

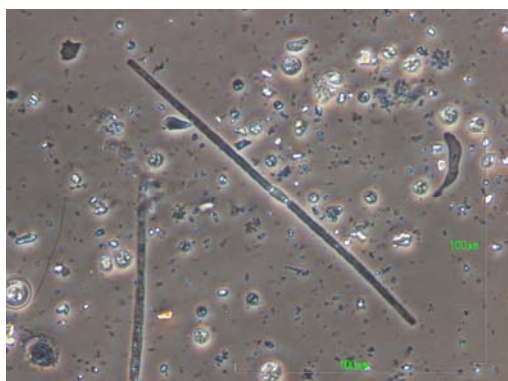
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ν.ΜΟΥΔΑΝΙΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ

ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΛΑΜΠΡΙΝΗ ΑΡΝΙΔΟΥ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ *Aphanizomenon* ΣΤΗ ΦΡΑΓΜΑΛΙΜΝΗ ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΕΑ ΜΟΥΔΑΝΙΑ (2009)

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ν.ΜΟΥΔΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

ΛΑΜΠΡΙΝΗ ΑΡΝΙΔΟΥ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ *Aphanizomenon* ΣΤΗ ΦΡΑΓΜΑΛΙΜΝΗ ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Ε. Βαρδάκα

ΝΕΑ ΜΟΥΔΑΝΙΑ (2009)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1. ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	6
1.1.1. Δομή και οργάνωση	6
1.1.2. Συστηματική κυανοβακτηρίων	7
1.1.2. Οικολογία κυανοβακτηρίων	7
1.2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8
1.2.2 Λίμνη Πολυφύτου	8
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	10
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ	10
2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ	11
2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	11
2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	11
2.5 ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	11
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	12
2.6 ΚΑΘΑΡΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ	12
2.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	13

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	14
3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ	14
3.1.1 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	14
Μορφολογικά γνωρίσματα	15
3.1.1 <i>Aphanizomenon issatchenkoi</i>	18
Μορφολογικά γνωρίσματα	18
3.2. ΑΦΘΟΝΙΑ ΕΙΔΩΝ.....	22
3.2.1 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	22
3.2.2 <i>Aphanizomenon issatchenkoi</i>	23
3.3. ΒΙΟΜΑΖΑ ΕΙΔΩΝ.....	24
3.3.1 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	24
3.3.2 <i>Aphanizomenon issatchenkoi</i>	25
3.3.3 Συνολική βιομάζα	26
3.4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	27
3.4.1 Καθαρός ρυθμός αύξησης.....	27
3.5. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	29
3.5.1 Θερμοκρασία νερού	29
3.5.2 Ύψος της στήλης του νερού	30
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	31
4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	31

4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ	33
4.2.1 Αφθονία και Βιομάζα	34
4.2.2 Καθαρός ρυθμός αύξησης.....	35
4. 3. ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ...	36
4.3.1 Ύδρευση	36
4.3.2 Αναγωγική	38
5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	40
6. ABSTRACT.....	42
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
7.1. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	43
7.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
7.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	47

Στους γονείς μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, στο τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών στα Ν. Μουδανιά Χαλκιδικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Δρ. Ελισάβετ Βαρδάκα για την επιστημονική καθοδήγηση, το επιστημονικό υλικό και της γνώσεις της πάνω στο αντικείμενο που μου προσέφερε, επίσης τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε και την συμπαράσταση της για την συγγραφή της παρούσας έρευνας και τέλος την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπο μου και με ενέκρινε για να συνεργαστούμε την ευχαριστώ πάρα πολύ. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ματίνα Κατσιάπι για την βοήθεια που μου προσέφερε στην ταξινομική αναγνώριση των οργανισμών. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την υλική βοήθεια , την ψυχολογική συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξαν καθ'όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ

1.1.1. Δομή και οργάνωση

Τα κυανοβακτήρια είναι μια πολυάριθμη ομάδα μονοκύτταρων ή πολυκύτταρων φωτοσυνθετικών προκαρυωτικών οργανισμών. Ως προκαρυώτες δεν διαθέτουν μεμβρανικές δομές και οργανίδια, ούτε διακριτό πυρήνα, ωστόσο περιέχουν χλωροφύλλη α και διεξάγουν οξυγονική φωτοσύνθεση (Bartram et al. 1999). Τα κυανοβακτήρια συναντώνται ως μονοκύτταρες, αποικιακές και νηματοειδής (απλές ή διακλαδισμένες) μορφές (Castenholz 2001 από Γκέλης 2006). 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 and 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. Παράγονται συνήθως σε συνθήκες που το άζωτο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα αύξησης. Τα ετεροκύτια έχουν την ικανότητα δέσμευσης μοριακού αζώτου (N_2) και μετατροπής του σε αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+), μέσω του ενζυμικού συμπλόκου νιτρογενάση (Fog et al. 1973, Fay 1983). Τα ακινέτια είναι κύτταρα μεγάλου μεγέθους με παχύ τοίχωμα. Αποτελούν θέσεις αποταμίευσης αζώτου που τους επιτρέπει την επιβίωση κάτω από αντίξοες συνθήκες. Σχηματίζονται συνήθως σε συνθήκες που περιορίζουν την αύξηση των κυανοβακτηρίων (π.χ. ανεπάρκεια θρεπτικών όπως ο φώσφορος και ο άνθρακας) ή στο τέλος της λογαριθμικής φάσης αύξησης των κυανοβακτηρίων και βλαστάνουν όταν βρεθούν σε συνθήκες που ευνοούν την αύξηση των κυανοβακτηρίων (Komárek and 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 and Anagnostidis 1999). Παρέχουν στα πλαγκτικά είδη οικολογικά σημαντικό μηχανισμό που τους επιτρέπει να ρυθμίζουν την κατακόρυφη κίνηση τους στη στήλη του νερού (Komárek and Anagnostidis 1999).

Τα κυανοβακτήρια αναπαράγονται αγενώς και ανάλογα με τη μορφολογία τους με διχοτόμηση, κατάτμηση τριχώματος ή με ορμογόνα (Komárek and Anagnostidis 1999).

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 and Komárek [1985], Komárek and Anagnostidis [1986], Anagnostidis and Komárek [1988], Komárek and Anagnostidis [1989], Komárek and Anagnostidis [1999] και 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 and Komárek, 1985). Σύμφωνα με αυτό το ταξινομικό σύστημα, τα κυανοβακτήρια διαιρούνται στις εξής πέντε κλάσεις : Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales και Stigonematales.

1.1.2. Οικολογία κυανοβακτηρίων

Τα κυανοβακτήρια ήταν ανάμεσα στους πρωτοπόρους οργανισμούς της γης. 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, με αποτέλεσμα τη μετάβαση σε έναν αερόβιο τρόπο ζωής (Bartram et al. 1999).

Ορισμένα είδη κυανοβακτηρίων συμμετέχουν στην άνθιση του νερού (waterbloom). Ο όρος άνθιση του νερού 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 and 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 (Reynold and Walsby 1975).

Ένας μεγάλος αριθμός ειδών κυανοβακτηριων που συμμετέχουν στην άνθιση του νερού έχει την ικανότητα να παράγει τοξίνες ως προϊόντα του μεταβολισμού του (Sivonen and Jones, 1999). Εκθεση θηλαστικών, ψαριών, πτηνών σε αυτές τις τοξίνες 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 and Jones, 1999). Ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο, τα τελευταία χρόνια, λίμνες που γειτνιάζουν με πόλεις ή οικισμούς και στις οποίες παρατηρούνται 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).

1. 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.2.2 Λίμνη Πολυφύτου

Σε απόσταση 20 km. νοτιοανατολικά της Κοζάνης, βρίσκεται η φραγμαλίμνη του Πολυφύτου. Σε ύψος 55 m. πάνω από την επιφάνειά της διασχίζεται από γέφυρα μήκους 1.372 m, πλάτους 13,5 m και γνωστή ως Υψηλή Γέφυρα των Σερβίων. Η λίμνη αυτή δημιουργήθηκε από την τιθάσωση του ποταμού Αλιάκμονα με τη δημιουργία φράγματος και τη λειτουργία ενός από τους σπουδαιότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας (<http://www.ert.gr/menoumellada/makedonia/00375-nomos-kozanis-h-texniti-limni-polyfytou.htm>). Οι μεγάλες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα και άρδευση της Ημαθίας-Πιερίας και Θεσσαλονίκης επέβαλαν την κατασκευή στη θέση του χωριού Πολυφύτου υδροηλεκτρικού εργοστασίου το 1970. Το φράγμα είναι χωμάτινο και δημιούργησε μια μακρόστενη τεχνητή λίμνη μήκους 30 km, επιφάνειας 74 km² και υδάτινου όγκου 2 δις. m³. Η λίμνη κατέκλυσε 54.000 στρέμματα γης σε όλη την περιοχή Σερβίων και Βελβεντού και το υψόμετρο της είναι 293 m. Όταν δουλεύει το εργοστάσιο

φεύγουν από τη λίμνη 345 m³ νερού το δευτερόλεπτο, δηλαδή έξι φορές περισσότερο νερό από ότι φέρνει ο ποταμός (Σαββιλωτίδη 1998). Είναι μία από τις μεγαλύτερες τεχνητές λίμνες της Ελλάδας, όπου πρόσφατα κατασκευάστηκε ένα σύγχρονο πλωτό λιμάνι. Το πολυχρηστικό λιμάνι δημιουργήθηκε με τη μέθοδο των "ασυνεχών πλωτών προβλητών βαρέος τύπου".

Στην περιοχή της λίμνης δραστηριοποιείται ο Ναυτικός Όμιλος Κοζάνης με ποικίλες ναυταθλητικές δραστηριότητες όλες τις εποχές του χρόνου. Επίσης στη λίμνη μπορεί κανείς να ψαρέψει, να κολυπήσει και να κατασκηνώσει (<http://www.ert.gr/menoumellada/makedonia/00375-nomos-kozanis-h-texniti-limni-polyfytu.htm>).

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πληροφορίες σχετικά με το φυτοπλαγκτό στη φραγμαλίμνη Πολυφύτου είναι ελάχιστες (Cook et al. 2004). Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνηθεί από ταξινομική και οικολογική άποψη η παρουσία ειδών του γένους *Aphanizomenon* σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Πολυφύτου κατά την περίοδο Άνοιξη-Καλοκαίρι.

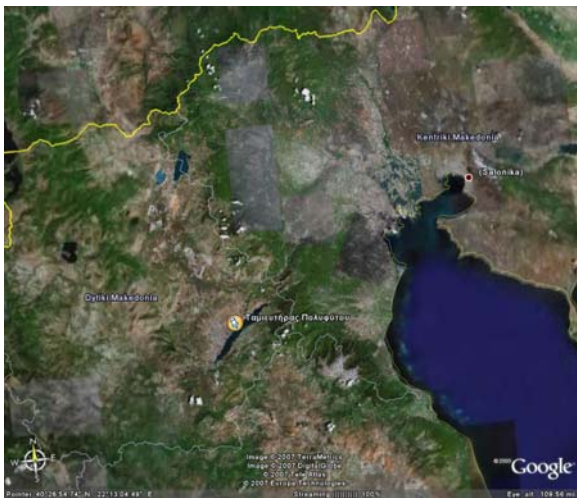
Ειδικότερα, η εργασία περιλαμβάνει: α) ταξινομική ανάλυση των ανευρεθέντων ειδών, β) μελέτη των χρονικών μεταβολών της αφθονίας και της βιομάζας των ειδών του γένους *Aphanizomenon* και γ) μελέτη της δυναμικής των ειδών του γένους *Aphanizomenon*.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ

Η παρούσα έρευνα έλαβε χώρα στη λίμνη Πολυφύτου την χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008. Η συχνότητα των δειγματοληψιών ήταν δύο φορές κάθε μήνα. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 13 δειγματοληψίες τις πρωινές ώρες (μεταξύ 9.30 – 11.30 π.μ.).

Επιλέχθηκε ένας δειγματοληπτικός σταθμός στη παράκτια ζώνη της λίμνης. Το βάθος της στήλης του νερού στο σταθμό κυμάνθηκε κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας από 8-16 m. Ο δειγματοληπτικός σταθμός βρίσκεται σε περιοχή όπου υπάρχει έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (Ναυτικός όμιλος Σερβίων).



A

B

Εικόνα 1. Α) Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής της φραγμαλίμνης Πολυφύτου (Πηγή φωτογραφιών: www.google.earth.com) Β) Φωτογραφία του σταθμού δειγματοληψίας – Ναυτικός Όμιλος Σερβίων (Φωτο: Λ. Αρνίδου).

2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ

Η συλλογή δειγμάτων φυτοπλαγκτού, έγινε από το επιφανειακό στρώμα νερού της λίμνης, με πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 6 L. Στη συνέχεια από το πλαστικό δοχείο των 6 L μεταγγίζονταν υποδείγμα σε πλαστικά μπουκάλια χωρητικότητας 500 mL και ακολουθούσε στερέωση των υποδειγμάτων με διάλυμα Lugol (20 g KI, 10 g I₂, 180 mL απεσταγμένο νερό), (Rott 1981). Τα υποδείγματα τοποθετούνταν στο σκοτάδι και μεταφέρονταν στο εργαστήριο για περαιτέρω ανάλυση.

2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Σε κάθε δειγματοληψία έγινε μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με υδραργυρικό θερμόμετρο. Επιπρόσθετα, μετρήθηκε το ύψος της στήλης του νερού (χρήση βαρίδιου τοποθετημένο σε βαθμονομημένο σχοινί).

2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η αναγνώριση των κυανοβακτηρίων του γένους *Aphanizomenon* έγινε σε ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000-U (Japan) από στερεωμένα με Lugol δείγματα. Η λήψη των φωτογραφιών και η μέτρηση των διαστάσεων των κυττάρων των νημάτων (βλασθητικά κύτταρα, ετεροκύτια και ακινέτια) έγινε με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφικής βιντεοκάμερας τύπου NIKON, DS-5M-L1 (Japan), η οποία ήταν συνδεδεμένη στο ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000-U. Για την ταξινόμηση των κυανοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν τα ταξινομικά συγγράμματα και οι εργασίες των Komárek and Kovacic (1989), Hindak (2000, 1992).

2.5 ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η καταμέτρηση των τριχωμάτων των κυαναβακτηρίων έγινε σε θαλάμους καθίζησης 10 και 25 ml σύμφωνα με τη μέθοδο του Utermöhl (1958) και την τροποποίηση κατά Sandgren and Robinson (1984). Οι χρόνοι καθίζησης ήταν 24 h.

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 κυαναβακτηρίων καθώς και η

μεγέθυνση του φακού εξαρτώνταν από το μέγεθος των οργανισμών και τον αριθμό των παρόντων ατόμων (αποικίες, τριχώματα). Η θέση των οπτικών πεδίων καθορίστηκε σύμφωνα με τη σχέση του εμβαδού της επιφάνειας της κεντρικής περιοχής προς το εμβαδόν της περιφέρειας (Sandgren and Robinson 1984). Στις περιπτώσεις που η καταμέτρηση των ατόμων έγινε με σάρωση, η αφθονία των ατόμων εκφράστηκε ως αριθμός ατόμων ανά ml νερού (Βαρδάκα 2001).

2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η μετατροπή των τιμών αφθονίας σε τιμές βιομάζας έγινε με τον υπολογισμό των κυτταρικών όγκων των νημάτων. Η μέτρηση των διαστάσεων των κυττάρων των νημάτων (βλαστητικά κύτταρα, ετεροκύτια και ακινέτια) έγινε με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφικής βιντεοκάμερας τύπου NIKON, DS-5M-L1 (Japan), η οποία ήταν συνδεδεμένη στο ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000-U.H.

Ο υπολογισμός των κυτταρικών όγκων έγινε μετά από α) μέτρηση των κυτταρικών διαστάσεων (μήκος και πλάτος) των τριχωμάτων και των κυττάρων και β) σύμφωνα με τους γεωμετρικούς τύπους που δίνονται από τους Willen (1976) και Rott (1981). Συνολικά μετρήθηκαν: α) το μήκος των τριχωμάτων 552 ατόμων, β) το πλάτος 1653 βλαστητικών κυττάρων και γ) το μήκος και το πλάτος 31 ετεροκυτίων. Η μετατροπή των κυτταρικών όγκων σε βιομάζα έγινε με βάση την παραδοχή ότι η μέση ειδική πυκνότητα του κυττάρου είναι 1 g L^{-1} (Rott 1981). Οι τιμές της βιομάζας εκφράζονται ως mg κυανοβακτήρια L^{-1} νερού (mg L^{-1}).

2.6 ΚΑΘΑΡΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης (r) για τους πληθυσμούς των κυανοβακτηρίων υπολογίστηκε με βάση τις τιμές βιομάζας τους. Χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση σύμφωνα με τους Lampert and Sommer (1997):

$$r = (\ln N_{t+1} - \ln N_t) / (t_{+1} - t),$$

όπου N_{t+1} = η τιμή βιομάζας τη χρονική στιγμή t_{+1} και N_t = η τιμή βιομάζας τη χρονική στιγμή t .

2.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε Η/Υ τύπου PC, με τη χρήση του προγράμματος SPSS 11.0.1. for Windows. και περιελάμβανε έλεγχο με Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA). Για την αριθμητική περιγραφή των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν τα μέτρα κεντρικής τάσης: μέση τιμή και διάμεσος και τα μέτρα μεταβλητότητας: εύρος των μετρήσεων και ποσοστιαία σημεία.(Πετρίδης 2000).

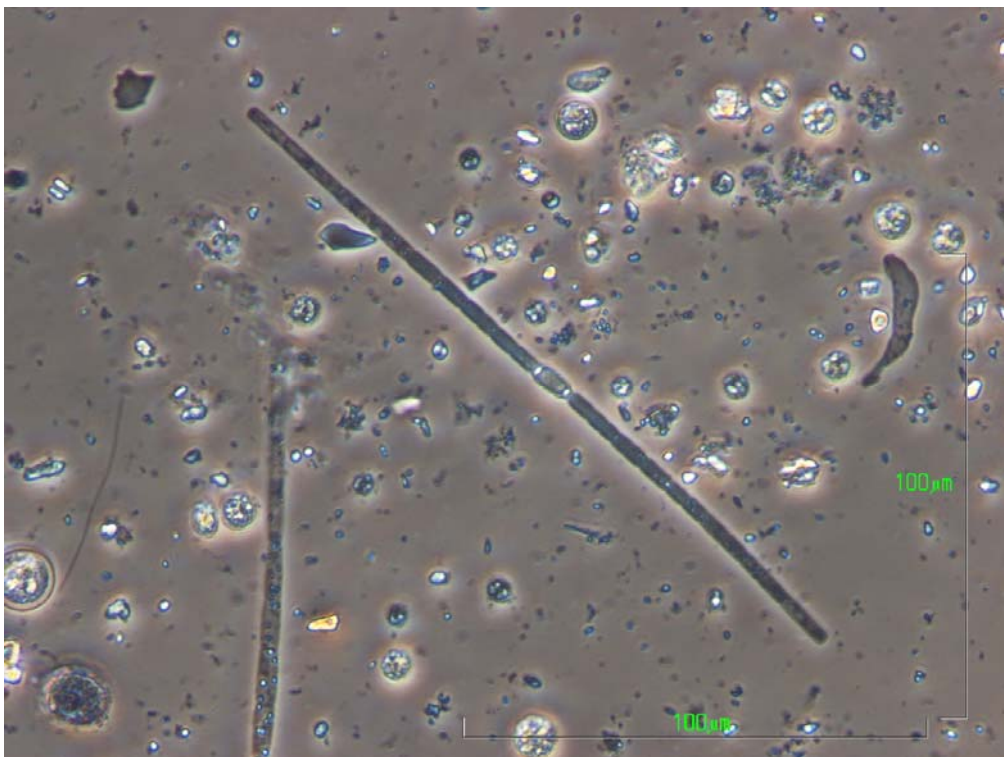
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ

Από την εξέταση των δειγμάτων φυτοπλαγκτού που συλλέχθηκαν από τη λίμνη Πολυφύτου τη περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008, αναγνωρίστηκαν συνολικά 2 είδη κυανοβακτηρίων που ανήκουν στο γένος *Aphanizomenon*: τα *Aphanizomenon flos-aquae* Bornet and Flahault 1886 και *Aphanizomenon issatchenkoi* Usacev & Prosskin-Lavrenko 1968. Τα είδη *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως εν δυνάμει τοξικά (Sivonen & Jones 1999).

Παρακάτω δίνεται η περιγραφή των ειδών *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* που αναγνωρίστηκαν στη φραγμαλίμνη Πολυφύτου.

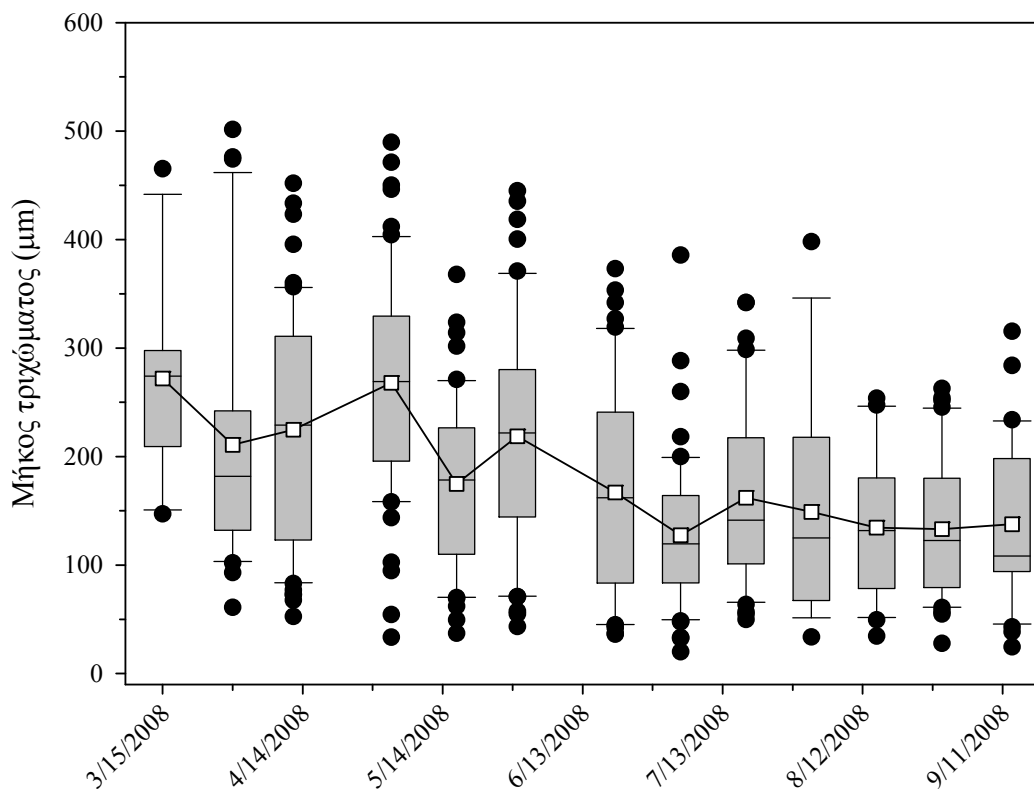
3.1.1 *Aphanizomenon flos-aquae*



Εικόνα 2. *Aphanizomenon flos-aquae*. Φωτο: Λαμπρινή Αρνίδου

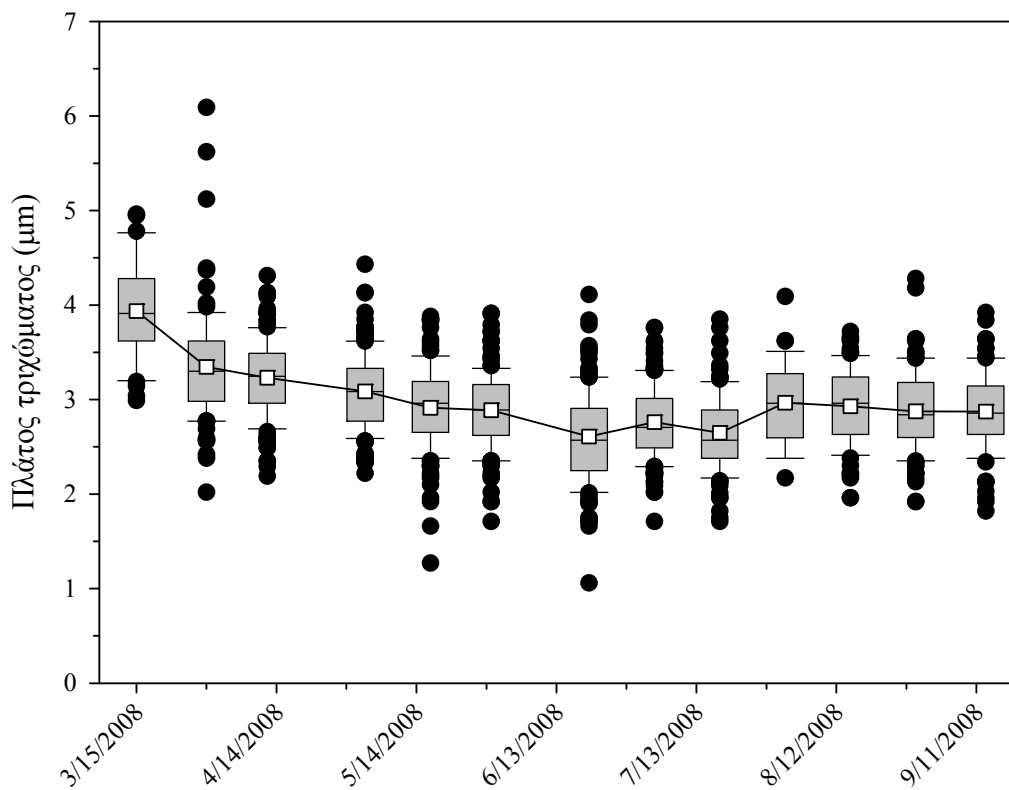
Μορφολογικά γνωρίσματα

Τα τριχώματα του είδους ήταν ευθύγραμμα, μεμονωμένα ενώ δεν παρατηρήθηκε σε κανένα δείγμα ο σχηματισμός αποικιών (δεσμίδες), (Εικόνα 2). Το μήκος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 20,05 – 501,47 μm . Στην Εικόνα 3 δίνεται η κατανομή των τιμών του μήκους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon flos-aquae* καθώς και η μέση τιμή κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Η μέση τιμή του μήκους των τριχωμάτων εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (ANOVA, $P < 0,001$) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν την άνοιξη ενώ χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν κατά τα διάρκεια του καλοκαιριού.



Εικόνα 3. Μέση τιμή (\square), διάμεσος, 10^ο, 25^ο, 75^ο και 90^ο ποσοστιαίο σημείο και ακραίες τιμές (Box και whisker plot) των τιμών του μήκους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon flos-aquae*, στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Το πλάτος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 1,06 – 6,09 μm . Στην Εικόνα 4 δίνεται η κατανομή των τιμών του πλάτους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon flos-aquae* καθώς και η μέση τιμή κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Η μέση τιμή του μήκους των τριχωμάτων εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (ANOVA, $P < 0,001$) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν αρχές άνοιξης ενώ χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν κατά τα διάρκεια του καλοκαιριού.

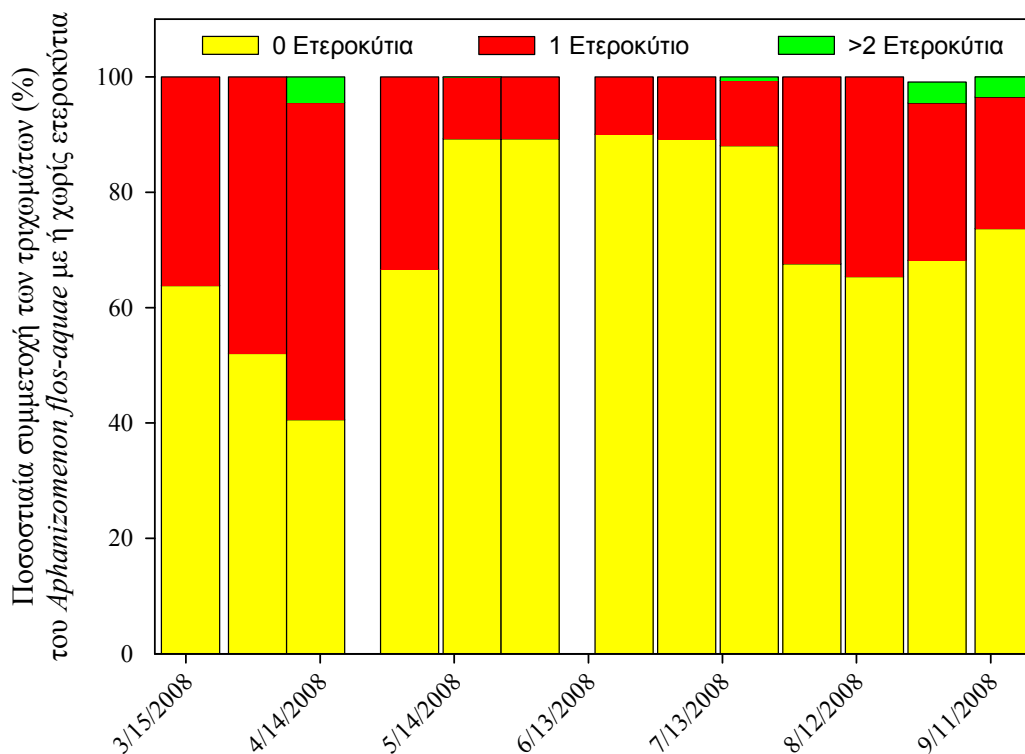


Εικόνα 4. Μέση τιμή (\square), διάμεσος, 10^ο, 25^ο, 75^ο και 90^ο ποσοστιαίο σημείο και ακραίες τιμές (Box και whisker plot) των τιμών του πλάτους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon flos-aquae*, στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Τα βλαστητικά τους κύτταρα είναι κυλινδρικά μήκους 5 - 14,3 μm και πλάτους 2,1 – 7,1 μm . Τα επάκρια κύτταρα είναι πιο επιμηκυσμένα σε σχέση με τα υπόλοιπα βλαστητικά κύτταρα

του τριχώματος (εύρος μήκους: 4,3 - 60 μm και μέση τιμή: 21,03 μm), με απεστρογγυλωμένα και υαλώδη άκρα.

Τα ετεροκύτια είναι κυλινδρικά μήκους 4,3 – 14,3 μm και πλάτους 2,1 – 8,6 μm . Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας στον πληθυσμό του *Aphanizomenon flos-aquae* πάντοτε υπήρχαν τριχώματα που έφεραν ετεροκύτια (1 - 3 ετεροκύτια ανά τρίχωμα). Το ποσοστό των τριχωμάτων με ετεροκύτια δεν ήταν σταθερό αλλά εμφάνισε χρονικές μεταβολές (Εικόνα 5) και κυμάνθηκε από 10 έως 60%. Ακινέτια παρατηρήθηκαν σε ελάχιστα τριχώματα τις ημερομηνίες 1/6/08, 22/6/08 και 31/8/08 .



Εικόνα 5. Ποσοστιαία συμμετοχή των τριχωμάτων (%) του *Aphanizomenon flos-aquae* με ή χωρίς ετεροκύτια στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Το κυανοβακτήριο ανταποκρίνεται στην περιγραφή του είδους από τους Komárek & Kónáček (1989) και τους Li et al. (2000).

3.1.1 *Aphanizomenon issatchenkoi*

Συνώνυμα: *Anabaena issatschenkoi* Usacev 1938

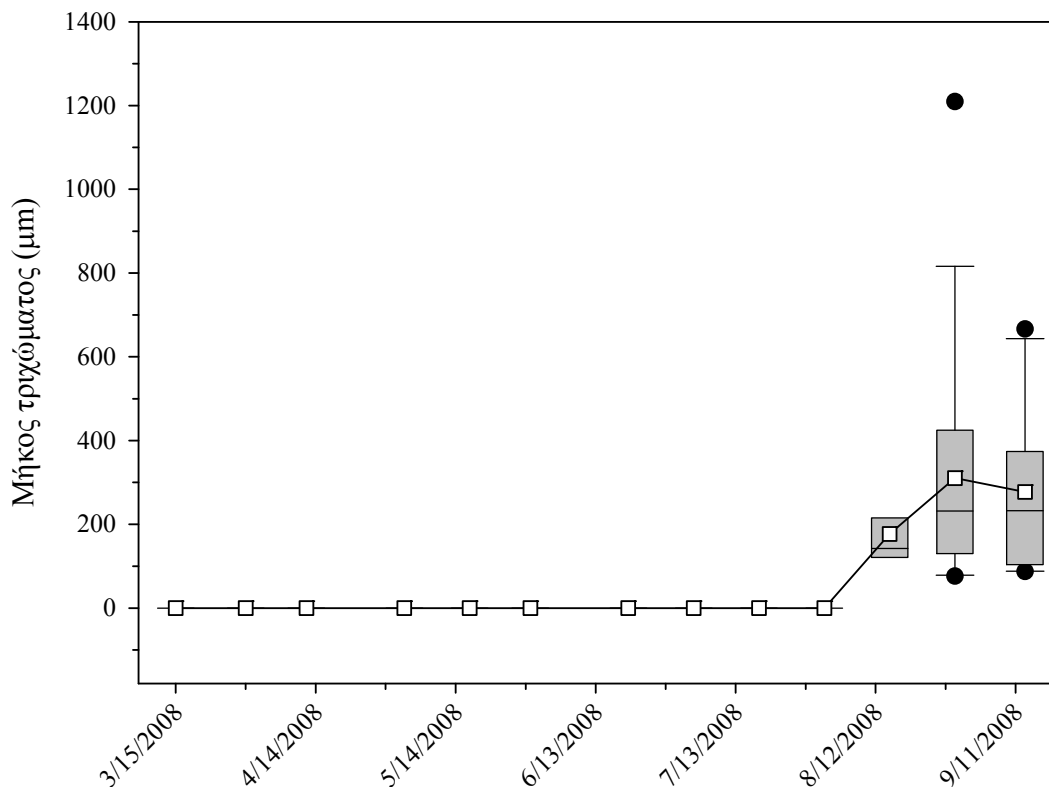
Μορφολογικά γνωρίσματα

Τα τριχώματα του είδους είναι μεμονωμένα, ευθύγραμμα ή ελαφρώς κυρτά (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. *Aphanizomenon issatschenkoi*. Φωτο: Λαμπρινή Αρνίδου

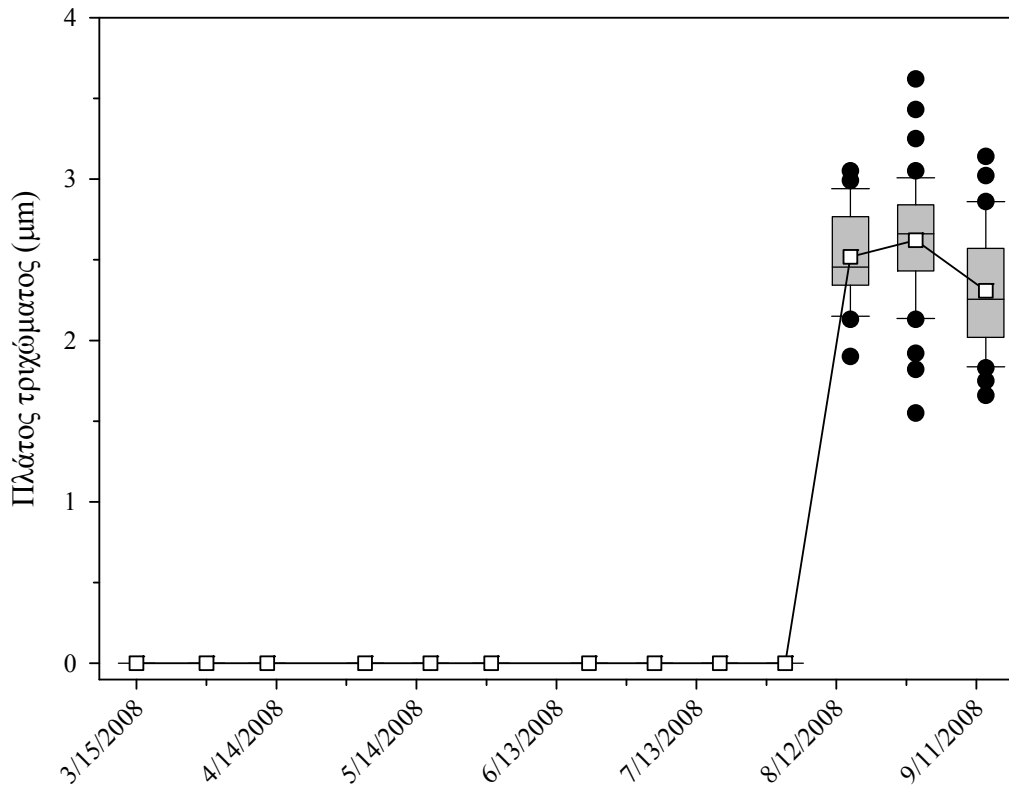
Το μήκος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 73,53 – 1209,37 μm . Στην Εικόνα 7 δίνεται η κατανομή των τιμών και η μέση τιμή του μήκους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon issatschenkoii*, στις ημερομηνίες που το κυανοβακτήριο ανιχνεύτηκε στα δείγματα του φυτοπλαγκτού που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Η μέση τιμή του μήκους των τριχωμάτων δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (ANOVA, $P > 0,001$).



Εικόνα 7. Μέση τιμή (\square), διάμεσος, 10^o, 25^o, 75^o και 90^o ποσοστιαίο σημείο και ακραίες τιμές (Box και whisker plot) των τιμών του μήκους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon issatschenkoii*, στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Το πλάτος των τριχωμάτων κυμάνθηκε από 1,55 – 3,62 μm . Στην Εικόνα 8 δίνεται η κατανομή των τιμών του πλάτους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon issatschenkoii* καθώς και η μέση τιμή κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Παρατηρούμε ότι η μέση τιμή του μήκους

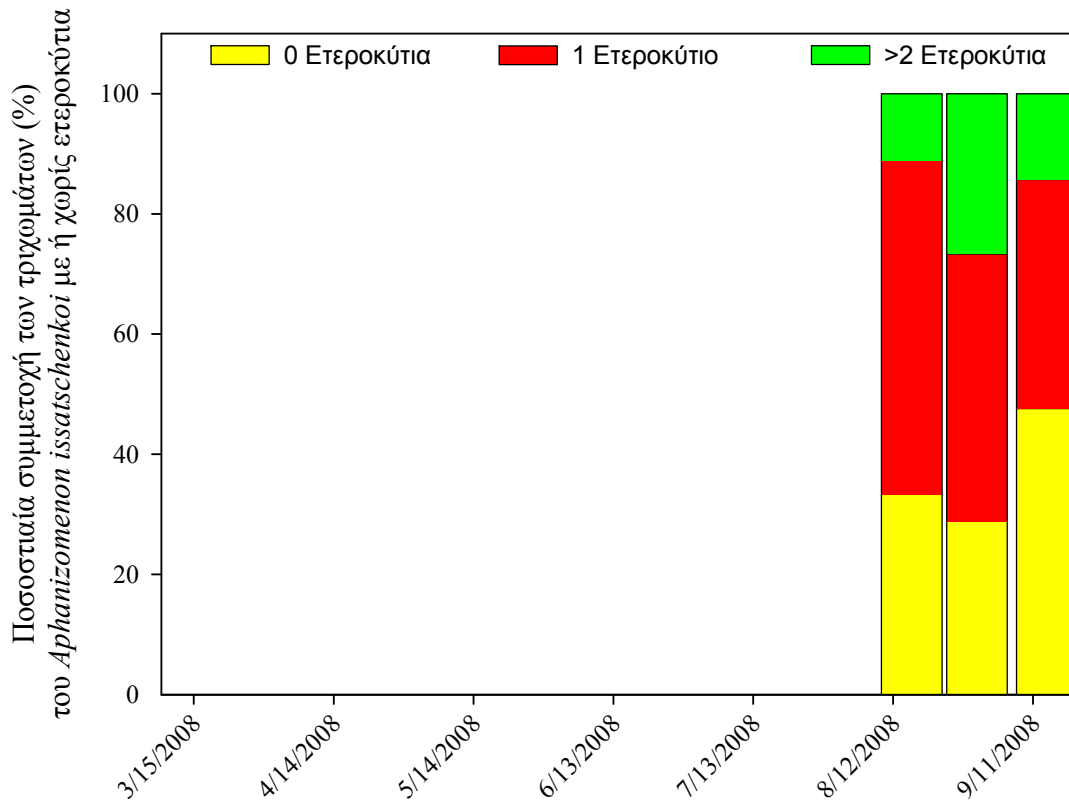
των τριχωμάτων εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (ANOVA, $P < 0,001$). Οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του Αυγούστου.



Εικόνα 8. Μέση τιμή (\square), διάμεσος, 10^ο, 25^ο, 75^ο και 90^ο ποσοστιαίο σημείο και ακραίες τιμές (Box και whisker plot) των τιμών του πλάτους των τριχωμάτων του *Aphanizomenon issatschenkoii*, στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Τα βλαστητικά κύτταρα είναι κυλινδρικά, το μήκος της είναι 5,7 – 8,6 μm και το πλάτος της 2,8 – 4,2 μm . Τα επάκρια κύτταρα 1-3 σε αριθμό, είναι πολύ επιμηκυσμένα και λεπτά, κωνικά και με οξύληκτα άκρα. Τα ετεροκύττα είναι κυλινδρικά 1 – 5 σε κάθε τρίχωμα μήκους 5,7-(7,9)- 11,4 μm και πλάτους 2,1-(3,0)- 4,3 μm . Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας στον πληθυσμό του *Aphanizomenon issatschenkoii* πάντοτε υπήρχαν τριχώματα που έφεραν ετεροκύττα (1 – 5 ετεροκύττα ανά τρίχωμα). Το ποσοστό των τριχωμάτων με ετεροκύττα

ήταν πάντοτε υψηλό (52 – 70%), (Εικόνα 9). Ακινέτια παρατηρήθηκαν σε ελάχιστα τριχώματα την ημερομηνία 31 /08/2008.



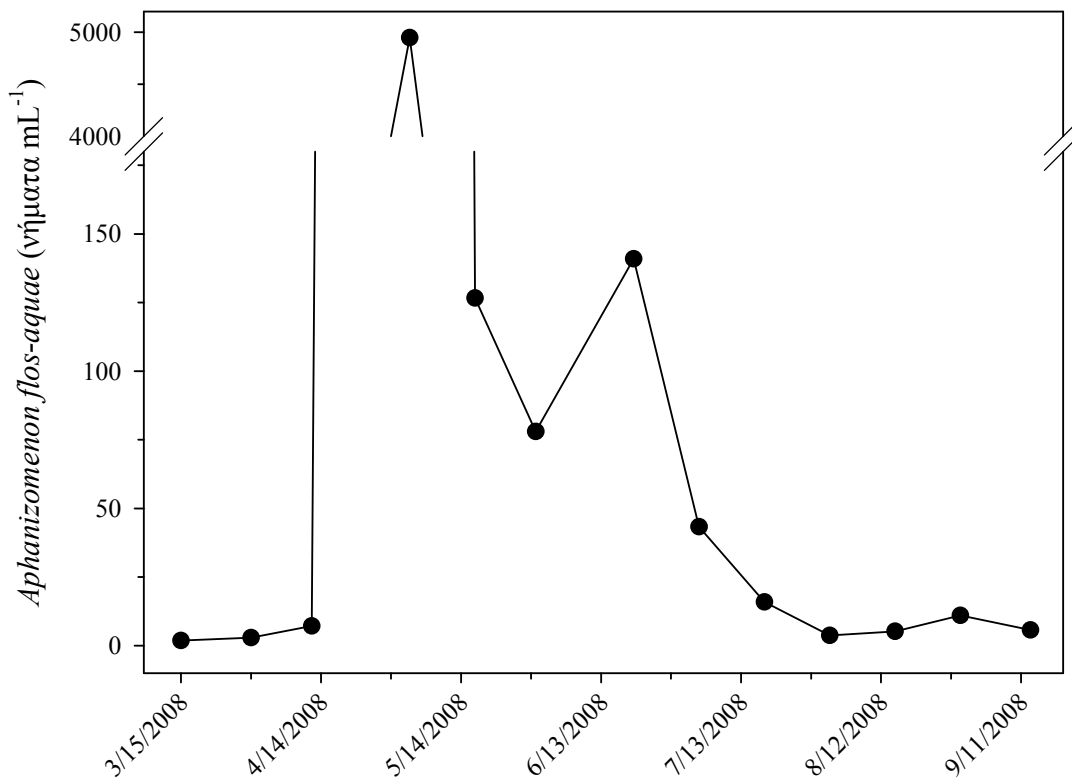
Εικόνα 9. Ποσοστιαία συμμετοχή των τριχωμάτων (%) του *Aphanizomenon issatschenkoi* με ή χωρίς ετεροκύττα στη φραγμαλίμη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

Το κυανοβακτήριο ανταποκρίνεται στην περιγραφή του είδους από τους Hindak and Moustaka (1988), Hindak (1992) και Li et al.(2000) αν και παρατηρείται κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας μετατόπιση του εύρους των τιμών του μήκους των βλαστητικών κυττάρων προς χαμηλότερες τιμές (έως 12 μm από Hindak and Moustaka (1988), έως 15 μm από Hindak (1992) και έως 13,1 από Li et al. (2000)). Επίσης το εύρος τιμών του πλάτους των ετεροκυτίων κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας κυμάνθηκε σε υψηλότερες τιμές σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν από τους Hindak and Moustaka (1988) και Hindak (1992).

3.2. ΑΦΘΟΝΙΑ ΕΙΔΩΝ

3.2.1 *Aphanizomenon flos-aquae*

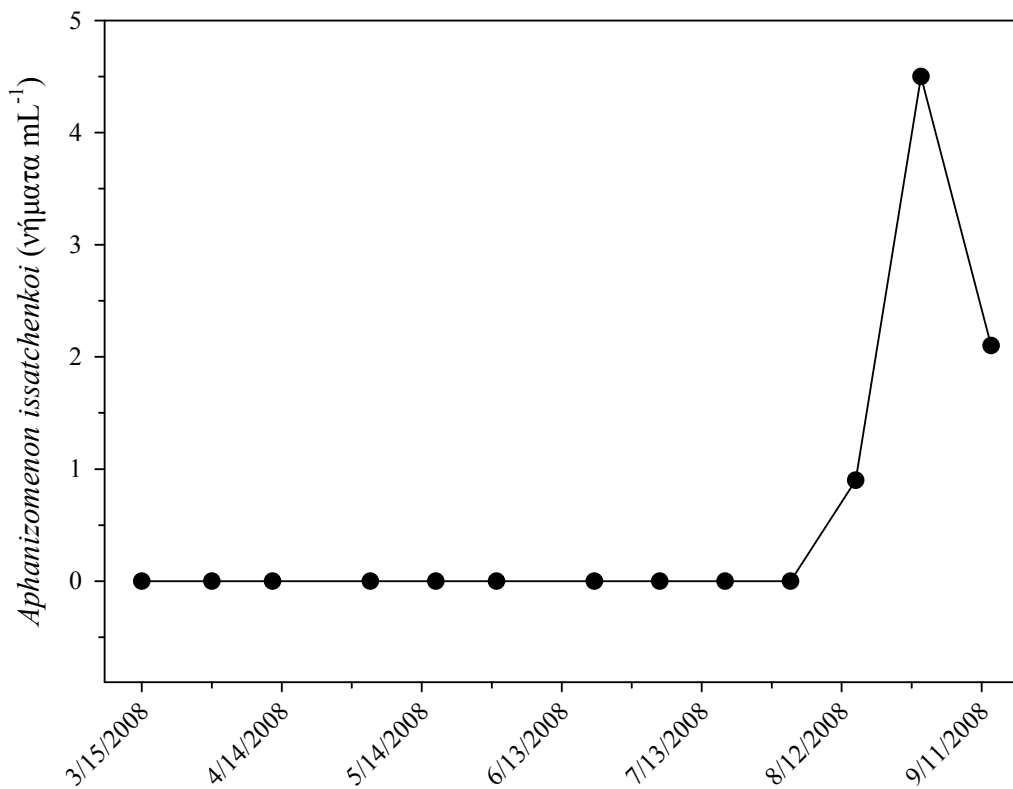
Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 1,88 έως 4947 νήματα mL⁻¹, (Εικόνα 10). Παρατηρήθηκαν δύο μέγιστα αφθονίας. Το πρώτο μέγιστο (4947 νήματα mL⁻¹) παρατηρήθηκε στις 4/5/2008 ενώ το δεύτερο μέγιστο (140,9 νήματα mL⁻¹) παρατηρήθηκε 1,5 μήνα μετά (22/6/2008) το οποίο ήταν περίπου 35 φορές μικρότερο σε σχέση με το πρώτο μέγιστο αφθονίας.



Εικόνα 10. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

3.2.2 *Aphanizomenon issatchenkoi*

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* κυμάνθηκε από 0,9 έως 4,5 νήματα mL^{-1} (Εικόνα 11). Το *Aphanizomenon issatchenkoi* παρατηρήθηκε στη στήλη του νερού από της 17 Αυγούστου και ήταν παρόν στα δείγματα έως το τέλος των δειγματοληψιών της παρούσας έρευνας. Η μέγιστη τιμή της αφθονίας του καταγράφηκε της 31 Αυγούστου.

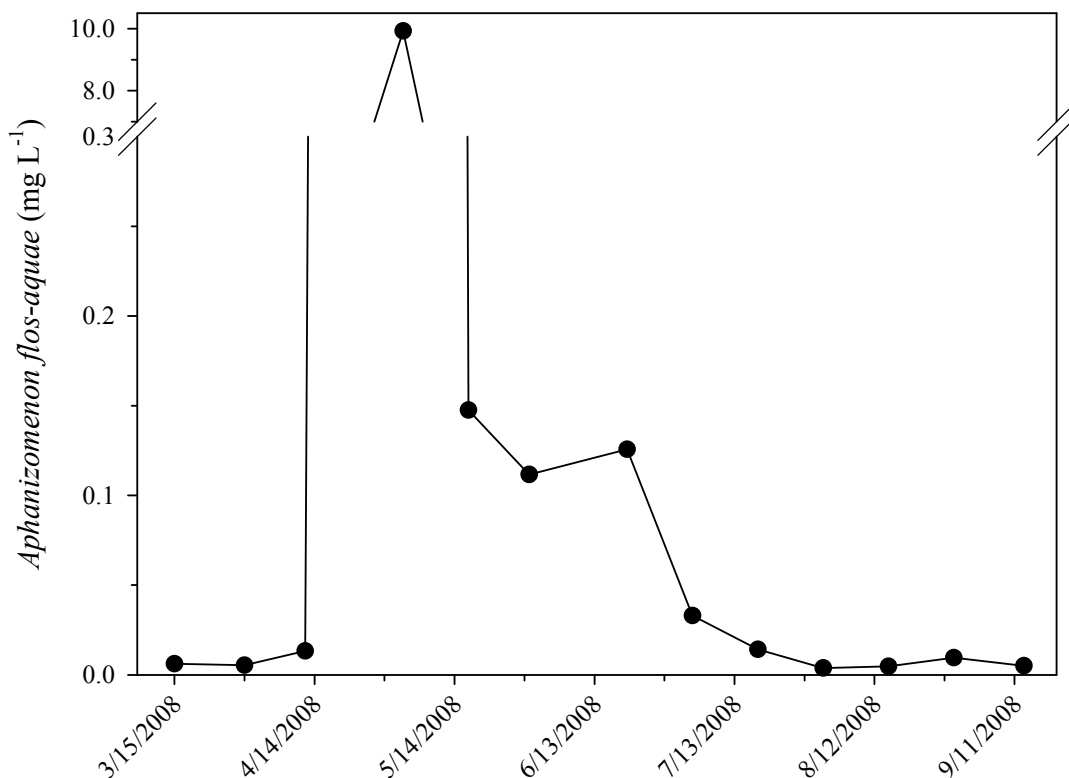


Εικόνα 11. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* που παρατηρήθηκαν στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

3.3. ΒΙΟΜΑΖΑ ΕΙΔΩΝ

3.3.1 *Aphanizomenon flos-aquae*

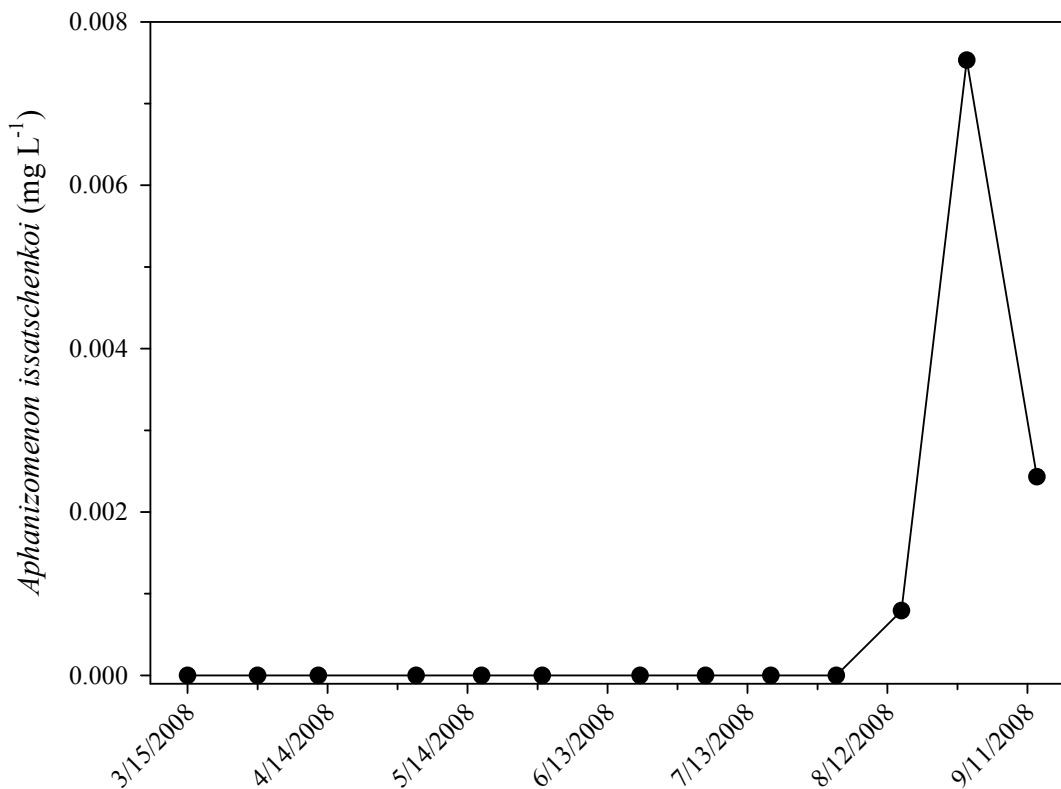
Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 0,004 έως 9,92 mg L⁻¹. Στην Εικόνα 12, παρατηρούμε ότι η βιομάζα του *Aphanizomenon flos-aquae* αρχικά εμφανίζει μία απότομη αύξηση σημειώνοντας μέγιστη τιμή στις 4/5/2008 (9,92 mg L⁻¹). Στη συνέχεια παρατηρήθηκε απότομη μείωση της βιομάζας η οποία διατηρήθηκε σε χαμηλές τιμές για το υπόλοιπο της περιόδου που διήρκησε η παρούσα έρευνα.



Εικόνα 12. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

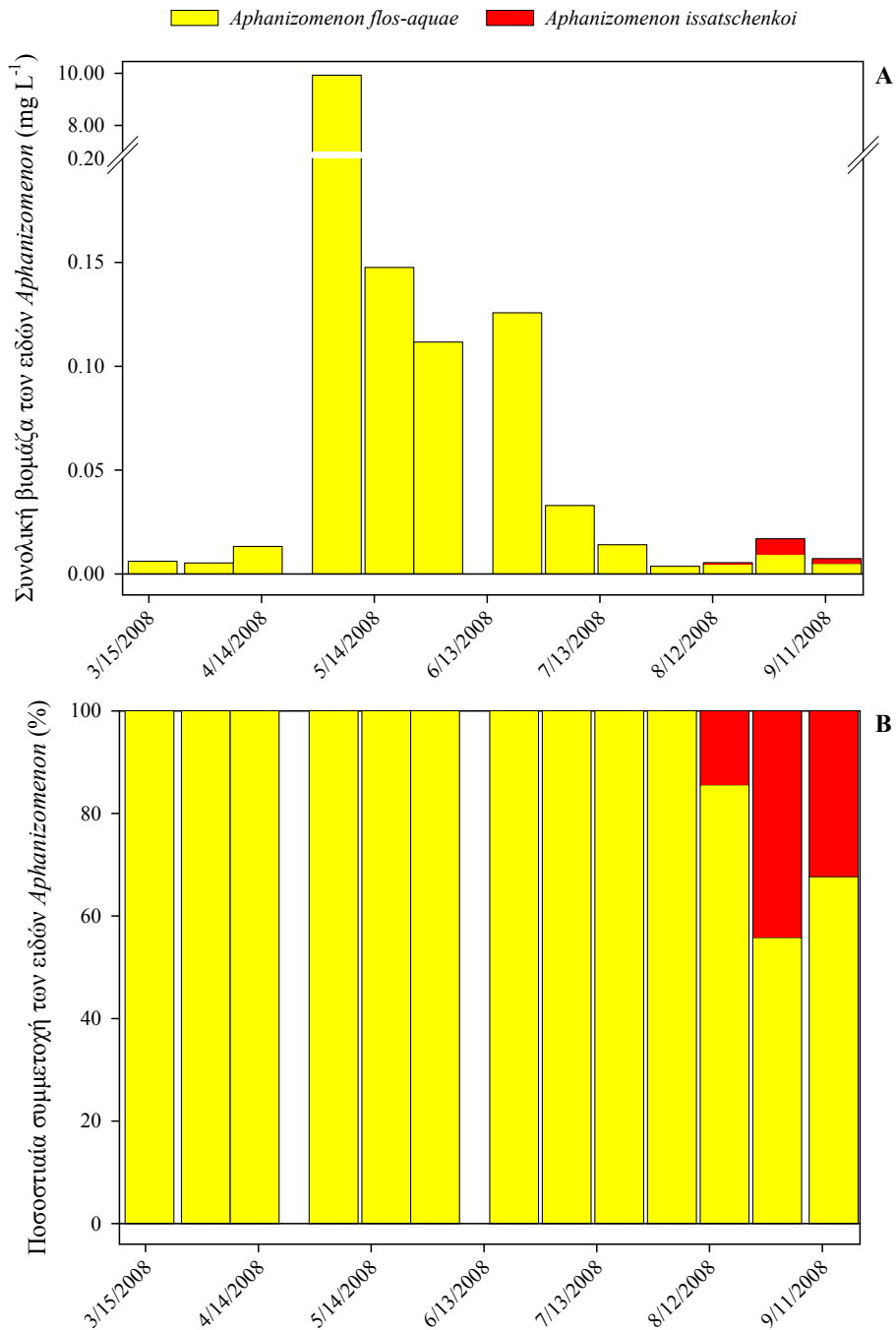
3.3.2 *Aphanizomenon issatchenkoi*

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλότερες τιμές (από 0,001 έως 0,008 mg L⁻¹) σε σχέση με το *Aphanizomenon flos-aquae*. Η μέγιστη τιμή της βιομάζας του καταγράφηκε στις 31 Αυγούστου (Εικόνα 13).



Εικόνα 13. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* που παρατηρήθηκαν στη φραγμαλίμνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008.

3.3.3 Συνολική βιομάζα



Εικόνα 14. Συνολική βιομάζα των ειδών *Aphanizomenon* (A) και ποσοστιαία συμμετοχή κάθε είδους ξεχωριστά (B) στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου τη χρονική περίοδο Μάρτιο έως Σεπτέμβριο 2008.

Η συνολική βιομάζα των ειδών *Aphanizomenon* κυμάνθηκε από 0,04 έως 9,92 mg L⁻¹. Άνθιση του νερού παρατηρήθηκε στις αρχές Μαΐου (4/5/2008) οπότε και σημειώθηκε η υψηλότερη τιμή βιομάζας (Εικόνα 14). Το κυανοβακτήριο που σχημάτισε την άνθιση ήταν το *Aphanizomenon flos-aquae* (Εικόνα 14B).

Η ποσοστιαία συμμετοχή του *Aphanizomenon flos-aquae* επί της συνολικής βιομάζας των ειδών *Aphanizomenon* ήταν υψηλή σε όλη τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (56% έως 100%). Το *Aphanizomenon issatchenkoi* τη περίοδο που ήταν παρόν στη στήλη του νερού (μέσα Αυγούστου έως Σεπτέμβριο) συμμετείχε σε ποσοστό επί της συνολικής βιομάζας που κυμαινόταν από 14% έως 44% (Εικόνα 14B).

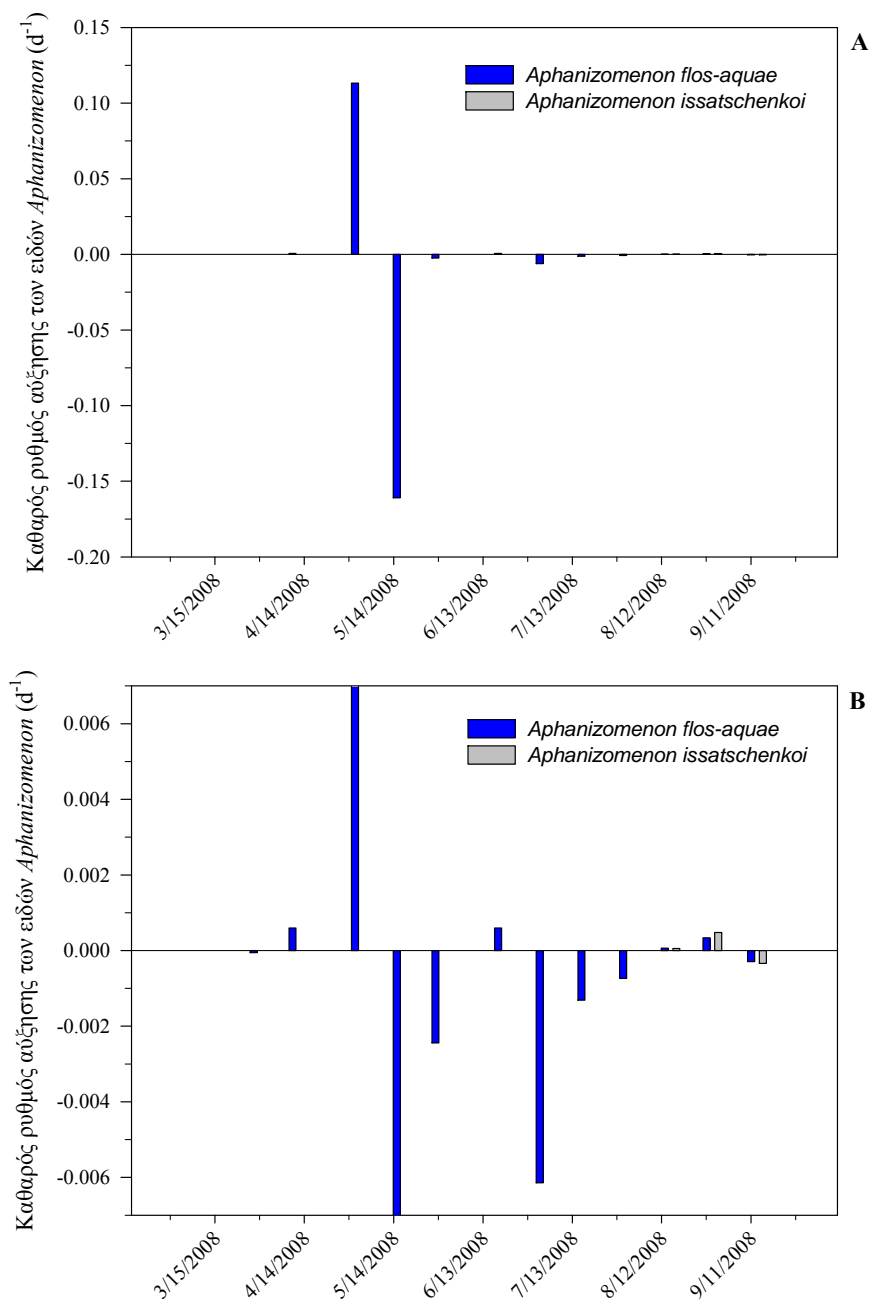
3.4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

3.4.1 Καθαρός ρυθμός αύξησης

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης των πλυθισμών των δύο ειδών *Aphanizomenon* υπολογίστηκε με βάση της τιμές της βιομάζας τους. Οι μεταβολές στον καθαρό ρυθμό αύξησης των δύο πληθυσμών κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας δίνεται στην Εικόνα 15.

Παρατηρούμε ότι τόσο για το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* όσο και για το *Aphanizomenon issatchenkoi* ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφανίζει είτε θετικές τιμές (που αντιστοιχούν στην αύξηση της βιομάζας τους, (Εικόνες 12, 13 και 15), είτε αρνητικές τιμές (που αντιστοιχούν σε μείωση της βιομάζας τους, (Εικόνες 12, 13 και 15). Μηδενικές τιμές του καθαρού ρυθμού αύξησης αντιστοιχούν είτε σε περιόδους μη μεταβολής της βιομάζας είτε σε περιόδους όπου τα κυανοβακτήρια δεν ανιχνεύτηκαν στη στήλη του νερού (μηδενικές τιμές βιομάζας), (Εικόνες 12, 13 και 15).

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφανίζει υψηλές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Εικόνα 15). Υψηλότερη τιμή στον καθαρό ρυθμό αύξησης εμφάνισε ο πληθυσμός του *Aphanizomenon flos-aquae* (0,113 d⁻¹) την χρονική περίοδο από 13/4/08 έως 4/5/08. Ο πληθυσμός του *Aphanizomenon issatchenkoi* σημείωσε υψηλότερη τιμή στον καθαρό ρυθμό αύξησης (0,0005 d⁻¹) την περίοδο από 17/8/08 έως 31/8/08.



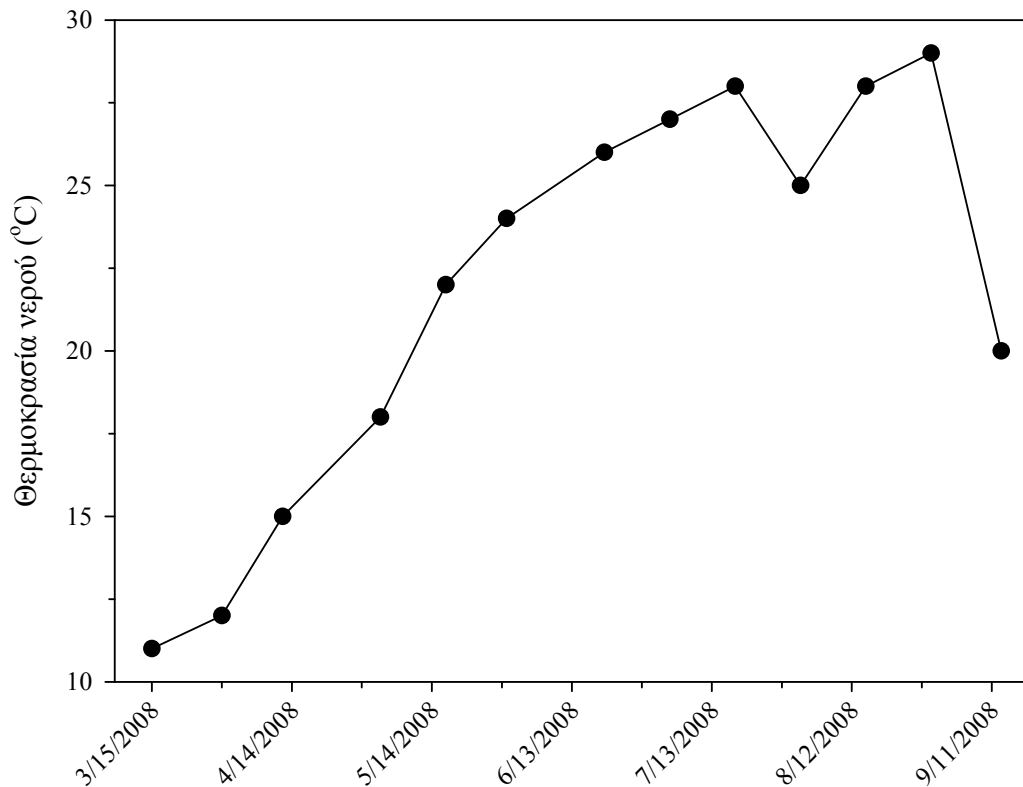
Εικόνα 15. Μεταβολές του καθαρού ρυθμού αύξησης των ειδών *Aphanizomenon* στη φραγμαλίμη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008, σε κλίμακα (A) από 0,15 έως -0,20 d⁻¹ και (B) από 0,007 έως -0,007 d⁻¹.

Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των δύο πληθυσμών των ειδών *Aphanizomenon* (Εικόνα 15B) τη χρονική περίοδο που αυτά συνυπάρχουν στη στήλη του νερού (Αύγουστος έως Σεπτέμβριος) είναι παρόμοιο.

3.5. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

3.5.1 Θερμοκρασία νερού

Οι χρονικές μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού τη χρονική περίοδο από 15 Μαρτίου έως 15 Σεπτεμβρίου 2008, στη φραγμαλίμη Πολυφύτου δίνονται στην Εικόνα 16.

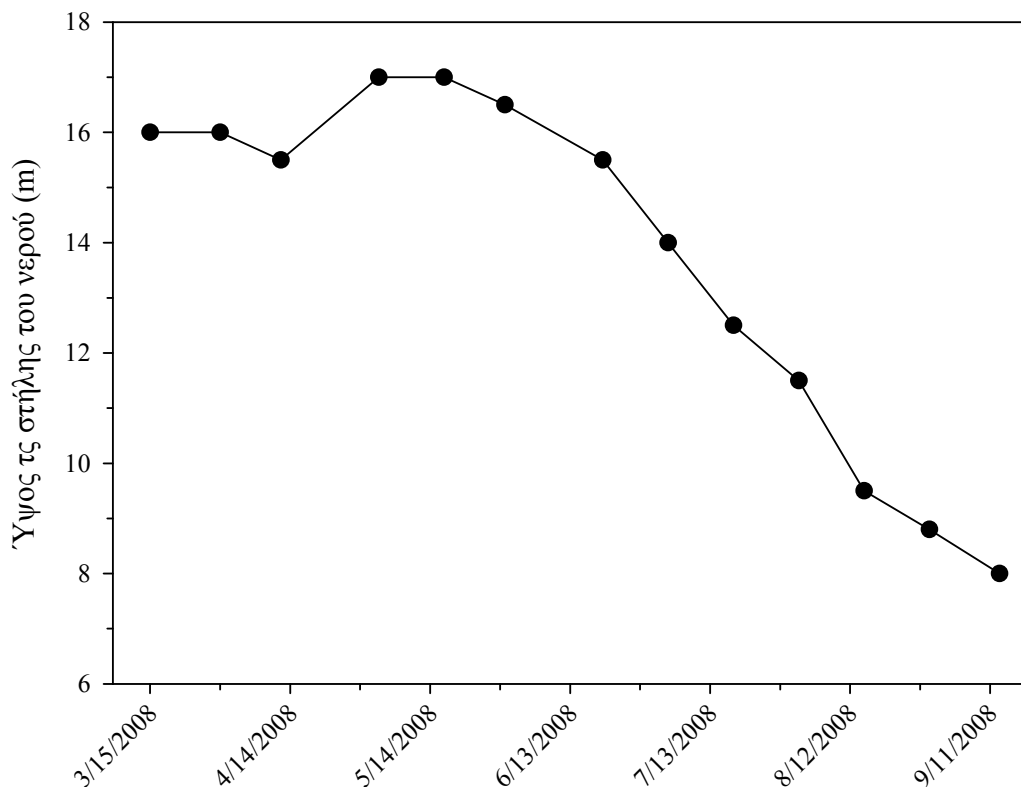


Εικόνα 16. Χρονικές μεταβολές της θερμοκρασίας νερού στο επιφανειακό στρώμα νερού της φραγμαλίμης Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από Μάρτιο έως Σεπτέμβριο 2008.

Η θερμοκρασία νερού στο επιφανειακό στρώμα της στήλης του νερού κυμάνθηκε από 11 – 29 °C. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε το μήνα Μάρτιο και ήταν 11 °C , ενώ οι υψηλότερες τιμές (> 20-29 °C) παρατηρήθηκαν κατά τους θερινούς μήνες, απο Μαΐο-Αύγουστο.

3.5.2 Ύψος της στήλης του νερού

Το ύψος της στήλης του νερού στο δειγματοληπτικό σταθμό της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, (Εικόνα 17) κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας κυμάνθηκε από 8- 17 m. Η χαμηλότερη τιμή του ύψους της στήλης του νερού παρατηρήθηκε το μήνα Σεπτέμβριο (8 m) και η υψηλότερη τιμή το μήνα Μάιο (17 m) .



Εικόνα 17. Χρονικές μεταβολές του ύψους της στήλης του νερού στη φραγμαλίμνη Πολυφύτου, τη χρονική περίοδο από Μάρτιο έως Σεπτέμβιο 2008.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε από ταξινομική και οικολογική άποψη η παρουσία ειδών του γένους *Aphanizomenon* σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Πολυφύτου κατά την περίοδο Άνοιξη-Καλοκαίρι. Ειδικότερα, η εργασία περιλαμβάνει: α) ταξινομική ανάλυση των ανευρεθέντων ειδών του γένους *Aphanizomenon*, β) μελέτη των χρονικών μεταβολών της αφθονίας και της βιομάζας των ειδών του γένους *Aphanizomenon* και γ) μελέτη της δυναμικής των ειδών του γένους *Aphanizomenon*.

4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν 2 είδη κυανοβακτηρίων του γένους *Aphanizomenon*: τα *Aphanizomenon flos-aquae* (Εικόνα 2) και *Aphanizomenon issatchenkoi* (Εικόνα 6). Με βάση τα μορφολογικά γνωρίσματα:

α) το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* (Εικόνες 3-5)

- φαίνεται να ανταποκρίνεται πλήρως στις περιγραφές που δίνονται σε άλλα ταξινομικά συγγράμματα (Komárek and Kováčik 1989, Li et al. 2000).
- χαρακτηριστικό είναι ότι η μέση τιμή τόσο του μήκους (Εικόνα 3) όσο και του πλάτους (Εικόνα 4) των τριχωμάτων εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές χρονικές διαφορές: υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν την άνοιξη όταν ξεκίνησε ο πληθυσμός του *Aphanizomenon flos-aquae* να αυξάνεται στη στήλη του νερού, παρατηρήθηκε ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης (Εικόνα 15) και σημειώθηκαν τα υψηλότερα πληθυσμιακά μεγέθη (Εικόνα 10). Αντίθετα, χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν κατά τα διαρκεία του καλοκαιριού όταν και παρατηρήθηκε μείωση της αφθονίας του πληθυσμού (Εικόνα 10).
- Ο μεγαλύτερος αριθμός τριχωμάτων με ετεροκύττα παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης όταν ξεκίνησε ο πληθυσμός του *Aphanizomenon flos-aquae* να αυξάνεται στη στήλη του νερού. Όπως είναι γνωστό τα ετεροκύττα αποτελούν τις μόνες θέσεις που γίνεται η δέσμευση του αζώτου σε αναερόβιες συνθήκες από

τα νηματοειδή κυανοβακτήρια (Fay 1983). Μελέτες στο πεδίο έδειξαν ότι υπάρχει γενική σχέση μεταξύ χαμηλών συγκεντρώσεων αζώτου στο περιβάλλον, παραγωγής ετεροκυτίων και δέσμευσης αζώτου από τα κυανοβακτήρια (Reynolds 2006). Πολύ πιθανόν το αυξημένο ποσοστό τριχωμάτων με ετεροκύτια που παρατηρήθηκαν κατά την άνοιξη να είναι ενδεικτικό ότι στην στήλη του νερού επικρατούσαν περιοριστικές συγκεντρώσεις ανόργανου αζώτου.

β) το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* (Εικόνες 3-5, 7-9)

- αν και ανταποκρίνεται στην περιγραφή του είδους, εμφανίζει μία μετατόπιση του εύρους των τιμών τόσο του μήκους των βλαστητικών κυττάρων όσο και του πλάτους των ετεροκυτίων σε χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές αντίστοιχα, σε σχέση με τις περιγραφές που δίνουν άλλα ταξινομικά συγγράμματα (Hindak and Moustaka 1988, Hindak 1992, Li et al. 2000). Η παραπάνω μετατόπιση του εύρους των τιμών τόσο των βλαστητικών κυττάρων όσο και των ετεροκυτίων μπορεί να θεωρηθεί ότι εντάσσονται στα πλαίσια της ποικιλομορφίας των ειδών, διευρύνοντας την τυπική περιγραφή του είδους.
- χρονικές σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν για τη μέση τιμή του μήκους των τριχωμάτων (Εικόνα 7): υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε όταν ο πληθυσμός του *Aphanizomenon issatchenkoi* εμφάνισε τη μέγιστη τιμή αφθονίας στη στήλη του νερού (Εικόνα 11) και τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης (Εικόνα 15).

Τα είδη των κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας απαντώνται και σε άλλα υδάτινα συστήματα της Ελλάδας των οποίων η τροφική κατάσταση είναι κυρίως εύτροφη (Πίνακας 1) (Anagnostidis and Economou-Amilli 1980, Hindak and Moustaka 1988, Moustaka-Gouni 1988, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1990, Moustaka et al. 2000, Moustaka et al. 2006, Temponeras et al. 2000, Vardaka et al. 2005, Σπαρτινού 1992). Χαρακτηριστικό είναι ότι τα δύο είδη συνυπάρχουν μόνο στις λίμνες Δοιράνη και Κερκίνη, ενώ στις υπόλοιπες απαντάται είτε το ένα είτε το άλλο είδος (Πίνακας 1). Επιπρόσθετα, το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* φαίνεται να απαντάται σε περισσότερα υδάτινα συστήματα αλλά περιορίζεται γεωγραφικά σε συστήματα της Βόρειας Ελλάδας, ενώ το

Aphanizomenon flos-aquae απαντάται σε λιγότερα συστήματα τα οποία όμως εμφανίζουν πιο ευρεία γεωγραφική εξάπλωση στον Ελλαδικό χώρο.

Πίνακας 1. Παρουσία των ειδών *Aphanizomenon* που αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας σε άλλα υδάτινα συστήματα της Ελλάδας. Με «1» συμβολίζεται η παρουσία στο εκάστοτε υδάτινο σύστημα. Όπου E-Y: εύτροφο-υπέρτροφο σύστημα, E: εύτροφο σύστημα, E-O: ολιγότροφο-εύτροφο σύστημα, M-O: μεσότροφο-ολιγότροφο σύστημα.

Υδάτινο Σύστημα	Τροφική Κατάσταση	Είδη <i>Aphanizomenon</i>	
		<i>A. flos-aquae</i>	<i>A. issatchenkoi</i>
Καστοριά¹	E-Y		1
Βόλβη²	E		1
Κερκίνη³	E	1	1
Δοϊράνη⁴	E	1	1
Βεγορίτιδα⁵	E		1
Ζάζαρη⁶	E		1
Παμβώτιδα⁷	E	1	
Θησαυρού⁸	E-O		1
Αμβακία⁹	M-O	1	
Σύνολο		4	7

Δεδομένα σύμφωνα με ¹: Vardaka et al. 2005, Moustaka et al. 2006, ²: Moustaka-Gouni 1988, Hindák and Moustaka 1988, ³: Vardaka et al. 2005, ⁴: Temponeras et al. 2000, ⁵: Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1990, ⁶: Vardaka et al. 2005, ⁷: Anagnostidis and Economou-Amilli 1980, Vardaka et al. 2005, ⁸: Moustaka et al. 2000, ⁹: Σπαρτινού 1992.

4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ

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. Ανάμεσα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δραστηριότητα και την επικράτηση των φυτοπλαγκτικών οργανισμών, κυριότεροι είναι οι φυσικοί (θερμοκρασία,

ανάμειξη νερού, ένταση φωτεινής ακτινοβολίας) με τους χημικούς (συγκέντρωση και διαθεσιμότητα θρεπτικών, pH) και τους βιοτικούς παράγοντες (βόσκηση, παρασιτισμός) να ακολουθούν (Reynolds 2006).

4.2.1 Αφθονία και Βιομάζα

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 1,88 έως 4947 νήματα mL⁻¹ (Εικόνα 10) ενώ η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα (από 0,9 έως 4,5 νήματα mL⁻¹), (Εικόνα 11).

Το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* εμφάνισε δύο μέγιστα αφθονίας την περίοδο Μάιος – Ιούνιος και ήταν παρόν στη στήλη του νερού καθόλη τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Μάρτιος – Σεπτέμβριος). Το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* εμφάνισε ένα μέγιστο αφθονίας (τέλος Αυγούστου) και ήταν παρόν στη στήλη του νερού την περίοδο Αύγουστος – Σεπτέμβριος.

Το πρότυπο μεταβολής της αφθονίας των δύο ειδών ήταν παρόμοιο με αυτό της βιομάζας τους (Εικόνες 10 - 13) παρόλο που εμφάνισαν εποχικές μεταβολές στο μέγεθος (μήκος – πλάτος) των τριχωμάτων τους (Εικόνες 3, 4, 7 και 8). Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 0,004 έως 9,92 mg L⁻¹. (Εικόνα 12) ενώ η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon issatchenkoi* κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα (από 0,001 έως 0,008 mg L⁻¹), (Εικόνα 13).

Παρατηρώντας το πρότυπο μεταβολής της βιομάζας του *Aphanizomenon flos-aquae* βλέπουμε ότι ο πληθυσμός του αυξάνεται απότομα (από 0,015 σε 9,92 mg L⁻¹) στα τέλη Απριλίου όταν η θερμοκρασία νερού μεταβάλλεται από 15 °C σε 18 °C (Εικόνα 16) και το ύψος της στήλης του νερού έχει την υψηλότερη τιμή (Εικόνα 17). Στη συνέχεια ο πληθυσμός του μειώνεται απότομα (από 9,92 σε 0,15 mg L⁻¹) ενώ μία δεύτερη μείωση παρατηρείται στις αρχές Ιουλίου. Παρόμοιες δραστικές μειώσεις στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων (μέσα σε διάστημα 15 ημερών) παρατηρήθηκαν και σε άλλες λίμνες και οφειλόταν κυρίως σε φυσικές ή βιολογικές διαταραχές μεγάλης έντασης όπως π.χ. α) στη λίμνη Καστοριάς μετά από μεταβολή της στάθμης του νερού της λίμνης λόγω υψηλής ελεγχόμενης απομάκρυνσης νερού (Moustaka et al. 2007) και β) στη λίμνη Δοϊράνη λόγω παρασιτισμού (Moustaka et al., αδημοσίευτα δεδομένα). Με

βάση τα στοιχεία που έχουμε δεν είναι δυνατή μια πιθανή ερμηνεία που να εξηγεί αυτή την απότομη μείωση του πληθυσμού του *Aphanizomenon flos-aquae* στην φραγμαλίμη Πολυφύτου.

Τόσο το πρότυπο μεταβολής της αφθονίας όπως και αυτό της βιομάζας μπορεί να αποδώσει τις διαφορετικές αποκρίσεις των κυανοβακτηρίων σε μεταβολές του περιβάλλοντος. Συγκριτικά τα δύο είδη αν και είναι ταξινομικά συγγενικά εντούτοις εμφανίζουν μεταξύ τους διαφορετικά πρότυπα μεταβολής της αφθονίας και της βιομάζας, γεγονός που πιθανότατα αντανακλά διαφορετικές στρατηγικές ζωής που ακολουθούν οι δύο οργανισμοί. Ειδικότερα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:

1. το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* βρέθηκε να αναπτύσει μεγάλους πληθυσμούς σε χαμηλότερες θερμοκρασίες νερού (17 – 25 °C) ενώ το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* αναπτύσει μεγάλους πληθυσμούς σε υψηλότερες θερμοκρασίες νερού (29 °C).
2. το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* βρέθηκε να είναι πιο ευρύθερμο σε σχέση με το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi*. Ειδικότερα το *Aphanizomenon flos-aquae* βρέθηκε να αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες νερού από 11 – 29 °C ενώ το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* παρατηρήθηκε όταν στη στήλη του νερού επικρατούσαν υψηλές τιμές θερμοκρασίας (20 – 29 °C).
3. όταν τα δύο είδη συνυπάρχουν στη στήλη του νερού σημειώνονται και οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας νερού. Σε αυτές τις συνθήκες το *Aphanizomenon flos-aquae* εμφανίζει υψηλότερες τιμές βιομάζας σε σχέση με το *Aphanizomenon issatchenkoi* (Εικόνα 14). Την ίδια περίοδο ο ειδικός ρυθμός αύξησης (Εικόνα 15B) των δύο πληθυσμών εμφάνισε παρόμοιες θετικές τιμές αύξησης. Φαίνεται ότι η διαφορά που παρατηρείται στις τιμές βιομάζας μεταξύ των δύο πληθυσμών δεν οφείλεται σε ανταγωνιστικές σχέσεις αλλά στο γεγονός ότι ο πληθυσμός του *Aphanizomenon flos-aquae* προυπήρχε στη στήλη του νερού σε συγκριτικά υψηλότερες τιμές βιομάζας.

4.2.2 Καθαρός ρυθμός αύξησης

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης (r) των πληθυσμών των δύο ειδών *Aphanizomenon* εμφάνισε συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις (Εικόνα 15). Υψηλότερη τιμή στον καθαρό ρυθμό αύξησης εμφάνισε ο πληθυσμός του *Aphanizomenon flos-aquae* (0,113 d⁻¹) όταν σημειώνεται το μέγιστο της βιομάζας του (χρονική περίοδο από 13/4/08 έως 4/5/08). Ο πληθυσμός του *Aphanizomenon*

issatchenkoi σημείωσε υψηλότερη τιμή στον καθαρό ρυθμό αύξησης ($0,0005 \text{ d}^{-1}$) την περίοδο από 17/8/08 έως 31/8/08. Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των δύο πληθυσμών των δύο ειδών *Aphanizomenon* (Εικόνα 15B) τη χρονική περίοδο που αυτά συνυπάρχουν στη στήλη του νερού (Αύγουστος έως Σεπτέμβριος) είναι παρόμοιο και εμφανίζει παρόμοιες τιμές γεγονός που υποδεικνύει έλλειψη ανταγωνιστικής σχέσεις μεταξύ των δύο πληθυσμών.

4.3. ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

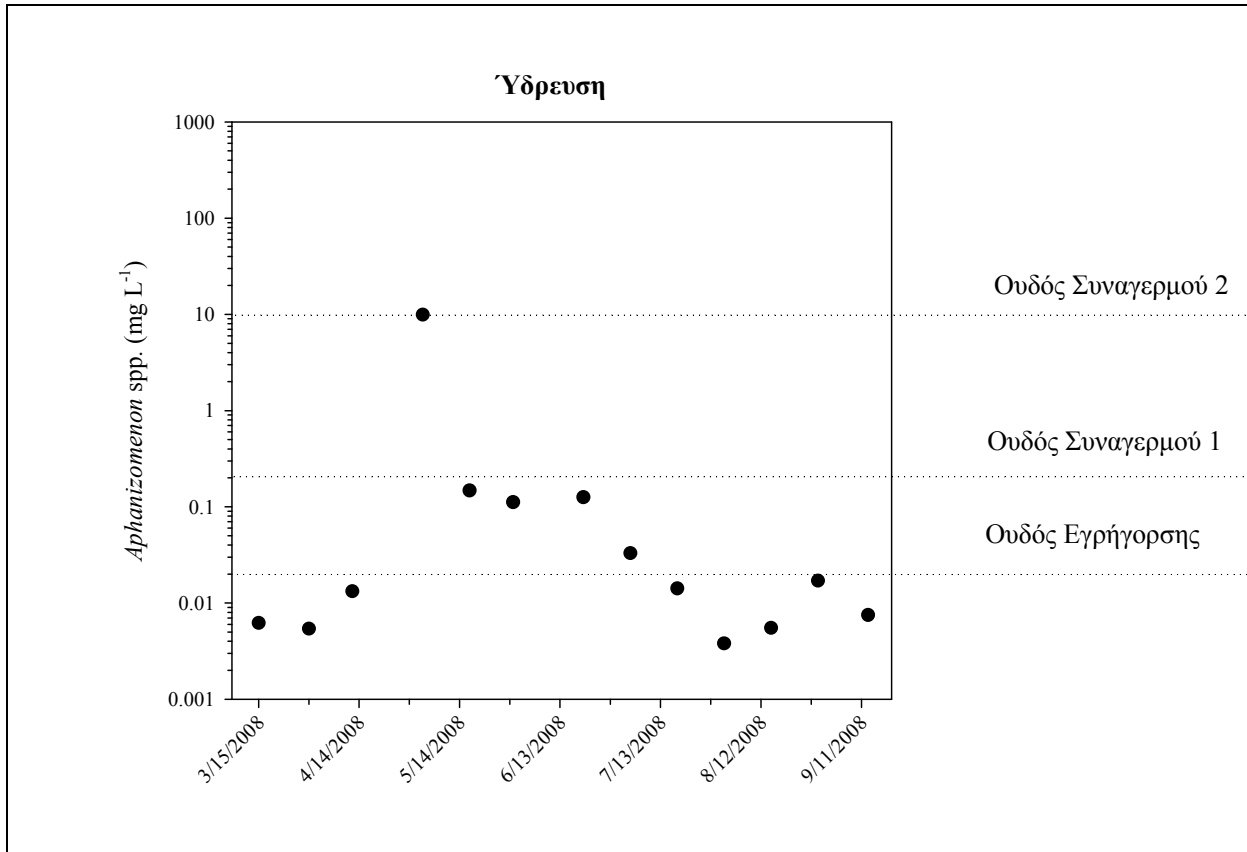
Τα είδη *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* που αναγνωρίστηκαν στο φυτοπλαγκτό της φραγμαλίμνης Πολυφύτου κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας είναι γνωστά από τη βιβλιογραφία ως τοξικά (Sivonen and Jones 1999). Η φραγμαλίμνη Πολυφύτου χρησιμοποιείται για την ύδρευση της Θεσσαλονίκης. Επιπρόσθετα πραγματοποιούνται μια σειρά από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως ψάρεμα και αναψυχή (υδάτινα σπόρ).

Η παρουσία των τοξικών κυανοβακτηρίων σε υδάτινα οικοσυστήματα που χρησιμοποιούνται για ύδρευση και αναψυχή αντιμετωπίζεται σοβαρά σε παγκόσμια κλίμακα και απασχολεί τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ), (Bartram et al. 1999, Falconer et al. 1999), ο οποίος και έχει ορίσει ελάχιστα όρια για τον έλεγχο της ασφάλειας των υδάτων, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται για ύδρευση (Πλαίσιο Ορίων Συναγερμού - Alert Levels Framework) και αναψυχή (Επίπεδα Καθοδήγησης - Guidance Levels), (Bartram et al. 1999, Falconer et al. 1999). Τόσο το Πλαίσιο Ορίων Συναγερμού (ΠΟΣ) όσο και τα Επίπεδα Καθοδήγησης βασίζονται στα επίπεδα αφθονίας ή και βιομάζας των κυανοβακτηρίων ή και στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* (Chl_a) στο νερό, με την παροδοχή, στην τελευταία περίπτωση, ότι στο δείγμα που εξετάζεται επικρατούν τα κυανοβακτήρια (Bartram et al. 1999, Falconer et al. 1999).

4.3.1 Ύδρευση

Το μοντέλο διαχειριστικής ανταπόκρισης που προκύπτει από το Πλαίσιο Ορίων Συναγερμού περιλαμβάνει τρεις «ουδούς» βάσει των οποίων εκτιμάται η κατάσταση των

υδάτων, ως προς την παρουσία κυανοβακτηρίων ή και κυανοβακτηριακών τοξινών, και προτείνονται οι ανάλογες δράσεις ανάλογα με την περίπτωση (Bartram et al. 1999).



Εικόνα 18. Βιομάζα των ειδών *Aphanizomenon* που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας στη φραγμαλίμηνη Πολυφύτου, σε σχέση με το Πλαίσιο Ορίων Συναγερμού για τη χρήση νερού για ύδρευση που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Bartram et al. 1999).

Στην εικόνα 18 δίνεται η συνολική βιομάζα των εν δυνάμει τοξικών ειδών *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας και οι Ουδοί που ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ). Παρατηρούμε ότι από τα 13 συνολικά δείγματα που συλλέχθηκαν από τη φραγμαλίμηνη:

- α) τα οκτώ (8) είναι ασφαλή με βάση τον ΠΟΥ,
- β) τα τέσσερα (4) έχουν υπερβεί τον Ουδό Εγρήγορσης ενώ

γ) το ένα (1) έχει υπερβεί τον Ουδό Συναγερμού 2 του ΠΟΥ.

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι το 39% των δειγμάτων που συλλέχθηκαν (κυρίως την περίοδο από Μάιο – Ιούνιο) από την φραγμαλίμη Πολυφύτου ενέχουν μέτρια ή υψηλή πιθανότητα κινδύνου για τη δημόσια υγεία. Με βάση τις δράσεις που προτείνει ο ΠΟΥ και τις τιμές βιομάζας που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, στη φραγμαλίμη Πολυφύτου χρειάζεται να υπάρχει παρακολούθηση της βιομάζας των κυανοβακτηρίων σε εβδομαδιαία βάση, μέτρηση κυανοτοξινών και περαιτέρω έρευνα του κινδύνου ((Falconer et al. 1999).

4.3.2 Αναψυχή

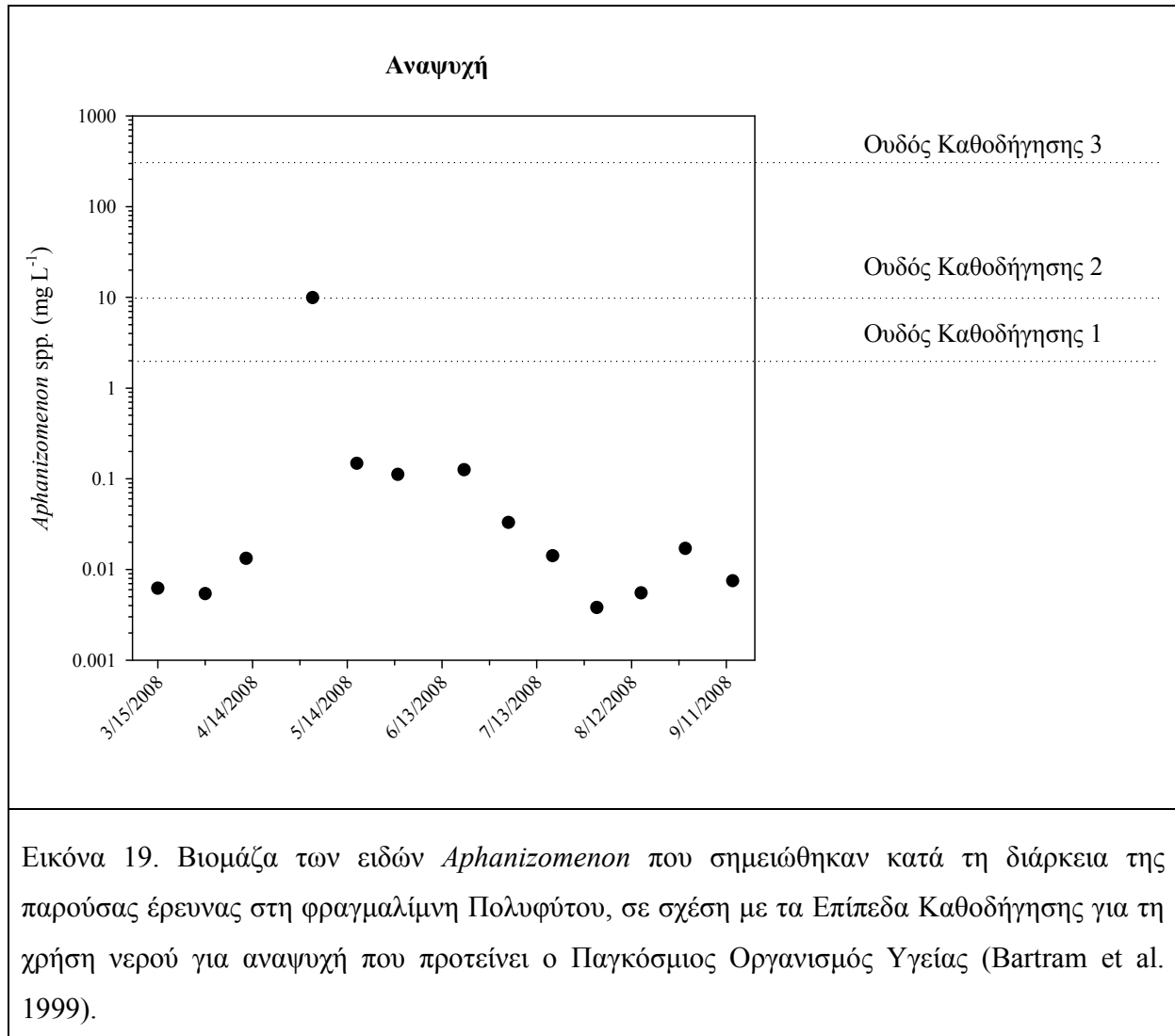
Οι «Ουδοί Καθοδήγησης» αφορούν σε μια σειρά μέτρων, καθορισμένων από τον ΠΟΥ (Falconer et al. 1999), που συνδέονται με την προοδευτική αύξηση της δεινότητας και της πιθανότητας δυσμενών επιπτώσεων σε ύδατα που χρησιμοποιούνται για αναψυχή.

Στην εικόνα 19 δίνεται η συνολική βιομάζα των εν δυνάμει τοξικών ειδών *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας και οι Ουδοί που ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ). Παρατηρούμε ότι από τα 13 συνολικά δείγματα που συλλέχθηκαν από τη φραγμαλίμη:

α) τα δώδεκα (12) είναι ασφαλή με βάση τον ΠΟΥ, ενώ

β) το 1 έχει υπερβεί τον Ουδό Καθοδήγησης 2 του ΠΟΥ.

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι το 8% των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από την φραγμαλίμη Πολυφύτου ενέχουν μέτρια πιθανότητα κινδύνου για τη δημόσια υγεία. Με βάση τις δράσεις που προτείνει ο ΠΟΥ και τις τιμές βιομάζας που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, στη φραγμαλίμη Πολυφύτου χρειάζεται να τοποθετηθούν προειδοποιητικές πινακίδες, να γίνει ενημέρωση των αρμόδιων αρχών, να υπάρχει παρακολούθηση για τυχόν σχηματισμό κυανοβακτηριακής κρούστας, περιορισμός των λουομένων και περαιτέρω έρευνα του κινδύνου ((Falconer et al. 1999).



Συμπερασματικά, η συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στη φραγμαλίμη Πολυφύτου σε συνδυασμό με τις τιμές βιομάζας που σημειώνουν οι παραπάνω οργανισμοί κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οδηγούν στην διαπίστωση της παρουσίας ενός συνεχούς παράγοντα κινδύνου κυρίως την περίοδο Μάιος – Ιούνιος στη φραγμαλίμη. Η διαπίστωση αυτή σε συνδυασμό ότι η φραγμαλίμη χρησιμοποιείται τόσο για ύδρευση όσο και για αναψυχή, δημιουργεί την αναγκαιότητα μιας συνεχούς παρακολούθησης του συστήματος της φραγμαλίμης.

5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε από ταξινομική και οικολογική άποψη η παρουσία ειδών του γένους *Aphanizomenon* σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Πολυφύτου κατά την περίοδο Άνοιξη-Καλοκαίρι. Ειδικότερα, η εργασία περιλαμβάνει: α) ταξινομική ανάλυση των ανευρεθέντων ειδών του γένους *Aphanizomenon*, β) μελέτη των χρονικών μεταβολών της αφθονίας και της βιομάζας των ειδών του γένους *Aphanizomenon* και γ) μελέτη της δυναμικής των ειδών του γένους *Aphanizomenon*.

Προσδιορίστηκαν 2 είδη κυανοβακτηρίων του γένους *Aphanizomenon*: τα *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi*. Το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* εμφάνισε δύο μέγιστα αφθονίας και βιομάζας την περίοδο Μάιος – Ιούνιος και ήταν παρόν στη στήλη του νερού καθόλη τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Μάρτιος – Σεπτέμβριος).

Το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* εμφάνισε ένα μέγιστο αφθονίας και βιομάζας (τέλος Αυγούστου) και ήταν παρόν στη στήλη του νερού την περίοδο Αύγουστος – Σεπτέμβριος. Συγκριτικά τα δύο είδη εμφανίζουν μεταξύ τους διαφορετικά πρότυπα μεταβολής της αφθονίας και της βιομάζας: α) το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* βρέθηκε να αναπτύσει μεγάλους πληθυσμούς σε χαμηλότερες θερμοκρασίες νερού (17 – 25 °C) ενώ το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi* αναπτύσει μεγάλους πληθυσμούς σε υψηλότερες θερμοκρασίες νερού (29 °C), β) το είδος *Aphanizomenon flos-aquae* βρέθηκε να είναι πιο ευρύθερμο σε σχέση με το είδος *Aphanizomenon issatchenkoi*.

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης των πληθυσμών των δύο ειδών *Aphanizomenon* εμφάνισε συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις. Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των δύο πληθυσμών *Aphanizomenon*, τη χρονική περίοδο που αυτά συνυπάρχουν στη στήλη του νερού (Αύγουστος έως Σεπτέμβριος) είναι παρόμοιο και εμφανίζει παρόμοιες τιμές γεγονός που υποδεικνύει έλλειψη ανταγωνιστικής σχέσης μεταξύ των δύο πληθυσμών.

Τα είδη *Aphanizomenon flos-aquae* και *Aphanizomenon issatchenkoi* που αναγνωρίστηκαν στο φυτοπλαγκτό της φραγμαλίμνης Πολυφύτου κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας είναι γνωστά από τη βιβλιογραφία ως τοξικά. Η συνεχής παρουσία τους στη

φραγμαλίμνη Πολυφύτου σε συνδυασμό με τις τιμές βιομάζας που σημειώνουν οι παραπάνω οργανισμοί κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οδηγούν στην διαπίστωση της παρουσίας ενός συνεχούς παράγοντα κινδύνου κυρίως την περίοδο Μάιος – Ιούνιος στη φραγμαλίμνη.

6. ABSTRACT

In the present study, the occurrence of cyanobacteria of the genus *Aphanizomenon* was investigated in an inshore station of the reservoir Poliphytou, during the period March to September 2008.

Two different cyanobacterial species of the genus *Aphanizomenon* were identified in the collected samples: a) *Aphanizomenon flos-aquae* and b) *Aphanizomenon issatchenkoi*. The abundance and the biomass of *Aphanizomenon flos-aquae* were high during May to June. The abundance and the biomass of *Aphanizomenon issatchenkoi* were high during August. *Aphanizomenon flos-aquae* exhibited a higher net growth rate and dominance when water temperature ranged from 17 – 25 °C and had a broader distribution in relation to temperature (11 – 29 °C). *Aphanizomenon issatchenkoi* had a slower net growth and a narrow distribution in relation to temperature (20 – 29 °C).

The levels of *Aphanizomenon* spp. biomass concentrations measured in reservoir Poliphytou makes assessment of the potential risk to users: according to World Health Organization (WHO) guidelines for safe practice in managing drinking and recreational waters, the levels of *Aphanizomenon* spp. biomass observed in reservoir Poliphytou indicate elevated risk of human health.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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. Arch. Hydrobiol. 89: 313-342.
- Anagnostidis K. and Komárek J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1 –Introduction. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 71: 291–302.
- Anagnostidis K. and Komárek J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 –Oscillatoriales. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 327–472.
- Bartram J, Burch M, Falconer IR, Jones G, Kuiper-Goodman T (1999) Situation assessment, planning and management. In Chorus I, Bartram J (eds), Toxic Cyanobacteria in Water. E and FN Spon, London, New York. pp. 179–209.
- Caramichael W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. J.Appl.Bacteriol.72:445-459.
- Cook C.M., 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.
- Falconer, I.R., Bartram, J., Chorus, I., Kuiper-Goodman, T., Utkilen, H., Burch, M., Codd, G.A. 1999. Safe levels and safe practices. In: Chorus, I., Bartram, J.(Eds). Toxic Cyanobacteria in Water. First Edition. World Health Organization, E. & F.N. Spon, London and New York, pp. 155-178.
- Fay P. (1983). The blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria). Arnold E, London.

- Fogg G., E., Stewart W.D.P., Fay P. and Walsby, A.E. (1973). The blue-green algae. Academic Press, London, New York.
- Gkelis S., Harjunpaay V., Lanaras T. and Sivonen K. (2005). Diversity of Hepatotoxic Microcystins and Bioactive Anabaenopeptins in Cyanobacterial Blooms from Greek Freshwaters. – *Environ Toxicol.* 20: 249–256.
- Gkelis S., Lanaras T. and Sivonen K. (2006). The presence of microcystins and other cyanobacterial bioactive peptides in aquatic fauna collected from Greek lakes. – *Aquat. Toxicol.* 78: 32-41.
- Hindák, F. & Moustaka, M. T. (1988). Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. *Arch. Hydrobiol. 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. Systematik und Biologie. I. Allgemeiner Teil, Blaualgen, Bakterien, Pilze. In: Thienemann, A.: Die Binnengewässer. 16(1), 1-342. Schweizerbart, Stuttgart.
- Komárek, J. (2003). Planktic oscillatorialean cyanoprokaryotes (short review according to combined phenotype and molecular aspects). *Hydrobiologia* 502, 367-382.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1989). Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 4- Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 82(3), 247-345.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 –Chroococcales. – *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 73: 157–226.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. 1999. Cyanoprocaryota. 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H., Gartner G., Heynig H. & Mollenhauer D. eds. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lubeck-Ulm, 548 pp.

- 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.
- 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.
- Lampert W. and Sommer U. (1997). Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Lanaras T, Tsitsamis S, Chlichlia C and Cook CM (1989) Toxic cyanobacteria in Greek freshwaters. J. appl. Phycol. 1: 67–73.
- 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.
- Moustaka – Gouni M., Albanakis K., Mitrakas M. & Psilovikos A. (2000). Planktic autotrophs and environmental conditions in the newly – formed hydroelectric Thesaurus reservoir, Greece. *Arch. Hydrobiol.* 149: 507-526.
- Moustaka – Gouni M., Vardaka E., Tryfon E. (2006). Phytoplankton species succession in shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady – state dominance of *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia* 575: 129-140.
- Moustaka – Gouni, M. & Nikolaidis, G. (1990). Phytoplankton of a warm monomictic lake – Lake Vegoritis, Greece. *Hydrobiologia* 119 (3): 299 - 313.
- 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.
- Reynolds, C. S. 2006. Ecology of Phytoplankton. 1st (ed.), Cambridge University Press.

- Reynolds, C.S. and Walsby, A.E. (1975). Water-blooms. *Biol. Rev.* 50:437-481.
- Rott, E. (1981). Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.* 43:34-62.
- Sandgren, C. D. and Robinson, J.V. (1984). A stratified sampling approach to compensating for non-random sedimentation of phytoplankton cells in inverted microscope settling chambers. *Br. Phycol.J.*19:67-72.
- Sivonen, K. and Jones, G. (1999). Cyanobacterial toxins. In: Chorus I. and Bartram J. (eds). *Toxic cyanobacteria in water.* E and FN Spon, London and New York. pp. 41-111.
- 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.
- 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.
- Vardaka E, Moustaka–Gouni M, Cook CM and Lanaras T (2005). Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies. *J. appl. Phycol.* 17: 391 - 401.
- Willén,E. (1976). A simplified method of phytoplankton counting. *Br. Phycol. J.* 11:265-278.

7.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαρδάκα, Ε. (2001). Τοξικά κυανοβακτήρια και κυανοβακτηριακές τοξίνες στη λίμνη Καστοριάς και σε άλλα υδάτινα οικοσυστήματα της Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών. Παράρτημα, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σαββιλωτίδη, Κ.Κ. (1998). Τα Σέρβια. Μορφωτικός Όμιλος Σερβίων τα Κάστρα, Σέρβια.

Σπαρτινού, Δ., Μ.-Γ. (1992). Η μικροχλωρίδα της λίμνης Αμβρακίας. Συστηματική και οικολογική μελέτη. – Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

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

Πετρίδης, Δ. (2000). Εφαρμοσμένη Στατιστική (με έμφαση στην επιστήμη των τροφίμων). *Όμηρος Εκδοτική*, Θεσσαλονίκη.

7.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.ert.gr/menoumellada/makedonia/00375-nomos-kozanis-h-texniti-limni-polyfytou.htm>

www.google.earth.com