

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ &
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

Δυστροφικές κρίσεις στις λιμνοθάλασσες

ΚΑΤΣΑΡΗ ΙΩΝ. ΧΡΥΣΟΥΛΑ (ΑΜ:11070)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΜΠΕΚΙΑΡΗ ΒΛΑΣΟΥΛΑ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2014

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Αφιερώνω τη παρούσα εργασία στην κύρια Βλασούλα Μπεκιάρη για την πολύτιμη βοήθειά της, στους γονείς μου που στήριξαν και συνεχίζουν να στηρίζουν τα όνειρά μου, στον αγαπημένο μου αδερφό Παναγιώτη καθώς και στην αγαπημένη μου θεία Ευσταθία Γερολυμάτου που ήταν πάντα δίπλα μου σε ότι και αν την χρειάστηκα στη διαδρομή μου μέχρι σήμερα.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. Εισαγωγή

1.1 Λιμνοθάλασσες.....	1
1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	4
Αλατότητα.....	4
pH.....	5
Διαλυμένο οξυγόνο.....	6
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο BOD.....	7
Χημικός απαιτούμενο COD.....	7
Οργανικός άνθρακας.....	8
Θερμοκρασία.....	8
Θρεπτικά συστατικά.....	9
Αμμωνιακά ιόντα.....	11
Νιτρώδη ιόντα.....	12
Νιτρικά ιόντα.....	12
Φωσφορικά ιόντα – Ολικός φώσφορος.....	13
Θειικά ιόντα.....	14
1.3ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΣΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ.....	15
Κριτήρια ευτροφισμού	17
Φυσικός και τεχνητός ή ανθρωπογενής ευτροφισμός.....	18
Δείκτες ευτροφισμού.....	19
Ακραίες συνέπειες ευτροφισμού.....	19
1.4 ΑΝΟΞΙΑ ΣΤΙΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ.....	19
1.5 ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ.....	21
Ελαφρύτερα ανοξικά νερά.....	22
Εξάτμιση.....	23
Άνεμοι.....	23

Βροχοπτώσεις.....	24
Υδροθείο.....	24
Τοξικότητα υδροθείου.....	25
1.6 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ	26
1.7 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΝΟΞΙΚΑ ΥΔΑΤΑ.....	28
Πρόσληψη του οξυγόνου από τα βράγχια.....	29
Βράγχια με προσαρμογές για την πρόσληψη οξυγόνου και από την ατμόσφαιρα	29
Με κατάποση φυσαλίδων αέρα.....	30
Δερματική αναπνοή.....	30
Με τη νηκτική κύστη στο ρόλο του πνεύμονα	31
Με αποθήκευση νερού.....	31
Προσαρμογές οργανισμών σε ανοξικές συνθήκες που συναντάμε και στις Ελληνικές λιμνοθάλασσες.....	31
1.8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	
2.1 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΡΙΣΕΩΝ.....	38
2.1 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ-ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ.....	39
2.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	39
2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	42
2.1.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	43
2.1.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ.....	44
2.1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	46
2.2 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΠΑΠΑ.....	47

2.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	47
2.2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	48
2.2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	48
2.2.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΟΥ ΠΑΠΑ.....	50
1.2.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	50
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ

Οι λιμνοθάλασσες είναι δυναμικά οικοσυστήματα, τα οποία τόσο από φυσική όσο και οικολογική άποψη αποτελούν ιδιαίτερους βιότοπους. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των υδάτινων οικοσυστημάτων θεωρείται η διατήρηση των ποσοτικών και ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Οι λιμνοθάλασσες είναι αβαθείς υδάτινες περιοχές που διαχωρίζονται από τη θάλασσα με αμμοησίδες με αποτέλεσμα το θαλάσσιο νερό να εισέρχεται μέσω διόδων που υπάρχουν μεταξύ αυτών των νησίδων (Ardizzone et al., 1988). Λόγω των συνεχών αποθέσεων ιζημάτων και οργανικού υλικού, συνιστούν συστήματα με μεταβαλλόμενα γεωμορφολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Αποτελούν σχηματισμούς της μεταβατικής ζώνης θαλάσσιων και γλυκών υδάτων και γι' αυτό χαρακτηρίζονται με τον γενικότερο όρο Μεταβατικά Ύδατα (Transitional waters). Σε αυτές τις περιοχές έχουμε ανάμειξη του θαλασσινού νερού και των γλυκών υδάτων που προέρχονται από τη λεκάνη απορροής, δημιουργώντας έτσι υφάλμυρα ύδατα στο μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου.

Οι αμμοησίδες σε μια παράκτια περιοχή είναι αποτέλεσμα συνδυασμένης δράσης εκβολής ποταμού ή χείμαρρου και παράκτιων ρευμάτων και παλίρροιας, με κύρια προϋπόθεση την ύπαρξη αμμωδών ακτών χαμηλού ανάγλυφου (Lassere 1979). Τα υλικά των ποταμών μεταφέρονται λόγω των παράκτιων ρευμάτων αποτίθενται στον πυθμένα της θάλασσας στην περιοχή γύρω από τις εκβολές του ποταμού και σχηματίζουν νησίδες, παράλληλα στην ακτογραμμή. Τα παράκτια ρεύματα και ο κυματισμός εμποδίζουν την εξάπλωση των αποθέσεων με αποτέλεσμα να δημιουργούν φράγματα που απομονώνουν τη θάλασσα. Η απομόνωση αυτή, δεν είναι πλήρης λόγω της παλίρροιας και των ρευμάτων, οπότε υπάρχει επικοινωνία με τον ωκεανό και έτσι υπάρχει μόνιμα συνεχής ροή και ανταλλαγή νερού αναλόγως τις κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν.

Σύμφωνα με τους Nickols & Allen (1981), ανάλογα με τον επικρατέστερο παράγοντα οι λιμνοθάλασσες καλύπτουν όλο το φάσμα των μορφολογικών συνδυασμών και μπορούν να χαρακτηριστούν ως:

- **Λιμνοθάλασσες εκβολής**, με κυρίαρχη δράση του ποταμού και των παράκτιων ρευμάτων (estuarine-lagoons).
- **Ανοικτές λιμνοθάλασσες** με κυρίαρχη δράση των παράκτιων ρευμάτων, της παλίρροιας και των κυμάτων ("open" lagoons).

- **Μερικώς κλειστές λιμνοθάλασσες**, όπου έχει ολοκληρωθεί σχεδόν ο σχηματισμός νησίδας διαχωρισμού με την κυρίαρχη δράση παράκτιων ρευμάτων και κυματισμού (partly closed lagoons).
- **Κλειστές λιμνοθάλασσες**, όπου έχει ολοκληρωθεί με έντονη δράση του κυματισμού η απομόνωση από την παρακείμενη θάλασσα. Η επικοινωνία με τη θάλασσα είναι τεχνητή ή εποχιακή (closed lagoons).

Τα λιμνοθαλάσσια οικοσυστήματα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι οι υδραυλικές ανταλλαγές και τα επίπεδα ηλιοφάνειας (Carrada & Fesi 1988). Λόγω του μικρού βάθους τους επηρεάζονται άμεσα από κλιματολογικούς παράγοντες, όπως η ένταση των ανέμων, οι βροχοπτώσεις, η βαρομετρική πίεση, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κτλ., με συνέπεια να παρατηρούνται περιοδικά στο νερό έντονες μεταβολές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών που οδηγούν σε μαζικές μεταναστεύσεις ψαριών προς την ανοιχτή θάλασσα. Η βιοποικιλότητα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα λόγω της φυσικής τους αστάθειας και έτσι είναι ελάχιστες οι μόνιμες βιοκοινότητες. Είναι εύτροφα οικοσυστήματα με μεγάλη παραγωγικότητα με αποτέλεσμα να αποτελούν αντικείμενο αλιευτικής εκμετάλλευσης.

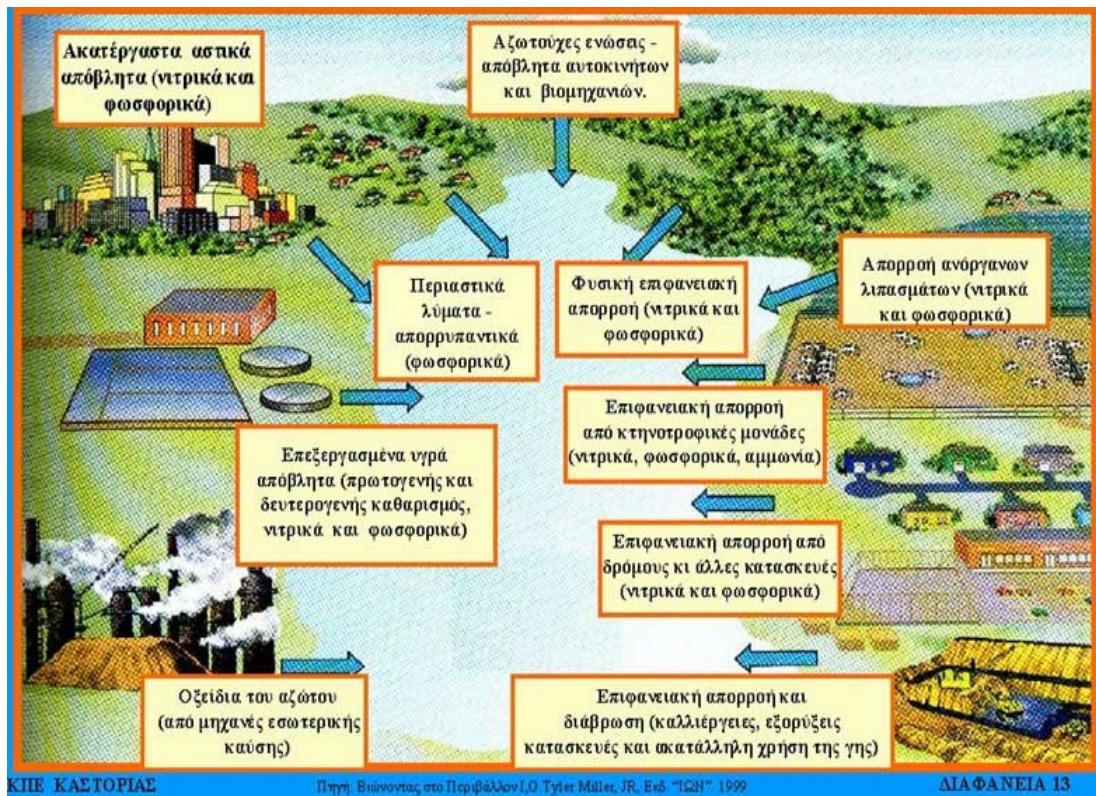
Εκτός από τα μεταβατικά ύδατα οι λιμνοθάλασσες έχουν κάποια χαρακτηριστικά που τις διακρίνουν από τους υπόλοιπους υγροτόπους.

- Όλες οι λιμνοθάλασσες έχουν τα δικά τους φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με το βαθμό απομόνωσης τους, το βάθος, την ποσότητα των εισρεόντων γλυκών υδάτων, την έκταση και το ίζημα, με αποτέλεσμα κάθε λιμνοθάλασσα να φιλοξενεί διαφορετικά είδη οργανισμών.
- Λόγω της θέσης τους ανάμεσα στην ανοιχτή θάλασσα και την ξηρά, χαρακτηρίζονται από υψηλές διακυμάνσεις σε μετεωρολογικές, χημικές και φυσικές συνθήκες (Castel *et al.* 1996).
- Το μικρό βάθος των λιμνοθαλασσών, η τοπογραφική τους θέση, ο βαθμός απομόνωσης τους και οι επιδράσεις που δέχονται από την θάλασσα, τη χέρσο και την ατμόσφαιρα, δημιουργούν ένα ιδιαίτερα παραγωγικό και δυναμικό αλλά ταυτόχρονα εύκολα μεταβαλλόμενο οικοσύστημα, που υπόκειται συνεχώς σε μεταβολές (Aliaume *et al.* 2007, Viaroli *et al.* 2007, Viaroli *et al.*

2008). Άμεσες κλιματικές επιδράσεις όπως άνεμοι και ατμοσφαιρική θερμοκρασία αλλά και έμμεσες όπως εισροή γλυκών υδάτων, παλίρροια, δημιουργούν μεγάλες και ταχύτατες αλλαγές στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των λιμνοθαλασσών. Έχουνε μεγάλες και συχνές διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών τους παραμέτρων σε ημερήσια αλλά και ετήσια βάση με συνέπεια να είναι αφιλόξενα οικοσυστήματα με αποτέλεσμα τον μειωμένο αριθμό ειδών που ζουν στις λιμνοθάλασσες και τη χαμηλή βιοποικιλότητα (Reizoroulou & Nicolaidou 2004).

- Η ανακύκλωση των θρεπτικών αλάτων που εισέρχονται με τα ποτάμια μέσα στο υδρόβιο οικοσύστημα συντηρούν μεγάλους πληθυσμούς των ειδών που επικρατούν (Nicolaidou *et al.* 2005).
- Οι λιμνοθάλασσες αποτελούν συστήματα εκτεταμένης ιχθυοκαλλιέργειας, με τον εγκλωβισμό των ψαριών που εισέρχονται σε αυτές. Η αλιεία αποτελεί μια από τις κυριότερες ασχολίες των κατοίκων σε περιοχές όπου υπάρχουν λιμνοθάλασσες, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη οικονομική εξάρτηση των πληθυσμών από αυτές (Aliaume *et al.* 2007).

Οι λιμνοθάλασσες δέχονται ανθρωπογενείς επιδράσεις (εικ.1) όπως αστικά και βιομηχανικά απόβλητα που διοχετεύονται μέσα σε αυτές, λιπάσματα και φυτοφάρμακα που προέρχονται από γεωργικές καλλιέργειες είναι η αιτία πρόκλησης ευτροφικών φαινομένων που μπορεί να οδηγήσουν σε κατάρρευση του οικοσυστήματος.



Εικ.1: Απεικόνιση των αλληλεπιδράσεων αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων σε μια λιμνοθάλασσα.

1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Αλατότητα

Η αλατότητα είναι η περιεκτικότητα αλάτων στο νερό και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το βιοτικό περιβάλλον της λιμνοθάλασσας. Τα νερά των λιμνοθαλασσών σύμφωνα με τα ποσοστά αλατότητας χωρίζονται σε:

- γλυκά <5‰
- Υφάλμυρα 5‰-20‰
- αλμυρά 35‰
- υπερύαλα >40‰

Η τιμή της αλατότητας μιας λιμνοθάλασσας καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- 1) Το τύπο της λιμνοθάλασσας
- 2) Το σχηματισμό της λιμνοθάλασσας
- 3) Την ένταση της παλίρροιας
- 4) Την εισαγωγή γλυκών νερών από την λεκάνη απορροής
- 5) Το βάθος της

6) Την εποχή

Η αλατότητα είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, των βροχοπτώσεων, του βαθμού εξάτμισης στην περιοχή, των επιφανειακών απορροών και της εισαγωγής γλυκού νερού από ποτάμια . Η κατανομή της αλατότητας στα λιμνοθάλασσα περιβάλλοντα παράγει ιδιαίτερα περιβάλλοντα αλατότητας. Τα περιβάλλοντα αυτά που δημιουργούνται είναι πιο ευδιάκριτα σε μεγάλο μεγέθους λιμνοθάλασσες.

Το νερό που εισέρχεται στον διάυλο της λιμνοθάλασσας είναι αυτό που προσφέρεται από τον ανοικτή θάλασσα και επομένως δημιουργεί ένα περιβάλλον κανονικής θαλάσσιας αλατότητας. Όμως, όσο το νερό απομακρύνεται από το σημείο ένωσης ανοιχτής θάλασσας-λιμνοθάλασσας αυτό μεταβάλλεται. Τα γλυκά νερά που εισέρχονται σε μια λιμνοθάλασσα προέρχονται είτε από τις βροχοπτώσεις, είτε από την παροχή της λεκάνης απορροής. Όταν στη λιμνοθάλασσα προσφέρεται γλυκό νερό , το νερό της γίνεται όλο και πιο υφάλμυρο προς την πηγή εισχώρησης του γλυκού νερού. Τέλος οι τιμές της αλατότητας επηρεάζονται σημαντικά από την εξάτμιση του νερού τους θερινούς και ξηρούς μήνες, είναι ιδιαίτερα έντονη σε κλειστές λιμνοθάλασσες με μικρό βάθος, ενώ και η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων επηρεάζει αποφασιστικά αυτόν τον παράγοντα.

pH

Το pH των γλυκών νερών κυμαίνεται μεταξύ 4-9 ενώ στις θάλασσες, όπου το εύρος μεταβολής είναι πολύ μικρότερο και κυμαίνεται μεταξύ 7,5-8,3 εξασφαλίζεται ένα σταθερό περιβάλλον για την ανάπτυξη της θαλάσσιας ζωής.

Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης CO₂ στο νερό. Η τιμή του pH επίσης εξαρτάται από την φωτοσύνθεση και την αναπνοή, εφ' όσον αυτές είναι δραστηριότητες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. Κατά την διάρκεια της ημέρας, η τιμή του pH αυξάνεται σημαντικά λόγω της φωτοσύνθεσης, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά την διάρκεια της νύχτας λόγω απουσίας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και επικράτησης της αναπνοής.

Σχετικά με την οξίνιση των υδάτων, έχει παρατηρηθεί ότι άλλα είδη την αντέχουν λιγότερο και άλλα περισσότερο. Αυτό εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ζουν, τον τρόπο με τον οποίο αναπνέουν, την ικανότητά τους να προσλαμβάνουν ασβέστιο και από τις αντοχές που διαθέτουν στις μεταβολές των ιοντικών συγκεντρώσεων του

περιβάλλοντος. Οι υδρόβιοι οργανισμοί δυσκολεύονται να επιζήσουν καθώς μειώνεται το pH όταν πέφτει κάτω από 5, ή αυξάνεται επάνω από 9. Όταν το pH είναι 5 ή λιγότερο, έχουμε μείωση στον αριθμό και την ποικιλομορφία ειδών ενώ μερικά είδη ψαριών υφίστανται μεγάλες απώλειες. Με pH 4 προκαλείται θανάτωση του 50% των ψαριών. Θανατηφόρες για τα ψάρια είναι και οι τιμές pH πάνω από 10.

Διαλυμένο οξυγόνο

Είναι γνωστό ότι με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης και των ανέμων γίνεται ο εμπλουτισμός των νερών με οξυγόνο. Το διαλυμένο οξυγόνο τόσο στη στήλη νερού όσο και στο ίζημα είναι καθοριστικός παράγοντας για τους οργανισμούς μιας λιμνοθάλασσας και συνδέεται με την ανάπτυξη και την επιβίωση των οργανισμών που ζουν σε αυτήν. Όταν σε μια λιμνοθάλασσα επικρατούν ανοξικές συνθήκες για μεγάλο χρονικό διαστήματα, τότε έχουμε ως συνέπεια μαζικούς θανάτους.

Οι «δυστροφικές κρίσεις» είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται στις λιμνοθάλασσες και σχετίζεται με την περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου σ αυτές.

Η δυστροφική κρίση προκαλείται λόγω υπερβολικής συγκέντρωσης οργανικής ύλης και την αύξηση των βακτηριδιακών ετεροτροφικών δραστηριοτήτων που οδηγούν σε μεγάλη κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου. Δυστροφικές κρίσεις συναντάμε συνήθως τέλος καλοκαιριού έως αρχές φθινοπώρου, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, σε συνδυασμό με υψηλές αλατότητες και αυξημένη πρωτογενή παραγωγή. Τα ελάχιστα ποσοστά οξυγόνου τα συναντάμε συνήθως νωρίς το πρωί, πριν την ανατολή του ηλίου και τα μέγιστα ποσοστά αργά το απόγευμα. Επιπλέον, με την αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου.

Το νερό των λιμνοθαλασσών μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε ανάλογα με τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Pietsch, 1982):

- **άκρως φτωχά**, νερά των οποίων η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι μικρότερη του 1 mg/L,.
- **φτωχά**, από 1 έως 2,5 mg/L.
- **σχεδόν πλούσια**, από 2,6 έως 6 mg/L.
- **πλούσια**, από 6,1 έως 10 mg/L.

- **πολύ πλούσια**, νερά των οποίων η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη από 10 mg/L.

Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο BOD

Είναι η συνήθως χρησιμοποιούμενη παράμετρος για τη μέτρηση του οργανικού φορτίου των λυμάτων και ρυπασμένων υδάτινων σωμάτων. Το ολικό BOD (BOD_u) μιας ποσότητας νερού ορίζεται ως η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών υλών. Η ολοκλήρωση ενός πειράματος BOD απαιτεί πολύ χρόνο. Απαιτούνται 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99% του BOD_u και γι' αυτό χρησιμοποιείται συνήθως το BOD₅ που είναι το BOD που ικανοποιείται κατά τις 5 πρώτες ημέρες του πειράματος σε θερμοκρασία 20°C.

Η ταχύτητα της βιολογικής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης, ενώ υπάρχουν οργανικές ύλες που δεν οξειδώνονται βιολογικά (μη βιοδιασπάσιμες ύλες). Έτσι το BOD (BOD_u ή BOD₅) μετρά την οργανική μάζα κατά χονδρική προσέγγιση μόνο και ο λόγος BOD₅/BOD_u επηρεάζεται από το είδος των οργανικών υλών του νερού και λυμάτων αλλά και από το βαθμό βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων, αφού προηγείται η οξείδωση των ευκολότερα βιοδιασπάσιμων υλών.

Η μεγάλη αξία του BOD βρίσκεται στο ότι μετρά άμεσα το κυριότερο ρυπαντικό αποτέλεσμα της οργανικής ύλης, δηλαδή την κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου που πραγματοποιούν οι μικροοργανισμοί κατά την οξείδωσή της.

Κατά το τυπικό πείραμα του BOD τοποθετείται το διάλυμα του δείγματος σε σφραγιζόμενη φιάλη και μετριέται το διαλυμένο οξυγόνο στην αρχή και στο τέλος του πειράματος. Η διαφορά των δύο μετρήσεων είναι το BOD. Με προσθήκη κατάλληλων χημικών εμποδίζεται η νιτροποίηση δηλαδή, η μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικό οξύ και συνεπώς η μετρούμενη κατανάλωση οξυγόνου οφείλεται μόνο στην οξείδωση της οργανικής ύλης.

Χημικώς απαιτούμενο COD

Το COD είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO₂ και νερό. Η οξείδωση πραγματοποιείται με προσθήκη διχρωμικού κάλιου, από την ποσότητα του οποίου προκύπτει η τιμή του COD.

Το COD χρησιμοποιείται αντί του BOD, ή και συμπληρωματικά με αυτό. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι η ταχύτητα του αφού η μέτρηση μπορεί να ολοκληρωθεί σε 2-3 ώρες. Μετρά όχι μόνο τη βιοδιασπάσιμη αλλά και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Αποτελεί μέτρο των αποξυγονωτικών συνεπειών λιγότερο αντιπροσωπευτικό από το BOD.

Οργανικός άνθρακας TOC

Η τιμή TOC εκφράζει την ολική φόρτιση των νερών σε οργανικές ενώσεις (Total Organic Carbon -TOC). Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg C /L νερού.

Μέσω των τιμών TOC μας πληροφορούμαστε για τη συνολική ποσότητα των ενώσεων του άνθρακα, ανεξάρτητα με το βαθμό οξείδωσης στον οποίο βρίσκονται.

Η τιμή του TOC μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ρύπανσης αλλά και ως παράμετρος που δείχνει τις φυσικές διεργασίες που γίνονται στα οικοσυστήματα. Σε αντίθεση με τις μετρήσεις COD και BOD, οι μετρήσεις του TOC είναι ανεξάρτητες από τον βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού στις αβαθείς λιμνοθάλασσες είναι αποτέλεσμα της ηλιακής θερμότητας, των ανταλλαγών με την ατμόσφαιρα και το βυθό καθώς και ανταλλαγών θερμότητας με την θάλασσα μέσω των παλιρροϊκών κινήσεων των νερών (VINCENZI & PUGNAGHI,1996).

Οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών το οποίο αν ξεπεραστεί τους δημιουργεί αρχικά <<στρες>> και στην συνέχεια επιφέρει τον θάνατο τους. Η θερμοκρασία έχει επίδραση στην:

- Την γενετική ωρίμανση των οργανισμών
- Την ένταση τροφοληψίας των οργανισμών
- Τον ρυθμό αύξησης και ανάπτυξης των οργανισμών
- Τον ρυθμό ιζηματοποίησης
- Την πυκνότητα του νερού

Λόγω του μικρού βάθους που έχουν οι λιμνοθάλασσες, η διαμόρφωση της θερμοκρασίας του νερού εξαρτάται από :

- Τις υδραυλικές ανταλλαγές με τη θάλασσα, ή τις τυχόν αναβλύσεις (θερμοκρασιακές αναστροφές)
- Την ψύξη, ή τη θέρμανση που προκαλείται από την ατμόσφαιρα

Η θερμοκρασία στις λιμνοθάλασσες χαρακτηρίζεται από πολλές διακυμάνσεις που εξαρτώνται από τον βαθμό υδραυλικών ανταλλαγών και τη θερμοκρασία του αέρα. Στις ωκεανογραφικές και λιμνολογικές μελέτες για τον προσδιορισμό του επιπέδου κορεσμού του νερού σε οξυγόνο, μαζί με την μέτρηση του βάθους, της αλατότητας και του διαλυμένου οξυγόνου, είναι απαραίτητη και η μέτρηση της θερμοκρασίας.

Με την άνοδο της θερμοκρασίας έχουμε ως αποτέλεσμα την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, πού είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φιλοξενούμενων οργανισμών, και μειώνει την πυκνότητα του νερού. Το ελαφρύτερο νερό ανέρχεται στην επιφάνεια και εμποδίζει την διάλυση του οξυγόνου στην υδατική μάζα, μειώνοντας και την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα κατώτερα στρώματα. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να αποβεί μοιραίο για τους οργανισμούς που φιλοξενούνται στο νερό ή συντηρούνται από αυτό (πλαγκτόν, ψάρια, όστρακα, αμφίβια, και άλλα).

Θρεπτικά συστατικά

Ο όρος θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιείται όταν αναφερόμαστε στις ενώσεις των στοιχείων φωσφόρου και αζώτου (P, N).

Τα θρεπτικά άλατα είναι οι ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του πυριτίου που χρησιμοποιούνται απ' το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν για την ανάπτυξη του (Millero, 1996).

Τα θρεπτικά συστατικά ή μικροθρεπτικά άλατα αποτελούν την απαραίτητη τροφή των φυτικών οργανισμών. Είναι στοιχειώδεις ενώσεις κύρια ανόργανες αλλά και οργανικές και συνιστούν τα τελικά ή ενδιάμεσα προϊόντα της βιολογικής ή χημικής αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Τα πιο σημαντικά είναι το άζωτο και ο φωσφόρος, καθώς και το πυρίτιο που απαιτείται από κάποιους μικροοργανισμούς (διάτομα) που έχουν πυριτικό σκελετό. Στο θαλασσινό νερό οι βασικές μορφές του ανόργανου αζώτου είναι τα νιτρικά άλατα, δηλαδή ενώσεις με τη ρίζα NO_3 , τα νιτρώδη άλατα, δηλαδή ενώσεις με τη ρίζα NO_2 και τα αμμωνιακά ιόντα NH_4^+ .

Τα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται από τους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς που αναπτύσσονται στην ευφωτική ζώνη (μέχρι ~100m βάθος) και φωτοσυνθέτουν. Αποτελούν ίσως το σημαντικότερο αβιοτικό παράγοντα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων εφόσον οι συγκεντρώσεις τους μπορούν να είναι περιοριστικές για τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των φυτών και συνεπώς τη συνολική βιολογική παραγωγή. Τα επιφανειακά νερά είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά εξαιτίας της κατανάλωσης τους στην ευφωτική ζώνη. Αντίθετα, τα βαθιά νερά είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία απελευθερώνονται από την αποικοδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης.

Η τοπική και εποχιακή διακύμανση των συγκεντρώσεων τους λόγω βιολογικής δράσης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των θρεπτικών αλάτων. Η αναλογία των θρεπτικών αλάτων όμως παραμένει σχετικά σταθερή πράγμα που σημαίνει ότι προσλαμβάνονται και αποβάλλονται από τους φυτικούς οργανισμούς με σταθερό τρόπο (Σκούλλος 1997, Rosenfeld 1979).

Οι αναλογίες του Redfield $N:P:Si=16:1:16$ δείχνουν τις στοιχειομετρικές απαιτήσεις για την ομαλή ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και υποδεικνύουν ότι το θρεπτικό συστατικό που βρίσκεται στη μικρότερη ποσότητα αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του (Ξένος 1999).

Οι λιμνοθάλασσες είναι πλούσιες σε θρεπτικά άλατα τα οποία προέρχονται κυρίως από ανθρώπινες ενέργειες. Κύριες πηγές εμπλουτισμού των λιμνοθαλασσών με θρεπτικά άλατα είναι τα φυτοφάρμακα, τα λιπάσματα και τα ανεπεξέργαστα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα. Συνέπεια όλων αυτών είναι η αλλαγή στην τροφική κατάσταση των υδάτινων συστημάτων με αποτέλεσμα την εμφάνιση ευτροφισμού. Στις λιμνοθάλασσες το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι πολύ συχνό λόγω της σχετικά περιορισμένης ανανέωσης των υδάτων τους.

Τα θρεπτικά συστατικά στο θαλάσσιο περιβάλλον προέρχονται από προσθήκες από την ξηρά και την ατμόσφαιρα, καθώς και από τροφοδοσία της υδάτινης στήλης, μέσω της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης και της απελευθέρωσης τους από τα θαλάσσια ιζήματα. Τα θρεπτικά των λιμνοθαλασσών τα οποία εισέρχονται σ' αυτήν από εξωτερικές πηγές (επιφανειακές απορροές, χείμαρροι) είναι μεγαλύτερα κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου, ενώ κατά τη ξηρή περίοδο σχεδόν μηδενίζονται (Κ.

Χαραλαμπίδου¹, Γ.Δ. Γκίκας¹, Δημητρίου¹, Β.Α. Τσιχριντζής^{1*}, Γ.Κ. Συλαίος^{1,2} και Δ. Μάρκου^{1,2}, 2003).

Σ' αυτήν την περίπτωση τα ιζήματα του πυθμένα είναι κύρια πηγή φόρτισης του νερού σε θρεπτικά.

Με τον εμπλουτισμό των νερών των λιμνοθαλασσών με θρεπτικά συστατικά αζώτου και φωσφόρου προκαλείται αύξηση των φυτοπλακτονικών οργανισμών, καθώς και ορισμένων μακροφυκών. Το φαινόμενο που δημιουργείται, γνωστό ως ευτροφισμός, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα ρύπανσης των νερών. Αν ο ευτροφισμός δεν περιοριστεί, τα νερά υποβαθμίζονται συνεχώς με αποτέλεσμα να πεθαίνουν σταδιακά οι υδρόβιοι οργανισμοί λόγω έλλειψης οξυγόνου. Ο ευτροφισμός είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο στις λίμνες και στις λιμνοθάλασσες, που είναι έτσι και αλλιώς πιο εύτροφα από τα περισσότερα φυσικά υδάτινα συστήματα, αλλά επεπλέον ενισχύεται ιδιαίτερα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα αζωτούχα και φωσφορικά λιπάσματα των γύρω καλλιεργησίμων εκτάσεων, καθώς και τα αστικά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα.

Άλλα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών ενός υδάτινου οικοσυστήματος εκτός των ενώσεων του αζώτου και του πυριτίου που αναφέρθηκαν ήδη πιο πάνω, είναι το οξυγόνο O, και το υδρογόνο H που προσλαμβάνονται από τη διάσπαση του νερού μέσα από τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης, ο άνθρακας C που προέρχεται από τα ανθρακικά και διττανθρακικά ιόντα του νερού τα φωσφορικά ιόντα PO_4^{3-} , τα κατιόντα ασβεστίου Ca^{2+} , το πυρίτιο Si, το κάλιο K, το μαγνήσιο Mg, τα θειικά ανιόντα SO_4^{2-} κ.ά.

Σε μια λιμνοθάλασσα όταν οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων είναι σχετικά υψηλές αυτό σημαίνει πως δεν αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τα υδρόβια μακρόφυτα τα οποία τα χρησιμοποιούν για την ανάπτυξη και την εξάπλωση τους (Atkinson & Smith 1983, Terrado *et al.* 1991, Moore & Wetzel 2000, Deegan *et al.* 2002).

Κατωτέρω αναφέρονται περισσότερες πληροφορίες για τα κυριότερα θρεπτικά συστατικά, απαραίτητα για την φυτική παραγωγή στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Αμμωνιακά ιόντα

Με την μορφή αμμωνιακών ιόντων απαντάται το άζωτο στο νερό, τα οποία προέρχονται από την αποικοδόμηση μακροφύτων και ζωικών οργανισμών αλλά και

το ξέπλυμα των χερσαίων εκτάσεων από το νερό της βροχής, λόγω της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων στις αγροτικές καλλιέργειες.

Μεγάλες ποσότητες αμμωνίας προκύπτουν μέσω της διαδικασίας της αμμωνιοποίησης, δηλαδή μέσω της αποικοδόμησης του οργανικού υλικού από ετερότροφα βακτήρια (χρησιμοποιούν ως βασική πηγή τροφής τον άνθρακα) και παράγονται από την απαμίνωση των αμινοξέων (των πρωτεϊνών), της ουρίας και άλλες νιτρογενείς οργανικές ενώσεις.

Τα φαγοτροφικά πρώτιστα, ιδιαίτερα τα βακτηριοφάγα μαστιγωτά, επιταχύνουν την παραγωγή της αμμωνίας με την κατανάλωση βακτηρίων και την έκλυση αμμωνιακών ιόντων (Suzuki *et al.* 1996). Η αμμωνία που παράγεται με την βακτηριακή αποικοδόμηση είναι ποσοτικά πολύ μεγαλύτερη από την αμμωνία που παράγεται από την έκκριση των ανώτερων υδρόβιων ζώων. Η αμμωνία υπάρχει στα ύδατα πρωτίστως με τη μορφή NH_4^+ και ως αδιάστατο NH_4OH . Το δεύτερο είναι πολύ τοξικό για πολλούς οργανισμούς και ιδιαίτερα την ιχθυοπανίδα (Trussel 1972).

Νιτρώδη ιόντα

Τα νιτρώδη ως μέρος του κύκλου του αζώτου αποτελούν βασικό συστατικό της υδάτινης στήλης, διότι οξειδώνονται με την δράση αυτότροφων νιτροποιητικών βακτηρίων (δεν χρησιμοποιούν ως βασική πηγή τροφής τον άνθρακα, αλλά το άζωτο) και μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα. Τα νιτρώδη υπάρχουν στα φυσικά ύδατα διότι αποτελούν ένα ενδιάμεσο τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρωδών ιόντων ενδεχομένως να προέρχονται κυρίως από λιπάσματα και από ανθρώπινα, ή ζωικά απόβλητα. Τα νιτρώδη βρίσκονται και στον αέρα, είτε λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είτε λόγω της οξείδωσης του ατμοσφαιρικού αζώτου μέσω ηλεκτρικής εκκένωσης (κεραυνοί) με αποτέλεσμα, μέσω της βροχής, να αποτίθενται στο έδαφος.

Νιτρικά ιόντα

Αντιστοιχούν στην ανώτατη οξειδωτική κατάσταση του αζώτου και προέρχονται από τη δράση επίσης αυτότροφων βακτηρίων του κύκλου του αζώτου. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά είναι συνήθως μικρές. Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων που προέρχονται από απόβλητα, λιπάσματα και λύματα. Τα επεξεργασμένα λύματα περιέχουν, συνήθως συγκεντρώσεις νιτρικών που είναι

αποτελέσματα του παρατεταμένου αερισμού που οδηγεί στην νιτροποίηση των αζωτούχων ενώσεων, ενώ τα ανεπεξέργαστα λύματα δεν περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, διότι το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου βρίσκεται δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις.

Τα υδρόβια μακρόφυτα χρησιμοποιούν τα νιτρικά ιόντα ως προϊόν αφομοίωσης για να αυξήσουν τη βιομάζα τους ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου και έχουμε την μέγιστη ανάπτυξή τους. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ευτροφικών φαινομένων (Duarte 1995, Marcomini *et al.* 1995, Sfriso *et al.* 1996, Sfriso *et al.* 1997).

Φωσφορικά ιόντα-Ολικός Φώσφορος

Σε λίμνες, λιμνοθάλασσες και παροδικά πλημμυρισμένα υδάτινα σώματα), όπου η βιομάζα της υδρόβιας βλάστησης είναι υψηλή, ο φώσφορος είναι δεσμευμένος στο ίζημα και απελευθερώνεται κάτω από ανοξικές συνθήκες, ή ανακυκλώνεται από τα υδρόβια μακρόφυτα (Van Donk *et al.* 1993). Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υδάτινο περιβάλλον μεταβάλλουν διαρκώς την αναλογία των παραπάνω μορφών.

Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό είναι η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων. Υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου. Παράλληλα βέβαια υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν την πρόσληψη φωσφόρου από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συνήθως όμως ο ρυθμός της πρώτης διαδικασίας (απελευθέρωση φωσφόρου) είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεύτερης (δέσμευση φωσφόρου), με αποτέλεσμα υψηλές θερμοκρασίες να επιφέρουν αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Το pH σχετίζεται με την εσωτερική τροφοδοσία του νερού σε φώσφορο, την επαναιώρηση δηλαδή του φωσφόρου του πυθμένα. Σε υψηλές τιμές pH συμβαίνει ανταλλαγή των ιόντων υδροξυλίου του νερού με φώσφορο από ενώσεις σιδήρου και αργιλίου του πυθμένα. Συνεπώς αύξηση του pH επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Ανοξικές συνθήκες ευνοούν τη διάχυση του φωσφόρου από τον πυθμένα στο νερό. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και των νιτρικών ιόντων μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσης του φωσφόρου από τον πυθμένα (και συνεπώς τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό) εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης.

Παράλληλα, η παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης σε μια υδάτινη συλλογή αυξάνει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό. Οι παραπάνω φυτικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν φώσφορο κυρίως από το υπόστρωμα, ενώ κατά την ανάπτυξή τους απελευθερώνουν μεγάλα ποσά φωσφόρου στο νερό. Η παραμονή ξηρών φυτικών τμημάτων στο νερό διευκολύνει την αποσύνθεσή τους, εμπλουτίζοντας το νερό με φωσφορικές ενώσεις.

Είναι γνωστό πως όταν τα θρεπτικά άλατα του αζώτου και φωσφόρου βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις, οδηγούν στην εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων και μπορούν να θεωρηθούν παράγοντες ρύπανσης (Riley & Chester 1971).

Θειικά ιόντα

Τα θειικά ιόντα στα επιφανειακά και υπόγεια νερά προέρχονται από την γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό, καθώς και από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο, διότι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στη βιομηχανία είναι το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα, με αποτέλεσμα αυτό να οδηγεί στην παρουσία σημαντικών ποσοτήτων θειούχων και θειικών ενώσεων στα παραγόμενα απόβλητα και στην περίπτωση που δεν είναι αποτελεσματική η απομάκρυνσή τους, ρυπαίνουν τα φυσικά ύδατα στα οποία καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα. Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται. Η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών ευνοεί τη μετατροπή των θειικών σε θειικά, ενώ η ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών την αντίστροφη αντίδραση (μετατροπή θειικών προς θειώδη) (Χαραλάμπους 2006)

Το θείο είναι απαραίτητο στοιχείο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμησή τους. Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα (S_2), τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο, εκτός του ότι είναι τοξικό, και επικίνδυνο γιατί οξειδώνεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4).

1.3 ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

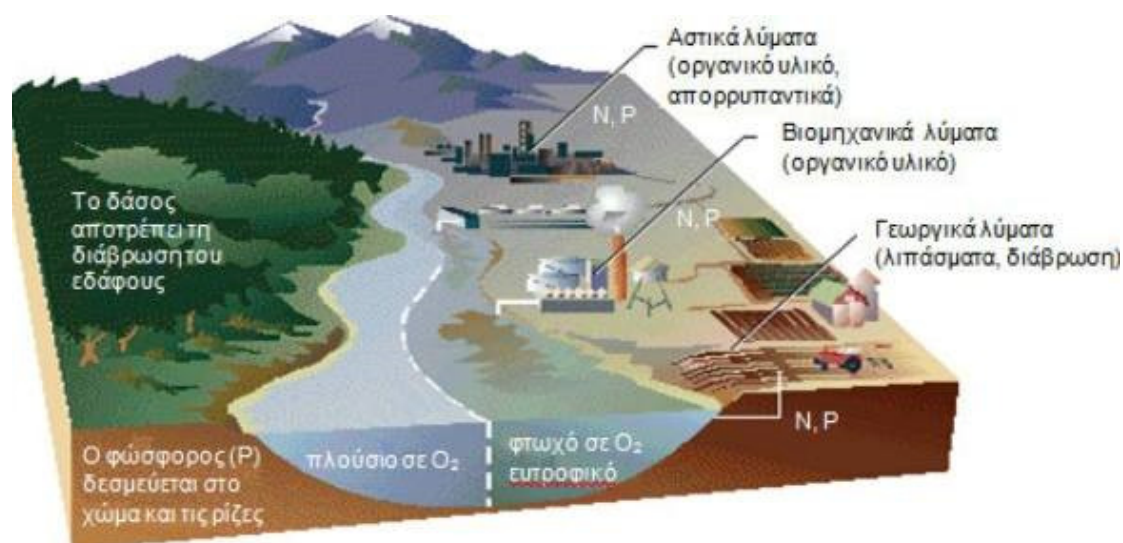


Εικ.2 Φαινόμενο ευτροφισμού στην λιμνοθάλασσα Αιτωλικού 19/3/2014 <<αύξηση φυκών>>

Δημιουργείται με το συνεχή εμπλουτισμό των υδάτων με θρεπτικά στοιχεία. Είναι διαδικασία αύξησης του ρυθμού παροχής οργανικού υλικού σε ένα οικοσύστημα (Nixon 1995). Η ύπαρξη όλων αυτών των απαραίτητων θρεπτικών υλικών στο νερό προκαλεί υπέρμετρη ανάπτυξη των φυτικών κυρίως οργανισμών με διατάραξη της υπάρχουσας ισορροπίας. Ο ευτροφισμός δεν προέρχεται μόνο από τη χημική ρύπανση των υδάτων, αλλά είναι και ένα βραδύ φυσικό φαινόμενο. Θεωρείται όμως αποτέλεσμα ρύπανσης όταν η αύξηση των θρεπτικών συστατικών είναι ραγδαία και προέρχεται από ανθρώπινη δραστηριότητα. Η αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών προκαλεί υπερβολική ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής, υπέρμετρη δηλαδή αύξηση της φυτικής βιομάζας (φυτοπλαγκτόν, υδρόβια, υδροχαρής βλάστηση) στα επιφανειακά και βαθύτερα στρώματα του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και μακροπρόθεσμα τη διαμόρφωση ανοξικών συνθηκών που επιφέρουν μεταβολή της χλωρίδας και πανίδας (θάνατος ασπόνδυλων και ψαριών), προοδευτική επιδείνωση της ποιότητας του νερού, υψηλή συγκέντρωση υδρόθειου.

Οι σημαντικότερες δραστηριότητες οι οποίες προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι (εικ.5):

- η διοχέτευση γεωργικών λυμάτων (νιτρικά φωσφορικά άλατα),
- η χρήση των απορρυπαντικών (φωσφορικά άλατα),
- η διοχέτευση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων.



Εικ.3 Οι σημαντικότερες ανθρώπινες δραστηριότητες που προκαλούν το φαινόμενο ευτροφισμού.

Από όλες τις παραπάνω δραστηριότητες μεγάλες ποσότητες νιτρικών και φωσφορικών αλάτων καταλήγουν στο νερό, οπότε παρατηρείται απότομη αύξηση των φυτικών οργανισμών στο υδατικό οικοσύστημα με μια, όπως ονομάζεται «άνθιση» των φυκών. Όταν παρατηρηθεί αυτή η άνθιση τότε δημιουργούνται πολλά προβλήματα μερικά από αυτά είναι:

- Ελάττωση οξυγόνου
- Παραγωγή υδροθείου
- Μείωση παραγωγής ψαριών
- Εξαφάνιση πολλών ειδών άγριων πουλιών
- Αύξηση των βακτηριών και δημιουργία γλοιωδών επικαλύψεων

- Αναπτύσσονται υπέρμετρα ορισμένα ανθεκτικά φυτά σε βάρος άλλων που είναι πιο ευαίσθητα.
- Το νερό αποκτά πράσινο κίτρινο καφετί και κόκκινο χρώμα αναλόγως τα είδη φυκιών και φυκοχρωστικών που αναπτύσσονται σε αυτά και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψυχαγωγικούς σκοπούς.
- Αύξηση θολερότητας (Μείωση διαύγειας)
- Εμφάνιση τοξικότητας. Συγκεντρώνονται τοξικές ουσίες από ορισμένα φύκη (είτε του γλυκού νερού, είτε της θάλασσας) που έχουν την ικανότητα να παράξουν ορισμένες τοξικές ουσίες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μέχρι και θάνατο στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι τοξικές ουσίες προσροφώνται στα φύκη.

Ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών, τα νερά των θαλασσών και των λιμνών κατατάσσονται σε 4 βαθμίδες:

1. Ολιγοτροφικά
2. Μεσοτροφικά
3. Ευτροφικά
4. Πολυτροφικά

Κριτήρια ευτροφισμού

Η τροφική κατάσταση ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος μπορεί να προσδιοριστεί βάσει των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών. Έτσι, τα ύδατα χαρακτηρίζονται ως ολιγότροφα, μεσότροφα (ελαφρώς ή βεβαρυμένα) και εύτροφα. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών οι οποίες χαρακτηρίζουν τα διάφορα τροφικά επίπεδα στα ελληνικά παράκτια οικοσυστήματα παρουσιάζονται στους πίνακες 1 και 2:

Τροφική ταξινόμηση παράκτιων οικοσυστημάτων βασισμένη σε θρεπτικά (φωσφορικά, νιτρικά, αμμωνιακά), και χλωροφύλλη-α. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων δίνονται σε μM και της χλωροφύλλης α σε $\mu\text{g l}^{-1}$

Πίνακας 1: Διαφορετικές τροφικές κατηγορίες παράκτιων υδάτων εξαρτώμενες από μέσες τιμές θρεπτικών

Θρεπτικά Συστατικά	Ολιγότροφα	Ελαφρώς μεσότροφα	Βεβαρημένα μεσότροφα	Εύτροφα
PO_4^{3-} ($\mu\text{g-at P/l}$)	<0,07	0,07-0,14	0,14-0,68	>0,68
NO_3^- ($\mu\text{g-at N/l}$)	<0,62	0,62-0,65	0,65-1,19	>1,19
NH_4^+ ($\mu\text{g-at N/l}$)	<0,55	0,55-1,05	1,05-2,20	>2,20

Πηγή: Karydis et al, 1999

Πίνακας 2: Κριτήρια τροφικής κατάστασης παράκτιων οικοσυστημάτων

	PO_4^{3-} (μM)	DIN (μM)	Chl-a ($\mu\text{g/l}$)
ολιγότροφα	<0,2	<2	<0,8
μεσότροφα	0,2-0,8	2-10	0,8-4
εύτροφα	0,8-3	10-60	4-10
υπέρτροφα	>3	>60	>10

Πηγή: Wasmund et al, 2001

Φυσικός και τεχνητός ή ανθρωπογενής ευτροφισμός

Ο φυσικός ευτροφισμός οφείλεται σε έκπλυση θρεπτικών ουσιών που είχαν συσσωρευτεί για χρόνια και τα οποία σιγά - σιγά παρασύρονται και εμπλουτίζουν ολίγον κατ' ολίγον ολιγοτροφικές (φτωχές σε θρεπτικά συστατικά) υδάτινες μάζες. Αυτό είναι φαινόμενο που μπορεί να παρουσιάζει περιοδικότητα αιώνων ή και χιλιετηρίδων.

Ο τεχνητός ή ανθρωπογενής ευτροφισμός, δηλαδή ο ευτροφισμός που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες οφείλεται κυρίως από έκπλυση λιπασμάτων

καλλιεργούμενων εκτάσεων. Προκαλεί απότομες αλλαγές (χρόνος 10 έτη ή και λιγότερο) και επομένως μη αντισταθμίσιμες απορυθμίσεις του οικοσυστήματος και πιθανώς επακόλουθες βλάβες στους ζώντες οργανισμούς. Ο ευτροφισμός αυτός είναι επιταχυνόμενος.

Δείκτες ευτροφισμού

- Συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών
- Οξυγόνο
- Διαφάνεια
- Χλωροφύλλη

Ακραίες συνέπειες ευτροφισμού

Οι ευτροφικές συνθήκες αποτελούν το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη τοξικών φυτοπλακτικών ειδών (Vollenweider, 1992). Οι πιο ακραίες συνέπειες του ευτροφισμού είναι η μαζική αύξηση ορισμένων μακροφύτων του γένους *Cladofora* και *Ulva*, ενώ παρατηρείται θνησιμότητα βενθικών οργανισμών (Baden *et al.* 1990, Norkko & Bonsdorff 1996, Karlson *et al.* 2002). Οι τελικές επιπτώσεις του ευτροφισμού είναι η δημιουργία ανοξικών συνθηκών με παράλληλη παραγωγή υδροθείου που επιφέρει μαζικούς θανάτους στους πληθυσμούς (Gray 1992).

1.4 ΑΝΟΞΙΑ ΣΤΙΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ

Γνωρίζουμε ότι για να επιβιώσουν σε ένα υδάτινο οικοσύστημα τα ψάρια και τα ασπόνδυλα είναι απαραίτητο το οξυγόνο. Στα υδάτινα οικοσυστήματα το οξυγόνο προέρχεται από την ατμόσφαιρα αλλά και από την φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Στην συνέχεια το οξυγόνο αυτό διαλύεται μέσα στο νερό και χρησιμοποιείται από οργανισμούς για τις αναπνευστικές τους ανάγκες. Μετά τη διάλυση του οξυγόνου στα επιφανειακά νερά, με την βοήθεια κάποιων διεργασιών ανάμιξης, όπως τα ανεμογενή

και τα πιεσογενή ρεύματα, αυτό μεταφέρεται στα μεγαλύτερα βάθη. Αν τυχόν διακοπεί αυτή η μεταφορά οξυγόνου στα μεγάλα βάθη, αλλά και όταν ο ρυθμός κατανάλωσής του υπερβαίνει τον ρυθμό τροφοδοσίας, τότε οι συγκεντρώσεις οξυγόνου αποκλίνουν από τις τιμές εκείνες που θα επέτρεπαν στους οργανισμούς μια φυσιολογική διαβίωση. Η μειωμένες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδάτινο σύστημα ονομάζεται υποξία, ενώ η πλήρης έλλειψη οξυγόνου ονομάζεται ανοξία.

Η δύο σημαντικότεροι λόγοι ανάπτυξης υποξικών, ή ανοξικών συνθηκών σε ένα υδάτινο περιβάλλον είναι:

- Η στρωμάτωση της υδάτινης στήλης, όπου μέσω της οποίας τα υδάτινα στρώματα που βρίσκονται κοντά στον πυθμένα απομονώνονται και έτσι η μεταφορά οξυγόνου από τα επιφανειακά νερά στα βαθύτερα στρώματα παρεμποδίζεται λόγω του πυκνοκλινούς στρώματος.
- Η αποσύνθεση του οργανικού υλικού μέσω της οποίας γίνεται κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου.

Ανοξία παρατηρείται σε ποτάμια, λίμνες, λιμνοθάλασσες ακόμη και σε ωκεανούς. Κάθε ένα από αυτά τα υδάτινα συστήματα έχουν διαφορετικά φυσιογεωγραφικά χαρακτηριστικά. Διαφέρουν επίσης και ως προς τα φορτία θρεπτικών αλάτων και οργανικού υλικού που δέχονται καθώς και τις φυσικές βιολογικές και χημικές διεργασίες που συντελούνται σε καθένα από αυτά. Τελικά οι λόγοι που οδηγούν στην ανάπτυξη υποξικών και ανοξικών συνθηκών ποικίλουν λόγω των πολλών και διαφορετικών συστημάτων που υπάρχουν.

Από τις σημαντικότερες αιτίες ανάπτυξης υποξικών και ανοξικών συνθηκών σε ποτάμια και λιμνοθάλασσα συστήματα είναι η ανθρώπινη παραβατικότητα. Όταν γίνεται αναφορά στην επιδείνωση, ή στην ανάπτυξη ανοξικών συνθηκών ενός υδατικού συστήματος εξαιτίας ανθρώπινης παρέμβασης, τότε συνήθως περιγράφουμε τα αποτελέσματα του ευτροφισμού. Οι υποξικές/ανοξικές συνθήκες κοντά στον πυθμένα που πολύ συχνά συνδέονται και με την στρωμάτωση της υδάτινης στήλης είναι αποτέλεσμα έντονης αλλαγής της θερμοκρασίας, ή της αλατότητας ή και τον δύο μαζί.

Στα υδάτινα οικοσυστήματα, οι ανοξικές συνθήκες μπορούν να κρατήσουν από λίγες ώρες, μέρες, μήνες μέχρι και δεκαετίες. Σ αυτό παίζει ρόλο το μέγεθος και ο τύπος του συστήματος αλλά και ο μηχανισμός, ο οποίος προκαλεί τις ανοξικές συνθήκες. Για παράδειγμα στα ποτάμια συστήματα η δημιουργία ανοξικών συνθηκών για λίγες ώρες είναι ένα συχνό φαινόμενο. (<http://imbriw.hcmr.gr/en/wp-content/uploads/2014/01/Risk-Assessment-FINAL.pdf>)._(Σκουλικίδης Ν. (επιμέλεια έκδοσης), Α. Οικονόμου,, Η. Δημητρίου, Λ. Βαρδάκας, Ι. Καραούζας, Γ. Αμαξίδης και Ε. Οικονόμου, 2008)._Στις λιμνοθάλασσες το φαινόμενο αυτό είναι συνήθως εποχικό, το οποίο μπορεί να κρατήσει εβδομάδες ή και μήνες. Υπάρχουν όμως και οικοσυστήματα που μπορούν να αποκτήσουν και μόνιμες ανοξικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα η λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού. (<http://symposia.ath.hcmr.gr/oldver/symposia9/Book2/1229.pdf>)(Γιάννη Α., Ζαχαρίας Ι, 2009).

Οι ανοξικές συνθήκες σε κλειστές ή ημίκλειστες λεκάνες αποτελεί και φυσική συνέπεια λόγω της περιορισμένης επικοινωνίας που έχουν με την θάλασσα, διότι η ανανέωση των υδάτων γίνεται μέσω στενών ή ρηχών διαύλων, αλλά και λόγω της στρωμάτωσης της υδάτινης στήλης των λεκανών που εμποδίζει το διαλυμένο οξυγόνο από τα επιφανειακά νερά να εισέλθει στα βαθύτερα στρώματα.

1.5 ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ

Οι δυστροφικές κρίσεις έχουν σχέση με τον φυσικό ευτροφισμό που παρατηρείται σε ημίκλειστα ή κλειστά οικοσυστήματα, όπως είναι οι λιμνοθάλασσες όπου έχουμε λίγη κυκλοφορία και ανανέωση των νερών. Σε ευτροφικές λιμνοθάλασσες η παραγωγή νέας οργανικής ύλης από το φυτοπλαγκτόν με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι εξαιρετικά υψηλή και δεν καταναλώνεται από τους αερόβιους καταναλωτές. Τότε η αποδόμηση της παραχθείσας βιομάζας, η οποία προσδίδει στο νερό πράσινους έως καφέ-κόκκινους χρωματισμούς, κυρίως κατά την θερμή περίοδο, όταν η συγκυρία των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι εξαιρετικά δυσμενής, γίνεται από αναερόβιους οργανισμούς στο νερό ή τα ιζήματα με παράλληλη κατανάλωση του οξυγόνου που καταλήγει σε ανοξικές συνθήκες στα ιζήματα και στο νερό κοντά στον πυθμένα. Η έλλειψη ανανέωσης και καλής κυκλοφορίας των νερών επιτείνει το πρόβλημα, που σε ακραίες περιπτώσεις καταλήγει σε τελεία έλλειψη οξυγόνου και παραγωγή H_2S , το οποίο εγκαθιστά θανατηφόρες συνθήκες για τα ζώα και φυτά που

ζουν σε νερά υπερκείμενα των ανοξικών ιζημάτων. Το υδρόθειο βρίσκεται σε διάλυση στο βαθύτερο στρώμα του νερού των ευξενικών λεκανών (σχεδόν κλειστές θάλασσες, έχουν μεγάλο βάθος αποτελούν ένα εξαιρετικά ευάλωτο περιβάλλον λόγω των πολύ χαμηλών επιπέδων οξυγόνου που περιέχουν τα νερά τους) (http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/seabasins/index_el.htm) και αποτελεί μεγάλη απειλή για την ζωή μέσα στην λεκάνη και την γύρω περιοχή. Όταν υπάρξουν οι κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες και δημιουργηθεί άνοδος του υδρόθειου απ τα βαθύτερα στρώματα στα επιφανειακά τότε θα δημιουργηθούν συνθήκες ακαριαίου θανάτου στους υδρόβιους οργανισμούς. Επίσης δυστροφικές κρίσεις έχουν παρατηρηθεί και τους χειμερινούς μήνες λόγω των δυνατών ανέμων και πολλών βροχοπτώσεων. Με τους δυνατούς ανέμους εισέρχονται μέσα στην λιμνοθάλασσα μεγάλες ποσότητες με καθαρό αλμυρό νερό και περνούν κάτω από τα σχετικά ελαφρύτερα ανοξικά νερά* με αποτέλεσμα να αναδεύονται τα νερά και να φέρνουν στα επιφανειακά νερά το υδροθείο προκαλώντας μαζικούς θανάτους υδρόβιων οργανισμών. Το χρώμα που δημιουργείται στις λιμνοθάλασσες κατά την διάρκεια δυστροφικών κρίσεων αποδίδεται στην οξίνιση του νερού λόγω της έντονης παρουσίας υδρόθειου, με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση ανθρακικών ιόντων και τα βακτήρια που επανοξειδώνουν το υδρόθειο.

Παράγοντες που συμβάλουν στην δημιουργία δυστροφικών κρίσεων είναι η εξάτμιση, οι άνεμοι, οι βροχοπτώσεις και η θερμοκρασία.

Ελαφρύτερα ανοξικά νερά

Στις αρχές του καλοκαιριού οι βροχοπτώσεις ελαττώνονται και η εισροή γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα μειώνεται. Τότε κινείται θαλασσίνο νερό μέσα στη λιμνοθάλασσα. Επειδή η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του γλυκού νερού, οι υδάτινοι όγκοι δεν αναμιγνύονται αμέσως, αλλά τείνουν να παραμένουν χωριστά. Το θαλασσίνο νερό κινείται ανάντη κάτω από το ελαφρύτερο γλυκό νερό σε μια σφήνα. Μ' αυτή τη διαδικασία, η οποία έχει σε συνέπεια τη στρωμάτωση του γλυκού νερού πάνω από το θαλασσίνο νερό, σχηματίζεται μια «αλμυρή σφήνα». Δηλαδή, αλμυρή σφήνα ονομάζεται η είσοδος του αλμυρού νερού στο γλυκό νερό, η οποία συμβαίνει κατά την ανάντη κίνηση ενός σαφώς καθορισμένου στρώματος αλμυρού νερού, που υπόκειται της ροής του γλυκού νερού. Τα δύο στρώματα του νερού αναμιγνύονται βαθμιαία με την επίδραση του

ανέμου στα ανοιχτά νερά της λιμνοθάλασσας, αυξάνοντας έτσι την αλατότητα και του επιφανειακού νερού. Καθώς οι καιρικές συνθήκες γίνονται ακόμη ξηρότερες και δεν υπάρχει αποτελεσματική ποτάμια εισροή, αυτό το αναμειγμένο νερό προχωρεί περαιτέρω. Περί το τέλος του καλοκαιριού, και πριν αρχίσουν οι φθινοπωρινές βροχές, παρατηρείται η μέγιστη αλατότητα της λιμνοθάλασσας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η λιμνοθάλασσα Βιστωνίδα. (Κόγια και συν,2002).

Εξάτμιση

Λόγω υψηλών θερμοκρασιών τους καλοκαιρινούς μήνες στις λίμνες και τις λιμνοθάλασσες προκαλείται εξάτμιση, η οποία προκαλεί υψηλές αλατότητες.

Η εξάτμιση σε μια λιμνοθάλασσα επηρεάζει μαζί με τις βροχοπτώσεις και τον ρυθμό εισροής νερού, τις τιμές της αλατότητας αυτών των υδάτινων συστημάτων.

Άνεμοι

Σύμφωνα με πληροφορίες που υπάρχουν η απελευθέρωση υδροθείου γίνεται τους φθινοπωρινούς οι χειμερινούς μήνες μετά από σφοδρούς ανέμους συνήθως νότιοι νοτιοανατολικοί διαταράσσουν την ισορροπία που κρατά τα ανοξικά νερά κάτω και τα ελαφρύτερα γλυκά οξυγονομένα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η λιμνοθάλασσα Αιτωλικού, όπου μεγάλες ποσότητες καθαρού αλμυρού νερού εισέρχονται απ τον Πατραϊκό κόλπο μέσω της λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου, περνούν κάτω απ τα σχετικά ελαφρύτερα ανοξικά νερά (ελαφρύτερα λόγω μικρότερης τιμής αλατότητας που έχουν τα υφάλμυρα νερά) της λεκάνης τα οποία στην συνέχεια αναδεύονται με αποτέλεσμα το υδρόθειο να έρχεται στην επιφάνεια. Στην συνέχεια δευσμεί το διαθέσιμο οξυγόνο με συνέπεια να έχουμε μαζικούς θανάτους ψαριών λόγω ασφυξίας ή λόγω της τοξικής του δράσης και εκλύεται στην ατμόσφαιρα. (ΙΩΑΝΝΗΣ Δ.ΛΕΟΝΤΑΔΟΣ,1999).

Με ανέμους βόρειους βορειοανατολικούς μειώνεται η στάθμη του νερού των λιμνοθαλασσών φαινόμενο που συμβαίνει συνήθως καλοκαίρι και γίνεται πιο έντονο από τις υψηλές θερμοκρασίες και την εξάτμιση ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η λιμνοθάλασσα Αιτωλικού. Ο ρόλος της διεύθυνσης και της έντασης των επικρατούντων ανέμων στην εκδήλωση δυστροφικών φαινομένων, έχει επισημανθεί σε σχετικά επιστημονικά άρθρα (Tournier *et al* 1979).

Βροχοπτώσεις

Με τις βροχοπτώσεις εισέρχονται στην λιμνοθάλασσα φορτία θρεπτικών αλάτων από εξωτερικές πηγές (πχ χείμαρροι, επιφανειακές απορροές) και είναι μεγαλύτερα κατά την διάρκεια της υγρής περιόδου δηλαδή το χειμώνα και σχεδόν μηδενίζονται κατά την ξερή περίοδο δηλαδή τους καλοκαιρινούς μήνες. Σ αυτήν την περίπτωση κύρια πηγή φόρτισης σε θρεπτικά είναι τα ιζήματα του πυθμένα.

Υδρόθειο

Το «υδρόθειο» H_2S ή «σουλφάνιο» ή «υδροσουλφίδιο» ή «σουλφίδιο του υδρογόνου» είναι η χημική ένωση του υδρογόνου και του θείου. Είναι ένα άχρωμο, πολύ τοξικό και εύφλεκτο αέριο με τη χαρακτηριστική οσμή των κλούβιων αυγών. Το συγκεκριμένο αέριο υπάρχει στον οργανισμό των θηλαστικών και των ψαριών σε χαμηλές συγκεντρώσεις ως αποτέλεσμα μεταβολισμού των θειούχων αμινοξέων (κυστεΐνη). Επίσης βρίσκεται στα ηφαιστειακά αέρια, στο φυσικό αέριο.

Σε λασπώδεις πυθμένες, όπως αυτούς των λιμνοθαλασσών, η πρωτογενής παραγωγή στηρίζεται στα βενθικά μακρόφυτα, στα κυανοφύκη, στα διάτομα και τα θειοβακτήρια. Τα φύκη και τα μακροφύκη φωτοσυνθέτουν ενώ τα θειοβακτήρια χημειοσυνθέτουν. Στους λασπώδεις πυθμένες των λιμνοθαλασσών υπάρχουν μεγάλες ποσότητες οργανικών θρυμμάτων, τα οποία προέρχονται από τα φερτά υλικά των λεκανών απορροής και την ιζηματοποίηση. Για την διάσπαση της οργανικής ύλης με αερόβια βακτήρια, καταναλίσκεται οξυγόνο και συχνά δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες, οι οποίες με την σειρά τους επιτρέπουν την ανάπτυξη αναερόβιων βακτηρίων για την διάσπαση της οργανικής ύλης. Τα βακτήρια παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην παραγωγή μεθανίου (CH_4), κάτω από ανοξικές συνθήκες στα ιζήματα (πηγή του 80% του μεθανίου που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα), διασπών υδρογονάνθρακες, βιοδιασπών οργανική ύλη, δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας (αζωτοδέσμευση, nitrogen fixation) με τη μετατροπή του σε αμμωνιακά άλατα. Επίσης, καταλύουν τη νιτροποίηση (nitrification), δηλαδή τη μετατροπή αμμωνιακών σε νιτρικά άλατα, ανάγουν τα νιτρικά προς νιτρώδη και μετά σε αμμωνιακά άλατα (nitrate reduction). Τέλος, προκαλούν την απονίτρωση (denitrification), δηλαδή το μηχανισμό κατά τον οποίο το δεσμευμένο άζωτο επανέρχεται στην ατμόσφαιρα. Αλλά οι μικροβιακοί οργανισμοί εμπλέκονται και στους βιογεωχημικούς κύκλους του θείου, δηλαδή στην αναγωγή θειικών αλάτων προς υδρόθειο (H_2S) και αργότερα στην

οξειδωσή του προς θειικά από τα θειοβακτήρια που αντλούν ενέργεια (χημειοαυτότροφοι οργανισμοί), καθώς και στη βιοδιάσπαση του φωσφόρου, παρέχοντας θρεπτικά υλικά ανόργανου φωσφόρου, ενώ συγχρόνως απενεργοποιούν τοξικές οργανοφωσφορικές ενώσεις. Το υδρόθειο σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς. Σύμφωνα με την EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) για τους υδρόβιους οργανισμούς το ανώτατο επιτρεπτό επίπεδο είναι 0,002 ppm. Στους υδρόβιους οργανισμούς η τοξικότητα του υδροθείου είναι σε άμεση συνάρτηση με το pH και την περιεκτικότητα του οξυγόνου στο νερό. Όταν το PH είναι 6,5 και κάτω τότε παρουσιάζεται η μέγιστη τοξικότητα στα ψάρια. Έχει παρατηρηθεί ότι οι τοξικές συγκεντρώσεις εμφανίζονται συχνότερα στα υδατικά συστήματα τους καλοκαιρινούς μήνες όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή και η περιεκτικότητα του οξυγόνου σε χαμηλά επίπεδα.

Τοξικότητα υδροθείου

Υπάρχουν σημαντικά στοιχεία όσον αφορά τις επιπτώσεις του υδροθείου (H_2S) σε γλυκού νερού είδη ψαριών, αλλά σχετικά λίγα στα θαλάσσια είδη.

Οι Καραβίδες (*Cambarus diogenes* και *Procambarus clarki*) ήταν πολύ πιο ανεκτικές με τις τιμές LC50 από 146 και 115 $\mu gH_2S L^{-1}$, αντιστοίχως. Τα θαλάσσια είδη για τα οποία υπάρχουν στοιχεία είναι οι γαρίδες *Palaemon pugio* με LC50 τα 114 και των θαλάσσιων βενθικών πρωτόζωων με LC50 μεταξύ 200 και 400 $\mu gH_2S l^{-1}$. Η polychaete *Capitella capitata*, η οποία εμφανίζεται σε ιδιαίτερα πλούσια ιζήματα, έχει απαίτηση για την παρουσία υδροθείου ως οικισμός ένδειξη (Cuomo 1985) και εκεί εγκαθίστανται οι προνύμφες. Μόλις προκύψουν αναερόβιες συνθήκες και το H_2S είναι παρούσα, τότε έχουμε μαζικούς θανάτους σχεδόν όλων των οργανισμών (Stachowitsch 1984).

Αλληλεπιδράσεις μεταξύ της υποξίας, της παρουσίας αμμωνίας και υδροθείου στο νερό είναι ελάχιστα γνωστές. Τα μειωμένα επίπεδα οξυγόνου αυξάνουν την τοξικότητα της αμμωνίας στην τσιπούρα *Sparus auratus* και στη γαρίδα *Penaeus semisulcatus* (Wajsbroet et al. 1990, 1991). Η τοξικότητα της αμμωνίας στην μικρή γαρίδα διπλασιάστηκε όταν το διαλυμένο οξυγόνο μειώθηκε από 55 σε 27% κορεσμό (Wajsbroet et al. 1990). Ωστόσο οι Thurston et al. (1983), δεν εντόπισαν συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωση οξυγόνου και τοξικότητας της αμμωνίας στο χονδρόστυο *Pimephales promelas*. Ο Hiroki (1978) έδειξε ότι η υποξική ανοχή σε 2 είδη

θαλάσσιων γαστερόποδων (*Littorina ziczac*, *Neritina voraginea*) μειώθηκε με τη παρουσία του H_2S . Το υδρόθειο οξειδώνεται εύκολα με την παρουσία οξυγόνου. Μόνο σε πλούσια σε σουλφίδια παράκτια ιζήματα ή αλυκές που επικαλύπτονται από ρηγά νερά μπορεί τα θείουχα διαφύγουν στην ατμόσφαιρα (Fenchel & Blackburn 1979).

Στα θαλάσσια ιζήματα η μείωση του θειικού άλατος είναι η κυριότερη βιολογική διαδικασία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση της αμμωνίας εντός των ανοξικών ιζημάτων καθώς και τη βαθμιαία συγκέντρωση αμμωνίας προς την επιφάνεια του ιζήματος. Αν το νερό είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο πάνω από την επιφάνεια του ιζήματος, τότε η αμμωνία μπορεί να διαλυθεί, διαφορετικά γρήγορα θα οξειδωθεί. Έτσι, μόνο υπό δυσμενείς συνθήκες, με σχεδόν καθόλου οξυγόνο, μεγάλες ποσότητες αμμωνίας και υδροθείου μπορούν να εμφανιστούν στο βυθό της θάλασσας. Από όλα τα παραπάνω είναι σαφές ότι η έλλειψη οξυγόνου (υποξία) είναι το κύριο αίτιο των αλλαγών στη πανίδα.

1.6 ΑΝΤΙΑΡΑΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Οι περιοχές όπου εμφανίζεται η υποξία είναι συχνά περιοχές που είναι στάσιμες ή με ασθενή εναλλαγή ύδατος. Τα ψάρια είναι πιο ευαίσθητα στην υποξία από τα μαλακόστρακα και τα εχινόδερμα, τα οποία με τη σειρά τους είναι πιο ευαίσθητα από τους πολύχαιτους, ενώ τα μαλάκια είναι τα λιγότερο ευαίσθητα. Η ανάπτυξη επηρεάζεται σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μεταξύ 6,0 και 4,5 $mg\ O_2\ l^{-1}$. Άλλες πτυχές του μεταβολισμού επηρεάζονται μεταξύ 4 και 2 $mg\ O_2\ l^{-1}$ και η θνησιμότητα συμβαίνει όταν οι συγκεντρώσεις είναι κάτω από 2,0 έως 0,5 $mg\ O_2\ l^{-1}$. Μελέτες, ωστόσο, δείχνουν ότι έχουμε και αλλαγές στην συμπεριφορά των οργανισμών όσο αυξάνονται τα επίπεδα της υποξίας.

Οι Diaz & Rosenberg (1995) ως αρχή υποξίας ορίζουν τα 2,0 $ml\ O_2\ l^{-1}$ και φθάνουμε στο σημείο της ανοξίας σε 0,0 $ml\ l^{-1}$. (Σε 20 psu, 1 $mlO_2\ l^{-1}$ Είναι ισοδύναμο με 1,4 $mg\ l^{-1}$, ή 4,3 % O_2 και 14 % κορεσμό.) Σε γενικές γραμμές, η παρατεταμένη έκθεση σε 4 $mg\ O_2\ l^{-1}$ προκαλεί οξεία θνησιμότητα σε πολλά ασπόνδυλα και μη σολομοειδή έμβρυα των ψαριών, ενώ 3 $mg\ O_2\ l^{-1}$ προκαλεί οξεία θνησιμότητα στα περισσότερα μη σολομοειδή ψάρια (USEPA 1986, 1989). Είναι επίσης γενικά αποδεκτό ότι

προνύμφες ψαριών και καρκινοειδών είναι πιο ευαίσθητες από τους ενήλικες (Miller et al. 1995). Τα δεδομένα της βιβλιογραφίας δείχνουν ότι τα ψάρια είναι πιο ευαίσθητα σε μειωμένες συγκεντρώσεις οξυγόνου από τα μαλακόστρακα, ακολουθούμενα από πολύχαιτους, ενώ τα δίθυρα είναι το πιο ανεκτικά (Rosenberg et al. 1992, Nilsson & Rosenberg 1994, Reish 1970).

Υπάρχουν λίγες μελέτες που μας αναφέρουν μείωση ανάπτυξης που προκαλείται από μειωμένες συγκεντρώσεις οξυγόνου, Strzyewska (1978), Strzyewska & Popiel (1974) και Wrezinski (1983). Σοβαρή δυσλειτουργία στην παραγωγή πρώιμων σταδίων ζωής σε μη σολομοειδή είδη συμβαίνει όταν το οξυγόνο πέφτει κάτω από $4,5 \text{ mg l}^{-1}$ (USEPA 1986). Συγκέντρωση οξυγόνου από $4,7 \text{ mg l}^{-1}$ βλάπτει τα προνυμφιακά στάδια ανάπτυξης (Miller et al. 1995), και τα ενήλικα ψάρια μειώνουν την πρόσληψη τροφής και την ανάπτυξη όταν το οξυγόνο πέφτει στο 60-70% του κορεσμού (Jobling 1993, Pichavant et al. 1999). Ο γάδος *Gadus morhua* δείχνει μείωση του ρυθμού αύξησης στο $6,5 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$. Μεταβολικές επιδράσεις έχουμε στο *G. morhua* σε συγκεντρώσεις $4,5 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$ Mudskippers (*Boleophthalmus boddarti*, *Periophthalmus chrysoplis*, *N. schlosseri*), τα οποία κατοικούν σε λαγούμια με λασπώδη ιζήματα σε τροπικές και υπο-τροπικές περιοχές, παρουσιάζουν μεταβολικές επιδράσεις μόνο σε συγκεντρώσεις περίπου $1 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$. Η *Solea solea*, πλατύψαρο που ζει κάτω στον πυθμένα δείχνει επίπεδα μεταβολικής απόκρισης παρόμοια με εκείνα της Mudskippers. Keckeis et al. (1996) έδειξαν ότι η μείωση οξυγόνου (10% κορεσμός αέρα) είχε σαν αποτέλεσμα αυξημένη θνησιμότητα και μειωμένη επώαση *Chondrostoma nasus* κοινή nase. Τα περισσότερα ψάρια δείχνουν θνησιμότητα σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μεταξύ 1 και $2 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$, αλλά τα mudskippers δεν επηρεάζονται μέχρι οι τιμές να πέσουν περίπου $0,5 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$. Έτσι οι συμπεριφορικές συνήθειες ενός είδους είναι μια καλή ένδειξη για το πιθανό επίπεδο οξείαντοχής.

Σε μαλακόστρακα, το μπλε καβούρι *Callinectes sapidus*, η Καραβίδες *Nephrops norvegicus* και οι γαρίδες *Penaeus setiferus* και *Palaemon adspersus* και *P. varians* δείχνουν παρουσιάζουν, καθώς τρέφονται, αντιδράσεις υποξίας μεταξύ 2 και $3 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$. Η μείωση των ρυθμών ανάπτυξης σε συγκεντρώσεις οξυγόνου κάτω από $3,5 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$. Έχει δειχθεί για τη θαλάσσιο αμφίποδο *Melitta longidactyla* (Y.Y.O. unpubl.data). Μειώσεις σε αύξηση εμφανίζονται στα οφιοουροειδή εχινοδερμά *Amphiura filiformis* μεταξύ 2,7 και $1,8 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$ και στα δίθυρα μαλάκια *Crassostrea virginica* και *Mytilus edulis* μεταξύ 1,5 και $0,6 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$ Οξυγόνο, ενώ ο πολύχαιτος

Capitella capitata δείχνει μείωση της ανάπτυξης μεταξύ 2,1 και 0.06 mgO₂ l⁻¹, αλλά μπορεί να επιβιώσει για > 24 d σε 2,1 mgO₂ l⁻¹ (Rosenberg 1972).

Μερικές μελέτες πεδίου (Renaud 1986) απεικονίζουν τις προσθετές ενδείξεις συμπεριφοράς επιπλέον των αντιδράσεων που παρουσιάζονται στην ανάπτυξη και το μεταβολισμό. Το Kattegat έχει υποβληθεί σε τακτικές εποχικές υποξικές εκδηλώσεις για πολλές δεκαετίες (Jørgensen & Richardson 1996, Richardson & Heilmann 1995). Κατά τη διάρκεια αυτών των γεγονότων, μειώσεις της βιομάζας των βενθικών συναθροίσεων καταγράφηκαν στους σταθμούς που υπόκειντο σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου (Pearson et al. 1985). Pihl (1989), Pihl et al. (1992, 1994) και Baden et al. (1990). Έχουν αναφερθεί αλλαγές στη συμπεριφορά των βενθικών ειδών, σύμφωνα με την οποία τα ψάρια όπως ο μπακαλιάρος και το προσφυγάκι εγκατέλειψαν την περιοχή σε επίπεδα κορεσμού οξυγόνου κάτω 25%, ενώ τα πλατύψαρα είναι πιο ανθεκτικά, εγκαταλείποντας την περιοχή μόνον όταν ο κορεσμός του οξυγόνου πέσει κάτω από 15%. Σε υποξικά νερά, ορισμένα είδη ψαριών μετακινούνται στην επιφάνεια για να αερίζουν τα βράγχια τους στην κορυφαία οξυγονωμένο στρώμα (Val et al. 1998). Παρόλο που η ανάπτυξη και μεταβολικές επιδράσεις συμβαίνουν σε συγκεντρώσεις πάνω από 2 mgO₂ l⁻¹ θνησιμότητα θα προκύψει, εάν οι οργανισμοί δεν μπορούν να ξεφύγουν από τις υποξικές συνθήκες. Ενώ τα ψάρια και ορισμένα οστρακοειδή μπορούν να είναι σε θέση να κινηθούν μακριά από τις περιοχές αυτές οι βενθικοί οργανισμοί υποφέρουν θνησιμότητα διότι δεν μπορούν να ξεφύγουν.

1.7 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΝΟΞΙΚΑ ΥΔΑΤΑ

Οι υδρόβιοι οργανισμοί αναπνέουν από διάφορα σημεία του σώματος τους. Στα ψάρια κύριο όργανο αναπνοής είναι τα βράγχια. Υπάρχουν όμως και ψάρια κυρίως του γλυκού νερού που εκτός από τα βράγχια χρησιμοποιούν σαν αναπνευστικά όργανα την αεροφόρο κύστη (νηκτική κύστη) (Οικονομίδης, 1991). Την χρησιμοποιούν είτε για να αποθηκεύσουν οξυγόνο είτε σαν πνεύμονα. Άλλος ένας τρόπος πρόσληψης οξυγόνου από τα ψάρια είναι με δερμική αναπνοή όπου η ανταλλαγή αερίων γίνεται κατά μήκος του δέρματος, όπως στα χέλια *Anguilla anguilla* (Lacroix, 1991). Αυτός ο τρόπος πρόσληψης οξυγόνου είναι πολύ σημαντικός στα προνυμφικά στάδια.

Τα ψάρια για να επιβιώσουν σε υποξικές συνθήκες έχουν αναπτύξει μια σειρά από εναλλακτικούς αναπνευστικούς μηχανισμούς. Μερικά είδη ψαριών ανεβαίνουν στην επιφάνεια του νερού γιατί εκεί το νερό είναι πλούσιο σε οξυγόνο επειδή έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Υπάρχουν και είδη όμως που έχουν την ικανότητα να αφήνουν εντελώς το νερό για κάποιες περιόδους και να επιβιώνουν αναπνέοντας ατμοσφαιρικό αέρα. Τέλος υπάρχουν ψάρια που μεταναστεύουν σε μεγάλες αποστάσεις ή έχουν αναπτύξει διάφορους αναπνευστικούς μηχανισμούς όπως τροποποιημένα βράγχια, αυξημένη δερμική αναπνοή, αναπνευστικές δομές στο στόμα, το έντερο μέχρι και πραγματικούς πνεύμονες, έτσι ώστε να μπορούν να επιβιώσουν και σε περιόδους με παρατεταμένη ξηρασία. Στον πίνακα 3 βλέπουμε πως προσαρμόζονται διάφορα είδη σε ανοξικές συνθήκες για να μπορέσουν να επιβιώσουν.

Πρόσληψη του οξυγόνου από τα βράγχια

Τα βράγχια είναι αναπνευστικά όργανα χωρισμένα σε λεπτά, μικρά ελάσματα, με πολύ καλά ανεπτυγμένο αγγειακό δίκτυο. Το αίμα που κυκλοφορεί σ' αυτό απορροφά το διαλυμένο στο νερό O_2 και αποβάλλει το CO_2 και τα άλλα προϊόντα απέκκρισης του μεταβολισμού. Τα βράγχια είναι είτε εσωτερικά (τελευταία προνυμφικά στάδια βατράχων και ψαριών), είτε εξωτερικά (προνύμφες οδοντογνάθων, κολεοπτέρων και εφημεροπτέρων από τα έντομα, προνύμφες σαλαμανδρών, πρώιμα προνυμφικά στάδια βατράχων) (Λαζαρίδου-Δημητριάδου, 1991). Η βραγχιακή αναπνοή συναντάται, εκτός των ψαριών και των αμφιβίων, στα έντομα, στα καρκινοειδή, στα μαλάκια κ.ά.

Βράγχια με προσαρμογές για την πρόσληψη οξυγόνου και από την ατμόσφαιρα

Τα βράγχια των υδρόβιων οργανισμών είναι ευαίσθητες κατασκευές, ακατάλληλες για την αξιοποίηση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου, και καταστρέφονται σχεδόν όταν εκτεθούν στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε ορισμένους όμως είδη που διαβιούν σε παράκτιες περιοχές παρατηρείται μια αισθητή προοδευτική προσαρμογή των βραγχίων ή συναφών κατασκευών σε πλήρη ή περιοδική απουσία νερού. Οι προσαρμογές αυτές συνίστανται σε μείωση της βραγχιακής επιφάνειας με ταυτόχρονη ανάπτυξη έντονου δικτύου τριχοειδών αγγείων, με τα οποία επιτυγχάνεται αξιοποίηση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου μέσω διάχυσης. Τα είδη των

καβουριών που προσαρμόστηκαν προοδευτικά σε περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από έλλειψη ύδατος, έχουν πολύ λιγότερα βράγχια από εκείνα που ζουν στο νερό.

Με κατάποση φυσαλίδων αέρα

Η απλούστερη μέθοδος αναπνοής ατμοσφαιρικού οξυγόνου από ορισμένα ψάρια, όπως λ.χ. τα κεφαλοειδή είναι να καταπίνουν φυσαλίδες αέρα, που τις φέρνουν σε επαφή με τα βράγχια, από την επιφάνεια των οποίων απορροφάται το οξυγόνο (Οικονομίδης, 1991).

Δερματική αναπνοή

Αναπνοή από την εξωτερική επιφάνεια του σώματος πραγματοποιούν, ως κάποιο βαθμό τουλάχιστον, όλοι σχεδόν οι ζωικοί υδρόβιοι οργανισμοί, από τις απλούστερες μορφές μέχρι και κάποια ψάρια. Για να είναι αποτελεσματικός ο τρόπος αυτός της αναπνοής, είναι αναγκαίο να λειτουργεί ένα συνεχές υδάτινο ρεύμα επάνω από την επιφάνεια του σώματος των υδρόβιων οργανισμών, μέσω της οποίας γίνεται η πρόσληψη του οξυγόνου και η διάχυσή του κατόπιν προς τα κύτταρα, χωρίς την ύπαρξη ειδικών αναπνευστικών μηχανισμών.

Αποκλειστικά τέτοιου είδους αναπνοή έχουν πολλά είδη μικρών υδρόβιων οργανισμών, όπως σκουλήκια, μικρά αρθρόποδα, έμβρυα και ατελείς μορφές ψαριών ή άλλων μεγαλύτερων υδρόβιων οργανισμών. Παράδειγμα το *Cobitis fussilis* που είναι προσαρμοσμένο σε νερά φτωχά σε οξυγόνο, έχει προνύμφες εφοδιασμένες με εξωτερικά βράγχια, σχήματος μακριών λεπτών νηματίων. Αλλά ακόμη και σε υδρόβιους οργανισμούς που διαθέτουν βράγχια, πραγματοποιείται σε μεγάλο ποσοστό ανταλλαγή αερίων από την επιφάνεια του σώματός τους.

Η δερματική αναπνοή συμπληρώνει τη βραγχιακή αναπνοή του γόνου πολλών ψαριών και μερικών ενηλίκων, όπως των *Cobitis fussilis* και *Anguilla anguilla* (χέλι). Στα χέλια, το 12% της συνολικής αναπνευστικής εναλλαγής αερίων πραγματοποιείται στο δέρμα τους, και στα αμφίβια το 30% της αναπνευστικής λειτουργίας καλύπτεται από δερματική αναπνοή (Lacroix, 1991).

Με τη νηκτική κύστη στο ρόλο του πνεύμονα

Προσαρμογή των ψαριών στην αξιοποίηση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου παρατηρείται συχνά σε είδη των γλυκών νερών, ενώ αποτελεί μάλλον σπάνιο φαινόμενο για τα είδη της θάλασσας. Τα περισσότερα είδη αυτών των ψαριών που εκμεταλλεύονται το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, χάρη στη νηκτική κύστη που παίζει το ρόλο του πνεύμονα, μπορούν να παραμείνουν για πολλές ώρες έξω από το νερό. Ορισμένα μάλιστα από αυτά χρησιμοποιούν το ατμοσφαιρικό οξυγόνο ακόμη κι όταν δεν υπάρχει έλλειψη νερού. (Οικονομίδης, 1991).

Με αποθήκευση νερού

Το πρόβλημα της προσαρμογής των βραγχίων στην αξιοποίηση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας έχει δημιουργηθεί σε ορισμένους υδρόβιους οργανισμούς που βρίσκονται συνήθως σε περιοχές που δεν καλύπτονται πάντα από νερό. Έτσι, οργανισμοί σαν τα δίθυρα μαλάκια (μύδια, στρείδια, κυδώνια) που ζουν σε περιοχές όπου παρατηρούνται παλιρροϊκά φαινόμενα, κλείνουν τα κελύφη τους εγκλωβίζοντας μέσα νερό μέχρι την επόμενη παλίρροια. Κατά την περίοδο αυτή, ο μεταβολισμός τους ελαττώνεται σημαντικά, κι έτσι αντιμετωπίζεται μια περίοδος μειωμένης παρουσίας οξυγόνου. Πάντως, ο κίνδυνος της ξήρανσης, για τους οργανισμούς αυτούς, είναι εντονότερος από τον κίνδυνο της προσωρινής έλλειψης οξυγόνου. (Λαζαρίδου-Δημητριάδου, 1992).

Προσαρμογές σε ανοξικές συνθήκες σε είδη που συναντάμε στις Μεσογειακές λιμνοθάλασσες.

Τα κεφαλοειδή χρησιμοποιούν το άνω οπίσθιο τμήμα του φάρυγγα για να αναπνέουν πάνω από την υδάτινη επιφάνεια, ο αέρας εισπνέεται είτε με άλματα, είτε με περιστροφή, ή βγάζοντας το κεφάλι πάνω από την επιφάνεια του νερού και μετακινώντας τον μέσα στον άνω θάλαμο του φάρυγγα. Η συχνότητα των αλμάτων συσχετίζεται αντίστροφα με τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και το αναπνευστικό όργανο (βράγχια) είναι ικανό να συγκρατήσει αέρα. Ο κέφαλος παρουσιάζει μια τυπική αναπνοή στην υδάτινη επιφάνεια με μόνο το στόμα πάνω από την επιφάνεια το νερού και το υπόλοιπο του κεφαλιού κάτω από αυτήν. διότι δεν μπορεί να επιβιώσει σε συνθήκες ανοξίας αλλά επιβιώνει σε συνθήκες σοβαρής υποξίας, μόνον όταν ανεβαίνει στην υδάτινη επιφάνεια. Κατά τη

διάρκεια τις παραπάνω διαδικασίας αναπνοής, βυθίζεται συχνά και απελευθερώνει φυσαλίδες πολύ κάτω από την επιφάνεια του, το οποίο είναι μια περαιτέρω απόδειξη ότι μπορεί να διατηρήσει εγκλωβισμένο αέρα.

Σε φυσιολογικά επίπεδα συγκέντρωσης οξυγόνου, η γλώσσα (*Solea solea*) εγκαθίσταται κατά προτίμηση στην άμμο, ενώ σε συνθήκες υποξίας, προτιμά να εισέρχεται στη λάσπη του βυθού διότι μέσω της δερματικής αναπνοής, οι νεαρές γλώσσες, σε συνθήκες υποξικές, είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν προς όφελος τους τις μεγάλων ποσοτήτων οξυγόνου που παράγονται από μικροβενθικούς οργανισμούς που υπάρχουν στα ανώτερα στρώματα του λασπώδη βυθού. Γιατί όμως το παραπάνω δε συμβαίνει και υπό φυσιολογικές συνθήκες; Σε υποξικές συνθήκες, η διάχυση οξυγόνου στα επιθηλία των βραγχίων μειώνεται και ίσως να είναι ενεργειακά πιο ωφέλιμο για τη γλώσσα να μειώσει τη πρόσληψη οξυγόνου, καθώς κινείται προς το υπεροξικό λασπώδες υπόστρωμα, όπου η δερματική πρόσληψη οξυγόνου είναι ίσως πιο αποτελεσματική. Παρόλα αυτά καθώς η γλώσσα εγκαθίσταται σε υπεροξικό μικρό-υπόστρωμα πυθμένα, αντιμετωπίζει δυσκολίες στην ικανότητα της να διατηρεί τις υψηλές μεταβολικές τις ανάγκες.

Πίνακας 3. Προσαρμογές οργανισμών σε ανοξικές συνθήκες

ΕΙΔΟΣ	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΝΟΞΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
Διαλυμένο οξυγόνο και συμπεριφορά ψαριων.pdf	
Ιριδίζουσα πέστροφα - <i>Salmo Gairdneri</i>	Η έναρξη της σίτισης καθυστέρησε καθώς το επίπεδο οξυγόνου στο οποίο διατηρούνταν είχε μειωθεί
Κανάλι Γατόψαρο- <i>Ictalurus punctatus</i>	Εμφανίστηκε <στρεσαρισμένο> μετά την σίτιση κάτω από υποξικές συνθήκες με αυξημένο αερισμό και κολύμπι στην επιφάνεια
cichlid, <i>Biotodoma cupido</i>	Μειώθηκε σημαντικά η δραστηριότητα αναπαραγωγής κατά την διάρκεια των περιόδων μειωμένης διαθέσιμης ποσότητας οξυγόνου
threespine sticklebacks <i>Gasterosteus aculeatus</i>	Οι αρσενικοί γονείς αύξησαν την δραστηριότητα ανεμίσματος τους κατά την διάρκεια περιόδων με μειωμένο διαθέσιμο οξυγόνο

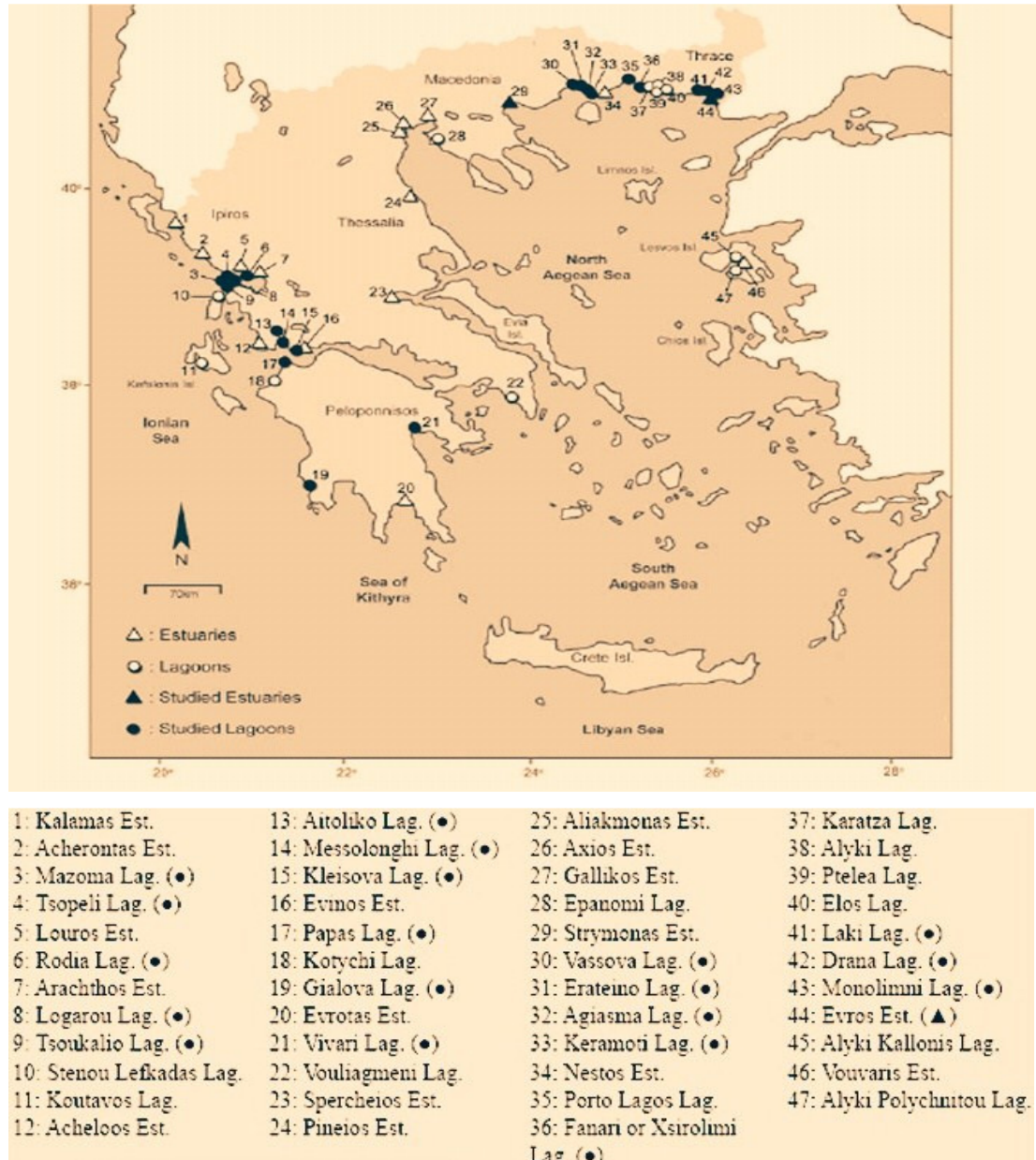
Χρωματιστό ψάρι, <i>Poecilia reticulata</i> , (performing ASR - aquatic surface respiration)	Μείωσε την διάρκεια της κατάδυσης
Λούτσος-pike, <i>Esox lucius</i> ,	Μείωση δραστηριότητας λόγω μη πρόσβασης στην επιφάνεια. Σε αντίθετη περίπτωση Weber & Kramer (1983) εντοπίστηκε αύξηση της δραστηριότητας των νεαρών ψαριών με υποξία όταν αυτά είχαν πρόσβαση στην επιφάνεια αλλά μειωμένη όταν η πρόσβαση στην επιφάνεια διακόπτονταν. Τα δεδομένα των επίπεδων δραστηριότητας και διαλυμένου οξυγόνου είναι λιγότερα
<i>Rivulus hartii</i> (Cyprinodontidae)	Σε σχεδόν ανοξικό νερό παρατηρήθηκε εναλλαγή μεταξύ ASR και διατροφικά ταξίδια σε βάθος περίπου 2 μέτρων για να βρουν τροφή σε μια βενθική πηγή <i>Daphnia</i>
Μπαρμπούνια- <i>white sucker</i> <i>Catostomus commersoni</i>	Παρατηρήθηκε μετακίνηση προς την επιφάνεια λόγω αυξημένου επίπεδου οξυγόνου κοντά στην επιφάνεια σε γενικές γραμμές
largemouth bass <i>Micropterus salmoides</i>	Παρατηρήθηκε μετακίνηση προς την επιφάνεια λόγω αυξημένου επίπεδου οξυγόνου κοντά στην επιφάνεια σε γενικές γραμμές
Κιχλίδες-cichlid <i>Herotilapia multispinosa</i>	Παρατηρήθηκε μετακίνηση προς την επιφάνεια λόγω αυξημένου επίπεδου οξυγόνου κοντά στην επιφάνεια σε γενικές γραμμές
clingfish <i>Sicyases sanguineus</i> , clinids <i>Mnierpes macrocephalus</i> , blennies <i>Blennius pholti</i> and cottids <i>Taurulus bubalis</i> , <i>Clinocottus recalvus</i>	Για τα αμφίβια ψαριά, η υποξία μπορεί να μειώσει την πλήρη ανάδυση. Τα πειράματα έδειξαν πως η ανάδυση για τα αμφίβια ψαριά δεν αποσπάται από αλλαγές στην θερμοκρασία, στην αλμυρότητα, CO ₂ , η στο α,
Βασιλιάς του Σολομού-migrating chinook salmon <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Δεν υπήρξε δραστηριότητα σε περίοδο υποξικών συνθηκών του ποταμιού μέχρι το επίπεδο οξυγόνου να φτάσει περί τα 4,5-5,0 mg 0. 1 ⁻¹
brook stickleback <i>Culaea inconstans</i> , fathead minnows <i>Pimephales promelas</i> ,	Χωρική διακύμανση στο διαλυμένο οξυγόνο κάτω από τον πάγο,

redbelly date <i>Phoxinus eos</i> and finescale date <i>P. neogaeus</i>	επηρέασε τη κάθετη και οριζόντια κατανομή του πληθυσμού τούρνας στη διάρκεια του χειμώνα.
striped bass <i>Morone saxatilis</i>	Η ανάπτυξη υποξίας στον πυθμένα του νερού των εύκρατων δεξαμενών θεωρείται σημαντικός περιορισμός ως προς την χρήση των θερμικών καταφυγίων
Παλαμίδα-skipjack tuna <i>Katsuwonus pelamis</i>	Η ωκεάνια διανομή ελέγχεται από την διανομή της θερμοκρασίας και του οξυγόνου
Πέρκα-perch <i>Perca flavescens</i>	Η εποχική ανάπτυξη υποξίας στις ζώνες βλάστησης επηρέασε την χρήση τους
<i>Gibbonsia elegans</i>	Απουσιάσαν από τα νοτιά τμήματα της Καλιφόρνιας κατά την διάρκεια παλίρροιας την νύχτα εξαιτίας της αποφυγής υποξίας που δημιουργείται κάτω από αυτές τις συνθήκες
Είδος Γατόψαρου-Clurias (ή Clarias)	Η αντιστάθμιση αυξάνει σε μεγάλους εξαερισμούς
Επίδραση υποξίας σε ψαριά και αλιεία – Εκβολές πόταμων 2002	
naked gobies (<i>Gobiosoma bosc</i>)	Τα νεαρά και ειδικά αν έχουν εγκατασταθεί πρόσφατα σε μια περιοχή είναι ευαίσθητα στη μείωση των συγκεντρώσεων οξυγόνου.
Μπακαλιάρος Ατλαντικού- <i>Gadus morhua</i>	Πεθαίνει σε όταν αυξάνεται η θερμοκρασία σε ανοξικές συνθήκες γιατί η υψηλές θερμοκρασίες νερού μειώνουν το οξυγόνο και αυξάνουν τις μεταβολικές ανάγκες του ψαριού
Οξύρρυγχος Ατλαντικού- <i>Acipenser oxyrinchus</i>	Πεθαίνει σε όταν αυξάνεται η θερμοκρασία σε ανοξικές συνθήκες γιατί η υψηλές θερμοκρασίες νερού μειώνουν το οξυγόνο και αυξάνουν τις μεταβολικές ανάγκες του ψαριού
Γάδος Βαλτικής-Baltic cod	Σε ανοξικές συνθήκες δεν επιβιώνουν τα αυγά του.
bay anchovy (<i>Anchoa mitchilli</i>)	Πρόβλημα αυγών περίπου 50% θνησιμότητα είτε επειδή πεθαίνουν ως έμβρυα λόγω έλλειψης οξυγόνου είτε γεννιούνται τόσο αδύναμα που δεν μπορούν να φτάσουν κοντά στην

	επιφάνεια όπου υπάρχει οξυγόνο.
Δεκάποδα καρκινοειδή-finfish and decapod crustaceans	Μετανάστευση προς την παράλια
sensitive demurrals such as cod=μπακαλιάρος and whiting=προσφυγάκι	Μετανάστευση
Καβούρια-crabs, Γαρίδα-shrimp, and demersal fishes	Συγκέντρωση στις άκρες των νερών. Αυτό προκαλεί έκθεση των ψαριών προς αυξημένη θήρευση από τα πούλια
Πεσκανδρίτσα-Adult toadfish (<i>Opsanus tau</i>)	Γίνονται ληθαργικά και τα περισσότερα βγαίνουν έξω από τις φωλιές τους. Αυξάνεται ο κίνδυνος θήρευσης.
Baltic cod in the Baltic-Kattegat system and smelt (Ευρωπαϊκή Αθερίνα- <i>Osmerus eperlanus</i>) in the Elbe estuary	Ο μεγάλης κλίμακας πληθυσμός μειώνεται λόγω μετανάστευσης και την πιθανή αύξηση στη λεία της αφθονίας των ψαριών.
Τριχιός Αμερικής-American shad (<i>Alosa sapidissima</i>)	Το μειωμένο οξυγόνο στην παράλια της Delaware μπλοκάρει την μετανάστευση ωοτοκίας και την κυκλοφορία προς τα ανοικτά των anadromous ψαριών, συμβάλλοντας στην μείωση της American shad (<i>Alosa sapidissima</i>) στον κόλπο της Delaware.
dab (<i>Limanda limanda</i>)	συχνότητα εμφάνισης νόσων όπως Lymphocystis, επιδερμική υπερπλασία, και θηλώματα
Χέλι- <i>Anguilla anguilla</i>	Δερμική αναπνοή
Γλώσσα- <i>Solea solea</i>	Δερμική αναπνοή

1.8 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η Ελλάδα διαθέτει συνολικά 60 λιμνοθάλασσες με το εμβαδό αυτών να φτάνει τα 287665 στρέμματα και το οποίο αναλογεί στο 14,2% της συνολικής έκτασης όλων των υγροτόπων της Ελλάδας (Ζαλίδης, 1994). Οι περισσότερες λιμνοθάλασσες στον Ελλαδικό χώρο βρίσκονται κυρίως στην βόρεια και δυτική Ελλάδα (εικ.2). Η μεγαλύτερη σε έκταση λιμνοθάλασσα είναι αυτή του Μεσολογίου-Αιτωλικού (100 Km²).



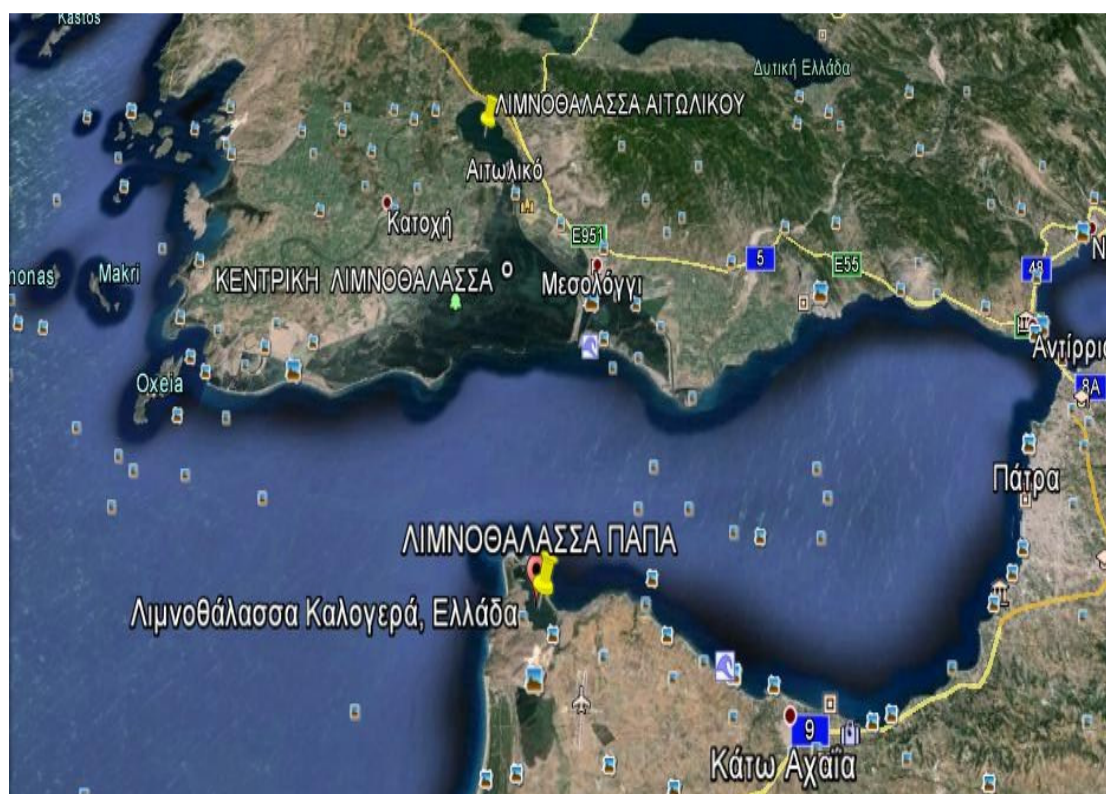
Εικ.4 Λιμνοθάλασσες και τα εκβολικά συστήματα της Ελληνικής επικράτειας (Nicolaidou et al. 2005b).

Οι περισσότερες απ αυτές τις λιμνοθάλασσες (εικ.3) προστατεύονται από την σύμβαση RAMSAR ή εντάσσονται και στο δίκτυο NATURA 2000. Από τα πιο σημαντικά, ρηχά, ημίκλειστα οικοσυστήματα είναι αυτά της Δυτικής Ελλάδας. Έχει καταγραφεί σε μεσογειακές λιμνοθάλασσες ότι παρουσιάζουν μεγάλη περιβαλλοντική ετερογένεια όπως άλλωστε έχει καταγραφεί και σε άλλες μεσογειακές λιμνοθάλασσες (Nicolaidou et al. 2005a, Pasqualini et al. 2006, Aliaume et al. 2007). Το ίδιο ισχύει και για τις Ελληνικές λιμνοθάλασσες. Παρουσιάζουν χωρικές και χρονικές διαφορές, όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών λιμνοθαλασσών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών περιοχών στην ίδια λιμνοθάλασσα (Agostini *et al.* 2003, Orfanidis *et al.* 2005). Σημαντικό ρόλο στις λιμνοθάλασσες διαδραματίζει η ποσότητα των γλυκών υδάτων που εισέρχονται σ αυτές από διάφορες πηγές (πχ χείμαρρους), καθώς και ο βαθμός απομόνωσης των νερών τους από την θάλασσα. Στην Ελλάδα, η ετήσια ιχθυοπαραγωγή των 60 λιμνοθαλασσών εκτιμάται στους 700-1.600 τόνους. Οι περισσότερες λιμνοθάλασσες της Ελλάδας δεν έχουν ερευνηθεί λεπτομερώς. Οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει στις λιμνοθάλασσες του Αμβρακικού, της Μακεδονίας και της Θράκης, καθώς και της Γιάλοβα στην Πελοπόννησο και του Μεσολογγίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

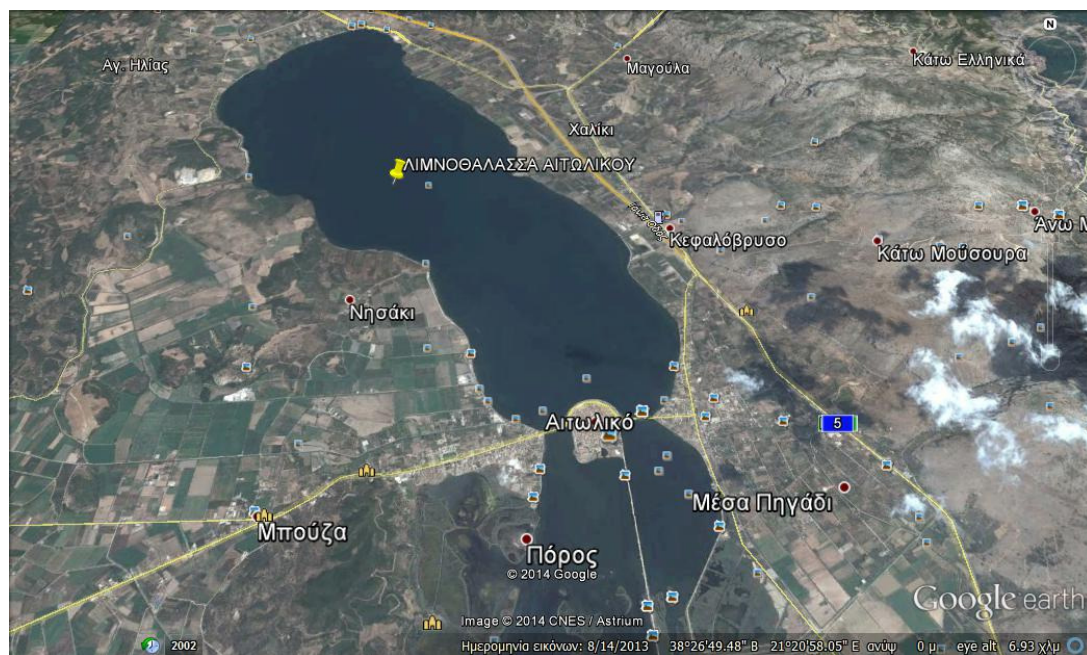
2.1 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΥΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΡΙΣΕΩΝ

Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα λιμνοθαλασσών στον Ελλαδικό χώρο που αντιμετωπίζουν προβλήματα δυστροφικών κρίσεων είναι η λιμνοθάλασσα Αιτωλικού και η λιμνοθάλασσα του Πάπα. Παρακάτω θα αναφερθούν η γεωγραφική θέση των λιμνοθαλασσών αυτών το ιστορικό δυστροφικών κρίσεων που έχουν καταγραφεί οι κλιματολογικές τους συνθήκες τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους καθώς επίσης και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις οι οποίες έχουν συντελέσει στο πρόβλημα αυτό.



Εικ.5.Βόρεια η λιμνοθάλασσα Μεσολογγίου-Αιτωλικού και νότια η λιμνοθάλασσα Πάπα.
Λήψη φωτογραφίας μέσω Google earth.

2.1.ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ-ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ



Εικ.6.Λιμνοθάλασσα Αιτωλικού. Λήψη φωτογραφίας μέσω Google earth.

2.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η λιμνοθάλασσα Μεσολογγίου-Αιτωλικού-Κλείσοβα είναι από τα μεγαλύτερα λιμνοθάλασσα συστήματα της Μεσογείου και βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας. Τα γεωγραφικά όρια ορίζονται βόρεια τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχεία ,ανατολικά από τον Εύηνο ποταμό, δυτικά απ τον Αχελώο ποταμό και νότια από τον Πατραϊκό κόλπο με τον οποίο επικοινωνεί με μια σειρά από αμνησίες που εκτίνονται σε μήκος 12km περίπου. Το μέγιστο μήκος περίπου 27.300 μέτρα και μέγιστο πλάτος 14.800 μέτρα.

Η συνολική τους έκτασή τους φτάνει τα 150.000 στρέμματα (ΒΙΚΗΠΑΙΔΕΙΑ-ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ) ενώ η ευρύτερη περιοχή του υδροβιότοπου περιλαμβάνει παράκτια οικοσυστήματα, βάλτους και εκτάσεις με αλυκές. Είναι ο μεγαλύτερος υγρότοπος στην Ελλάδα με μεγάλη οικολογική σημασίας και προστατεύεται από τη σύμβαση Ramsar.

Η λιμνοθάλασσα Αιτωλικού είναι κλειστή, με μέγιστο βάθος τα 32m και αποτελεί μέρος του συστήματος των λιμνοθαλασσών και των υγροβιότοπων στις εκβολές του Αχελώου. Η επικοινωνία των δύο λιμνοθαλασσών γίνεται μέσω δύο γεφυριών με μέσο βάθος περίπου τα 80cm και μήκος 80m το κάθε ένα. Είναι μια εσωτερική λεκάνη μήκους 7.5 km, πλάτους 2.3 km και συνολικής έκτασης περίπου 16000

στρεμμάτων. Οι δυο γέφυρες, κατασκευάστηκαν το 1846 για να εξυπηρετούν τις ανάγκες των κατοίκων και συνδέουν τη πόλη με τη στεριά.

Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο ο οποίος το 1995 μέτρησε τις ταχύτητες και τις παροχές του νερού στη δυτική γέφυρα του Αιτωλικού, η μέση παροχή ήταν ίση με $1,63\text{m}^3/\text{s}$ ενώ η μέση ταχύτητα ήταν $0,07\text{m}/\text{s}$. Οι τόσο μικρές τιμές των συγκεκριμένων παραμέτρων σε συνδυασμό με τις μικρές διαστάσεις των δύο γεφυριών, αλλά και τα διάφορα τεχνικά έργα που πραγματοποιήθηκαν στη λ/θ του Μεσολογγίου ενισχύουν κατά πολύ το περιβαλλοντικό πρόβλημα της συγκεκριμένης λιμνοθάλασσας, λόγω του ότι οι όγκοι του νερού που εισέρχονται από τη λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου δεν επαρκούν ποσοτικά ώστε να ανανεωθεί το νερό της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού. Εκτός όμως από τα θαλασσινά νερά η λιμνοθάλασσα δέχεται και άφθονα γλυκά νερά από τρεις μεγάλους χείμαρρους, από πολλούς μικρούς, από παροδικές και μόνιμες πηγές που βρίσκονται σε όλη την έκτασή της, καθώς επίσης και από αντλιοστάσια που στέλνουν τα ιδιαίτερα ρυπασμένα νερά τους στην ευαίσθητη λεκάνη. Τα γλυκά νερά που εισέρχονται στην λιμνοθάλασσα σχηματίζουν ένα στρώμα και ουσιαστικά επιπλέουν πάνω στα αλμυρότερα-βαρύτερα νερά της, αλλά και σε αυτά που με την καθοδήγηση της αναζωογονητικής παλίρροιας εισέρχονται από την λιμνοθάλασσα Μεσολογγίου. Τα επιφανειακά νερά ανανεώνονται και μένουν σχεδόν στάσιμα, τα βαρύτερα είναι μόνιμα εγκλωβισμένα στον σχεδόν κωνικού σχήματος πυθμένα. Η κυκλοφορία επομένως περιορίζεται σε μια λίγων μέτρων επιφανειακή ζώνη του νερού η οποία και οξυγονώνεται, εκεί μπορούν και αναπτύσσονται υδρόβιοι οργανισμοί, ψάρια, μαλάκια, αρθρόποδα και άφθονοι υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί, ενώ στα βαθύτερα η έλλειψη οξυγόνου νεκρώνει τη λεκάνη. Εκεί ζουν μόνο αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Μέσα στην ανοξική ζώνη της λιμνοθάλασσας δημιουργούνται διάφορα αέρια, κυριαρχεί όμως ένα ιδιαίτερα τοξικό αέριο, το υδρόθειο. Η παρουσία του οφείλεται κυρίως σε δυο λόγους, στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης και στην γυψογενή σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής.

Ο κυριότερος λόγος για την παρουσία του υδρόθειου είναι μια σειρά βιολογικών διαδικασιών οι οποίες έχουν σαν αφετηρία την πλούσια οργανική ύλη που μεταφέρουν οι χείμαρροι, τα αποστραγγιστικά αυλάκια, τα αντλιοστάσια και τα σχεδόν μη επεξεργασμένα λύματα της πόλης του Αιτωλικού. Η ποσότητα της οργανικής ύλης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μπορούν να αποσυνθέσουν με αερόβιες διεργασίες οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο νερό.

Η δράση των μικροοργανισμών αυτών είναι να αποσυνθέτουν την νεκρή οργανική ύλη με τη βοήθεια του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου που κανονικά υπάρχει στο νερό. Καθώς όμως οι εισροές της οργανικής ύλης είναι τόσο μεγάλες και το διαθέσιμο διαλυμένο οξυγόνο περιορισμένο, οι ποσότητες του εξαντλούνται γρήγορα, τότε ακολουθούν μια σειρά περίπλοκων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων σύμφωνα με τις οποίες βακτήρια, τα γνωστά με το όνομα θειοβακτήρια αποσπών από τα άφθονα θειικά ιόντα (SO_4^{-2}) το οξυγόνο, συντελώντας στη δημιουργία ενός αερίου, του υδρόθειου (H_2S).

Εκτός όμως από αυτή την διαδικασία άλλη μια αιτία δημιουργίας υδρόθειου στην λιμνοθάλασσα Αιτωλικού είναι τα πλούσια γυψογενή πετρώματα της περιοχής. Στο βορειοδυτικό τμήμα της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού υπάρχουν μεγάλα κοιτάσματα γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ο οποίος αν και διαλύεται δύσκολα στο νερό, ανάγεται από οργανικές ενώσεις που υπάρχουν σχηματίζοντας υδρόθειο.

Η λιμνοθάλασσα παρουσιάζει μια εικόνα ανάλογη με αυτή του Εύξεινου Πόντου, δηλαδή πρόκειται για μια βαθιά υδάτινη λεκάνη που περιβάλλεται από στεριά και επικοινωνεί με την ανοικτή θάλασσα μέσα από στενά και ρηγά ανοίγματα, ενώ δέχεται μεγάλες ποσότητες γλυκών ιδιαίτερα ρυπασμένων νερών.

Η φυσικογεωγραφική του διαμόρφωση, το σχετικό μεγάλο βάθος, το έντονα θετικό ισοζύγιο γλυκού νερού και η ελλιπής κυκλοφορία θαλάσσιου νερού καθιστούν το Αιτωλικό τυπική ευξείνικη λεκάνη. Στην λεκάνη αναπτύσσονται τρία στρώματα νερού τα οποία διαχωρίζονται από δύο πυκνοκλινή.

Τα στρώματα αυτά είναι:

-Το επιφανειακό (0 -7 m), κορεσμένο σε O_2

-Το ενδιάμεσο (10-15 m), ψυχρό με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες όλο το χρόνο.

-Το βαθύ (20-32 m), αμετάβλητο και ανεπηρέαστο από εποχιακές μεταβολές.

Τα δύο παρεμβαλλόμενα μεταξύ των στρωμάτων πυκνοκλινή είναι:

-Το κανονικό (7 -10 m) θερμοκλινές.

-Το ανάστροφο (15-20 m) θερμοκλινές. Κάτω από το επιφανειακό υφάλμυρο στρώμα το O_2 μηδενίζεται και παράγονται υδρόθειο και αμμωνία.

Ο συνολικός όγκος του νερού της λιμνοθάλασσας Αιτωλικού είναι περίπου 190 εκατομμύρια m^3 , ο όγκος που καταλαμβάνει το ανοξικό νερό σήμερα είναι υπολογίζεται 120 εκατομμύρια m^3 , δηλαδή η νεκρή ζώνη φτάνει το 65% του

συνολικού όγκου του νερού της λιμνοθάλασσας Ενώ παλιότερα δεν ξεπερνούσε το 30%. (ΙΩΑΝΝΗΣ Δ.ΛΕΟΝΤΑΔΟΣ,1999).

2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Στη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού έχουν παρατηρηθεί κατά καιρούς μαζικοί θάνατοι ψαριών, το οποίο συμβαίνει ύστερα σφοδρούς ανέμους και έντονες βροχοπτώσεις.

- Ιστορικά κείμενα αναφέρουν ότι φαινόμενα δυστροφικών κρίσεων στο Αιτωλικό είχαν συμβεί τις τελευταίες δεκαετίες του 17 αιώνα.
- Η δεύτερη αναφορά που υπάρχει συνέβη νύχτα ήταν 3 Δεκεμβρίου 1881 κατά τη διάρκεια σφοδρής κακοκαιρίας (MOLLER & ANDERS,1986).
- Το γεγονός αυτό επαναλαμβάνεται ένα χρόνο μετά το 1882, χωρίς όμως να υπάρχει οποιαδήποτε αναφορά εκείνη την περίοδο για σεισμό, όπως είχε συμβεί ένα χρόνο πριν.
- Η επόμενη αναφορά που υπάρχει για ένα τέτοιο καταστροφικό γεγονός στην περιοχή είναι τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1960.
- Η αμέσως επόμενη αναφορά που υπάρχει είναι το δεύτερο δεκαήμερο του Νοεμβρίου το 1990, όπου στη Δυτική Ελλάδα εκδηλώθηκαν σφοδροί άνεμοι, με αποτέλεσμα να προκαλέσουν καταστροφές στη περιοχή του Αιτωλικού. Στις 16 Νοεμβρίου 1990 που η κακοκαιρία είχε πια κοπάσει, η ατμόσφαιρα άρχιζε να γίνεται αποπνικτική από μια χαρακτηριστική οσμή « χαλασμένου αβγού» που αφήνει το υδρόθειο. Στη λιμνοθάλασσα είχε δημιουργηθεί μια καφέ-κίτρινη κηλίδα η οποία εκτείνονταν προς όλη την περιφέρεια. Το αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος ήταν νεκρά ψάρια που βρέθηκαν στην ακτή και υπολογίζονταν στους 140 τόνους. Πολλαπλάσιες ήταν οι ποσότητες που βρίσκονταν στο πυθμένα.
- Αναφορές για αυτό το καταστροφικό φαινόμενο στην περιοχή υπάρχουν και τις χρονιές 1992 και 1995.

- Η μία αναφορά που υπάρχει είναι Δεκέμβριος του 1998 όπου σε ένα άρθρο της η εφημερίδα «ΩΛΕΝΟΣ» αναφέρει «*Από τον περασμένο Νοέμβριο είμαστε μάρτυρες μιας εκτεταμένης οικολογικής καταστροφής στη λιμνοθάλασσα μας. Τόνοι ψαριών και χελιών βγήκαν το θάνατο στα νερά της ενώ ανυπόφορη ήταν και η μυρωδιά από το υδρόθειο το οποίο έχει εγκλωβιστεί σε τεράστιες ποσότητες στο πυθμένα της*».
- Ακόμη ένα τέτοιο περιστατικό συνέβη και το 2001.
- Το Δεκέμβριο του 2008 αναρτήθηκε άρθρο στο διαδίκτυο που αναφερόταν σε ακόμη ένα καταστροφικό γεγονός στην λιμνοθάλασσα Αιτωλικού.
- Το Νοέμβριο του 2009 αναρτήθηκε πάλι άρθρο στο διαδίκτυο το οποίο επαλήθευε το ίδιο καταστροφικό φαινόμενο στην περιοχή.

(ΙΩΑΝΝΗΣ Δ.ΛΕΟΝΤΑΔΟΣ,1999).

2.1.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το κλίμα είναι πρωταρχικής σημασίας για τη διαμόρφωση των αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων ενός οικοσυστήματος και της προσαρμογής κάθε οργανισμού σε αυτό, καθορίζοντας τις όποιες οικολογικές σχέσεις (Odum 1971). Τα κύρια κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, είναι το εύκρατο κλίμα με χειμωνιάτικες έντονες βροχοπτώσεις και θερμό καλοκαίρι (Μπάλη και συν.,1986). Λόγω της έντονης εξάτμισης που παρατηρείται το καλοκαίρι διευκολύνεται η δημιουργία αλμυρόβαλτων σε ορισμένα σημεία και αυξάνεται κατά πολύ η αλατότητα σε άλλα σημεία της λιμνοθάλασσας. Έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης και χαλαζόπτωσης δεν έχουν παρατηρηθεί. Οι άνεμοι είναι συχνά ισχυροί και διαφόρων κατευθύνσεων. Επικρατούν κυρίως οι ΒΑ και δευτερευόντως οι ΒΔ (κυρίως το χειμώνα). Η μέση σχετική τιμή υγρασίας είναι 68,5%, ενώ ο μέσος ετήσιος όρος ωρών ηλιοφάνειας είναι περί τις 2700 ώρες. Η μέγιστη θερμοκρασία φθάνει ενίοτε τους 40ο C και η ελάχιστη τους -3ο C με μέση τους 18ο C.

2.1.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ

Στην μελέτη του Χατζικακίδη το 1951 αναφέρονται τα πιο παλιά δεδομένα για την φυσικοχημική κατάσταση του Αιτωλικού. Οι φυσικοχημικές παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η θερμοκρασία, η αλατότητα, το pH και το διαλυμένο οξυγόνο σε εποχική βάση σε ένα δίκτυο 14 σταθμών. Τις εποχικές μεταβολές της θερμοκρασίας, της αλατότητας, του pH και του διαλυμένου οξυγόνου κατέγραψε ο Δανηλίδης (1991) από τον Απρίλιο του 1984 μέχρι τον Απρίλιο του 1985. Κάποιες από τις πιο πρόσφατες μελέτες στην περιοχή που είναι και πιο αποσπασματικές είναι του Ψιλοβίκου (1995), όπου κατέγραψε την θερμοκρασία, την αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο στο βαθύτερο τμήμα της λεκάνης, κατά τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο του 1994. Μία ακόμη σχετική μελέτη έχουμε και από τον Χαλκιά (2006), όπου κατέγραψε την θερμοκρασία, την αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και το pH σε ένα δίκτυο 13 σταθμών μέσα στη λεκάνη τη χειμερινή περίοδο δυο ετών, του 2003-2004. Σε όλες τις μελέτες που έχουν γίνει στην λιμνοθάλασσα Αιτωλικού γίνεται αναφορά για τις ανοξικές συνθήκες στο υπολίμνιο της και η υψηλές συγκεντρώσεις υδροθείου σε αυτό.

Το 1951 μετρήθηκε η αλατότητα στο μονιμολίμνιο (το βαθύτερο στρώμα ύδατος που είναι συνεχώς απομονωμένο αποτελεί το μονιμολίμνιο), (το οποίο εκτείνονταν κάτω από το βάθος των 20 μέτρων και ήταν 31-32.5 ‰ (Χατζικακίδη 1951). Το 1984-1985 η αλατότητα ήταν αρκετά μειωμένη και κυμαινόταν από 27.5 ‰ έως 28.5 ‰ (Δανηλίδης 1991). Αυτές οι μεταβολές της αλατότητας οφείλονται στην διοχέτευση γλυκού νερού μέσα στην λεκάνη από τις λίμνες Τριγωνίδα και Λυσιμαχεία την δεκαετία του 1970. Ο Ψιλοβίκος (1995) 10 χρόνια αργότερα αναφέρει παρόμοιες αλατότητες με εκείνες του Δανηλίδη κυμαινόταν πάλι στο 27-27.5 ‰. Οι Χατζικακίδη (1951), Δανηλίδης (1991), Ψιλοβίκος (1995) και Χαλκιάς (2006) σε αναφορές τους για την θερμοκρασία στο υπολίμνιο της λιμνοθάλασσας το διάστημα 1951-2004 είναι σταθερή και κυμαίνεται στους 15-16 °C.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην λιμνοθάλασσα Αιτωλικού το προκαλούσε πάντα η κατακόρυφη κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου και το βάθος της διεπιφάνειας μεταξύ του οξυγονομένου και του ανοξικού στρώματος. Η πρώτη αναφορά που έχουμε είναι από τον Χατζικακίδη το 1951, η διεπιφάνεια το καλοκαίρι και χειμώνα

αντίστοιχα ανιχνεύτηκε στα 14 m με 19 m. Μετά από 40 χρόνια, η διεπιφάνεια είχε μειωθεί στα 10m και 15m αντίστοιχα (Δανιηλίδης 1991). Το 1995 καταγράφηκαν ανοξικές συνθήκες σε βάθη μεγαλύτερα των 7m (Ψιλοβίκος 1995). Την περίοδο 2003-2004 το ανοξικό στρώμα είχε μεγαλύτερο πάχος και εκτεινόταν από το βάθος των 4 m έως και τον πυθμένα (Χαλκιάς 2006).

Πληροφορίες για το υδρόθειο έχουμε από τις μελέτες του Χατζικακίδη 1951 και του Ψιλοβίκου 1995. Ο Χατζικακίδης το 1951 αναφέρει ότι η συγκέντρωση υδροθείου μεταβαλλόταν από 0.5 mg/l σε βάθος 10m και σε 28.8 mg/l σε βάθος 27.5m. Ο Ψιλοβίκος αναφέρει ότι η συγκέντρωση υδροθείου είναι ίση με 45mg/l σε βάθος 25m.

Για το θρεπτικό περιεχόμενο της λιμνοθάλασσας Αιτωλικού έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα από τα στοιχεία της μελέτης του Δανιηλίδη (1991). Σε εποχική βάση στον βαθύτερο σταθμό παρακολούθησης το διάστημα Απρίλιος 1984-Απρίλιος 1985 μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των πυριτικών ιόντων, των ορθοφωσφορικών ιόντων, του αμμωνιακού αζώτου, του νιτρικού αζώτου, του ολικού φωσφόρου, του νιτρώδους αζώτου και της χλωροφύλλης-α. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής μας έδειξαν ότι κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στο επιφανειακό στρώμα δεν ήταν πολύ αυξημένες υποδεικνύοντας ότι τα θρεπτικά άλατα καταναλώνονταν από τους πλαγκτονικούς οργανισμούς και εν συνεχεία γινόταν η απομάκρυνση τους προς τον πυθμένα μέσω των νεκρών κυττάρων. Με την άνθιση του φυτοπλαγκτόν την εαρινή περίοδο οι συγκεντρώσεις των ενώσεων αζώτου μειώθηκαν σημαντικά στο επιλίμνιο με συνέπεια να προκαλείται ελάττωση του ανόργανου αζώτου προς τον ανόργανο φώσφορο. Η κατάσταση αυτή κορυφώθηκε το φθινόπωρο όπου παρατηρήθηκε αύξηση των φυκιών, αύξηση όλων των μορφών αζώτου οπότε και ο φώσφορος αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης. Με την εαρινή άνθιση του φυτοπλαγκτόν παρατηρήθηκε στο επιφανειακό στρώμα μείωση των συγκεκριμένων θρεπτικών και ταυτόχρονα αύξηση της χλωροφύλλης-α. Από υψηλές τιμές αμμωνιακού αζώτου, ολικού φωσφόρου και πυριτικών αλάτων χαρακτηρίζονταν τα βαθύτερα στρώματα της λιμνοθάλασσας. Οι τιμές αυτές ήταν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών.

2.1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις που επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό την λιμνοθάλασσα Αιτωλικού είναι:

1. Η σήραγγα της Λυσιμαχείας που κατασκευάστηκε το 1972-1973, μέσω της οποίας εισέρχονταν στο βόρειο τμήμα της λιμνοθάλασσας γλυκό νερό από τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχεία, με αποτέλεσμα να προκαλούνται μεταβολές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της λιμνοθάλασσας. Αυτό επηρέασε όμως και την βιολογία της λιμνοθάλασσας προκαλώντας φυτοπλαγκτική άνθιση που επηρέασε την ποικιλότητα και την αφθονία των πληθυσμών των ψαριών και των άλλων υδρόβιων οργανισμών. Η λιμνοθάλασσα ύστερα από αυτό υπέστη δραματική και βίαιη διαταραχή παρόλο που αργότερα ρυθμίστηκε αυτό το θέμα με την παροχέτευση του γλυκού νερού των νερών των λιμνών εκτός λιμνοθάλασσας Αιτωλικού.
2. Η δημιουργία διαύλου στο Αιτωλικό είχε ως αποτέλεσμα την απομόνωση των ανατολικών γεφυρών από την θαλάσσια κυκλοφορία. Αν και σήμερα το μεγαλύτερο τμήμα του διαύλου έχει καταστραφεί.
3. Μεγάλο πρόβλημα στην λεκάνη δημιουργεί η λειτουργία του αντλιοστασίου D6 που βρίσκεται στις νοτιοδυτικές ακτές του Αιτωλικού και το οποίο λειτουργεί μέχρι και σήμερα. Το αντλιοστάσιο αυτό τροφοδοτεί την λιμνοθάλασσα με μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού που περιέχουν μέσα υπολείμματα λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Όλο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση της μόνιμης στρωμάτωσης της υδάτινης στήλης και την στασιμότητα των βαθιών υδάτινων στρωμάτων.
4. Άλλο ένα έργο που μείωσε την κυκλοφορία του νερού από το Μεσολόγγι προς το Αιτωλικό κατά τις φάσεις της παλίρροιας είναι η τοποθέτηση πλαστικών ιχθυοφραγμάτων στο εξωτερικό τμήμα του στομίου του Αιτωλικού και της λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου.
5. Η καθίζηση των γεφυρών τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του νερού από την λιμνοθάλασσα Μεσολογγίου προς την λεκάνη. Έτσι κατασκεύασαν 2 νέα ανοίγματα στα δυτικά και ανατολικά γεφύρια.

6. Η κατασκευή περιφερειακού δρόμου στο νησί είχε ως αποτέλεσμα να κλείσουν σχεδόν το μισό τμήμα της δυτικής γέφυρας με συνέπεια την μείωση κυκλοφορίας του νερού.

2.2 ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΠΑΠΑ



Εικ.7.Λιμνοθάλασσα Πάπα. Λήψη φωτογραφίας μέσω Google earth

2.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η λιμνοθάλασσα του Πάπα σχηματίζεται στην δυτική Ελλάδα, στην βορειοδυτική Πελοπόννησο (γεωγραφικό μήκος: $21^{\circ} 24' 04''$ E και γεωγραφικό πλάτος: $38^{\circ} 11' 22''$ N). Νότια της βρίσκονται τα Μαύρα βουνά και πέραν αυτών η λιμνοθάλασσα Προκόπου. Βόρεια της λιμνοθάλασσας βρίσκεται ο Πατραϊκός κόλπος, ενώ δυτικά και νότια το δάσος της Στροφυλίας και πέραν αυτού ο Κυλλήνιος κόλπος. Τέλος νοτιοανατολικά της λιμνοθάλασσας βρίσκονται αγροτικές εκτάσεις και το αεροδρόμιο του Άραξου.

Η λιμνοθάλασσα Πάπα αποτελεί ένα φυσικό ιχθυοτροφείο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, λόγω της θέσης της στο Ακρωτήριο Άραξος, της μορφολογίας της και της απουσίας ανθρωπογενών επιδράσεων στο ευρύτερο παράκτιο μέτωπο, λόγω της ύπαρξης της Ναυτικής βάσης. Το όνομα της λιμνοθάλασσας προέρχεται από την εποχή της ενετοκρατίας όπου σύμφωνα με πληροφορίες προμηθεύονταν από την λιμνοθάλασσα τσιπούρες για το Βατικανό. Στο Νότιο ανατολικό της τμήμα συνορεύει με καλλιεργούμενη έκταση. Είναι μακρόστενη εκτεινόμενη κατά τον άξονα ΝΑ-ΒΔ με μέγιστη διάμετρο τα 5 περίπου km και μέσο πλάτος περίπου 1 km, ενώ η συνολική

της έκταση είναι 6.2 km² περίπου (Paratheodorou *et al.* 2012) . Το μέσο βάθος της είναι 1.8m με μέγιστο τα 3.5 m στο κεντρικό της Τμήμα. Διαθέτει τρία στόμια επικοινωνίας με την θάλασσα, δύο στην ανατολική της πλευρά και ένα στο βόρειο Τμήμα της .

Η λιμνοθάλασσα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία βάσει των ιδιαίτερων φυσικοχημικών και βιολογικών της χαρακτηριστικών (ΕΚΘΕ 1999). Όπως προκύπτει από την ίδια μελέτη, όλα τα τμήματα της λιμνοθάλασσας δεν επηρεάζονται κατά τον ίδιο τρόπο από τα διάφορα υδάτινα ρεύματα που σχετίζονται με την ανανέωση του νερού της. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για περιοχές του νότιου, αλλά και του βορειοδυτικού τμήματος της λιμνοθάλασσας, όπου οι τιμές του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου στο τέλος του καλοκαιριού εμφανίζουν ετήσια κατώτατα, καθώς επίσης και από την κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας και κυρίως της αλατότητας, η οποία μαρτυρά σχετική απομόνωση των νερών αυτών των περιοχών. Στο νοτιοανατολικό της τμήμα η λιμνοθάλασσα δέχεται τις απορροές από γειτονικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις που συνεισφέρουν στην μεγάλη ανάπτυξη του μακροφύκου *Ulva rigida* και, μέσω της αποσύνθεσής του, στην εναπόθεση με-γάλων ποσοτήτων θρεπτικών, συμβάλλοντας καθοριστικά στην αύξηση του ευτροφισμού του οικοσυστήματος (Krasakoroulou & Pagou 2011)

2.2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το οικοσύστημα της λιμνοθάλασσας του Αράξου είναι ένα κλειστό ευμετάβλητο και εύθραυστο οικοσύστημα, το οποίο εύκολα οδηγείται σε δυστροφικές κρίσεις. Τέτοιες δυστροφικές κρίσεις αναφέρονται για τα τελευταία 20 έτη, ότι συνέβησαν το 1979, 1984, 1987, 1996,1997 (ΕΚΘΕ 1999), 2004, 2010 και η τελευταία το 2012.

2.2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή ελήφθησαν από το μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου του Αράξου, ο οποίος βρίσκεται περί το 1.5 Km νοτιοδυτικά της λιμνοθάλασσας. Στον πίνακα 4 αναφέρονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και το μέσο μηνιαίο ύψος της βροχής στην περιοχή του Αράξου από το έτος 1955 έως το έτος 1997.(ΕΚΘΕ 2000):

Πίνακας 4: Οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και το μέσο μηνιαίο ύψος της βροχής στην περιοχή του Αράξου από το έτος 1955 έως το έτος 1997.

<i>Μήνας</i>	<i>Μέση θερμοκρασία (οC)</i>	<i>Μέσο ύψος βροχής (mm)</i>
<i>Ιανουάριος</i>	10,2	93,0
<i>Φεβρουάριος</i>	10,5	79,0
<i>Μάρτιος</i>	12,2	63,0
<i>Απρίλιος</i>	15,2	45,3
<i>Μάιος</i>	19,8	21,2
<i>Ιούνιος</i>	24,1	8,7
<i>Ιούλιος</i>	26,6	3,6
<i>Αύγουστος</i>	26,8	5,6
<i>Σεπτέμβριος</i>	23,4	30
<i>Οκτώβριος</i>	19	82,6
<i>Νοέμβριος</i>	14,7	132,1
<i>Δεκέμβριος</i>	11,6	124,1
Μέσος όρος	17,8	57,4
Μέγιστη τιμή	26,8	132,1
Ελάχιστη τιμή	11,6	3,6

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από εύκρατο τύπο κλίματος, με αυξημένες βροχοπτώσεις κατά τη χειμερινή περίοδο και σχεδόν ανομβρία κατά τους θερινούς μήνες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο άνεμος που η επίδρασή του στη λιμνοθάλασσα είναι άμεση (κυματισμός, οξυγόνωση των νερών). Εδώ, πρέπει να επισημανθεί η μεγάλη συχνότητα άπνοιας σε ποσοστό 38.4%. Τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζουν οι βορειοανατολικοί άνεμοι που επικρατούν από το Σεπτέμβριο ως και τον Απρίλιο. Τη θερινή περίοδο επικρατούν οι θαλάσσιες αύρες του Ιονίου, που πνέουν στην περιοχή με ημερήσιο κύκλο από δυτικές και βορειοδυτικές διευθύνσεις. (ΕΚΘΕ 2000). Η θαλάσσια αύρα εμφανίζει μέγιστη ένταση τις πρώτες απογευματινές ώρες, ενώ στη διάρκεια της νύκτας εξασθενεί σημαντικά. Οι μέγιστες τιμές της φθάνουν τα 5 Μποφώρ. Ο ρόλος της είναι καθοριστικός στην οξυγόνωση των νερών την κρίσιμη θερινή περίοδο.

2.2.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΟΥ ΠΑΠΑ.

Οι Μπούζος και Κοντόπουλος αναφέρουν ότι στην λιμνοθάλασσα του Πάπα είναι ευδιάκριτες μια ψυχρή και μια θερμή περίοδος ενώ ανάλογα την εποχή διακρίνονται θερμότερες και ψυχρότερες περιοχές. Επίσης αναφέρουν με βάση την αλατότητα η λιμνοθάλασσα παρουσιάζει διπλό ετήσιο κύκλο κανονικής θάλασσας υφάλμυρης, και διπλό ετήσιο κύκλο χαμηλής και υψηλής αλατότητας που συμπίπτει και με τον θερμό και ψυχρό κύκλο. Η κατανομή της αλατότητας δεν είναι ομοιόμορφη λόγω εισροής γλυκών υδάτων. Κορεσμός του οξυγόνου παρατηρείται την ψυχρή περίοδο ενώ την θερμή περίοδο παρατηρείται έλλειψη. Στο νότιο και κεντρικό τμήμα της λιμνοθάλασσας παρατηρείται υψηλές ποσότητες φωσφορικών ενώ τα νιτρικά παρουσιάζουν μια εποχικότητα. Η αμμωνία στην λιμνοθάλασσα είναι πάντα υψηλή. Οπότε καταλήγουν ότι η λιμνοθάλασσα του Πάπα είναι ευτροφική όλο το χρόνο εξηγώντας έτσι και τον μαζικό θάνατο ψαριών από την δημιουργία υδρόθειου.

2.2.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Υλοτόμηση
2. Εκχέρσωση εδαφών
3. Κατασκευή οδικών δικτύων
4. Ξηρασία
5. Παρόχθιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε αρχικά μία συνοπτική περιγραφή των κυριότερων κατηγοριών των λιμνοθαλασσών καθώς και των κυριότερων παραγόντων από τις οποίες εξαρτάται η δυναμική των συγκεκριμένων οικοσυστημάτων. Στη συνέχεια περιγράφηκαν οι σημαντικότερες φυσικοχημικές παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα των υδάτων δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο διαλυμένο οξυγόνο καθώς και στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών-παράμετροι που συνδέονται άμεσα με το φαινόμενο του ευτροφισμού καθώς και την εμφάνιση δυστροφικών κρίσεων στα συστήματα αυτά.

Κοινή πειραματική διαπίστωση σε όλα τα υδάτινα συστήματα που εμφανίζουν φαινόμενα ανοξίας είναι οι υψηλά μετρούμενες συγκεντρώσεις υδροθείου. Επιχειρήθηκε συνεπώς μία περιγραφή του μηχανισμού παραγωγής του υδροθείου σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου καθώς και της ιδιαίτερης τοξικότητάς του στους ζώντες οργανισμούς των συγκεκριμένων υδάτινων συστημάτων. Επιπλέον παρουσιάστηκαν συνοπτικά οι αντιδράσεις των οργανισμών σε συνθήκες χαμηλού οξυγόνου καθώς και οι ιδιαίτερες προσαρμογές τους για την επιβίωση.

Τέλος έγινε μία σύντομη περιγραφή των δύο σημαντικότερων ελληνικών λιμνοθαλασσών στις οποίες επικρατούν φαινόμενα ανοξίας η συχνά καταγράφονται δυστροφικές κρίσεις της λιμνοθάλασσας Αιτωλικού και της λιμνοθάλασσας Πάπα. Για τις λιμνοθάλασσες αυτές έγινε γεωφυσική περιγραφή τους, περιγραφή των υπαρχουσών κλιματολογικών συνθηκών στις διάφορες εποχές του χρόνου καθώς και συνοπτική παρουσίαση της ανθρωπογενούς επίδρασης στην περιβαλλοντική τους κατάσταση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agostini, S., Pergent, G., Marchand, B. 2003. Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* in a coastal lagoon. *Aquatic Botany*. 76. 185-193

Aliaume, C., Do Chi, T., Viaroli, P., Zaldivar, J.M. 2007. Coastal lagoons of Southern Europe: recent changes and future scenarios. *Transitional Waters monographs*. 1: 1-12

APHA, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. L.S. Clesceri, A.E. Greenberg & A.D. Eaton (Eds), American Public Health Association, 1220pp

Ardizzone, G.D., S. Cataudella and R.Rossi 1988. Management of coastal lagoon fisheries and aquaculture in Italy. *FAO Fish, Tech, Pap*, (293).

Atkinson, M.J., Smith, S.V. 1983. C: N: P ratios of benthic marine plants. *Limnology and Oceanography*. 28(3): 568–74

Baden SP, Loo Lo, Pihl L, Rosenberrg R 1990. Effects of eutrophication on benthic communities in cluding fisf: Swedish west coast. *Ambio* 19:113-122.

Brauns, M., Garcia, X. F., Pusch, M. T., Walz, N. 2007a. Eulittoral macroinvertebrate communities of lowland lakes: discrimination among trophic states. *Freshwater Biology*. 52: 1022–1032

Carrada G.C and E. Fresi,1988, Le lagune salmastre costiere. Alcune riflessioni sui problemi e sui metodi, G.C Carrada, F Cicogna, E Fresi, Editors , Le lagune costiere, ricerca e gestione, CLEM, Massalubrense (Italy) (1988), pp. 35–56.

Hatzikakidis, A., 1951. Seasonal hydrological study in Mesolongi – Etoliko

Castel J, Caumette P, Herbert R (1996) Eutrophication gradients in coastal lagoons as exemplified by the basin d'Arcachon and the Etang du Provost. *Hydrobiologia*. 329: 9–28

Cuomo MC (1985) Sulphide as a larval settlement cue for *Capitella* sp. I. *Biogeochemistry* 1:169–181

Dassenakis, M., Krasakopoulou, E. & Matzara, B., 1994. Chemical characteristics of Etoliko lagoon, Greece, after an Ecological Shock. *Marine Pollution Bulletin*, 28 (7): 427-433.

Deegan, L.A., Wright, A., Ayvazian, S.G., Finn, J.T., Golden, H., Rand-Merson, R., et al. 2002. Nitrogen loadings alter seagrass ecosystem structure and support of higher trophic levels. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 12: 193–212.

BREITBURG DENISE Effects of Hypoxia, and the Balance between Hypoxia and Enrichment, on Coastal Fishes and Fisheries. The Academy of Natural Sciences, Estuarine Research Center 10545 Mackall Road, St. Leonard, Maryland 20678

Diaz RJ, Rosenberg R (1995) Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 33: 245–303

Duarte, C.M.. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*. 41. 87-112

Fenchel T, Blackburn TH (1979) Bacteria and mineral cycling. Academic Press, London

Grays JS, 1992. Eutrophication in the sea. In: Colombo G, Ferrari I, Ceccherelli VU, Rossi R, eds. *Marine Eutrophication and Population Dynamics*. Fredensborg: Olsen and Olsen, 3-15.

Gray JS, Wu RSS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 238: 249–279

Hiroki K (1978) Resistance of marine gastropods to oxygen deficiency and hydrogen sulphide. *Biol Fisiol Anim Sao Paulo* 2:33–42

Jobling M (1993) Bioenergetics: feed intake and energy partitioning. In: Rankin JC, Jensen FB (eds) *Fish ecophysiology*. Chapman and Hall, London

Jørgensen BB, Richardson K (eds) (1996) Eutrophication in coastal marine ecosystems. American Geophysical Union, Washington, DC

Karlson K, Rosemberg R, Bonsdorff E. 2002. Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic Fauna in Scandinavian and Baltic waters. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 40:427-489

Karydis, M., (1999). Evaluation of the trophic levels in Greek coastal ecosystems. Scientific Report. University of Aegean, Lesbos.

Keckeis H, Bauer-Nemeschkal E, Kamler E (1996). Effects of reduced oxygen level on the mortality and hatching rate of *Chondrostoma nasua* embryos. *J Fish Biol* 49:430–440

Kjerfve, B., 1994. Coastal Lagoon Processes. Elsevier Science B. v., Amsterdam, xx + 577 p.

Kramer Donald L. Dissolved oxygen and fish behavior. Department of Biology, McGill University, 1205 avenue Docteur Penfield, Montreal, Quebec H3A 1B1 Canada

Krasakopoulou E, Pagou K (2011) Seasonal steady-state budgets of nutrients and stoichiometric calculations in an Eastern Mediterranean lagoon (Papagos Lagoon-Greece). *Mediterranean Marine Science* 12: 21-41

LACROIX, G., 1991: Lacs et rivières. Bourdass, Paris.

Lassere P., 1979. Les lagons cotiers. Ecosystemes refuges, foyers de culture et cibles d'expansion économique. *Nature et ressources*, XV (4): 1-21

Leonardos I. & Sinis A., 1997. Fish mass mortality in the Etolikon lagoon, Greece: The role of local geology. *Cybiu*, 21 (2): 201-206.

Marcomini, A., Sfriso, A., Pavoni, B., Orto, A.A. 1995. Eutrophication of the lagoon of Venice: Nutrient loads and exchanges. 59-80. Ed. CRC Press

MIKE 21, 2001, Coastal Hydraulics and Oceanography, User guide, Denmark

MOLLER, H, & K. ANDERS, 1986. Diseases and parasites of marine fishes. Kiel, 365pp

Millero, F.J., (1996). *Chemical Oceanography*, 2nd Edition, CRC Press.

Miller DC, Poucher SL, Coiro L, Rego S, Munns W (1995) Effects of hypoxia on growth and survival of crustaceans and fishes of Long Island Sound. In: McElroy A, Zeidner J (eds) *Proceedings of the Long Island Sound Research Conference: is the Sound getting better or worse*. New York Sea Grant Institute, Stony Brook, NY, p 1-92

Moore, K.A., Wetzel, R.L. 2000. Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 244: 1-28.

Nichols M, Allen G (1981) Sedimentary processes in coastal lagoons. In: *Coastal lagoon: Research, Present and Future*. UNESCO Technical Papers in Marine Science 33, pp.27-80, Paris.

Nicolaidou A., S. Reizopoulou, D. Koutsoubas, S. Orfanidis, Th. Kevrekidis. Lagoons pp.211-268: In Papathanasiou E., A. Zanos (eds) 2005a. State of the marine environment, Hellenic Center for Marine Research, Athens, Greece Nicolaidou, A., Reizopoulou, S., Koutsoubas, D., Orfanidis, S., Kevrekidis, T.. 2005. Biological components of Greek lagoonal ecosystems: an overview. *Mediterranean Marine Science*. 6. 2. 31-50

- Nilsson HC, Rosenberg R (1994) Hypoxic response of two marine benthic communities. *Mar Ecol Prog Ser* 115: 209–217
- Nixon, S.W. (1995). “Coastal Marine Eutrophication - A Definition, Social Causes, and Future Concerns”, *Ophelia*, 41, 199-219.
- Norkko A, Bonsdorff E. 1996. Rapid 220 benthic community responses to accumulations of drifting algae. *Marine Ecology Progressive Series* 131:143-157.
- Odum, e.p., 1971. *Fundamentals of ecology*. 3rd Edition, W.B.Saunders, Philadelphia, 574 pp.
- Orfanidis, S., Stamatis, N., Ragias, V., Schramm, W. 2005. Eutrophication patterns in an eastern Mediterranean coastal lagoon: Vassova, Delta Nestos, Macedonia, Greece. *Mediterranean Marine Science*. 6. 2. 17-30
- Papathodorou G, Avramidis P, Fakiris E, Christodoulou D, Kontopoulos N (2012) Bed diversity in the shallow water environment of Pappas lagoon in Greece. *International Journal of Sediment Research* 27: 1-17
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Fernandez, C., Ferrat, L., Tomaszewski, J.E. & G. Pergent. 2006. Wetland monitoring: aquatic plant changes in two Corsican coastal lagoons (Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 16. 43-60
- Pearson TH, Josefson AB, Rosenberg R (1985) Petersen's stations revisited. I. Is the Kattegat becoming eutrophic? *J Exp Mar Biol Ecol* 92:157–206
- Pichavant K, Person le Ruyet J, Le Bayon N, Severe A and 5 others (2001) Effects of hypoxia on metabolism and growth in juvenile turbot. *Aquaculture* 188:103–114
- Pietsch, W., 1982. Makrophytische Indikatoren für die ökochemische Beschaffenheit der Gewässer. In: *Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung*, Band II 2. Aufl. Seite. Veb Gustav. Fischer Verlag Jena:67 – 88.
- Pihl L (1989) Effects of oxygen depletion on demersal fish in coastal areas of the southeast Kattegat. In: Ryland JS, Tyler PA (eds) *Reproduction, genetics and distributions of marine organisms*. Olsen & Olsen, Fredensborg, p 431–439
- Pihl L, Baden SP, Diaz RJ (1992) Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. *Mar Biol* 108:349–360
- Pihl L, Baden SP, Diaz RJ, Schaffner LC (1994) Hypoxia induced structural changes in the diet of bottom-feeding fish and crustacea. *Mar Biol* 112:349–361
- Reish DJ (1970) The effects of varying nutrients, chlorinity and dissolved oxygen on polychaetous annelids. *Water Res* 4:721–735

- Reizopoulou, S. & Nicolaidou, A. 2004. Benthic diversity of coastal brackish-water lagoons in western Greece. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14: S93–S102
- Renaud ML (1986) Detecting and avoiding oxygen deficient sea water by brown shrimp *Penaeus aztecus* (Ives) and *P. setosa* (L.). *J Exp Mar Biol Ecol* 98:283–292
- Richardson K, Heilmann J (1995) Primary production in the Kattegat: past and present. *Ophelia* 41:317–328
- Riley, J. P., & Chester, R. 1971. *Introduction to marine chemistry*. Academic Press, London and New York. xiv + 465 p
- Rosenberg R (1972) Benthic faunal recovery in a Swedish fjord following the closure of a sulphite pulp mill. *Oikos* 23:92–108
- Rosenfeld, J.K., 1979. Ammonium adsorption in near shore anoxic sediments. *Limnol. Oceanogr.* 24:356-364.
- Sfriso, A., Marcomini, A. 1996. Decline of *Ulva* growth in the lagoon of Venice. *Bioresource Technology*. 58. 299-307
- Sfriso, A., Marcomini, A. 1997. Macrophyte production in a shallow coastal lagoon. Part I: coupling with chemico-physical parameters and nutrient concentrations in waters. *Marine, Environmental Research*. 44. 4. 351-375
- Stachowitsch M (1984) Mass mortality in the Gulf of Trieste: the course of community destruction. *PSZN I: Mar Ecol* 5:243–264
- Stirn J.(1988). Eutrophication in the Mediterranean Sea. *UNESCO Reports in Marine Science*, 49: 161-188.
- Strzyewska K (1978) Baltic herring-catches, biology, resources. In: Manowski W (ed) *Produktownosc ekosystemu morza Baltycznego*. *Studia i Materialy Oceanologiczne* Komitet Badan Morza, Polska Akad Nauk, Wroclaw, p 163–191
- Strzyewska K, Popiel J (1974) Changes in the growth of herring in the southern Baltic. *Ber Dtsch Wiss Komm Meeresforsch* 23:268–272
- Suzuki, M.Y., Sherr, E.B., Sherr, B.F. 1996. Estimation of ammonium regeneration efficiencies associated with bacterivory in pelagic food webs via a ¹⁵N tracer method. *J Plankton Res.* 18: 411-428
- Terrados, J. 1991 *Crecimiento y producción de las praderas de macrófitos del Mar Menor, Murcia*. Ph.D. thesis, University of Murcia
- Thurston RVMS, Russo RC, Phillips G (1983) Acute toxicity of ammonia to rainbow trout and fathead minnows. *Trans Am Fish Soc* 112:705–711

Tournier H, Hamon PY, Arnaud P (1979) Développement de la malaïgue en 1975 dans l'étang de Thau. Rapport. Comm. Int. Mer Médit. 25-26/03, pp. 103-104

Trussel, R.P. 1972. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1505-1507

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1986)
Quality criteria for water—1986. (EPA 440/5-86-001).
USEPA, Washington, DC

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1989)
Ambient water quality criteria for ammonia (saltwater).
Misc Rep Ser, USEPA, Washington, DC

Val AL, Silva MNP, Almeida-Val VMF (1998) Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. S Afr J Zool 33:107–114

Vignes F, Barbone E, Breber P, D'Adamo R, Leonilde R, Ungaro N, Focardi S, Renzi M, Basset A (2009) Spatial and temporal description of the dystrophic crisis in Lesina lagoon during summer 2008. Transitional Waters Bulletin 3(2): 47-62

Van Donk, E., Gulati, R.D., Iedema, A., Meulemans, J. T. 1993. Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of the different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. Hydrobiologia. 251: 19-26

Viaroli, P., Lasserre, P., Campostrini, P. 2007. Preface. Hydrobiologia. 577. 1-3

Viaroli, P., Bartoli, M., Giordani, G., Naldi, M., Orfanidis, S. and Zaldivar, M. J. 2008. Community shifts, alternative stable states, biogeochemical controls and feedbacks in eutrophic coastal lagoons: a brief overview. Aquatic conserv: Mar. freshw. ecosyst. 18: s105–s117

VINCENZI, S and S., PUGNAGHI, 1996. Temperature of shallow lagoon(solar and tidal cycle interaction).Journal of Hydrology 179:377-389.

Vollenweider, R. A. (1992). *Coastal marine eutrophication: principles and control*, in *Marine Coastal Eutrophication* (eds. R. A. Vollenweider, Marchetti, R. and Viviani, R.). J. Science of the Total Environment, Elsevier, Amsterdam, Suppl. 1992, pp. 1-20.

Wajsbrodt N, Gasith A, Krom MD, Samocha TM (1990) Effect of dissolved oxygen and the molt stage on the acute toxicity of ammonia to juvenile green tiger prawn *Penaeus semisulcatus*. Environ Toxicol Chem 9:497–504

Wajsbrodt N, Gasith A, Krom MD, Popper DM (1991) Acute toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* under reduced oxygen levels. Aquaculture 92: 277–288

Wasmund N., Andrushaitis A., Lysiak-Pastuszak E., Müller-Karulis B., Nausch G., Neumann T., Ojaveer H., Olenina I., Postel L., Witek Z., 2001. Trophic status of the

South-Eastern Baltic Sea: A comparison of coastal and open areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53, 849–864

Weber, J.-M., Kramer, D.L., 1983. Effects of hypoxia and surface access on growth, mortality, and behavior of juvenile guppies, *Poecilia reticulata*. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 40, 1583–1588

Wrezinski O (1983) Changes in the growth rate of the herring coastal spring spawners in the Gulf of Gdansk. *Int Counc Explor Sea Comm Meet J* 1–12

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιάννη Α., Ζαχαρίας Ι, 2009. Εξακολουθεί η λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού να είναι μόνιμα ανοξική; 9ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας 2009 - Πρακτικά, Τόμος ΙΙ

Δανηλίδης, Δ., 1991. Συστηματική και οικολογική μελέτη των διατόμων των λιμνοθαλασσών Μεσολογίου Αιτωλικού και Κλείσοβας. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθήνας.

ΕΚΘΕ (1999) Παρακολούθηση του οικοσυστήματος λιμνοθάλασσας ΠΑΠΑ ακρωτηρίου Άραξου Αχαΐας και προτάσεις διαχείρισης και προστασίας αυτής. Τελική έκθεση

Ζαλίδης, Χ.Γ. και Μαντζαβέλας Α.Λ. (Συντονιστές έκδοσης) 1994. Απογραφή Ελληνικών Υγροτόπων ως Φυσικών Πόρων (Πρώτη προσέγγιση) Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) xviii+587pp

(ΙΩΑΝΝΗΣ Δ.ΛΕΟΝΤΑΔΟΣ, 1999 Διδάκτωρ Βιολογίας: ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ Ή ΕΥΞΙΝΟΣ ΠΟΝΤΟΣ. ΩΛΕΟΝΟΣ τεύχος 35ο σελ.9. Άρθρο)

(ΙΩΑΝΝΗΣ Δ.ΛΕΟΝΤΑΔΟΣ, 1999 Διδάκτωρ Βιολογίας : ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ Ή ΕΥΞΙΝΟΣ ΠΟΝΤΟΣ. ΩΛΕΟΝΟΣ τεύχος 35ο σελ.11. Άρθρο)

ΚΟΓΙΑ Φ. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ Α. ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ Π.(2003) Διείσδυση Θάλασσας στη Λιμνοθάλασσα Βιστωνίδα και η Περιβαλλοντική Σημασία της. στο Ποιότητα, Διαχείριση και Αποκατάσταση Λιμνών και Παράκτιων Υδατικών Οικοσυστημάτων σελ.322

ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ-ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ, Μ., 1992: Γενική Ζωολογία. Γιαχούδη, Γιαπουλή, Θεσσαλονίκη.

ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ-ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ, Μ., Βιολογικός Δείκτης (Β.Δ.) Καθαρότητας Νερών (Trent Biotic Index), Εργ. Ζωολογίας Βιολογικού Τμήματος Α.Π.Θ.

Μπούζος Δ και Κοντόπουλος Ν., 2004, Χωρική έρευνα επί των φυσικών παραμέτρων στην λιμνοθάλασσα του Πάππα (ΒΔ/κη Πελοπόννησο), 7^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρία, Μυτιλήνη 14-17 Οκτωβρίου.

Ξένος Δ. Κ., 1999. Χημική Ωκεανογραφία ΙΙ, Εργαστηριακές Ασκήσεις, Μακεδονικές εκδόσεις, εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ, Αθήνα.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ, Π., 1991: Ιχθυολογία, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Σκούλλος Μ., 1997. Χημική Ωκεανογραφία: Μια εισαγωγή στη χημεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, Αθήνα

Χαλκιάς, Γ., 2006. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για μέτρηση βαρέων μετάλλων σε υδάτινα οικοσυστήματα. Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης. Εφαρμογή στη λίμνη Τριχωνίδα και στη λιμνοθάλασσα Αιτωλικού. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Χαραλάμπους Αικατερίνη, Υδατικό Περιβάλλον, 2006

Χατζικακίδης, Α., 1951. Εποχικά υδρολογικά έρευναι εις ταις λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου-Αιτωλικού. Πρακτικά του Ελληνικού Υδροβιολογικού Ινστιτούτου, Τόμος V, Τεύχος 1.

Ψιλοβίκος, Α., 1995α. Έρευνα εκτίμησης και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης του κάτω Αχελώου για την ανάπτυξη και την περιβαλλοντική αναβάθμιση του δέλτα των λιμνοθαλασσών και του συνόλου της περιοχής, τεύχη Γ1 και Γ2, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ψιλοβίκος, Α., 1995β. Έρευνα εκτίμησης και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης του κάτω Αχελώου για την ανάπτυξη και την περιβαλλοντική αναβάθμιση του Δέλτα των λιμνοθαλασσών του και του συνόλου της περιοχής. Ερευνητικό πρόγραμμα 8477 της επιτροπής ερευνών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, ΑΠΘ.

Κ. Χαραλαμπίδου¹, Γ.Δ. Γκίκας¹, Δ. Δημητρίου¹, Β.Α. Τσιχριντζής^{1*},

Γ.Κ.Συλαίος^{1,2} και Δ.Μάρκου^{1,2}(2003) ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΕ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Σκουλικίδης Ν. (επιμέλεια έκδοσης), Α. Οικονόμου, Η. Δημητρίου,, Λ. Βαρδάκας, Ι. Καραούζας, Γ. Αμαξίδης και Ε.

Οικονόμου (2008). Εκτίμηση κινδύνων από τη διαχείριση νερού στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα. Τελική Τεχνική Έκθεση 2,

LIFE-ENVIRONMENT: LIFE0 5 ENV/GR/000245 «ENVIRONMENTAL FRIENDLY TECHNOLOGIES FOR RURAL DEVELOPMENT.