



Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Ενότητα 7: Θρεπτικά

Καθηγήτρια Μουστάκα Μαρία

Τμήμα Βιολογίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση & Δια Βίου Μάθηση» & συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) & από εθνικούς πόρους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΧΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Θρεπτικά

Περιεχόμενα ενότητας

1. Τα Θρεπτικά στα υδάτινα οικοσυστήματα
2. Νόμος του ελαχίστου
3. Θρεπτικά και παραγωγικότητα
4. Λεκάνες απορροής
5. Φώσφορος
6. Άζωτο
7. Πυρίτιο
8. Κατανομή θρεπτικών
9. Θρεπτικά – σχέσεις μεταξύ τους
10. Πορεία εισερχόμενων φορτίων θρεπτικών
11. Θρεπτικά στο ίζημα
12. P & Chl-a
13. Οξειδοαναγωγικό δυναμικό



Σκοποί ενότητας

- Το μάθημα στοχεύει στη γνώση και κατανόηση βασικών για τη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων χημικών παραμέτρων του νερού, όπως είναι τα θρεπτικά
- Ο φοιτητής μαθαίνει να ερμηνεύει και να εκτιμά μεταβολές των θρεπτικών στον χρόνο και στο χώρο σε λίμνες, φραγμαλίμνες και ποτάμια



Τα Θρεπτικά στα υδάτινα οικοσυστήματα

Ανόργανα

Ποια είναι:

Μακρο-θρεπτικά

C, O, H
N, P,
S, K, Mg,
Ca, Na, Cl
(Si)

>0.1% Οργανικού
Υλικού

Θρεπτικά στα υδάτινα οικοσυστήματα

=

Περιοριστικά θρεπτικά
(δεξαμενή διαλυμένων στο νερό)

PO₄-P

NO₃-N

NO₂-N

NH₄-N

(N₂)

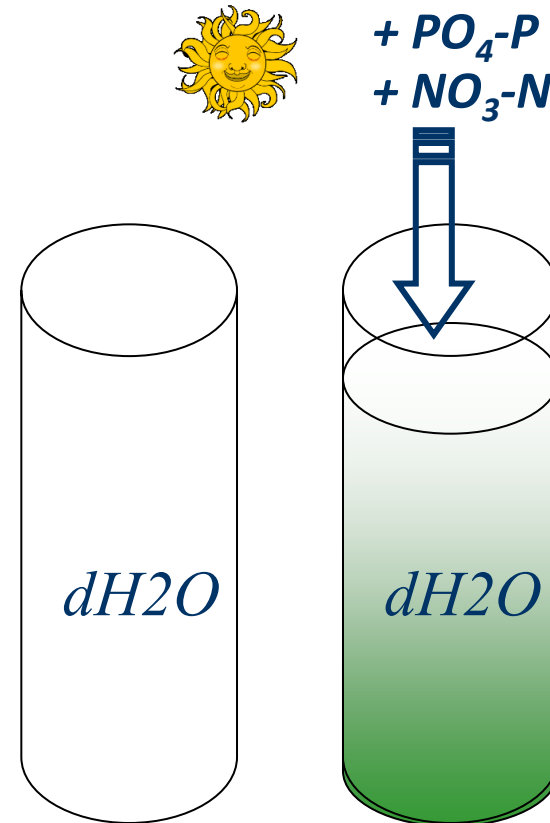
SiO₂-Si



Τα Θρεπτικά στα υδάτινα οικοσυστήματα

Ανόργανα

Ποιος ο ρόλος τους:



Η πρωτόπορος εργασία του Weber (1907) για τα θρεπτικά & την παραγωγικότητα των υδάτινων συστημάτων



Νόμος του ελαχίστου

- Η ολική απόδοση/βιομάζα ενός οργανισμού καθορίζεται από το θρεπτικό στοιχείο που βρίσκεται στη χαμηλότερη (ελάχιστη) συγκέντρωση στο περιβάλλον σε σχέση με τις απαιτήσεις του οργανισμού αυτού (Liebig 1840)



Illustration zum "Minimum-Gesetz" nach Justus von Liebig - die Flüssigkeit in einem Fass kann nur so hoch steigen, wie die kürzeste Daube hoch ist. Source: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Minimum-Tonne.svg>. DooFj 2009. No rights reserved



Θρεπτικά και παραγωγικότητα

- Ενώσεις Αζώτου & Φωσφόρου = Ενώσεις κλειδιά για την παραγωγικότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος
- Οι ανόργανες διαλυμένες μορφές συχνά βρίσκονται στο νερό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε σύγκριση με αυτές που οι πρωτογενείς παραγωγοί χρειάζονται. Γι' αυτό αυτές οι ουσίες μπορούν να περιορίζουν την αύξηση των παραγωγών (περιοριστικά θρεπτικά)
- ✓ Σε μία λίμνη η βιολογική παραγωγή εξαρτάται από τις χαμηλές συγκεντρώσεις των θρεπτικών του αζώτου & του φωσφόρου
- ✓ Αντίστοιχα στα χερσαία οικοσυστήματα της λεκάνης απορροής της λίμνης, η βιολογική παραγωγή εξαρτάται από τα στοιχεία αυτά που βρίσκονται σε μικροποσότητες



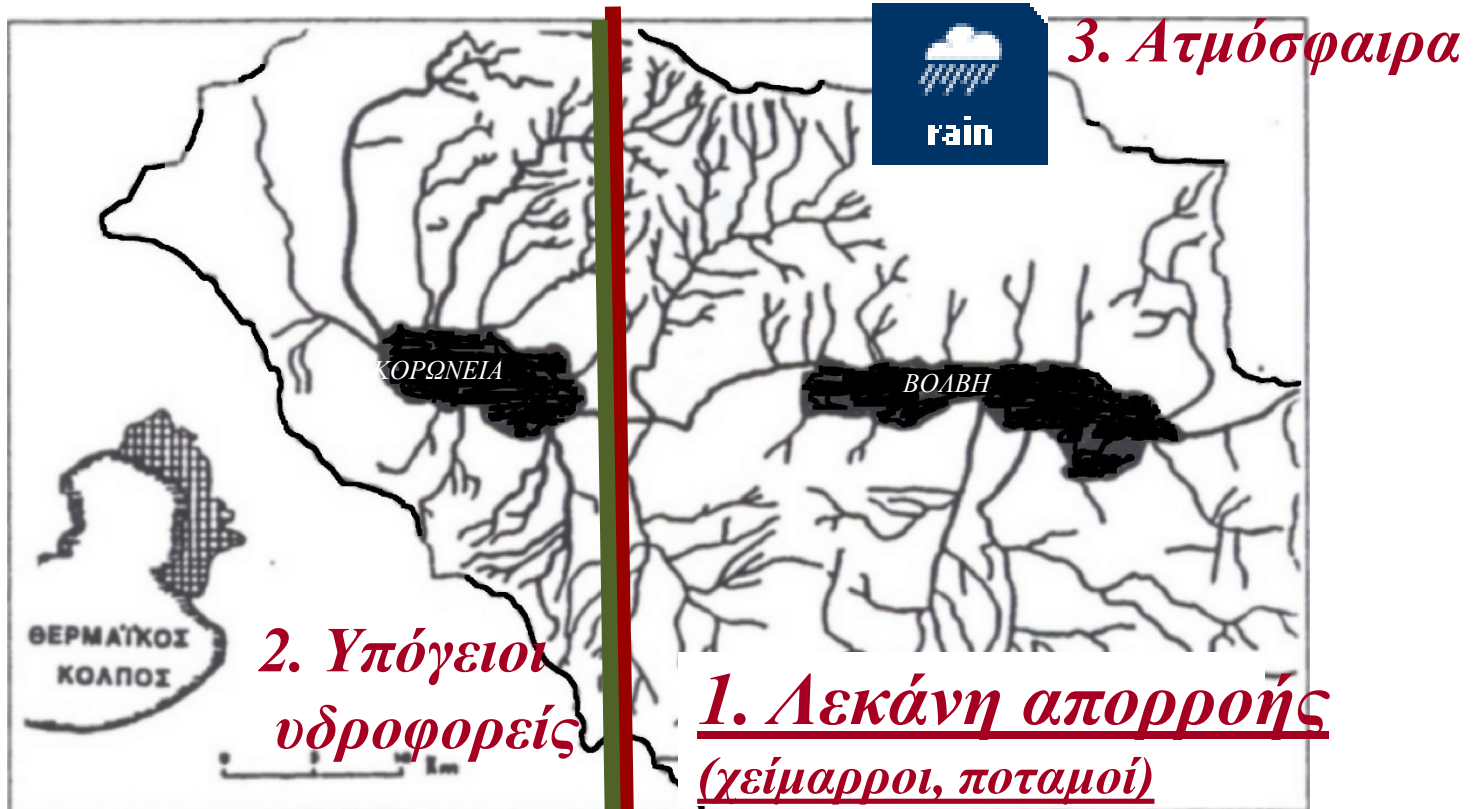
Θρεπτικά και παραγωγικότητα

- Γι' αυτό το λόγο τα οικοσυστήματα (χερσαία & υδάτινα) έχουν αναπτύξει μηχανισμούς συνεχούς ανακύκλωσης των θρεπτικών
- Ως εκ τούτου ελάχιστες ποσότητες ξεφεύγουν από τη λεκάνη απορροής μέσα σε ένα υδάτινο σώμα. Και καθόσον οι ενώσεις του φωσφόρου είναι λιγότερο διαλυτές από τις ενώσεις του αζώτου, οι οποίες έχουν και μεγαλύτερη δεξαμενή, ο φώσφορος είναι συνήθως ο περιοριστικός παράγοντας της πρωτογενούς παραγωγής και ως εκ τούτου παράγοντας κλειδί μίας λίμνης
- Η σχέση επιφάνειας λεκάνης απορροής και υδάτινου όγκου του υδάτινου σώματος επηρεάζουν τα φορτία θρεπτικών σε αυτό
- Οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής ενός υδάτινου σώματος καθορίζουν τα ανθρωπογενή φορτία θρεπτικών σε αυτό



Θρεπτικά και παραγωγικότητα

Πως προκύπτουν στο νερό μια λίμνης?



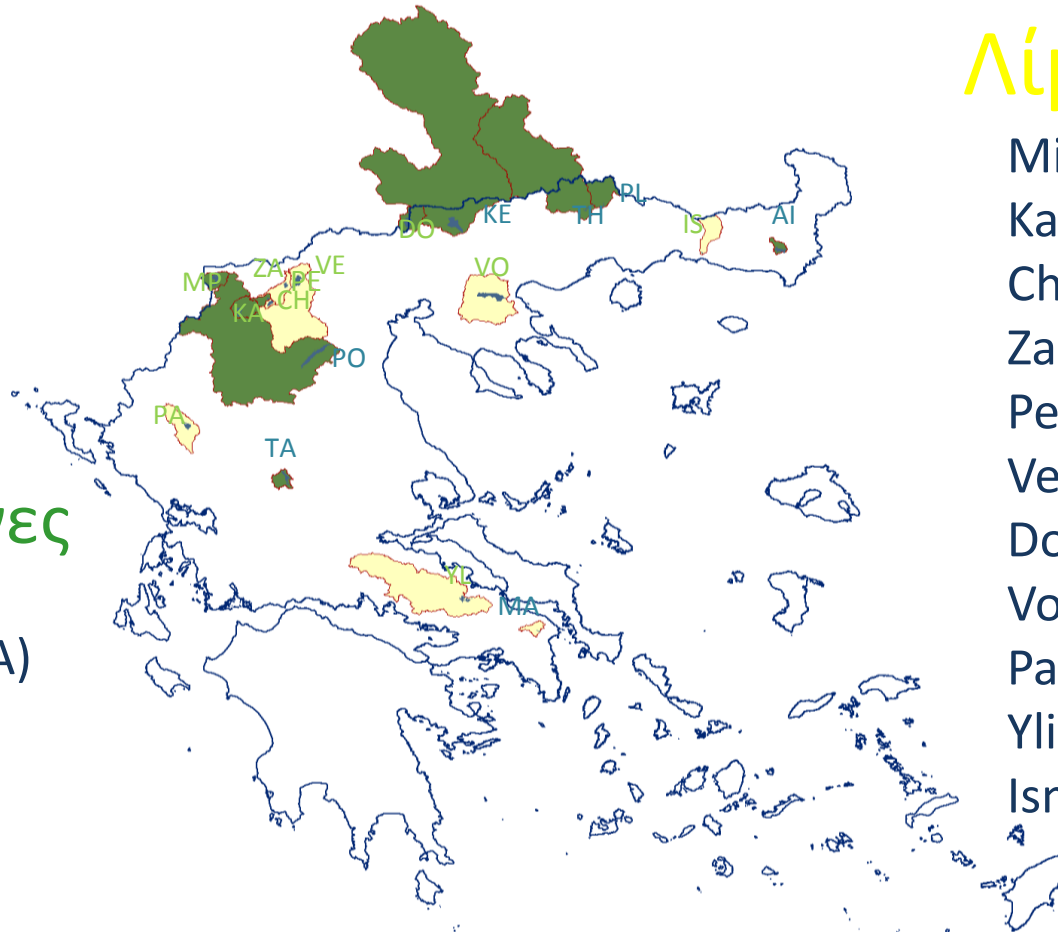
Οι λίμνες Βόλβη – Κορώνεια και η λεκάνη απορροής (με τροποποίηση από Ψιλοβίκος 1977, Διδακτορική διατριβή)
Διαφορετικές οι δύο υπολεκάνες.



Λεκάνες απορροής - Μέγεθος

Λίμνες

Mikri Prespa(MP)
Kastoria(KA)
Chimaditis(CH)
Zazari(ZA)
Petron(PE)
Vegoritis(VE)
Doirani(DO)
Volvi(VO)
Pamvotis(PA)
Yliki(YL)
Ismarida(IS)



Φραγμαλίμνες

Tavropos(TA)
Marathonas(MA)
Polyphytos(PO)
Kerkini(KE)
Thesauros(TH)
Platanovrisi(PL)
Aisimis(AI)



Λεκάνες απορροής-Χρήσεις Γης

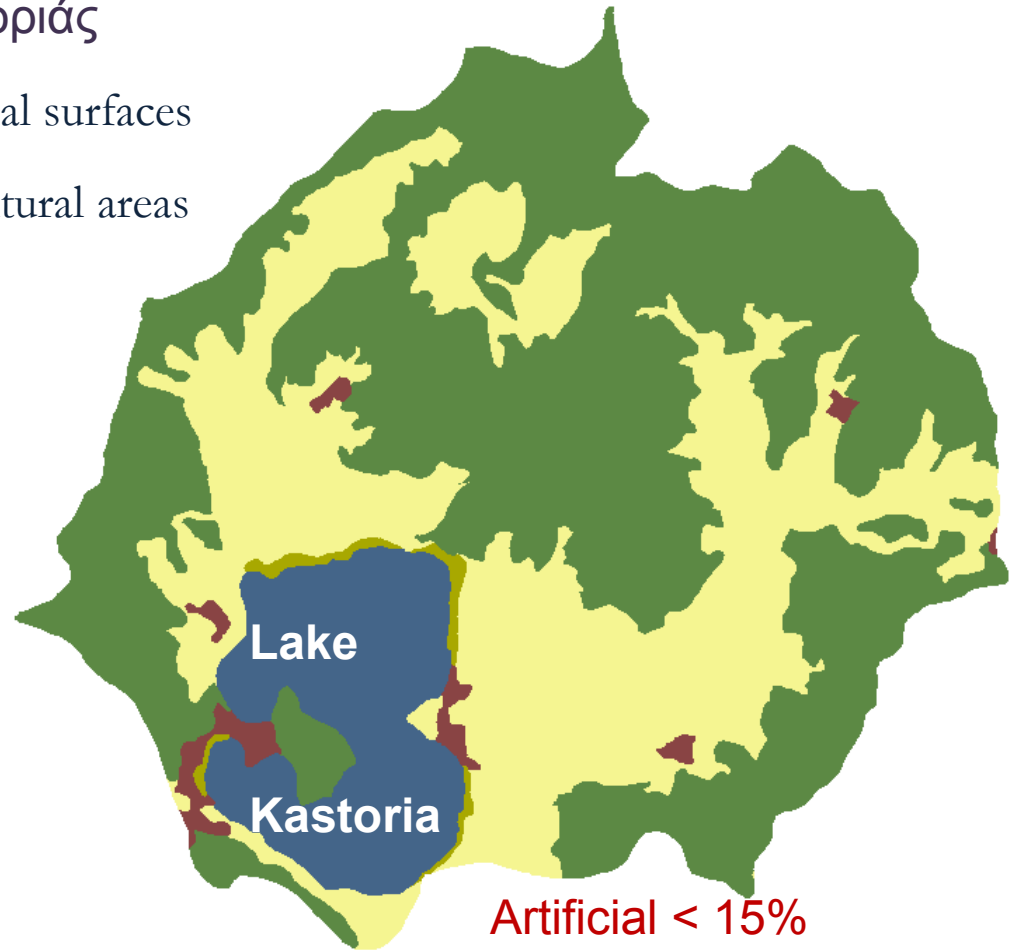
Λεκάνη απορροής Λ. Καστοριάς

Artificial surfaces

Agricultural areas

Forest

Lake



Artificial < 15%

Agricultural < 40%



Φώσφορος

- Τα πλαγκτικά φύκη και κυανοβακτήρια προτιμούν τα ορθοφωσφορικά ιόντα ($\text{PO}_4\text{-P}$) από τους διάφορους τύπους του φωσφόρου στο νερό. Η ικανότητα τους να χρησιμοποιούν και άλλες ενώσεις φωσφόρου (πολυφωσφορικά & οργανικές ενώσεις) είναι γνωστή από πειράματα σε καλλιέργειες
- Αν και ο φώσφορος ταξινομείται στα έξι κύρια θρεπτικά στοιχεία που αποτελούν το καθένα $> 0.5\%$ της νωπής βιομάζας του υγιούς κυττοπλάσματος είναι από τα θρεπτικά αυτά το πιο σπάνιο στο φλοιό της γης
- Είναι σχετικά αδιάλυτος και καθιζάνει εύκολα με σίδηρο, αργίλιο & ασβέστιο ενώ ταυτόχρονα δεν διαθέτει αέρια δεξαμενή τροφοδοσίας στην ατμόσφαιρα όπως το άζωτο. Με τη χρήση απορρυπαντικών & λιπασμάτων και τη μεταφορά τους στις λίμνες τις τελευταίες δεκαετίες η συγκέντρωση του φωσφόρου έχει αυξηθεί κατά πολύ.



Φώσφορος

- Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στο νερό εξαρτάται από τις εποχιακές διακυμάνσεις της τροφοδοσίας (εξωτερική & εσωτερική από το ίζημα), τη βιολογική πρόσληψη και τις χημικές & βιολογικές μετατροπές που υφίσταται στο υδάτινο οικοσύστημα
- Σε φυσικές & τεχνητές λίμνες, χωρίς εμπλουτισμούς από ανθρώπινες δραστηριότητες, ο διαλυτός ενεργός φώσφορος (ο φώσφορος που μετρήθηκε με την τεχνική του μολυβδαινικού αμμωνίου) κυμαίνεται συνήθως σε χαμηλά επίπεδα στο εύρος από 0.05 ως 2.0 $\mu\text{mol/l}$.



Άζωτο

- Αρκετές ενώσεις του αζώτου μπορεί να αποτελούν διαθέσιμες πηγές για τα πλαγκτικά φύκη και κυανοβακτήρια, όπως τα νιτρικά ($\text{NO}_3\text{-N}$), νιτρώδη ($\text{NO}_2\text{-N}$) και αμμωνιακά ιόντα ($\text{NH}_4\text{-N}$) και σε ορισμένες περιπτώσεις κάποιες διαλυμένες οργανικές ενώσεις.
- ✓ Μερικά είδη κυανοβακτηρίων μπορούν και δεσμεύουν το διαλυμένο στο νερό ατμοσφαιρικό άζωτο συμβάλλοντας σημαντικά στην τροφοδοσία της δεξαμενής ανόργανου αζώτου ενός υδάτινου οικοσυστήματος



Άζωτο

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στις λίμνες ποικίλουν πολύ, σε σχέση με το αν αυτές δέχονται απόβλητα, αποπλύσεις γεωργικών καλλιεργειών και εισροές υπόγειων νερών. Δίχως τέτοιους εμπλουτισμούς σε άζωτο οι μέγιστες συγκεντρώσεις μπορεί να κυμαίνονται από 10 ως 1000 $\mu\text{g N/l}$. Τα νιτρώδη ιόντα βρίσκονται γενικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις ($< 60 \mu\text{gN/l}$), αν και μπορεί να αυξάνουν σε περιοχές με μικρή περιεκτικότητα σε οξυγόνο.



Πυρίτιο

- Το ορθοπυριτικό οξύ $\text{Si}(\text{OH})_4$ είναι πιθανόν η μόνη ένωση πυριτίου διαθέσιμη στα διάτομα και σε άλλα πλαγκτικά φύκη. Οι συγκεντρώσεις του πυριτίου σε πολλές εύκρατες λίμνες κυμαίνονται από 560 - 5600 $\mu\text{g Si/l}$.
- Μόνο σε λίγες λίμνες η συγκέντρωση είναι χαμηλή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ενώ σε πολλές λίμνες μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό θρεπτικό των διατόμων μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους μετά από τη βιολογική κατανάλωση του στοιχείου από τους ίδιους τους οργανισμούς.
- ✓ Το πυρίτιο δεν αποτελεί περιοριστικό θρεπτικό για όλους τους πρωτογενείς παραγωγούς (φύκη & μακρόφυτα) ενός υδάτινου οικοσυστήματος αλλά μόνο των διατόμων & χρυσοφυκών (και πυριτιομαστιγωτών στις θάλασσες).

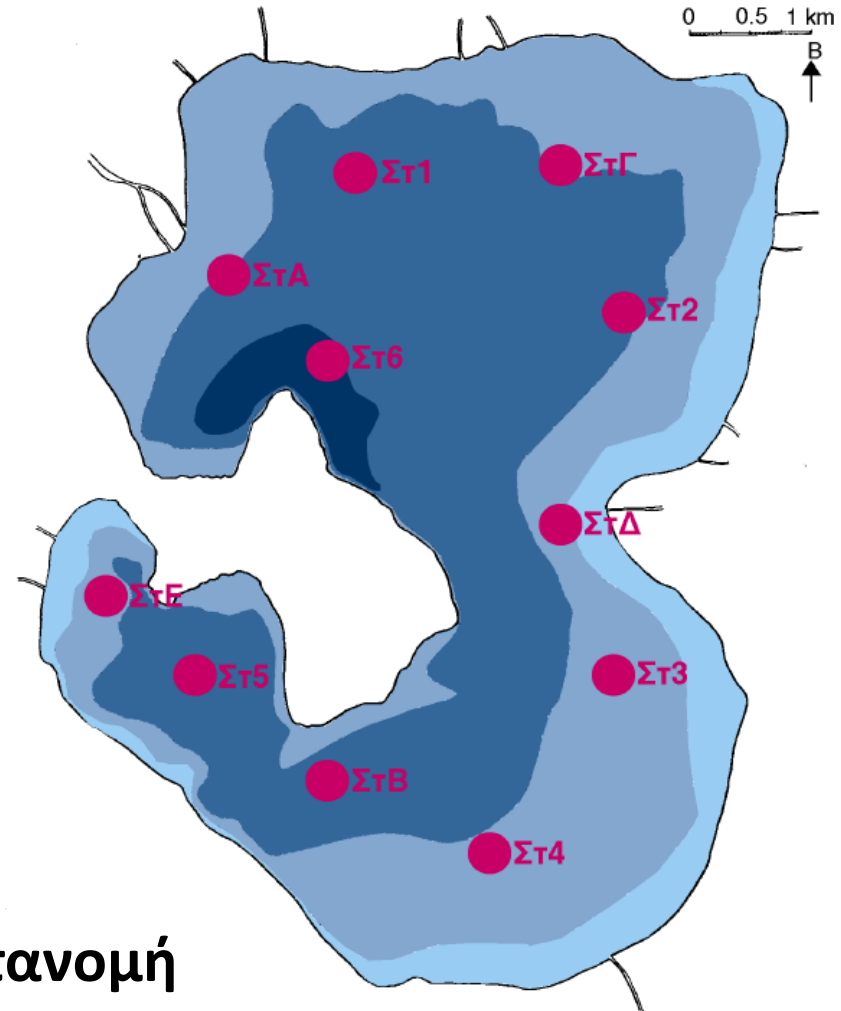


Κατανομή Θρεπτικών

Κατανομή θρεπτικών σε μια λίμνη:

Μετρήσεις σε αντιπροσωπευτικούς σταθμούς δειγματοληψίας (Στ): το παράδειγμα της λίμνης ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

- ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
- ΑΝΑΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
- Οριζόντια & κατακόρυφη κατανομή



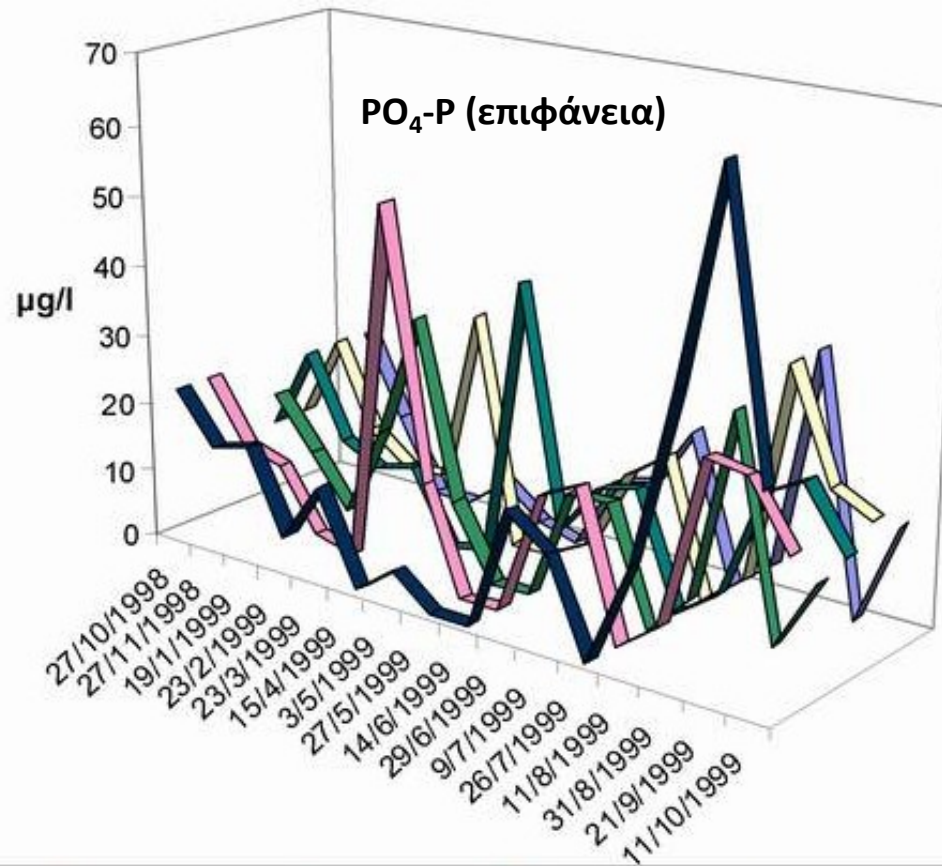
Κατανομή Θρεπτικών

Εύρος τιμών, μέγιστα, χρονικές μεταβολές σε 6 σταθμούς :

Π.χ. τι πληροφορίες παρέχουν για τη Λίμνη Καστοριάς

1. Για την τροφική κατάσταση

2. Για χρονικά & χωρικά πρότυπα τροφοδοσίας και απομάκρυνσης



Σε περιόδους έντονης αύξησης φυτοπλαγκτού η συγκέντρωση του διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου μειώνεται κάτω από το επίπεδο ανίχνευσης (1 µg/l)

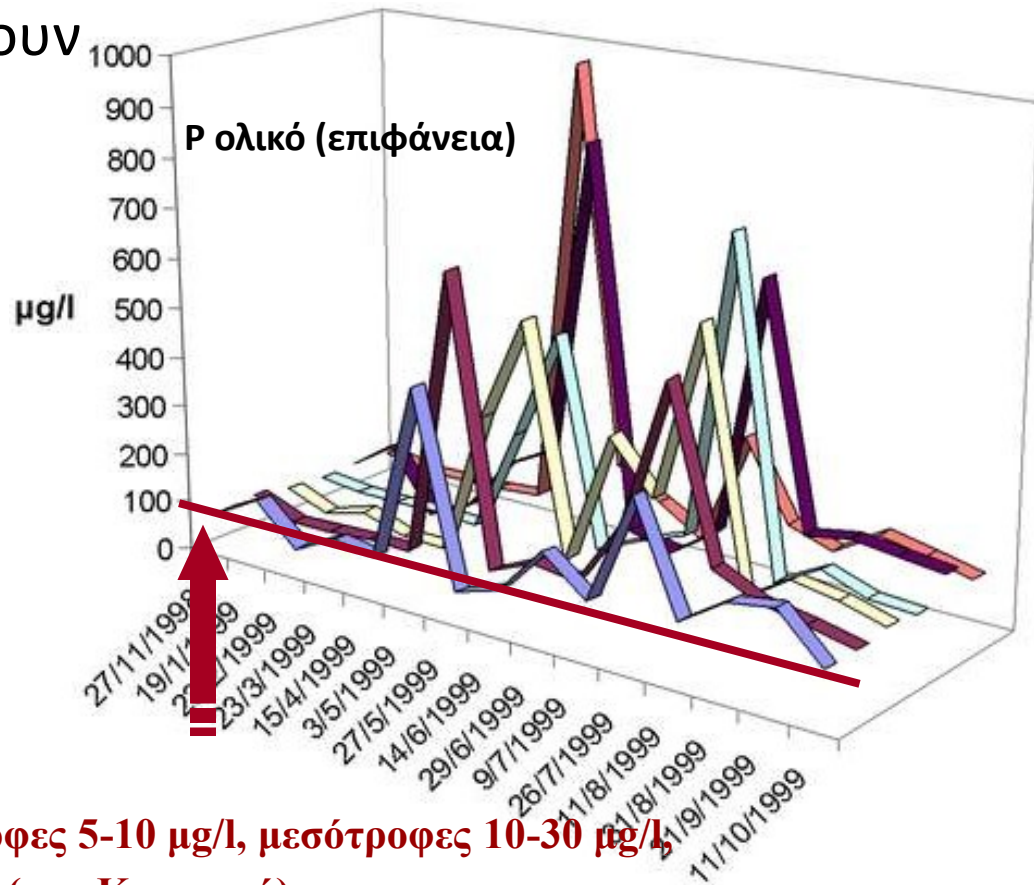
Η πιο σημαντική διεργασία εσωτερικής απομάκρυνσης του διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου από το νερό ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι η πρόσληψή του από το φυτοπλαγκτό & τα βακτήρια



Κατανομή Θρεπτικών

Εύρος τιμών, μέγιστα, χρονικές μεταβολές σε 6 σταθμούς:
τι πληροφορίες παρέχουν

Με βάση τις συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου στα υδάτινα οικοσυστήματα (την περίοδο της άνοιξης) έχουν θεσπισθεί κριτήρια κατάταξης των λιμνών, ποταμών και παράκτιων θαλασσών σε ένα φάσμα από τα πιο oligότροφα έως τα πιο εύτροφα



Για λίμνες: υπερ-ολιγότροφες <5 µg/l, ολιγότροφες 5-10 µg/l, μεσότροφες 10-30 µg/l, εύτροφες 30-100 µg/l, υπερ-εύτροφες >100 µg/l (π.χ. Καστοριά)



Κατανομή Θρεπτικών

Εύρος τιμών, μέγιστα, χρονικές μεταβολές σε 6 σταθμούς :
τι πληροφορίες παρέχουν

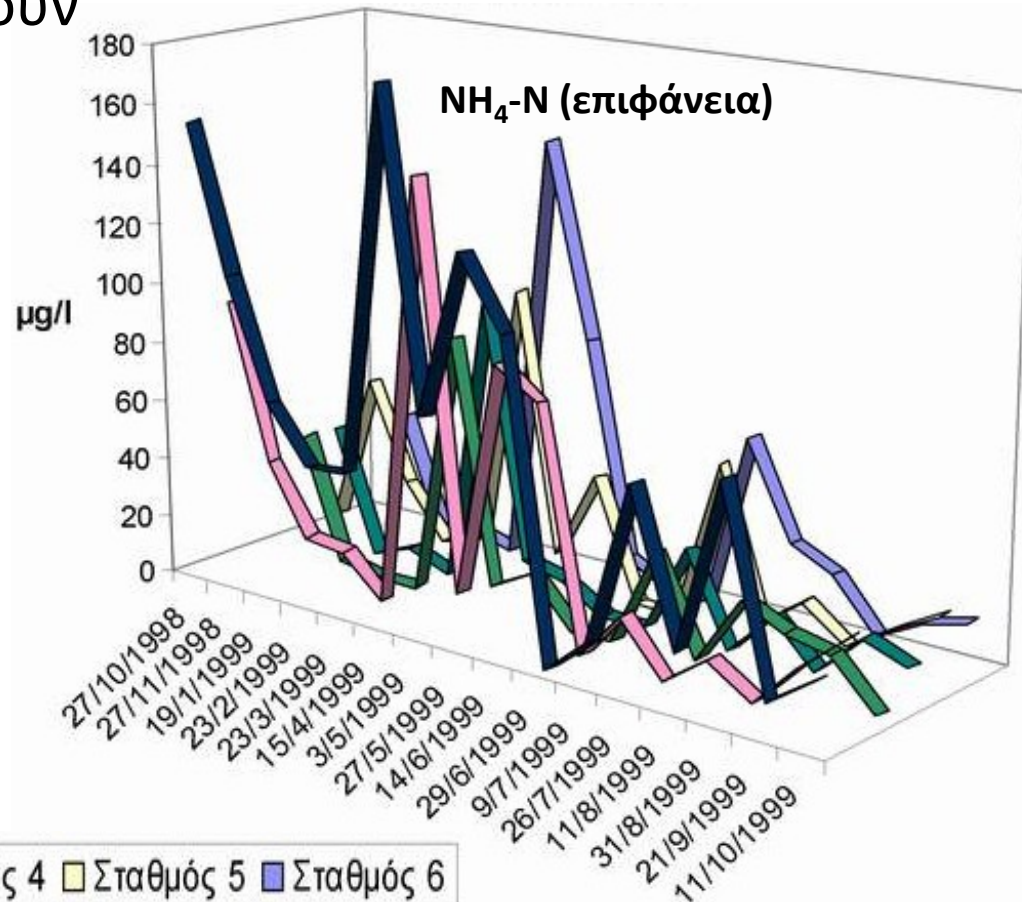
Αμμωνιακό άζωτο

άφθονο σε:

**1.εύτροφα υδάτινα
οικοσυστήματα**

**2.συστήματα με οργανική
ρύπανση και**

3.σε ανοξικές συνθήκες



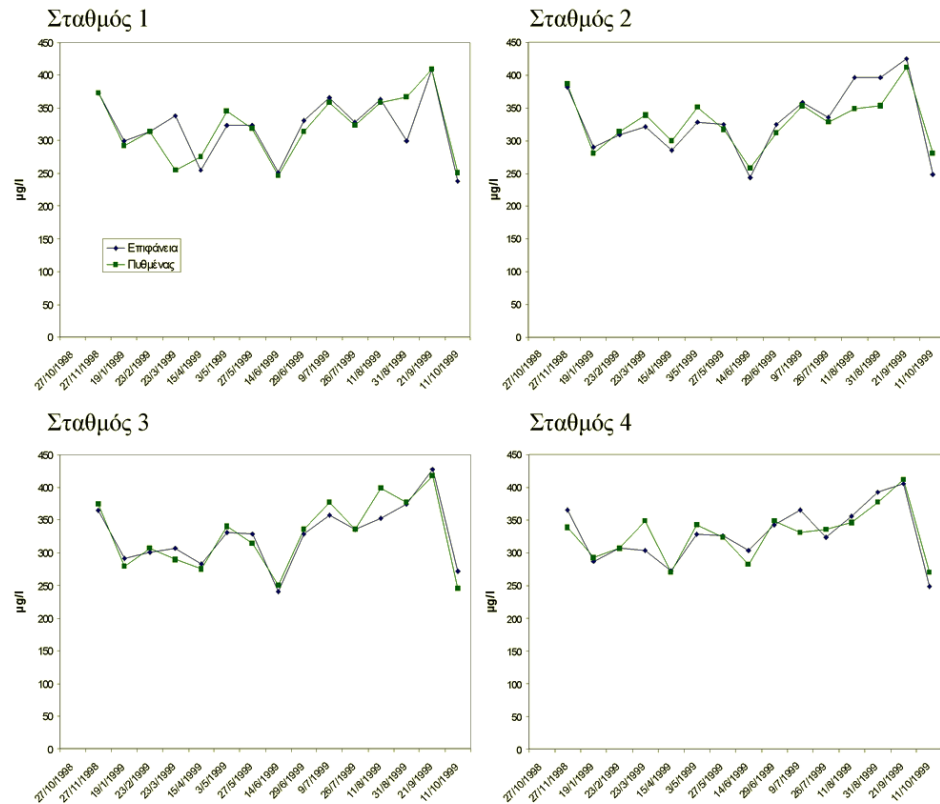
Κατανομή Θρεπτικών

Εύρος τιμών, μέγιστα, χρονικές μεταβολές:
τι πληροφορίες παρέχουν

Πυριτικά: γενικά βρίσκονται στις
λίμνες σε συγκεντρώσεις $>1\text{mg/l}$

•σε φτωχά σε πυρίτιο συστήματα
παρατηρείται διαφοροποίηση των
τροφικών πλεγμάτων και των
μοναπατιών ροής ύλης & ενέργειας

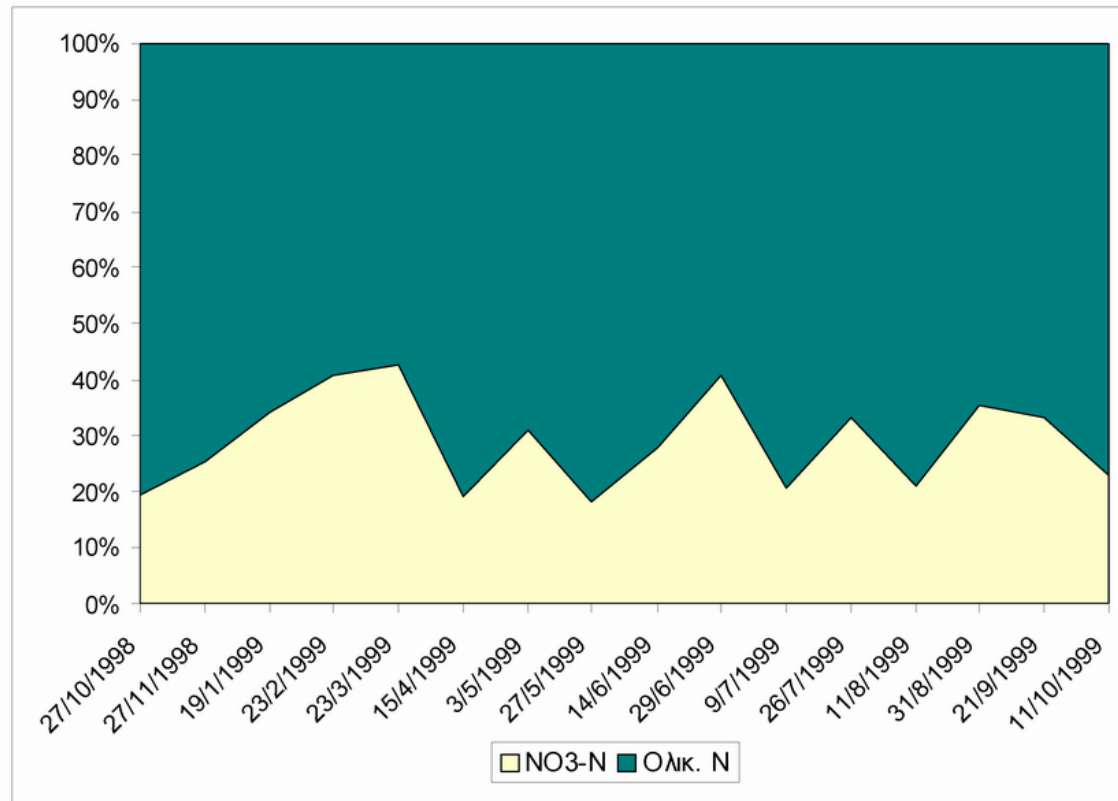
$\text{SiO}_2 - \text{Si}$



Θρεπτικά – σχέσεις μεταξύ τους

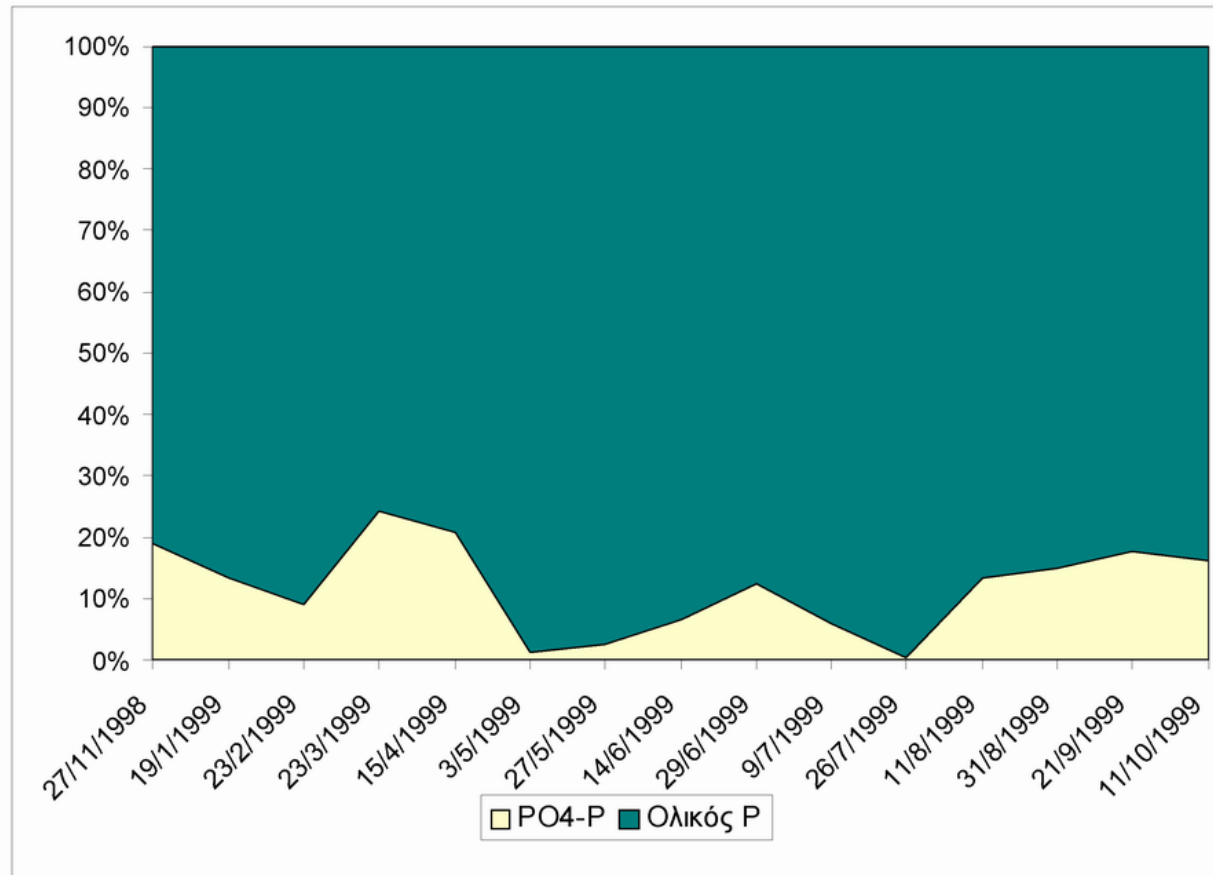
- Το άζωτο στη μορφή των νιτρικών αποτελεί μικρό μέρος (<30%) του συνολικού ανόργανου (διαλυμένου) αζώτου σε εύτροφα υδάτινα οικοσυστήματα όπως η λίμνη της Καστοριάς

- ✓ Ως εκ τούτου κυριαρχεί το αμμωνιακό ιόν, προϊόν ανακύκλωσης. Κυριαρχία αμμωνιακού ιόντος σε ανοξικά υπολίμνια θερμικά στρωματωμένων λιμνών (π.χ. Λίμνη Βόλβη)



Θρεπτικά – σχέσεις μεταξύ τους

- Ο φώσφορος στη μορφή των φωσφορικών αποτελεί μικρό μόνο μέρος (<20%) του ολικού φωσφόρου σε εύτροφα υδάτινα οικοσυστήματα με υψηλή βιομάζα φυτοπλαγκτού όπως στη Λίμνη Καστοριάς



Θρεπτικά – σχέσεις μεταξύ τους

✓ Ερώτηση:

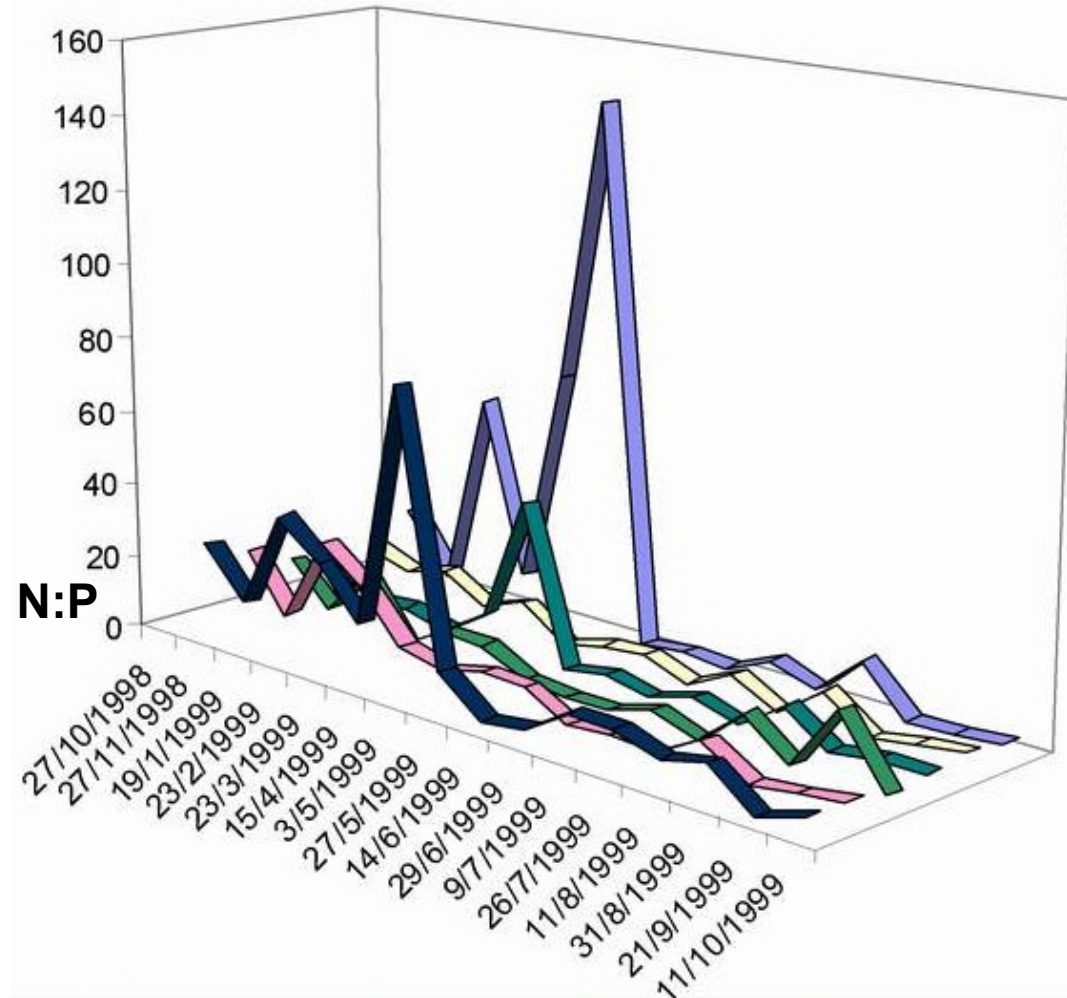
Η καταγραφή ανόργανου φωσφόρου ή νιτρικού αζώτου σε πολύ χαμηλές/μη ανιχνεύσιμες ποσότητες σε μία δειγματοληψία/μέτρηση σε ένα υδάτινο οικοσύστημα τι μπορεί να σημαίνει;

Μπορεί να γίνει λανθασμένη εκτίμηση τροφικής κατάστασης; Πως μπορεί να γίνει έλεγχος;



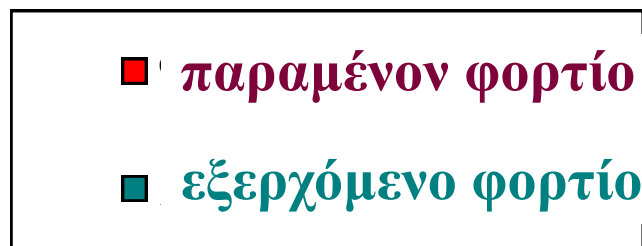
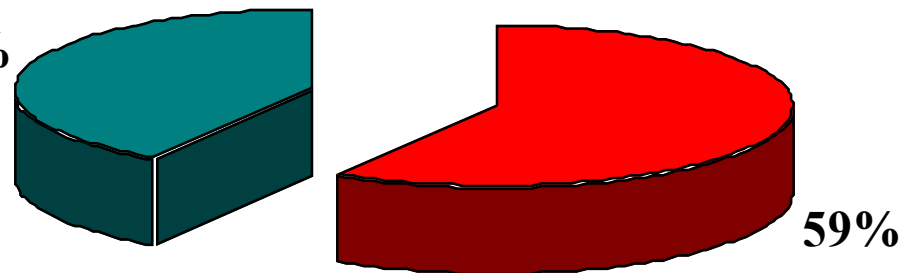
Θρεπτικά – σχέσεις μεταξύ τους

Ο λόγος Redfield των στοιχείων **C:N:P** όταν έχει την τιμή 106:16:1 δείχνει μία κατάσταση ισορροπίας ανάμεσα στα στοιχεία αυτά που περιέχονται στο φυτοπλαγκτό και στο νερό. Όταν ο λόγος **N:P** μειωθεί κάτω από την τιμή **16:1** τότε το άζωτο γίνεται περιοριστικό για το φυτοπλαγκτό ενώ τα αζωτοδεσμευτικά κυανοβακτήρια του φυτοπλαγκτού έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων οργανισμών του φυτοπλαγκτού



Πορεία εισερχόμενων φορτίων θρεπτικών

Ασυμφωνία μεταξύ των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων των θρεπτικών στο νερό μιας λίμνης με βάση τα εισερχόμενα φορτία σε μία λίμνη και των μετρημένων τιμών στο νερό της λίμνης μπορεί να συνδέεται και με αυξημένα παραμένοντα φορτία στη λίμνη, όπως για παράδειγμα στην Καστοριά (59% του εισερχόμενου φορτίου)



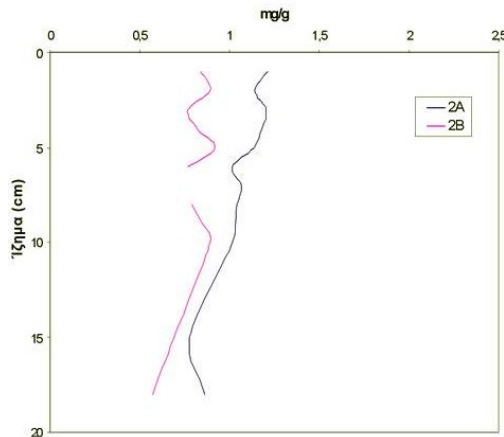
Θρεπτικά στο ίζημα

Λήψη πυρήνα
ιζήματος
(υποδείγματα
1 cm) για
ανάλυση των
διάφορων
μορφών του
φωσφόρου
στο ίζημα



Θρεπτικά στο ίζημα

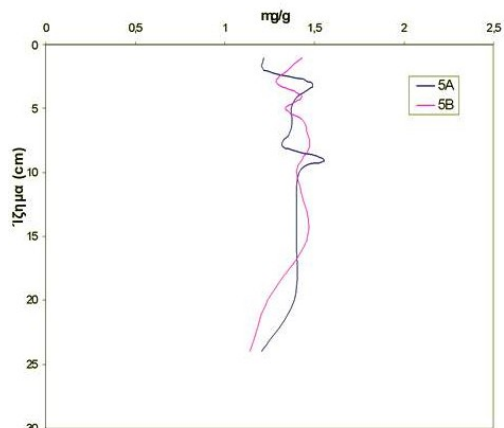
Κατανομή ολικού φωσφόρου στο ίζημα



Μειώνεται με το βάθος;

αν όχι, όπως στην λίμνη

της Καστοριάς τι
σημαίνει αυτό;



Κατανομή ολικού φωσφόρου στο ίζημα

**Ο Fe (II, III) είναι ιδιαίτερα σημαντικός
στη δέσμευση & ελευθέρωση του P από το ίζημα
Παρουσία δισθενούς σιδήρου (αναγωγικές συνθήκες)
ο P ελευθερώνεται στο νερό**

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες:

- Διαλυμένο O_2

Ελευθέρωση P σε χαμηλό O_2

- pH : σε υψηλό pH η ελευθέρωση του P που ήταν δεσμευμένος με Fe αυξάνει

- H_2S , FeS

Παρουσία υδροθείου και σχηματισμού θειούχου σιδήρου
μειώνεται η δέσμευση P

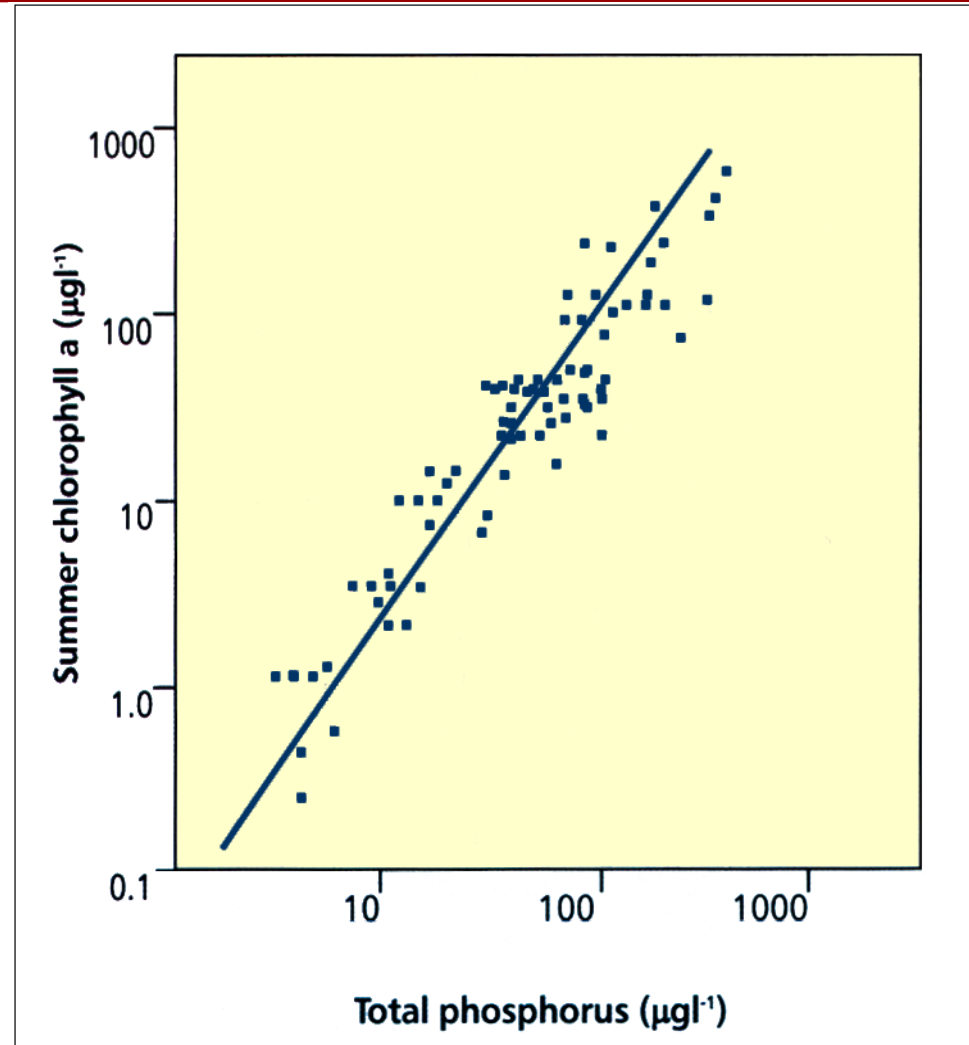
- NO_3-N

Τα νιτρικά εμποδίζουν την ελευθέρωση του δεσμευμένου με Fe P



P & Chl-a

- Η σχέση φωσφόρου-χλωροφύλλης του μοντέλου OECD. Κάθε σημείο αναπαριστά μία λίμνη (από Moss 1997).
- Με την αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου αυξάνει η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α.
- Προσοχή! Λογαριθμική κλίμακα. Τι σημαίνει για τη χρήση αυτής της σχέσης σε εκτιμήσεις ποιότητας νερού;



Οξειδοαναγωγικό δυναμικό

Θεωρητικό οξειδο-αναγωγικό δυναμικό του κορεσμένου σε οξυγόνο νερού σε

pH=7 και 25 C $E_7=0.8$ V

οξειδο-αναγωγικό δυναμικό του ιζήματος **$E_7=<-0.2$ V**

E_7 ζώνης επαφής νερού-ιζήματος $E_7=0.0$ V

E_7 μειώνεται 0.058 V για κάθε αύξηση pH 1 μονάδας

99% μείωση του διαλυμένου O_2 μειώνει μόνο κατά 0.03 V το E_7

Ισχύει; Πότε; Ερμηνεία;

$NO_3-N - NO_2-N$ $E_7=0.45-0.40$ V

$NO_2-N - NH_4-N$ $E_7=0.40-0.35$ V

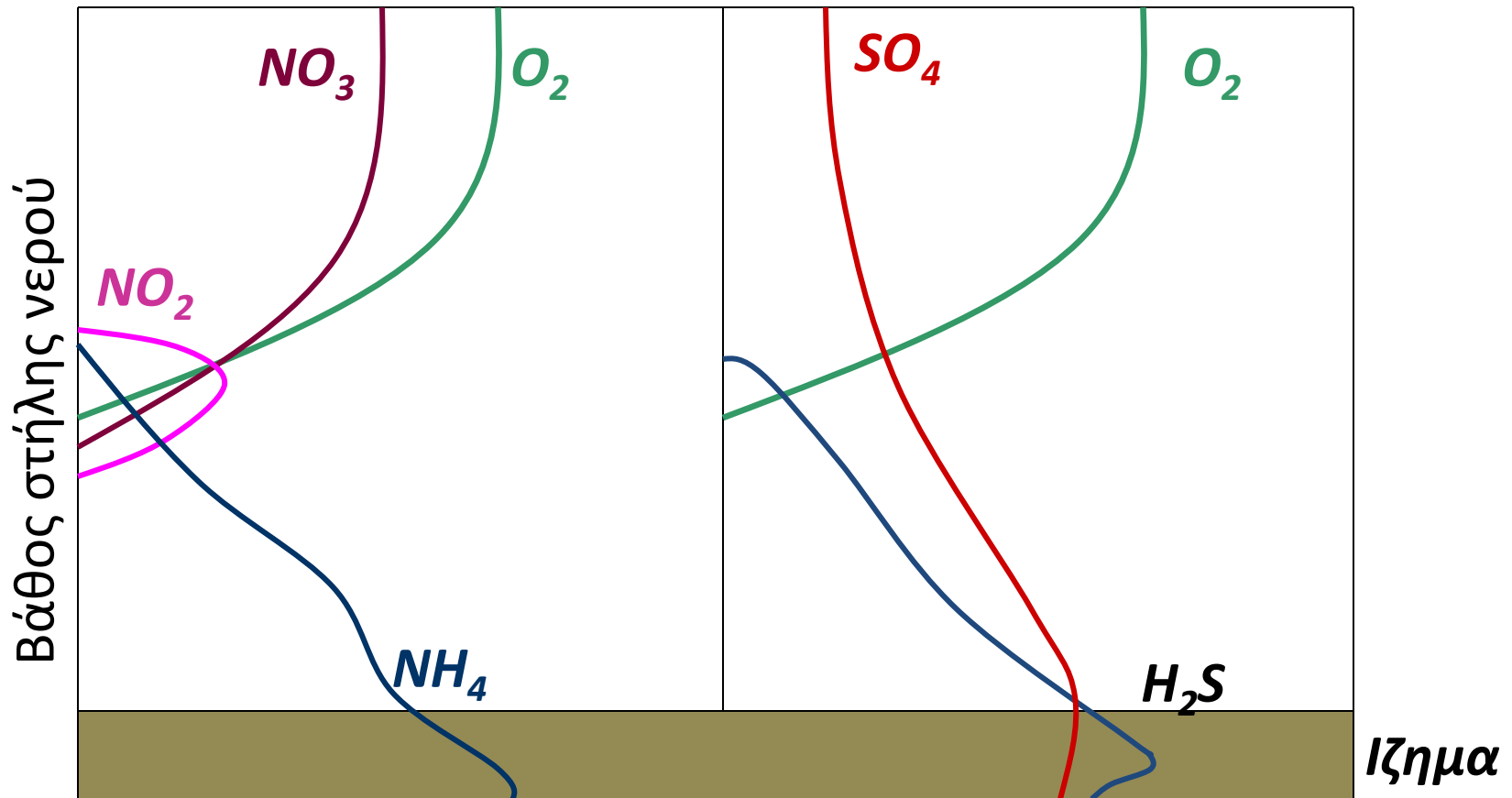
$Fe^{3+} - Fe^{2+}$ $E_7=0.30-0.20$ V

$SO_4^- - S^{2-}$ $E_7=0.10-0.06$ V



Οξειδοαναγωγικό δυναμικό

Κατακόρυφη κατανομή θρεπτικών



Βιβλιογραφία

Moss, B., G. Phillips & J. Madgwick (1996). A Guide to the Restoration of Nutrient-enriched Shallow Lakes. The Broads Authority.

Lampert W. & U. Sommer (1997). Limnoecology. The Ecology of Lakes and Streams. Oxford University Press, New York.

Katsiapi M, Moustaka-Gouni M, Vardaka E & Kormas KA (2013)
Different phytoplankton descriptors show asynchronous changes in a shallow urban lake (L. Kastoria, Greece) after sewage diversion.
Fundamental and Applied Limnology 182/3: 219-230





Τέλος Ενότητας 7

Επεξεργασία: Λατινόπουλος Διονύσης
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

