



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ-ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΚΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ
ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΤΟΞΙΚΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ
Σμαράγδα Δούκα**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Βαρδάκα Ελισάβετ**

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2012

**Στη μητέρα μου Αγαθή
Στη γιαγιά μου Σμαράγδα**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, Τμήμα Τεχνολογίας - Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών (Παράρτημα Νέων Μουδανιών) κατά την περίοδο 2011-2012.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ Ελισάβετ Βαρδάκα που δέχτηκε να αναλάβει την επίβλεψη, καθώς και για την βοήθεια και την καθοδήγηση της ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία η εργασία.

Ευχαριστώ από καρδιάς την κουμπάρα μου Αθηνά η οποία μου πρόσφερε στέγη και εργασία στα Νέα Μουδανιά, καθώς και ηθική συμπαράσταση ώστε να μπορέσω να πραγματοποιήσω την εργασία μου.

Ευχαριστώ πολύ των συνάδελφο Χατζαρόπουλο Θανάση οποίος πραγματοποιούσε τις δειγματοληψίες στη λίμνη Παμβώτιδα και μου έστειλε τα δείγματα αυθημερόν και του οποίου η βοήθεια ήταν καθοριστική για την πραγματοποίηση της έρευνας.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή και υπεύθυνο της κατεύθυνσης των υδατοκαλλιεργειών κύριο Ιωάννη Πάσχο για την μεταδοτικότητα του και τον τρόπο διδασκαλίας του καθώς και όλους τους διδάσκοντες του Π.Μ.Σ. που μας εμπλούτισαν με τις πολύτιμες γνώσεις τους.

Τέλος θέλω να πω ότι αισθάνομαι πολύ τυχερή που μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με τα κυανοβακτήρια των οποίων τη σημαντικότητα αγνοούσα.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	7
1.1.1. Δομή και Λειτουργία	7
1.1.2. Συστηματική κυανοβακτηρίων	8
1.1.3. Άνθιση του νερού	9
1.1.4. Κυανοτοξίνες	10
1.1.5. Ανθρώπινη Έκθεση – Όρια Ασφάλειας	12
1.2. ΤΟΞΙΚΕΣ ΑΝΘΙΣΕΙΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	13
1.3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	14
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ	16
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	16
2.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	20
2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ	21
2.4. ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	22
2.5. ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	22
2.6. ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	22
2.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΟΓΚΟΥ	23
2.8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	24
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	25
3.1 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ	25
3.1.1. Θερμοκρασία νερού	25
3.1.2. pH Νερού	26
3.1.3. Βάθος εύφωτης ζώνης	27
3.2. ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ	28
3.2.1. Σύθεση Ειδών	28
3.2.1.1. Ταξινομικοί προσδιορισμοί	28
3.3. Αφθονία κυανοβακτηρίων	37
3.3.1. <i>Aphanocapsa</i> , <i>Aphanothece</i> , <i>Cyanodictyon</i>	37
3.3.2. <i>Microcystis</i>	38
3.3.3. <i>Anabaena affinis</i>	39
3.3.4. <i>Anabaena flos-aquae</i>	40
3.3.5. <i>Aphanizomenon issatschenkoi</i>	40
3.3.6. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	41
3.3.7. <i>Oscillatoriales</i>	42
3.4. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	43
3.4.1. <i>Aphanocapsa</i> , <i>Aphanothece</i> , <i>Cyanodictyon</i>	43
3.4.2. <i>Microcystis</i>	43
3.4.3. <i>Anabaena affinis</i>	44
3.4.4. <i>Anabaena flos-aquae</i>	45
3.4.5. <i>Aphanizomenon issatschenkoi</i>	46

3.4.6. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	47
3.4.7. <i>Oscillatoriales</i>	47
3.4.8. Επικρατούντα Κυανοβακτήρια	48
3.4.9. Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια	48
3.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	50
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52
4.1 ΦΥΣΙΚΕΣ-ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	52
4.1.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	52
4.1.2 ΒΑΘΟΣ ΕΥΦΩΤΗΣ ΖΩΝΗΣ	53
4.1.3. <i>pH</i> ΝΕΡΟΥ	54
4.2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ	54
4.3. ΑΦΘΟΝΙΑ - ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ – ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΑ ΕΙΔΗ	56
4.3.1. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	57
4.3.2. ΑΝΘΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	58
4.3.3. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΟΜΑΔΩΝ ΚΥΑΝΟΦΥΚΩΝ	59
4.4. ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	61
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	68
Ελληνική Βιβλιογραφία	79
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	79

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η σύνθεση των πλαγκτικών κυανοβακτηρίων και οι χρονικές μεταβολές της αφθονίας και της βιομάζας τους κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιανουάριος – Νοέμβριος 2011 στη λίμνη Παμβώτιδα. Επίσης, λόγω των διαφόρων δραστηριοτήτων αναψυχής (π.χ. κολύμβησης, κωπηλασία, κτλ.), που λαμβάνουν χώρα στη λίμνη Παμβώτιδα, διερευνήθηκε ο κίνδυνος που ενέχεται για την ανθρώπινη υγεία από την παρουσία κυανοβακτηρίων στο νερό.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αναγνωρίστηκαν 11 taxa κυανοβακτηρίων τα οποία ανήκουν σε τρεις τάξεις κυανοβακτηρίων. 5 taxa ανήκουν στη τάξη Chroococcales, 4 είδη ανήκουν στην τάξη Nostocales, και 2 είδη ανήκουν στην τάξη Oscillatoriales, 5 από τα οποία είναι γνωστά για την παραγωγή τοξινών.

Τα επικρατούντα κυανοβακτήρια κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιανουαρίου – Μαΐου 2011, ανήκουν στα γένη *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanodictyon*. Από τον Ιούνιο μέχρι το Νοέμβριο στη στήλη του νερού επικρατούν κυρίως κυανοβακτήρια του γένους *Microcystis*. Επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιος – Αύγουστος) στη στήλη του νερού επικρατεί και το κυανοβακτήριο *Anabaena affinis*.

Κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου η συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων εμφάνισε χρονική μεταβλητότητα, σε όλη τη στήλη του νερού της λίμνης Παμβώτιδας. Επίσης, κάθε κυανοβακτήριο ξεχωριστά διέφερε ως προς την εποχιακή παρουσία και τις πλυθησμιακές μεταβολές τους. Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας παρατηρήθηκε συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων από το Φεβρουάριο μέχρι τον Νοέμβριο. Υψηλότερες τιμές της βιομάζας τους παρατηρούνται τους μήνες από Ιούνιο έως Νοέμβριο.

Σύμφωνα με τα θεσπισμένα όρια από τον Π.Ο.Υ. για χρήση του νερού για αναψυχή, στη λίμνη Παμβώτιδα εκτιμάται ότι η υπάρχει Μικρή – Μέτρια πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ πιθανές βραχυπρόθεσμες ή/και μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις όπως δερματικοί ερεθισμοί ή γαστρεντερικές διαταραχές μπορεί να παρατηρηθούν κατά τους θερινούς μήνες όπου παρατηρείται άνθιση του νερού.

ABSTRACT

In this study we investigated the composition of plankton cyanobacteria and temporal changes of abundance and biomass during the period January-November 2011 in Lake Pamvotis. Also, due to various leisure activities (eg bathing, boating, etc.), taking place on the lake, we investigated the risk posed to human health from the presence of cyanobacteria in the water.

During the present study identified 11 taxa of cyanobacteria belonging to three orders of cyanobacteria. 5 taxa belong to the class Chroococcales, the 4 species belong to the class Nostocales and 2 species belong to the class Oscillatoriales, witch 5 of those are known to produce toxins.

The dominant cyanobacteria (contribution > 10% of the total biomass of cyanobacteria) during the period January - May 2011, belonging to the genera *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanodictyon*. From June to November the water column expressed predominantly cyanobacteria of the genus *Microcystis*. Additionally during the summer (June-August) in the water there and the cyanobacterium *Anabaena affinis* .

During the annual cycle of biomass of cyanobacteria showed temporal variability throughout the water column of the lake.

According to the limits set by WHO for use of water for recreation, Lake Pamvotis is estimated that there is a Small - Medium propability of danger to human health, and possible short term and / or long-term adverse effects such as skin irritation or gastro-intestinal disturbances may be present during the summer months.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ

Τα κυανοβακτήρια είναι μια ομάδα μονοκύτταρων ή πολυκύτταρων φωτοσυνθετικών προκαρυωτικών οργανισμών. Λόγω της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας, αυτοί οι μικροοργανισμοί, ήταν πιθανόν οι πρώτοι πρωτογενείς παραγωγοί της οργανικής ύλης και οι πρώτοι οργανισμοί που απελευθέρωσαν στοιχειακό οξυγόνο στην πρωτόγονη ατμόσφαιρα (Bartram et al., 1999).

1.1.1 Δομή και Λειτουργία

Τα κυανοβακτήρια συναντώνται ως μονοκύτταρες, αποικιακές και νηματοειδής (απλές ή διακλαδισμένες) μορφές (Komárek & Anagnostidis, 1999). Ως προκαρυώτες δεν διαθέτουν μεμβρανικές δομές και οργανίδια, ούτε διακριτό πυρήνα (Fog et al., 1973). Πολλά μονοκύτταρα, αποικιακά ή νηματοειδή κυανοβακτήρια διαθέτουν ένα φάκελο εξωτερικά της κυτταρικής τους μεμβράνης που ονομάζεται θήκη, γλυκοκάλυκας ή κάψουλα. Πρόκειται για λεπτά ή παχιά, διακριτά μορφολογικά, βλεννώδη στρώματα περιφερειακά των κυττάρων ή των τριχωμάτων τα οποία εκκρίνονται από τα κύτταρα και δεν αποτελούν μέρος του κυτταρικού τοιχώματος (Komárek & Anagnostidis, 1999).

Ορισμένα νηματοειδή κυανοβακτήρια όπως αυτά της τάξης των Nostocales παρουσιάζουν υψηλότερο επίπεδο κυτταρικής διαφοροποίησης δηλαδή εκτός από τα βλαστητικά τους κύτταρα σχηματίζουν επίσης ετεροκύτια και ακινέτια (ή έμμονα κύτταρα). Τα ετεροκύτια είναι κύτταρα με παχύ κυτταρικό τοίχωμα και υαλώδη πρωτοπλάστη (Fog et al., 1973; Fay, 1983). Τα ακινέτια είναι κύτταρα μεγάλου μεγέθους με παχύ τοίχωμα (Komárek & Anagnostidis, 1999). Πολλά είδη διαθέτουν έναν ακόμα τύπο κυτταρικών εγκλείστων τα αεροτόπια (Fay, 1983). Τα αεροτόπια είναι ομάδες κυστιδίων αέρα ορατές στα

κύτταρα ως φιαόχρωμες, διαθλαστικές ακανόνιστες δομές που δίνουν στα κυανοβακτήρια τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την πλευστότητα τους (Komárek & Anagnostidis, 1999). Παρέχουν στα πλαγκτικά είδη οικολογικά σημαντικό μηχανισμό που τους επιτρέπει να ρυθμίζουν την κατακόρυφη κίνηση τους στη στήλη του νερού (Komárek & Anagnostidis, 1999).

Τα κυανοβακτήρια αναπαράγονται αγενώς και ανάλογα με τη μορφολογία τους με διχοτόμηση, κατάτμηση τριχώματος ή με ορμογόνα (Komárek & Anagnostidis, 1999). Τα κυανοβακτήρια συμβιώνουν με μύκητες, ασπόνδυλα (σπόγγους) και φυτά (λειχήνες, βρυόφυτα, περιδόφυτα, γυμνόσπερμα, αγγειόσπερμα), (Fay, 1983).

1.1.2. Συστηματική κυανοβακτηρίων

Τα κυανοβακτήρια συμπεριλαμβάνονται στον Διεθνή Κώδικα Βοτανικής Ονοματολογίας (ICBN) (Greuter et al., 1994 από Mur et al., 1999), ως κλάση Cyanophyceae και στον Διεθνή Κώδικα Ονοματολογίας των Βακτηρίων (ICNB) (Sneath, 1992 από Mur et al., 1999), ως κλάση Oxyphotobacteria.

Για τη συστηματική των κυανοβακτηρίων έχουν αναπτυχθεί έως τώρα διάφορα ταξινομικά συστήματα. Το πιο πρόσφατο σύστημα ταξινόμησης είναι των Anagnostidis και Komárek (Anagnostidis & Komárek, 1985; Komárek & Anagnostidis, 1986; Anagnostidis & Komárek, 1988; Komárek & Anagnostidis, 1989; Komárek & Anagnostidis, 1999; Komárek, 2003) το οποίο βασίζεται μεταξύ άλλων σε μορφολογικά, φυσιολογικά, γενετικά και οικολογικά γνωρίσματα των κυανοβακτηρίων που προέρχονται τόσο από φυσικούς πληθυσμούς όσο και από καλλιέργειες (Anagnostidis & Komárek, 1985). Σύμφωνα με αυτό το ταξινομικό σύστημα, τα κυανοβακτήρια διαιρούνται στις εξής πέντε κλάσεις: Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales και Stigonematales.

1.1.3. Άνθιση του νερού

Ο όρος άνθιση του νερού (waterbloom) ή κυανοβακτηριακός ανθός αναφέρεται στη μαζική συσσώρευση πλαγκτικών κυανοβακτηρίων στο επιφανειακό στρώμα του νερού κατά τη διάρκεια της περιόδου που αυτά σχηματίζουν σημαντικούς πληθυσμούς (Reynold & Walsby, 1975). Κατά τη διάρκεια της άνθισης του νερού συχνά παρατηρείται ανομοιόμορφη οριζόντια κατανομή των κυανοβακτηριακών ανθών οι οποίοι με τον κυματισμό του νερού είναι δυνατόν να συσσωρεύονται στην ακτή σχηματίζοντας μία επιφανειακή κυανοπράσινη κρούστα (Εικόνα 1).



Εικ. 1 Κυανοβακτηριακή κρούστα στη λίμνη Παμβώτιδα
(Φώτο: <http://assets.in.gr/assetservice/Image.ashx>)

Ο ευτροφισμός των επιφανειακών εσωτερικών νερών αποτελεί κύριο παράγοντα σχηματισμού του κυανοβακτηριακού ανθού (Reynolds & Walsby, 1975). Σε ένα κυανοβακτηριακό ανθό μπορεί να συμμετέχουν πολλά είδη κυανοβακτηρίων, συχνά όμως επικρατεί ένα. Τα είδη που συνήθως επικρατούν είναι τοξικά (Carmichael, 1992).

1.1.4. Κυανοτοξίνες

Τα είδη των κυανοβακτηρίων που παράγουν τοξίνες ανήκουν στα γένη: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Hapalosiphon*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Nobularia*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, *Scizothrix*, *Umezakia*, (Carmichael, 1992; Sivonen & Jones, 1999), *Anabeonopsis* (Lanaras & Cook, 1994) και *Aphanocapsa* (Domingo et al., 1999). Έκθεση θηλαστικών, ψαριών και πτηνών σε κυανοτοξίνες έχει συσχετιστεί με επεισόδια τοξίνωσης και θανάτου, ενώ επίσης έχουν αναφερθεί συμβάντα τοξίνωσης και θανάτου ανθρώπων είτε λόγω πόσης νερού είτε λόγω χρήσης νερού για αναψυχή (Kuiper-Goodman et al., 1999, Sivonen & Jones, 1999).

Με βάση τη βιολογική τους δράση οι κυανοτοξίνες διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες (Sivonen, 1996):

α) Ηπατοτοξίνες, οι οποίες έχουν ηπατοτοξική δράση. Διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες κυανοβακτηριακών ηπατοξινών:

- **Μικροκυστίνες.** Οι μικροκυστίνες απομονώθηκαν για πρώτη φορά από το *Microcystis aeruginosa* από όπου πήραν και το όνομα τους (Carmichael, 1992). Πρόκειται για κυκλικά επταπεπτιδία μικρού μοριακού βάρους (Carmichael, 1992). Έχουν προσδιοριστεί περίπου 60 διαφορετικές Μικροκυστίνες (Sivonen & Jones, 1999). Τα κυανοβακτήρια που έχουν βρεθεί να παράγουν μικροκυστίνες ανήκουν στα γένη *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanocapsa*, *Planktothrix* (Sivonen & Jones, 1999).
- **Νοντουλαρίνες.** Οι νοντουλαρίνες απομονώθηκαν πρώτη φορά από το κυανοβακτήριο των υφάλμηνων νερών *Nodularia spumigena* από όπου πήραν και το όνομα τους (Carmichael, 1992). Οι νοντουλαρίνες είναι κυκλικά πενταπεπτιδία. Το κυανοβακτήριο *N. spumigena* είναι ο μοναδικός μέχρι σήμερα γνωστός οργανισμός που παράγει νοντουλαρίνες (Sivonen & Jones, 1999).
- **Κυλινδροσπερμοψίνη.** Η κυλινδροσπερμοψίνη απομονώθηκε πρώτη φορά από το κυανοβακτήριο *Cylindrospermopsis raciborskii* από όπου

πήρε και το όνομα της (Ohtani et al., 1992; Hawkins et al., 1997). Η κυλινδροσπερμοψίνη είναι αλκαλοειδής (Sivonen, 1996). Τα κυανοβακτήρια που έχουν βρεθεί να παράγουν κυλινδροσπερμοψίνη ανήκουν στα γένη *Cylindrospermopsis*, *Umezakia*, *Aphanizomenon* (Sivonen & Jones, 1999).

β) Νευροτοξίνες, οι οποίες έχουν νευροτοξική δράση. Διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες κυανοβακτηριακών νευροτοξινών:

- **Ανατοξίνη-α**. Η ανατοξίνη-α απομονώθηκε για πρώτη φορά από το κυανοβακτήριο *Anabaena flos-aquae* (Carmichael, 1994), από όπου πήρε και το όνομα της. Πρόκειται για μια αλκαλοειδής δευτεροταγής αμίνη (Carmichael, 1992). Ανατοξίνη-α έχει αναφερθεί ότι παράγουν κυανοβακτήρια που ανήκουν στα γένη *Anabaena*, *Oscillatoria* και *Aphanizomenon* (Sivonen & Jones, 1999).
- **Ανατοξίνη-α (S)**. Απομονώθηκε από στέλεχος του *Anabaena flos-aquae* από όπου πήρε και το όνομα της (Carmichael, 1992). Η ανατοξίνη-α (S) είναι αλκαλοειδής. Μέχρι σήμερα, ανατοξίνη-α(S) έχει βρεθεί ότι παράγει το κυανοβακτήριο *Anabaena flos-aquae* (Sivonen & Jones, 1999).
- **Σαξιτοξίνες ή PSP-τοξίνες**. Οι σαξιτοξίνες είναι αλκαλοειδή. Μέχρι σήμερα 16 διαφορετικές σαξιτοξίνες έχουν απομονωθεί από κυανοβακτήρια που ανήκουν στα γένη *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Cylindrospermopsis* και *Lyngbya* (Sivonen & Jones, 1999).

γ) Δερματοτοξίνες και γαστροεντερικές, οι οποίες προκαλούν δερματίτιδες και γαστροεντερικές διαταραχές. Διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Απλυσιατοξίνη και Διβρωμοαπλυσιατοξίνη**. Είναι αλκαλοειδείς ενώσεις που παράγονται από κυανοβακτήρια που ανήκουν στα γένη *Lyngbya*, *Scizothrix* και *Oscillatoria* (Sivonen & Jones, 1999).
- **LPS-τοξίνες**. Είναι λιποσακχαρίτες του κυτταρικού τοιχώματος των κυανοβακτηρίων και μπορούν να προκαλέσουν γαστροεντερικές διαταραχές, αλλεργικές και ερεθιστικές αντιδράσεις σε ανθρώπους και ζώα. Όλα τα γένη κυανοβακτηρίων παράγουν LPS-τοξίνες (Sivonen & Jones, 1999).

1.1.5. Ανθρώπινη Έκθεση – Όρια Ασφάλειας

Η παρουσία τοξικών κυανοβακτηρίων σε υδάτινα συστήματα που χρησιμοποιούνται για ύδρευση και αναψυχή αποτελούν παράγοντα κινδύνου για την υγεία του ανθρώπου (Carmichael, 1994).

- Η έκθεση σε τοξικά κυανοβακτήρια μέσω του πόσιμου νερού οδηγεί είτε σε οξείες είτε σε χρόνιες επιδράσεις για την υγεία του ανθρώπου (Bartram et al., 1999).
- Οι πιθανοί οδοί έκθεσης στις κυανοτοξίνες μέσω δραστηριοτήτων αναψυχής είναι: 1) η άμεση επαφή εκτεθειμένων μερών του σώματος, 2) ακούσια κατάποση και 3) εισπνοή σταγονιδίων νερού (Falconer et al., 1999). Τα συχνότερα συμπτώματα στη υγεία του ανθρώπου από τη ακούσια έκθεση σε κυανοτοξίνες κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων αναψυχής είναι οι δερματικοί ερεθισμοί και τα εξανθήματα, οφθαλμικοί ερεθισμοί, αλλεργικές αντιδράσεις, διάρροια, εξέμεση, στοματικά έλκη και πυρετός (Falconer et al., 1999; Pilotto et al., 1997)..

Η παρουσία κυανοτοξινών σε υδάτινα συστήματα αντιμετωπίζεται σοβαρά σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) προσδιόρισε κρίσιμα όρια συγκεντρώσεων κυανοβακτηρίων (αφθονία ή βιομάζα) ή/και κυανοτοξινών για τον έλεγχο της ασφάλειας, ανάλογα με το αν το υδάτινο οικοσύστημα χρησιμοποιείται:

- για υδροδότηση (**Πλαίσιο Ορίων Συναγερμού- Alert Levels Framework**), (Bartram et al., 1999)
- για αναψυχή (**Ουδοί Καθοδήγησης – Guidance Levels**) (Falconer et al., 1999)

Πρόκειται για όρια συγκεντρώσεων κυανοβακτηρίων βάσει των οποίων εκτιμάται η κατάσταση των υδάτων, οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία και προτείνονται μια σειρά μέτρων παρακολούθησης και διαχείρισης ανάλογα με την περίπτωση (Bartram et al., 1999; Falconer et al., 1999).

1.2. ΤΟΞΙΚΕΣ ΑΝΘΙΣΕΙΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Άνθιση του νερού σε εσωτερικά υδάτινα συστήματα της Ελλάδας έχει αναφερθεί στις λίμνες Βιστωνίδα, Κερκίνη, Βόλβη, Κορώνεια, Δοϊράνη, Μικρή Πρέσπα, Καστοριά, Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών, Παμβώτιδα, Αμβρακία, Τριχωνίδα (Βαρδάκα 2001; Cook et al., 2004; Gkelis et al., 2005; Vardaka et al., 2005; Moustaka-Gouni et al., 2006, 2007, 2009; Papadimitriou et al., 2010; Kormas et al., 2010; 2011). Παράγοντες του Μεσογειακού κλίματος, όπως η υψηλή θερμοκρασία και η χαμηλή βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ευνοούν την ανάπτυξη των κυανοβακτηριακών ανθών, ιδιαίτερα σε εύτροφες λίμνες (Vardaka et al. 2005).

Τα είδη των κυανοβακτηρίων που απαντώνται πιο συχνά στους κυανοβακτηριακούς ανθούς που συλλέχθηκαν από ελληνικά υδάτινα συστήματα ανήκουν στα γένη *Microcystis* και *Anabaena* (Βαρδάκα 2001; Cook et al., 2004; Vardaka et al., 2005). Τα γένη αυτά είναι γνωστά ότι παράγουν ηπατοτοξίνες και νευροτοξίνες (Sivonen & Jones, 1999). Έρευνες σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν δείξει ότι το 50% των κυανοβακτηριακών ανθών είναι τοξικοί (Carmichael 1992). Στον Ελλαδικό χώρο, τα τελευταία χρόνια, λίμνες που γειτνιάζουν με πόλεις ή οικισμούς και εμφανίζουν έντονες ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. άρδευση, θέσεις τροφής ή πόσης κτηνοτροφικών ζώων, ψάρεμα, κολύμβηση, ύδρευση) αποτέλεσαν αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος που αποσκοπούσε στην εκτίμηση της έκτασης και της σοβαρότητας των προβλημάτων ποιότητας του νερού που προκαλούνται από την παρουσία τοξικών κυανοβακτηρίων και των τοξινών τους (Lanaras et al., 1989, Cook et al., 2004, Gkelis et al., 2005, Vardaka et al., 2005; Papadimitriou et al., 2010). Στην Ελλάδα βρέθηκε ότι το 100% των δειγμάτων κυανοβακτηριακών ανθών που ελέχθησαν ήταν ηπατοτοξικοί (Lanaras et al., 1989; Cook et al., 2004; Gkelis et al., 2005; Papadimitriou et al., 2010).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας οι συγκεντρώσεις των ηπατοτοξινών στο νερό υδάτινων συστημάτων όπως οι αστικές λίμνες Καστοριά και Παμβώτιδα μπορεί να φτάσει σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, ενώ

θανατηφόρες τοξινώσεις για τον άνθρωπο δεν μπορούν να αποκλειστούν (Γκέλης, 2006). Άξιο ιδιαίτερης προσοχής αποτελεί και το γεγονός ότι στις παραπάνω λίμνες συγκεντρώσεις ηπατοτοξινών ικανών να προκαλέσουν προβλήματα ανιχνεύτηκαν σε ιστούς εδώδιμων ζωικών οργανισμών, ακόμη και αν η κατανάλωση αυτών δεν γίνεται σε καθημερινή συχνότητα (Cook et al., 2004; 2005; Gkelis et al., 2006; Papadimitriou, et al., 2012a; 2012b).

Τα κυανοβακτήρια κατέχουν σημαντικό ρόλο όσον αφορά την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των υδάτων και αποτελούν βασικό στοιχείο για την εφαρμογή της οδηγίας 2000/60EC4 η οποία βρίσκεται σε διαδικασία εφαρμογής στη χώρα μας (Vardaka et al., 2005; Kagalou & Leonardos, 2009). Στην Ελλάδα παρότι τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι υπάρχει κίνδυνος ακόμα και για οξείες τοξινώσεις από τα κυανοβακτήρια, δεν υπάρχει διαχείριση των υδάτινων συστημάτων σε σχέση με την οικολογική ποιότητα και τη συγκέντρωση των κυανοτοξινών (Cook et al., 2005).

1.3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην αστική και εύτροφη λίμνη Παμβώτιδα (Kagalou et al., 2001) έχουν παρατηρηθεί συχνές ανθίσεις κυανοβακτηρίων (Vardaka et al., 2005) και έχουν αναφερθεί προβλήματα από τη παρουσία κυανοτοξινών τόσο στο νερό (Gkelis et al., 2005; Kagalou et al., 2008; Papadimitriou et al., 2010; 2011) όσο και σε εδώδιμους ιστούς αλιευμάτων (Gkelis et al., 2006; Papadimitriou et al., 2012a; 2012b). Διαχειριστικά μέτρα όπως η ύπαρξη ενημέρωσης του κοινού σχετικά με την αποφυγή επαφής με τους κυανοβακτηριακούς ανθούς ή η απαγόρευση κολύμβησης, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, έχουν προταθεί (Γκέλης 2006), χωρίς ανταπόκριση.

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετηθεί σε μεγάλη χρονική κλίμακα, (κατά τη διάρκεια του έτους 2011):

- η σύνθεση των πλαγκτικών κυανοβακτηρίων
- οι χρονικές μεταβολές της αφθονίας και της βιομάζας των κυανοβακτηρίων
- η παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων και
- η εκτίμηση του κινδύνου από την παρουσία κυανοβακτηρίων στο νερό, σύμφωνα με τα κρίσιμα όρια συγκεντρώσεων κυανοβακτηρίων (Ουδοί Καθοδήγησης – Guidanse Levels) που δίνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, όταν το νερό χρησιμοποιείται για αναψυχή.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

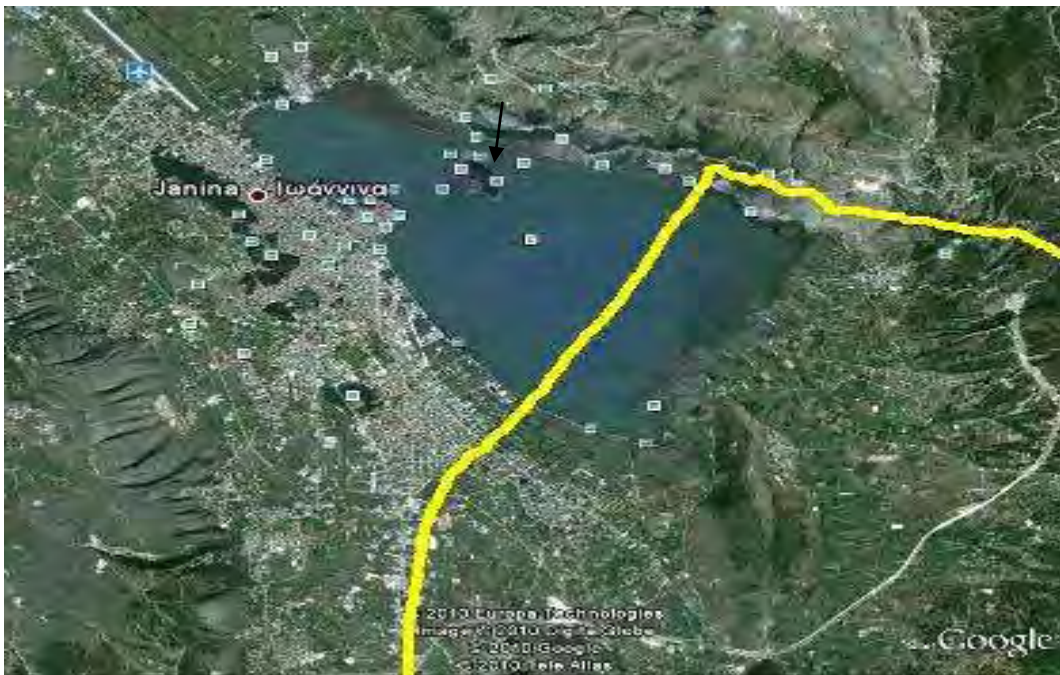
Η λίμνη Παμβώτιδα, γνωστή σήμερα και ως λίμνη των Ιωαννίνων βρίσκεται στη ΒΔ Ελλάδα ($39^{\circ}39'39''\text{N } 20^{\circ}51' \text{E}$), και σε υψόμετρο 470 m (Georgiadis et al., 2000). Έχει μήκος περίπου 8 km, πλάτος 5 km, μέσο βάθος 4-5 m, μέγιστο βάθος 10 m και επιφάνεια 22,8 km (Εικόνα 2), (Anagnostidis & Economou-Amilli 1980).

Από γεωλογικής άποψης η λίμνη είναι καρστική και δημιουργήθηκε από τη διάβρωση των ασβεστόλιθων σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη τεκτονική της περιοχής. Τροφοδοτείται υπόγεια με νερό από το καρστικό σύστημα του όρους Μπισικέλι. Η λίμνη δεν έχει φυσικές οδούς εκροής και η διατήρηση της στάθμης της σε σχετικά σταθερά επίπεδα γίνεται είτε ελεγχόμενα, είτε με φυσικούς τρόπους αποστράγγισης που διαθέτει η λίμνη από τον πυθμένα προς τους ποταμούς Λούρο, Άραχθο και Καλαμά (Romero & Imberger, 1999; Kagalou et al. 2009). Η λίμνη κατά τη χειμερινή περίοδο καλύπτει τις απώλειες νερού που παρατηρούνται κατά τη θερινή περίοδο των αρδεύσεων, ενώ το πλεονάζον νερό υπερχειλίζει και μέσω της τάφρου της Λαψίστας οδηγείται στον Καλαμά.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από κρύους και υγρούς χειμώνες με ημερήσιο μέσο όρο θερμοκρασίας $<0^{\circ} \text{C}$ και ζεστά ξηρά καλοκαίρια με θερμοκρασία που ξεπερνά τους 30°C . Κατά τη διάρκεια του έτους οι τιμές της βροχόπτωσης είναι υψηλές με ένα εύρος από 0.7-1.5 m. Οι περίοδοι όπου έχουμε μείωση των βροχοπτώσεων προκαλούνται από αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τη Μεσόγειο (Bartzokas & Metaxas 1995).

Η Παμβώτιδα είναι μια φυσική ρηχή λίμνη η οποία έχει χαρακτηριστεί ως ευτροφική (Anagnostidis & Economou-Amilli 1980), και θεωρείται και αστική λίμνη λόγω της γειτνίασης με την πόλη των Ιωαννίνων όπου εκτείνεται κατά

μήκος της δυτικής ακτογραμμής (Vardaka et al., 2005). Η λίμνη αποτελεί θέση αναπαραγωγής, τροφής και πόσης της άγριας πανίδας της περιοχής (Dafis et al., 1996) και επίσης παρατηρούνται στη λίμνη και στη γύρω περιοχή, πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες όπως άρδευση, αλιεία, γεωργία, ναυταθλητισμός και άλλες δραστηριότητες αναψυχής (Βαρδάκα 2001). Σύμφωνα με την οδηγία 92/43/ΕΟΚ, η λίμνη Παμβώτιδα έχει προταθεί ως σημαντική περιοχή κοινοτικού ενδιαφέροντος του Πανευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου «Φύση 2000» (Dafis et al., 1996). Ωστόσο ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που έγιναν στη λίμνη όπως παραλιακοί δρόμοι, τοιχία, μπαζώματα, οικοπεδοποίηση του πεδίου πλημμύρας της λίμνης είχαν αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και συνέβαλαν βαθμιαία στην αλλαγή της φυσικής παραλίας, στη μείωση της έκτασης της λίμνης, του συνολικού όγκου νερού της και τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού της (Ziogas et al., 1982; Stalikas et al., 1994).



Εικ. 2 Δορυφορική φωτογραφία της λίμνης Παμβώτιδας (www.Google.gr /epirusgate.blogspot.com)

Το καθεστώς διαχείρισης που ισχύει σήμερα για τους φυσικούς πόρους της περιοχής της λίμνης Παμβώτιδας προσδιορίζεται από:

- Τις ειδικές διατάξεις που αφορούν την συγκεκριμένη περιοχή

- Την εθνική νομοθεσία σχετικά με τη διαχείριση των προστατευόμενων περιοχών και
- Την υιοθέτηση και συμμόρφωση με τη νομοθεσία της ΕΕ.

Συγκεκριμένα, η διαχείριση της λίμνης Ιωαννίνων και των περιμετρικών αυτής περιοχών στηρίζεται στις ζώνες που προτάθηκαν με τη μελέτη : «Ανάπλαση-Ανάδειξη- Προστασία Λίμνης Παμβώτιδας Ιωαννίνων και των περιμετρικών αυτής περιοχών». Οι ζώνες αυτές θεσμοθετήθηκαν με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 22943/25-6-2003, περί «χαρακτηρισμού της χερσαίας και λιμναίας περιοχής της λίμνης Παμβώτιδας Ιωαννίνων, ως περιοχής οικοανάπτυξης καθορισμού περιφερειακής ζώνης προστασίας αυτής, χρήσεων, όρων και περιορισμών δόμησης».

Για τον καθορισμό των ζωνών στην απόφαση αυτή ελήφθησαν υπόψη οι θεσμοθετημένες χρήσεις γης που είναι στ Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο 1989 (ΦΕΚ 297Δ/17.5.89) και το Προεδρικό Διάταγμα του 1993 (ΦΕΚ 389/Δ/21.4.93) (ΟΙΚΟΣ- Διαχείριση Φυσικού Περιβάλλοντος ΕΠΕ – ΛΔΚ, Σχέδιο Διαχείρισης Λίμνης Παμβώτιδας Ιωαννίνων, Μάιος 2005), καθώς και η μελέτη «Αναθεώρησης - Επέκτασης Ζώνης Οικιστικού Ελέγχου (ΖΟΕ) Ιωαννίνων» του ΤΕΕ, Τμήμα Ηπείρου, (Νοέμβριος, 1996).

Επίσης, για τον καθορισμό των ζωνών προστασίας ελήφθησαν υπόψη και τα παρακάτω:

- Οι περιοχές που έχουν προταθεί για ένταξη στο δίκτυο Natura 2000 και βρίσκονται μέσα στην περιοχή μελέτης,
- Το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την περιοχή (η περιοχή της λίμνης και το νησί έχουν χαρακτηριστεί ως τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους),
- Οι σημαντικοί τύποι οικοτόπων που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης,
- Τα ενδημικά απειλούμενα είδη χλωρίδας και πανίδας που υπάρχουν στην περιοχή,
- Οι κοινωνικό – οικονομικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και η χωροταξική κατανομή αυτών, και
- Οι προγραμματιζόμενες και προβλεπόμενες εξελίξεις για την περιοχή.

Επιπλέον, η διαχείριση της λίμνης Παμβώτιδας στηρίζεται στο Νόμο 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος», που προβλέπει μεταξύ άλλων την προστασία της φύσης και του τοπίου. Στη συνέχεια με το Νόμο 3044/2002 ιδρύεται Φορέας Διαχείρισης με σκοπό διοίκηση και τη διαχείριση της προστατευόμενης περιοχής λίμνης Παμβώτιδας. Οι αρμοδιότητες του φορέα διαχείρισης ορίζονται από το Νόμο 2742/1999 και περιλαμβάνουν όλες εκείνες τις δραστηριότητες που συμβάλουν στη διατήρηση και προστασία των προστατευόμενων αντικειμένων της λίμνης Παμβώτιδας.

Σε ότι αφορά το θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων, οι βασικές αρχές-διαδικασίες της άσκησης των αντίστοιχων δράσεων θεσμοθετούνται για πρώτη φορά με τον Νόμο 1739/87. Ο νόμος αυτός εισάγει μια σύγχρονη αντίληψη αντιμετώπισης των υδατικών πόρων στην έρευνα, στη διοίκηση και στη καθημερινή πρακτική. Διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο και τους αναγκαίους μηχανισμούς για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας.

Επίσης υπάρχει και το υπό έκδοση σχέδιο Προεδρικού Διατάγματος «Χαρακτηρισμός της υδάτινης, χερσαίας, και ευρύτερης περιοχής της λίμνης Παμβώτιδας (Ιωαννίνων), ν. Ιωαννίνων, ως περιοχή 'Οικοανάπτυξης' με περιφερειακή ζώνη προστασίας και καθορισμός χρήσεων γης όρων και περιορισμών δόμησης».

Η λίμνη Παμβώτιδα και η ευρύτερη περιοχή περιλαμβάνουν Ζώνες Ειδικής Προστασίας για την ορνιθοπανίδα και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας με σημαντικούς οικοτόπους και είδη προτεραιότητας που διακρίνονται για την ιδιαίτερη αξία και ενδιαφέρον λόγω της ποιότητας των φυσικών και πολιτιστικών τους χαρακτηριστικών.

Το σχέδιο προεδρικού διατάγματος έχει σκοπό την προστασία, διατήρηση και διαχείριση της βιοποικιλότητας, της φύσης και του τοπίου, ως φυσικής κληρονομιάς και πολύτιμου εθνικού φυσικού πόρου, ώστε να διασφαλίζονται οι φυσικές διεργασίες, η βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων, η λειτουργία και η εξέλιξη των οικοσυστημάτων καθώς και η ποικιλομορφία, η ιδιαιτερότητα και

η μοναδικότητά τους στην υδάτινη, χερσαία και ευρύτερη περιοχή της Λίμνης Παμβώτιδας του νομού Ιωαννίνων.

Η ευρύτερη περιοχή της Λίμνης Παμβώτιδας ή Ιωαννίνων, με το χαρακτηρισμό της ως περιοχή «Οικοανάπτυξης, θα υπόκειται σε ενεργό διαχείριση για τη διασφάλιση της διατήρησης των προστατευόμενων τύπων οικοτόπων και ειδών που απαντώνται σε αυτή. Παράλληλα, θα δίνονται σημαντικές δυνατότητες για ανάπτυξη έργων και δραστηριοτήτων εναρμονισμένων με την προστασία της βιοποικιλότητας, της φύσης και του τοπίου.

Το προεδρικό διάταγμα υπό διαβούλευση, που στηρίζεται στο νόμο 1650/86, συντονίζει τις ποικίλες διατάξεις προστασίας της φύσης και του οικιστικού χώρου που ισχύουν στην περιοχή, σε ένα συνεκτικό θεσμικό πλαίσιο προστασίας της Παμβώτιδας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ανάγκες του ευαίσθητου οικοσυστήματος και του τοπίου όσο και τις ανάγκες της κοινωνίας της περιοχής για βιώσιμη ανάπτυξη.

2.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Δείγματα νερού συλλέχθηκαν με σκοπό τον ταξινομικό προσδιορισμό των κυανοβακτηρίων, την καταμέτρηση και υπολογισμό της βιομάζας τους. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από ένα πελαγικό σταθμό της λίμνης Παμβώτιδας (Εικ. 2) την περίοδο Ιανουάριος έως Νοέμβριος του 2011. Ο σταθμός βρισκόταν στο βαθύτερο σημείο της λίμνης (μέγιστο βάθος 6 m), νότια-ανατολικά του νησιού της λίμνης (εικόνα 2). Η συχνότητα των δειγματοληψιών ήταν μηνιαία και συνολικά πραγματοποιήθηκαν 11 δειγματοληψίες. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνταν πρωινές ώρες μεταξύ 10.00-13.00 πμ.

Η δειγματοληψία των δειγμάτων νερού έγινε με δειγματολήπτη νερού όγκου 1,5 l. Δείγματα νερού συλλέχθηκαν από δύο διαφορετικές ζώνες της στήλης του νερού:

- Δείγμα νερού της Εύφωτης Ζώνης: πρόκειται για ένα ενιαίο δείγμα νερού από όλο το ύψος της εύφωτης ζώνης. Για τη συλλογή του ενιαίου δείγματος ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα στάδια: α) αρχικά υπολογιζόταν με τη βοήθεια του δίσκου Secchi το ύψος της εύφωτης ζώνης (δες παρακάτω), β) στη συνέχεια με το δειγματολήπτη συλλέγονταν τρία διαφορετικά υποδείγματα νερού όγκου 1,5 l (ένα από την επιφάνεια της λίμνης, ένα από το μέσον του ύψους της εύφωτης ζώνης και ένα από το μεγαλύτερο βάθος της εύφωτης ζώνης), γ) τα 3 υποδείγματα νερού από όλο το βάθος της εύφωτης ζώνης (συνολικού όγκου 4,5 l) ομογενοποιούνταν αρχικά σε ένα πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 5 L και στη συνέχεια συλλεγόταν με τη βοήθεια ενός δοχείου ζέσεως το ενιαίο δείγμα της εύφωτης ζώνης, το οποίο εμβαπτιζόταν σε πλαστικό δοχείο των 500 ml.
- Δείγμα νερού του Πυθμένα: πρόκειται για ένα δείγμα νερού όγκου περίπου 1,5 l που συλλέχθηκε 1m πάνω από τον πυθμένα της λίμνης (μέγιστο βάθος πυθμένα 6m). Υποδείγμα μεταφερόταν σε πλαστικό δοχείο των 500 ml. Η συλλογή του δείγματος γινόταν με το δειγματολήπτη χωρίς να προκληθεί διατάραξη του ιζήματος του πυθμένα.

2.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ

Για τον υπολογισμό του βάθους της Εύφωτης ζώνης χρησιμοποιήθηκε δίσκος του Secchi διαμέτρου 250 mm, δεμένος σε βαθμονομημένο νήμα. Το βάθος της Εύφωτης ζώνης προσδιορίστηκε από το βάθος στο οποίο ο δίσκος του Secchi εξαφανίζεται κατά την καταβύθιση του στη στήλη του νερού (βάθος Secchi) χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο (Moustaka et al., 2007):

$$\text{Βάθος Εύφωτης Ζώνης} = \text{Βάθος Secchi} \times 2$$

Η θερμοκρασία του νερού μετρήθηκε *in situ* με υδραργυρικό θερμόμετρο. Το pH του νερού μετρήθηκε *in situ* με ειδικό kit (SERA pH-Test).

2.4. ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Τα δείγματα του νερού (δείγματα Εύφωτης Ζώνης και Πυθμένα) που προορίζονταν για τον ταξινομικό προσδιορισμό, την καταμέτρηση και τον υπολογισμό της βιομάζας των κυανοβακτηρίων, στερεώνονταν *in situ* με διάλυμα Lugol (20g KI, 10g I₂, 180ml απεσταγμένο νερό, 20 ml οξικό οξύ), (Rott 1981). Τα δείγματα τοποθετούνταν σε μη διαπερατό από το φως κουτί και αποστέλλονταν μέσα σε 24h στο εργαστήριο του Α.Τ.Ε.Ι. των Νέων Μουδανιών για περαιτέρω επεξεργασία.

2.5. ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η ταξινόμηση των κυανοβακτηρίων έγινε σε ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000U με στερεωμένο υλικό σύμφωνα με το ταξινομικό σύστημα των Anagnostidis & Komárek (1988), Komárek & Anagnostidis (1999). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα ταξινομικά συγράμματα και οι εργασίες των Huber-Pestalozzi (1938), Tikkanen (1986), Komárek & Kovacik (1989), Hindak & Moustaka-Gouni (1988), Li et al. (2000a), Li et al. (2000b), Hindak (2000), Komárkova-Lergenová & Eloranda (1992), Komárek (2003). Η λήψη των φωτογραφιών έγινε με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφικής βιντεοκάμερας τύπου NIKON, DS-5M-L1, η οποία ήταν συνδεδεμένη στο ανάστροφο μικροσκόπιο.

Τα κυανοβακτήρια που σύμφωνα με τους Sivonen & Jones (1999) αναφέρονται ότι παράγουν κυανοτοξίνες, χαρακτηρίζονται ως εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια.

2.6. ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η καταμέτρηση των κυανοβακτηρίων πραγματοποιήθηκε σε ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000-U. Για την καταμέτρηση των τριχωμάτων και των αποικιών των κυανοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν θάλαμοι καθίζησης των 5 ml και η καταμέτρηση έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο Utermohl (1958) και τη

τροποποίηση κατά Sandgren & Robinson (1984). Οι χρόνοι καθίζησης ήταν 24 ώρες.

Αρχικά για κάθε δείγμα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του θαλάμου στο ανάστροφο μικροσκόπιο ως προς την κατανομή, αφθονία και μέγεθος των οργανισμών. Η επιφάνεια του θαλάμου η οποία χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση των κυανοβακτηρίων καθώς και η μεγέθυνση του φακού εξαρτιόταν από το μέγεθος των οργανισμών και τον αριθμό των παρόντων ατόμων (αποικίες, τριχώματα).

Η καταμέτρηση των ατόμων έγινε με σάρωση όλου του θαλάμου και η αφθονία εκφράστηκε ως ο αριθμός ατόμων ml⁻¹ νερού. Ο αριθμός κυττάρων ανά αποικία των ατόμων της τάξης *Chroococcales* υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (Reynolds & Jaworski, 1978):

$$y = 0.0021 * \text{Διάμετρος αποικίας}^{2,8812}$$

Η μετατροπή του αριθμού των σπειροειδώς συνεστραμμένων ή περιελιγμένων τριχωμάτων των *Anabaena flos-aquae* σε αριθμό κυττάρων, έγινε με μέτρηση του αριθμού του συνόλου των σπειρών κάθε τριχώματος, της διαμέτρου και του αριθμού των κυττάρων από 30 σπείρες. Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε ο αριθμός κυττάρων ανα σπείρα ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή του αριθμού των σπειρών του κάθε τριχώματος σε αριθμό κυττάρων ανά τρίχωμα.

2.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΟΓΚΟΥ

Η τιμή του βιοόγκου των κυανοβακτηρίων προέκυψε από την μετατροπή των τιμών αφθονίας τους, αφού πρώτα έγινε ο υπολογισμός του μέσου κυτταρικού όγκου για κάθε οργανισμό. Ο μέσος κυτταρικός όγκος υπολογίστηκε μετά από τη μέτρηση των διαστάσεων 30 τουλάχιστον ατόμων (αποικιών, τριχωμάτων, νημάτων) από τα πιο άφθονα είδη και σύμφωνα με τους γεωμετρικούς τύπους των Hillebrant et al. (1999). Η μέτρηση των διαστάσεων των κυανοβακτηρίων

έγινε με τη βοήθεια προσαρμοσμένης κλίμακας, στην οθόνη του μικροσκοπίου. Η μετατροπή των κυτταρικών όγκων σε βιομάζα έγινε με βάση την παραδοχή ότι η μέση ειδική πυκνότητα του κυττάρου είναι 1g cm^{-3} (Rott, 1981).

2.8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Για την εκτίμηση του κινδύνου από την παρουσία κυανοβακτηρίων όταν το νερό της λίμνης χρησιμοποιείται για αναψυχή, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια ασφάλειας που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), (Bartram et al., 1999). Ειδικότερα, ο ΠΟΥ ορίζει τους ακόλουθους Ουδούς Καθοδήγησης που βασίζονται στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων: Ουδός Καθοδήγησης 1 (2 mg/l), Ουδός Καθοδήγησης 2 (10 mg/l) και Ουδός Καθοδήγησης 3 (σχηματισμός κυανοβακτηριακού ανθού – κρούστας σε περιοχές λουομένων).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ

3.1.1 Θερμοκρασία νερού

Υψηλές θερμοκρασίες νερού ($>20^{\circ}\text{C}$) καταγράφηκαν την περίοδο από Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο (θερμή περίοδος), ενώ χαμηλές τιμές ($<10^{\circ}\text{C}$) τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Νοέμβριο (Εικόνα 3).



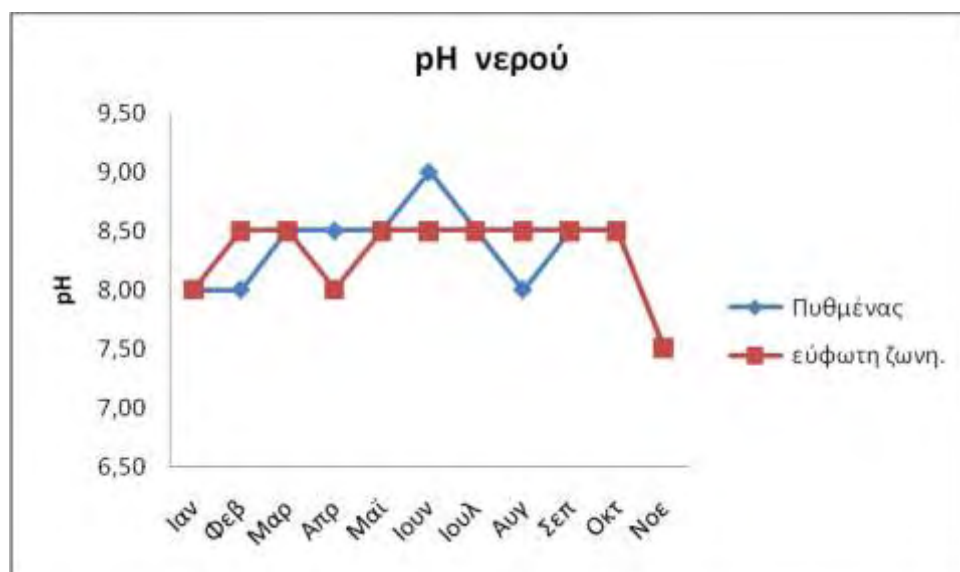
Εικ. 3 Χρονικές μεταβολές των τιμών της θερμοκρασίας του νερού της λίμνης Παμβώτιδας που μετρήθηκαν στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος έως Νοέμβριος 2011.

Παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία παρέμενε σταθερή σε χαμηλές τιμές τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο. Από τον Φεβρουάριο μέχρι τον Ιούνιο έχουμε σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας η οποία από τον Ιούνιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα. Από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Οκτώβριο υπάρχει μεγάλη πτώση των τιμών της θερμοκρασίας του νερού με σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μηνών.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές στη θερμοκρασία μεταξύ εύρωτης ζώνης και πυθμένα. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο ζώνες φτάνει τους 3 °C το μήνα Αύγουστο.

3.1.2. pH Νερού

Η τιμή του pH κυμάνθηκε από 7,5-9. Η χρονική και χωρική μεταβολή του pH στη λίμνη Παμβώτιδα δίνεται στην Εικόνα 4.



Εικ. 4 Χρονικές μεταβολές του pH του νερού στη λίμνη Παμβώτιδα στην εύρωτη ζώνη και στον πυθμένα τη χρονική περίοδο από τον Ιανουάριο έως τον Νοέμβριο του 2011.

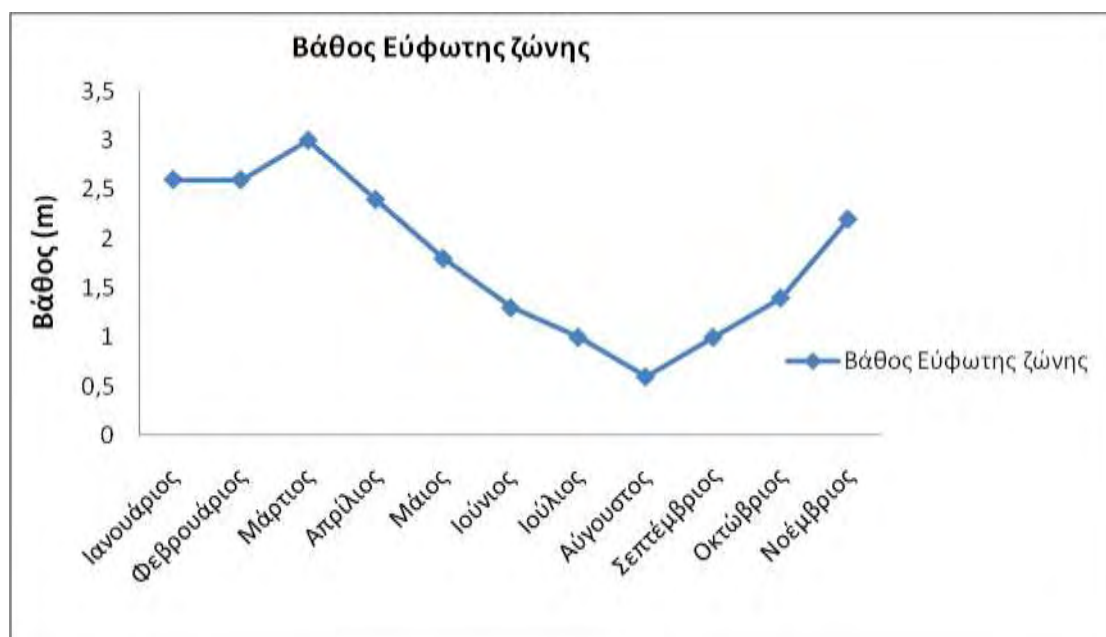
Οι τιμές του pH που καταγράφηκαν κατά τη περίοδο της δειγματοληψίας από τον Ιανουάριο έως το Νοέμβριο του 2011 κυμάνθηκαν από 7,5-9. Οι τιμές κατά τη διάρκεια αυτή είχαν πολύ μικρή μεταβολή στο ύψος της μισής μονάδας και μόνο μεταξύ Οκτωβρίου και Νοεμβρίου παρατηρούμε διαφορά της μιας μονάδας στο pH.

Όσον αφορά τις διακυμάνσεις του pH μεταξύ της εύρωτης ζώνης και του πυθμένα παραμένουν ίδιες εκτός από τους μήνες Απρίλιο Ιούνιο και Αύγουστο όπου έχουμε διαφορά μισής μονάδας. Η μεγαλύτερη τιμή στο pH καταγράφηκε τον Ιούνιο στο βάθος του πυθμένα ίση με 9 και η μικρότερη τιμή

ίση με 7,5 καταγράφηκε το Νοέμβριο τόσο στην εύρωτη ζώνη όσο και στον πυθμένα.

3.1.3 Βάθος εύρωτης ζώνης

Οι διακυμάνσεις στις τιμές του βάθους της εύρωτης ζώνης παρουσίασαν πολύ μεγάλες διαφορές, με το βάθος να κυμαίνεται από 0.60 – 3m (Εικ. 5). Η μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί και στη μεγαλύτερη διαύγεια του νερού παρατηρήθηκε τον μήνα Μάρτιο. Από το Μάρτιο και μετά παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του βάθους της εύρωτης ζώνης η οποία φτάνει στη ελάχιστη τιμή των 0.60 m τον Αύγουστο (μικρότερη διαύγεια του νερού). Από τον Αύγουστο και μετά παρατηρείται σταδιακή αύξηση του βάθους της Εύρωτης ζώνης η οποία ξεπερνάει το όριο των τιμών (>2 m) που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του χειμώνα 2011.



Εικ. 5 Τιμές του βάθους της εύρωτης ζώνης για τη περίοδο από Ιανουάριο έως Νοέμβριο 2011.

3.2.ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ

3.2.1. Σύνθεση Ειδών

3.2.1.1. Ταξινομικοί προσδιορισμοί

Προσδιορίστηκαν 11 είδη κυανοβακτηρίων (Πίνακας 1) τα οποία κατανέμονται σε τρεις τάξεις: Croococcales (5 είδη), Oscillatoriales (2 είδη) και Nostocales (4 είδη). Από αυτά 5 taxa είναι γνωστά από τη βιβλιογραφία ως εν δυνάμει τοξικά (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Κατάλογος ειδών κυανοβακτηρίων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα φυτοπλαγκτού που συλλέχθηκαν από τη λίμνη Παμβώτιδα κατά τη χρονική περίοδο Ιανουάριος έως Νοέμβριος 2011. Με (*) συμβολίζονται τα εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια.

Cyanophyceae

Chroococcales

1. *Aphanothece* sp.
2. *Aphanocapsa* sp.
3. *Cyanodictyon imperfectum*
4. *Microcystis aeruginosa**
5. *Microcystis* spp.*

Oscillatoriales

1. *Planktolyngbya limnetica*
2. *Limnothrix redekei*

Nostocales

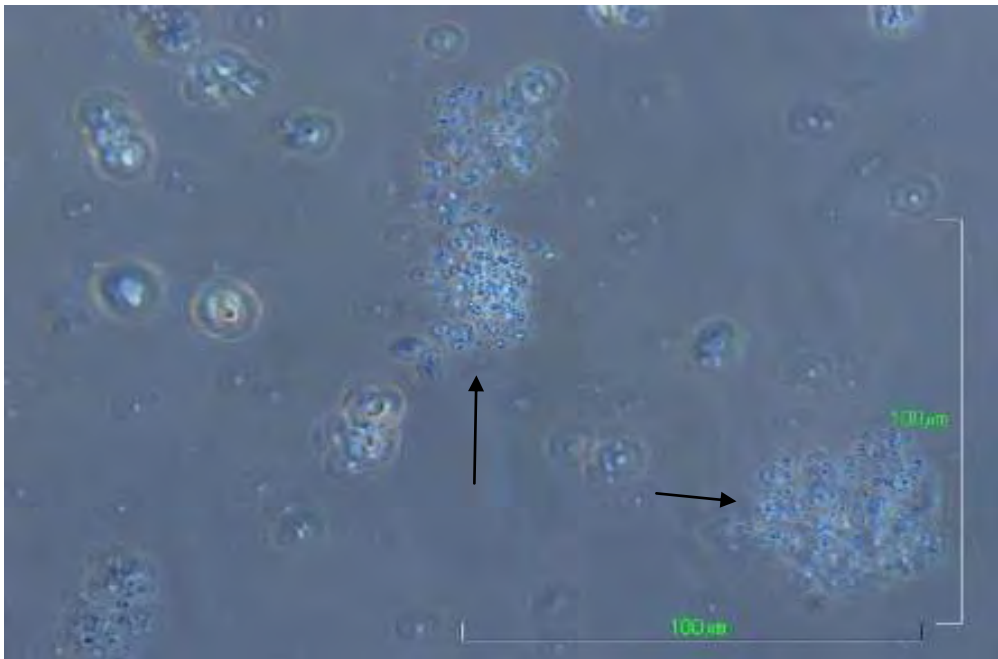
1. *Anabaena affinis*
2. *Anabaena flos-aquae**
3. *Aphanizomenon issatschenkoii**
4. *Aphanizomenon flos-aquae**

Τάξη *Chroococcales*

Aphanothece sp.

Τα είδη κυανοβακτηρίων που ανήκουν στο γένος *Aphanothece* έχουν συνήθως μπλε-πράσινο χρώμα. Οι αποικίες έχουν σχήμα σφαιρικό, ελλειψοειδές ή ακανόνιστο και περιβάλλονται από άχροο βλεννώδες περίβλημα. Τα βλαστητικά κύτταρα είναι ωοειδή ή κυλινδρικά, και ορισμένα είδη να διαθέτουν αεροτόπια (Komarek & Anagnostidis, 1999).

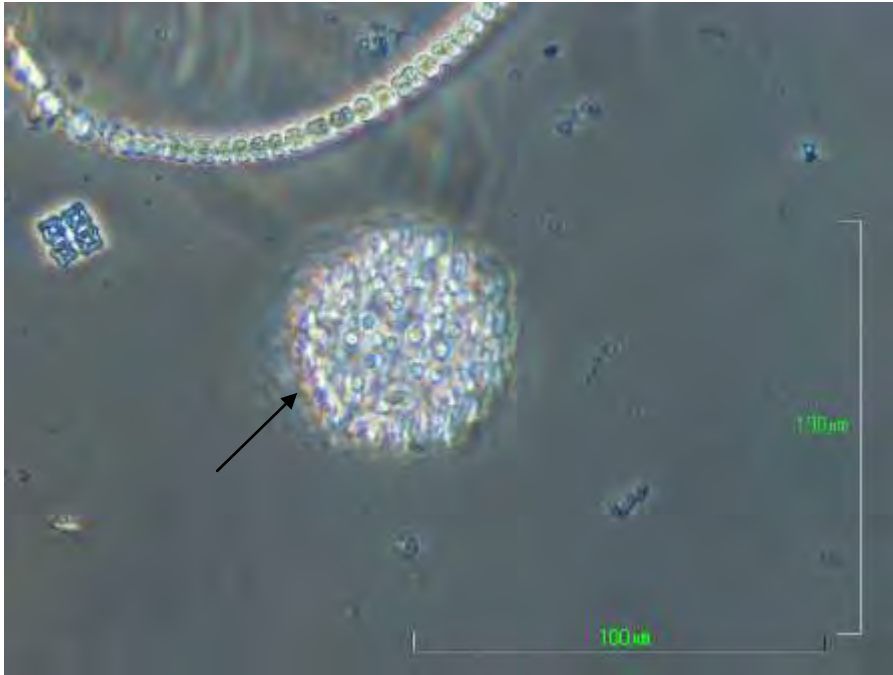
Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με αποικίες οι οποίες έχουν σχήμα σφαιρικό, ελλειψοειδές ή ακανόνιστο, με ωοειδή ή κυλινδρικά κύτταρα (Εικόνα 6.). Οι διαστάσεις των αποικιών κυμάνθηκαν από 10,37-97,47 μm.



Εικ. 6 *Aphanothece* sp. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Aphanocapsa sp.

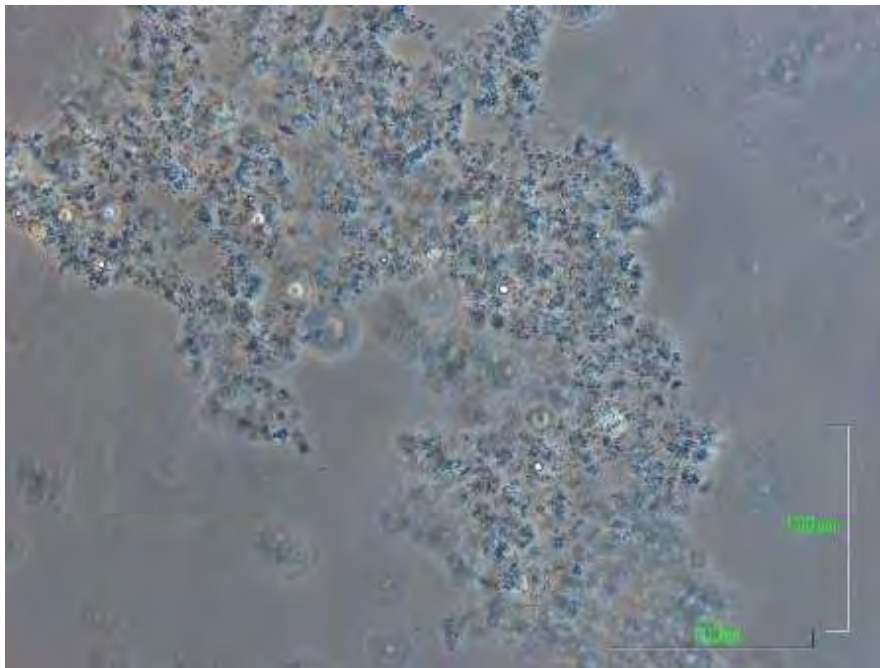
Οι αποικίες του *Aphanocapsa* sp. στη λίμνη Παμβώτιδα έχουν σχήμα σφαιρικό / ελλειψοειδές και περιβάλλονται από βλεννώδες περίβλημα. Τα βλαστητικά κύτταρα είναι σφαιρικά κύτταρα, χωρίς αεροτόπια και ακανόνιστα διατεταγμένα μέσα στην αποικία (Εικόνα 7). Η θήκη τους μπορεί να έχει δυσδιάκριτα όρια, αλλά έχει ένα εξωτερικό στρώμα χωρίς κύτταρα. Η διάμετρος των αποικιών είχε τιμές από 14,32-85,89 μm.



Εικ. 7 *Aphanocapsa* sp. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Cyanodictyon imperfectum

Το *Cyanodictyon imperfectum* είναι ένα από τα κοινά κυανοβακτήρια τα οποία σχηματίζουν αποικίες (Komarek & Anagnostidis 1999).



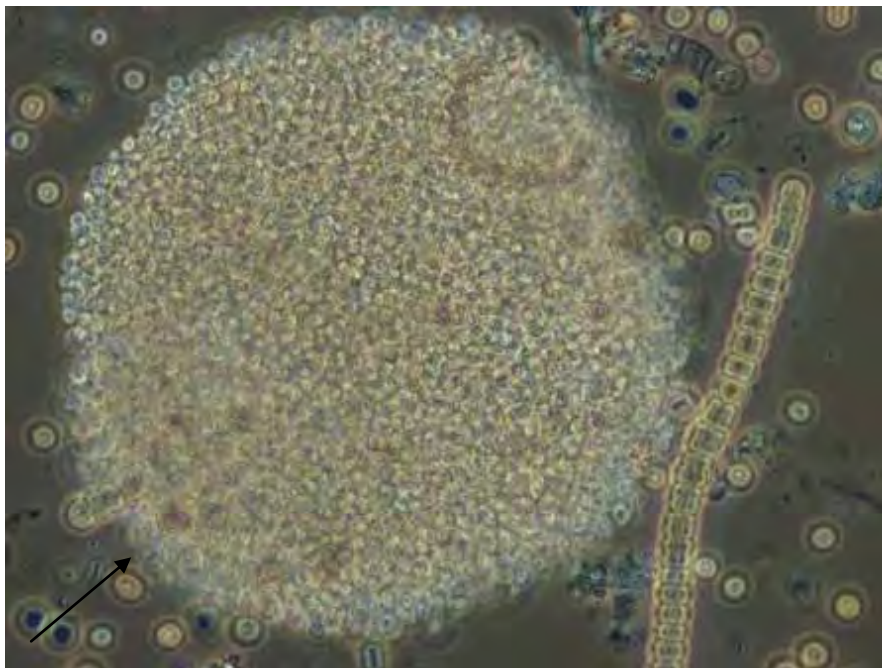
Εικ. 8 *Cyanodictyon imperfectum*. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Αποτελούνται από λεπτά σφαιρικά κύτταρα με διάμετρο από 0,5-1μm, τα οποία δεν διαθέτουν αεροτόπια. Είναι χαλαρά ενσωματωμένα σε μια θήκη και σχηματίζουν αποικίες διαφόρων μεταβλητών σχημάτων οι οποίες αποτελούνται από δεκάδες χιλιάδες κύτταρα. Οι διαστάσεις διαμέτρου των αποικιών κυμαίνονται από 10-100 μm (Komarek & Anagnostidis 1999).

Στη λίμνη Παμβώτιδα το είδος *Cyanodictyon imperfectum* (Εικόνα 8) εμφανίζεται με αποικίες σφαιρικές ή ακανόνιστου σχήματος συνήθως μεγάλης διαμέτρου η οποία κυμαίνεται από 33,34- 324,25 μm και με κύτταρα λεπτά, σφαιρικά ή ωοειδή διαμέτρου από 0,48-0,96 μm.

Microcystis aeruginosa

Το *Microcystis aeruginosa* όπως και τα περισσότερα κυανοβακτήρια αναπτύσσεται ιδιαίτερα καλά σε ζεστά, στάσιμα, πλούσια σε θρεπτικά, εσωτερικά νερά.



Εικ. 9. *Microcystis aeruginosa*. (Φώτο : Σ. Δούκα)

Σχηματίζει αποικίες μικροσκοπικές ως μακροσκοπικές επιμήκεις λοβοειδείς με ακανόνιστο σχήμα και συχνά διακριτές τρύπες. Τα κύτταρα είναι κοκκοειδή (σφαιρικά) και φέρουν αεροτόπια. Στις αποικίες, τα κύτταρα μπορεί να είναι από λίγο έως πολύ στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν διάμετρο από 3,5 - 6,5 μm (Komarek & Anagnostidis 1999).

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με αποικίες σφαιρικές, συχνά ελλειψοειδείς και επιμήκεις (Εικόνα 9). Κάθε αποικία περιβάλλεται από βλενωδές περίβλημα. Τα κύτταρα είναι σφαιρικά και διατάσσονται τυχαία μέσα στην αποικία, ενώ μερικές φορές σχηματίζουν επιμέρους μη μεμονωμένες, ομάδες κυττάρων μέσα στην αποικία. Η διάμετρος των αποικιών κυμάνθηκε από 34,86-276,67 μm και η διάμετρος των κυττάρων κυμάνθηκε από 3,64-5,87 μm .

Microcystis spp.



Εικ. 10 *Microcystis* sp. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με αποικίες σφαιρικές ή ελλειψοειδείς. Τα κύτταρα διατάσσονται τυχαία μέσα στην αποικία (Εικόνα 10). Το *Microcystis* spp. περιλαμβάνει είδη των οποίων τα άτομα παρουσιάζουν παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους τα οποία προσεγγίζουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των ειδών: *M. aeruginosa*, *M. novacekii* και *M. flos-aquae*. Για το λόγο αυτό δεν ήταν δυνατόν να ενταχθούν ταξινομικά σε κανένα από τα παραπάνω τρία είδη και έτσι παραθέτονται ξεχωριστά.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, τα κύτταρα είναι σφαιρικά με αεροτόπια και με διάμετρο που κυμαινόταν από 3,5 – 5,5 μm . Η διάμετρος των αποικιών κυμάνθηκε από 23,03 - 230,67 μm .

Τάξη Oscillatoriales

Limnothrix redekei

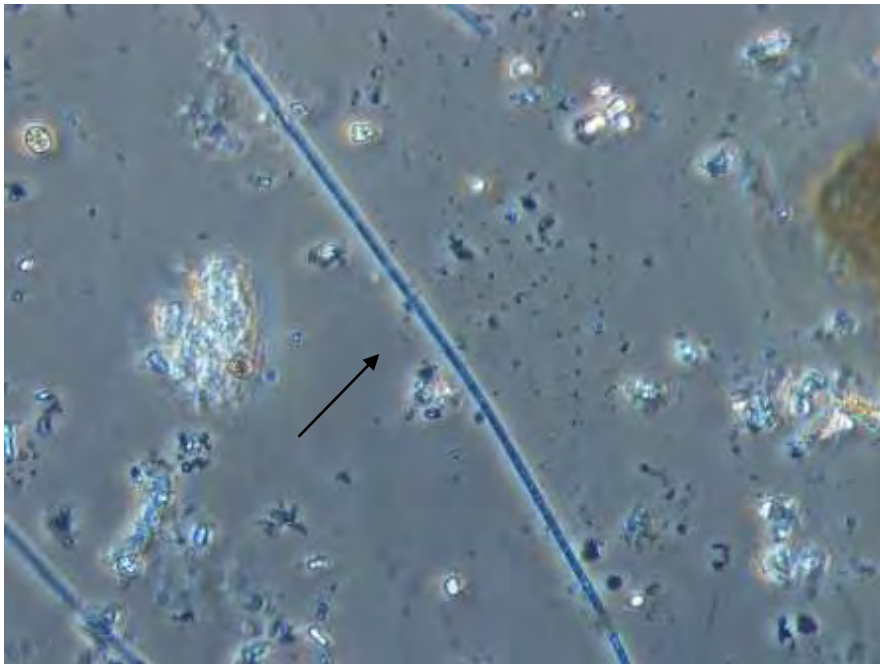
Το *Limnothrix redekei* αποτελείται από νήματα μεμονωμένα τα οποία επιπλέουν ελεύθερα, και είναι ίσια ή ελαφρώς κυρτά ή ακανόνιστα περιελιγμένα. Κάθε νήμα αποτελείται από πολλά κύτταρα, χωρίς περίβλημα ή με πολύ λεπτή, άχρωμη, θήκη. Τα κυλινδρικά τριχώματα αποτελούνται από κύτταρα τα οποία είναι ίσα σε διάμετρο μεταξύ τους με πολύ λεπτά τοιχώματα, και με καθόλου ή πολύ μειωμένη κινητικότητα, τα ακριανά κύτταρα καταλήγουν συνήθως με κυλινδρικό σχήμα, αλλά μερικές φορές με κωνικό, χωρίς τερματική καλύπτρα (Komarek & Anagnostidis 1999).

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα μεμονωμένα, ευθύγραμμα. Τα κύτταρα είναι κυλινδρικά με αεροτόπια. Τα επάκριο κύτταρο είναι απεστρογγυλωμένο ή μετά από κατάτμηση του τριχώματος οξύληκτο. Το μήκος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 43,27- 284,13 μm και το πλάτος 2,03- 3,18 μm .

Planktolyngbya limnetica

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα μεμονωμένα, ευθύγραμμα ή ελαφρώς κυρτά (Εικόνα 11). Τα βλαστητικά κύτταρα είναι

κυλινδρικά ή τετραγωνισμένα διαμέτρου 0,84-1,57 μm χωρίς αεροτόπια. Συχνά παρατηρούνται κενά διαστήματα μεταξύ των βλαστητικών κυττάρων.



Εικ. 11 *Planktolyngbya limnetica*. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Τάξη *Nostocales*

Anabaena affinis



Εικ. 12 *Anabaena affinis* Φώτο: (Σ. Δούκα)

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα ευθύγραμμα ή ελαφρώς κεκαμμένα (Εικόνα 12), μήκους 25,48 – 542,88 μm μεμονωμένα, μη περιβαλλόμενα από βλέννα και αριθμό κυττάρων ανά τρίχωμα 5 – 124. Τα βλαστητικά κύτταρα είναι κυλινδρικά διαμέτρου 2,54 – 3,96 μm με αεροτόπια. Τα ετεροκύτια έχουν πλάτος 3,21 – 4,58 μm και μήκος 3,76-5,17 μm .

Anabaena flos-aquae

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα μεμονωμένα, ευθύγραμμα, κυκλικά σπειροειδή, δακτυλιειδώς περιελιγμένα ή ακανόνιστα (Εικόνα 13). Τα βλαστητικά κύτταρα είναι σφαιρικά με διάμετρο 3,84-5,36 μm η ωειδή, κυρίως κατά το διαχωρισμό, μήκους 2,37-5,18 μm και πλάτους 3,88-4,93 μm . Η παρουσία αεροτοπιών είναι εμφανής. Η μορφή των ετεροκυτίων δεν διαφέρει από αυτήν των βλαστητικών κυττάρων, ωστόσο τα ετεροκύτια είναι λίγο μεγαλύτερα σε μέγεθος. Σε μερικά τριχώματα παρατηρήθηκε και η παρουσία ακινετίων.



Εικ. 13 *Anabaena flos-aquae*. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Aphanizomenon issatschenkoi

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα μεμονωμένα, ευθύγραμμα ή ελαφρώς κυρτά (Εικόνα 14). Τα βλαστητικά κύτταρα είναι κυλινδρικά διαμέτρου 1,84-3,58 μm με αεροτόπια. Το ένα ή και τα δύο

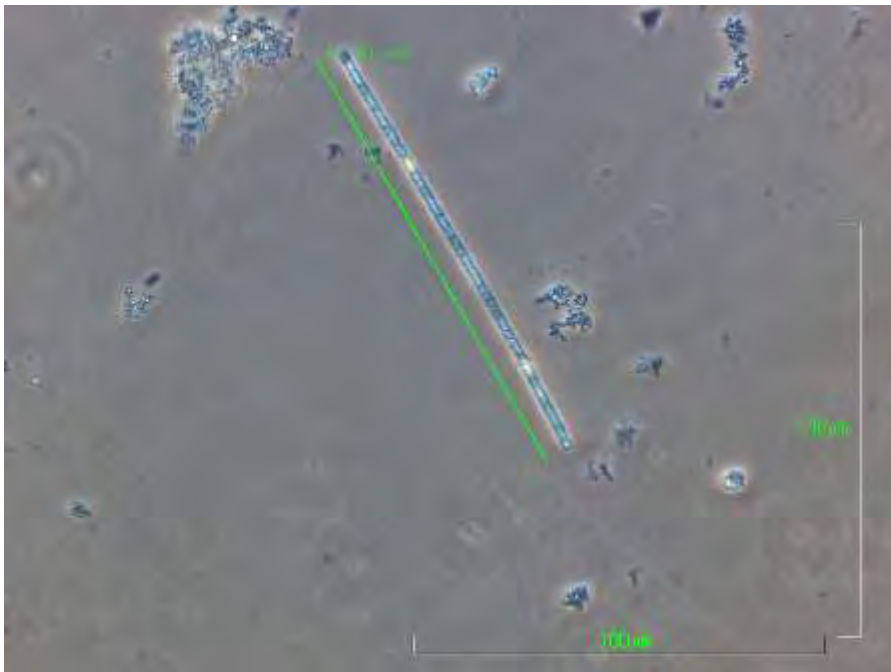
επάκρια κύτταρα είναι επιμηκυσμένα οξύληκτα. Τα ετεροκύτια είναι επίσης κυλινδρικά μεμονωμένα, διαμέτρου 2,31-4,02 μm . Το μήκος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 55,84 – 559,28 μm και το πλάτος από 1,8-5,4 μm . Δεν παρατηρήθηκαν ακινέτια.



Εικ. 14 *Aphanizomenon issatschenkoii*. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Aphanizomenon flos-aquae

Το είδος εμφανίζεται στη λίμνη Παμβώτιδα με τριχώματα μεμονωμένα, ευθύγραμμα ή ελαφρώς κυρτά (Εικόνα 15), επίσης παρατηρήθηκαν και κάποιες αποικίες.



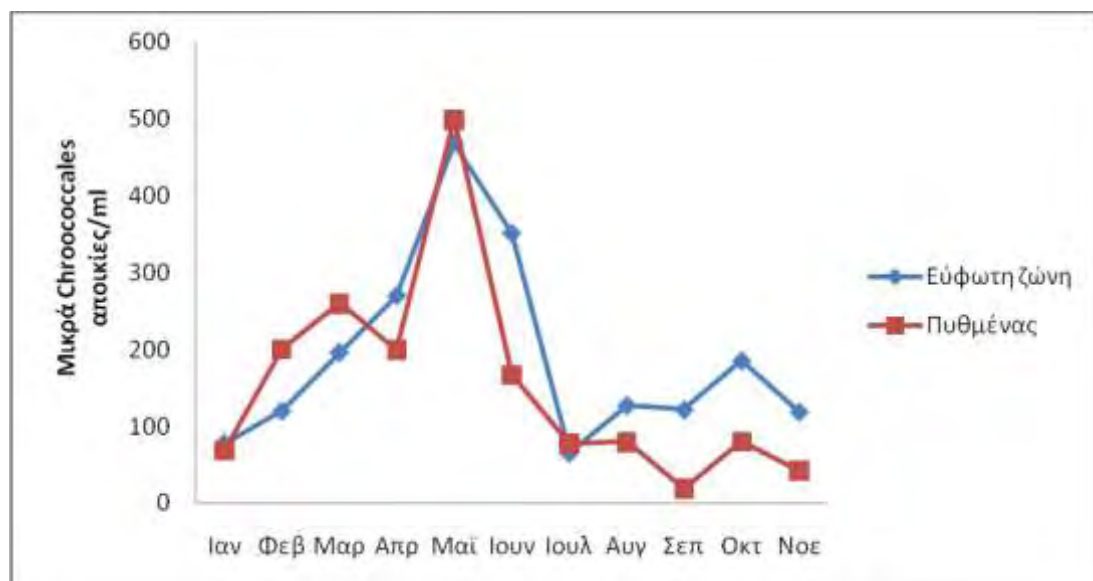
Εικ. 15 *Aphanizomenon flos-aquae*. (Φώτο: Σ. Δούκα)

Τα βλαστητικά κύτταρα είναι κυλινδρικά με αεροτόπια διαμέτρου 2,02-4,18 μm . Τα ετεροκύτια είναι κυρίως κυλινδρικά και σπανιότερα ελλειψοειδή, μεμονωμένα, διαμέτρου 2,3-4,8 μm . Ακινέτια παρατηρήθηκαν σε ελάχιστα άτομα. Το μήκος των τριχωμάτων ήταν 29,01 – 201,72 μm και το πλάτος 2,84 – 3,43 μm .

3.3. Αφθονία κυανοβακτηρίων

3.3.1. *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanodictyon*

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία των κυανοβακτηρίων που ανήκουν στα γένη *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanodictyon* (θα χαρακτηρίζεται από εδώ και πέρα ομάδα “Μικρά Chroococcales” με βάση το κριτήριο ότι το μέγεθος των βλαστητικών κυττάρων των αποικιών είναι <2.5 μm) κυμάνθηκε σε τιμές από 19-499 αποικίες ml^{-1} (εικόνα 16). Παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά στις τιμές της αφθονίας.



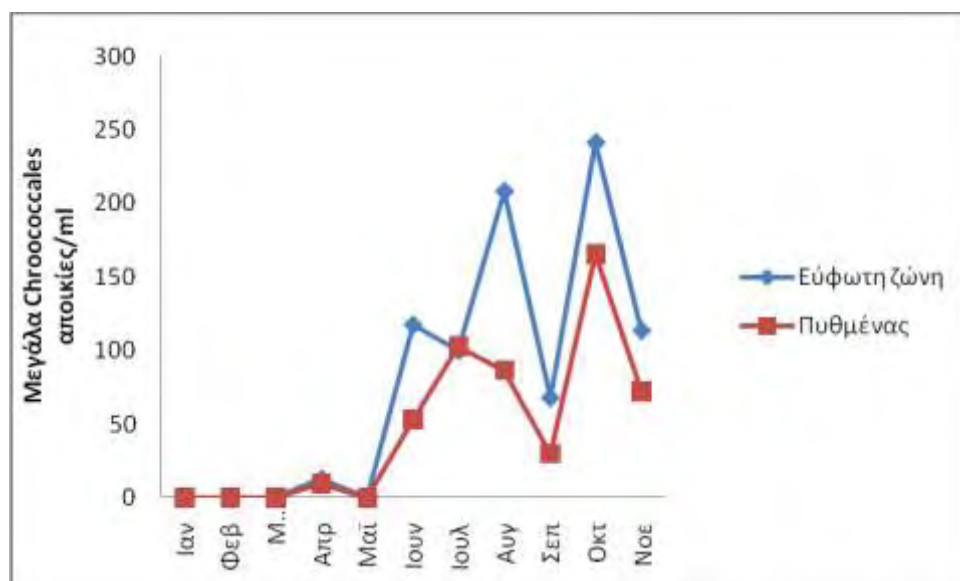
Εικ. 16 Χρονικές μεταβολές της αφθονίας των κυανοβακτηρίων της ομάδας «μικρά Chroococcales» στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Η χαμηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε τον Σεπτέμβριο και η μεγαλύτερη τον Μάιο. Γενικά παρατηρήθηκε μια σχετικά σταθερή αύξηση του αριθμού

των αποικιών από τον Ιανουάριο μέχρι και τον Ιούνιο, εκτός από μια μικρή πτώση τον Απρίλιο. Από τον Μάιο μέχρι τον Ιούλιο παρατηρήθηκε μεγάλη πτώση στην αφθονία και από τον Ιούλιο είχαμε μια μικρή αύξηση μέχρι τον Νοέμβριο όπου είχαμε μείωση του αριθμού των αποικιών. Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές της αφθονίας των αποικιών μεταξύ της εύρωτης ζώνης και του πυθμένα παρά μόνο τον Σεπτέμβριο.

3.3.2. *Microcystis*

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία των κυανοβακτηρίων που ανήκουν στο γένος *Microcystis* (θα χαρακτηρίζεται από εδώ και πέρα ομάδα “Μεγάλα Chroococcales” με βάση το κριτήριο ότι το μέγεθος των βλαστητικών κυττάρων των αποικιών είναι $>2.5 \mu\text{m}$) κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές από 0-241 αποικίες ml^{-1} (Εικόνα 17). Από τον Ιανουάριο μέχρι και τον Μάιο έχουμε ελάχιστες έως μηδενικές τιμές σε όλη τη στήλη του νερού.



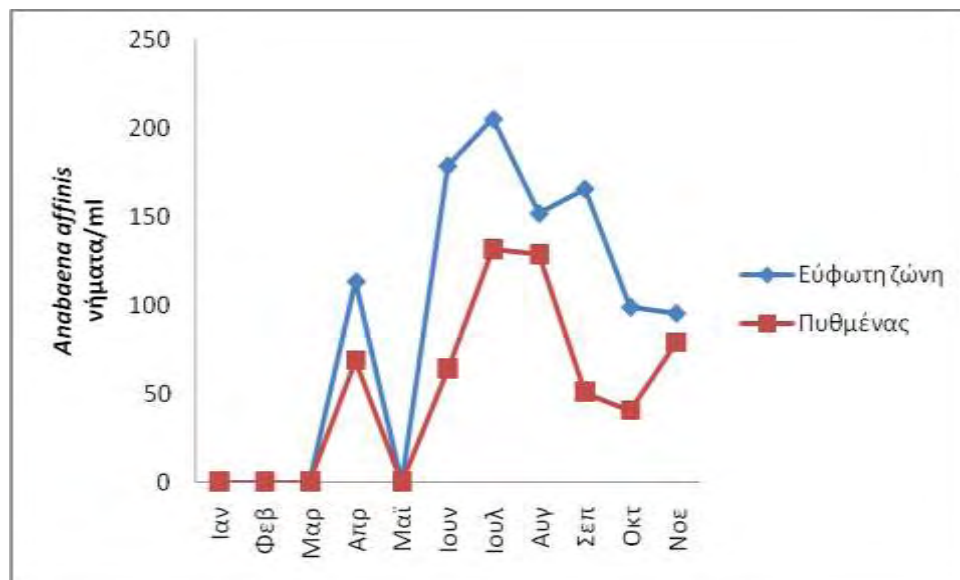
Εικ. 17. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας των κυανοβακτηρίων της ομάδας «μεγάλα Chroococcales» στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Παρατηρείται μεγάλη αύξηση των αποικιών στην εύρωτη ζώνη μέχρι τον Ιούνιο και μικρή αύξηση αποικιών για τον πυθμένα. Τον Ιούλιο ενώ για στην εύρωτη ζώνη έχουμε μείωση της αφθονίας, στον πυθμένα έχουμε αύξηση,

τον Αύγουστο συμβαίνει το αντίθετο έχουμε μεγάλη αύξηση στην εύρωτη ζώνη και μείωση στον πυθμένα. Τον Σεπτέμβριο και τον Νοέμβριο έχουμε μείωση των αποικιών σε όλη τη στήλη του νερού, ενώ τον Οκτώβριο παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη τιμή αφθονίας. Η μεγαλύτερη διαφορά στις τιμές της αφθονίας ανάμεσα στις δύο ζώνες της στήλης του νερού παρατηρήθηκε τον Αύγουστο.

3.3.3. *Anabaena affinis*

Όπως φαίνεται στην εικόνα 18 από τους μήνες Ιούνιο – Μάρτιο έχουμε παρόμοιες τιμές αφθονίας και στις δύο ζώνες (εύρωτη ζώνη και πυθμένα) εκτός από τον Ιούνιο όπου και στις δύο ζώνες έχουμε αύξηση της αφθονίας αλλά στον πυθμένα είναι πολύ μικρή ενώ στην εύρωτη ζώνη είναι πολύ μεγάλη.



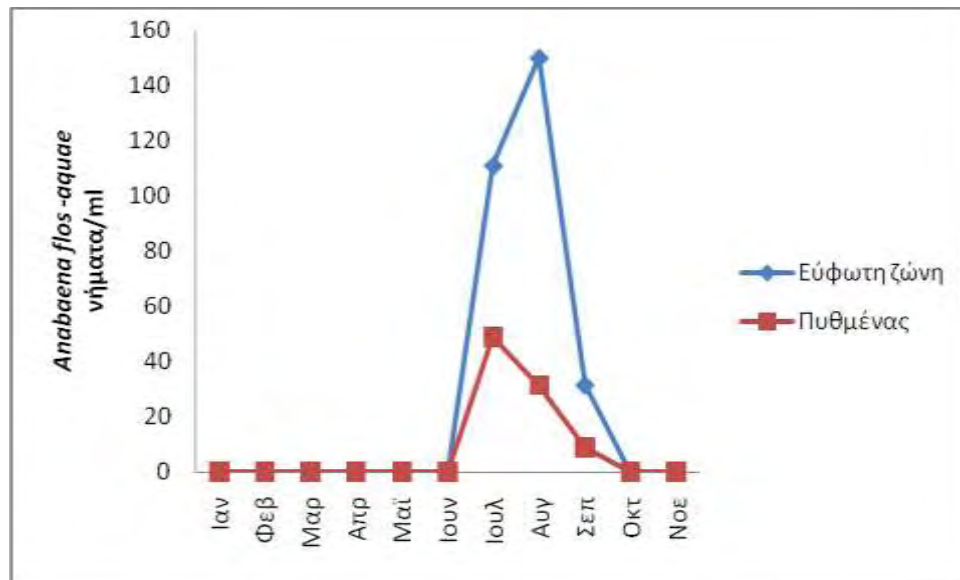
Εικόνα 18. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Anabaena affinis* στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Η αύξηση της αφθονίας συνεχίζεται και τον Ιούλιο και για στις δύο ζώνες. Τον Σεπτέμβριο παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση της αφθονίας στο πυθμένα και αύξηση στην εύρωτη ζώνη. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε μείωση της αφθονίας σε όλη τη στήλη του νερού και τέλος τον Νοέμβριο υπήρξε μεγάλη αύξηση της αφθονίας στον πυθμένα ενώ στην εύρωτη ζώνη η αφθονία παρέμεινε

σταθερή. Η μεγαλύτερη τιμή αφθονίας στη στήλη του νερού παρατηρήθηκε τον Ιούλιο (εύφωτη ζώνη: 205 νήματα ml^{-1} και πυθμένας: 132 νήματα ml^{-1}).

3.3.4. *Anabaena flos-aquae*

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, η αφθονία του *Anabaena flos-aquae* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές στη στήλη του νερού (Εικόνα 19).

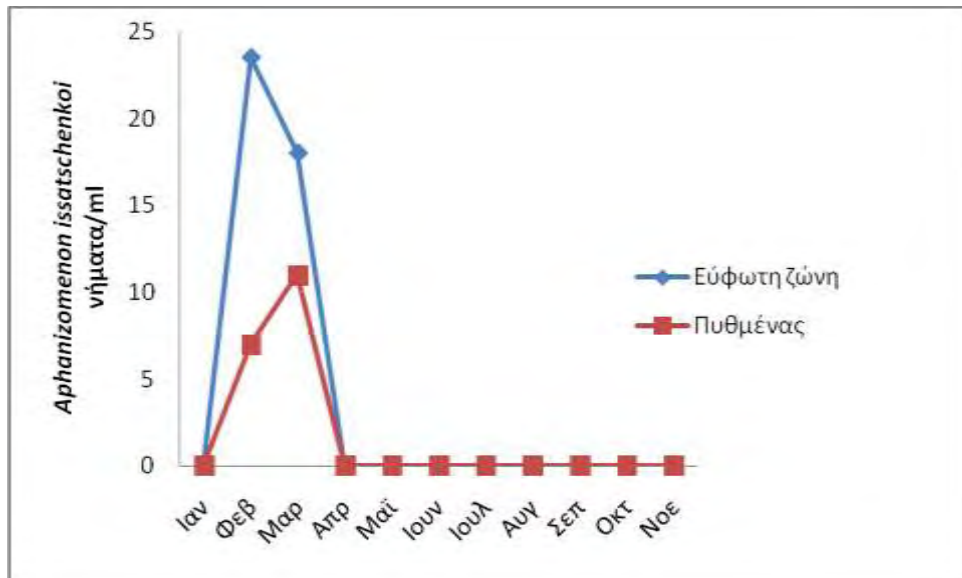


Εικ. 19. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Οι τιμές της αφθονίας ήταν μηδενικές και στις δύο ζώνες από τον Ιανουάριο έως τον Ιούνιο και από τον Οκτώβριο έως τον Νοέμβριο. Η μεγαλύτερη τιμή της αφθονίας στη εύφωτη ζώνη παρατηρήθηκε τον Αύγουστο (150 νήματα ml^{-1}) και στον πυθμένα παρατηρήθηκε τον Ιούλιο (31 νήματα ml^{-1}).

3.3.5 *Aphanizomenon issatschenkoi*

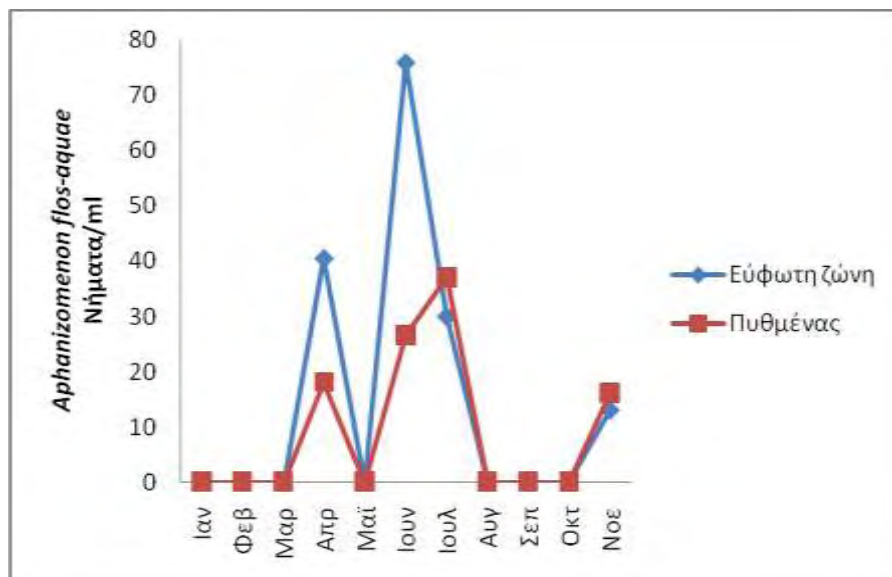
Η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatschenkoi* παρουσίασε πολύ χαμηλές τιμές σε ολόκληρη τη στήλη του νερού (Εικόνα 20). Τον μήνα Ιανουάριο και τους μήνες Απρίλιο έως Νοέμβριο δεν έχουμε παρουσία του κυανοβακτηρίου στη στήλη του νερού.



Εικ. 20. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatschenkoii* στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.3.6. *Aphanizomenon flos-aquae*

Το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* παρουσίασε χαμηλές τιμές αφθονίας σε όλη τη στήλη του νερού (Εικόνα 21). Παρουσία του κυανοβακτηρίου στην στήλη του νερού παρατηρείται τον Απρίλιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Νοέμβριο.

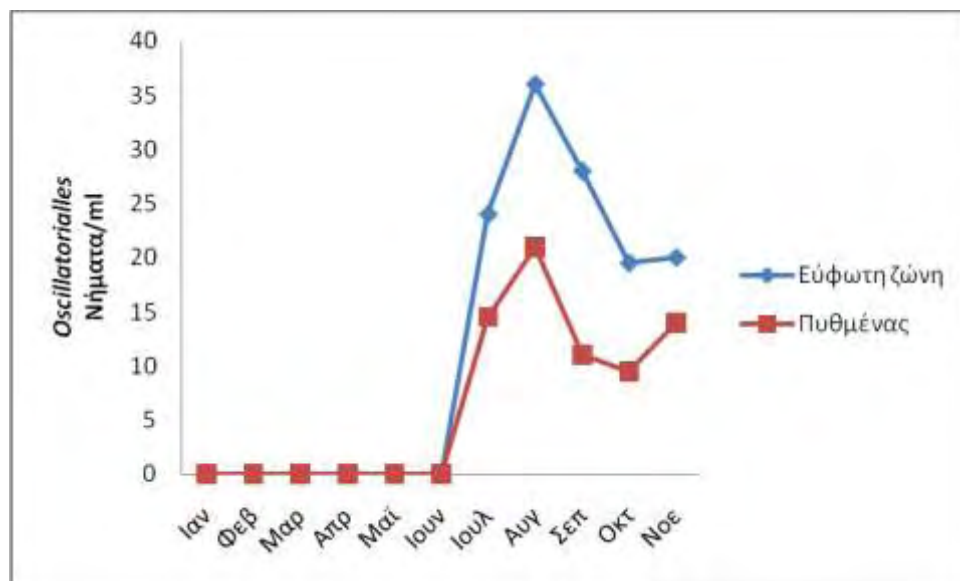


Εικ. 21 Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Η μεγαλύτερη τιμή αφθονίας του είδους στη εύρωτη ζώνη παρατηρήθηκε τον μήνα Ιούνιο (76 νήματα ml⁻¹) ενώ στον πυθμένα η μεγαλύτερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε τον Ιούλιο (26 νήματα ml⁻¹).

3.3.7 Oscillatoriales

Τα είδη της τάξης Oscillatoriales, κατά την παρούσα έρευνα δεν παρουσίασαν μεγάλες τιμές αφθονίας (Εικόνα 22). Από τον Ιανουάριο έως και τον Ιούνιο δεν είχαμε παρουσία του είδους στη στήλη του νερού. Η μέγιστη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε τον Αύγουστο, εύρωτη ζώνη: 21 νήματα ml⁻¹, και πυθμένας: 36 νήματα ml⁻¹. Γενικά έχουμε τις ίδιες διακυμάνσεις αφθονίας σε όλη τη στήλη του νερού, με μεγαλύτερες όμως τιμές αφθονίας να σημειώνονται στην εύρωτη ζώνη.

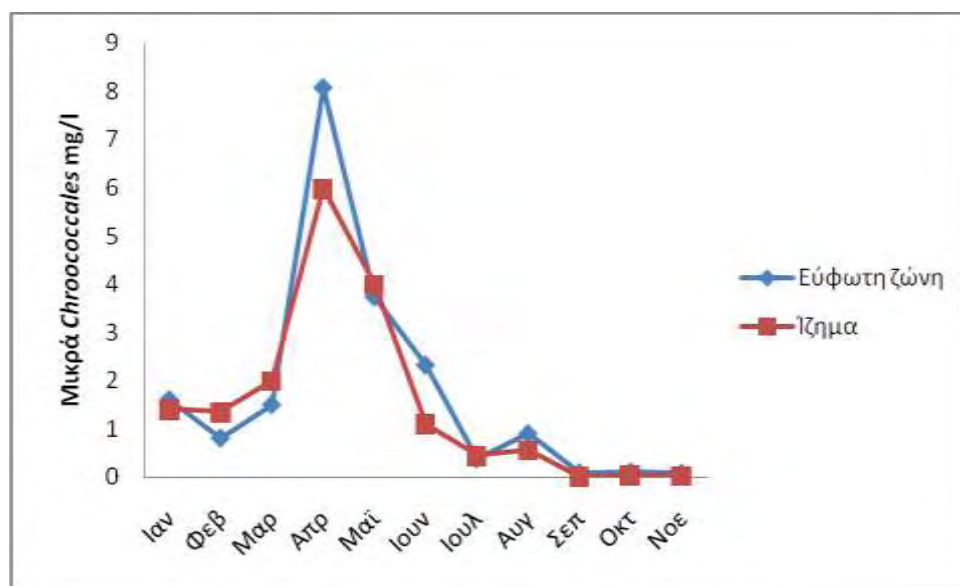


Εικ. 22 Χρονικές μεταβολές της αφθονίας των κυανοβακτηρίων της τάξης Oscillatoriales στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4. BIOMAZA KYANOBAKTHPIΩN

3.4.1 *Aphanocapsa, Aphanothece, Cyanodictyon*

Η βιομάζα των κυανοβακτηρίων της ομάδας “μικρά Chroococcales” παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μελέτης (Εικόνα 23). Η βιομάζα κυμάνθηκε από 0,0802-8,08 mg l⁻¹ στην εύρωτη ζώνη και στον πυθμένα από 0,014-6 mg l⁻¹. Η μέγιστη τιμή βιομάζας παρατηρήθηκε τον Απρίλιο σε όλη τη στήλη του νερού (εύρωτη ζώνη, πυθμένας). Από τον Ιανουάριο – Μάρτιο και από Ιούλιο –Νοέμβριο παρατηρήθηκαν πολύ μικρές συγκεντρώσεις βιομάζας σε όλη τη στήλη του νερού (εύρωτη ζώνη, πυθμένας).

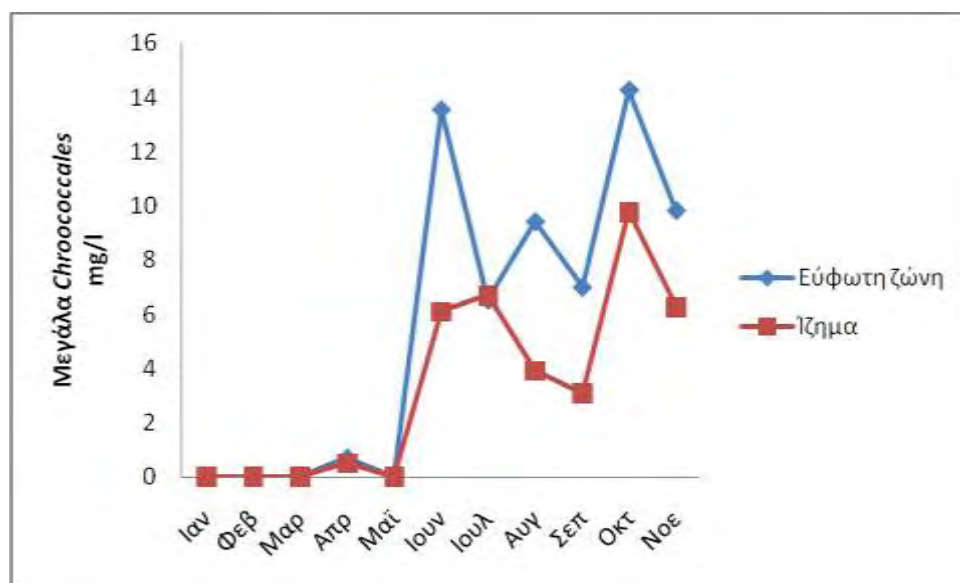


Εικ. 23. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των κυανοβακτηρίων της ομάδας «μικρά Chroococcales» στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4.2 *Microcystis*

Η βιομάζα των κυανοβακτηρίων του γένους *Microcystis* (ομάδα «μεγάλα Chroococcales») παρουσίασε πολλές αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της μελέτης (Εικόνα 24). Στην εύρωτη ζώνη οι τιμές βιομάζας κυμάνθηκαν από 0-14,26 mg l⁻¹ και στον πυθμένα από 0-9,8 mg l⁻¹. Από τον Ιανουάριο – Μάιο οι

τιμές βιομάζας εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές σε όλη τη στήλη του νερού. Τον Ιούνιο παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της βιομάζας τόσο στην εύφωτη ζώνη όσο και στον πυθμένα της στήλης του νερού. Τον Ιούλιο ενώ η βιομάζα αυξάνεται στον πυθμένα, στην εύφωτη ζώνη μειώνεται. Τον Αύγουστο παρατηρούμε το αντίθετο από τον Ιούλιο, δηλαδή η βιομάζα μειώνεται στον πυθμένα και αυξάνεται στην εύφωτη ζώνη. Οι υψηλότερες τιμές βιομάζας στην εύφωτη ζώνη παρατηρήθηκαν, τον Ιούνιο και τον Οκτώβριο, με μέγιστη αυτή του Οκτωβρίου ($14,26 \text{ mg l}^{-1}$). Στο πυθμένα η μέγιστη τιμή βιομάζας παρατηρήθηκε επίσης τον Οκτώβριο ($9,8 \text{ mg l}^{-1}$).

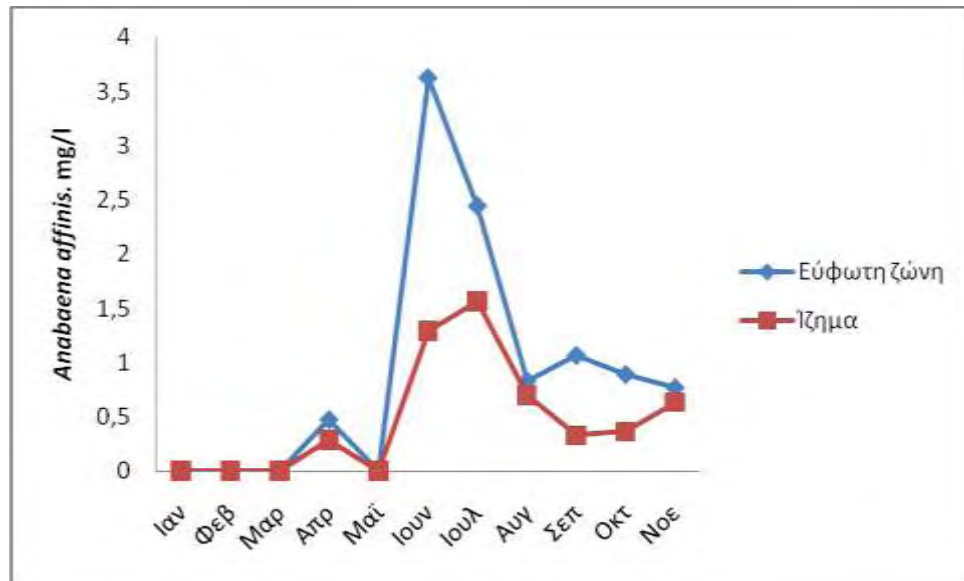


Εικ. 24. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των κυανοβακτηρίων του γένους *Microcystis* (ομάδα «μεγάλα Chroococcales») στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4.3 *Anabaena affinis*

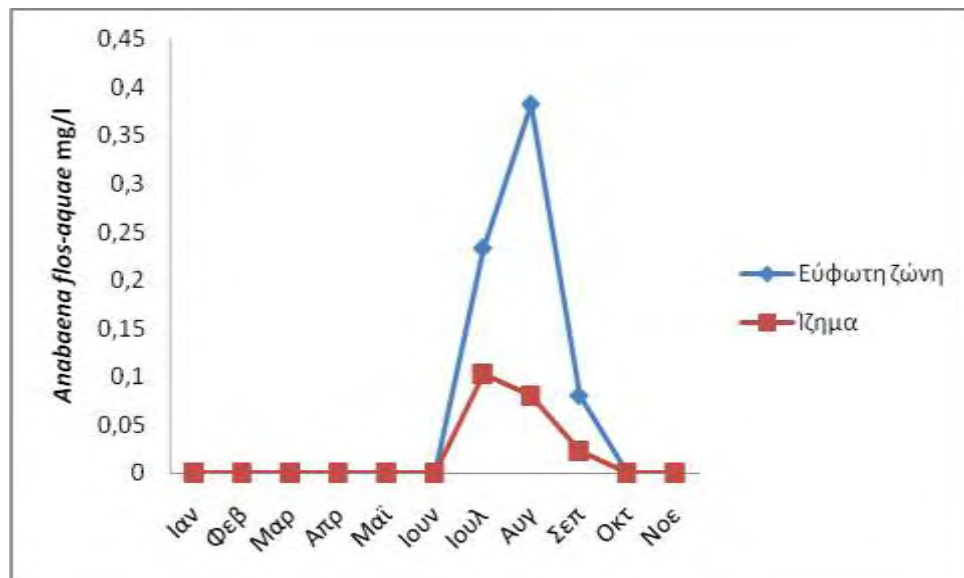
Η βιομάζα του *Anabaena affinis* (Εικόνα 25), παρουσιάζει παρόμοια κατανομή σε όλη τη στήλη του νερού (εύφωτη ζώνη, πυθμένας), εκτός από τους μήνες Σεπτέμβριο – Οκτώβριο όπου έχουμε αύξηση των τιμών βιομάζας στην εύφωτη ζώνη και μείωση των τιμών στο πυθμένα και το αντίθετο συμβαίνει τον Νοέμβριο. Η βιομάζα στην εύφωτη ζώνη κυμάνθηκε από 0- $3,26 \text{ mg l}^{-1}$, και στον πυθμένα από 0- $1,57 \text{ mg l}^{-1}$. Από τον Ιανουάριο έως τον Μάιο έχουμε μηδενικές τιμές βιομάζας, με εξαίρεση τον Απρίλιο όπου έχουμε μικρές τιμές βιομάζας σε όλη τη στήλη του νερού. Η μέγιστη τιμή βιομάζας στην εύφωτη

ζώνη παρατηρήθηκε τον Ιούνιο ($3,62 \text{ mg l}^{-1}$), ενώ στον πυθμένα τον Ιούλιο ($1,57 \text{ mg l}^{-1}$).



Εικ. 25. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Anabaena affinis* στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4.4. *Anabaena flos-aquae*

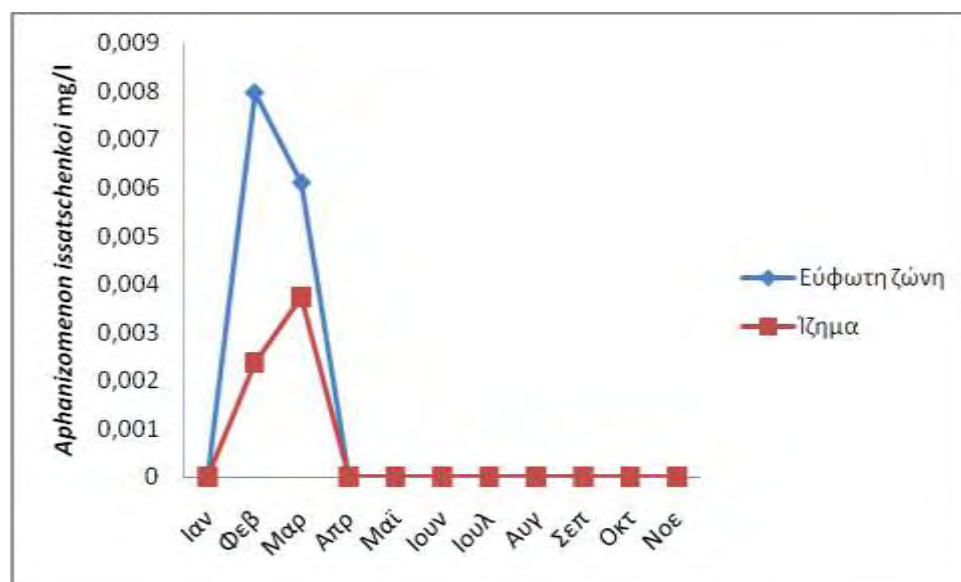


Εικ. 26. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* στην Εύρωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Η βιομάζα του *Anabaena flos-aquae* κατά τη διάρκεια της έρευνας κυμάνθηκε από 0-0,4 mg l⁻¹ στην εύφωτη ζώνη και 0-0,102 mg l⁻¹ στον πυθμένα (Εικόνα 26). Γενικά οι τιμές βιομάζας για αυτό το είδος ήταν πολύ μικρές και έχουμε παρουσία του είδους μόνο τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Η μέγιστη τιμή βιομάζας του είδους στην εύφωτη ζώνη παρατηρήθηκε τον Αύγουστο (0,383 mg l⁻¹) και στον πυθμένα τον Ιούλιο (0,103 mg l⁻¹). Οι τιμές τις βιομάζας που παρατηρήθηκαν στην εύφωτη ζώνη ήταν μεγαλύτερες από αυτές στον πυθμένα της στήλης του νερού.

3.4.5. *Aphanizomenon issatschenkoii*

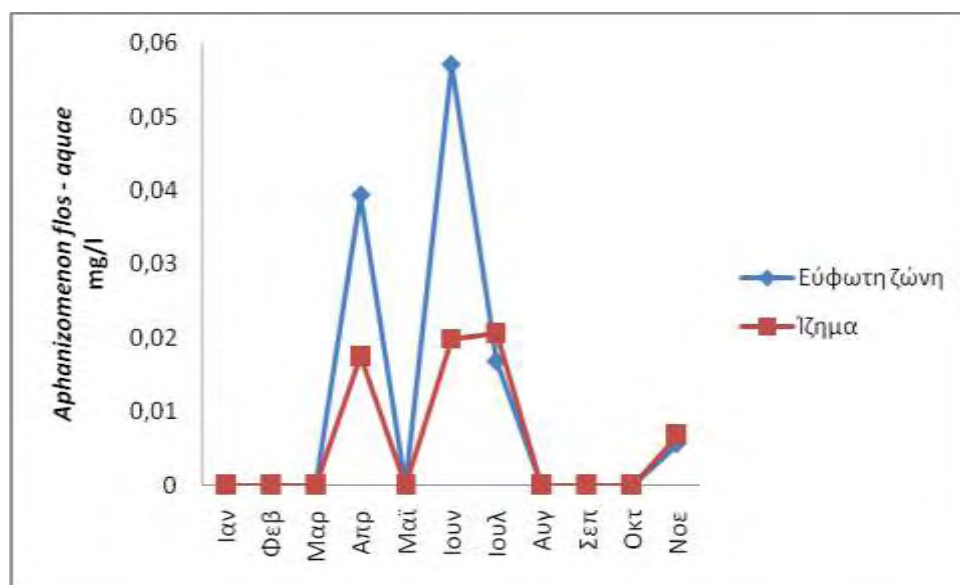
Στη παρούσα έρευνα, η βιομάζα του είδους *Aphanizomenon issatschenkoii* κυμάνθηκε από 0-0,008 mg l⁻¹ στην εύφωτη ζώνη και από 0- 0,0037 mg l⁻¹ στον πυθμένα (Εικόνα 27). Παρουσία του είδους στη στήλη του νερού παρατηρήθηκε μόνο τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Η μέγιστη τιμή βιομάζας στην εύφωτη ζώνη καταγράφηκε τον Φεβρουάριο (0,008 mg l⁻¹) και στον πυθμένα τον Μάρτιο (0,0037 mg l⁻¹).



Εικ. 27. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatschenkoii* στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4.6. *Aphanizomenon flos-aquae*

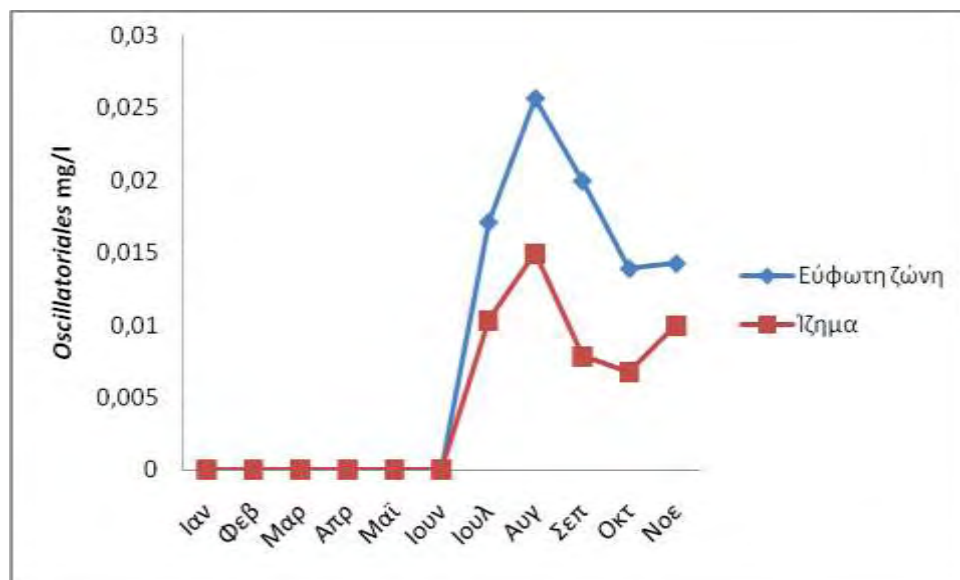
Στη παρούσα έρευνα, η βιομάζα του *Aphanizomenon flos-aquae* παρουσίασε τιμές από 0 - 0,057 mg l⁻¹ στην εύφωτη ζώνη και τιμές από 0 - 0,0207 mg l⁻¹ στον πυθμένα (Εικόνα 28). Μη μηδενικές τιμές βιομάζας καταγράφηκαν τους μήνες: Απρίλιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Η υψηλότερη τιμή βιομάζας (0,057 mg l⁻¹) του είδους παρατηρήθηκε τον Ιούνιο στην εύφωτη ζώνη της στήλης του νερού.



Εικ. 28. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

3.4.7. *Oscillatoriales*

Η βιομάζα των κυανοβακτηρίων της τάξης *Oscillatoriales* στη διάρκεια της παρούσας έρευνας παρουσίασε τιμές από 0-0,25 mg l⁻¹ στην εύφωτη ζώνη και 0-0,015 mg l⁻¹ στον πυθμένα (Εικόνα 29). Σε όλη τη στήλη του νερού η μέγιστη τιμή βιομάζας παρατηρήθηκε τον Αύγουστο. Τους επακόλουθους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο έχουμε μείωση της βιομάζας σε όλη τη στήλη του νερού ενώ μικρή αύξηση παρατηρείται τον Νοέμβριο.



Εικ. 29. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των κυανοβακτηρίων της τάξης Oscillatoriales στην Εύφωτη ζώνη και τον Πυθμένα της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

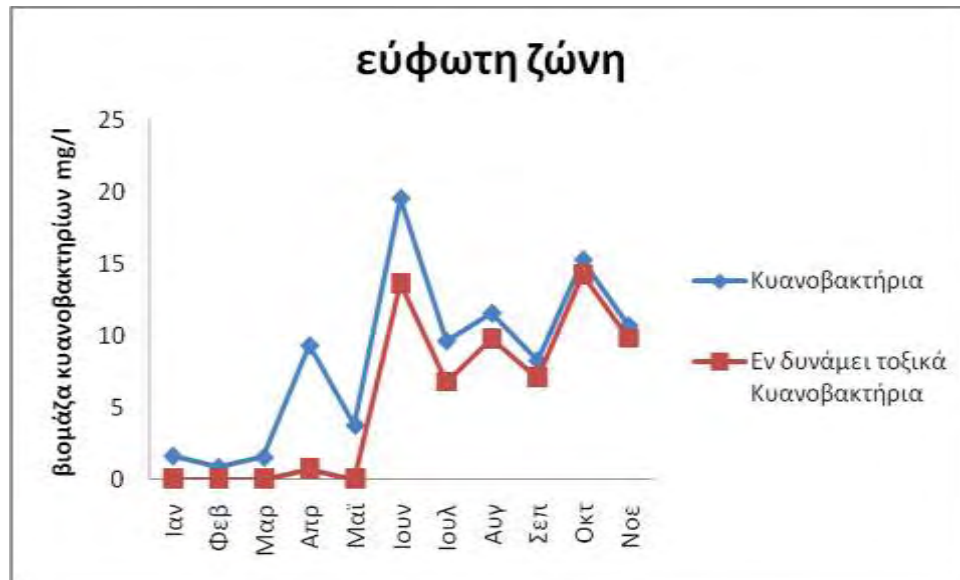
3.4.8. Επικρατούντα Κυανοβακτήρια

Ο χαρακτηρισμός των κυανοβακτηρίων ως επικρατούντα αφορά τα taxa τα οποία είχαν συνεισφορά > 10% στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων. Στη παρούσα έρευνα κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιανουάριος – Μαΐος 2011, στη στήλη του νερού επικρατούν κυανοβακτήρια που ανήκουν στα γένη *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Cyanodictyon* (“Μικρά Chroococcales”), (Εκ. 23, Εικ. 30, Εικ. 31). Από τον Ιούνιο μέχρι το Νοέμβριο στη στήλη του νερού επικρατούν κυρίως κυανοβακτήρια του γένους *Microcystis* (Εικ. 24, Εικόνα 30, Εικ. 31). Επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιος – Αύγουστος) στη στήλη του νερού επικρατεί και το κυανοβακτήριο *Anabaena affinis* (Εικ. 25, Εικ. 30, Εικ. 31).

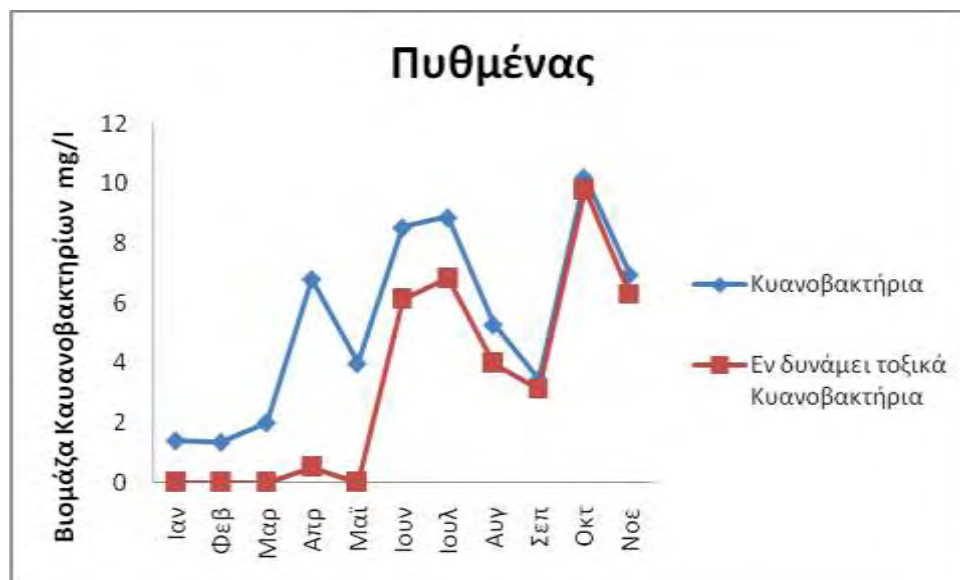
3.4.9. Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια

Από τα κυανοβακτήρια που αναγνωριστήκαν στην παρούσα έρευνα, τα *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis* spp., *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon issatschenkoii* και *Aphanizomenon flos-aquae* είναι γνωστά

για την παραγωγή τοξινών. Στις Εικόνες 30 και 31 δίνονται οι μεταβολές της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων και της συνολικής βιομάζας των εν δυνάμει τοξικών στην Εύφωτη ζώνη και στον πυθμένα, αντίστοιχα.



Εικ. 30 Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στην Εύφωτη ζώνη της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.



Εικ. 31 Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στον Πυθμένα, της λίμνης Παμβώτιδας, τη χρονική περίοδο Ιανουάριος - Νοέμβριος 2011.

Από τον Ιανουάριο – Μάιο, στην εύρωτη ζώνη, το ποσοστό συμμετοχής των εν δυνάμει τοξικών στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων είναι πολύ χαμηλό της τάξης του 0% - 8% ενώ από τον Ιούνιο –Νοέμβριο εκτινάσσεται στο 70% - 93% (Εικόνα 30).

Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στον πυθμένα, δηλαδή από τον Ιανουάριο – Μάιο παρατηρείται χαμηλή συμμετοχή της βιομάζας των εν δυνάμει τοξικών στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων με ποσοστό που κυμαίνεται από 0%-7,8%, ενώ από τον Ιούνιο και μετά έχουμε μεγάλη συμμετοχή της βιομάζας των εν δυνάμει τοξικών, στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων με ποσοστό της τάξης του 72% - 96% (Εικόνα 31).

3.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Για την εκτίμηση του κινδύνου από την παρουσία κυανοβακτηρίων όταν το νερό της λίμνης χρησιμοποιείται για αναψυχή, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια ασφάλειας που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), (Bartram et al., 1999). Ειδικότερα, ο ΠΟΥ ορίζει τους ακόλουθους Ουδούς Καθοδήγησης που βασίζονται στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων: Ουδός Καθοδήγησης 1 (2 mg/l), Ουδός Καθοδήγησης 2 (10 mg/l) και Ουδός Καθοδήγησης 3 (όταν παρατηρείται άνθιση του νερού).

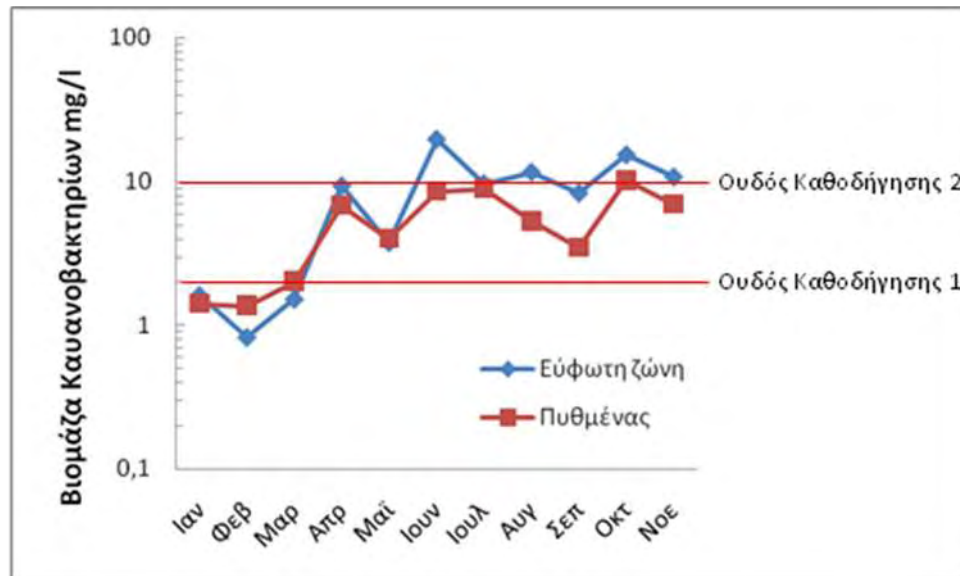
Σύμφωνα με τα θεσπισμένα όρια από τον Π.Ο.Υ. για χρήση του νερού για αναψυχή, στη λίμνη Παμβώτιδα τους μήνες Ιανουάριο – Μάρτιο, η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύρωτη ζώνη: 1,6056 - 1,5107 mg l⁻¹, πυθμένας: 1,41 – 2,00 mg l⁻¹) δεν ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹), (Εικόνα 32).

Από το Απρίλιο έως Νοέμβριο παρατηρείται ότι οι όλες οι τιμές βιομάζας σε όλη τη στήλη του νερού ξεπερνούν τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (Εικόνα 32).

Τιμές βιομάζας υψηλότερες από τον «Ουδό Καθοδήγησης 2» (10 mg/l) καταγράφονται στην εύρωτη ζώνη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και

ειδικότερα τους μήνες: Ιούνιο 19,551 mg l⁻¹, Αύγουστο 11,553 mg l⁻¹, Οκτώβριο 15,274 mg l⁻¹ και Νοέμβριο 10,7 mg l⁻¹, ενώ στον πυθμένα καταγράφονται μόνο τον μήνα Οκτώβριο (10,211 mg l⁻¹).

Άνθιση του νερού (Ουδός Καθοδήγησης 3) παρατηρήθηκε στο επιφανειακό στρώμα της λίμνης τους μήνες Ιούλιος – Οκτώβριος 2011.



Εικ. 32. Βιομάζα κυανοβακτηρίων στην λίμνη Παμβώτιδα σε σύγκριση με τα θεσπισμένα όρια από τον Π.Ο.Υ. (Ουδός Καθοδήγησης 1: 2 mg/l), και Ουδός Καθοδήγησης 2: 10 mg/l,) για χρήση νερού για αναψυχή.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε στη ευτροφική και αστική λίμνη Παμβώτιδα, η σύνθεση των πλαγκτικών κυανοβακτηρίων και οι χρονικές μεταβολές της αφθονίας και της βιομάζας τους κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιανουάριος – Νοέμβριος 2011. Επιπρόσθετα, λόγω της χρήσης της λίμνης ως χώρος αναψυχής όπου πραγματοποιούνται διάφορες δραστηριότητες που έχουν σχέση με το νερό (π.χ. κολύμβησης, κωπηλασία, κτλ.), διερευνήθηκε ο κίνδυνος που ενέχεται για την ανθρώπινη υγεία από την παρουσία κυανοβακτηρίων στο νερό.

4.1 ΦΥΣΙΚΕΣ-ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.1.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ

Καθοριστική είναι η επίδραση της θερμοκρασίας στις δόκιμες και λειτουργικές ιδιότητες μιας λίμνης (Wetzel 1983). Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού επηρεάζουν σημαντικά τις μεταβολές άλλων φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων (Μουστάκα 1988).

Η θερμοκρασία του νερού στη λίμνη Παμβώτιδα κατά τη περίοδο της παρούσας έρευνας (Ιανουάριος – Νοέμβριος 2011) κυμάνθηκε από 8 – 27 °C στην εύρωτη ζώνη και από 8 – 24 °C στον πυθμένα. Διαφορές στις τιμές θερμοκρασίας μεταξύ εύρωτης ζώνης και πυθμένα παρατηρήθηκαν την καλοκαιρινή – φθινοπωρινή περίοδο. Ειδικότερα, τον Ιούλιο έως Οκτώβριο η διαφορά στην θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 2°C. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ εύρωτης ζώνης και πυθμένα, πιθανότατα να οφείλεται στην ανάμειξη της στήλης του νερού που συμβαίνει σε ρηχές λίμνες και συνδέεται περισσότερο με τα καιρικά φαινόμενα (άνεμος, βροχοπτώσεις, κ.α.) (Reynolds, 1994).

4.1.2 ΒΑΘΟΣ ΕΥΦΩΤΗΣ ΖΩΝΗΣ

Ο δίσκος του Secchi είναι ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη διαφάνεια του νερού και αποτελεί μια μέθοδο μέτρησης της μείωσης του φωτός σε σχέση με το βάθος (Wetzel, 2001; Moss et al., 2003). Στην παρούσα έρευνα, οι τιμές του βάθους της εύφωτης ζώνης κυμάνθηκαν από 0,6 – 2,6 m (Εικόνα 5) και η εύφωτη ζώνη καταλάμβανε το 1 – 43% της στήλης του νερού.

Το πρότυπο μεταβολής του βάθους της εύφωτης ζώνης φαίνεται να είναι αντίστροφο από αυτό της βιομάζας των κυανοβακτηρίων (Εικόνα 5, Εικόνα 30, Εικόνα 31). Συγκεκριμένα από τον Ιανουάριο - Μάρτιο όπου παρατηρείται υψηλή διαφάνεια της στήλης του νερού, παρατηρούνται χαμηλές τιμές βιομάζας κυανοβακτηρίων, ενώ καθώς παρατηρείται μείωση του βάθους της εύφωτης ζώνης, παρατηρείται αύξηση στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων.

Οι τιμές του βάθους του Secchi (διαφάνεια του νερού), μεταξύ άλλων παραμέτρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης σύμφωνα με την τυπολογία ECOFRAME (Moss et al., 2003). Ειδικότερα όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες από 2 m, η ποιοτική κατάσταση της λίμνης χαρακτηρίζεται υψηλή έως καλή, από 1-1,9 m Μέτρια, από 0,5-0,9 m Ελλιπής και > 0,5 m Κακή. Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οι τιμές βάθους του Secchi κυμάνθηκαν από 0,3 – 1,8 m. Με βάση τις παραπάνω τιμές η οικολογική κατάσταση της λίμνης μπορεί να χαρακτηριστεί κατά τη διάρκεια: α) Ιανουάριος – Απρίλιος ως Μέτρια, β) Μάιος – Ιούνιος και Οκτώβριος – Νοέμβριος ως Ελλιπής και γ) Ιούλιος- Σεπτέμβριος ως Κακή.

Έρευνα που διεξήχθη στη λίμνη Παμβώτιδα από τους Kagalou et al., (2001), έδειξε το βάθος τους δίσκου Secchi να κυμαίνεται από 50 – 90 cm. Με βάση τις παραπάνω τιμές, η ποιοτική κατάσταση της λίμνης χαρακτηρίστηκε από τους Kagalou & Leonardos (2009) ως κακή.

4.1.3. pH ΝΕΡΟΥ

Το pH στη λίμνη Παμβώτιδα κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας κυμάνθηκε από 7,5 – 9. Οι παραπάνω τιμές εμπίπτουν μέσα στο εύρος τιμών που ευνοούν την ανάπτυξη των κυανοβακτηρίων σε λίμνες (Reynolds & Walsby, 1975). Τους περισσότερους μήνες της έρευνας οι τιμές του pH ήταν παρόμοιες και στα δύο βάθη ή μπορεί να υπήρχε μια μικρή διαφορά της τάξης του 0,5. Σύμφωνα με τους Kagalou et al., (2001) το pH στη στήλη του νερού κυμάνθηκε από 7,5 – 8,7. Τιμές οι οποίες συμφωνούν με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στη παρούσα έρευνα.

Οι τιμές pH είναι μία από τις 28 συνολικά διαφορετικές παραμέτρους που προτείνονται από την τυπολογία ECOFRAME, για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης (Moss et al., 2003). Με βάση τις τιμές pH που καταγράφηκαν στη λίμνη Παμβώτιδα *in situ* κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας και σύμφωνα με την τυπολογία ECOFRAME, η οικολογική κατάσταση της λίμνης εκτιμάται από Μέτρια έως Υψηλή ($6.0 < \text{pH} < 10.0$).

Η παραπάνω οικολογική εκτίμηση με βάση τις τιμές pH που καταγράφηκαν στη λίμνη φαίνεται να είναι διαφορετική από την εκτίμηση που έγινε με βάση τις τιμές του βάθους του δίσκου Secchi. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στην αναγκαιότητα ταυτόχρονης χρησιμοποίησης και άλλων παραμέτρων, για να μην οδηγηθούμε σε λανθασμένα συμπεράσματα. Η συνεκτίμηση των τιμών και των άλλων παραμέτρων φαίνεται να είναι καθοριστικής σημασίας στο προσδιορισμό της ποιότητας μιας λίμνης με βάση την τυπολογία αυτή (Moss et al., 2003).

4.2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αναγνωρίστηκαν 11 taxa κυανοβακτηρίων. Τα 11 taxa ανήκουν σε τρεις τάξεις κυανοβακτηρίων. Ειδικότερα:

- 5 taxa ανήκουν στη τάξη Chroococcales, τα *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis* spp., *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*
- τα 4 είδη ανήκουν στην τάξη Nostocales, τα *Anabaena affinis*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon issatschenkoii* και *Aphanizomenon flos-aquae* και
- τα 2 είδη ανήκουν στην τάξη Oscillatoriales, τα *Limnothrix redekei* και *Planktolyngbya limnetica*.

Με εξαίρεση τα *Microcystis* spp., *Aphanocapsa* sp. και *Aphanothece* sp., όπου δεν ήταν ασφαλής η ταξινόμική τους αναγνώριση σε επίπεδο είδους, τα υπόλοιπα είδη ανταποκρίνονται πλήρως στις περιγραφές που δίνονται σε άλλα ταξινόμικά συγγράμματα. Η παρουσία του *Cyanodictyon imperfectum* αναφέρεται για πρώτη φορά στη λίμνη Παμβώτιδα.

Ο αριθμός των ειδών των κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν πιθανότατα να είναι μικρότερος από τον πραγματικό αριθμό ειδών που υπάρχουν στη λίμνη καθώς: α. υπάρχουν πάντοτε ορισμένα είδη τα οποία δεν παρατηρούνται λόγω του πολύ μικρού αριθμού τους, επιπλέον, η απουσία ενός είδους σε ορισμένες ημερομηνίες δειγματοληψίας μπορεί να οφείλεται στην πτώση της πληθυσμιακής πυκνότητας κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου καταμέτρησης και β. εξαιτίας της μικρότερης ποσότητας δείγματος που εξετάζεται στην περίπτωση δειγμάτων με πολύ μεγάλες βιομάζες φυτοπλαγκτού.

Από τα 11 taxa αυτά που είχαν συνεχή παρουσία καθόλη τη διάρκεια της παρούσας έρευνας στη στήλη του νερού ήταν τα *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum* (μικρά Chroococcales). Τα taxa του γένους *Microcystis* (μεγάλα Chroococcales) καθώς επίσης είδη της τάξης Oscillatoriales και το *Anabaena affinis* εμφανίζονται στη στήλη του νερού την ίδια χρονική περίοδο και ειδικότερα από τον Ιούνιο – Νοέμβριο και απουσιάζουν από τη στήλη τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο. Τα είδη *Aphanizomenon flos-aquae* και *Anabaena flos-aquae* εμφανίζονται ταυτόχρονα στη στήλη του νερού τους μήνες Απρίλιο, Ιούνιο και Ιούλιο όπου

καταγράφονται υψηλές θερμοκρασίες νερού αλλά όχι μέγιστες. Τέλος το είδος *Aphanizomenon issatschenkoii* εμφανίζεται τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Η παρουσία του *Microcystis aeruginosa* έχει αναφερθεί στα περισσότερα εύτροφα οικοσυστήματα εσωτερικών υδάτων της Ελλάδας όπως: Λίμνη Καστοριάς (Moustaka Gouni et al., 2007), Βόλβη (Moustaka - Gouni, 1988), Μικρή Πρέσπα (Tryfon et al., 1997), Δοϊράνη (Temponeras et al., 2000), Κερκίνη, Βιστωνίδα, Αμβρακιά και Ζάζαρη (Vardaka et al., 2005). Τα είδη *Anabaena affinis*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatschenkoii* έχουν επίσης αναφερθεί σε ένα μεγάλο αριθμό λιμνών όπως οι λίμνες Καστοριάς (Moustaka - Gouni et al., 2007), Δοϊράνης (Temponeras et al., 2000), Κερκίνη και Ζάζαρη (Vardaka et al., 2005). Είδη της τάξης Oscillatoriales έχουν αναφερθεί στη λίμνη της Καστοριάς (Vardaka et al., 2000). Είδη της ομάδας “μικρά Chroococcales “ όπως το *Aphanocapsa* sp. έχουν αναφερθεί στις λίμνες Μικρή Πρέσπα (Tryfon et al., 1997) και Βόλβη (Moustaka - Gouni, 1988).

4.3. ΑΦΘΟΝΙΑ - ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ – ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΑ ΕΙΔΗ

Η εποχική εμφάνιση, η πληθυσμιακή αύξηση και η αλλαγή στην επικράτηση των οργανισμών στο φυτοπλαγκτό μιας λίμνης προκύπτουν από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων και τις αποκρίσεις των ειδών (Paerl, 1996; Reynolds 1997). Υψηλές τιμές βιομάζας κυανοβακτηρίων σε λίμνες της εύκρατης ζώνης παρατηρούνται κυρίως την περίοδο καλοκαίρι – φθινόπωρο (Reynolds & Walsby, 1975). Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι στα μεσογειακά συστήματα η περίοδος επικράτησης των κυανοβακτηρίων είναι πιο διευρυμένη (Cook et al., 2004; Vardaka et al., 2005). Ανάμεσα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που ευνοούν την επικράτηση των κυανοβακτηρίων στο φυτοπλαγκτό μιας λίμνης είναι: η υψηλή θερμοκρασία του νερού, το υψηλό pH, οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών, η ανθεκτικότητα στη σκίαση και την ανάμειξη του

νερού, η επιλεκτική θήρευση του ζωοπλαγκτού (Reynolds & Walsby, 1975; Reynolds, 1997; Sommer et al., 1986; Dokulil & Teubner, 2000).

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οι τιμές της συνολικής αφθονίας των κυανοβακτηρίων κυμάνθηκαν από 0 - 999 άτομα / ml, ενώ της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη στήλη του νερού κυμάνθηκαν από 0,82 – 19,55 mg l⁻¹. Τιμές βιομάζας κυανοβακτηρίων παρόμοιες με αυτές στη λίμνη Παμβώτιδα έχουν αναφερθεί στην πελαγική ζώνη και άλλων εύτροφων λιμνών της Ελλάδας όπως λίμνη Βόλβη (Μουστάκα, 1988), Δοϊράνη (Temponeras et al., 2000), Μικρή Πρέσπα (Tryfon et al., 1997), λίμνη Αμβρακία (Σπαρτινού, 1992).

4.3.1. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου η βιομάζα των κυανοβακτηρίων εμφάνισε χρονική μεταβλητότητα, σε όλη τη στήλη του νερού της λίμνης Παμβώτιδας. Ειδικότερα:

- Τιμές βιομάζας μικρότερες από 2 mg l⁻¹ καταγράφηκαν στη στήλη του νερού από τον Ιανουάριο έως Μάρτιο 2011 όταν οι τιμές θερμοκρασίας κυμαινόταν από 8 - 11 °C. Την περίοδο αυτή επικρατούσαν στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων τα μικρά κοκκοειδή κυανοβακτήρια *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*.
- Οι υψηλότερες τιμές βιομάζας > 10 mg l⁻¹ σημειώνονται στη στήλη του νερού κατά τη διάρκεια Ιούνιος – Νοέμβριος 2011, όταν οι τιμές θερμοκρασίας κυμαίνονταν από 7,5 – 28 °C και του pH από 7,5 - 9. Την περίοδο αυτή επικρατούσαν στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων τα μεγάλα κοκκοειδή κυανοβακτήρια του γένους *Microcystis* και το επίσης ευμεγέθες κυανοβακτήριο *Anabaena affinis*.

Κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου η βιομάζα των κυανοβακτηρίων εμφάνισε χωρική μεταβλητότητα, στη στήλη του νερού της λίμνης Παμβώτιδας. Παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα πρότυπα κατανομής:

- Ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη στήλη του νερού. Παρατηρείται τους μήνες Ιανουάριο, Μάιο και Ιούλιο. Τα αποτελέσματα αυτά συνδέονται κυρίως με συμβάτα ανάμειξης της στήλης του νερού λόγω μετεωρολογικών φαινομένων (π.χ. άνεμοι, βροχοπτώσεις).
- Μη ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας στη στήλη του νερού, με υψηλότερες τιμές βιομάζας να σημειώνονται στην εύρωτη ζώνη. Παρατηρείται το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Νοέμβριος, όταν οι τιμές θερμοκρασίας στη στήλη του νερού είναι υψηλές και παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ Εύρωτης ζώνης και πυθμένα. Την περίοδο αυτή κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας υπήρχε νηνεμία και παρατηρήθηκε άνθιση του νερού στο επιφανειακό στρώμα νερού της εύρωτης ζώνης. Καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές βιομάζας. Τα κυανοβακτήρια που επικρατούν ανήκουν στα γένη *Microcystis* και *Anabaena*, τα οποία διαθέτουν αεροτόπια (Komarek & Anagnostidis, 1999) που τους δίνουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την πλευστότητά τους στη στήλη του νερού, με σκοπό τη μεγαλύτερη δυνατή βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης (Reynolds & Walsby, 1975).
- Μη ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας στη στήλη του νερού, με υψηλότερες τιμές βιομάζας να σημειώνονται πάνω από τον πυθμένα της στήλης του νερού. Παρατηρείται τους μήνες Φεβρουάριο – Μάρτιο, όταν οι τιμές θερμοκρασίας ήταν μικρότερες από 15° C και δεν υπήρχαν σημαντικές θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ Εύρωτης ζώνης και πυθμένα. Την περίοδο αυτή επικρατούν με ένα μικρό αριθμό αποικιών τα μικρά κοκκοειδή κυανοβακτήρια *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*, τα περισσότερα εκ των οποίων δεν διαθέτουν αεροτόπια (Komarek & Anagnostidis, 1999).

4.3.2. ΑΝΘΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Άνθιση του νερού στη λίμνη Παμβώτιδα έχει αναφερθεί από το 1980 (Anagnostidis & Economou-Amilli, 1980). Μεταγενέστερα, άνθιση του νερού

έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (π.χ. Vardaka et al., 2005; Papadimitriou et al., 2009).

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας άνθιση του νερού παρατηρείται το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Νοέμβριος, όταν οι τιμές θερμοκρασίας στη στήλη του νερού είναι υψηλές και παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ Εύφωτης ζώνης και πυθμένα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου της άνθισης του νερού, πέραν των επικρατούντων κυανοβακτηρίων *Microcystis* και *Anabaena affinis*, τα κυανοβακτήρια *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktolyngbya limnetica*, *Limnothrix redekei*, καθώς και τα μικρά κοκκοειδή *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*, συμμετείχαν στην άνθιση σημειώνοντας όμως χαμηλότερες τιμές βιομάζας.

Όλα τα παραπάνω taxa κυανοβακτηρίων έχουν αναφερθεί να συμμετέχουν στην άνθιση του νερού λιμνών από άλλες ελληνικές λίμνες (Vardaka et al., 2005). Τα κυανοβακτήρια που ανήκουν στα γένη *Microcystis* και *Anabaena* είναι χαρακτηριστικά των ευτροφικών και υπερτροφικών λιμνών (Alvarez Cobelas & Jacobsen, 1992; Vardaka et al., 2005).

4.3.3. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΟΜΑΔΩΝ ΚΥΑΝΟΦΥΚΩΝ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας τα taxa των κυανοβακτηρίων διέφεραν μεταξύ τους ως προς την εποχιακή παρουσία και τις πλυθησμιακές μεταβολές τους. Ειδικότερα:

- Τα μικρά κοκκοειδή κυανοβακτήρια της τάξης των Chroococcales ήταν παρόντα στη στήλη του νερού καθόλη τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Υψηλότερες τιμές βιομάζας εμφανίζουν τους μήνες Απρίλιο – Μάιο, και τις χαμηλότερες τιμές Σεπτέμβριο – Νοέμβριο. Επικρατούν στη στήλη του νερού από τον Ιανουάριο – Μάιο. Ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας τους στη στήλη του νερού παρατηρείται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η πτώση της βιομάζας τους από το Μάιο και μετά

μπορεί να οφείλεται στη βόσκηση από το ζωοπλαγκτό (Reynolds, 1984).

- Τα μεγάλα κοκκοειδή κυανοβακτήρια της τάξης των Chroococcales (*Microcystis*), κάνουν την εμφάνισή τους στη στήλη του νερού τον Απρίλιο. Η αύξησή τους άρχισε με την άνοδο της θερμοκρασίας νερού και επικράτησαν στη στήλη του νερού από τον Ιούνιο – Νοέμβριο. Υψηλότερες τιμές βιομάζας σημειώνονται στην στην εύφωτη ζώνη από τον Ιούνιο – Νοέμβριο. Τα κυανοβακτήρια αυτά είναι ευμεγέθη γεγονός που μειώνει τις πιθανότητες βόσκησης τους από το ζωοπλαγκτό (Sommer et al., 1986). Οι αυξομειώσεις της βιομάζας τους την περίοδο της αύξησής τους πιθανόν να οφείλονται στο σχηματισμό επιφανειακών συσσωρεύσεων αποικιών και στην μεταφορά τους από την πελαγική ζώνη στην παράκτια με τον κυματισμό.
- Τα νηματοειδή κυανοβακτήρια της τάξης Oscillatoriales σημείωσαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας χαμηλές τιμές βιομάζας. Εμφανίζονται στη στήλη του νερού από τον Ιούλιο – Νοέμβριο, όταν σημειώνονται οι χαμηλότερες τιμές στο ύψος της εύφωτης ζώνης. Υψηλότερες τιμές βιομάζας παρατηρήθηκε να σημειώνονται στην εύφωτη ζώνη. Τα κυανοβακτήρια αυτά χαρακτηρίζονται από την ικανότητα ρύθμισης της πλευστότητας τους με αεροτόπια και την ανθεκτικότητα τους στη σκίαση (Komarek & Anagnostidis, 1999).
- Τα νηματοειδή αζωτοδεσμευτικά κυανοβακτήρια της τάξης Nostocales είναι ανταγωνιστικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στη στήλη του νερού (Reynolds, 1984). Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, εμφανίζονται στη στήλη του νερού από το Φεβρουάριο μέχρι το Νοέμβριο 2011 και παρατηρείται μια χρονική διαδοχή στην εμφάνισή τους. Ειδικότερα, χρονικά εμφανίζεται πρώτα το *Aphanizomenon issatschenkoii*, αναπτύσσεται σε σύντομο χρονικό διάστημα την περίοδο Φεβρουάριος – Απρίλιος σημειώνοντας χαμηλές τιμές βιομάζας και μέγιστο τον μήνα Φεβρουάριο. Τον Απρίλιο όταν η θερμοκρασία του νερού σημειώνει τιμές $>15^{\circ}$ C κάνουν την εμφάνισή τους στη στήλη του

νερού τα *Aphanizomenon flos-aquae* και *Anabaena affinis*. Συγκριτικά εμφανίζουν παρόμοιο πρότυπο μεταβολής σημειώνοντας μέγιστο βιομάζας στην εύρωτη ζώνη το μήνα Ιούνιο. Ωστόσο το πληθυσμιακό μέγεθος του *Anabaena affinis* είναι μεγαλύτερο από αυτό του *Aphanizomenon flos-aquae*. Το *Anabaena flos-aquae* εμφανίζεται στη στήλη του νερού από τον Ιούλιο – Σεπτέμβριο σε χαμηλά πληθυσμιακά μεγέθη, όταν η θερμοκρασία του νερού έχει τιμές >20 °C, σημειώνοντας μέγιστο στην εύρωτη ζώνη τον Αύγουστο.

4.4. ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τουλάχιστον 46 είδη κυανοβακτηρίων έχουν βρεθεί να έχουν τοξική δράση σε σπονδυλωτά (Sivonen & Jones, 1999). Πέντε (5) από τα 11 taxa κυανοβακτηρίων που αναγνωριστήκαν στην παρούσα έρευνα, είναι από τα πλέον γνωστά για την παραγωγή τοξινών: *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis* spp., *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon issatschenkoi* και *Aphanizomenon flos-aquae* (Sivonen & Jones, 1999).

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας παρατηρήθηκε συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων από το Φεβρουάριο μέχρι τον Νοέμβριο. Υψηλότερες τιμές της βιομάζας τους παρατηρούνται τους μήνες από Ιούνιο έως Νοέμβριο, όπου και επικρατούν στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων του πλαγκτού σε ποσοστό $>70\%$. Τα εν δυνάμει τοξικά είδη κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας δεν αποτελούν είδη που επηρεάζονται από την βόσκηση (Sommer et al., 1986; Komarek & Anagnostidis, 1999) και επομένως αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η συνολική κυανοβακτηριακή βιομάζα να αποτελείται κυρίως από τοξικά είδη. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Vardaka et al., (2005), σε δείγματα από κυανοβακτηριακούς ανθούς που συνέλεξαν κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου από ευτροφικές λίμνες της Ελλάδας.

Σύμφωνα με τα θεσπισμένα όρια από τον Π.Ο.Υ. για χρήση του νερού για αναψυχή, στη λίμνη Παμβώτιδα διαπιστώνουμε ότι:

A. Την περίοδο Ιανουαρίου – Μαρτίου 2011

- η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 0,82 - 1,6 mg l⁻¹, πυθμένας: 1,36 – 2,00 mg l⁻¹) δεν ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹).
- Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια αναγνωρίστηκαν στη στήλη του νερού σε ποσοστό <10 % της συνολικής βιομάζας. Η συγκέντρωση των τοξινών, σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., αναμένεται να είναι μικρή. Έρευνα που έγινε από τους Paradimitriou et al., (2012b) στη λίμνη Παμβώτιδα, έδειξε ότι η συγκέντρωση των κυανοτοξινών Μικροκυστινών την περίοδο Ιανουάριος – Φεβρουάριος 2008 ήταν < 2 µg/l.
- Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η δεν υπάρχει πιθανότητα για Κίνδυνο της ανθρώπινη υγείας.

B. Την περίοδο Απριλίου – Μαΐου 2011

- η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 3,74 – 9,3 mg l⁻¹, πυθμένας: 3,99 – 6,8 mg l⁻¹) ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹).
- Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια αναγνωρίστηκαν στη στήλη του νερού. Η βιομάζα τους κυμαίνεται σε ποσοστό >20 % της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων της στήλης του νερού. Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. η συγκέντρωση των κυανοτοξινών Μικροκυστινών αναμένεται να είναι 2 - 4 µg/l. Η έρευνα των Paradimitriou et al., (2012b) στη λίμνη Παμβώτιδα το 2008, έδειξε ότι η συνολική συγκέντρωση των Μικροκυστινών την περίοδο Απρίλιος - Μάιος κυμαινόταν από > 2 έως < 4 µg/l.
- Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η υπάρχει Μικρή πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ πιθανές βραχυπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις όπως δερματικοί ερεθισμοί ή γαστρεντερικές διαταραχές μπορεί να παρατηρηθούν σε μικρή συχνότητα.

Γ. Την περίοδο Ιουνίου – Νοεμβρίου 2011

- η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 8,25 – 19,55 mg l⁻¹, πυθμένας: 3,46 – 10,21 mg l⁻¹) ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹). Επιπρόσθετα τιμές βιομάζας υψηλότερες από τον «Ουδό Καθοδήγησης 2» (10 mg/l) καταγράφονται στη στήλη του νερού τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο, Οκτώβριο και Νοέμβριο.
- Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια αναγνωρίστηκαν στη στήλη του νερού. Η βιομάζα τους, τους μήνες Ιούνιο - Νοέμβριο κυμαίνεται σε ποσοστό >70 % της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων της στήλης του νερού. Η συγκέντρωση των κυανοτοξινών Μικροκυστινών, σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ, αναμένεται να κυμαίνεται από 10 - 20 µg/l. Η έρευνα των Paradimitriou et al., (2012b) στη λίμνη Παμβώτιδα, έδειξε ότι η συνολική συγκέντρωση των Μικροκυστινών την περίοδο Ιούνιος – Νοέμβριος 2008 κυμαινόταν από >2 έως <16 µg/l, ενώ τιμές >10 µg/l καταγράφηκαν την περίοδο Αύγουστος – Οκτώβριος 2008.
- Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η υπάρχει Μικρή – Μέτρια πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ πιθανές βραχυπρόθεσμες ή/και μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις όπως δερματικοί ερεθισμοί ή γαστρεντερικές διαταραχές μπορεί να παρατηρηθούν.
- Την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε άνθιση του νερού στον πελαγικό σταθμό, ενώ κυανοβακτηριακή κρούστα ήταν ορατή στην παράκτια ζώνη της λίμνης. Σύμφωνα με αυτές τις παρατηρήσεις φαίνεται ότι στην παράκτια ζώνη (Ουδός Καθοδήγησης 3: σχηματισμός κυανοβακτηριακού ανθού – κρούστας σε περιοχές λουομένων) υπάρχει Μεγάλη πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις ή/και οξεία δηλητηρίαση είναι πιθανές. Η συγκέντρωση των κυανοτοξινών Μικροκυστινών, σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., αναμένεται να είναι >100 µg/l. Η έρευνα των Paradimitriou et al., (2012a) στη λίμνη Παμβώτιδα, έδειξε ότι η συνολική συγκέντρωση των Μικροκυστινών την περίοδο Ιούλιος –

Σεπτέμβριος 2005 κυμαινόταν από >4 έως <12 $\mu\text{g/l}$. Ο Γκέλης 2006 αναφέρει τιμές Μικροκυστινών που μετρήθηκαν είτε στην πελαγική είτε στην παράκτια ζώνη της λίμνης τον Αύγουστο 2000, να κυμαίνονται από >35 έως >13000 $\mu\text{g/l}$ και δεν αποκλείει την πιθανότητα για θανατηφόρες τοξινώσεις στη λίμνη.

Με βάση τις δράσεις που προτείνει ο Π.Ο.Υ. για τις περιπτώσεις που ξεπερνούν τον «Ουδό Καθοδήγησης 2» (10 mg l^{-1} , μέτρια πιθανότητα κινδύνου), πρέπει να γίνει ενημέρωση των αρμόδιων αρχών, να τοποθετηθούν προειδοποιητικές πινακίδες, να υπάρχει παρακολούθηση για τυχόν δημιουργία κυανοβακτηριακής κρούστας και περαιτέρω έρευνα για τους κινδύνους που ελλοχεύουν. Στις περιπτώσεις όπου οι τιμές βιομάζας των κυανοβακτηρίων ξεπερνούν τον «Ουδό Καθοδήγησης 3» (άνθιση του νερού, μεγάλη πιθανότητα κινδύνου) πρέπει επιπλέον να υπάρξει άμεση δράση για αποτροπή επαφής του πληθυσμού με την κυανοβακτηριακή κρούστα, απαγόρευση δραστηριοτήτων που απαιτούν την επαφή με το νερό και γενικά έρευνα για τη δημόσια υγεία.

Σύμφωνα και με άλλες έρευνες που έχουν γίνει στη λίμνη Παμβώτιδα (Cook et al., 2004; Gkelis et al., 2005; Vardaka et al., 2005; Papadimitriou et al., 2012a; 2012 b) και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, φαίνεται ότι πρέπει να παρακολουθείται η παρουσία κυανοβακτηρίων στη λίμνη, έτσι ώστε σε περιόδους κρίσεων να λαμβάνονται άμεσα μέτρα για την προστασία της δημόσιας υγείας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αναγνωρίστηκαν 11 taxa κυανοβακτηρίων τα: *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis* spp., *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp., *Cyanodictyon imperfectum*, *Anabaena affinis*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon issatschenkoi*, *Aphanizomenon flos-aquae* *Limnothrix redekei* και *Planktolyngbya limnetica*.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οι τιμές της συνολικής αφθονίας των κυανοβακτηρίων κυμάνθηκαν από 0 - 999 άτομα / ml, ενώ της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη στήλη του νερού κυμάνθηκαν από 0,82 – 19,55 mg l⁻¹.

Η βιομάζα των κυανοβακτηρίων εμφάνισε χρονική και χωρική μεταβλητότητα, σε όλη τη στήλη του νερού της λίμνης Παμβώτιδας. Παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα πρότυπα:

- Ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη στήλη του νερού. Παρατηρείται τους μήνες Ιανουάριο, Μάιο και Ιούλιο. Επικρατούν τα κυανοβακτήρια *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*.
- Μη ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας στη στήλη του νερού με υψηλότερες τιμές βιομάζας να σημειώνονται στην εύρωτη ζώνη. Παρατηρείται το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Νοέμβριος, όταν οι τιμές θερμοκρασίας στη στήλη του νερού είναι υψηλές και παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ Εύρωτης ζώνης και πυθμένα. Επικρατούν τα κυανοβακτήρια του γένους *Microcystis* και το *Anabaena affinis*. Την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε άνθιση του νερού στο επιφανειακό στρώμα νερού της εύρωτης ζώνης.
- Μη ομοιόμορφη κατανομή της βιομάζας στη στήλη του νερού, με υψηλότερες τιμές βιομάζας να σημειώνονται πάνω από τον πυθμένα της στήλης του νερού. Παρατηρείται τους μήνες Φεβρουάριο – Μάρτιο, όταν οι τιμές θερμοκρασίας ήταν < 15° C και δεν υπήρχαν σημαντικές θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ Εύρωτης ζώνης και πυθμένα.

Επικρατούν με ένα μικρό αριθμό αποικιών τα *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*

Άνθιση του νερού στη λίμνη Παμβώτιδα παρατηρήθηκε το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Νοέμβριος. Κατά τη διάρκεια της περιόδου της άνθισης του νερού, πέραν των επικρατούντων κυανοβακτηρίων *Microcystis* και *Anabaena affinis*, τα κυανοβακτήρια *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktolynghya limnetica*, *Limnothrix redekei*, καθώς και τα μικρά κοκκοειδή *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. και *Cyanodictyon imperfectum*, συμμετείχαν στην άνθιση σημειώνοντας όμως χαμηλότερες τιμές βιομάζας.

Πέντε (5) από τα 11 taxa κυανοβακτηρίων που αναγνωριστήκαν στην παρούσα έρευνα, είναι γνωστά για την παραγωγή τοξινών: *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis* spp., *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon issatschenkoii* και *Aphanizomenon flos-aquae*. Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας παρατηρήθηκε:

- συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων από το Φεβρουάριο μέχρι τον Νοέμβριο.
- Οι υψηλότερες τιμές της βιομάζας τους σημειώνονται τους μήνες από Ιούνιο έως Νοέμβριο, όπου και επικρατούν στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων του πλαγκτού σε ποσοστό >70%.

Σύμφωνα με τα θεσπισμένα όρια από τον Π.Ο.Υ. για χρήση του νερού για αναψυχή, στη λίμνη Παμβώτιδα διαπιστώθηκε ότι:

- Τιμές βιομάζας μικρότερες από 2 mg l⁻¹ «ουδός καθοδήγησης 1» καταγράφηκαν στη στήλη του νερού από τον Ιανουάριο έως Μάρτιο 2011, ενώ υψηλότερες τιμές βιομάζας > 10 mg l⁻¹ σημειώνονται στη στήλη του νερού κατά τη διάρκεια Ιούνιος – Νοέμβριος 2011.
- Την περίοδο Ιανουαρίου – Μαρτίου η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 0,82 - 1,6 mg l⁻¹, πυθμένας: 1,36 – 2,00 mg l⁻¹) δεν ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹) και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η δεν υπάρχει πιθανότητα για Κίνδυνο της ανθρώπινη υγείας.

- Την περίοδο Απριλίου – Μαΐου 2011 η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 3,74 – 9,3 mg l⁻¹, πυθμένας: 3,99 – 6,8 mg l⁻¹) ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹) και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η υπάρχει Μικρή πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ πιθανές βραχυπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις όπως δερματικοί ερεθισμοί ή γαστρεντερικές διαταραχές μπορεί να παρατηρηθούν σε μικρή συχνότητα.
- Την περίοδο Ιουνίου – Νοεμβρίου 2011 η βιομάζα των κυανοβακτηρίων σε όλη τη στήλη του νερού (Εύφωτη ζώνη: 8,25 – 19,55 mg l⁻¹, πυθμένας: 3,46 – 10,21 mg l⁻¹) ξεπερνά τον «Ουδό Καθοδήγησης 1» (2 mg l⁻¹). Επιπρόσθετα τιμές βιομάζας υψηλότερες από τον «Ουδό Καθοδήγησης 2» (10 mg/l) καταγράφονται στη στήλη του νερού τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο, Οκτώβριο και Νοέμβριο και σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. εκτιμάται ότι η υπάρχει Μικρή – Μέτρια πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ πιθανές βραχυπρόθεσμες ή/και μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις όπως δερματικοί ερεθισμοί ή γαστρεντερικές διαταραχές μπορεί να παρατηρηθούν. Την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε άνθιση του νερού, ενώ κυανοβακτηριακή κρούστα ήταν ορατή στην παράκτια ζώνη της λίμνης. Σύμφωνα με αυτές τις παρατηρήσεις φαίνεται ότι στην παράκτια ζώνη (Ουδός Καθοδήγησης 3: σχηματισμός κυανοβακτηριακού ανθού – κρούστας σε περιοχές λουομένων) υπάρχει Μεγάλη πιθανότητα Κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, ενώ μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις ή/και οξεία δηλητηρίαση είναι πιθανές. Για τους παραπάνω λόγους θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για προστασίας και ενημέρωσης του πληθυσμού για την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Alvarez Cobelas, M. & B. A. Jacobsen, 1992. Hypertrophic phytoplankton: An overview. *Freshwater Forum*, 2: 184-199.

Anagnostidis K. and Economou-Amilli A. (1980). Limnological studies on Lake Pamvotis (Ioannina), Greece I. Hydroclimatology, phytoplankton-periphyton with special reference to the valence of some microorganisms from sulphureta as bioindicators. *Archive fur Hydrobiologie* 89: 313-342.

Anagnostidis, K and Komárek, J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophyta. 1-Introduction. *Archive fur Hydrobiologie / Suppl.* 71: 291-302.

Anagnostidis, K and Komárek, J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophyta. 3-Oscillatoriales. *Archive fur Hydrobiologie / Suppl.* 80: 327-472.

Bakner, R., Carmeli, S., Hadas, O., Teltsch, B., Porat, R. & Sukenin, A. 1997. Identification of *cylindrospermopsis* in *Aphanizomenon ovalisporum* isolated from lake Kinneret Israel. *Journal of Phycology*. 33:613-616.

Bartram, J., Burch, M., Falconer, I.R., Jones, G., Kuiper - Goodman, T. (1999). Situation Assessment, Planning and Management. In Chorus, I. and Bartram, J. (Eds), Toxic Cyanobacteria in Water. First Edition. World Health Organization, E.& F.N. Spon, London and New York, pp. 179-209.

Bartzokas, A. and Metaxas, D.A., 1995. Factor analysis of some climatological elements in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 52: 195-205.

Caramichael W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. *J. Applied Bacteriology*.72:445-459.

Cook, CM. Vardaka, E. and Lanaras T. (2004) Toxic cyanobacteria in Greek freshwaters, 1987-2000. Occurrence, toxicity, and impacts in the Mediterranean region. *Acta hydrochim. Hydrobiol.* 32: 107-124.

Cook, CM., Moustaka-Gouni, M., Gkelis, S., Lanaras, T. (2005). Greece: Cyanotoxin Risk Assessment, Risk Management and Regulation. *In: Chorus I (ed) Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Series: WaBoLu 02/05. Umweltbundesamt, Dessau (ISSN: 0175-4211). pp. 69-75.*

Dafis,. S., Papastergiadou, E., Georgiou, K., Babalonas, D., Georgiadis, T., Papageorgiou, M., Lazaridou, M., Lazaridou, M., Tsiaoussi, V., 1996. Directive 92/43/EEC. The Greek 'Habitat' Project NATURA 2000: An Overview -Life Contract B4-3200/94/756, Commission of the European Communities DG XI, The Goulandris Natural History Museum- Greek Biotope/Wetland Centre. p.917.

Domingo, P., Rubim, T.K., Molica, R.J.R., Azevedo, O.M.F.O. & Carmichael, W.W.1999. First report of microcystin production by picoplanktonic cyanobacteria isolated from Northeast Brazilian drinking water supply. *Environ. Toxicology* 14: 31-35.

Dookulil, M. T. & Teubner, K. 2000. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* 438:1-12.

Falconer, I.R., Bartram, J., Chorus, I., Kuiper-Goodman, T., Utkilen, H., Burch, M and Codd, G.A. (1999). Safe levels and safe practices. *In: Chorus I. & Bartman J. (Eds), Toxic Cyanobacteria in Water. London and New York. pp. 155-178.*

Fay, P. (1983). The blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria). Arnold, E., London. pp. 88.

Fog G., E., Stewart W.D.P., Fay P. and Walsby, A.E. (1973). The blue-green algae. Academic Press, London, New York. pp. 459.

Georgiadis, Th., Artelari, P., Chondropoulos V., Kaspiris, P. and Legakis, A., 2000. Natura biotopes project Report, University of Patras, University of Athens, Greece.

Gkelis, S., Harjunpaa, V., Lanaras T. & Sivonen, K., 2005. Diversity of hepatotoxic microcystins and bioactive anabaenopeptins in cyanobacterial blooms from Greek freshwaters. *Environmental Toxicology*, 20: 249-256.

Gkelis, S., Lanaras T., Sivonen, K., 2006. The presence of microcystins and other cyanobacterial bioactive peptides in aquatic fauna collected from Greek freshwaters. *Aquatic Toxicology*, 78: 32-41.

Harada, K. -I. 1996. Trace analysis of microcystins. *Phycologia* 35: 36-41.

Hawkins, P. R., Chandrasena, N. R., Jones, G. J., Humpage, A.R. & Falconer, I. R. 1997. Isolation and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* from an ornamental lake. *Toxicon* 35: 341-346.

Hillebrand, H., Durselen, D.C., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35: 403-424.

Hindák, F. & Moustaka - Gouni, M. T. (1988). Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. *Archive fur Hydrobiology. Suppl.*, 80: 497–528.

Hindák, F. 1992. Several interesting planktic cyanophytes. *Algol. Stud.*, 66: 1-15.

Hindák, F. (2000). Morphological variation of four planktic nostocalean Cyanophytes – members of the genus *Aphanizomenon* or *Anabaena*. *Hydrobiologia*, 438: 107-116.

Huber – Pestalozzi, G. (1938). Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematic and Biologie. Allgemeiner Teil, Blaualgen, Pilze. In Die Binnengewässer, Band XVI, Teil I. (ed. A. Thienemann), p. 342. Schweizerbratsche Verlagsbuchhandlung (Enwin Nagele), Stuttgart.

Horeck, M. and Komárek, J. (1979). Taxonomic position of three planktonic blue - green algae from the genera *Aphanizomenon* and *Cylindrospermopsis*. *Presia, Praha*, 51: 289-312.

Kagalou, I., Tsimarakis, G. and Paschos, I., 2001. Water chemistry and biology in a shallow lake (Lake Pamvotis – Greece). Present state and perspectives. *Global Nest: The International Journal*, 3(2): 85 – 94.

Kagalou, I., Papadimitriou, T., Bacopoulos, V., Leonardos, I., 2008. Assessment of microcystins in lake water and the omnivorous fish (*Carassius gibelio*, Bloch) in Lake Pamvotis (Greece) containing dense cyanobacterial bloom. *Environmental Monitoring and Assessment* 137: 185–195.

Kagalou, I. and Leonardos, I., 2009. Typology, classification and management issues of Greek lakes: implication of the Water Framework Directive (2000/60/EC). *Environ. Monit. Assess*, 150:469-484.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1989). Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 4 - Nostocales. *Archive fur Hydrobiologie. Suppl.*, 82(3): 247-345.

Komárek, J. (1991). A review of water – bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Algological Studies*, 64: 115-127.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1986a). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 - Choococales. *Archive fur Hydrobiologie. Suppl.*, 73: 157-226.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1986b). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 - Nostocales. *Archive fur Hydrobiologie. Suppl.*, 82(3): 247-345.

Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprocaryota. 1. Teil. Chroococcales. In *Subwassseflora von Mitteleuropa, Band 19/1*(ends Ettl, Gartner, G., Heynig, H. and Mollenhauer). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelber, Berlin., p. 548.

Komárek, J. (2003). Planktic oscillatorialean cyanoprocaryotes (short review according to combined phenotype and molecular aspects). *Hydrobiologia* 502: 367-382.

Komárek, J. and Kovacik, K. (1989). Trichome structure of four *Aphanizomenon* taxa (Cyanophyceae) from Czechoslovakia, with notes on the taxonomy and delimitation of the genus.- *Pl.Syst.Ecol.*,164: 47-64.

Komarkova-Lergenova, J. and Eloranda, P. (1992). Planktic blue-green algae (Cyanophyta) from Central Finland (Jyvaskyla region) with special reference to the genus *Anabaena*. *Algol. Stud.* 67: 103-133.

Kormas K, Vardaka E, Moustaka-Gouni M, Kontoyanni V, Petridou E, Gkelis S, Neofitou C. 2010. Molecular detection of potentially toxic cyanobacteria and their associated bacteria in lake water column and sediment. *World J Microbiol Biotechnol*, 26: 1473–1482.

Kormas KA, Gkelis S, Vardaka E, Moustaka-Gouni M, 2011. Morphological and molecular analysis of bloom-forming Cyanobacteria in two eutrophic, shallow Mediterranean lakes. *Limnologica* DOI: 10.1016/j.limno.2010.10.003.

Kuiper-Goodman, T., Falconer, I. and Fitzgerald, J. (1999). Human Health Aspects. In: Chorus I. and Bartram J. (eds), *Toxic Cyanobacteria in Water*. London and New York, pp.113-153.

Lanaras T., Tsitsamis S., Chlichlia C. and Cook C.M.. (1989) Toxic cyanobacteria in Greek freshwaters. *J. appl. Phycol.*, 1: 67–73.

Lanaras, T. & Cook C.M. 1994. Toxin extraction from an *Anabeonopsis milleri* dominated bloom. *Sci. Total Environ*, 142: 163-169.

Li, R., Watanabe M. and Watanabe M. M. (2000). Taxonomic studies of planktic species of *Anabaena* based on morphological characteristics in cultured strains. *Hydrobiologia*, 438: 117-138.

Li, R., Carmichael, W. W., Liu Y. and Watanabe M. M. (2000). Taxonomic reevaluation of *Aphanizomenon flos-aquae* NH-5 based on morphology and 16S Rrna gene sequences. *Hydrobiologia*, 438: 99-105.

Montesanto, B. & Tryfon, E. 1999. Phytoplankton community structure in the drainage network of Mediterranean river system (Aliakmon, Greece). *International review of Hydrobiology*, 84: 451-468.

Montesanto, B., Ziller, S., Danielidis, D., & Economou-Amilli, A. 2000. Phytoplankton community structure in the lower reaches of a Mediterranean river (Aliakmon, Greece). *Archive fur Hydrobiologie*, 147: 171-191.

Moss, B., Stephens, D., Alvarez, C., Becares, E., Van De bund, w., Collings, S., et al., 2003. The determination of ecological status in shallow lakes – A tested system (ECOFAME) for implementation of the european Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13: 507-549.

Moustaka-Gouni, M. T., 1988. The structure and dynamics of the phytoplankton assemblages in lake Volvi, Greece. I. Phytoplankton composition and abundance during the period March 1984-March 1985. *Archiv für Hydrobiologie*, 112(2) : 251-264.

Moustaka-Gouni, M. T., 1989. Temporal and spatial distribution of chlorophyll a in Lake Vovli, Greece. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 82: 475-485.

Moustaka-Gouni, M. T. & Nikolaidis, G., 1990. Phytoplankton of a warm monomictic lake – Lake Vegoritis, Greece. *Archiv für Hydrobiologie*, 119: 299-313.

Moustaka Gouni, M. T., Albanakis, K., Mitrakas, M. & Psilovikos, A. 2000. Planktic autotrophs and environmental conditions in the newly-formed hydroelectric Thesaurus reservoir, Greece. *Archiv für Hydrobiologie*, 149: 507-526.

Moustaka- Gouni, M., Vardaka, E. & Tryfon, E., 2007. Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady-state dominance of *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia*, 375: 129-140.

Mur, L., Skulberg, O.M. and Utkilen, H. (1999). Cyanobacteria in the environment. In: Chorus I. and Bartram J. (eds). Toxic cyanobacteria in water. E and FN Spon, London and New York. pp. 15-40.

Neilan, B. A. , Dittmann, E., Rouhiainen, L., Bass, R. A., Schaub, V., Sivonen, K. & Borner, T. 1999. Nonribosomal peptide synthesis and toxigenicity of cyanobacteria. *Journal of Bacteriology*, 181: 4089-4097.

Oceviski, B., Kozarov, G. & Serafimova-Hadzisce, J. 1975. Distribution and characteristics of bacteria, phytoplankton and zooplankton in Lake Castoria. *Symp. Biol. Hung*, 15: 233-245.

Ohtani, I., Moore, R.E. & Runnegar, M.T. C. 1992. Cylindrospermopsin-A. potent hepatotoxic from the blue-green alga *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Journal of the American Chemical Society*, 114: 7941-7942.

Overbeck, J., Anagnostidis K., Economou-Amilli, A. 1982. A limnological survey of three Greek lakes: Trichonis, Lyssimachia and Amvrakia. *Arch. Hydrobiol*, 95: 365-394.

Papadimitriou, T., Kagalou, I., Bacopoulos, V., & Leonardos, I. 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: 418-427.

Papadimitriou Th., Leonardos I. & Kagalou I. 2011. Environmental factors and phycocyanin associated with microcystin variation in lake Pamvotis- Greece. *European journal of Phycology*, 46(1),pp 132.

Papadimitriou Th. Kagalou I., Leonardos I. 2012a. Seasonally accumulation of microcystins in the various tissues of an endemic and protected fish species (*Rutilus panosi*) with different sizes. *Clean-Soil Air, Water*, 40 (4), 402-407.

Papadimitriou Th., Kagalou I., Stalikas C., Pilidis G., Leonardos I. 2012b. Assessment of microcystins distribution and biomagnification in tissues of the aquatic food web compartments from a shallow lake and potential risks for public health. *Ecotoxicology* DOI 10.1007/s10646-012-0870-y

Papageorgiou, G. C. 1996. The photosynthesis of cyanobacteria (blue bacteria) from the perspective of signal analysis of chlorophyll "a" fluorescence. *Journal Sci. Ind. Res.*, 55: 596-617.

Paerl, H. W. 1996. A comparison of cyanobacterial bloom dynamics in freshwater, estuarine and marine environments. *Phycologist*, 35: 25-35.

Pilotto, L., Douglas, R.M., Burch, M.D., Cameron, S., Beers, M., Rouch, G.R., Robinson, P., Kirk, M., Cowie, C.T., Hardiman, S., Moore, C., Attwell, R.G.

1997. Health effects of exposure of to cyanobacteria (blue-green algae) due to recreational water-related activities. *Australian & New Zealand Journal of Public Health*, 21: 562-566.

Reynolds, C.S. and Walsby, A.E. (1975). Water - blooms. *Biol. Rev.*, 50: 437-481.

Reynolds, C.S. & Jaworski G.H.M., 1978. Enumeration of natural *Microcystis* populations. *Br. Phycol. J.*, 13: 269-277.

Reynolds, C. S., 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.

Reynolds, C. S., 1994. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, 289: 9-21.

Romero, J., and Imberger, J., 1999. Lake Pamvotis Project, Fin. Report, Center for Water Reasearch, Univ. of W. Australia, Perth, W. Australia.

Rott, E., 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schwetzerische Zeitschrift fur Hydrologie*, 43(1): 34-62.

Sandgren, C. D. & Robinson, J. V., 1984. A stratified sampling approach to compensating for non-random sendimentation of phytoplankton cells in inverted microscope setting chambers. *British Phycological Journal*, 19: 67-72.

Shivonen, K. 1996. Cyanobacterial toxins and toxin production. *Phycologia*, 35: 12-24.

Shivonen, K. & Jones, G. 1999. Cyanobacterial toxins. – In: Chorus I. & Bartram J. (eds), *Toxic Cyanobacteriain water*. London and New York, pp.41-110.

Skuja, H. 1937. Susswasserlagenaus Griechenland und Kleinasien, Hedwiga, 77: 15-70.

Skulberg, O. M., Carmichael, W.W., Andersen, R. A., Matsunaga, S., Moore, R. E. & Skulberg, R., 1992. Investigations of a neurotoxic *Oscillatorialean* strain (*Cyanophyceae*) and its toxins. Isolation and Characterization of homoanatoxin-a. *Environ. Toxicol. Chem.*, 11: 321-329.

Sommer, U., Z. Gliwicz, W. Lampert & A. Ducan, 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archive fur Hydrobiologie*, 106(4): 433-471.

Stalikas, C., Pilidis, G. and Karayannis, M., 1994. Heavy metal concentrations in sediment of lake pamvotis and Kalamas River in North-Western Greece, *Fresenius Environ. Bull.*, 3: 575-579.

Stankovic, S. 1931. Sur les particularites limnologiques de lacs egeens. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 5: 158-196.

Tafas, T. & Economou-Amilli, A. 1997. Limnological survey of the worm monomictic lake Trichonis (central western Greece). II Seasonal phytoplankton periodicity – a community approach. *Hydrobiologia*, 344: 129-139.

Temponeras, M., Kristiansen, J. & Moustaka- Gouni, M., 2000. Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece. *Hydrobiologia*, 424: 109-122.

Tikkanen, T. 1986. Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy, Helsinki, pp. 1-278.

Tryfon E. 1996. *Pannus spumousus* (*Chroococcales*, *cyanoprocarota*) from Lake Mikri Prespa, Greece. *Phycologia*, 35: 222-224.

Tryfon, E., Moustaka - Gouni, M & Nikolaidis, G., 1996. Phytoplankton and nutrients in the river Strymon, Greece. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 81: 281-292.

Tryfon, E., Moustaka - Gouni, M & Nikolaidis, G., 1997. Planktic cyanophytes and their ecology in the shallow lake Mikri Prespa, Greece. *Nordic Journal Bot.*, 14(4): 439-498.

Tryfon, E., Moustaka - Gouni, M. 1997. Species composition and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia*, 351: 61-75.

Vardaka, E., Moustaka- Gouni, M. & Lanaras T., 2000. Temporal and spatial distribution of planktic cyanobacteria in lake Kastoria, Greece, a shallow urban lake. *Nordic Journal Bot.*, 20: 501-511.

Vardaka, E., Moustaka-Gouni, M., Cook, C.M. and Lanaras, T. (2005). Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies. *Journal of Applied Phycology*, 17: 391-401.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik, *Mitt. Intern. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, 9: 1-38. Cyanobacteria. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford, pp. 187-197.

Wetzel, R., 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. New York, USA: Academic press.

Ziogas, G., Stamoulakis, G., Konstantis, C. and Kalfakakou, V., 1982. The pollution and the environmental problems in the basin of Ioannina, Technical Report T.E.E. Ioannina (in Greek)

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναγνωστίδης, Κ. Θ. 1968. Έρευναι επί των Θειοβιοκοινωνιών (Sulphuretum) των αλμυρών αλμυρών και γλυκένων υδάτων της Ελλάδος. Ταξινομική, χλωριστική, οικολογική, φυτοκοινωνιολογική, φυτογεωγραφική, μελέτη. – *Επιστημονική Επετηρίδα Σχολής Φυσικών και Μαθηματικών Επιστημών*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 10: 409-868.

Βαρδάκα, Ε. (2001). Τοξικά κυανοβακτήρια και κυανοβακτηριακές τοξίνες στη λίμνη Καστοριάς και σε υδάτινα οικοσυστήματα της Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών. Παράρτημα, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Γκέλης, Σ. (2006). Πλαγκτικά κυανοβακτήρια: Χαρακτηρισμός και παραγόμενα βιοδραστικά πεπτίδια. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Μουστάκα, Μ. (1988). Εποχιακές διακυμάνσεις, ετήσια περιοδικότητα και χωρική κατανομή των φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών της λίμνης Βόλβης. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.

Σπαρτινού, Δ., Μ.-Γ. 1992. Η μικροχλωρίδα της λίμνης Αμβρακιάς. Συστηματική και οικολογική μελέτη. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

www.oengov.gr