

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από τους
ζωοπλακτονικούς οργανισμούς στην λίμνη Κάρλα»**

ΚΩΣΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2013

**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«Study of the oxygen consumption rate by zooplankton organisms in
Lake Karla»**

Kostakopoulos Efstathios

VOLOS 2013

«Μελέτη του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από τους ζωπλαγκτονικούς οργανισμούς στην λίμνη Κάρλα»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Έλενα Μεντέ**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπουσα*,
- 2) **Κωνσταντίνος Κορμάς**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*,
- 3) **Ιφιγένεια Κάγκαλου**, Καθηγήτρια, Οικολογία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, *Μέλος*

*Αφιερώνεται,
Στους γονείς μου, Πάρι και Λίλη
και στην αδερφή μου Άντα,
για την συνεχή, αδιάλειπτη
και πολύτιμη στήριξη τους.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Μεντέ Έλενα, Αναπληρώτρια καθηγήτρια για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους 1) κ. Κορμά Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή καθηγητή, και 2) κα Κάγκαλου Ιφιγένεια, Καθηγήτρια, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Διευθυντή του Π.Μ.Σ. κ. Νεοφύτου Χρήστο, Καθηγητή, για την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών και την κα Σπυροπούλου Αλεξάνδρα για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, όσον αφορά την εκτέλεση κάποιων στατιστικών πειραμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του έτους 2012, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Αειφορική Διαχείριση Υδατικού Περιβάλλοντος», του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αφορά τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς της Λίμνης Κάρλας και τους ρυθμούς κατανάλωσης οξυγόνου από αυτούς στην προκείμενη υδάτινη στήλη.

Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα από τον Ιούνιο του 2012 (θερινή περίοδος) μέχρι τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους (Χειμερινή περίοδος), για να υπάρξει θερμοκρασιακή διακύμανση στα υπό συλλογή δεδομένα. Τα θερμοκρασιακά επίπεδα κυμάνθηκαν από περίπου 27°C μέχρι 13 °C, τόσο για την υδάτινη στήλη, όσο και για τον αέρα.

Επιλέχθηκε να εξεταστεί ο ρυθμός της ζωοπλαγκτονικής αναπνοής τόσο στο σύνολο των ζωοπλαγκτικών οργανισμών, ανεξαρτήτως μεγέθους, όσο και σε τρεις επιμέρους ομάδες χωρισμένες σε αντίστοιχες τάξεις μεγεθών (<180 μm, <20 μm, <2 μm). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος επώασης σε κλειστούς/σκοτεινούς θαλάμους Winkler σε χρονική κλίμακα με μέγιστο τις 48 ώρες.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες, εισήχθησαν σε προγράμματα επεξεργασίας στατιστικών δεδομένων (SPSS, STATGRAPH) και η ανάλυση τους, οδήγησε σε μια σειρά συμπερασμάτων που αφορούν την κατανάλωση οξυγόνου από τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς, την παρατήρηση του ρυθμού κατανάλωσης και τη σύγκρισή του σε σχέση με τις

θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και τις επιλεγμένες κατηγορίες μεγεθών των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και παρακολούθηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς στο λιμναίο οικοσύστημα της Κάρλας, σε εποχικό επίπεδο και η ανάλυση του ρυθμού κατανάλωσης τόσο θερμοκρασιακά, όσο και αναλογικά, βασιζόμενη σε τάξεις μεγέθους των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών.

Ως κύριο συμπέρασμα, μπορεί να αναφερθεί πως οι ρυθμοί κατανάλωσης οξυγόνου παρουσιάζουν μια αναλογία και σταθερότητα, τόσο στις διάφορες κλάσεις μεγέθους, όσο και στις εκάστοτε θερμοκρασιακές συνθήκες, με τις τελευταίες να είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την ταχύτητα κατανάλωσης του οξυγόνου.

Λέξεις κλειδιά : Λίμνη Κάρλα, αναπνοή, μεταβολισμός, ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί, ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Ο μεταβολισμός των υδάτινων οικοσυστημάτων και μετρήσεις του.....	3
1.2.1. Εφαρμογές των μετρήσεων μεταβολισμού.....	3
1.2.2. Μέθοδοι και ποσοτικοποιήσεις μεταβολικού ρυθμού.....	5
1.3. Ρυθμός ζωοπλαγκτονικής αναπνοής.....	7
1.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό αναπνοής.....	8
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	13
2.1. Περιοχή μελέτης.....	13
2.2. Συλλογή δειγμάτων.....	19
2.3. Εργαστηριακές αναλύσεις.....	21
2.4. Στατιστική ανάλυση.....	25
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	27
3.1. Επιμέρους ανάλυση.....	27
3.2. Σύγκριση και ανάλυση καμπυλών.....	28
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ– ΣΥΖΗΤΗΣΗ	42
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
6. ABSTRACT	63

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Όταν το 1676 ο Ολλανδός Anton van Leewenhoek, πραγματοποίησε την πρώτη μικροσκοπική εξέταση των οργανισμών που βρίσκονταν μέσα στο θαλάσσιο νερό, δεν φανταζόταν τη σπουδαιότητα αυτών των περιέργων "κινούμενων σχημάτων" που παρατηρούσε αλλά και την εξέλιξη της επιστήμης για τη μελέτη αυτών των μικροσκοπικών οργανισμών (Μουστάκα – Γούνη 1997).

Η πρώτη χρήση του όρου «πλαγκτό» αποδίδεται στο Γερμανό Βιολόγο Victor Hensen (1877), ο οποίος κατά το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα άρχισε μια σειρά εξερευνήσεων για να καταγράψει τη σύνθεση, την αφθονία και την κατανομή των μικροσκοπικών οργανισμών στα ανοιχτά των ωκεανών (Μουστάκα–Γούνη 1997; Harris *et al.* 2000, Karen *et al.* 2006).

Η λέξη «πλαγκτόν» προέρχεται από το αρχαίο Ελληνικό “Πλαγκτός” που σημαίνει “περιπλανώμενος” (Μπαμπινιώτης 2002). Το πλαγκτό είναι μια δυναμική κοινωνία με φυτά (φυτοπλαγκτό), ζώα (ζωοπλαγκτό), βακτήρια (βακτηριοπλαγκτό), μύκητες και ιούς, που είτε έχουν προσαρμοστεί να ζουν σε αιώρηση στο νερό και υπόκεινται συνεπώς σε παθητική μετακίνηση με τα ρεύματα, είτε έχουν αναπτύξει μηχανισμούς κίνησης (Μουστάκα-Γούνη 1997; Nybakken 2001).

Ως ζωοπλαγκτό ορίζονται οι ζωικοί οργανισμοί (φυτοφάγοι και σαρκοφάγοι) των οποίων η παθητική κίνηση (κίνηση που οφείλεται στις κινήσεις του νερού) είναι εντονότερη από την ενεργητική (κίνηση που προκαλείται από τον ίδιο τον οργανισμό). Αρκετά ζώα περνούν ένα μέρος της ζωής τους ως ζωοπλαγκτόν για να εξελιχθούν σε άλλη μορφή (π.χ. κάποιες γαρίδες και κεφαλόποδα) (Nybakken 2001).

Στο τροφικό πλέγμα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων το ζωοπλαγκτόν κατέχει μια εξέχουσα θέση καθώς οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί, αποτελούν τους καταναλωτές του φυτοπλαγκτού, ενώ οι ίδιοι μπορούν να αποτελέσουν τροφή, για άλλους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς αλλά και για τα ψάρια (Μουστάκα – Γούνη 1997). Ειδικότερα το ζωοπλαγκτόν αποτελεί το δεύτερο κρίκο της τροφικής αλυσίδας, του οποίου ο ρόλος είναι να ρυθμίζει της διαθεσιμότητα του φυτοπλαγκτού στα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να γίνεται τροφή για ανώτερους οργανισμούς (Kennish 2001).

Το ζωοπλαγκτό περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών οργανισμών με περίπου δέκα χιλιάδες είδη (Harris *et al.* 2000). Το ζωοπλαγκτό διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες με βάση τη διάρκεια της πλαγκτικής ζωής: το ολοπλαγκτό (το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των ταξινομικών ομάδων), το μεροπλαγκτό (το οποίο αποτελεί μικρότερο ποσοστό των ταξινομικών ομάδων,) και το τυχοπλαγκτό (Tod *et al.* 1996; Harris *et al.*, 2000; Kennish 2001; Karen *et al.* 2006). Ως ολοπλαγκτικοί χαρακτηρίζονται οι οργανισμοί που περνούν όλη τους τη ζωή ως πλαγκτικοί. Σε αυτούς τους οργανισμούς ανήκουν τα Κωπήποδα, τα Οστρακώδη, τα Αμφίποδα, οι Σάλπες, τα Πτερόποδα, τα Τροχόζωα, τα Σιφονοφόρα, τα Κτενοφόρα, τα Χαιτόγναθα και οι Μέδουσες (Tod *et al.* 1996; Harris *et al.* 2000; Kennish 2001). Ως μεροπλαγκτικοί χαρακτηρίζονται κυρίως βενθικοί οργανισμοί που περνούν μόνο ένα μέρος της ζωής τους (στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής τους) ως πλαγκτικοί (Tod *et al.* 1996; Harris *et al.* 2000; Kennish 2001). Κύριοι εκπρόσωποι του μεροπλαγκτού είναι πολλά βενθικά Ασπόνδυλα, βενθικά Χορδωτά και ψάρια (μεροπλαγκτικές μορφές: αυγά, προνύμφες) (Harris *et al.* 2000; Kennish 2001). Τέλος ως τυχοπλαγκτικοί χαρακτηρίζονται βενθικοί ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί οι οποίοι κάτω από ορισμένες αβιοτικές συνθήκες (π.χ. κυματισμός), εισέρχονται στη στήλη

του νερού (μη περιοδική παρουσία στη στήλη του νερού). Ορισμένα είδη Αμφιπόδων, Ισοπόδων κ.τ.λ. ανήκουν σε αυτή την κατηγορία (Kennish 2001).

Το ζωοπλαγκτόν παρουσιάζει μία εξαιρετικά μεγάλη ποικιλότητα που περιλαμβάνει προνύμφες και ενήλικα άτομα από τα περισσότερα φύλα των ζώων και πολλά από τα φύλλα των Πρωτοζώων (Nybakken 2001). Οι σημαντικότεροι εκπρόσωποι του ζωοπλαγκτού είναι Κτενοφόρα, Πρωτόζωα, Καρκινοειδή, Χαιτόγναθοι, Πολύχαιτοι και Μαλάκια. (Tait and Dipper 1998). Το μέγεθος των ζωοπλαγκτικών οργανισμών παρουσιάζει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος τιμών διαμέτρου που κυμαίνεται από μερικά μm (μικρά Μαστιγοφόρα) έως και $> 1 \text{ m}$ (Κτενοφόρα) (Harris *et al.* 2000).

Για περισσότερα από 80 χρόνια, το θέμα της παραγωγής και κατανάλωσης οργανικής ύλης στα υδατικά οικοσυστήματα βρίσκεται στο επίκεντρο. Η αναπνοή στις λίμνες είναι υπεύθυνη για την ανοργανοποίηση του οργανικού άνθρακα. Πριν τη διαδικασία αυτή, ο οργανικός άνθρακας δυνητικά είναι διαθέσιμος για υποστήριξη της δευτερογενούς παραγωγής. Η αναπνοή επηρεάζει τις ισορροπίες άνθρακα στην υδάτινη στήλη. Πολλές λίμνες είναι καθαρά ετεροτροφικές, γεγονός που σημαίνει πως η αναπνοή ξεπερνάει τη μικτή πρωτογενή παραγωγή. Η δυναμική φύση των τροφικών πλεγμάτων και των βιογεωχημικών κύκλων στα υδατικά οικοσυστήματα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις μεταβολικές διεργασίες που αφορούν και περικλείουν το σχηματισμό και/ή τη χρήση της οργανικής ύλης.

1.2. Ο μεταβολισμός των υδάτινων οικοσυστημάτων και μετρήσεις του

1.2.1 Εφαρμογές των μετρήσεων μεταβολισμού

Ο μεταβολισμός στα υδατικά οικοσυστήματα προσδιορίζεται και ερευνάται με διάφορες μεθόδους, από τις οποίες όμως όλες έχουν περιορισμούς και πλεονεκτήματα

(Gazeau *et al.* 2005a; Kemp & Testa 2011). Αυτές οι μέθοδοι ποικίλλουν σε α) ακρίβεια και β) χρονική και χωρική κλίμακα, διαφέροντας και στην ικανότητα τους να μετρήσουν μικτές ή καθαρές διεργασίες. Οι μέθοδοι υπολογισμού μικτής πρωτογενούς παραγωγής (P_g), οικοσυστημικής αναπνοής (R) και καθαρής οικοσυστημικής παραγωγής (P_n), χαρακτηρίζονται από ποικιλία ακρίβειας και κλιμάκων, όπως και διαφοροποιήσεις στον τρόπο εκτίμησης. Η έκταση και κατεύθυνση των μελετών για το μεταβολισμό, περιορίζεται συχνά από τις υπάρχουσες τεχνικές.

- Ακριβείς μετρήσεις : επώαση σε σκοτεινούς/ κλειστούς θαλάμους (Gaarder and Gran 1927).
- Μέτρηση πελαγικών δειγμάτων : Υπολογίζονται αλλαγές στις συγκεντρώσεις O_2 και διαλυμένου ανόργανου άνθρακα. Χρήση από το '50 και μετά, της ημερήσιας καμπύλης υπολογισμού (Sargent and Austin 1949, 1954), αποφεύγοντας τα περιεχόμενα αντικείμενα και τα υπολείμματα της μεθόδου σκοτεινών/κλειστών θαλάμων (Odum 1956; Kenney *et al.* 1988).
- Μέθοδος Ισότοπων οξυγόνου : Μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σαν εναλλακτική ή ενισχυτική απέναντι στις συμβατικές μετρήσεις (Quay *et al.* 1995; Bender *et al.* 2000; Luz & Barkan 2000; Russ *et al.* 2004; Tobias *et al.* 2007; Ostrom *et al.* 2005; Sarma *et al.* 2005; Venkiteswaran *et al.* 2008).
- Οικοσυστημικές προσεγγιστικές μετρήσεις : Βοηθούν στον προσδιορισμό καθαρής παραγωγικότητας σε μεγαλύτερη χωροχρονική κλίμακα από τις συμβατικές μεθόδους, χρησιμοποιώντας σαν βάση τις εισροές και εκροές διάφορων διακριτών όγκων, διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου και O_2 (Gazeau *et al.*, 2005a).
- Άλλες προσεγγίσεις : Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν διάφορες προσεγγίσεις για προσδιορισμό P_n , όπως για παράδειγμα μετρώντας μερική πίεση O_2 και DIC σε

επιφανειακά νερά και στην ατμόσφαιρα, πολλαπλασιάζοντας τη διαφορά της μετρούμενης συγκέντρωσης με τη μερική πίεση αερίου και ενός συντελεστή για την αλληλεπίδραση αέρα – νερού που υπολογίζεται από εμπειρικές σχέσεις με την ταχύτητα του ανέμου (Cole *et al.* 1994; Frankignoulle *et al.* 1998; del Giorgio *et al.* 1999; Cole *et al.* 2000; Najjar & Keeling, 2000; Borges *et al.* 2004; Sobek *et al.* 2005).

1.2.2. Μέθοδοι και ποσοτικοποιήσεις μεταβολικού ρυθμού

Οι εφαρμογές των μετρήσεων μεταβολισμού σε οικοσυστημική κλίμακα έχουν εξεταστεί εκτενώς τα τελευταία 80 χρόνια, χωρίς όμως ουσιώδεις στόχους, δημιουργώντας έτσι περιγραφικές μεθόδους ή ποσοτικοποιήσεις μεγάλης κλίμακας.

➤ Ποσοτικοποίηση ρυθμών και τροφική κατάσταση

Οι ρυθμοί πρωτογενούς παραγωγής και αναπνοής, χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί η «τροφική κατάσταση» ενός υδατικού οικοσυστήματος, εξετάζοντας την ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης οργανικής ύλης (Dodds & Cole 2007). Θεωρητικά, σε μεγάλες περιόδους και χωρικές κλίμακες, η παραγωγή και ολική αναπνοή του οικοσυστήματος τείνει να έρθει σε αναλογία.

➤ Μεταβολική ισορροπία και ανταλλαγές με παρακείμενα συστήματα

Η μεταβολική ισορροπία, στα ανοιχτά σε ανταλλαγές συστήματα, είναι ευαίσθητη σε εισαγωγές ή εξαγωγές οργανικής ύλης (Fisher & Likens 1973), ιδιαίτερα σε σημεία όπου μεταβάλλεται ο υδροκρίτης (Odum 1971). Αν και παλαιότερες μελέτες υποστηρίζουν πως εισαγωγές οργανικής ύλης ευνοούν την ετεροτροφία ενώ άλλες παρατηρούν αύξηση ετεροτροφίας σε παρακείμενες περιοχές, ελάχιστες μελέτες έχουν ποσοτικοποιήσει τις ροές άνθρακα και το πώς αυτές επηρεάζουν ολόκληρο το οικοσύστημα άρα και τη μεταβολική ισορροπία (Algesten

et al. 2004; Caraco & Cole 2004; Bleckner 2005; Benoy *et al.* 2007; Jonsson *et al.* 2007). Οι κάθετες μετακινήσεις σωματιδίων οργανικού άνθρακα και βύθισή τους από τα ανώτερα υδάτινα στρώματα, συνδέονται με την καθαρή παραγωγικότητα, σύμφωνα με μετρήσεις. Οι οριζόντιες μεταβολές υποστηρίζονται από εισροές θρεπτικών και οργανικού άνθρακα, ενισχύοντας την ετεροτροφία (Vadeboncoeur *et al.* 2001; Testa and Kemp 2008).

➤ Αντιδράσεις μεταβολισμού στη φυσική και ανθρωπογενή δραστηριότητα

Ο μεταβολισμός στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι μια μοναδική συνδυαστική διεργασία η οποία δείχνει τις μεταβολές ενός συστήματος σε εξωτερικές διαταράξεις. Έτσι υπάρχουν διάφορες αποκρίσεις της μεταβολικής διεργασίας σε κλιματικές αλλαγές, είτε μεγαλύτερης διάρκειας, είτε εποχικές. Η βασική κατανόηση των αντιδράσεων στα φαινόμενα αυτά βελτιώθηκε με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων (Odum 1956,1971).

Τα υδατικά οικοσυστήματα επίσης, δέχονται εισροές από οργανικούς και ανόργανους ρυπαντές αγροτικής, βιομηχανικής και αστικής χρήσης, οι οποίοι διαταράσσουν τα θρεπτικά, τα οργανικά και ανόργανα σωματίδια, την τοξικότητα και την θολότητα, προκαλώντας ευρεία γκάμα αλλαγών στα οικοσυστήματα (Sanders *et al.* 2007; Williamson *et al.* 2008).

➤ Μεταβολισμός και παγκόσμια ισορροπία άνθρακα

Έρευνες αποδεικνύουν πως οι ωκεανοί αποτελούν μια τεράστια δεξαμενή για το ατμοσφαιρικό CO₂ και περαιτέρω μελέτες δείχνουν πως τα αυτότροφα επιφανειακά ύδατα είναι αυτά που δραστηριοποιούν αυτή τη λειτουργία (Smith and Hollibaugh 1993; Bates and Mathis 2009). Η δυναμική φύση των υδατικών οικοσυστημάτων συνδέεται άμεσα με την παγκόσμια κατανομή CO₂, βασίζεται σε μετρήσεις καθαρής

παραγωγικότητας σε διάφορες χωροχρονικές κλίμακες και μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Duarte and Regaudie-de-Gioux 2009).

➤ Διαχωρισμός μεταβολισμού μεταξύ των ενδονημάτων

Οι απευθείας μετρήσεις του ολικού μεταβολισμού, μπορούν να συνδυαστούν με επώσεις σε θαλάμους, για να ποσοτικοποιηθεί η συνεισφορά κάθε βιοτικού παράγοντα στους μεταβολικούς ρυθμούς. Αυτή η εφαρμογή συνήθως γίνεται για να γίνουν κατανοητές οι διαδράσεις μεταξύ των υπομονάδων ενός οικοσυστήματος και η μεταβολική ταυτότητα καθενός βιοτικού παράγοντα ξεχωριστά (Odum 1957; Hopkinson *et al.* 1999).

➤ Ολοκλήρωση με οικοσυστημικά μοντέλα

Η οικολογική θεωρία υποδεικνύει πως μια απλή αλλομετρική κλιμάκωση περιγράφει τη μεταβολική δραστηριότητα και τους βιοενεργειακούς ρυθμούς για έναν οργανισμό, ως μια λειτουργία της μάζας σώματος (Peters 1983). Πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούν το τροφικό πλέγμα για να υπολογίσουν αλλαγές στην οικοσυστημική μεταβολική δραστηριότητα και τη μεταφορά άνθρακα (Breed *et al.*, 2004; Green *et al.*, 2006).

1.3. Ρυθμός ζωοπλαγκτονικής αναπνοής

Οι καθοριστικοί παράγοντες του ζωοπλαγκτονικού ρυθμού αναπνοής υποστηρίζονται πως είναι οι εξής (del Giorgio, 1999) : μάζα σώματος και θερμοκρασία. Τα αίτια που επιδεικνύουν τις χρονικές και χωρικές πληθυσμιακές ζωοπλαγκτονικές διακυμάνσεις στη φύση, είναι ακόμα συζητήσιμα, με ιδιαίτερες αναφορές σε δίνες και συστήματα ανάδυσης και κατάβλησης. Αποδεικνύεται πως η αναπνοή του κάθετα μεταναστευόμενου ζωοπλαγκτού συνεισφέρει στη μείωση της ροής του άνθρακα στους ωκεανούς.

Ο ρυθμός ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στη φύση δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την τροφή του και τις κολυμβητικές δραστηριότητες (μετακινήσεις) (Omori & Ikeda 1984). Ως R_s ορίζεται ο αρχικός μεταβολισμός (σταθερός) που αφορά τη μηδενική κολυμβητική δραστηριότητα και ως R_a ορίζεται ο ενεργός μεταβολισμός, αυτός δηλαδή που λαμβάνει χώρα όταν το ζώο έρχεται σε συνθήκες αναεροβίωσης και κόπωσης. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεταβολική δραστηριότητα αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της κολυμβητικής δραστηριότητας. Ο μεταβολισμός ρουτίνας (μεταξύ R_s και R_a) είναι συνήθως αυτός που καταλήγουν οι περισσότερες έρευνες για τον ζωοπλαγκτονικό μεταβολισμό, καθώς υπάρχουν ελεγχόμενες κολυμβητικές συνθήκες. Ο υπολογισμός τους στα εργαστηριακά πειράματα είναι αυτός που μας δείχνει τον δείκτη μεταβολιστικής δύναμης MRI ($MRI = (R - R_s) / (R_a - R_s)$).

1.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό αναπνοής

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον ρυθμό αναπνοής στα υδατικά οικοσυστήματα ανήκουν σε 3 κύριες κατηγορίες: τους φυσικούς, τους χημικούς και τους βιολογικούς παράγοντες.

I. Φυσικοί παράγοντες

Θερμοκρασία : παγκοσμίως θεωρείται από τους κυριότερους παράγοντες και έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την «προσαρμογή» του οργανισμού σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες (Clarke 1987).

Πίεση : Η υδροστατική πίεση είναι, μαζί με τη θερμοκρασία ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Υψηλές πιέσεις (>20 atm) οδηγούν τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς σε κάθετες μεταναστεύσεις,

ωστόσο χρειάζεται ένα συγκεκριμένο εύρος πίεσης για τη σωστή μεταβολική λειτουργία (Ikeda *et al.* 2001).

Φώς : Υπάρχουν έρευνες που δείχνουν πως οι ρυθμοί ζωοπλαγκτονικής αναπνοής είναι διπλάσιοι στο φως από ότι σε σκοτεινές συνθήκες, ωστόσο υπάρχουν έρευνες που δείχνουν πως το φως δεν είναι σημαντικός παράγοντας (μέθοδος σκοτεινών θαλάμων, ως πείραμα)(Ikeda *et al.* 2000).

Τυρβώδης ροή : Με αυξημένη τυρβώδη ροή μπορούν οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί να συναντήσουν περισσότερη λεία, ωστόσο η τυρβώδης ροή έχει και θετικά και αρνητικά αποτελέσματα, με ανάγκες ανάπτυξης της έρευνας για περαιτέρω διερεύνηση (Kiorboe and Saiz 1995; Rothchild and Osborn, 1988).

II. Χημικοί παράγοντες

Οξυγόνο : Για ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς που ζουν σε περιβάλλοντα πλούσια σε οξυγόνο, οι ρυθμοί αναπνοής είναι σχεδόν ανεξάρτητοι από το βαθμό κορεσμού του οξυγόνου (Davenport and Trueman 1985). Σε αντίθεση με τα περιβάλλοντα πλούσια σε οξυγόνο, οι οργανισμοί που ζουν σε φτωχότερα οξυγονωμένα περιβάλλοντα, διατηρούν σταθερούς ρυθμούς οξυγόνου, ως ένα συγκεκριμένο κρίσιμο σημείο κορεσμού, κάτω από το οποίο οι ρυθμοί αναπνοής μειώνονται (Childress 1975).

pH : εξαιτίας του σταθερού pH στα ωκεάνια συστήματα, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στους ρυθμούς ζωοπλαγκτονικής αναπνοής (Mickel and Childress 1978).

Αλατότητα : Έχουν παρατηρηθεί μεταβολές στους ωσμωρυθμιστικούς μηχανισμούς ζωοπλαγκτονικών οργανισμών που έχουν εκτεθεί σε υψηλή αλατότητα. Πρέπει να επιτευχθεί εξισορρόπηση ηλεκτροχημικής βαθμίδας , που έχει επίδραση στους

αναπνευστικούς ρυθμούς και πολλές φορές τα πειραματικά αποτελέσματα είναι διττά. Επίσης παραμένει το ερώτημα αν οι ρυθμοί ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στα γλυκά ύδατα είναι παρόμοιοι με αυτούς των θαλάσσιων συστημάτων (Anraku, 1964; Lance, 1965).

III. Βιολογικοί παράγοντες

Μάζα σώματος : $R = aW^b$ (a, b σταθερές) είναι η σχέση που συνδέει τη μάζα σώματος με τον αναπνευστικό ρυθμό. Η μάζα σώματος επηρεάζει (κατ' άτομο) τον ρυθμό αναπνοής. Ο ρυθμός αναπνοής βασίζεται στη μάζα σώματος και μειώνεται όταν αυτή αυξάνεται ($R/W = aW^b/W = aW^{b-1}$) (Banse 1982).

Τροφή : Ο αναπνευστικός ρυθμός ποικίλλει ανάλογα με τις τροφικές συνθήκες (Lampert, 1984; Ikeda *et al.*, 2000). Ελλείπει τροφής το ζωοπλαγκτόν οδηγείται σε μειωμένους αναπνευστικούς ρυθμούς και μεταβολικές αλλαγές. Ο ρυθμός αναπνοής αυξάνεται κατά τη διάρκεια της τροφοληψίας και παραμένει υψηλός για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Schmoker and Hernandez- Leon, 2003).

Ο ρυθμός ζωοπλαγκτονικής αναπνοής χαρακτηρίζεται επίσης από :

1. Χρονική μεταβλητότητα – διαφοροποίηση

Στην χρονική μεταβλητότητα παρατηρούνται διαφορές σε ημερήσιους ρυθμούς και διάφορες εποχικές μεταβολές (DeCoursey 1983; Duval and Geen 1976).

2. Χωρική μεταβλητότητα - διαφοροποίηση

Στην χωρική διαφοροποίηση παρατηρούνται : κάθετη μεταβλητότητα, μεταβλητότητα λόγω ενεργούς ροής, διαφοροποιήσεις μέσης κλίμακας και διαφοροποιήσεις μεγάλης κλίμακας και γεωγραφικού πλάτους.

Οι βιβλιογραφικές αναφορές που είναι διαθέσιμες για την νεοσύστατη λίμνη Κάρλα, περιορίζονται στον τομέα της υδρολογίας σε επίπεδο λεκάνης απορροής και της προσομοίωσης οικολογικών μοντέλων (Kokkinos & Loukas 2010; Vasiliades *et al.* 2009; Παπανίκος 2008; Loukas *et al.* 2007; Loukas *et al.* 2005; Zalidis *et al.* 2004; Moustaka *et al.* 2002; Gerakis 1992), της ιστορικής της εξέλιξης (Μπαρτζωκα-Τσιόμπρα & Ψύλλος 2011; Τζιάτζιος 2010), στους τύπους των οικοτόπων και της πανίδας (Οικονομου *et al.* 2010; Gerakis & Koutrakis 1996) και τέλος στο ζήτημα των υδραυλικών έργων (Ψιλοβίκος 1996; Παπανίκος *και συν.* 2009). Οι πιο πρόσφατες μελέτες πάνω σε θέματα ποιότητας έγιναν από τους Paradimitriou *et al.* (2011) με έμφαση στην διερεύνηση ευτροφικών συνθηκών και στην εμφάνιση μικροκυστίνων και στην παρουσίαση των κυριότερων μεταβλητών του ευτροφισμού από τον Σιδηρόπουλο *κ συν.* (2011) με έμφαση στην λιμνολογική ιστορία της λίμνης και στο οικολογικό προφίλ της. Πολλές από αυτές λήφθηκαν υπ' όψη και χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά, ενώ επίσης χρησιμοποιήθηκε και ξένη βιβλιογραφία για να υπάρξει διασταύρωση δεδομένων.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι η πρώτη προσπάθεια παρακολούθησης, εκτίμησης και παρουσίασης στοιχείων που αφορούν τον ζωοπλαγκτονικό μεταβολισμό και αναπνοή στη λίμνη Κάρλα. Είναι ολοένα και πιο αποδεκτό, το γεγονός πως μικροζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι ουσιώδους και κυρίαρχης σημασίας, τόσο ως καταναλωτές και αποικοδομητές οργανικής ύλης στον «μικροβιακό κύκλο» των υδατικών οικοσυστημάτων, όσο και ως τροφή για μεγαλύτερους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς (Wetzel, 1999). Στους μικροζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς ανήκουν κυρίως τα ετερότροφα πρώτιστα μικρομαστιγωτά και νανομαστιγωτά (κυρίως 2-20 μm), αλλά και μικροπρωτόζωα και μεγαλύτερου μεγέθους μαστιγωτά (κυρίως >20- 200 μm). Έτσι, επιλέχθηκε για το

εργαστηριακό μέρος της παρούσας διατριβής, διαχωρισμός των 3 κλάσεων των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών, να γίνει με βάση την γενικότερη κατηγοριοποίηση του Fenchel (1987).

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς στο λιμναίο οικοσύστημα της Κάρλας, σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα καθώς και η ανάλυση του ρυθμού κατανάλωσης τριών διαφορετικών κλάσεων μεγέθους, εξετάζοντάς τον αναφορικά με θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η λίμνη Κάρλα, η οποία θεωρούνταν ως ένας από τους σημαντικότερους υγρότοπους έως το 1962, καταλάμβανε το χαμηλότερο υψομετρικά μέρος του θεσσαλικού κάμπου. Η κυριότερη παροχή γλυκού νερού προς αυτήν ήταν με μεγάλες ποσότητες επιφανειακής απορροής από πλημμυρικά νερά του Πηνειού Ποταμού και από ροές μέσω της τάφρου Ασμάκι (ΥΠΕΧΩΔΕ 2002). Το 1962 έλαβε χώρα μια πλήρης αποξήρανση της λίμνης, προκειμένου να αυξηθούν οι γεωργικές χρήσεις γης στην προσκείμενη περιοχή και ταυτόχρονα προς αποφυγή ενδεχόμενων κρουσμάτων ελονοσίας τα οποία ολοένα και αυξάνονταν.

Επανασυσταμένη πλέον (Εικ. 1), βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών $39^{\circ}26'49''$ και $39^{\circ}32'03''$ N και γεωγραφικού μήκους $22^{\circ}46'47''$ και $23^{\circ}51'50''$, έχοντας επιφάνεια 38 τετραγωνικών χιλιομέτρων και ακτογραμμή 228 χιλιομέτρων.



Εικόνα 1. Κάτοψη της επανασυσταμένης λίμνης Κάρλα (Πηγή: Cnes/Spot Image, Digital Globe, European Space Imaging 2012)

Η λεκάνη απορροής της λίμνης είναι 1171 τετραγωνικά χιλιόμετρα, εκ των οποίων τα 600 αποτελούνται από μια νότια πεδιάδα, ενώ ανατολικά περιβάλλεται από βουνά και λόφους. Η υψομετρική της διαφορά από τη θαλάσσια στάθμη κυμαίνεται από 50 μέτρα στο χαμηλότερο σημείο, έως τα 2000 μέτρα στο υψηλότερο, έχοντας ένα μέσο υψόμετρο της τάξης των 230 μέτρων. Χαρακτηρίζεται ως μια ρηχή λίμνη, της οποίας το μέγιστο βάθος είναι τα 4,5 μέτρα και το μέσο βάθος τα 2 μέτρα.

Πριν τη διαδικασία της αποξήρανσης, η κύρια οικονομική δραστηριότητα η οποία λάμβανε χώρα στη λίμνη ήταν η αλιεία, με μια μέση ετήσια παραγωγή (1945-1948) των 65 έως 225 τόνων. Μετά την επανασύστασή της, η αλιεία έγινε και πάλι η κύρια οικονομική δραστηριότητα.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην λίμνη Κάρλα είναι άνισα κατανεμημένη στο χώρο και προσδιορίζεται στα περίπου 560 χιλιοστά (Βασιλειάδη *et al.* 2009). Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κάρλας και της λεκάνης απορροής της έχει υποστεί κατά διαστήματα, σημαντικές περιόδους ξηρασίας, όπως από τα μέσα ως τα τέλη της δεκαετίας του 1970, από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ως τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και στα πρώτα χρόνια του 20^{ου} αιώνα (Loukas *et al.* 2007).

Η λίμνη Κάρλα είχε μικρό σχετικά βάθος (4-6 μ.) με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται η ζώνη του υπολιμνίου. Η απουσία του γνωρίσματος αυτού οδηγεί στη δημιουργία μιας σχετικά μικρής αποθήκης οξυγόνου, η οποία γίνεται περισσότερο αισθητή στον πυθμένα της λίμνης. Το γεγονός αυτό βοήθησε στην ανάπτυξη πλούσιου φυτοβένθους και υψηλούς ρυθμούς πρωτογενούς παραγωγής σε βλαστούς που ήταν τροφή για μία ποικιλία ζώων. Το μικρό βάθος της λίμνης βοήθησε επίσης στην ανάπτυξη της υδρόβιας βλάστησης, η οποία δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες συγκέντρωσης του οξυγόνου για όλο το έτος και διαβίωσης της πανίδας στη λίμνη.

Τα δύο αυτά γνωρίσματα προσέδιναν στη λίμνη ένα ιδιαίτερο βιολογικό ενδιαφέρον (Τσαβέ 2007).

Οι κυριότεροι παράγοντες στους οποίους βασίστηκε ο πλούτος της πανίδας, κυρίως τα πουλιά, ήταν το μέγεθος και η ποικιλία των ενδιαιτημάτων όπως η ευρεία επιφάνεια νερού, η πλωτή βλάστηση, τα ρηχά έλη και τα καλάμια. Αυτά τα ενδιαιτήματα παρείχαν προστασία στα υδρόβια είδη, παρείχαν καταφύγιο στα υδρόβια πουλιά και αποτελούσαν περιοχές αναπαραγωγής και αναζήτησης τροφής για καταδύομενα πτηνά ή τα πτηνά που τρέφονταν με τα ανώτερα στρώματα του νερού (Perakis *et al.* 2012).

Η μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία του νερού ήταν 29 °C και η ελάχιστη 3 °C. Η λίμνη Κάρλα και ο τρόπος της διαχείρισής της απασχόλησε από πολύ παλιά τις Ελληνικές κυβερνήσεις. Η πολιτική των αποξηράνσεων, που ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα (1889) με την αποξήρανση της λίμνης Κωπαΐδας και επιτάθηκε αμέσως μετά τη μικρασιατική καταστροφή με τις μεγάλες αποξηράνσεις στην περιοχή της Μακεδονίας (έλος Γιαννιτσών, πεδιάδα Σερρών) δεν άφησε έξω από τα μεγαλόπνοα σχέδια τη λίμνη Κάρλα (Μούμου 2007).

Περίπου στη δεκαετία του '20, οι πλημμύρες του ποταμού Πηνειού και η αύξηση του μεγέθους της λίμνης προκάλεσαν σοβαρά προβλήματα σε πολλά χωριά της Λάρισας. Για να λυθεί αυτό το κρίσιμο ζήτημα, ένας τοίχος χτίστηκε στη νότια πλευρά του Πηνειού, εκτρέποντας το νερό του ποταμού που προηγουμένως κατέλιγε στη λίμνη. Ωστόσο, τα μέτρα που λήφθηκαν δεν έφεραν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Σε λίγο, η στάθμη του νερού της Κάρλας (μετά τη δεκαετία του 50) άρχισε να πέφτει. Η αναπαραγωγή των ψαριών σχεδόν εξαφανίστηκε.

Το κράτος «αναγκάστηκε» να καταβάλει προσπάθειες και να διεξάγει μελέτες,

προκειμένου να εκτελεστούν έργα αντιπλημμυρικής προστασίας και εγγειοβελτιωτικά, παίρνοντας, το 1959, την απόφαση να στραγγίξει όλη τη λίμνη. (Perakis *et al.* 2012). Σύμφωνα με τις μελέτες, η αξιοποίηση της περιοχής συνδεόταν με την κατασκευή αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, την αποξήρανση της λίμνης μέσω σήραγγας προς τον Παρασητικό Κόλπο και την κατασκευή ενός ταμιευτήρα σε τμήμα της παλιάς λίμνης. Ο ταμιευτήρας θα χρησίμευε για την ανάσχεση πλημμυρών και την αποταμίευση μέρους της χειμερινής παροχής του Πηνειού για άρδευση (Λουκάς 2007a).

Οι λόγοι που συνέβαλαν και τελικά ενίσχυσαν την πολιτική αυτή είναι οι εξής:

- Η κατάληψη κατάλληλων προς καλλιέργεια εκτάσεων.
- Η πρόκληση πλημμυρικών φαινομένων στις πεδινές περιοχές.
- Η συσχέτισή τους με την εξάπλωση της ελονοσίας λόγω των κουνουπιών που μάστιζαν την περιοχή, μιας αρρώστιας εξαιρετικά διαδεδομένης μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα.
- Η αισθητή μείωση της στάθμης του νερού.
- Η μείωση των ψαριών των αλιευμάτων.
- Η ανεξέλεγκτη ρηχότητα της λίμνης.
- Η αλατότητα του νερού.

Τέλος, οι αλλαγές στις κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες, που συντελέστηκαν στις αρχές του 20ου αιώνα, ιδιαίτερα η αλλαγή στο ιδιοκτησιακό καθεστώς της γης με την κατάργηση των μεγαλοιδιοκτησιών και τη διανομή της γης στον αγροτικό πληθυσμό, καθώς και η ανάγκη αποκατάστασης του 1,5 εκατ. προσφύγων της μικρασιατικής καταστροφής, κατέστησαν επιτακτική την ανάγκη σχεδιασμού και εκτέλεσης σειράς μεγάλων εγγειοβελτιωτικών έργων, τα οποία δημιούργησαν τις προϋποθέσεις αξιοποίησης των πεδινών εκτάσεων που καλύπτονταν από

υγροτόπους.

Επί του παρόντος, η κύρια εισροή ύδατος στη λίμνη είναι από τον Πηνειό ποταμό. Σημαντικές ποσότητες εισροής γλυκού νερού προσθέτουν οι επιφανειακές απορροές από την γύρω περιοχή (η οποία αποτελεί κυρίως από αγροτικές χρήσεις), καθώς και στραγγίζοντα πολυετή ρεύματα της γύρω ορεινής περιοχής. Επιπροσθέτως, η λίμνη δεν έχει καμία φυσική εκροή και το ήδη κατασκευασμένο κανάλι αποστράγγισης που τη συνδέει με τον Παγασητικό κόλπο δεν βρίσκεται σε λειτουργία προς το παρόν.

Αυτή τη στιγμή λαμβάνει χώρα η πλήρωση της αποξηραθείσας Λίμνης Κάρλας, στη Θεσσαλία, παρέχοντας μια μοναδική ευκαιρία, σε παγκόσμιο επίπεδο, για την (επανα)γέννηση μιας φυσικής λίμνης. Η επαναπλήρωσή της ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2009, αφού πρώτα είχε κατασκευαστεί περιφερειακό φράγμα που περικλείει έκταση 38 km². Η ιδιαιτερότητα αυτής της δράσης έγκειται σε δύο κυρίως σημεία:

- (α) από την αποξήρανσή της (1962) η Λ. Κάρλα χρησιμοποιήθηκε ως αγροτική γη και
- (β) ο κύριος όγκος του εισερχόμενου νερού προέρχεται από τον Ποταμό Πηνειό, ένα σύστημα το οποίο αντιμετωπίζει τα δικά του οικολογικά και διαχειριστικά προβλήματα.

Η μικρή δυναμικότητα του Πηνειού στο να απορροφήσει τις κάθε είδους απορρίψεις, δημιουργεί προβλήματα ποιότητας των νερών καθ' όλο το μήκος του, τη στιγμή που οι κάθε είδους απορρίψεις αυξάνονται. Η έλλειψη επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων (όπως ανεπεξέργαστα λύματα από εργοστάσια της περιοχής της Λάρισας και εισροή αποβλήτων χοιροτροφείων στις τάφρους) σε συνδυασμό με το

αποσπασματικό υδρολογικό καθεστώς του ποταμού, δημιουργεί προβλήματα ακόμη και στις εκβολές του όπου υπάρχει ένας σημαντικός υγρότοπος.

Η λίμνη από την εκκίνηση της επαναπλήρωσής της παρακολούθηθηκε από διάφορες επιστημονικές ομάδες λόγω της αξίας της για τη γύρω περιοχή, παρουσιάζοντας ουκ ολίγα προβλήματα.

Ανάλυση πιέσεων – επιπτώσεων στο «νέο» οικοσύστημα της λίμνης Κάρλας με τη χρήση της μεθοδολογίας DPSIR (Driving forces – Pressure – Impact – State – Response) έδειξε μεγάλο αριθμό σημαντικών πιέσεων προερχόμενων από δραστηριότητες όπως γεωργία-κτηνοτροφία, βιομηχανία, διάθεση λυμάτων, μεταβολή των χρήσεων γης. Εξαιτίας αυτών των πιέσεων ο ταμιευτήρας αντιμετωπίζει προβλήματα ευτροφισμού, μικροβιακής μόλυνσης και αισθητικής ρύπανσης καθώς και πλήθος άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων που επηρεάζουν το σύνολο της λεκάνης απορροής του (Γκατζιούρα κ.ά. 2012).

Μια πρώτη μελέτη, που πραγματοποιήθηκε από το πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και τους Παπαδημητρίου Θ., Σταμπούλη Ζ. και Κάγκαλου Ιφ., εξήγαγε προκαταρκτικά αποτελέσματα για το μέγεθος του προβλήματος, προσεγγίζοντάς το από πλευράς παρουσίας μικροκυστινών και άλλων ευτροφικών ενδείξεων στα νερά της λίμνης. Περίοδος μελέτης και συλλογής δειγμάτων ήταν από τον Απρίλιο 2010 έως το Νοέμβριο 2010 και εξετάστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

Θερμοκρασία, pH, διαλυμένο οξυγόνο (DO), αγωγιμότητα, αντιδραστική διαλυτού φωσφόρου (SRP), διαλυμένο ανόργανο άζωτο (νιτρικά) και συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α (chl a).

Συγκεκριμένα οι τιμές της συγκέντρωσης του διαλυμένου φωσφόρου για το διάστημα Απρίλιος- Νοέμβριος 2010 (SRP, Soluble Reactive Phosphorous) κυμάνθηκαν μεταξύ 1.5-3.15 mg/l , των νιτρικών (NO₃-N) μεταξύ 0.2-0.8 mg/l και

του αμμωνιακού αζώτου (NH₄-N) μεταξύ 0.38-1.99 mg/l (Papadimitriou *et al.* 2010). Αντίστοιχα, το επόμενο έτος (2011) την ίδια χρονική περίοδο, τιμές του διαλυμένου φωσφόρου κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα μεν αλλά επίσης σε υψηλά επίπεδα (0,05-0,77mg/l), των νιτρικών μεταξύ 0.1-1.27mg/l και των αμμωνιακών μεταξύ 0.01-1.74mg/l (Κάγκαλου κ.ά., 2012). Οι τιμές των θρεπτικών στοιχείων συνοδεύονταν και από ιδιαίτερα υψηλές τιμές χλωροφύλλης-α (Chl a) για τη μεν πρώτη χρονική περίοδο καταγράφηκαν τιμές μεταξύ 77.97 -525.24 mg/m³ (Papadimitriou *et al.* 2010), ενώ τους θερινούς μήνες του 2011 (Μάιος-Οκτώβριος), οι τιμές χλωροφύλλης-α κυμάνθηκαν μεταξύ 60,33-410 mg/m³ σημειώνοντας τις μέγιστες τιμές τον μήνα Ιούλιο (Κάγκαλου κ.ά. 2012).

Τα αποτελέσματα των περισσότερων παραμέτρων υποδεικνύουν ότι η λίμνη ακολουθεί το μοτίβο των ρηχών μεσογειακών λιμνών με υψηλές θερμοκρασίες κατά τη ζεστή άνυδρη περίοδο, που οδηγούν με τη σειρά τους σε μειωμένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου. Ωστόσο, προβληματισμό προκάλεσαν τα υψηλά επίπεδα αλατότητας και pH, με τα νιτρικά να εμφανίζονται επίσης αυξημένα. Αυτό αποδόθηκε στην εισροή νερών κατά κύριο λόγο από τον Πηνειό που χαρακτηρίζεται από ευτροφικές συνθήκες, αλλά και στην απορροή νερών πλούσιων σε νιτρικά από τη γύρω λεκάνη κατά τη διάρκεια πλημμυρικών περιστατικών.

2.2 Συλλογή δειγμάτων

Έλαβαν χώρα 7 διαδικασίες συλλογής δειγμάτων σε διάφορες χρονικές περιόδους και σε 2 διαφορετικές τοποθεσίες (Εικ. 2) για να υπάρξει διαφοροποίηση και αντικειμενικότητα των ληφθέντων στοιχείων. Η πρώτη συλλογή έγινε στις 13/6/2012 από παράκτιο σταθμό στα ανατολικά της λίμνης. Ακολούθησαν ανάλογες στις 03/07/2012, στις 31/07/2012, στις 25/08/2012 από πελαγικό σταθμό με τη βοήθεια αλιέα της περιοχής για να υπάρξει παρατήρηση και διασταύρωση τυχούσας

διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων , στις 17/09/2012 , στις 24/10/2012 και στις 03/12/2012 (Πιν.1). Οι συλλογές των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν τις πρώτες πρωινές ώρες (07:00- 08:00) για να μην υπάρξει επιρροή από ενδεχόμενη άνοδο της θερμοκρασίας από την ηλιακή ακτινοβολία. Για τη συλλογή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά δοχεία των 4 λίτρων και για την μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού θερμομέτρο μάρκας WTW. Αμέσως μετά την συλλογή τους, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δροσερό μέρος, ως τη μεταφορά τους στο εργαστήριο, για να ξεκινήσει η διαδικασία ανάλυσης τους.



Εικόνα 2. Κάτοψη της επανασυσταμένης λίμνης Κάρλα με αναγραφόμενα τα 2 σημεία δειγματοληψιών A και B για τον παράκτιο και πελαγικό σταθμό αντίστοιχα. (Πηγή: Cnes/Spot Image, Digital Globe, European Space Imaging 2012)

Πίνακας 1. Ημερομηνίες Δειγματοληψιών και παρατηρούμενες θερμοκρασίες υδάτων

Δειγματοληψία	1	2	3	4	5	6	7
Ημερομηνία	13/6/2012	3/7/2012	31/7/2012	25/8/2012	17/9/2012	24/10/2012	3/12/2012
Θερμοκρασία	22 °C	23 °C	27 °C	26,6 °C	22 °C	21,6 °C	13 °C

2.3 Εργαστηριακές αναλύσεις

Για την ανάπτυξη της μεθόδου προσδιορισμού του διαλυμένου οξυγόνου στα δείγματα νερού που ελήφθησαν χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συσκευές και αντιδραστήρια.

- Φασματοφωτόμετρο της εταιρίας Shimadzu (UV – 1700 PharmaSpec Visible Spectrophotometer, $\lambda = 466 \text{ nm}$, slit width= 0,5 nm)
- Αναλυτικός ζυγός ακριβείας (Kern ALS 220-04, max 220 kg, d=0,1mg, ac. $\pm 0,0001 \text{ gr}$)
- Επωαστικός θάλαμος (WTW TS 606- G/2)
- Αναδευτήρας (ILA-WERKE Yellowline MSI Basik)
- Απαγωγός της εταιρίας WTW
- Πιπέτες 0-20 ml, 0-100 ml
- 35 Ειδικές φιάλες BOD των 130 ml έκαστη
- Κωνικές φιάλες των 50, 100, 250 ml
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 250 ml

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα στάδια του προσδιορισμού ήταν αναλυτικώς καθαρά. Χρησιμοποιήθηκε απεσταγμένο νερό για την παρασκευή των αντιδραστηρίων και για το τελικό ξέπλυμα των γυάλινων φιαλών.

Για τον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Winkler (Strickland J.D.H & T.R. Parsons 1972). Το πειραματικό μέρος χωρίστηκε σε 3 κύρια στάδια. Το αρχικό στάδιο ήταν η παρασκευή των απαραίτητων αντιδραστηρίων για τη χρήση τους στο πειραματικό πρωτόκολλο.

Αρχικά παρασκευάστηκε διάλυμα θειικού μαγγανίου (OXY I, 3M). Ζυγίστηκαν 60,0055 g $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ σε 100 ml απεσταγμένου νερού. Το διάλυμα (OXY I), τοποθετήθηκε σε σκουρόχρωμη φιάλη και διατηρήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Ακολούθησε η παρασκευή αλκαλικού διαλύματος (8M)/ KI (3M) (OXY II). Ζυγίστηκαν 30,0065 g KOH και 60,0069 g KI και αναμίχθηκαν με 30 ml απεσταγμένου νερού έκαστο ώσπου να διαλυθούν τελείως και να ομογενοποιηθούν.

Στην συνέχεια αναμίχθηκαν μεταξύ τους και αφού το ομογενοποιημένο διάλυμα κρύωσε σε θερμοκρασία δωματίου συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό ως τα 100 ml. Το τελικό διάλυμα (OXY II) τοποθετήθηκε σε σκουρόχρωμη φιάλη και διατηρήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου, παρακολουθούμενο συνεχώς για περίπτωση δημιουργίας ιζήματος KCO_3 .

Επόμενο βήμα ήταν η παρασκευή διαλύματος θειικού οξέος (10M). Το συγκεκριμένο διάλυμα δημιουργήθηκε αναδεύοντας 500 ml απεσταγμένου νερού, με ταυτόχρονη προσθήκη 280 ml π. H_2SO_4 . Η διαδικασία έλαβε χώρα στον απαγωγό για την αποφυγή κινδύνων εγκαύματος και αναθυμιάσεων. Αφού το διάλυμα κρύωσε στη συνέχεια συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό ώσπου να επιτευχθεί η ποσότητα του 1 l. Το διάλυμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινή φιάλη του 1 l. και φυλάχθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Επίσης χρησιμοποιήθηκε διάλυμα ιωδικού καλίου (0,01 M), το οποίο ήταν ήδη παρασκευασμένο.

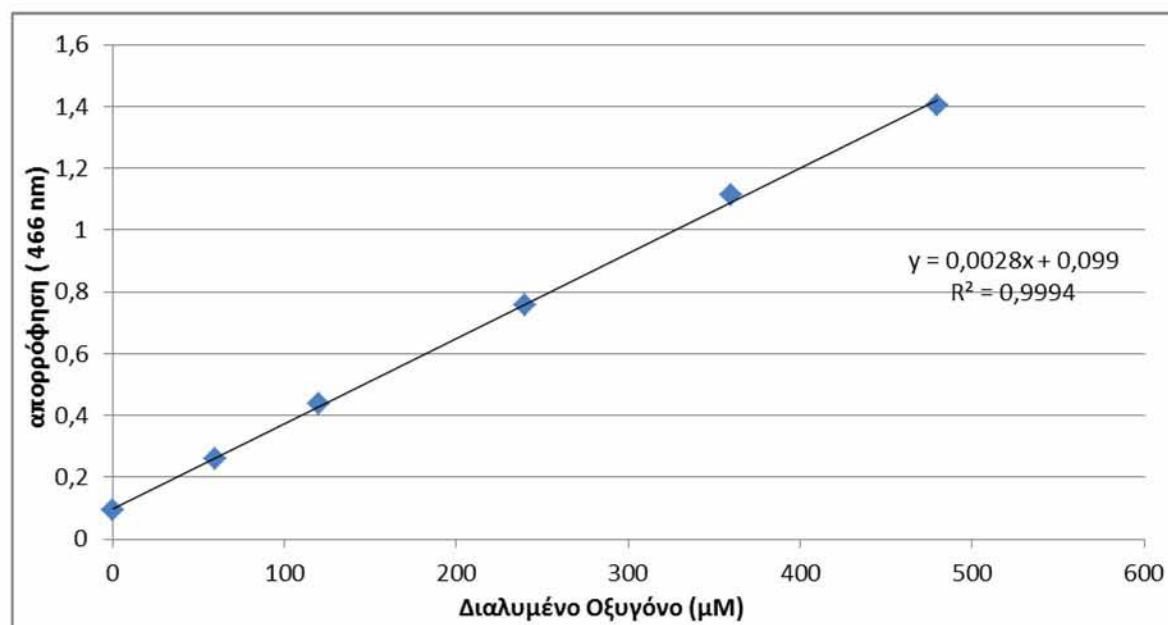
Το δεύτερο στάδιο της πειραματικής μεθόδου αποτέλεσε η δημιουργία της πρότυπης καμπύλης για να προσδιοριστεί η σχέση της απορρόφησης με το διαλυμένο οξυγόνο και να αποσαφηνιστεί τι συμβαίνει σε ιδανικές συνθήκες. Αρχικά προστέθηκαν 50 ml απιονισμένου νερού σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml και ακολούθησαν με τη σειρά η προσθήκη 0,8 ml H_2SO_4 , 0,8 ml OXY II και 0,8 ml OXY II, αναδεύοντας όμως ενδιάμεσα της εκάστοτε προσθήκης των αντιδραστηρίων. Στη

συνέχεια προστέθηκαν συγκεκριμένες ποσότητες πρότυπου διαλύματος KIO_3 και συμπληρώθηκε απιονισμένο νερό μέχρι ο όγκος να φτάσει τα 100 ml. Μετά από την κάθε προσθήκη των παραπάνω γνωστών ποσοτήτων πρότυπου διαλύματος KIO_3 ακολούθησαν ανάλογες μετρήσεις απορρόφησης στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος $\lambda=466 \text{ nm}$ (Πιν.2).

Πίνακας 2. Συσχέτιση απορρόφησης και διαλυμένου οξυγόνου

0,01M KIO_3	$\mu\text{M IO}_3^-$	$\mu\text{M O}_2$	Δείγματα	13_06_2012
0	0	0	0,059	0,093
0,4	40	60	0,285	0,26
0,8	80	120	0,438	0,437
1,6	160	240	0,783	0,758
2,4	240	360	1,053	1,112
3,2	320	480	1,218	1,405

Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη συσχέτισης απορρόφησης και συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (Σχ. 1).



Σχήμα 1. Διάγραμμα και καμπύλη συσχέτισης απορρόφησης και συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου προσδιορίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$\mu\text{M D.O.} = [(A_s - A_b)/a] * [V_f / (V_f - V_R)] - O_R \quad (1)$$

όπου, A_s = απορρόφηση δείγματος

A_b = intercept

a = κλίση πρότυπης ευθείας ($\text{AU } \mu\text{mol l}^{-1}$).

V_f = όγκος δείγματος, ml (=130)

V_R = ολικός όγκος αντιδραστηρίων $R_1 + R_2$, ml (=1.60)

O_R = ΔO που προστίθεται από τα αντιδραστήρια που υπολογίζεται

$$= 1000 * (2 * 0.8) * 0.0759 / 295 = 0.926237 \mu\text{mol l}^{-1}$$

Το τρίτο στάδιο του πειραματικού μέρους ήταν η ανάλυση των ληφθέντων δειγμάτων νερού. Μετά τη λήψη τους, τα δείγματα νερού διηθήθηκαν μέσω ειδικών φίλτρων και φιαλών διήθησης. Χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά μεγέθη φίλτρων με σκοπό να κατηγοριοποιηθεί το ληφθέν δείγμα σε αναλογία κλάσεων μεγέθους περιλαμβανόμενων ζωοπλαγκτονικών οργανισμών. Έτσι δημιουργήθηκαν 3 κλάσεις, αυτή των $<180 \mu\text{m}$, αυτή των $<20 \mu\text{m}$ και αυτή των $<2 \mu\text{m}$. Οι κλάσεις αυτές επιχειρήθηκε να ακολουθούν την γενικότερη κατηγοριοποίηση που έχει προταθεί από τον Fenchel (1987). Τα κατηγοριοποιημένα σε κλάση δείγματα τοποθετήθηκαν σε σκοτεινές φιάλες των 130 ml, σε επωαστικό θάλαμο διατηρούμενα σε θερμοκρασία ίδια με αυτή που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της λήψης τους. Κάθε κλάση αντιστοιχίστηκε σε 3 φιάλες ανά συγκεκριμένη χρονική στιγμή μέτρησης για καλύτερη διασταύρωση αποτελεσμάτων και για να επιχειρηθεί όσο το δυνατόν

μεγαλύτερη ακρίβεια σε αυτά. Επιλέχθηκε να εξετάζονται τα φιαλίδια της κάθε κλάσης σε 8, 24, 32 και 48 ώρες μετά την πρώτη μέτρηση.

Ακολούθησε η φασματοφωτομέτρηση των εκάστοτε δειγμάτων σε κυψελίδα των 10 mm και σε $\lambda=466$ nm μετά από προσθήκη 0,8 ml διαλύματος OXY II, 0,8 ml διαλύματος OXY II και 0,8 ml διαλύματος H₂SO₄ με την ανωτέρω σειρά και μέσα σε διάστημα 5 λεπτών από την οξίνιση.

Η ανωτέρω διαδικασία ακολουθήθηκε μετά από κάθε συλλογή δειγμάτων, ενώ η πρότυπη καμπύλη έγινε μια φορά στην αρχή γιατί δεν παρατηρήθηκε δημιουργία ιζήματος στο αντιδραστήριο OXY II και η ποσότητες των αντιδραστηρίων ήταν αρκετές για την εκπόνηση ολόκληρου του πειραματικού μέρους.

2.4 Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα επεξεργασίας στατιστικών δεδομένων SPSS v.20. Πιο συγκεκριμένα, έγινε χρήση της μεθόδου Ανάλυσης Διακύμανσης προς ένα παράγοντα (ANOVA). Ο όρος «Ανάλυση Διακύμανσης προς ένα παράγοντα» δηλώνει ότι υπάρχει ένας μόνο παράγοντας ή χαρακτηριστικό (factor), ως προς το οποίο διαφοροποιούνται οι πληθυσμοί μεταξύ τους. Από τους ελέγχους που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ίσων διακυμάνσεων, έγινε εφαρμογή του τεστ του Tukey (Tukey's honestly significant difference test), το οποίο είναι μια διαδικασία πολλαπλών συγκρίσεων, η οποία ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι όλα τα δυνατά ζεύγη των πληθυσμιακών μέσων τιμών είναι ίσα. Επίσης, ορίζει και ομοιογενή υποσύνολα μέσων τιμών οι οποίες δεν διαφοροποιούνται σημαντικά η μία της άλλης (εκτός δηλαδή από τεστ πολλαπλών συγκρίσεων είναι και τέστ διακύμανσης).

Για την οπτικοποίηση και κατανόηση της ύπαρξης ή μη, ισότητας διασπορών,
έλαβε χώρα εφαρμογή του τεστ του Levene.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Επιμέρους ανάλυση

Οι δειγματοληψίες αφορούσαν διαφορετικές θερμοκρασίες, για να παρατηρηθεί η κατανάλωση του οξυγόνου από τους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς στις εκάστοτε θερμοκρασιακές συνθήκες. Η διαδικασία ανάλυσης ANOVA είναι μία κατ' εξοχήν παραμετρική διαδικασία η οποία απαιτεί κατά την εφαρμογή της την πλήρωση συγκεκριμένων προϋποθέσεων.

Η πρώτη προϋπόθεση αφορά την κανονικότητα των κατανομών. Οι κατανομές της ποσοτικής μεταβλητής στους k πληθυσμούς από τους οποίους προέρχονται οι ομάδες θα πρέπει να είναι κανονικές. Η ανάλυση των δεδομένων του πειράματος έδειξε πως σε κάθε δειγματοληψία και σε κάθε κλάση, η οποία και αποτελούσε τον παράγοντα διαφοροποίησης, οι κατανομές ήταν κανονικές. Διαφοροποίηση υπήρξε μόνο στην 7^η δειγματοληψία, τα αποτελέσματα της οποίας αναλύθηκαν με τη μέθοδο Kruskal – Wallis (μη παραμετρική μέθοδος ανάλυσης) και παρατηρήθηκε πως οι κατανομές ήταν διαφορετικές σε κάθε κλάση.

Η δεύτερη προϋπόθεση ουσιαστικά αναφέρεται στην ισότητα των διακυμάνσεων της ποσοτικής μεταβλητής. Ο έλεγχος της ισότητας των διακυμάνσεων γίνεται με τη βοήθεια του τεστ του Levene. Η μοναδική περίπτωση να παρακαμφθεί η συγκεκριμένη προϋπόθεση είναι όταν ο αριθμός των παρατηρήσεων ανά ομάδα να είναι περίπου ίδιος. Τα αποτελέσματα του τεστ του Levene έδειξαν πως στις 6 πρώτες δειγματοληψίες προέκυψαν ισότητες των διακυμάνσεων και έτσι η χρήση της ανάλυσης ANOVA ήταν ορθή. Για την 7^η δειγματοληψία όμως, από τα αποτελέσματα του τεστ δεν προέκυψε η ισότητα των διακυμάνσεων ($P > 0,05$), συνεπώς η One-Way ANOVA δεν ήταν σωστό να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της

ισότητας των μέσων τιμών. Έτσι ακολούθησε η ανάλυση με την μη παραμετρική μέθοδο Kruskal – Wallis, η οποία αναφέρθηκε παραπάνω.

Για να τηρείται η τρίτη και τελευταία προϋπόθεση, τα δείγματα θα πρέπει να έχουν ληφθεί με τυχαία δειγματοληψία από τους αντίστοιχους πληθυσμούς και να είναι ανεξάρτητα το ένα του άλλου. Η προϋπόθεση αυτή εξαρχής τηρήθηκε, με τον σχεδιασμό της πειραματικής μεθόδου να αφορά σε τυχαίες δειγματοληψίες ανά χρονικά διαστήματα.

Καταλήγοντας, τα αποτελέσματα ανά δειγματοληψία και για την εκάστοτε κλάση συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πιν. 3).

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για τις δειγματοληψίες

Δειγματοληψία	1	2	3	4	5	6	7
F	4,56	222,17	2187,51	1827,88	1855,14	2003,61	14,05
Levene's test	0,104	0,129	0,461	0,443	0,280	0,435	0,006

Η ανωτέρω διαδικασία ακολουθήθηκε με την μέθοδο Kruskal – Wallis και για την ανάλυση ανά κλάση και δειγματοληψία και ως αποτέλεσμα είχε πως η κατανομή στους εκάστοτε παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν (κλάσεις) δεν είναι ίδια.

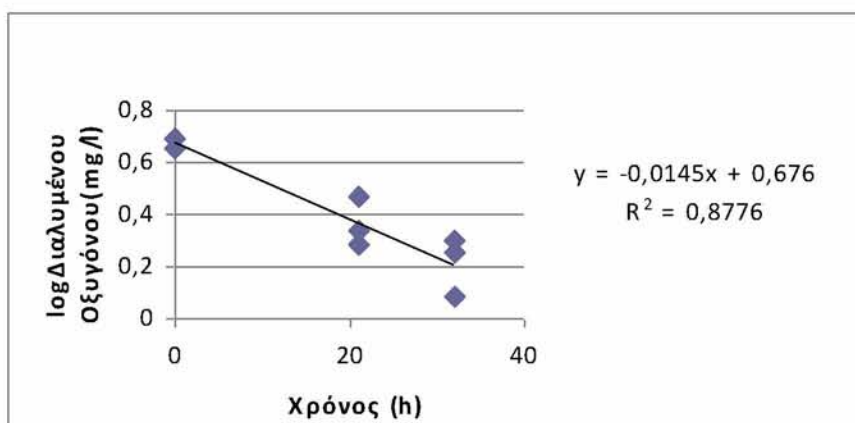
3.2 Σύγκριση και ανάλυση καμπυλών

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο Kolmogorov- Smirnoff έγινε σύγκριση των καμπυλών των αποτελεσμάτων της κάθε δειγματοληψίας. Ουσιαστικά, η συγκεκριμένη μέθοδος ελέγχει αν η κατανομή είναι ίδια ανάμεσα στους παράγοντες (κλάσεις) της εκάστοτε καμπύλης, άρα και δειγματοληψίας. Με βάση αυτή, παρατηρήθηκαν διαφορές όλων των καμπυλών με αυτή της 7^{ης} δειγματοληψίας. Επίσης παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στις καμπύλες των αποτελεσμάτων μεταξύ της 4^{ης} και 6^{ης} δειγματοληψίας. Ουσιαστικά όλες οι καμπύλες ακολουθούν ένα παρόμοιο πρότυπο, που δείχνει πως η κατανάλωση οξυγόνου είναι περίπου ίδια ανά κλάση και

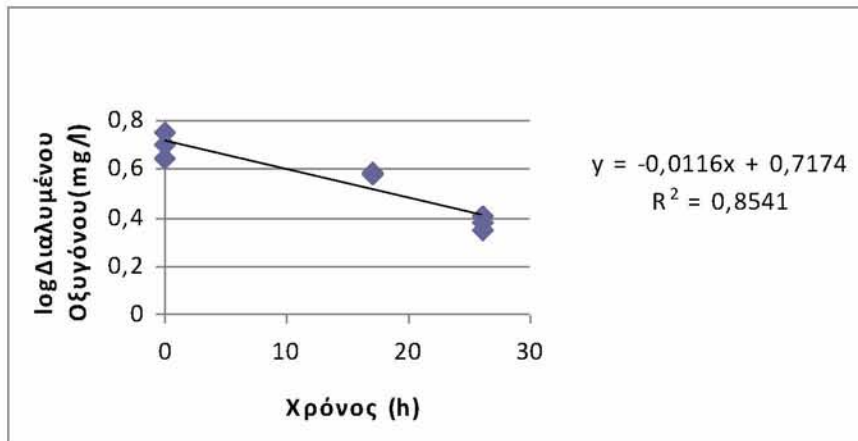
δειγματοληψία, και όλες παρουσιάζουν διαφοροποίηση με τις επιμέρους κλάσεις της 7^{ης} δειγματοληψίας, η οποία είχε και την χαμηλότερη θερμοκρασία νερού κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων.

Με τη χρήση της μεθόδου ANOVA και την παρατήρηση της ανάλυσης τάσης (trend analysis), παρατηρήθηκε πως επειδή υπήρχε διαφοροποίηση στη σημαντικότητα <0,05 και επειδή μεταξύ των κλάσεων υπήρχε ισότητα διακυμάνσεων ($P > 0,05$), δεν μπορεί η τάση της καμπύλης να εκφραστεί σε μαθηματική εξίσωση πολυωνύμου 2^{ου} βαθμού και πως ακολουθείται μια γραμμικότητα.

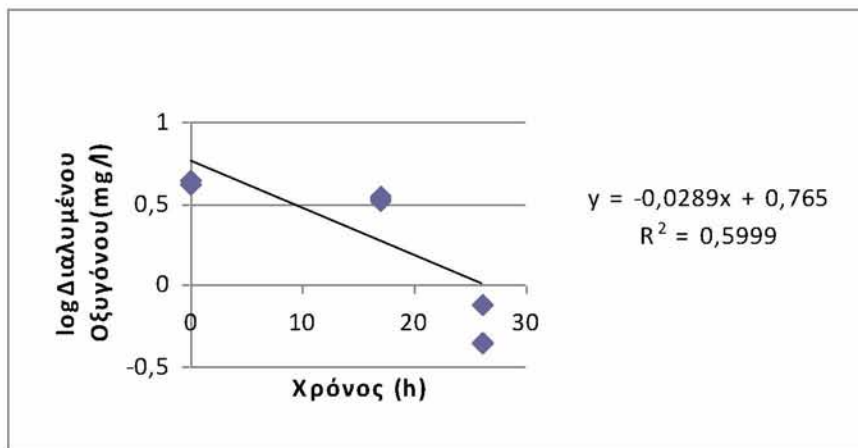
Συνεπώς, με την λογαρίμηση των τιμών κατανάλωσης οξυγόνου και σε συνδυασμό με τα χρονικά διαστήματα που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις στο εργαστήριο (time points), οι εξισώσεις και οι γραμμές τάσης που αντιστοιχούν στην κατανάλωση οξυγόνου της εκάστοτε δειγματοληψίας παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



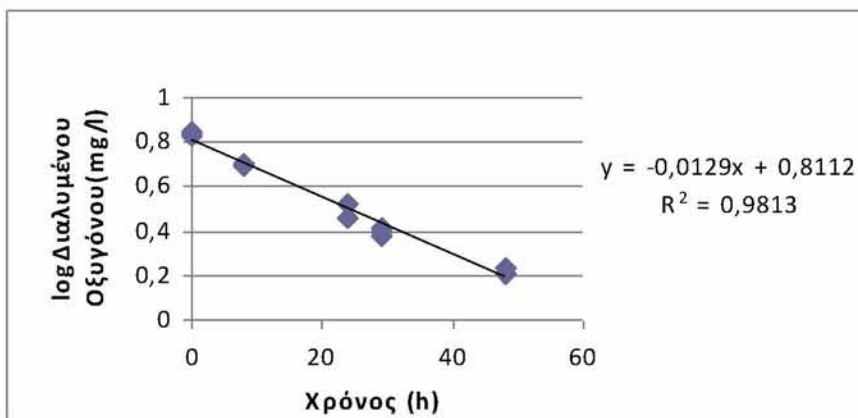
Σχήμα 2. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 1ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



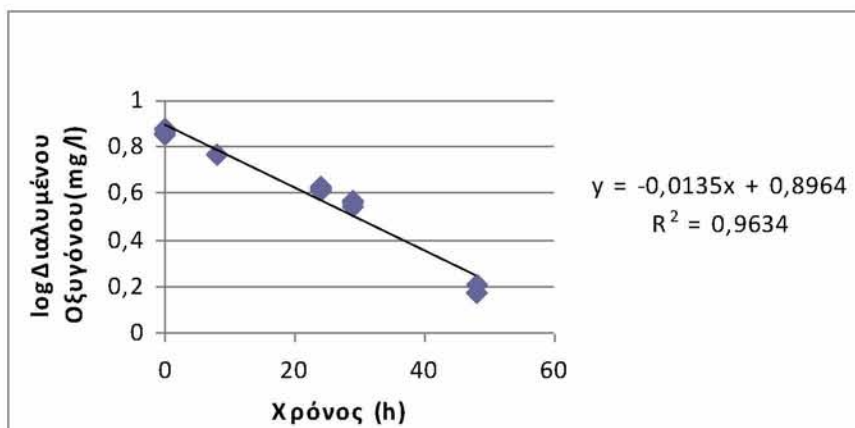
Σχήμα 3. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 1ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



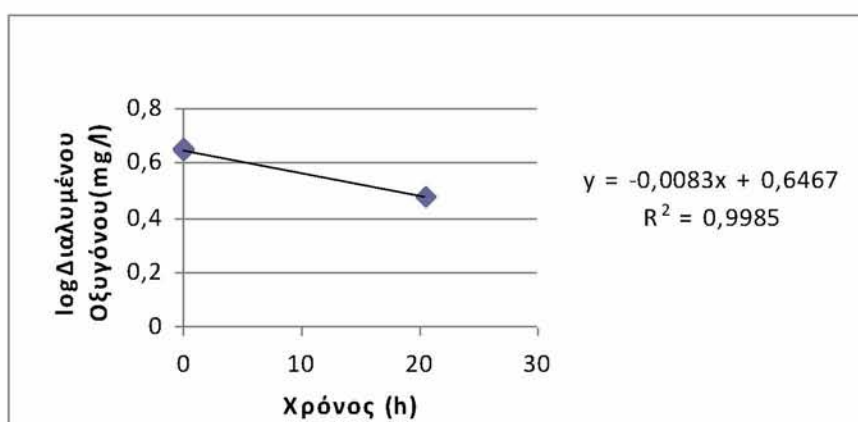
Σχήμα 4. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 1ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



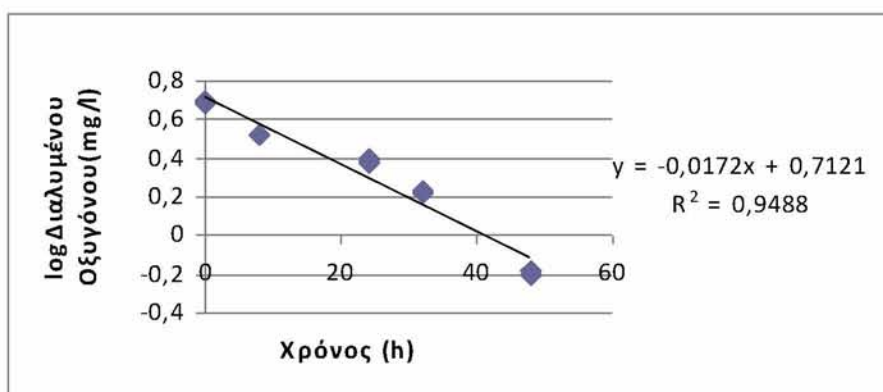
Σχήμα 5. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 2ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



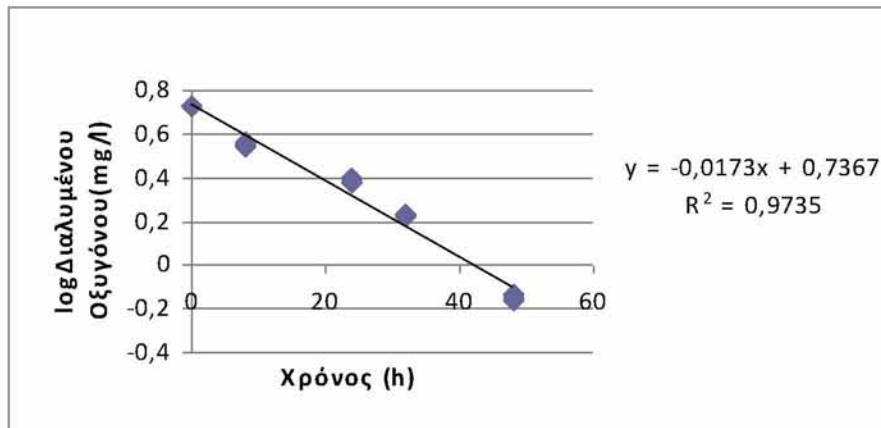
Σχήμα 6. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 2ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



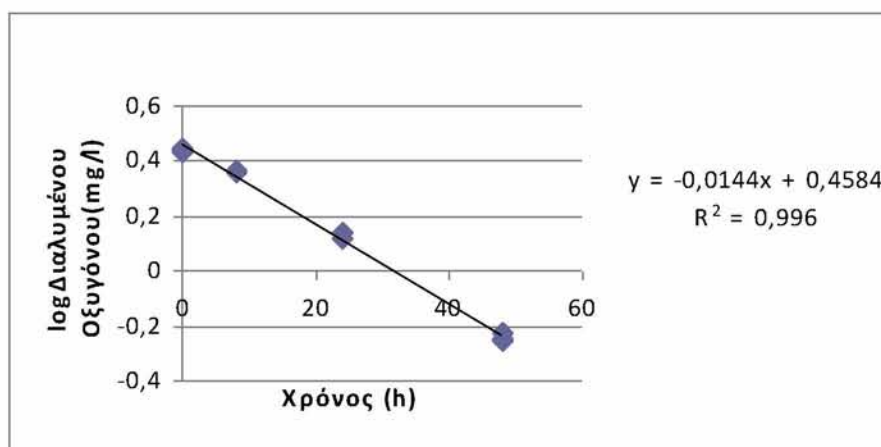
Σχήμα 7. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 2ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



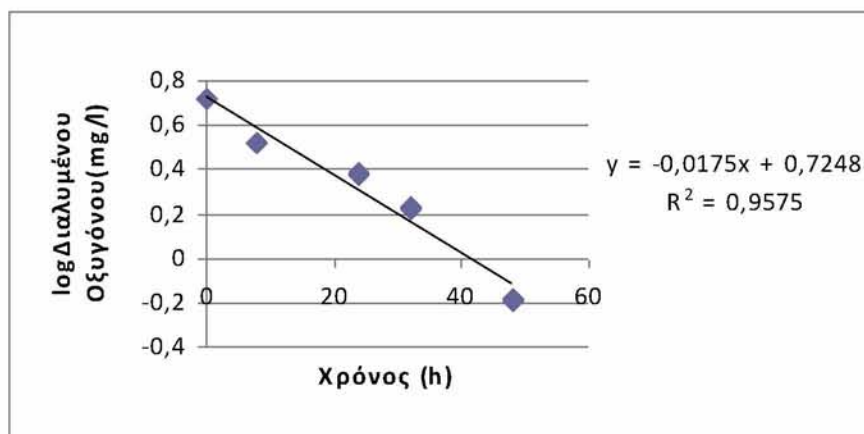
Σχήμα 8. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 3ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



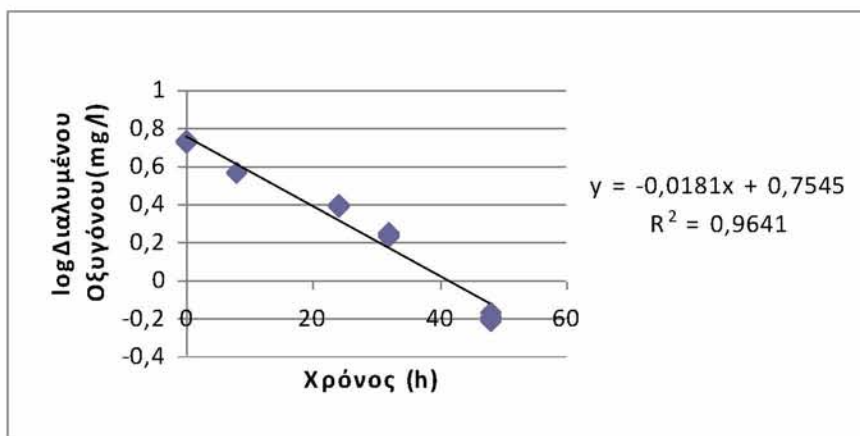
Σχήμα 9. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 3ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



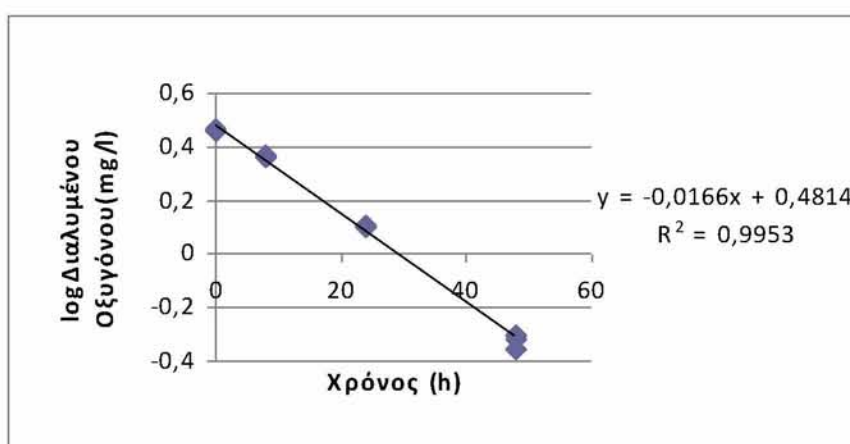
Σχήμα 10. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 3ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



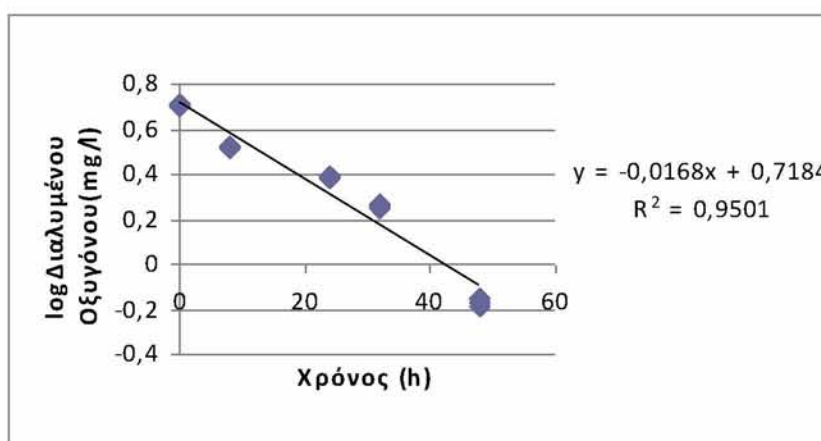
Σχήμα 11. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 4ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



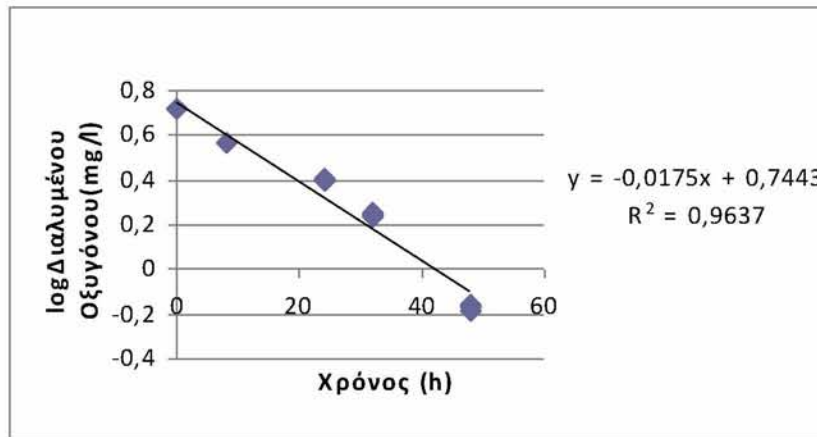
Σχήμα 12. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 4ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



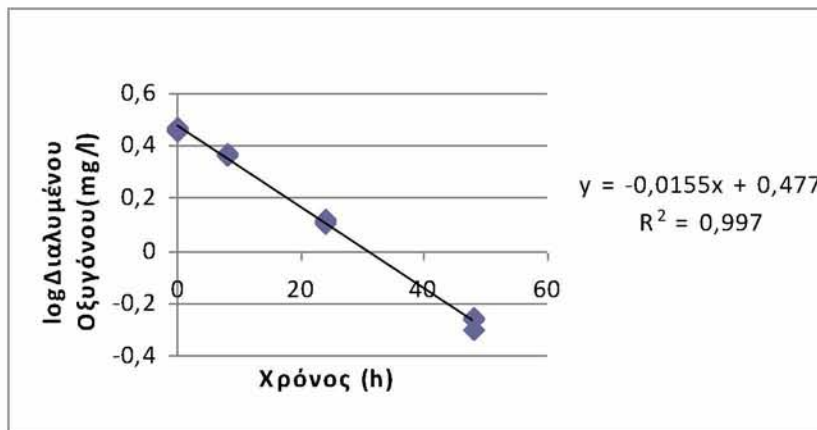
Σχήμα 13. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 4ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



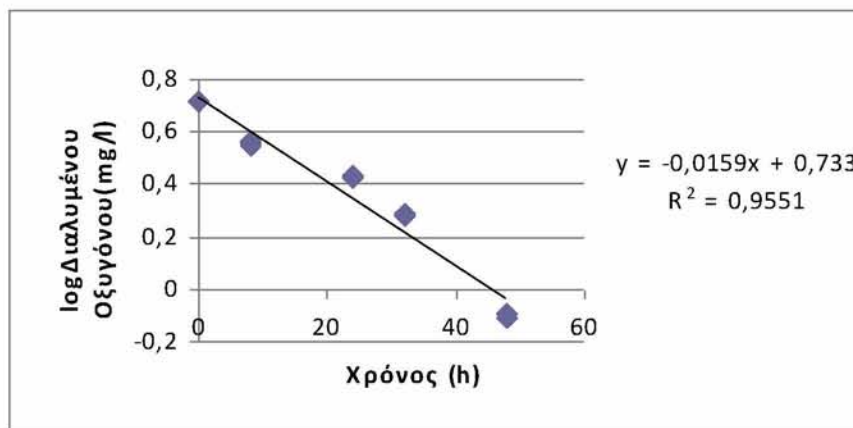
Σχήμα 14. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 5ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



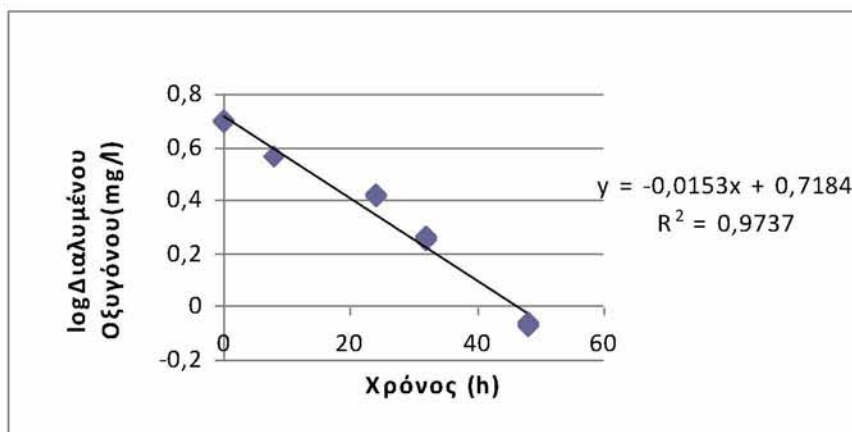
Σχήμα 15. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 5ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



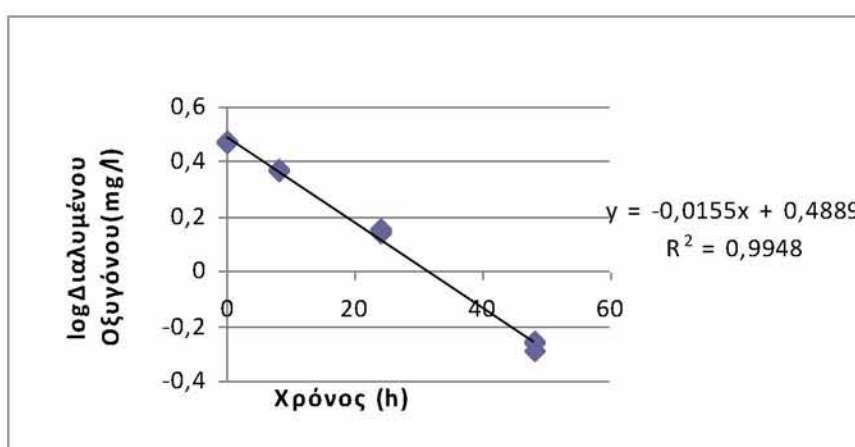
Σχήμα 16. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 5ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



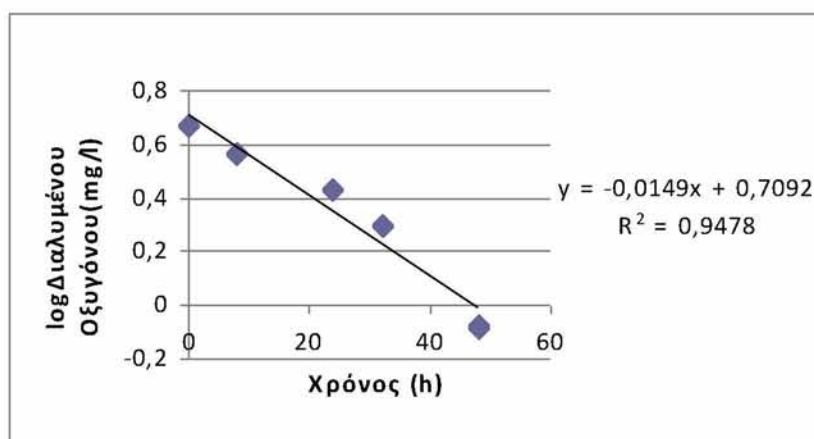
Σχήμα 17. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 6ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



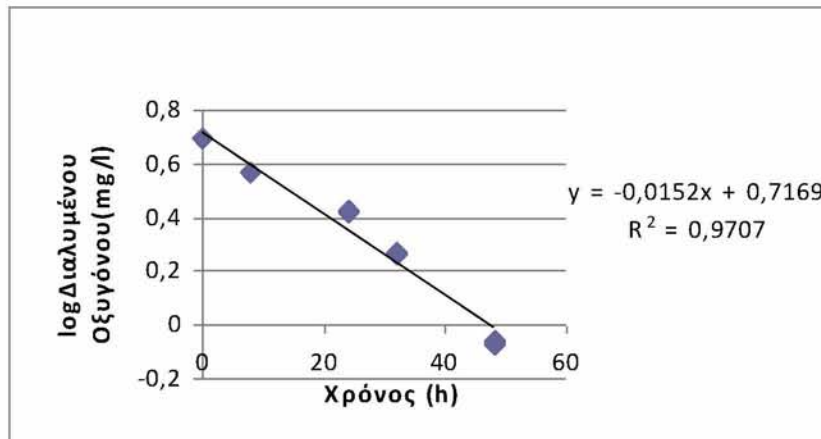
Σχήμα 18. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 6ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



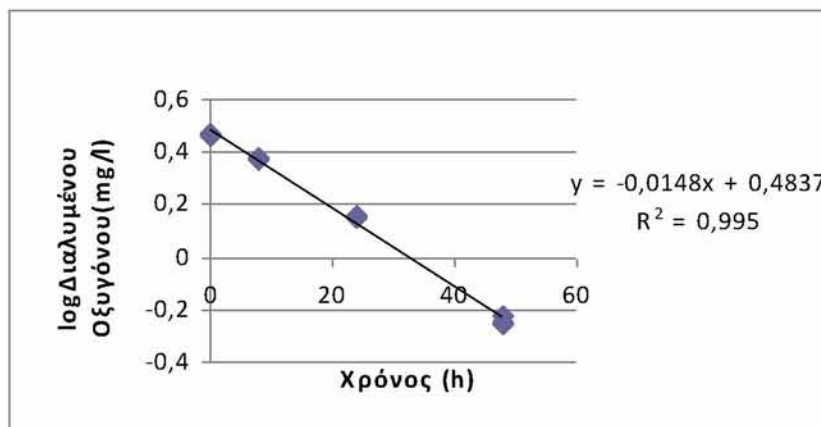
Σχήμα 19. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 6ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm



Σχήμα 20. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 7ης δειγματοληψίας στην κλάση των <180 μm



Σχήμα 21. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 7ης δειγματοληψίας στην κλάση των <20 μm



Σχήμα 22. Καμπύλη κατανάλωσης οξυγόνου 7ης δειγματοληψίας στην κλάση των <2 μm

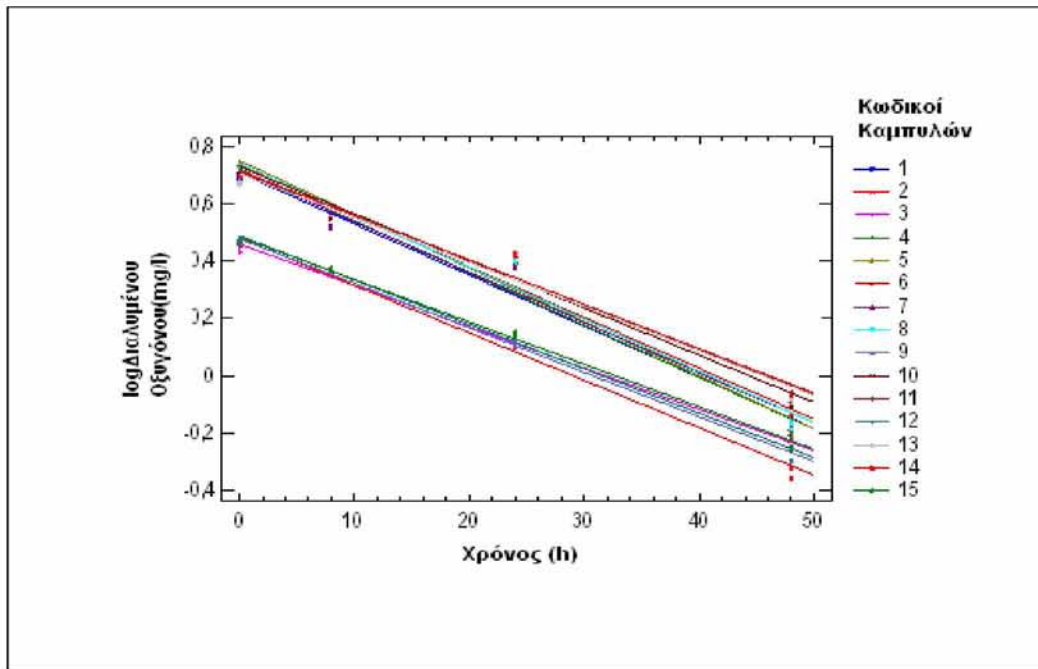
Στα παραπάνω διαγράμματα καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου ανά δειγματοληψία και κλάση, ο άξονας x αφορά την ώρα και ο άξονας y αφορά την λογαριθμημένη τιμή κατανάλωσης οξυγόνου, για λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για να εξεταστεί η υπόθεση να υφίσταται μια συγκεκριμένη αναλογική ακολουθία στις καμπύλες κατανάλωσης οξυγόνου, επιλέχθηκε να γίνει επεξεργασία συσχέτισης καμπυλών με τη μέθοδο ANCOVA. Η συσχέτιση καμπυλών με την συγκεκριμένη μέθοδο, ακολουθήθηκε τόσο για να εξεταστεί το σύνολο των καμπυλών κατανάλωσης, όσο και οι καμπύλες κατανάλωσης ανά κλάση.

Τα αποτελέσματα της εξέτασης του συνόλου των καμπυλών (Πιν. 4) οδηγούν στο συμπέρασμα πως υπάρχει ένδειξη γραμμικής συσχέτισης των επιμέρους καμπυλών απορρόφησης, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($R^2= 97,9908$). Αυτό σημαίνει πως είναι δυνατό να επικαλεστούμε πως σε επίπεδο κατανάλωσης οξυγόνου, υπάρχει μια ανάλογη γραμμικότητα, ανεξαρτήτως αν οι κλάσεις μας αφορούν ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς διαφορετικών τάξεων μεγέθους.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου

Ανάλυση	Άθροισμα τετραγώνων	Df	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα	F-Ratio	P-Value
Μοντέλο	18,3727	29	0,63354	252,26	0,0000
Υπόλοιπο/ Κατάλοιπο	0,376716	150	0,00251144		
Ολική (Διορθ.)	18,7494	179			

Για την ανάλυση και συσχέτιση των κλίσεων των καμπυλών, όπως φαίνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 23 καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην τεταγμένη (intercept) των κλίσεων των επιμέρους καμπυλών. Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως στα ακόλουθα διαγράμματα δεν περιέχονται οι μετρήσεις των δυο πρώτων δειγματοληψιών, καθώς χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά χρονικά διαστήματα (time points) κατά την εξέτασή τους στο εργαστήριο και δεν ήταν δυνατή η ενσωμάτωσή τους στις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Ωστόσο συμπεριλήφθηκαν εκ των υστέρων για να γίνει ο σχολιασμός και η σύγκρισή τους.

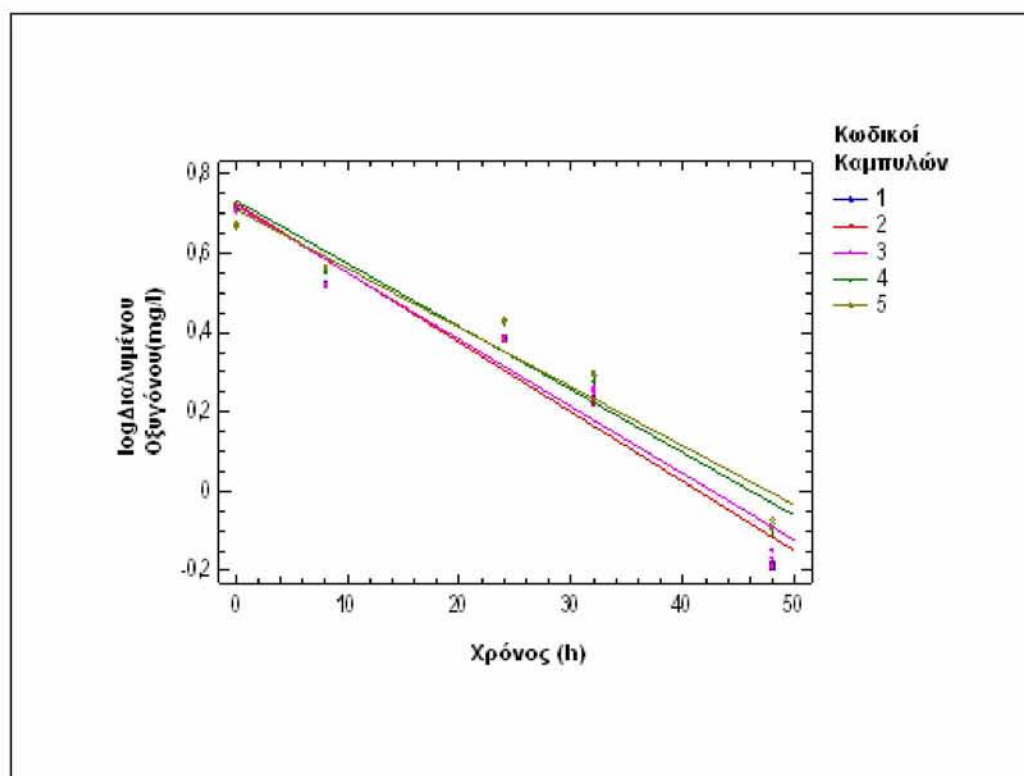


Σχήμα 23. Συσχέτιση του συνόλου των καμπυλών (Οι κωδικοί αφορούν τις διάφορες κλάσεις των δειγματοληψιών. Οι κωδικοί 1,2,3 αφορούν τις κλάσεις των οργανισμών <180 μm, < 20μm, <2 μm της τρίτης δειγματοληψίας αντίστοιχα. Η ίδια ακολουθία υπάρχει και για τους επόμενους 12 κωδικούς και τις υπόλοιπες 4 δειγματοληψίες.)

Έπειτα από τη συσχέτιση του συνόλου των κλάσεων και δειγματοληψιών, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τις τρεις διαφορετικές κλάσεις, για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει διαφορά από δειγματοληψία σε δειγματοληψία, συνεπώς επίδραση από τον παράγοντα της θερμοκρασίας, στην ίδια κλάση.

Τα αποτελέσματα (Σχ. 24 & Πίν. 5) έδειξαν πως στην κλάση μεγέθους των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών που είναι μικρότεροι από 180μm, υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιμέρους καμπύλες κατανάλωσης οξυγόνου, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις κλίσεις των καμπυλών (P-Value > 0,1 στον Πίνακα 5 για τεταγμένη και κλίση), γεγονός που δείχνει πως η θερμοκρασία, η οποία διέφερε από δειγματοληψία σε δειγματοληψία, καθορίζει το εύρος του ρυθμού κατανάλωσης από το αρχικό ως το τελικό σημείο κατανάλωσης

οξυγόνου (μέγιστο και ελάχιστο), όμως καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών (σε διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες) ακολουθείται ο ίδιος ρυθμός. Έτσι παρατηρούνται σχεδόν ίδιοι ρυθμοί κατανάλωσης οξυγόνου, με μεγαλύτερο ελάχιστο σημείο καμπύλης, αυτό της 7^{ης} δειγματοληψίας, η οποία και αφορούσε την μικρότερη θερμοκρασία.

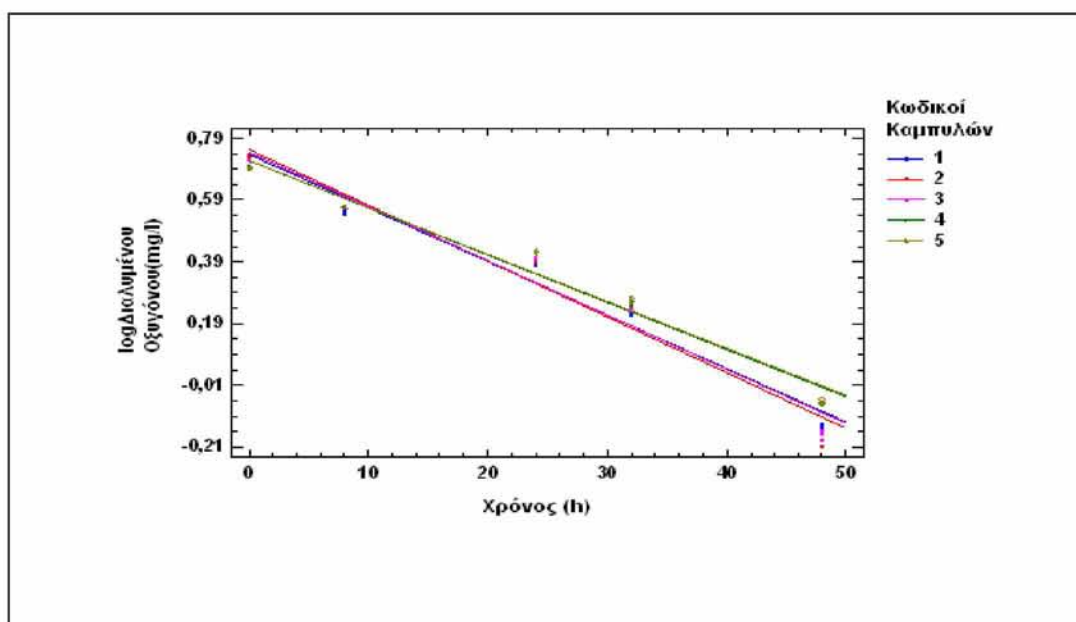


Σχήμα 24. Συσχέτιση καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου οργανισμών <180 μm . Οι κωδικοί αφορούν τις κλάσεις οργανισμών <180 μm για τις δειγματοληψίες 3 ως 7 αντίστοιχα.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου (οργανισμοί <180 μm)

Ανάλυση	Άθροισμα Τετραγώνων	Df	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα	F-Ratio	P-Value
Χρόνος(h)	5,97408	1	5,97408	1341,10	0,0000
Τεταγμένη	0,0314002	4	0,00785005	1,76	0,1472
Κλίση	0,022653	4	0,00566324	1,27	0,2903
Μοντέλο	6,02813	9			

Για την τάξη των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών η οποία είναι μικρότερη από 20μm, παρατηρείται ακριβώς η ίδια συμπεριφορά (Σχ. 25 & Πιν.6). Οι καμπύλες έχουν τον ίδιο ρυθμό (P-Value > 0,1 στον Πίνακα 6 για τεταγμένη και κλίση) και στατιστικά σημαντικές διαφορές στα μέγιστα και ελάχιστα τους. Και σε αυτή την περίπτωση, η καμπύλη με την πιο απότομη κλίση αφορά τη δειγματοληψία με τη χαμηλότερη θερμοκρασία, δηλαδή την 7^η δειγματοληψία (Κωδικός 5).

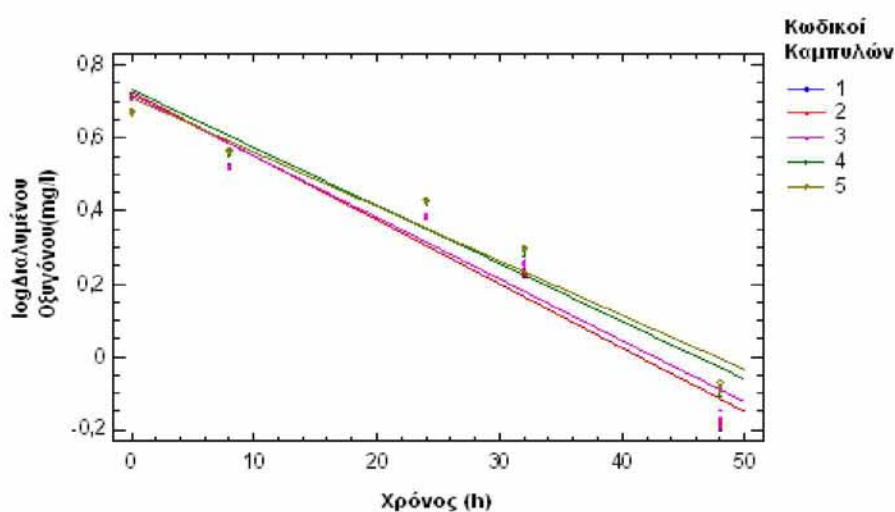


Σχήμα 25. Συσχέτιση καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου οργανισμών <20 μm. Οι κωδικοί αφορούν τις κλάσεις οργανισμών <20 μm για τις δειγματοληψίες 3 ως 7 αντίστοιχα.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου (οργανισμοί<20μm)

Ανάλυση	Άθροισμα Τετραγώνων	Df	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα	F-Ratio	P-Value
Χρόνος (h)	6,0907	1	6,0907	2000,96	0,0000
Τεταγμένη	0,0124705	4	0,00311763	1,02	0,4015
Κλίση	0,0317319	4	0,00793298	2,61	0,0437
Μοντέλο	6,1349	9			

Σε ότι αφορά την κλάση μεγέθους για οργανισμούς μικρότερους από 2μm, επίσης παρατηρείται το ίδιο μοτίβο στους ρυθμούς (P-Value > 0,1 στον Πίνακα 7 για τεταγμένη και κλίση) και τις κλίσεις των γραμμών τάσης (καμπυλών) που αφορούν την κατανάλωση οξυγόνου (Σχ.26 & Πίνακας 7). Η καμπύλη που αφορά την 7^η δειγματοληψία διαφέρει κάπως, πάλι κυρίως εξαιτίας του μεγαλύτερου ελάχιστου σημείου της (σημείο κατανάλωσης όλου του οξυγόνου).



Σχήμα 26. Συσχέτιση καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου οργανισμών <2 μm. Οι κωδικοί αφορούν τις κλάσεις οργανισμών <2 μm για τις δειγματοληψίες 3 ως 7 αντίστοιχα.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου (οργανισμοί<2μm)

Ανάλυση	Άθροισμα Τετραγώνων	Df	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα	F-Ratio	P-Value
Χρόνος (h)	5,97408	1	5,97408	1341,10	0,0000
Τεταγμένη	0,0314002	4	0,00785005	1,76	0,1472
Κλίση	0,022653	4	0,00566324	1,27	0,2903
Μοντέλο	6,02813	9			

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ως ετερότροφοι οργανισμοί, οι ζωοπλαγκτονικοί, απαιτούν άνθρακα για το μεταβολισμό τους, συνεπώς η πληροφόρηση πάνω στον μεταβολισμό είναι χρήσιμη για να καθοριστεί η μικρότερη απαίτηση τροφής του ζωοπλαγκτού. Οι ρυθμοί αναπνοής του ζωοπλαγκτού μπορεί να ποικίλλουν υπό διάφορες εργαστηριακές συνθήκες και επίσης αλλάζουν με το μέγεθος σώματος του ζωοπλαγκτού (Ikeda 1985). Στην παρούσα διατριβή, όπως προαναφέρθηκε έγινε προσπάθεια να εξεταστούν τόσο ο ρόλος της θερμοκρασίας, όσο και το μέγεθος σώματος.

Σύμφωνα με τους Carignat *et al.* (2000), επειδή οι ρυθμοί πλαγκτονικής αναπνοής έχουν εξεταστεί κυρίως την καλοκαιρινή περίοδο και για το εύρωτη ζώνη, δεν υπάρχουν απόλυτα συμπεράσματα για τον ακριβή τρόπο με τον οποίο επηρεάζει η θερμοκρασία τον αναπνευστικό ρυθμό. Ωστόσο, οι ίδιοι ερευνητές κατάφεραν να καταλήξουν σε ένα μοντέλο, το οποίο αναφέρει πως ο ρυθμός διατηρείται σε ίδια επίπεδα για ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος (περίπου 11 °C – 22,5 °C) και στην περίπτωση που η θερμοκρασία αυξάνεται, ο ρυθμός αυτός μειώνεται.

Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί απόλυτα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προκείμενη μεταπτυχιακή διατριβή. Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ρυθμοί ήταν σταθεροί και όμοιοι για όλες τις δειγματοληψίες, με μοναδική μικρή απόκλιση τον ρυθμό της τελευταίας δειγματοληψίας που αφορούσε και τη χαμηλότερη θερμοκρασία (13 °C). Ενισχύεται ακόμα πιο πολύ η άποψη αυτή από την ανάλυση των καμπυλών του ρυθμού αναπνοής όπως παρουσιάστηκε νωρίτερα.

Επίσης, επειδή η λίμνη Κάρλα χαρακτηρίζεται από μικρό μέσο βάθος (τη χρονική διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν περίπου στα 2 μέτρα), και εξαιτίας του γεγονότος πως υπήρξε και εναλλακτικό δειγματοληπτικό σημείο (4^η δειγματοληψία)

με παρεμφερή αποτελέσματα, είναι ασφαλής η κατάληξη στο συμπέρασμα πως εξετάζοντας ως σύνολο τη ζωοπλαγκτονική αναπνοή της λίμνης, μπορεί να χαρακτηριστεί ως σταθερή κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής και φθινοπωρινής περιόδου, καθώς και στις αρχές της χειμερινής, γεγονός που καλύπτει το πρώτο σκέλος του σκοπού της συγκεκριμένης έρευνας.

Αξίζει να σημειωθεί σ' αυτό το σημείο πως εξαιτίας του μικρού μέσου βάθους της λίμνης, όλοι οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί δραστηριοποιούνται στην εύφωτη ζώνη και σε παρόμοια θερμοκρασιακά επίπεδα. Συνεπώς η κατακόρυφη μεταβλητότητα είναι μηδαμινή.

Για το δεύτερο σκέλος του σκοπού της συγκεκριμένης εργασίας, ως ο κύριος βιολογικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τους ρυθμούς κατανάλωσης οξυγόνου, η μάζα (ή/και το μέγεθος σώματος), λήφθηκε και αυτή υπ' όψιν. Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου είναι μεγαλύτερος για οργανισμούς μεγαλύτερου μεγέθους (Banse 1982). Τα αποτελέσματα έδειξαν κάτι παρόμοιο, ότι υπήρχαν διαφορές στον ρυθμό κατανάλωσης στις τρεις τάξεις μεγέθους που χωρίστηκαν οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί μας, ωστόσο δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ώστε να οδηγήσουν στο συμπέρασμα πως υπάρχει αλλαγή του ρυθμού.

Σύμφωνα με τον Wetzel (1999), οι μικροζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί αναμένεται να έχουν υψηλότερους ρυθμούς αναπνοής (και μεταβολισμού) από μεγαλύτερους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς. Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής δείχνουν πως οι ρυθμοί στην λίμνη Κάρλα είναι παρόμοιοι και για τις τρεις κατηγορίες.

Παρατηρήθηκε όμως μια μικρή μεταβολή στο σημείο εκκίνησης και τερματισμού των καμπυλών κατανάλωσης οξυγόνου στις επιμέρους τάξεις. Ουσιαστικά οι μεγαλύτεροι οργανισμοί (<180μm) ξεκινούν να καταναλώνουν πιο

μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, ιδιαίτερα από τους μικρότερους, όπως αυτοί ήταν ορισμένοι κατά τη διάρκεια της πειραματικής μεθόδου (< 20 μm), και η δραστηριότητά τους σταματούσε λίγο πιο νωρίς, λόγω την πλήρους εξάντλησης του οξυγόνου. Ωστόσο, οι ρυθμοί και στις τρεις τάξεις παρέμεναν σταθεροί.

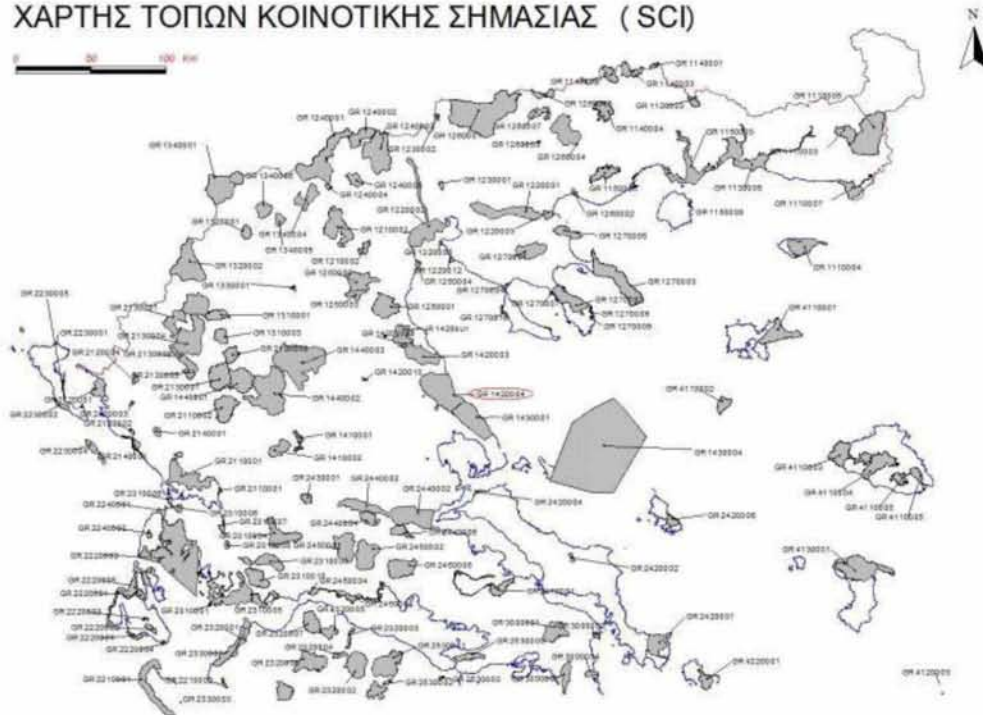
Αρχικά, στόχος της διατριβής ήταν να εξεταστούν οι ρυθμοί ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στη λίμνη Κάρλα στο σύνολο των οργανισμών για την θερινή και φθινοπωρινή περίοδο, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις όποιες θερμοκρασιακές και καιρικές μεταβολές λάμβαναν χώρα. Στη συνέχεια να εξεταστούν οι ρυθμοί κατανάλωσης οξυγόνου από συγκεκριμένες ομάδες ζωοπλαγκτονικών οργανισμών, που χωρίστηκαν με βάση τη βιβλιογραφία σε τρεις. Τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν, καθώς και η συζήτηση και τα συμπεράσματα που προέκυψαν παραπάνω έδειξαν πως οι ρυθμοί ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στη λίμνη Κάρλα ήταν σταθεροί για δυο τουλάχιστον εποχές του χρόνου, και συμφωνούν με αποτελέσματα υπάρχουσων μελετών για παρόμοιο θέμα σε ανάλογες λίμνες.

Η χρονική μεταβλητότητα, η οποία αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, δεν κατέστη δυνατόν να εξεταστεί για χρονική περίοδο ενός ή περισσότερων ετών για να οδηγήσει σε ασφαλέστερο συμπέρασμα, συμπληρωματικό στον σκοπό της έρευνας. Οι λίγο υψηλότεροι ρυθμοί κατά τους θερινούς μήνες και η μικρή μείωση που παρατηρήθηκε στους ρυθμούς ζωοπλαγκτονικής αναπνοής κατά την τελευταία (και χειμερινή) δειγματοληψία, οδηγεί στην υπόθεση πως ίσως η ζωοπλαγκτονική αναπνοή στη λίμνη Κάρλα αυξηθεί στους τους εαρινούς μήνες, καθώς η δεδομένη εύτροφη κατάστασή της και η παρουσία περίσσειας τροφής που παρατηρείται τότε, ίσως ευνοήσει τόσο την αύξηση του μεγέθους των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών, όσο και την κινητικότητά τους.

Το μικροζωοπλαγκτό, (μέγεθος: 10-200μm περίπου) αποτελεί σημαντικό τμήμα της συνολικής ζωοπλαγκτονικής βιομάζας σε μια ποικιλία υδάτινων περιβάλλοντων (Odate and Maita 1988; Tsuda *et al.* 1990; Booth *et al.* 1993; Boyd *et al.* 1995). Υπάρχουν δύο σημαντικοί ρόλοι των μικροζωοπλαγκτονικών οργανισμών στα υδατικά οικοσυστήματα. Ο ένας είναι το γεγονός πως συνθέτουν ένα τροφικό ενδιάμεσο μεταξύ των νανοπλαγκτονικών και μεσοζωοπλαγκτονικών οργανισμών (Gifford 1991; Gifford and Dagg 1991), και ο άλλος ρόλος είναι πως αποτελούν ένα δραστικό παράγοντα διευκόλυνσης της επαναοργανοποίησης των σωματιδιακών οργανικών υλικών εντός του επιφανειακού στρώματος (Ducklow *et al.* 1986; Sanders and Wickham 1993). Η τροφοληπτική δραστηριότητα των μικροζωοπλαγκτονικών οργανισμών πιθανόν να διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στη διατήρηση υψηλών επιπέδων θρεπτικών χλωροφύλλης (HNLC) στα υδάτινα περιβάλλοντα (Frost 1991; Miller *et al.* 1991).

Λόγω της σημαντικής αξίας που έχει η διατήρηση της λίμνης Κάρλας έχει περιληφθεί στο δίκτυο των Ελληνικών Προστατευμένων Περιοχών. Επίσης, η λίμνη Κάρλα αποτελεί περιοχή Κοινοτικού ενδιαφέροντος του Πανευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000 με τον κωδικό GR1420004, καθώς θεωρείται πολύ σημαντικό οικοσύστημα και σε σχέση με την βιοποικιλότητα της αλλά και εξαιτίας του γεγονότος της ανασύστασης της στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας (Εικ.3). Σύμφωνα και με την οδηγία 92/43 είναι αναγκαίο στην περιοχή αυτή να γίνει ειδικό διαχειριστικό σχέδιο, στο οποίο θα εξειδικεύονται συγκεκριμένες δράσεις και μέτρα διαχείρισης τα οποία θα στοχεύουν και θα πρέπει να διασφαλίζουν την καλή οικολογική κατάσταση του οικοσυστήματος.

ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΠΩΝ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ (SCI)



Εικόνα 3. χάρτης του Πανευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000, συμπεριλαμβανόμενης της λίμνης Κάρλας (Πηγή : Ιστότοπος Natura 2000)

Το κυριότερο εργαλείο για την λήψη αποφάσεων και την σωστή διαχείριση της λίμνης Κάρλας, αποτελεί η συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων της λίμνης και του ευρύτερου φυσικού περιβάλλοντος, με επαναλαμβανόμενη και συχνή παρακολούθηση καταμέτρησης διαφόρων φυσικοχημικών παραμέτρων, αλλά και κάποιων βιολογικών δεικτών.

Ανάμεσα στις φυσικές, χημικές, βιολογικές και οικολογικές παραμέτρους που πρέπει να παρακολουθούνται με μετρήσεις διαφορετικής περιοδικότητας, υπάρχουν και κάποιες που μπορούν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο και δίνουν μια γενικά ενδεικτική εικόνα της ποιότητας των υδάτων ανά πάσα στιγμή και οι οποίες μπορεί να είναι το pH, η αγωγιμότητα, η επιφανειακή θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο το οποίο εξετάστηκε και στην παρούσα διατριβή και η θολερότητα.

Ένα τέτοιο σύστημα παρακολούθησης, ουσιαστικά πιο εξελιγμένο και εκτενέστερο από την παρούσα διατριβή, καθώς και πλαισιωμένο με την απαραίτητη τεχνολογία, είναι σε θέση να δώσει πληροφορίες σχετικά με:

- Τα επίπεδα διακύμανσης των παραμέτρων ποιότητας υπό κανονικές συνθήκες και υπό συνθήκες πίεσης,
- Την ταυτοποίηση των ρυπογόνων εστιών,
- Την οικολογική κατάσταση της λίμνης κατά την χειμερινή περίοδο, ιδιαίτερα εστιάζοντας στον τομέα της παρούσας έρευνας,
- Την οικολογική κατάσταση της λίμνης κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου εμφανίζεται η άνθιση του φυτοπλαγκτού, το οποίο επηρεάζει τόσο τους ρυθμούς ανάπτυξης του ζωοπλαγκτού, όσο και τους ρυθμούς ζωοπλαγκτονικής αναπνοής που εξετάστηκαν,
- Την άμεση ειδοποίηση για οποιοδήποτε περιστατικό που δημιουργεί μια ραγδαία επιδείνωση των φυσικοχημικών παραμέτρων οι οποίοι με τη σειρά τους επηρεάζουν τους ρυθμούς ζωοπλαγκτονικής αναπνοής.

Επίσης, εκτός από την παρακολούθηση και την αποτίμηση των αβιοτικών στοιχείων της ποιότητας του νερού, η παρακολούθηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού και της βιομάζας των μακρόφυτων είναι αναγκαία για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης. Σε ότι αφορά τον έλεγχο του ευτροφισμού, ο οποίος αφορά άμεσα τόσο το φυτοπλαγκτόν, όσο και το ζωοπλαγκτόν, μπορεί να γίνει με περιορισμό και έλεγχο του είδους και των ποσοτήτων των θρεπτικών αλάτων και ιδίως του φωσφόρου, ίσως αποτέλεσμα τόσο της μείωσης του όγκου του νερού, όσο και της απελευθέρωσης του από το πλούσιο ίζημα της λίμνης που κυρίως λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες (Papadimitriou *et al.* 2011).

Καταλήγοντας, βασιζόμενοι και στη σχέση του κύκλου της ζωοπλαγκτονικής αναπνοής με τον κύκλο του άνθρακα (Κεφ. 1), η κατανόηση και παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής του ζωοπλαγκτού, συνδυασμένη με τις μεταβολές στη δομή και διάρθρωση των «κοινοτήτων» του και της βιομάζας του σε διάφορες χωροχρονικές κλίμακες στην υδάτινη στήλη της λίμνης Κάρλας, είναι ουσιώδους σημασίας καθώς μπορεί να δια φωτίσει το ρόλο της ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στον κύκλο του άνθρακα στο συγκεκριμένο υδάτινο σύστημα. Σε περίπτωση παρακολούθησης της κατάστασης της λίμνης Κάρλας, θα ήταν ευκαταίω να συμπεριλαμβάνονταν και η συστηματικότερη παρακολούθηση της ζωοπλαγκτονικής αναπνοής σε όλα τα επίπεδα. Σε μεγαλύτερη κλίμακα όμως, η ευρύτερη παρακολούθηση της ζωοπλαγκτονικής δραστηριότητας μπορεί να αναχθεί σε αφετηρία κατανόησης της ζωοπλαγκτονικής αναπνοής στον κύκλο του άνθρακα στα υδάτινα συστήματα του πλανήτη μας.

Οι διαδικασίες της δέσμευσης του άνθρακα μέσω της φυτοπλαγκτονικής φωτοσυνθετικής διεργασίας (πρωτογενής παραγωγή, PP) και η αναπνοή της ζωοκοινότητας (CR) είναι υπεύθυνες για σημαντικές ροές άνθρακα στα επιφανειακά ύδατα των υδάτινων συστημάτων. Τις τελευταίες 2 δεκαετίες, έχει γίνει όλο και πιο προφανές ότι ετεροτροφική βακτηριακή πρόσληψη του διαλυμένου οργανικού άνθρακα και η ετεροτροφική αναπνοή μπορούν επίσης να ευθύνονται για ένα επιπλέον σημαντικό τμήμα της συνολικής ροής άνθρακα στην εύρωτη ζώνη των ωκεανών και των λιμνών (del Giorgio *et al.* 1999; Cole 1998; Biddanda & Benner 1997b). Ο συνδυασμός μεταξύ αναπνοής και την πρωτογενούς παραγωγής, έχει εκτιμηθεί κυρίως σε ημερήσια κλίμακα. Η συσχέτιση ήταν γενικά ισχυρή στην oligοτροφικές και μεσοτροφικές λίμνες και ασθενέστερη σε εύτροφες λίμνες, όπως η λίμνη Κάρλα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση του πειράματος δεν

έλαβε χώρα σε ημερίσια κλίμακα και έτσι δεν υπάρχει ως αποτέλεσμα άμεση συσχέτιση της μετρούμενης ζωοπλαγκτονικής αναπνοής και της ροής άνθρακα στη λίμνη.

Η ακριβής ποσοτικοποίηση αυτών των διαδικασιών, οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων, ήταν και παραμένει ένας στόχος για περαιτέρω επιστημονική μελέτη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Γκατζιούρα Α., Κάγκαλου Ι., Λασπίδου Χ. και Λουκάς Α. (2012) ‘Ανάλυση πιέσεων στη «νέα» λίμνη Κάρλα με τη μεθοδολογία DPSIR’, 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σκιάθος, 8-10 Σεπτεμβρίου 2012
2. Κάγκαλου Ι., Κορμάς Κ. και Λασπίδου Χ. (2012) ‘‘Εκτίμηση της πίεσης ευτροφισμού στην υπο-ανασύσταση λίμνη Κάρλα: Είναι εφικτή η «καλή οικολογική κατάσταση» μέχρι το 2015;’’, 2ο κοινό συνέδριο EYE-ΕΕΔΥΠ, Πάτρα, 11-13 Οκτωβρίου.
3. Λουκάς Α. (2007a) «Ποιότητα του Νερού στους Ταμιευτήρες», Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διδακτικές Σημειώσεις.
4. Μούμου, Χ. (2007) ‘Η δράση των χειμάρρων της λεκάνης της Κάρλας σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον’, Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.
5. Μουστάκα – Γούνη Μ. (1997) Ωκεανογραφία μία βιολογική προσέγγιση Τομ. Ι σελ. 159-162, 213-215. Εκίν. Θεσσαλονίκη.
6. Μπαμπινιώτης Γ. (2002) Λεξικό της νέας Ελληνικής γλώσσας. Δεύτερη έκδοση σελ. 2032. Κέντρο Λεξικολογίας Ε.Π.Ε., Αθήνα
7. Μπαρτζώκα – Τσιόμπρα Μ., Ψύλλος Ι. (2011) Ιστορική αναδρομή της υπό επανασύσταση λίμνης Κάρλας και επιχειρηματικό πλάνο για την ανάδειξη της περιοχής. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 256

8. Παπανίκος Ν. (2008) Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα Θεσσαλίας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
9. Παπανίκος Ν., Ψιλοβίκος Αρ., Σαπουντζής Μ., Ματσιώρη Σ. (2009) Τα έργα επανασύστασης και λειτουργίας της λίμνης Κάρλας (Θεσσαλία) και ο πολλαπλός σκοπός της. Πρακτικά του κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ – ΕΕΔΥΠ, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων σε Συνθήκες Κλιματικών Αλλαγών, Τόμος Ι, σελ. 59 – 66, Βόλος, Μάιος 2009.
10. Τζατζιος Γ. (2010) Λίμνη Κάρλα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 139
11. Τσαβέ, Π. (2007) Η λίμνη Κάρλα διδάσκει... επιχειρηματολογία, Μακρινίτσα Πηλίου: Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας
12. ΥΠΕΧΩΔΕ (2002). Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, Τμήμα Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη Κάρλας – Μαυροβούνιου – Κεφαλόβρυσου-Βελεστίνο, Τεύχος Ι & ΙΙ, Αθήνα 2002.
13. Ψιλοβίκος Αντ. (1996) Εγγειοβελτιωτικά έργα και επιπτώσεις στο περιβάλλον. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με τίτλο: Εγγειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση Γεωργίας, Τόμος Α, Σελ. 417 – 428, Λάρισα, Απρίλιος 1996.

B. Διεθνής Βιβλιογραφία

14. Algesten G, Sobek S, Bergstrom AK, Agren A, Tranvik LJ, Jansson M (2004) Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Glob Change Biol* 10:141–147

15. Anraku M (1964) Influence of the Cape Cod Canal on the hydrography and on the copepods in Buzzards Bay and Cape Cod Bay, Massachusetts, II. Respiration and Feeding. *Limnol. Oceanogr.*, 9: 195-206
16. Banse K (1982) Mass- scaled rates of respiration and intrinsic growth in very small invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 9: 267-283
17. Bates NR, Mathis JT (2009) The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO₂ exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks. *Biogeosciences* 6:2433–2459
18. Bender ML, Dickson M-L, Orchardo J (2000) Net and gross production in the Ross Sea as determined by incubation experiments and dissolved O₂ studies. *Deep-Sea Res II* 47:3141–3158
19. Benoy G, Cash K, McCauley E, Wrona F (2007) Carbon dynamics in lakes of the boreal forest under a changing climate. *Environ Rev* 15:175–189
20. Biddanda B. and R. Benner (1997b) Major contribution from mesopelagic plankton to heterotrophic metabolism in the upper ocean. *Deep Sea Res., Part I*, 44, 2069-2085
21. Blenckner T (2005) A conceptual model of climate-related effects on lake ecosystems. *Hydrobiologia* 533:1–14
22. Booth B. C., J. Lewin and R. Postel (1993) Temporal variation in the structure of autotrophic and heterotrophic communities in the subarctic Pacific. *Prog. Oceanogr.*, 32, 57–99
23. Borges AV, Delille B, Schiettecatte LS, Gazeau F, Abril G, Frankignoulle M (2004) Gas transfer velocities of CO₂ in three European estuaries (Randers Fjord, Scheldt, and Thames). *Limnol Oceanogr* 49:1630–1641

24. Boyd P.W., S. Strom, F.A. Whitney, S. Doherty, M.E. Wen, P. J. Harrison, C. S. Wong and D.E. Varela (1995) The NE subarctic Pacific in winter: I. Biological standing stocks. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 128, 11–24
25. Breed GA, Jackson GA, Richardson TL (2004) Sedimentation, carbon export and food web structure in the Mississippi River plume described by inverse analysis. *Mar Ecol Progr Ser* 278:35–51
26. Caraco NF, Cole JJ (2004) When terrestrial material is sent down the river: the importance of allochthonous carbon inputs to the metabolism of lakes and rivers. In: Polis GA, Power ME, Huxel GR (eds) *Food webs at the landscape level*. University of Chicago Press, Chicago, pp 301–316
27. Carignan R., Planas D., and Vis C. (2000) Planktonic production and respiration in oligotrophic Sheld lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 189-199
28. Childress JJ (1975) The respiratory rates of midwater crustaceans as a function of depth of occurrence and relation to the oxygen minimum layer off southern California. *Comp. Biochem. Physiol.*, 50A: 787-799
29. Clarke A. (1987) The adaptation of aquatic animals to Low temperatures. In B.W.W. Grout and G.J. Morris (eds) *The Effects of low Temperatures on Biological Ecosystems*. Edward Arnold, London, pp.315-348
30. Cole JJ, Caraco NF, Kling GW, Kratz TK (1994) Carbon-dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science* 265:1568–1570
31. Cole J.J. and N F. CARACO (1998) Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF₆. *Limnol. Oceanogr.* 43: 647–656

32. Cole JJ, Pace ML, Carpenter SR, Kitchell JF (2000) Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations. *Limnol Oceanogr* 45:1718–1730
33. Davenport J, Trueman ER (1985) Oxygen uptake and buoyancy in zooplanktonic organisms from the tropical eastern Atlantic. *Comp. Biochem. Physiol.*, 81A: 857-863
34. DeCoursey PJ (1983) Biological timing. In FJ Vernberg and WB Vernberg (eds) *The Biology of Crustacea*. Academic Press, New York, pp 107-162
35. del Giorgio PA, Cole JJ, Caraco NF, Peters RH (1999) Linking planktonic biomass and metabolism to net gas fluxes in northern temperate lakes. *Ecology* 80:1422–1431
36. Dodds WK, Cole JJ (2007) Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: it's not just the autotrophs. *Aquat Sci* 69:427–439
37. Duarte CM, Regaudie-de-Gioux A (2009) Thresholds of gross primary production for the metabolic balance of marine planktonic communities. *Limnol Oceanogr* 54:1015–1022
38. Ducklow H.W., D.A. Purdie, P.J. L. Williams and J.M. Davies (1986) Bacterioplankton: a sink for carbon in a coastal marine plankton community. *Science*, 232, 865–867
39. Duval WS and Geen GH (1976) Diel feeding and respiration rhythms in zooplankton. *Limn. Oceanogr.*, 21: 823-829
40. Fisher SG, Likens GE (1973) Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol Monogr* 43:421–439

41. Frankignoulle M, Abril G, Borges A, Burge I, Canon C, Delille B, Libert E, Theate J-M (1998) Carbon dioxide emission from European estuaries. *Science* 282:434–436
42. Frost B. W. (1991) The role of grazing in nutrient-rich areas of the open sea. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1616–1630
43. Gaarder T, Gran HH (1927) Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapp Et Proc Verg Cons Int Explor Mer* 42:1–48
44. Gazeau F, Borges AV, Barron C, Duarte CM, Iversen N, Middelburg JJ, Delille B, Pizay MD, Frankignoulle M, Gattuso JP (2005a) Net ecosystem metabolism in a micro-tidal estuary (Randers Fjord, Denmark): evaluation of methods. *Mar Ecol Progr Ser* 301:23–41
45. Gerakis P.A., Koutrakis E.T. (1996) Greek Wetlands. Greek Center for Biotopes – Wetlands (EKBY), Athens, Greece
46. Gifford D.J. (1991): The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. *J. Protozool.*, 38, 81–86
47. Gifford D.J. and M.J. Dagg (1991): The microzooplankton mesozooplankton link: consumption of the planktonic protozoa by the calanoid *Acartia tonsa* Dana and *Neocalanus plumchrus* Murukawa. *Mar. Microb. Food Web.*, 5, 161–177
48. Gifford D.J. and Caron D.A. (2000) Sampling, preservation, enumeration and biomass of marine zooplankton. In R. Harris *et al.* (eds) *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press, San Diego, pp. 193-221
49. Green RE, Bianchi TS, Dagg MJ, Walker ND, Breed GA (2006) An organic carbon budget for the Mississippi River turbidity plume and plume

- contributions to air–sea CO₂ fluxes and bottom water hypoxia. *Estuaries Coasts* 29:579–597
50. Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M. (2000) Zooplankton Methodology Manual. ICES.p. 3-5
51. Hopkinson CS, Giblin AE, Tucker J, Garritt RH (1999) Benthic metabolism and nutrient cycling along an estuarine salinity gradient. *Estuaries* 22:863–881
52. Ikeda T (1985) Metabolic Rates of epipelagic marine zooplankton as a function of body mass and temperature. *Mar. Biol.*, 85: 1-11
53. Ikeda T, Torres JJ, Hernandez-Leon S, and Geiger SP (2000) Metabolism. In RP Harris, PH Wiebe, J Lenz, HR Skjoldal and M Huntley (eds) ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press, San Diego, pp. 455-532
54. Ikeda T, Kanno Y, Ozaki K, and Shinada A (2001) Metabolic rates of epipelagic marine copepods as a function of body mass and temperature. *Mar Biol.*, 139: 587-596
55. Jonsson A, Algesten G, Bergstrom AK, Bishop K, Sobek S, Tranvik LJ, Jansson M (2007) Integrating aquatic carbon fluxes in a boreal catchment carbon budget. *J Hydrol* 334:141–150
56. Karen H., Wiltshire and Maarten Boersma (2006) Coastal Plankton, Germany. Photo guide for European Seas.p 10-15
57. Kemp WM, Testa JM (2011) Metabolic balance between ecosystem production and consumption. In: Wolansky E, McLusky D (eds), *Treatise on estuarine and coastal science*, vol 7, chap 6. Elsevier Ltd., Oxford (in press)
58. Kenney BE, Litaker W, Duke CS, Ramus J (1988) Community oxygen-metabolism in a shallow tidal estuary. *Estuar Coast Shelf Sci* 27:33–43

59. Kennish M.J. (2001) Practical handbook of Marine Science, Vol.I. (ed. Kennish, M. J.), p. 876.CRC. N. Jersey
60. Kioerboe T and Sainz E (1995) Planktivorous feeding in calm and turbulent environments with emphasis on copepods. Mar. Ecol. Prog. Ser., 122: 35-45
61. Kokkinos K., Loukas A. (2010) Collaborative migration, coupling and simulation of water resources models through OpenMI. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. DOI 10.1109/WETICE.2010.32
62. Lance J (1965) Respiration and osmotic behavior of the copepod *Acartia tonsa* in diluted sea waters. Comp. Biochem. Physiol., 14: 155-165
63. Loukas A., Mylopoulos N., Vasiliades L., Tarnanas H., Polykretis J., Dimitriou A. (2005) Sustainable water resources management in Pinios river and lake Karla basins, Thessaly, Greece. 6th International Conference. Menton, 7 – 10 September 2005
64. Luz B, Barkan E (2000) Assessment of oceanic productivity with the triple-isotope composition of dissolved oxygen. Science 288:2028–2031
65. Mickel TJ and Childress JJ (1978) The effect of pH on oxygen consumption and activity in the bathypelagic mysid *Gnathophausia ingens*. Biol. Bull., 154:138- 147
66. Miller C.B., B.W. Frost, P.A. Wheeler, M.R. Landry, N.Welschmeyer and T. M. Powell (1991) Ecological dynamics in the subarctic Pacific a possibly iron-limited ecosystem. Limnol. Oceanogr., 36, 1600–1615
67. Moustaka E., Mylopoulos N., Loukas A. (2002) Assessment of the restored lake Karla operation under different hydrological and water demand scenarios.

- Proceedings of the 6th International Conference of Protection and Restoration of the Environment; July 1 –July 5; Skiathos, Greece pp: 207-215
68. Najjar RG., Keeling RF. (2000). Mean annual cycle of the air-sea oxygen flux: a global view. *Global Biogeochem Cycles* 14:573–584
69. Nybakken W.J. (2001) *Marine biology an ecological approach*, Vol. I (ed. Dutton, H.) p. 516. Benjamin Cummings. San Francisco
70. Odate T. and Maita Y. (1988) Seasonal changes in the biomass of zooplankton and their food requirement in Funka Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 44, 228–234
71. Odum HT. (1956) Primary production in flowing waters. *Limnol Oceanogr* 1:102–117
72. Odum HT (1957). Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. *Ecol Monogr* 27:55–112
73. Odum EP. (1971). *Fundamental of ecology*. W.B. Saunders, Philadelphia
74. Oikonomou A., Katsiapi M., Berillis P., Moustaka-Gouni M., Kormas K.A. (2010) Microbial gangs are taking over the water column of a reconstructed lake. 14th International Conference on Harmful Algal Blooms, Crete, 01-05/11/2010
75. Omori M. and Ikeda T. (1984). *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley and Sons., New York, 332pp
76. Ostrom N.E., Carrick HJ, Twiss M.R, Piwinski L. (2005) Evaluation of primary production in Lake Erie by multiple proxies. *Oecologia* 144:115–124
77. Papadimitriou Th., Kagalou I., Bacopoulos V., Leonardos I. D. (2010) ‘Accumulation of Microcystins in Water and Fish Tissues: An Estimation of

- Risks Associated with Microcystins in Most of the Greek Lakes',
Environmental Toxicology, 25 (4): 418– 427
78. Perakis K., Papadelis G., Athanasiadis P., Makri S., Makris E., Patouna A. (2012) 'Integrated Local Pilot Development Plan for the Protected Area of Karla Lake', Project: Creative sustainable management, territorial compatible marketing and environmental education To Be Parks, Editor: Unit of Computer Science Applications in Spatial Planning, Department of Planning and Regional Development, School of Engineering, University of Thessaly.
79. Peters RH (1983) *The ecological implications of body size*. Cambridge University Press, Cambridge
80. Quay PD, Wilbur DO, Richey JE, Devol AH (1995) The 18O:16O of dissolved oxygen in rivers and lakes in the Amazon Basin: determining the ratio of respiration to photosynthesis rates in freshwaters. *Limnol Oceanogr* 40:718–729
81. Rothchild BJ, and Osborn TR (1988) Small- scale turbulence and plankton contact rates. *J. Plankton Res.*, 10: 465-474
82. Russ ME, Ostrom NE, Gandhi H, Ostrom PH (2004) Temporal and spatial variations in R:P ratios in Lake Superior, an oligotrophic freshwater environment. *J Geophys Res* 109:1–16
83. Sanders IA, Heppell CM, Cotton JA, Wharton G, Hildrew AG, Flowers EJ, Trimmer M (2007) Emission of methane from chalk streams has potential implications for agricultural practices. *Freshw Biol* 52:1176–1186
84. Sanders R.W. and S.A. Wickham (1993) Planktonic protozoa and metazoa: predation, food quality and population control. *Mar. Microb. Food Webs*, 7, 197–223

85. Sargent MC, Austin TS (1949) Organic productivity of an atoll. *Trans Am Geophys Union* 30:245–249
86. Sargent MC, Austin TS (1954) Biologic economy of coral reefs. Bikini and nearby atolls. *US Geol Survey Profess* 260E:293–300
87. Sarma VVSS, Abe O, Hashimoto S, Hinuma A, Saino T (2005) Seasonal variations in triple oxygen isotopes and gross oxygen production in the Sagami Bay, central Japan. *Limnol Oceanogr* 50:544–552
88. Schmoker C and Hernandez-Leon S (2003) The effect of food on the respiration rates of *Daphnia magna* using a flow through system. *Sci. Mar.* 67: 361-365
89. Sidiropoulos P., Folia S., Mylopoulos N., Loukas A. (2008) «A coupled surface hydrology – lake – groundwater modeling framework for the lake Karla basin», PRE9: Protection and Restoration of the Environment, Kefalonia, Greece.
90. Smith SV, Hollibaugh JT (1993) Coastal metabolism and the oceanic organic carbon balance. *Rev Geophys* 31:75–89
91. Sobek S, Tranvik LJ, Cole JJ (2005) Temperature independence of carbon dioxide supersaturation in global lakes. *Global Biogeochem Cycles* 19:1–10
92. Tait R. V., Dipper F.A. (1998) *Elements of marine ecology*. Vol. I, p. 462 Butterworth Heinemann. Oxford.
93. Testa JM, Kemp WM (2008) Variability of biogeochemical processes and physical transport in a partially stratified estuary: a boxmodeling analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 356:63–79

94. Tod C. D., Laverack M. S. and Boxshall G.A. (1996) Coastal marine zooplankton. Second edition, Vol. I, p. 106, Cambridge University Press, Cambridge
95. Tobias CR, Bolke JK, Harvey W (2007) The oxygen-18 isotope approach for measuring aquatic metabolism in high-productive waters. *Limnol Oceanogr* 52:1439–1453
96. Tsuda A., K. Furuya and T. Nemoto (1990) Feeding of micro and macrozooplankton at the subsurface chlorophyll maximum in the subtropical North Pacific. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 132, 41–52
97. Vadeboncoeur Y, Lodge DM, Carpenter SR (2001) Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* 82:1065–1077
98. Vasiliades L., Loukas A., Patsonas G. (2009) Evaluation of a statistical downscaling procedure for the estimation of climate change impacts on droughts. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (9) pp 879-894.
99. Venkiteswaran JJ, Schiff SL, Wassenaar LI (2008) Aquatic metabolism and ecosystem health assessment using dissolved O₂ stable isotope diel curves. *Ecol Appl* 18:965–982
100. Wetzel R.G (1983) *Limnology* 2nd Ed. Saunders Coll. Philadelphia. 860pp
101. Wetzel R.G. (1999) *Limnology : Lake and River Ecosystems*. 3rd Ed. Academic Press, San Diego (in press)
102. Williamson CE, Dodds W, Kratz TK, Palmer MA (2008) Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Front Ecol Environ* 6:247–254

103. Zalidis G., Takavakoglou V., Panoras A., Bilas G., Katsavouni S.
(2004) Re-establishing a sustainable wetland at former Lake Karla, Greece,
using Ramsar restoration guidelines. *Environmental Management* 34:875-886.

C. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

104. <http://www.boebes-karla.gr/sites/03.html> (Πρόσβαση 20/05/2012)
105. <http://www.fdkarlas.gr/history.htm> (Πρόσβαση 14/06/2012)
106. <http://www.e-karla.com/history/history.html> (Πρόσβαση 19/04/2012)
107. http://www.ekby.gr/ekby/el/EKBY_Natura2000_el.html (Πρόσβαση
12/3/2012)
108. <http://www.usgs.gov/> (Πρόσβαση 21/06/2012)

6. ABSTRACT

This thesis was carried out during the year 2012, as part of the Postgraduate Master Program "Sustainable Management of Water Environment", Department of Ichthyology and Aquatic Environment, University of Thessaly. It refers to zooplanktonic organisms of Lake Karla and the rates of oxygen consumption those present in the water column. Sampling occurred from June 2012 (summer period) until December of that year (Winter period) regarding a temperature variation in the data collection. The temperature levels ranged from about 30 ° C to 13 ° C, for both the water column, and air.

The purpose of this paper is to study and monitor the rate of oxygen consumption by zooplankton organisms lake ecosystem Karla consisting a seasonal analysis level and the analysis of oxygen consumption rate, based both on proportionally size classes of zooplankton organisms and on temperature variations.

It was at first fitted to examine the rate of zooplanktonic respiration of the whole bunch of zooplanktonic organisms, regardless of size, and secondary in three separate groups divided into three respective size classes (<180 µm, <20 µm, <2 µm). The method used, was the Winkler method of incubation, time scaled within a maximum of 48 hours.

The analytical results obtained from the sampling were processed into statistical data processing software (SPSS, STATGRAPH) and the analysis led to a number of conclusions concerning the oxygen consumption of the zooplanktonic organisms, observing the consumption rate and its comparison in relation to the temperature variations and the selected size categories.

As main conclusions can be noted that the rates of oxygen consumption show a steady ratio and a certain stability, both for the different size classes, and at each temperature

conditions, with the latter being the main factor that determines the rate of oxygen consumption.

The new lake Carla is a very important wetland, not only because of its re-establishment in the former Lake Karla, but for the use intended indeed, so it needs immediate monitoring of abiotic and biotic parameters, the part of which are examined in this study.

Key words : lake Karla, respiration, metabolism, zooplanktonic organisms, oxygen consumption ratio