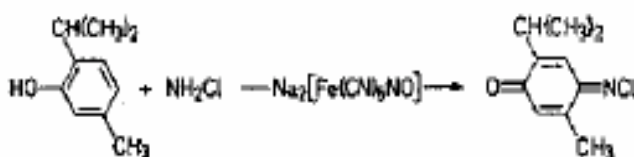
Χαρακτηριστικό σημείο της μεθόδου σχηματισμού της μπλε ινδοφαινόλης είναι η χρήση ενός ισχυρά αλκαλικού μέσου σε σχετικά υψηλό pH, το οποίο θα πρέπει να είναι 13±0,1%.

Μετά την προσθήκη του αντιδραστηρίου NH<sub>4</sub>-1B συνίσταται να ελέγχεται το pH σε περίπτωση όξινου δείγματος. Αναλυτικότερα λαμβάνουν μέρος οι παρακάτω αντιδράσεις. Μετά την προσθήκη του αντιδραστηρίου NH<sub>4</sub>-2B, ένα αντιδραστήριο χλωρίωσης ρυθμισμένης δραστηριότητας, το αμμώνιο που σε αυτό το pH υφίσταται αποκλειστικά σαν αμμωνία, αντιδρά ποσοτικά προς μονοχλωραμίνη σε διάστημα 5 λεπτών:

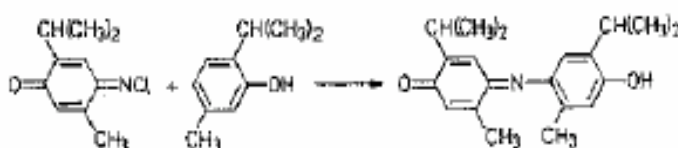


Το ισχυρά αλκαλικό μέσο που χρησιμοποιείται παρεμποδίζει το σχηματισμό διχλωραμίνης και τριχλωραμίνης. Το δείγμα δε θα πρέπει να περιέχει ουσίες που καταναλώνουν ή απελευθερώνουν χλώριο, εφόσον μία ασήμαντη ποσότητα υποχλωριώδων προϊόντων μπορεί να προκαλέσει μία μη ποσοτική αντίδραση, ενώ μία περίσσεια θα μπορούσε να οδηγήσει στον απευθείας σχηματισμό αζώτου.

Το επόμενο στάδιο είναι η αντίδραση της μονοχλωραμίνης με τα συστατικά του αντιδραστηρίου NH<sub>4</sub>-3B, νιτροπρωσικό νάτριο (καταλύτης) και θυμόλη (2-ισοπρόπυλο-5-μέθυλοφαινόλη) σε N-χλωρο-2-ισοπρόπυλο-5-μέθυλοκινόνη μονομερή αμίνη.



Στο τελικό στάδιο της αντίδρασης, η κινόνη μονομερής αμίνη αντιδρά με ένα μεγαλύτερο μόριο θυμόλης για να σχηματίσει την αντίστοιχη χρωστική ουσία της ινδοφαινόλης, η οποία σε ένα αλκαλικό μέσο έχει μπλε χρώμα.



Από την παραπάνω αντίδραση φαίνεται ότι κάθε αμμωνιακό ιόν μετατρέπεται σε μόριο χρωστικής.

### 7.9.1 Ammonium Cell Test MERCK 14739

Κατά τη διαδικασία μέτρησης με το Ammonium Cell Test MERCK 14739, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά γίνεται αντικατάσταση του μαύρου βιδωτού πώματος του μπουκαλιού NH<sub>4</sub>-1K με τον μπλε δοσομετρητή. Με χρήση σιφωνίου τοποθετούνται 5,0 mL του εξεταζόμενου δείγματος στο φιαλίδιο με το test (κυψελίδα με το test), κλείνεται το φιαλίδιο και ακολουθεί ανάμιξη με παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Προσθέεται 1 δόση του αντιδραστήριου NH<sub>4</sub>-1K με τον μπλε δοσομετρητή και βιδώνεται το καπάκι. Σε κάθε δόση πιέζεται το έμβολο. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο και διατηρείται σε ηρεμία για 15 min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60) (εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert cell or start measurement”. Τοποθετείται το κυλινδρικό φιαλίδιο στον υποδοχέα των κυλινδρικών φιαλιδίων (κυλινδρικών κυψελίδων) ως ότου να κουμπώσει. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του φιαλιδίου πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Πολύ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις τα φιαλίδια πρέπει να είναι καθαρά.

Το εύρος του test είναι 0,01 – 2,00 mg/L NH<sub>4</sub>-N.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα 1,00 mg/L NH<sub>4</sub>-N (Spectroquant Combicheck 50) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test), της συσκευής μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας καθώς και ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

### 7.9.2 Ammonium Reagent Test MERCK 14752

Κατά τη διαδικασία μέτρησης με το Ammonium reagent test MERCK 14752, με χρήση σιφωνίου τοποθετούνται 5,0 mL του εξεταζόμενου δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθενται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,6 mL του αντιδραστήριου NH<sub>4</sub>-1B και ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδύεται σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Προστίθεται μία δόση του αντιδραστήριου NH<sub>4</sub>-2B και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ο σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για 5 min. Κατόπιν προστίθενται 4 δόσεις (σταγόνες) του αντιδραστήριου NH<sub>4</sub>-3B και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη 5 min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60) (εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cell or start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το

συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια πλαστική κυψελίδα πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Επίσης πολύ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές.

Το εύρος του test είναι 0,05 – 3,00 mg/L NH<sub>4</sub>-N.

## 7.10 Προσδιορισμός Φωσφορικών Ιόντων

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση ορθοφωσφορικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικά test, το Phosphate Cell Test MERCK 14543 και το Phosphate Reagent Test MERCK 14848.

*Αρχή της μεθόδου:* Σ' ένα διάλυμα που έχει οξινιστεί με θειικό οξύ, τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με μολυβδαινικά ιόντα και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ. Το ασκορβικό οξύ το ανάγει σε φωσφόρο-μολυβδαινικό σύμπλοκο του αντιμονίου μπλε χρώματος (PMB) το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

### 7.10.1 Phosphate Cell Test MERCK 14543

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, αρχικά γίνεται αντικατάσταση των μαύρων βιδωτών πωμάτων των μπουκαλιών P-1K και P-3K με τους αντίστοιχους δοσομετρητές. Ο πράσινος δοσομετρητής αντιστοιχεί στο αντιδραστήριο P-1K και ο μπλε δοσομετρητής στο αντιδραστήριο P-3K. Προστίθενται με χρήση σιφώνιου 5,0 mL δείγματος στο φιαλίδιο με το test και ακολουθεί ανάμιξη. Προστίθεται 1 δόση του αντιδραστηρίου P-1K και βιδώνεται το καπάκι. Προστίθενται 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-2K, βιδώνεται το καπάκι και ακολουθεί ανάδευση σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Το φιαλίδιο ανακινείται καλά στον αναδευτήρα για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Προστίθεται 1 δόση του αντιδραστηρίου P-3K και βιδώνεται το καπάκι. Το φιαλίδιο διατηρείται σε ηρεμία για 5 min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant® NOVA 60)(εικ.7.9), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cell or start measurement”. Το κυλινδρικό φιαλίδιο τοποθετείται στον υποδοχέα ως ότου να κουμπώσει. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του φιαλιδίου πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Επίσης θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Το pH του δείγματος πρέπει να είναι 0 – 10. Διορθώνεται, αν είναι απαραίτητο, με υδροξείδιο του νατρίου ή θειικό οξύ. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις τα φιαλίδια πρέπει να είναι καθαρά.

Το εύρος του test είναι 0,05 – 5,00 mg/L PO<sub>4</sub>-P.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα 0,80 mg/L PO<sub>4</sub> - P (Spectroquant Combicheck 10) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test, της συσκευής μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας και επίσης ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

### 7.10.2 Phosphate Reagent Test MERCK 14848

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, προστίθενται 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-1A σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και ακολουθεί ανάδευση σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Κατόπιν προστίθεται 1 δόση του αντιδραστηρίου P-2A με το μπλε μικροκουτάλακι. Ακολουθεί έντονη ανάδευση έως ότου διαλυθεί το ίζημα. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 5 min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου, ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cell or start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια πλαστική κυψελίδα πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι δίνουν θετικά σφάλματα. Δείγματα που περιέχουν Cl<sup>-</sup> >1000 mg/L πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό.

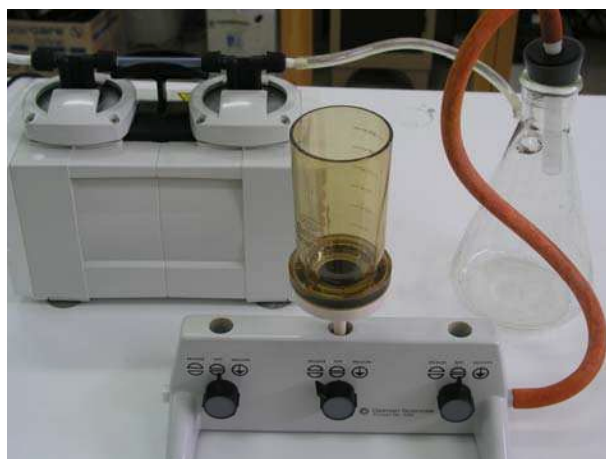
Το εύρος του test είναι 0.05 – 5.00 mg/L PO<sub>4</sub>-P.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα με 0.80 mg/L PO<sub>4</sub> - P (Spectroquant Combicheck 10) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test, της συσκευής μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας και επίσης ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

## 7.11 Προσδιορισμός Μικροβιολογικού Φορτίου

*Αρχή της μεθόδου:* Μετά από διήθηση του δείγματος υπό κενό, το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στη διήθηση εμποτίζεται σε θρεπτικό υλικό τύπου Endo και επωάζεται σε θάλαμο επώασης ρυθμισμένης θερμοκρασίας για 22 – 24 ώρες.

*Απαιτούμενος εξοπλισμός και διαλύματα:* Κατά τη διαδικασία μέτρησης των κοπρανωδών κολοβακτηρίων και ολικών κολοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν αντλία κενού (Buchi Vac® V-500)(εικ.7.13), αποστειρωμένα φίλτρα 47 mm – 0,45 μm (Pall GN-6 mertical® Grid), μαγνητική χοάνη διήθησης 300 mL (Pall), μεταλλική λαβίδα με στρογγυλεμένα άκρα, πιπέττες ρυθμιζόμενου όγκου 1-10mL, ογκομετρικοί κύλινδροι, θάλαμοι επώασης (G® -Cell 075) και (Heraeus kentro UB6) ρυθμισμένοι σε θερμοκρασία 44,5 °C και 35 °C αντίστοιχα.



**Εικόνα 7.13 :** αντλία κενού (Buchi Vac® V-500) και μαγνητική χοάνη διήθησης.

Χρησιμοποιήθηκαν αποστειρωμένα τρυβλία Petri 50 mm με αποστειρωμένες απορροφητικές βάσεις διαμέτρου 47 mm, αποστειρωμένες αμπούλες θρεπτικού υλικού MF-Endo Broth (Gelman Laboratory PN 68105) και M-FC Broth with Rosolic acid (Gelman Laboratory PN 4302), αποστειρωμένα φίλτρα διαμέτρου πόρων 0,45 μm και αιθανόλη.

*Περιγραφή διαδικασίας ανάλυσης-μέτρησης*

*Δειγματοληψία:* Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αποστειρωμένες φιάλες όγκου 500 mL τυλιγμένες με αλουμινόχαρτο. Ο προσδιορισμός έγινε αμέσως μετά τη δειγματοληψία.

*Αραίωση δειγμάτων:* Για τον προσδιορισμό των ολικών κολοβακτηρίων γίνεται αραίωση 1:2 (10 mL δείγματος + 10 mL απιονισμένο νερό).

Για τον προσδιορισμό των κοπρανωδών κολοβακτηρίων δε γίνεται αραίωση. Χρησιμοποιούνται 200 mL δείγματος.

*Προετοιμασία τρυβλίων με θρεπτικό υλικό :* Σε κάθε αποστειρωμένο τρυβλίο διαμέτρου 50mm τοποθετείται μία ειδική απορροφητική βάση και μία αμπούλα με 2 mL έτοιμο αποστειρωμένο θρεπτικό υλικό.

Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιείται για τα ολικά κολοβακτήρια είναι το MF-Endo Broth (Gelman Laboratory PN 68105).

Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιείται για τα κοπρανώδη κολοβακτήρια είναι το M-FC Broth with Rosolic acid (Gelman Laboratory PN 4302).

*Διήθηση :* Η μαγνητική χοάνη προσαρμόζεται στη συσκευή διήθησης. Η λαβίδα για την αποστείρωσή της εμβαπίζεται σε αιθανόλη, περνιέται πάνω από φλόγα και περιμένουμε να σβήσει. Με τη λαβίδα λαμβάνεται ένα αποστειρωμένο φίλτρο (Pall GN-6 mertical® Grid) και τοποθετείται πάνω στην βάση της αποστειρωμένης μαγνητικής χοάνης (Pall) της συσκευής διήθησης.

Ανοίγεται η αντλία κενού (Buchi Vac® V-500) και διηθείται πρώτα ένα δείγμα απιονισμένου νερού (30mL), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αραίωση του δείγματος.

Όταν έχει περάσει όλο το δείγμα του απιονισμένου νερού από το φίλτρο (πριν στεγνώσει εντελώς το φίλτρο) διακόπτεται η διήθηση και τοποθετείται το φίλτρο πάνω σε ένα τρυβλίο με θρεπτικό υλικό.

Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται σα μάρτυρας για τον έλεγχο του απιονισμένου νερού.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για το δείγμα. Στα ολικά κολοβακτήρια διηθούνται 20 mL δείγματος στο οποίο έχει γίνει αραίωση 1:1 (10 mL δείγματος και 10 mL απιονισμένο νερό). Στα κοπρανώδη κολοβακτήρια διηθούνται 200 mL δείγματος.

Το φίλτρο κάθε δείγματος ξεπλένεται με 20-30mL απιονισμένου νερού πριν το τοποθετήσουμε στο αντίστοιχο τρυβλίο.

**Επώαση :** Τα τρυβλία των ολικών κολοβακτηρίων τοποθετούνται σε θάλαμο επώασης (Heraeus Kentro UB6) στους 35 °C για 22-24 ώρες ενώ τα τρυβλία των κοπρανωδών κολοβακτηρίων τοποθετούνται σε θάλαμο επώασης (G<sup>®</sup>-Cell 075) στους 44,5 °C για 22-24 ώρες.

**Καταμέτρηση αποικιών::** Τα ολικά κολοβακτήρια δημιουργούν αποικίες που έχουν ένα βαθύ κόκκινο χρώμα με μεταλλική γυαλάδα. Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια δημιουργούν αποικίες που έχουν ένα μπλε χρώμα. Στα τρυβλία των ολικών κολοβακτηρίων παρατηρούνται επίσης αποικίες απροσδιορίστου μορφής, με βαθύ κόκκινο χρώμα χωρίς μεταλλική γυαλάδα, που θεωρούνται πιθανώς εντεροβακτήρια. Ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά φίλτρο είναι μεταξύ 20 και 80.

Αν ο αριθμός των αποικιών ανά τρυβλίο είναι υψηλότερος και οι αποικίες αλληλοκαλύπτονται, η ανάλυση πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας υψηλότερες αραιώσεις.

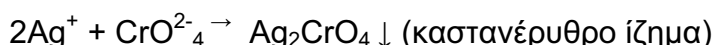
**Υπολογισμός :** Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αποικίες/100 mL και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{αριθμός αποικιών} / 100\text{ml} = \frac{\text{αριθμός αποικιών} \times \text{συντελεστή αραιώσεως} \times 100}{\text{όγκος διηθηθένου δείγματος}}$$

## 7.12 Προσδιορισμός ιόντων χλωρίου

**Αρχή της μεθόδου :** Για τη μέτρηση των ιόντων χλωρίου χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σύμφωνα με την μέθοδο, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου και με δείκτη τελικού σημείου διάλυμα χρωμικού καλίου.

Οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον (pH 8,3) και είναι οι εξής:



Όπως φαίνεται από τις αντιδράσεις, τα χλωριόντα δεσμεύονται από τον νιτρικό άργυρο (AgNO<sub>3</sub>) σε μορφή ιζήματος χλωριούχου αργύρου (AgCl) παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου. Αρχικά καταβυθίζεται ο AgCl και μετά ο χρωμικός άργυρος (Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) με μία ελάχιστη περίσσεια διαλύματος AgNO<sub>3</sub>.

Με την εμφάνιση καστανέρυθρου χρώματος έχει ολοκληρωθεί ποσοτικά η καταβύθιση του AgCl.

**Απαιτούμενος εξοπλισμός:** Για την εκτέλεση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν σιφώνια των 10 mL και 1 mL, κωνικές φιάλες των 250 mL και προχοΐδα των 25 mL.

**Αντιδραστήρια:** Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν είναι τα ακόλουθα:

**Νερό απαλλαγμένο ιόντων χλωρίου, απιονισμένο** με χρήση στήλης (IONIL)

**Πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,01 N.** Διαλύονται 1,659 g AgNO<sub>3</sub> σε 500 mL αποσταγμένο νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη του λίτρου και αραιώνονται μέχρι της χαραγής. Το διάλυμα διατηρείται σε σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη με εσφυρισμένο πώμα, σε θερμοκρασία δωματίου.

**Δείκτης χρωμικού καλίου 2%.** Διαλύονται 2,000 g K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> σε 50 mL απεσταγμένο νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται μέχρι της χαραγής. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία, προστατευόμενο από το φως.

Ανθρακικό ασβέστιο,  $\text{CaCO}_3$ . 0,5 gr  $\text{CaCO}_3$  ξηραίνονται για 1 ώρα στους  $105^\circ\text{C}$  και τοποθετούνται σε ξηραντήρα για απορρόφηση της υγρασίας.

Διαδικασία μέτρησης: Με χρήση του σιφωνίου των 10 mL μεταφέρονται σε κωνική φιάλη 25 mL απιονισμένου νερού και 1 mL δείκτη χρωμικού καλίου. Ποσοτικά μεταφέρονται 0,5 g αποξηραμένου  $\text{CaCO}_3$  και η φιάλη ανακινείται ελαφρά έως την τελική διάλυσή του. Το διάλυμα ογκομετρείται με διάλυμα  $\text{AgNO}_3$  μέχρι τελικού σημείου, όπου παρατηρείται αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε καστανέρυθρο. Σημειώνονται τα mL του  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκαν. Η τιμή αυτή αποτελεί τον όγκο του  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκε για το λευκό διάλυμα (μάρτυρας).

Με χρήση του σιφωνίου των 10 mL μεταφέρονται σε κωνική φιάλη 25 mL απιονισμένου νερού, 25 mL δείγματος και 1 mL δείκτη χρωμικού καλίου. Το δείγμα ογκομετρείται με  $\text{AgNO}_3$  μέχρι τελικού σημείου, όπου παρατηρείται αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε καστανέρυθρο. Σημειώνονται τα mL του  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκαν.

Υπολογισμός:

$$\text{mg / L Cl}^- = (A - B) \times N \times 35.450 / C$$

όπου:

A = τα mL διαλύματος  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκαν για το δείγμα

B = τα mL διαλύματος  $\text{AgNO}_3$  που καταναλώθηκαν για το μάρτυρα

N = η κανονικότητα του διαλύματος  $\text{AgNO}_3$

C = ο όγκος του δείγματος, σε mL

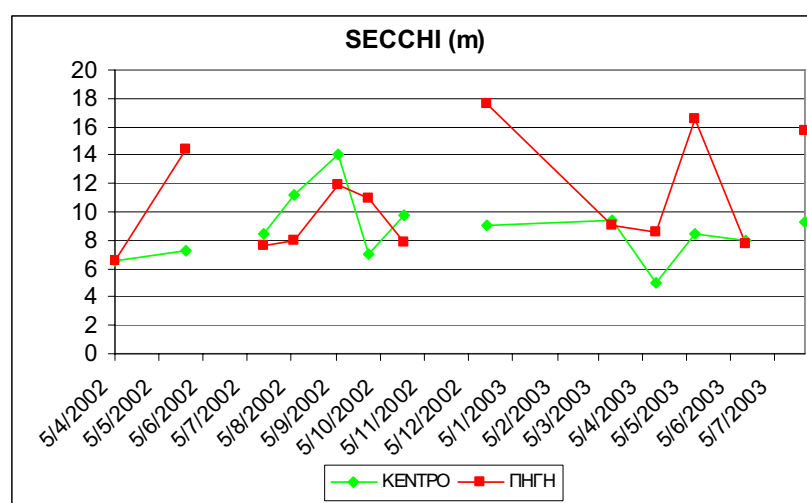


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 8.1 Μεταβολή της θολότητας

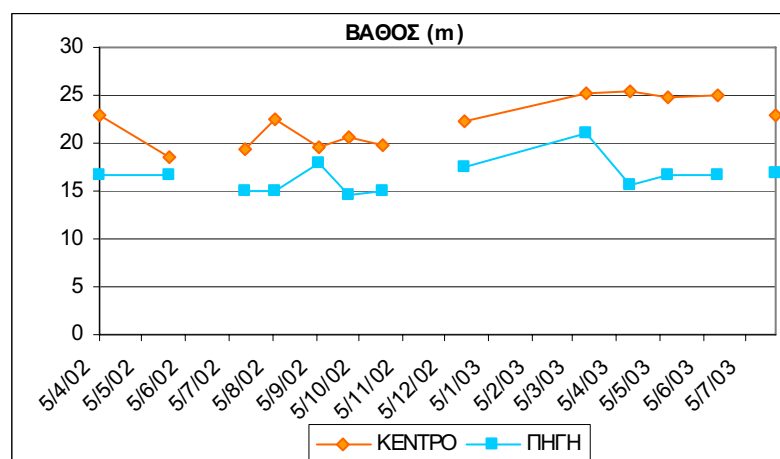
Από τις μετρήσεις της θολότητας με την βοήθεια του δίσκου Secchi προκύπτει το Γράφημα 8.1 το οποίο δείχνει την μεταβολή από 6 έως 18 μέτρα στην περιοχή Αμάτι και από 6 έως 14 μέτρα στο κέντρο της λίμνης ανάλογα την περίοδο δειγματοληψίας. Από τις περισσότερες μετρήσεις φαίνεται ότι η περιοχή τροφοδοσίας της λίμνης (Αμάτι) διατηρεί χαμηλότερη θολότητα συγκρινόμενη με την περιοχή του κέντρο όπου πιθανόν λόγω της ανάμιξης του νερού και του υφιστάμενου ιζήματος αυξάνει ο σκεδασμός του φωτός και μειώνεται η διαύγεια της λίμνης.



Σχήμα 8.1: Μέτρηση θολότητας στη λίμνη Κουρνά κατά τα έτη 2002 – 2003

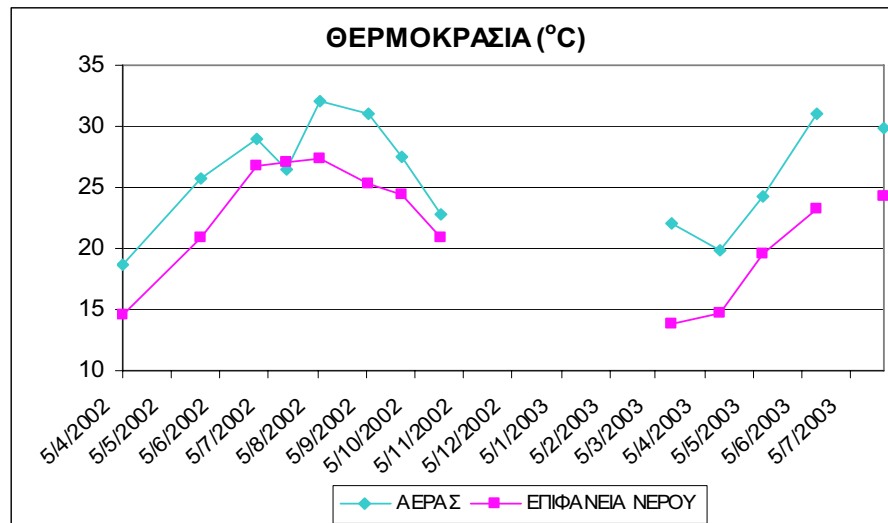
#### 8.2 Μεταβολή του βάθους και της θερμοκρασίας

Η επίδραση του ισοζυγίου εισροών και εκροών της λίμνης φαίνεται από τις μετρήσεις του βάθους στο κέντρο της λίμνης και την πηγή (Γράφημα 8.2) από τις οποίες προκύπτει η άμεση σχέση μέγιστης και ελάχιστης στάθμης των δύο σημείων αφού η πηγή είναι το κύριο σημείο τροφοδοσίας της λίμνης με νερό.



Σχήμα 8.2: Μέτρηση βάθους της λίμνης Κουρνά κατά τα έτη 2002 – 2003

Η θερμοκρασία του αέρα ήταν συνεχώς υψηλότερη από την θερμοκρασία του νερού με διαφορά 3-5οC ανάλογα με την εποχή του έτους (Σχ 8.3).



**Σχήμα 8.3:** Θερμοκρασία επιφάνειας νερού και αέρα της λίμνης

### 8.3 Μεταβολή του pH

Από τα γραφήματα που ακολουθούν για την περιγραφή του pH της λίμνης παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ομοιότητα στην μεταβολή των τιμών όσον αφορά τα σημεία Εστιατόρια Βουνά και Κέντρο. Αναλυτικότερα, ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της χειμερινής περιόδου είναι 7.9, την άνοιξη φτάνει 8.0, τους καλοκαιρινούς αυξάνεται στα 8.1 ενώ την εποχή του φθινοπώρου παρατηρούνται οι υψηλότεροι μέσοι όροι (8.4).

Οι μετρήσεις των τιμών στο σημείο της Εξόδου φαίνονται να ακολουθούν τις τιμές των παραπάνω σημείων με ελάχιστη μείωση στο σύνολό τους έως 0,2. Όσον αφορά το σημείο Αμάτι, οι τιμές εμφανίζονται χαμηλότερες κατά 0,1 περίπου σε σύγκριση με τα παραπάνω σημεία, ενώ στο σημείο Αντλιοστάσιο παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές της λίμνης (0,5 την άνοιξη και το καλοκαίρι και κατά 1 μονάδα το χειμώνα) ανά εποχή. Το φθινόπωρο του 2003 παρατηρείται αισθητή μείωση 1 μονάδα (7,5) σε σχέση με την υπόλοιπη λίμνη (8.5) (Σχήμα 8.4).

### 8.4 Μεταβολή αγωγιμότητας

Στο σχήμα 8.5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αγωγιμότητας της λίμνης, όπως φαίνεται και από τα γραφήματα κατά το έτος 2002 η αγωγιμότητα είναι υψηλότερη από τα υπόλοιπα έτη.

Συγκεκριμένα στα σημεία Έξοδος, Βουνά, Εστιατόρια και Κέντρο, οι μεταβολές που παρουσιάζονται είναι σχεδόν παρόμοιες για όλα τα έτη των δειγματοληψιών. Το χειμώνα, η αγωγιμότητα που μετρήθηκε ήταν 1.6 mS/cm, την άνοιξη μειώθηκε κατά 0.25 mS/cm ενώ το καλοκαίρι οι τιμές παρέμειναν σταθερές κατά μέσο όρο 0,9 mS/cm ενώ το φθινόπωρο παρατηρήθηκε πάλι αύξηση κατά 0.2 mS/cm.

Όσον αφορά το σημείο Αμάτι, εμφανίζει συγκριτικά υψηλότερες τιμές κατά 0,3 τους μήνες Αύγουστο έως Δεκέμβριο 2002.

Στο σημείο Αντλιοστάσιο, η αγωγιμότητα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά στις τιμές με το σημείο Αμάτι.

### 8.5 Μεταβολή C.O.D

Από το Σχήμα 8.6 παρατηρείται ότι οι τιμές του C.O.D. για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο του 2003 να είναι υψηλές στα σημεία Έξοδος, Κέντρο, Βουνά, Εστιατόρια, Αμάτι. Η αύξηση είναι της τάξης των 10mg/l.

Στα Εστιατόρια σημειώνεται και κατά τον μήνα Αύγουστο του ίδιου έτους επίσης υψηλή τιμή (9 mg/l). Όσον αφορά το σημείο της παροχής παρατηρούνται αυξημένες τιμές κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ αξίζει να αναφερθεί και η δειγματοληψία στις 18/2/2004 στα σημεία Εστιατόρια Αμάτι Αντλιοστάσιο που επίσης καταγράφονται υψηλές μετρήσεις σε σχέση με την εποχή.

### 8.6 Μεταβολή BOD<sub>5</sub>

Στο σχήμα 8.7 παρουσιάζονται οι τιμές του BOD<sub>5</sub> η αυξομείωση των οποίων παρουσιάζουν ομοιόμορφη εποχική διακύμανση σε όλα τα έτη των δειγματοληψιών.

Αναλυτικότερα παρατηρούμε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές BOD<sub>5</sub>, (5mg/l) με μεγαλύτερη την μέτρηση στις 21/08/2003 σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας κατά μέσο όρο 7mg/l, ενώ μειώνεται σταδιακά μέχρι τη χειμερινή περίοδο όπου η τελική τιμή του φθάνει 1 mg/l.

Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι μετρήσεις του BOD<sub>20</sub>. (σχήμα 8.8)

### 8.7 Συγκέντρωση νιτρικών ιόντων

Παρατηρούμε στο σχήμα 8.9 ότι οι υψηλότερες τιμές των νιτρικών ιόντων που μετρήθηκαν στην λίμνη βρίσκονται αρχικά στο σημείο Αντλιοστάσιο και στην συνέχεια στα σημεία Αμάτι, Εστιατόρια, Κέντρο.

Το έτος 2004, οι τιμές των νιτρικών ιόντων στη λίμνη ήταν αυξημένες συγκριτικά με τις προηγούμενα έτη. Αναλυτικότερα, η αύξηση παρατηρείται στη μέτρηση του Δεκεμβρίου του 2003 μέχρι και την ολοκλήρωση των δειγματοληψιών στην λίμνη, οι συγκεκριμένες τιμές κυμαίνονται από 0.7 – 1,20 mg/l.

Την άνοιξη και το καλοκαίρι των προηγούμενων ετών οι τιμές των νιτρικών ήταν κατά προσέγγιση 0.5 mg/l σε όλα τα σημεία των δειγματοληψιών ενώ το χειμώνα μειώνονται μέχρι και 0.2 mg/l.

### 8.8 Συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων

Σύμφωνα με το σχήμα 8.10 παρατηρούνται σταθερές συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων, της τάξης των 0,05 mg/l περίπου, στα σημεία Αντλιοστάσιο και Αμάτι στο σύνολό των δειγματοληψιών τους.

Σε όλα τα δειγματοληπτικά σημεία της λίμνης, παρατηρείται μια αυξημένη μέτρηση το Δεκέμβριο του 2002 κατά μέσο όρο 0,08 mg/l, ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα (0,02 – 0,06 mg/l).

## 8.9 Συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων

Οι μετρήσεις των φωσφορικών ιόντων στην λίμνη, παρουσιάζονται χαμηλότερες από το κάτω όριο του kit αναλύσεων (0.05 mg/l) στο σύνολο των δειγματοληψιών (0.01 mg/l)

Εξαιρέση αποτελεί το έτος 2004 οπότε οι μετρήσεις των φωσφορικών ιόντων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες. Αναλυτικότερα, τον Απρίλιο του 2004 τα ιόντα στην Έξοδο έφτασαν τα 1,6 mg/l σημειώνοντας την υψηλότερη μέτρηση στην λίμνη. Τον Φεβρουάριο του 2004, οι τιμές ήταν επίσης υψηλές στα σημεία Αντλιοστάσιο(0.7 mg/l), Αμάτι(1,2 mg/l) και Εστιατόρια(1,1 mg/l). (σχήμα 8.11).

## 8.10 Συγκέντρωση κοπρικών θερμοανθεκτικών κολοβακτηριοειδών

Από τις μικροβιολογικές αναλύσεις που διεξήχθησαν καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών στην λίμνη προκύπτει η ύπαρξη χαμηλού φορτίου των κοπρικών θερμοανθεκτικών κολοβακτηριοειδών.

Εξαιρέση αποτελεί το σημείο Εστιατόρια όπου παρατηρούνται αρκετές μετρήσεις της τάξης των 5 αποικιών. Επίσης αξίζει να σημειωθεί η μέτρηση στο σημείο Αμάτι, τον Φεβρουάριο του 2004 όπου το επίπεδο των αποικιών ήταν υψηλότερο φτάνοντας τις 10 αποικίες, καθώς και στο σημείο της Εξόδου όπου παρατηρήθηκε η υψηλότερη μέτρηση τον Οκτώβριο του 2003 φτάνοντας τις 22 αποικίες (σχήμα 8.12).

## 8.11 Συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριοειδών

Από το σχήμα 8.13 προκύπτει επίσης ότι το φορτίο των ολικών κολοβακτηριοειδών στην λίμνη κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν χαμηλό.

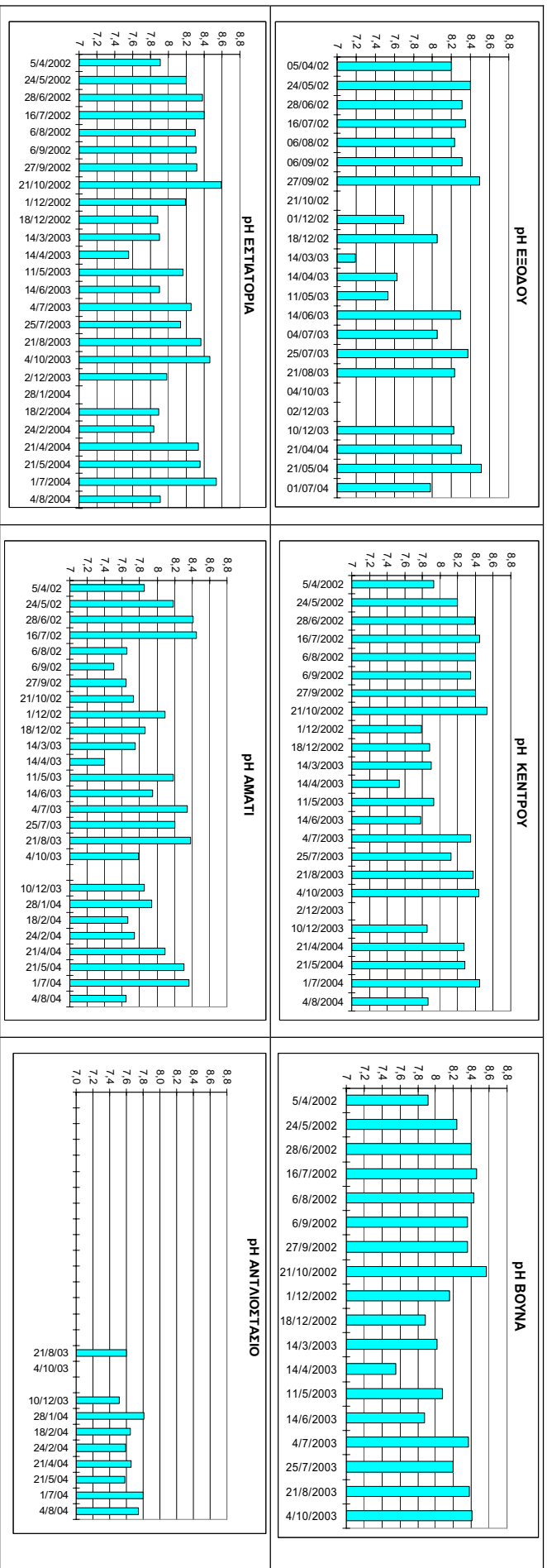
Εξαιρέσεις αποτέλεσαν κατά το έτος 2002 οι μετρήσεις του μήνα Δεκεμβρίου στο σημείο Αμάτι φτάνοντας τις 150 αποικίες, ενώ για το έτος 2003, οι μήνες Απρίλιος και Δεκέμβριος στο σημείο Εστιατόρια φτάνοντας τις 100 και 140 αποικίες αντίστοιχα και στο σημείο της Εξόδου τον Αύγουστο του ίδιου έτους με 150 αποικίες.

## 8.12 Συγκέντρωση ιόντων χλωρίου

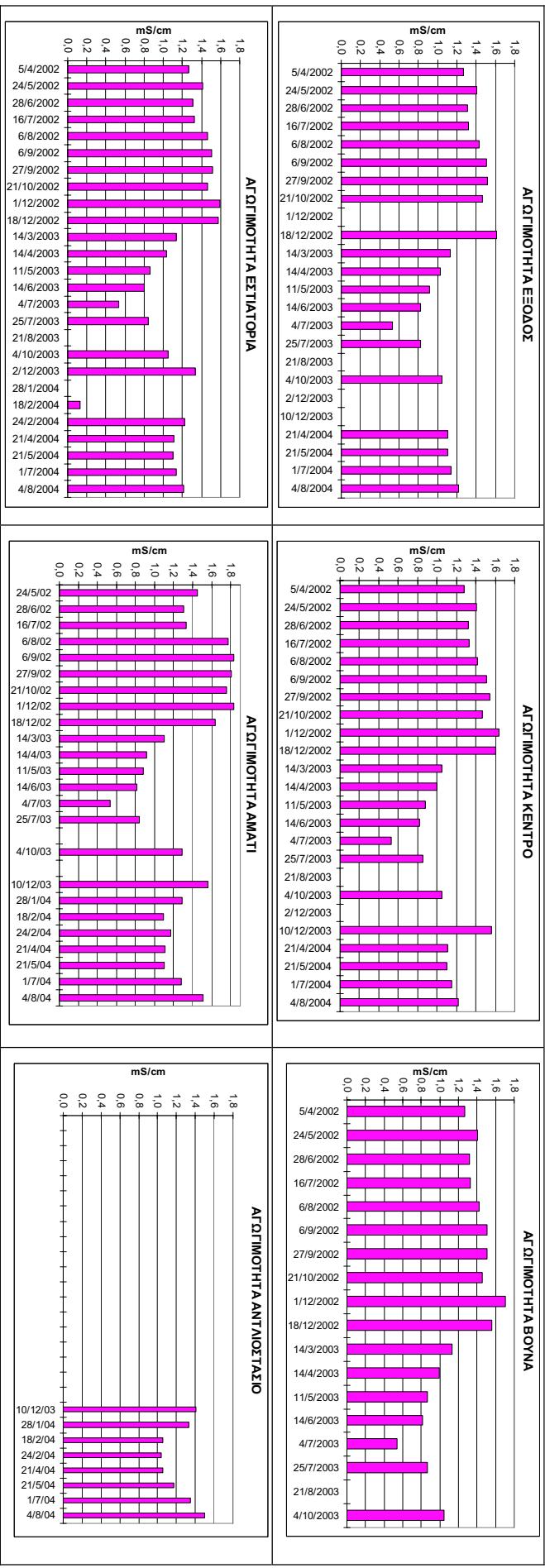
Στο σχήμα 8.14 αναφέρονται οι μεταβολές των ιόντων χλωρίου, όπου παρατηρείται ότι κατά το έτος 2002 οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες σε όλα τα δειγματοληπτικά σημεία της λίμνης.

Συγκεκριμένα την άνοιξη, στα σημεία Κέντρο, Εστιατόρια, Έξοδος και Βουνά, τα ιόντα χλωρίου μετρήθηκαν 200 mg/l ,τους καλοκαιρινούς μήνες 220 mg/l , το φθινόπωρο 250 mg/l και το χειμώνα έφθασαν 280 mg/l περίπου. Όσον αφορά το σημείο Αμάτι για το ίδιο έτος παρατηρείται αισθητή αύξηση έως και 50 mg/l για τους μήνες Αύγουστο – Δεκέμβριο (324 mg/l).

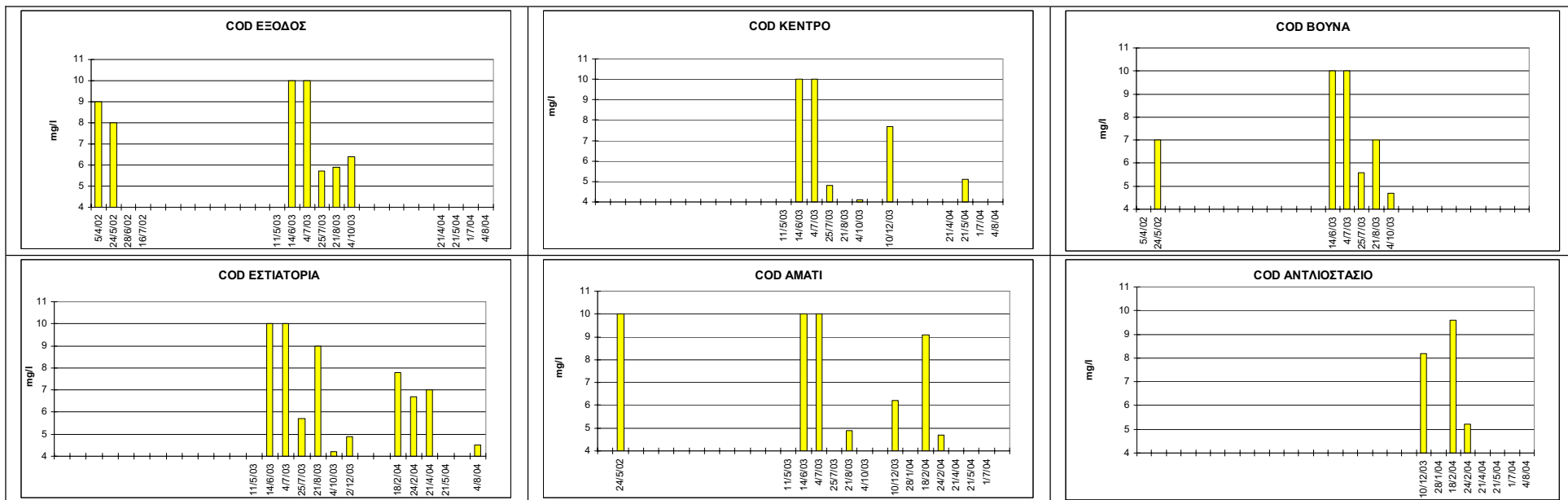
Το έτος 2003 η μείωση των ιόντων χλωρίου ήταν αισθητή σε όλα τα δειγματοληπτικά σημεία της λίμνης. Στις αρχές του έτους οι τιμές μετρήθηκαν 150 mg/l μέχρι τη θερινή περίοδο όπου ελαττώθηκαν κατά 70 mg/l. Τους επόμενους μήνες οι τιμές αυξάνονται έως το τέλος του χρόνου (190 mg/l). Σχετικά με το σημείο Αντλιοστάσιο τα ιόντα χλωρίου παρουσιάζουν τις ίδιες τιμές με το σημείο Αμάτι.



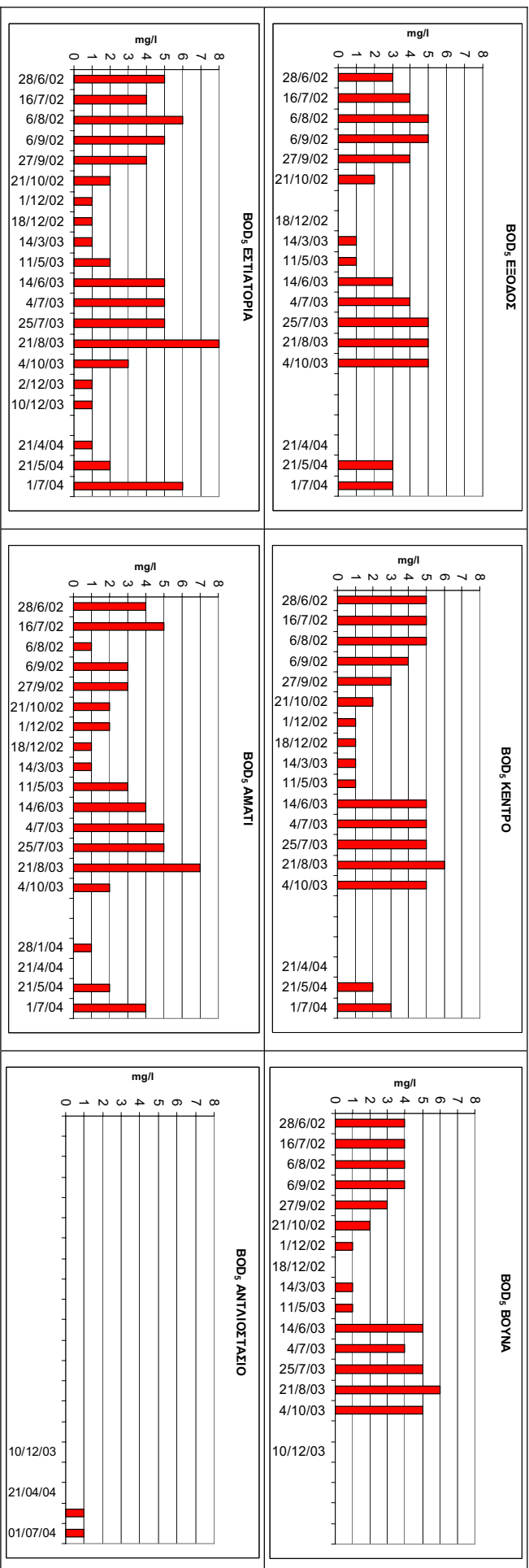
**Σχήμα 8.4.** Μεταβολή του pH του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία Δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιάτορεια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



**Σχήμα 8.5.** Μεταβολή της αγωγιμότητας του νερού της λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, ετιστάθια, αμάτι και αντιλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004

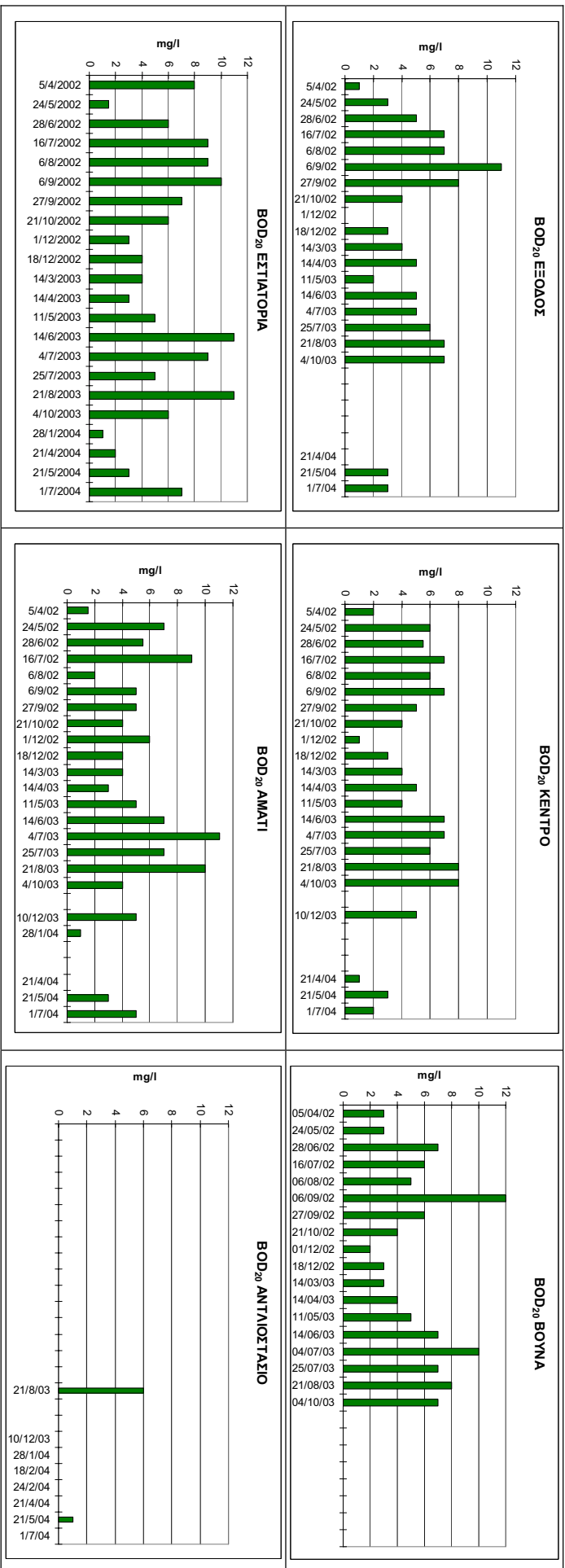


**Σχήμα 8.6.** Μεταβολή του C.O.D. του νερού της λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004

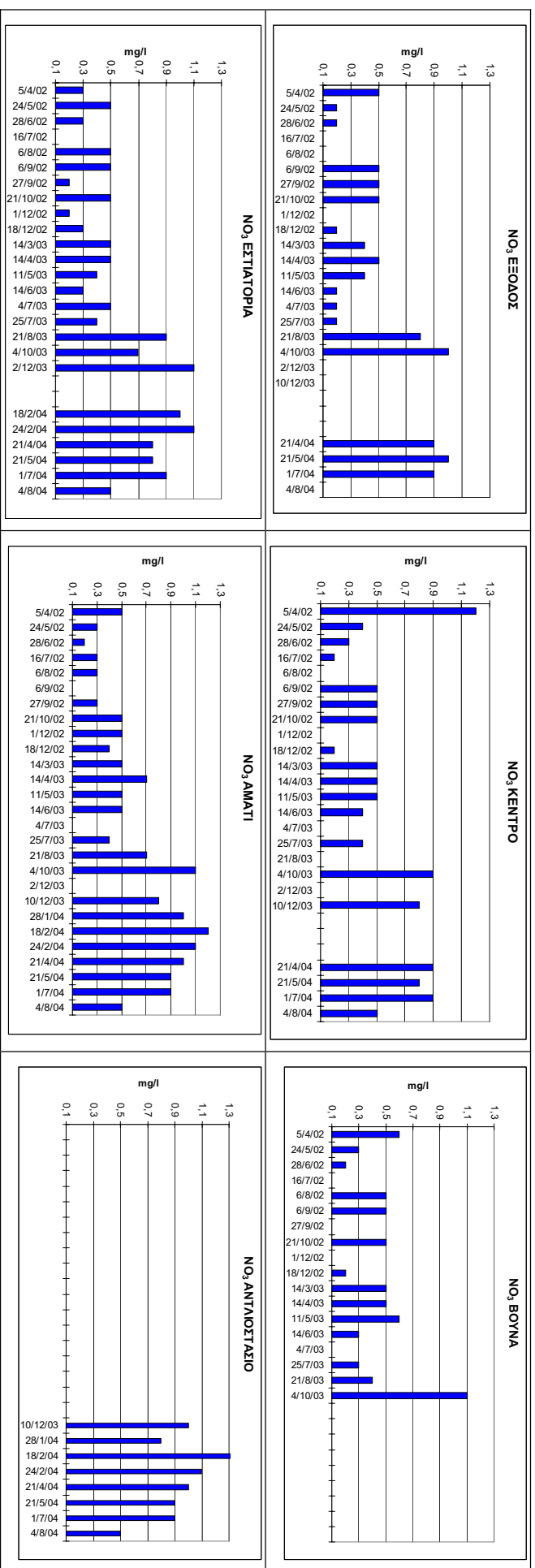


**Σχήμα 8.7.** Μεταβολή του Β.Ο.Δ.<sub>5</sub> του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία Δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004

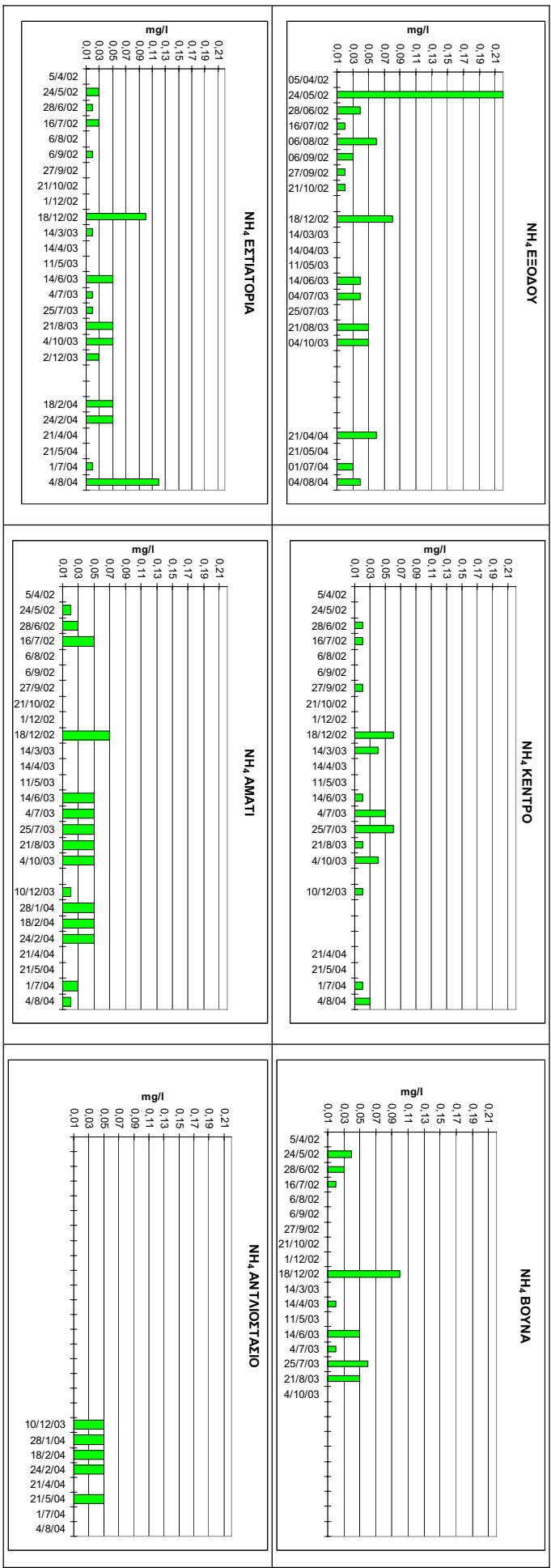




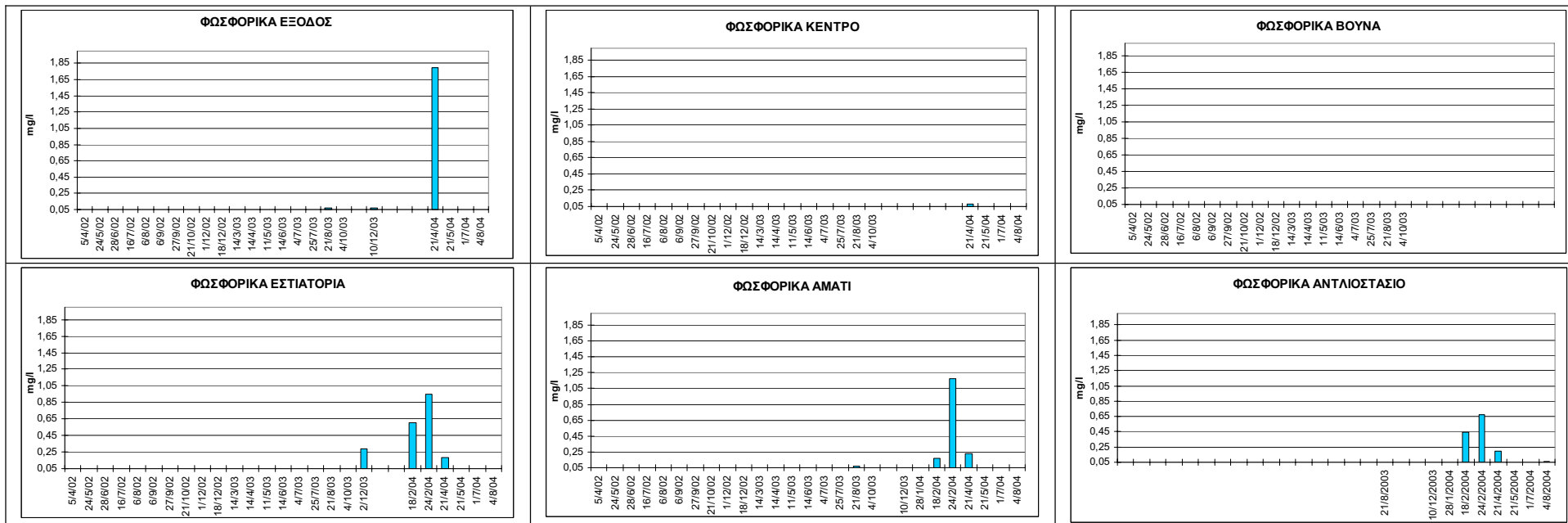
**Σχήμα 8.8.** Μεταβολή του Β.Ο.Δ.<sub>20</sub> του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



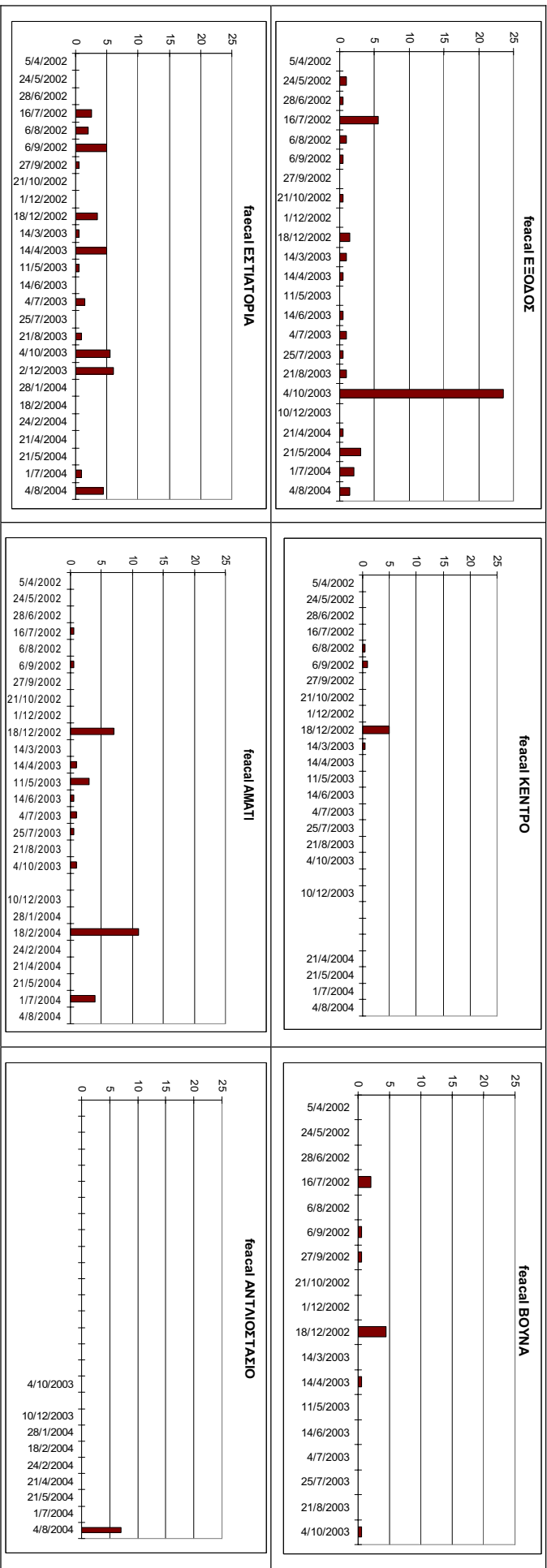
**Σχήμα 8.9.** Μεταβολή της συγκέντρωσης NO<sub>3</sub><sup>-</sup> του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



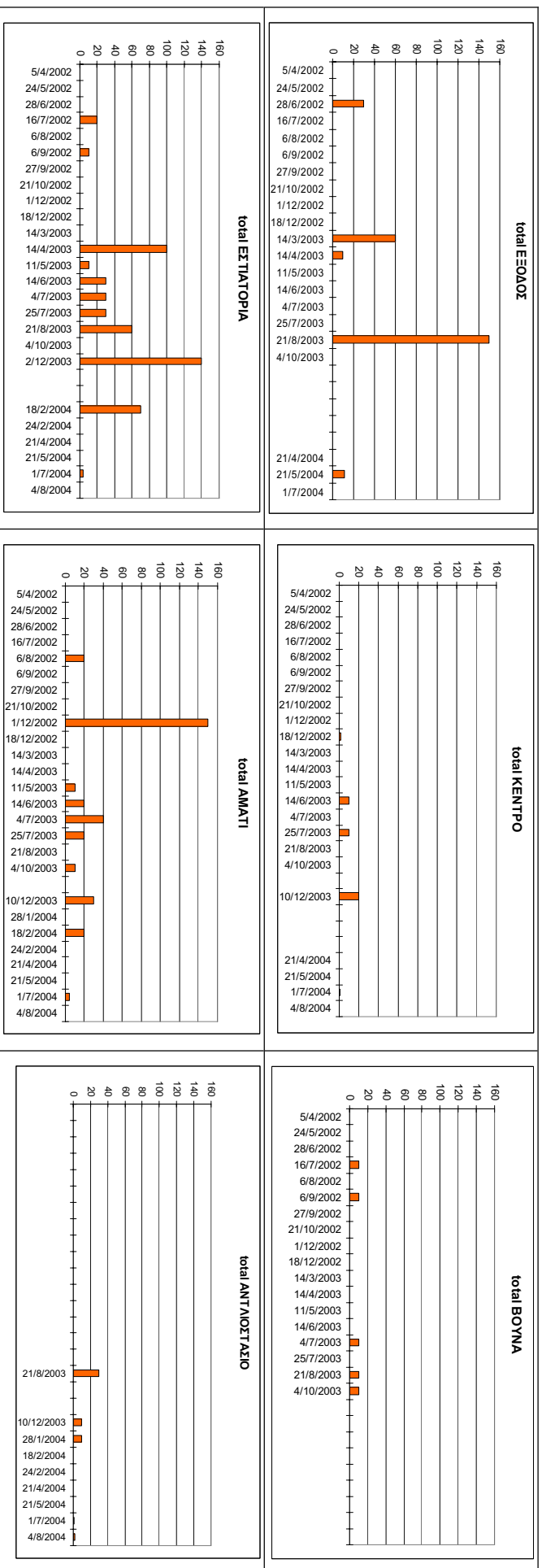
**Σχήμα 8.10.** Μεταβολή της συγκέντρωσης NH<sub>4</sub> του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντιθέταίο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



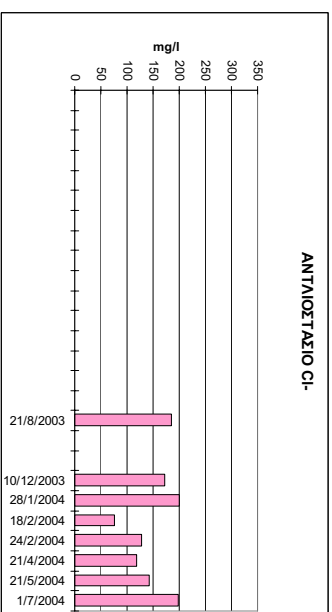
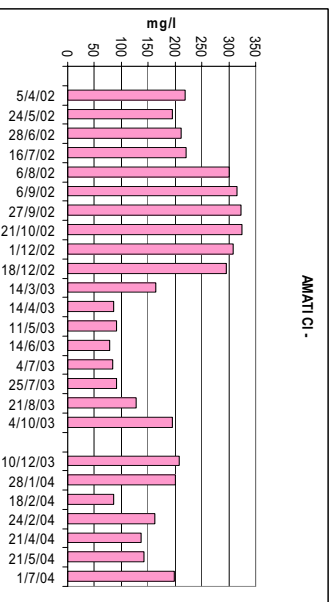
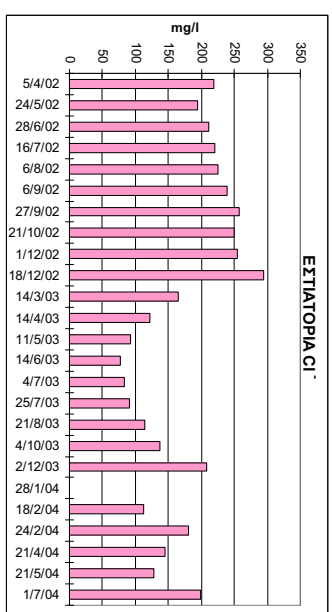
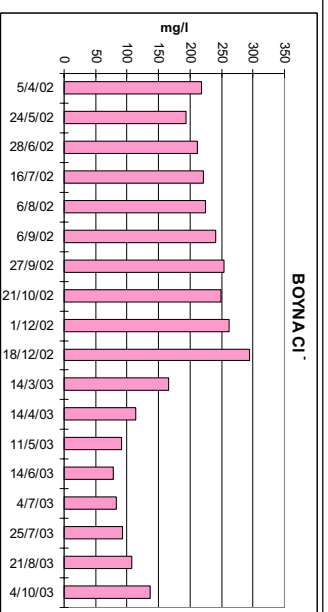
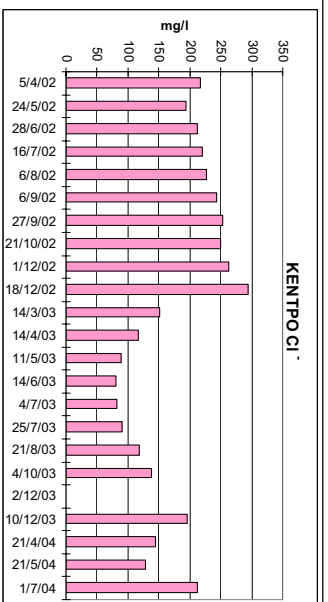
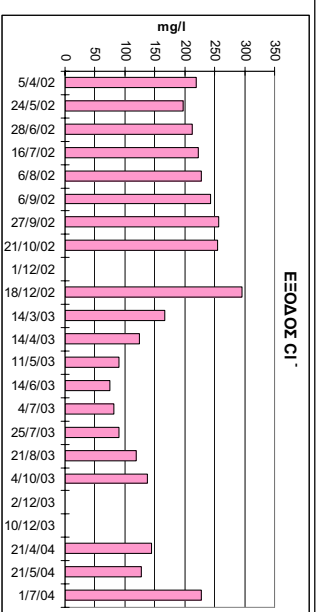
Σχήμα 8.11. Μεταβολή της συγκέντρωσης PO<sub>4</sub> του νερού της λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



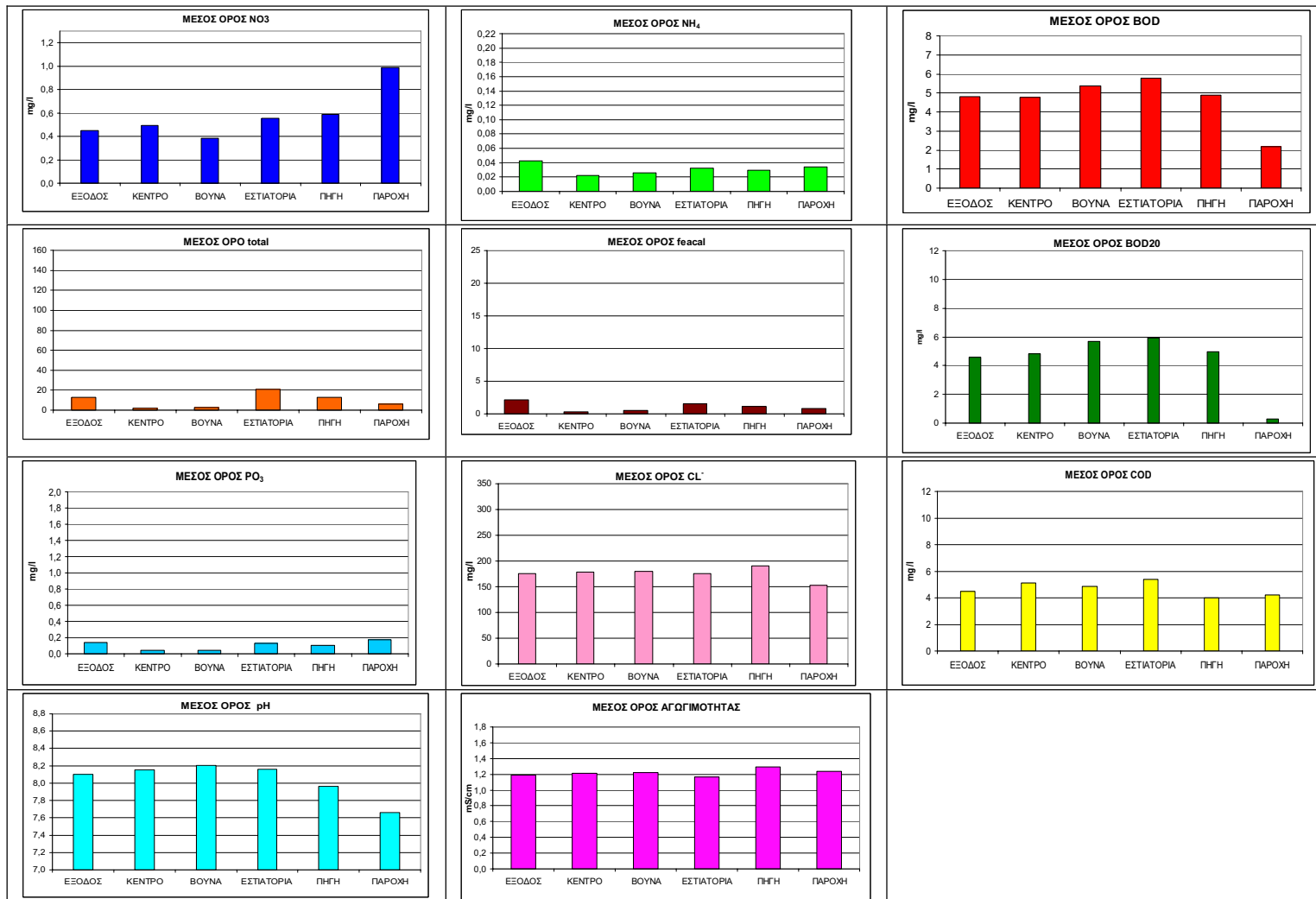
**Σχήμα 8.12.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των κοπρανώδων κολοβακτηρίων του νερού της Λίμνης Κουρνά στα σημεία Δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντιμοστίσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



**Σχήμα 8.13.** Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηρίων (total) του νερού της λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμύτι και αντιλιοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004

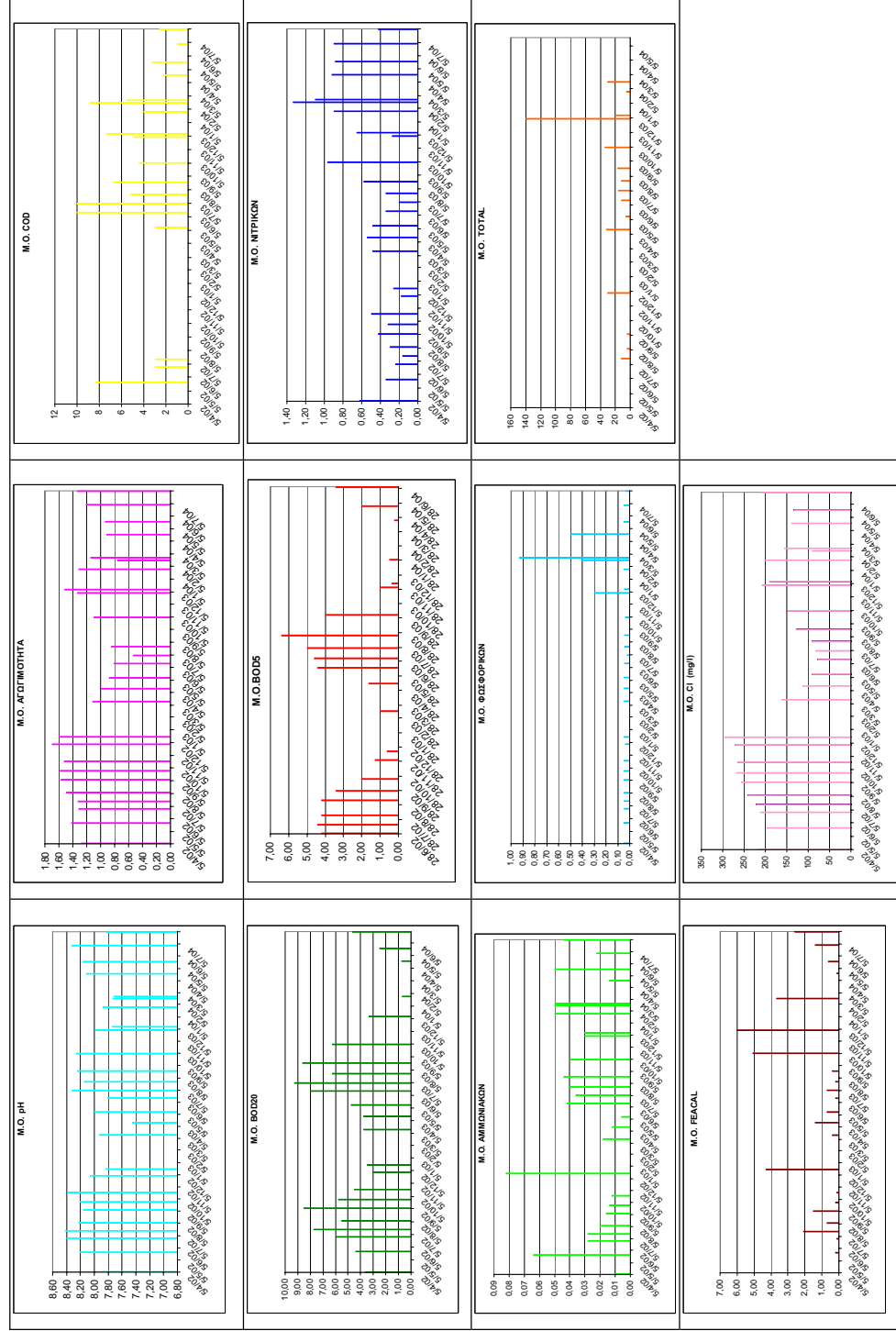


**Σχήμα 8.14.** Μεταβολή της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> του νερού της λίμνης Κουρνά στα σημεία δειγματοληψίας έξοδος, κέντρο, βουνά, εστιατόρια, αμάτι και αντιλοστάσιο κατά την περίοδο από 5/04/2002 έως 4/08/2004



**Σχήμα 8.15.** Μέσοι όροι των μετρήσεων ανά παράμετρο ποιότητας νερού για όλη την περίοδο μελέτης για κάθε σημείο δειγματοληψίας στην λίμνη Κουρνά.





**Σχήμα 8.16.** Μέσοι όροι των μετρήσεων ανά παράμετρο ποιότητας νερού για όλη την περίοδο μελέτης σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας στην λίμνη Κουρνά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την συνολική εκτίμηση της ποιότητας του νερού της λίμνης Κουρνά όπως διαμορφώνεται από τις παραμέτρους που μετρήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι εποχικά παρατηρείται μεταβολή στο pH, αγωγιμότητα και χλωριόντα. Οι υπόλοιπες παράμετροι οι οποίες αποτελούν δείκτες ρύπανσης ή και μόλυνσης του νερού δεικνύουν την χαμηλή έως μέτρια ορισμένες φορές επιβάρυνση της λίμνης κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το pH του νερού της λίμνης μπορεί να χαρακτηριστεί ως αλκαλικό, άλλωστε αυτό δικαιολογούν και η κυριάρχηση των ανθρακικών μεταλλευμάτων στα πετρώματα και στα πρόσφατα ιζήματα [1]. Αλλά και σε σύγκριση με τις υπόλοιπες λίμνες της Ελλάδος (πίνακας 4.2) παρατηρείται ότι και γενικότερα τα επιφανειακά νερά της χώρας χαρακτηρίζονται στο σύνολο τους ως αλκαλικά [5].

Η παρόμοια συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου υποδηλώνει μια σχέση αιτίου –αποτελέσματος μεταξύ των δύο παραμέτρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το υδρολογικό έτος 2002 παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση των τιμών και στις δύο παραμέτρους αποτέλεσμα που επιδεινώθηκε και από το χαμηλό ποσοστό των βροχοπτώσεων στην περιοχή (Σχήμα 5.2) αφού μείωσε το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης. Πιθανότατο αίτιο για την παραπάνω συμπεριφορά των παραμέτρων να είναι το φαινόμενο της υπαλμύρωσης. Το εν λόγω φαινόμενο συναντάται συχνά σε παραθαλάσσιους υδροφορείς. Η κύρια αιτία της υπαλμύρωσης είναι η μεταβολή της υδραυλικής ισορροπίας λόγω της άντλησης και υπεράντλησης των υπογείων νερών. Λόγω της μεταβολής της υδραυλικής ισορροπίας είναι δυνατή η εισροή νερών χαμηλής ποιότητας, υπάλμυρων ή εμπλουτισμένων με ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα από διπλανούς επάλληλους υδροφορείς και από τη θάλασσα[10].

Σε μελέτη για τις υπόλοιπες λίμνες της Ελλάδος σημειώθηκαν οι υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας και ιόντων χλωρίου σε λίμνες που βρίσκονται κοντά σε θάλασσα ή σε εκείνες που το γεωλογικό τους υπόβαθρο στις νεογενείς αποθέσεις του παρουσίαζε ενστρώσεις γύψων, οι οποίες εμπλουτίζουν τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στους σχηματισμούς αυτούς με θειικά άλατα, γεγονός που συνεπάγεται αυξημένες τιμές αγωγιμότητας (Βιστονίδα, Κορώνεια, Βεγορίτιδα Παραλίμνη) [5].

Η παρουσία τιμών C.O.D. αποδεικνύει την ύπαρξη χημικού φορτίου στην λίμνη κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες των έτων 2003 – 2004.

Η εμφάνιση επιβάρυνσης και στο σημείο Αντλιοστάσιο, χειμερινούς κυρίως μήνες, παρότι το νερό έρχεται από γεώτρηση μεγάλου βάθους χωρίς να έρχεται σε επάφη με τα επιφανειακά νερα της λίμνης αποτελεί ένδειξη ότι το νερό δέχεται χημική μόλυνση σε κάποιο άλλο σημείο του υδροφορου ορίζοντα και πριν εισχωρησει στο περιβαλλον της λίμνης. Η υπόθεση αυτή φαίνεται να επαληθεύεται από μετρήσεις που έγιναν στο συγκεκριμένο σημείο για τις συγκεντρώσεις σε απορρυπαντικά, φαινόλες, θειικά, νιτρικά ιόντα (αδημοσίευτα αποτελέσματα).

Η συγκέντρωση B.O.D. παρουσιάζει μια αύξηση κατα την θερινη περιοδο και μείωση μετα το φθινόπωρο, ακολουθώντας την εποχιακή μεταβολή και των άλλων μετρηθέντων παραμέτρων στην συγκεκριμένη έρευνας, καθώς και την μεταβολή του διαλυμένου οξυγόνου[12]. Η καθαρότητα του νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συνεχή οξυγόνωσή του, η οποία ευνοείται σε συνθήκες υψηλής ροής που βελτιώνουν τον επιφανειακό αερισμό. Αντίθετα, σε χαμηλές ροές, που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της ξηρης περιόδου, ευνοείται η συσσώρευση ρύπων που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα ποιότητας νερού [5]. Επίσης υψηλότερες θερμοκρασίες νερού κατά την διάρκεια της ξηρης περιόδου μπορεί να

οδηγήσουν σε χαμηλότερη τιμή κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου [12]. Σε αντιστοιχία λοιπόν με την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου παρατηρείται αύξηση των τίμων B.O.D. κατά την θερινή περίοδο. Οι μετρήσιμες τιμές του B.O.D. της λίμνης δεν κρίνονται υπερβολικά υψηλές, εκτός ορισμένων μετρήσεων (21/8/2003), γεγονός που αποδεικνύει ότι το οργανικό φορτίο του νερού της λίμνης βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

Χαρακτηριστικές είναι οι σχετικά υψηλές τιμές του νιτρικού αζώτου στο νερό της λίμνης ανεξαρτήτως περιόδου. Η παρουσία των νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά οφείλεται εν μέρει στην διαρκή επαφή τους με την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τον κορεσμό τους σε αέριο άζωτο [9]. Συνεπώς η παρουσία του νιτρικού ιόντος στα επιφανειακά νερά σε χαμηλές συγκεντρώσεις θεωρείται φυσιολογική. Η εφαρμογή των λιπασμάτων ανόργανου άζωτου φαίνεται ότι συντελεί επίσης στην ταχύτατη αύξησή των νιτρικών. Τα στερεά απόβλητα των ζώων θεωρούνται σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων [10].

Εντύπωση και στις συγκεκριμένες μετρήσεις προκαλούν οι τιμές που παρουσιάζονται στο σημείο Αντλιοστάσιο. Παρατηρείται το έτος 2004 ότι οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται στο συγκεκριμένο σημείο, ενώ προχωρώντας στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές. Γεγονός που θα μπορούσε να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το αντλιοστάσιο είναι το σημείο εκείνο που και εμπλουτίζει την υπόλοιπη λίμνη.

Από μετρήσεις σε λίμνες της Ελλάδας έχουν καταγραφεί υψηλές τιμές νιτρικών ιόντων (πίνακας 4.2) που αποδόθηκαν είτε στο γεγονός ότι βρίσκονταν κοντά σε αστικοποιημένες περιοχές είτε σε γεωργικές δραστηριότητες (Βεγορίτιδα, Καστορία).

Οι τιμές του αμμωνιακού αζώτου είναι κατά μέσο όρο μικρότερες από 0.05 mg/l με εξαίρεση την δειγματοληψία στις 18/12/2002. απότομα αυξημένες τιμές μπορούν να αποδοθούν εξολοκλήρου σε εξωτερικές επιδράσεις. Με δεδομένο ότι πολλά λιπάσματα περιέχουν αμμωνία και ενώσεις αμμωνίας, η έκπλυση των χωραφιών μπορεί να συνέβαλε στην απότομη αύξηση του αμμωνιακού αζώτου στο νερό (σχήμα 5.2) το συγκεκριμένο έτος.

Οι τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων που μετρήθηκαν στην λίμνη είχαν μηδενικές τιμές με εξαίρεση τις 18/2/2004 και 24/2/2004. Στις αναφερόμενες ημερομηνίες αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την δειγματοληψία η λίμνη ήταν γεμάτη αφρούς. Εντύπωση και σε αυτές τις μετρήσεις προκαλεί το γεγονός της εμφάνισης φορτίου στο σημείο Αντλιοστάσιο.

Επίσης την ίδια περίοδο είχε γίνει μέτρηση για απορρυπαντικά και φαινόλες και στο σημείο Αντλιοστάσιο βρέθηκαν τιμές.

Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες λίμνες που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο η λίμνη Κουρνά περιέχει τις χαμηλότερες τιμές φωσφορικών ιόντων (Πίνακας 4.2).

Όσον αφορά το μικροβιακό φορτίο της λίμνης παρατηρείται ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των ολικών κολοβακτηρίων και των κοπρανωδών κολοβακτηρίων. Παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μια αύξηση των ολικών κολοβακτηρίων κυρίως για το έτος 2003 ενώ τα κοπρανώδη κολοβακτήρια εμφανίζονται σχεδόν όλες τις περιόδους.

Μικροβιακό φορτίο εντοπίζεται κυρίως στα σημεία Εστιατόρια, Έξοδος και Αμάτι ο λόγος ίσως να οφείλεται σε ανθρώπινο παράγοντα ή ζώα. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι μικροβιακό φορτίο εντοπίζεται και στο σημείο Αντλιοστάσιο.

Τα αποτελέσματα των παραμέτρων ποιότητας που μετρήθηκαν συγκρίθηκαν με τις τιμές των προτύπων ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για υδροληψία πόσιμου νερού (Πίνακας 1) και διαπιστώθηκε ότι το νερό της λίμνης Κουρνά σε αρκετές δειγματοληψίες ήταν εκτός των επιτρεπόμενων ορίων για την συγκέντρωση των χλωριόντων, του COD και BOD. Αντίθετα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τις πρότυπες τιμές των παραμέτρων ποιότητας των νερών κολύμβησης (Πίνακας 2)

διαπιστώνεται ότι η ποιότητα του νερού της λίμνης ήταν συνεχώς εντός ορίων κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσης έρευνας .

**Πίνακας 1.** Απόκλιση παραμέτρων ποιότητας νερού από τα όρια της ΚΥΑ 46399/1352/86. Ο πίνακας δείχνει ότι κατά την χρονική περίοδο των αναλύσεων οι τιμές των παραμέτρων έστω και μια φορά ήταν εκτός ορίων. Για τις ανάγκες της σύγκρισης το νερό της λίμνης θεωρήθηκε ως πόσιμο νερό Κατηγορίας Α1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΟΡΙΟ	ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΟΥ	ΕΚΤΟΣ ΟΡΙΟΥ
pH	6,5-8,5	•	
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ $\mu\text{S}/\text{cm}$	1000	•	
ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ $\text{mg}/\text{l}$ Cl	200		• συνεχώς
ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ $\text{mg}/\text{l}$ $\text{P}_2\text{O}_5$	0,4	•	
COD $\text{mg}/\text{l}$ $\text{O}_2$	< 10		• συνεχώς
BOD $\text{mg}/\text{l}$ $\text{O}_2$	< 3		• Μάιο • Ιούνιο • Ιούλιο • Αύγουστο • Σεπτέμβριο
ΑΜΜΩΝΙΑ $\text{mg}/\text{l}$ $\text{NH}_4$	0,05		• Ιούλιο • Αύγουστο
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΑ /100 ml	50		•
ΚΟΠΡΑΝΩΔΗ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΑ /100ml	20	•	

**Πίνακας 2.** Απόκλιση παραμέτρων ποιότητας νερού κολύμβησης από τα όρια της ΚΥΑ 46399/1352/86. Ο πίνακας δείχνει ότι κατά την χρονική περίοδο των αναλύσεων των οι τιμές των παραμέτρων ήταν συνεχώς εντός ορίων. Για τις ανάγκες της σύγκρισης το νερό της λίμνης θεωρήθηκε ως κατάλληλο .

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΥΡΩΠΗ	ΕΠΙΤΡΕΠΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΥΡΩΠΗ	ΕΝΤΟΣ ΟΡΙΟΥ
pH	6-9	—	•
Διαύγεια	>2m	>2m	•
Ολικά κολοβακτηριοειδή	500/100ml	10000/100ml	•
Περιπρωματικά κολοβακτηριοειδή	100/100ml	2000/100ml	•

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ο.Α.ΔΥ.Κ. 1998. Διαχειριστικό σχέδιο για τη περιοχή 'Κουρνάς Γεωργιούπολη'. Πρόγραμμα: Life – natura Δυτικής Κρήτης 95/GR/A22/GR01143/KRI. 'Διαχείριση και προστασία απειλούμενων βιοτόπων της δυτικής Κρήτης με οικοτόπους και είδη προτεραιότητας.
2. Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ. 1998. Χημεία Περιβάλλοντος Εκδόσεις University studio press
3. Τσιούρης Σωτήριος. 1999. Θέματα προστασίας περιβάλλοντος. Εκδόσεις Γαρταγάνης
4. Μήτρακας Μανασσής. 2001. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού Εκδόσεις Τζιόλα.
5. Skoulikidis N., Bertahas I., Koussouris T. 1998. The environmental state of freshwater resources in Greece (rivers and lakes). Research article Environmental Geology Springer – Verlag
6. Εγκυκλοπαίδεια Εποπτική .1987. Τόμος 9. Εκδοτικός Οίκος Άτλας
7. Ζανάκη Κ. 2001. Έλεγχος ποιότητας νερού. Εκδόσεις Ίων
8. Horne A, Goldman C. 1994. Limnology. McGraw – Hill Inc.
9. Σκληβανιώτης Μ. 1995. Βασικές παράμετροι ποιότητας του πόσιμου νερού. Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Πάτρας.
10. Αντωνόπουλος Β. 2003. Ποιότητα νερού και Ρύπανσης Υδάτινων Πόρων. Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων , Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
11. Εφημερίδα της κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, τεύχος δεύτερο, Αρ. φύλλου 438, Υπουργική απόφαση με αρ. 46399/1352/86, Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για 'πόσιμα', 'κολύμβηση', 'διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά' και 'καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών', μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου των Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160ΕΟΚ, 78/659ΕΟΚ, 79/923ΕΟΚ και 79/869ΕΟΚ.
12. Τζινευράκης Στ. 2006. Ετήσια μεταβολή των φυσικοχημικών παραμέτρων της λίμνης Κουρνά. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος.