



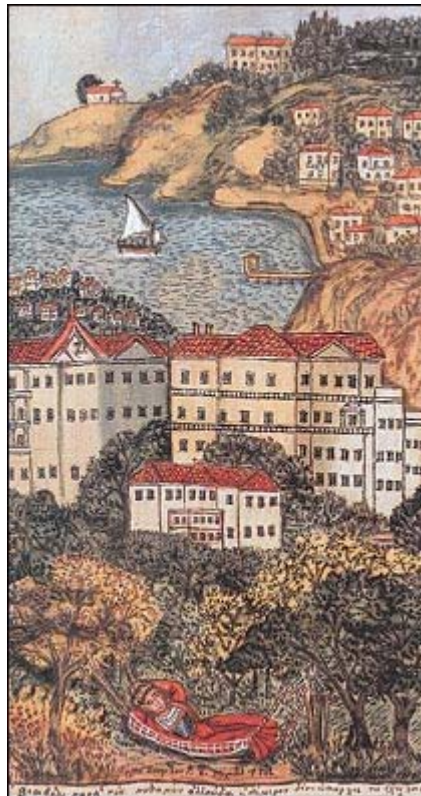
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

**“Απόκριση παρακτίου θαλασσιού οικοσυστήματος στην φόρτιση
θρεπτικών από την χέρσο: Ορισμός τιμών κατωφλίου”**

Αγγελική Σαμπατακάκη

Διατριβή Εξειδίκευσης



Επιβλέπων: Γ. Τσιρτσής, Επικ. Καθηγητής

Μυτιλήνη 2007

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
1. Εισαγωγή	4
1.1 Θρεπτικά στο θαλάσσιο περιβάλλον	4
1.1.1 Θρεπτικά	4
1.1.2 Άζωτο	4
1.1.3 Φώσφορος	5
1.1.4 Πορίτιο	5
1.2 Ευτροφισμός στην παράκτια ζώνη	6
1.3 Παράγοντες υπερεμπλουτισμού από θρεπτικά	7
2. Στόχοι-Πειραματικός σχεδιασμός	8
3. Μεθοδολογία.....	9
3.1 Ανάπτυξη κριτηρίων για θρεπτικά – διαχειριστικά εργαλεία	9
3.1.1 προσδιορισμός περιοριστικού παράγοντα – λόγος <i>Redfield</i>	9
3.1.2 Μοντέλο <i>Vollenweider</i>	10
3.1.3 κατανομή <i>P-N</i>	13
3.2 Μοντέλο Εισροών	13
3.3 Η περιοχή μελέτης – περιγραφή του κόλπου Γέρας.....	14
3.2.1 Λεκάνη απορροής	15
3.2.2 Θαλάσσιο σύστημα	16
3.2.3 Δεδομένα	17
4. Αποτελέσματα	19
4.1 Σχέση των ανόργανων θρεπτικών μεταξύ τους και με την χλωροφύλλη – <i>a</i> στο θαλάσσιο σύστημα.	19
4.2 Κατανομή αζώτου, φωσφόρου και χλωροφύλλης – <i>a</i> στο χρόνο	29
4.3 Περιοριστικός παράγοντας.....	30
4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εισροών από χέρσο	32
4.5 Ορισμός κατωφλίου εισροής νιτρικών στον κόλπο της Γέρας.....	33
5. Συμπεράσματα	36
Βιβλιογραφία	38
Διεθνής	38
Ελληνική.....	39
Παράρτημα 1: Δημοσιευμένη εργασία.....	40
Παράρτημα 2: Ευρετήριο πινάκων	42
Παράρτημα 3: Ευρετήριο σχημάτων	45

Περίληψη

Η εισροή θρεπτικών στο θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί αιτία υπερεμπλουτισμού του συστήματος με δυσμενείς επιπτώσεις στους ανθρώπους και το οικοσύστημα. Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια κατανόησης της σχέσης των θρεπτικών και της χλωροφύλλης στον κόλπο της Γέρας, πως επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις τους από χερσαίες απορροές και ποιος είναι ο περιοριστικός παράγοντας του συστήματος. Τελικός στόχος είναι η δημιουργία ενός καταφλίου ανάπτυξης ευτροφικών επεισοδίων στο σύστημα. Η διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ φωσφορικών, αζώτου και χλωροφύλλης-α έγινε με τον δείκτη Spearman σύμφωνα με τον οποίο τα νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά και χλωροφύλλη – α έχουν θετική σχέση, ενώ η αμμωνία με τα παραπάνω παρουσιάζει αρνητική σχέση. Εξωτερικά του κόλπου η χλωροφύλλη με το ολικό ανόργανο άζωτο δείχνουν θετική σχέση, ενώ τα φωσφορικά δεν εμφανίζουν κάποια σχέση με την χλωροφύλλη -α. Από την συσχέτιση των στοιχείων μέσα και έξω από τον κόλπο προέκυψε θετική σχέση των φωσφορικών και του ολικού ανόργανου αζώτου. Πιθανότατα, γιατί η ανανέωση του κόλπου οφείλεται στην παλίρροια. Γενικά, εξωτερικά και εσωτερικά του κόλπου παρατηρούνται δύο διαφορετικά τροφικά πρότυπα. Σύμφωνα με τον λόγο του Redfield περιοριστικός παράγοντας του συστήματος είναι το άζωτο. Έτσι, οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης – α είναι υψηλές την περίοδο των βροχοπτώσεων που εισέρχονται θρεπτικά στον κόλπο. Η εισροή θρεπτικών υπολογίστηκε με το μοντέλο εισροών που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος DITTY. Για τον ορισμό καταφλίου φερτών θρεπτικών χρησιμοποιήθηκε μία σχέση βασισμένη στην εξίσωση Vollenweider, όπως αυτή εφαρμόζεται στα παράκτια οικοσυστήματα. Ως ογκομετρικό όριο χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή της κατανομής P-N που έχει υπολογιστεί για την περιοχή του Αιγαίου. Ο χρόνος ανανέωσης του νερού είναι καθοριστικός παράγοντας για τον ορισμό του καταφλίου. Σύμφωνα με το όριο και τις συγκεντρώσεις νιτρικών το κατώφλι που ορίστηκε ξεπερνιέται τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και οριακά τον Μάρτιο, δηλαδή την περίοδο των βροχοπτώσεων. Το κατώφλι που ορίστηκε αποτελεί ένα επιπρόσθετο διαχειριστικό εργαλείο της περιοχής. Προσδιορίζοντας κάθε φορά με ακρίβεια τους συντελεστές της εξίσωσης μπορεί να προσδιοριστεί το όριο οποιασδήποτε άλλης περιοχής. Αν αντί τις μέσης τιμής χρησιμοποιηθεί ένα διάστημα γύρω από αυτήν τότε προκύπτουν κλιμακωτά κατώφλια ευτροφισμού. Τέλος, σε περιόδους στρωμάτωσης θα ήταν ακριβέστερο να λαμβάνεται υπόψιν μόνο ο όγκος του νερού που ανανεώνεται.

1. Εισαγωγή

1.1 Θρεπτικά στο θαλάσσιο περιβάλλον

1.1.1 Θρεπτικά

Τα ανόργανα θρεπτικά αποτελούν χημικούς οικοδομικούς λίθους των υδάτινων οικοσυστημάτων. Κάποια απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες για την κυτταρική ανάπτυξη και είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο, ο φώσφορος, το άζωτο, το θείο, το πυρίτιο και ο σίδηρος. Μικρότερες ποσότητες σε μαγγάνιο, χαλκό και ψευδάργυρο είναι επίσης απαραίτητες. Η μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού έχει εστιαστεί σε τέσσερα μακροθρεπτικά: φώσφορος, άζωτο, άνθρακας και πυρίτιο.

1.1.2 Άζωτο

Το άζωτο είναι ένα από τα πιο σημαντικά περιοριστικά θρεπτικά των αυτότροφων οργανισμών. Μεγάλη έρευνα έχει επικεντρωθεί στο ρόλο του ανόργανου αζώτου στην παραγωγή φυτοπλακτονικής βιομάζας. Ωστόσο, περίπου το 70% του διαλυμένου αζώτου που μεταφέρεται από τους ποταμούς είναι διαλυμένο οργανικό N (DON). Σε αντίθεση με τον φώσφορο, ο έλεγχος των πηγών αζώτου είναι δυσκολότερος λόγω της διάχυσης N απευθείας από την ατμόσφαιρα (Lerman et al., 2000). Επίσης, οι μορφές διαλυμένου ανόργανου αζώτου, κυρίως νιτρικά και νιτρώδη, είναι ιδιαίτερα διαλυτές και δεν κατακρημνίζονται εύκολα ή ιζηματοποιούνται όταν το γλυκό νερό εισέρχεται στην υφάλμυρη ζώνη των εκβολών, όπως συνηθίζει ο ανόργανος φώσφορος (EPA, 2001).

Το ολικό άζωτο που μετρείται ως δείκτης ποιότητας νερού περιλαμβάνει τόσο τις οργανικές όσο και ανόργανες μορφές του. Οι μορφές αζώτου είναι:

- Ελεύθερο άζωτο N_2
- Αμμώνιο NH_4^+ / αμμωνία NH_3
- Νιτρώδη NO_2^- / νιτρικά NO_3^-
- Οργανικό άζωτο

Αν και κάποιες διαλυμένες οργανικές μορφές αζώτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την φυτοπλακτονική ανάπτυξη, κυρίως αν αποικοδομούνται από βακτηριοπλακτόν, αυτό και οι σωματιδιακές μορφές οργανικού N συμμετέχουν στην παραγωγή βιομάζας μέσω των διεργασιών ανακύκλωσης (Carone and Knapp, 2007). Το ανόργανο άζωτο περιέχει νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνία. Η αμμωνία είναι μία πρωτογενής παραγωγή της μικροβιακής αποικοδόμησης του οργανικού N και αν δεν χρησιμοποιηθεί απευθείας μπορεί να οξειδωθεί μέσω της νιτροποίησης σε νιτρικά και νιτρώδη. Στις εκβολές οι συγκεντρώσεις N, κυρίως ανόργανων μορφών, ποικίλουν ανάλογα την εποχή, το έτος και κατά μήκος του gradient της αλατότητας. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών μπορεί να φτάσουν ασυνήθιστα υψηλές τιμές λόγω εισροής από τις διάφορες χρήσεις γης μέσω των σημειακών και μη σημειακών πηγών (EPA, 2001).

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στον κύκλο του αζώτου είναι:

Νιτροποίηση (Nitrification): είναι η μετατροπή του NH_4^+ σε NO_3^- μέσω της δράσης συγκεκριμένων ομάδων αερόβιων βακτηρίων. Διεργασία ιδιαίτερα σημαντική στο θαλάσσιο περιβάλλον που πραγματοποιείται εκτός της ευφωτικής ζώνης γιατί οι ενζυματικές λειτουργίες αυτών των βακτηρίων αναστέλλονται από το φως.

Απονιτροποίηση (Denitrification): πραγματοποιείται σε περιβάλλοντα με χαμηλές συγκεντρώσεις O_2 , με αποτέλεσμα την μετατροπή των νιτρικών σε ελεύθερο άζωτο και σε μικρότερες ποσότητες N_2O και NO .

Αζωτοδέσμευση (Nitrogen fixation): πρόσληψη N_2 από φωτοσυνθέτες οργανισμούς και μετατροπή του σε οργανικό N και στη συνέχεια σε NH_4^+ (Γώγου, 2006).

Όταν το οργανικό υλικό αποσυντίθεται στο θαλάσσιο περιβάλλον το κύριο προϊόν είναι το αμμώνιο, ενώ σε μικρότερες ποσότητες παράγεται ουρία και άλλες αζωτούχες ενώσεις. Δεν παράγονται νιτρικά. Στην ευφωτική ζώνη τα νιτρικά προέρχονται κυρίως από αναβλύσεις και ανάμιξη των επιφανειακών με τα βαθύτερα στρώματα ενώ το αμμώνιο από αποσύνθεση του οργανικού υλικού (Carone and Knapp, 2007).

1.1.3 Φώσφορος

Ο φώσφορος στα φυσικά νερά και στα λύματα καταγράφεται με τη μορφή φωσφορικών αλάτων. Αυτά είναι ταξινομημένα ως ορθοφωσφορικά, συμπυκνωμένα φωσφορικά άλατα και οργανικά δεσμευμένα φωσφορικά άλατα. Τα παραπάνω μπορεί να είναι είτε διαλυμένα, είτε σωματίδια, είτε ενσωματωμένα ως οργανικός P στους οργανισμούς (Sturgul and Bundy, 2004). Ο φώσφορος είναι βασικός για τη ζωή, για την ανάπτυξη των οργανισμών και την παραγωγή φυτοπλαγκτονικής βιομάζας. Στα συστήματα γλυκού νερού, εκβολικά και παράκτια μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα (EPA, 2001). Μεταξύ άλλων έχει κρίσιμο ρόλο στα γενετικά συστήματα και στην δημιουργία και μεταφορά της κυτταρικής ενέργειας (Chapra, 1997).

Από την πλευρά ποιότητας νερού είναι ιδιαίτερα σημαντικός γιατί συνήθως βρίσκεται σε μικρά αποθέματα σε σχέση με άλλα μακροθρεπτικά. Αυτό οφείλεται κυρίως σε τρεις παράγοντες:

1. Δεν βρίσκεται σε αφθονία στον φλοιό της γης. Επιπλέον, ο ανόργανος φώσφορος που υπάρχει δεν είναι ιδιαίτερα διαλυτός.
2. Δεν υπάρχει σε αέρια μορφή. Έτσι, σε αντίθεση με το άζωτο και τον άνθρακα δεν υπάρχει αέρια ατμοσφαιρική πηγή φωσφόρου.
3. Τέλος, ο φώσφορος τείνει να απορροφάται έντονα σε μικρούς σωματιδιακούς κόκκους. Η καθίζηση αυτών των κόκκων, μαζί με την ιζηματοαπόθεση των οργανικών σωματιδίων που περιέχουν φώσφορο, συμβάλλουν στην απομάκρυνση φωσφόρου από το νερό στο βάθος των ιζημάτων. Για τις περιπτώσεις όπου το νερό που έρχεται σε επαφή με τα ιζήματα περιέχει οξυγόνο, αυτά τα ιζήματα γίνονται χημικά παγιδευμένα (Chapra, 1997).

Αν και ο φώσφορος είναι φυσικά σπάνιος, πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες ελευθερώνουν φώσφορο στο νερό. Τα ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες (Boesch, 2001). Στο πρόσφατο παρελθόν πολλά λύματα περιείχαν και καθαριστικά φωσφόρου. Επιπρόσθετα, μη σημειακές πηγές από γεωργικές και αστικές χρήσεις γης συμβάλλουν στην ύπαρξη μεγάλων συγκεντρώσεων φωσφόρου (Lerman et al., 2000).

1.1.4 Πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι σημαντικό θρεπτικό που χρησιμοποιείται από τα διάτομα και έχει μελετηθεί λιγότερο σε σχέση με το άζωτο και τον φώσφορο. Το διαλυμένο πυρίτιο είναι προϊόν αποσάθρωσης και διάβρωσης με διαδοχική μεταφορά στη θάλασσα. Επειδή δεν προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές, εκτός πιθανόν από τα απόβλητα

διάβρωσης υπό την ανθρώπινη επίδραση, δεν θεωρείται υποψήφιος περιοριστικός παράγοντας (EPA, 2001).

1.2 Ευτροφισμός στην παράκτια ζώνη

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες συχνά οδηγούν στην αύξηση των συγκεντρώσεων αζώτου και φωσφόρου στην παράκτια ζώνη. Τα λιπάσματα και τα αστικά λύματα που περιέχουν ανόργανα θρεπτικά άλατα μέσω των ποταμών αλλά και των μη σημειακών πηγών καταλήγουν στη θάλασσα συμβάλλοντας στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής με συνέπεια σειρά αρνητικών επιπτώσεων στο οικοσύστημα (Boesch, 2001).

Πρωτογενείς επιπτώσεις που καταγράφονται είναι: φυτοπλαγκτονικές εξάρσεις, αύξηση της βιομάζας των βενθικών φυκών, αύξηση της βιομάζας θαλασσίων μακροφύτων, συγκέντρωση νεκρών κυττάρων φυτοπλαγκτού στην επιφάνεια της θάλασσας (Καρύδης, 2006; Howarth et al., 2000).

Επίσης παρατηρούνται δευτερογενείς επιπτώσεις όπως: κύκλοι βακτηριακών εξάρσεων, ανάπτυξη μυκήτων, ελάττωση της διαφάνειας του νερού, επιβίωση παθογόνων βακτηρίων, δυσμενείς επιπτώσεις στους λουόμενους (Καρύδης, 2006; Howarth et al., 2000).

Επειδή οι ανθρωπογενείς διεργασίες οδηγούν σε αύξηση του N και του P και λιγότερο του Si, δεν ευνοούν την επικράτηση πυριτικών φυτοπλαγκτονικών ειδών (διατόμων), και παρατηρείται μετατόπιση προς άλλα είδη (δινομαστιγωτά) που δεν απαιτούν υψηλές συγκεντρώσεις Si. Έτσι, ο ευτροφισμός μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη τοξικών ειδών φυτοπλαγκτού, τα οποία παράγουν νευροτοξίνες (κυρίως δινομαστιγωτά) (Howarth et al., 2000). Οι τοξίνες αυτές μπορεί να προκαλέσουν μέχρι και θάνατο, κυρίως αν συγκεντρωθούν από οργανισμούς. Το φαινόμενο εμφανίζεται εντονότερο συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της στρωμάτωσης των υδάτων (Γώγου, 2006).

Για την καλύτερη μελέτη του θαλάσσιου οικοσυστήματος έχουν οριστεί επίπεδα ευτροφισμού. Οι τιμές των επιπέδων εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Για τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο τα επίπεδα ευτροφισμού που έχουν προσδιοριστεί για τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α είναι (Gotsis – Skretas and Ignatiades, 2005):

Πίνακας 1: Επίπεδα ευτροφισμού στα ελληνικά θαλάσσια οικοσυστήματα (Gotsis – Skretas and Ignatiades, 2005).

Επίπεδο	Συγκέντρωση Chl-a
oligotrophic	$<0,1 \text{ mg} / \text{m}^3$
lower mesotrophic	$0,1 - 0,6 \text{ mg} / \text{m}^3$
higher mesotrophic	$0,6 - 2,0 \text{ mg} / \text{m}^3$
eutrophic	$> 2,0 \text{ mg} / \text{m}^3$

1.3 Παράγοντες υπερεμπλουτισμού από θρεπτικά

Οι παράγοντες που κρίνονται καθοριστικοί για τον υπερεμπλουτισμό των εκβολικών συστημάτων από φερτά θρεπτικά είναι αρκετοί. Οι παράγοντες αυτοί αναμένεται να αυξηθούν και να τροποποιηθούν καθώς συνεχίζεται η προσπάθεια κατανόησης αυτών των συστημάτων. Οι βασικές παράμετροι είναι:

1. διαλυτότητα και χρόνος παραμονής ή ρυθμός ανανέωσης του νερού
2. αναλογία θρεπτικών που εκβάλλουν ανά μονάδα περιοχής
3. ανάμειξη και στρωματοποίηση
4. φυτοπλαγκτονική βιομάζα
5. κυματική έκθεση (ιδιαίτερα σχετική με τη δυναμική του θαλάσσιου γρασιδιού)
6. βαθυμετρία και υψογραφικό προφίλ
7. μέγεθος εισόδου του κόλπου ή άλλα μέτρα που επηρεάζουν την ανανέωση του νερού
(EPA, 2001; Boesch, 2001)

Διαλυτότητα

Το μέγεθος μιας εκβολής επηρεάζει την ικανότητα διάχυσης των εισερχόμενων θρεπτικών. Έτσι, ο ρυθμός εισροής θρεπτικών ανά μονάδα όγκου αποτελεί έναν καλύτερο δείκτη δυναμικότητας του συστήματος από έναν απόλυτο δείκτη ρυθμού εισροής. Αυτός ο λόγος δεν εκφράζει την τοπική δυναμική κοντά στην εκβολή, αλλά στον συνολικό όγκο του νερού. Το ενδεχόμενο τοπικών επιδράσεων μειώνεται όταν η ανάμειξη στο κυρίως σώμα είναι γρήγορη.

Χρόνος ανανέωσης νερού

Τα συστήματα που έχουν μικρό χρόνο ανανέωσης εξάγουν θρεπτικά πιο γρήγορα από αυτά με μεγαλύτερο χρόνο ανανέωσης, με αποτέλεσμα να καταγράφονται μικρότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών (Costa et al., 1999). Επιπλέον, αν ο χρόνος ανανέωσης είναι μικρότερος από το χρόνο διπλασιασμού των φυτοπλαγκτονικών κυττάρων μπορεί να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης φυτοπλαγκτονικών εξάρσεων.

Στρωμάτωση – ανάμειξη

Στα στρωματοποιημένα συστήματα είναι πιθανότερο να καταγραφεί υποξία απ' ότι στα κατακόρυφα αναμεμιγμένα. Η στρωμάτωση όχι μόνο περιορίζει την μεταφορά οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα αλλά και κρατά τα θρεπτικά στην εύρωτη ζώνη, καθιστώντας τα περισσότερο διαθέσιμα στο φυτοπλαγκτόν. Στα συστήματα αυτά είναι καταλληλότερο η εκτίμηση της δυναμικής τους να γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τον όγκο του νερού που βρίσκεται πάνω από το πυκνοκλινές (EPA, 2001).

2. Στόχοι-Πειραματικός σχεδιασμός

Στα πλαίσια ανάπτυξης και εφαρμογής διαχειριστικών εργαλείων στις παράκτιες περιοχές, στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια καλύτερης κατανόησης των σχέσεων ανόργανων θρεπτικών στον κόλπο της Γέρας, πως αυτά επηρεάζουν τα τροφικά επίπεδα του θαλάσσιου συστήματος και πως αυτό αποκρίνεται στον υπερεμπλουτισμό. Τελικός στόχος είναι η δημιουργία ενός εύχρηστου διαχειριστικά κατωφλίου για τον έλεγχο και την πρόληψη του ευτροφισμού σε ένα παράκτιο σύστημα όταν αυτό επηρεάζεται από την εισροή ανόργανων στοιχείων από τις σημειακές και μη σημειακές πηγές της λεκάνης απορροής.

Ερωτήματα – Στόχοι

Για την επίτευξη του τελικού στόχου τέθηκαν επιμέρους στόχοι - ερωτήματα για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος:

- διερεύνηση της σχέσης των ανόργανων θρεπτικών μεταξύ τους και με την χλωροφύλλη –α στο θαλάσσιο σύστημα
- μελέτη της κατανομής ως προς το χρόνο του αζώτου, του φωσφόρου και της χλωροφύλλης -α.
- προσδιορισμός του περιοριστικού παράγοντα στο θαλάσσιο σύστημα.
- αναζήτηση της σχέσης του αζώτου που εισέρχεται στον κόλπο με την χλωροφύλλη – α και τα φαινόμενα ευτροφισμού.

Τα παραπάνω διερευνήθηκαν με τη χρήση του δείκτη συσχετίσεων Spearman και την αναλογία Redfield ώστε να προσδιοριστεί ο περιοριστικός παράγοντας του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Βασικός στόχος: ανάπτυξη εξίσωσης με την χρήση του όρου Vollenweider για τον προσδιορισμό ορίου παροχής ανόργανου αζώτου

Τελικός στόχος είναι ο ορισμός ενός κατωφλίου παροχής θρεπτικών από την λεκάνη απορροής με την χρήση του όρου Vollenweider. Σκοπός είναι να προκύψει ένα όριο θρεπτικών που θα είναι διαχειριστικά εύχρηστο και θα μπορεί να ενταχθεί σε ένα σύνολο δεικτών ποιότητας νερού για τον κόλπο της Γέρας. Με βάση το μοντέλο εισροών από την χέρσο που έχει αναπτυχθεί, η ενσωμάτωση ενός κατωφλίου δίνει τη δυνατότητα στους διαχειριστές να προλάβουν κρίσιμες επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα.

3. Μεθοδολογία

3.1 Ανάπτυξη κριτηρίων για θρεπτικά – διαχειριστικά εργαλεία

3.1.1 Προσδιορισμός περιοριστικού παράγοντα – λόγος Redfield

Ο τρόπος που πραγματοποιείται ο κύκλος των θρεπτικών μέσω της ατμόσφαιρας, του εδάφους και των ωκεανών και συμμετέχει στα βιοτικά αποθέματα μπορεί να περιορίσει τον ρυθμό της βιολογικής παραγωγής και να συμβάλει στην σύνθεση οικοσυστημάτων σε γη και θάλασσα. Σε μία παγκόσμια κλίμακα, ο κύκλος των θρεπτικών επίσης επηρεάζει τις συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα. Οι θαλάσσιοι μικροοργανισμοί, λόγω της ικανότητάς τους να αναπτύσσονται γρήγορα, αποτελούν σημαντική συνιστώσα στον παγκόσμιο κύκλο των θρεπτικών. Η κατανόηση της κατανομής των θρεπτικών και των σταδίων μετασχηματισμού τους είναι ιδιαίτερα σημαντική (Arrigo, 2005).

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα ο Alfred Redfield παρατήρησε ότι η στοιχειώδης σύνθεση του πλαγκτού ήταν εντυπωσιακά όμοια με αυτή των σημαντικότερων διαλυμένων θρεπτικών στο βαθύ ωκεανό. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις ο Redfield πρότεινε ότι η αναλογία νιτρικών – φωσφόρου ($NO_3: PO_4$) 16:1 στη θάλασσα ελεγχόταν από τις ανάγκες του φυτοπλαγκτού που διαδοχικά ελευθερώνει άζωτο και φώσφορο στο περιβάλλον με αυτή την αναλογία, που είναι βέβαια εξαιρετικά ασταθής. Ο λόγος Redfield έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία, κυρίως άνθρακα, συνδέοντας έτσι τους τρεις κύριους βιοχημικούς κύκλους (αζώτου, φωσφόρου, άνθρακα) μέσω των δραστηριοτήτων του θαλάσσιου φυτοπλαγκτού (Arrigo, 2005).

Οι αρχικές παρατηρήσεις του Redfield έχουν επιβεβαιωθεί αρκετές φορές και ο 'λόγος Redfield' παραμένει θεμελιώδης αρχή της στοιχειομετρίας του πλαγκτού και χρησιμοποιείται για την κατανόηση της θαλάσσιας οικολογίας, βιοχημείας και της φυτοπλαγκτονικής ανάπτυξης (Arrigo, 2005). Από την σύγκριση δεδομένων σε 92 οικοσυστήματα παράκτιας ζώνης από όλο τον κόσμο, προέκυψε ισχυρή θετική απόκριση της θαλάσσιας βιομάζας με τον εμπλουτισμό θρεπτικών που είναι σύμφωνη με τα γενικά πρότυπα που έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία της λιμνολογίας. Οι μέσες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, όπως αναφέρει ο Smith (2006), σε εκβολικά και θαλάσσια συστήματα έχουν ισχυρή εξάρτηση από τις μέσες συγκεντρώσεις συνολικού αζώτου και φωσφόρου στη στήλη νερού. Η αναγνώριση των αρχών ανάπτυξης – περιορισμού θρεπτικών για το θαλάσσιο φυτοπλακτόν εμφανίζεται να είναι προβλέψιμη από τον λόγο συνολικού αζώτου / συνολικού φωσφόρου (TN/TP) στη στήλη νερού (Smith, 2006).

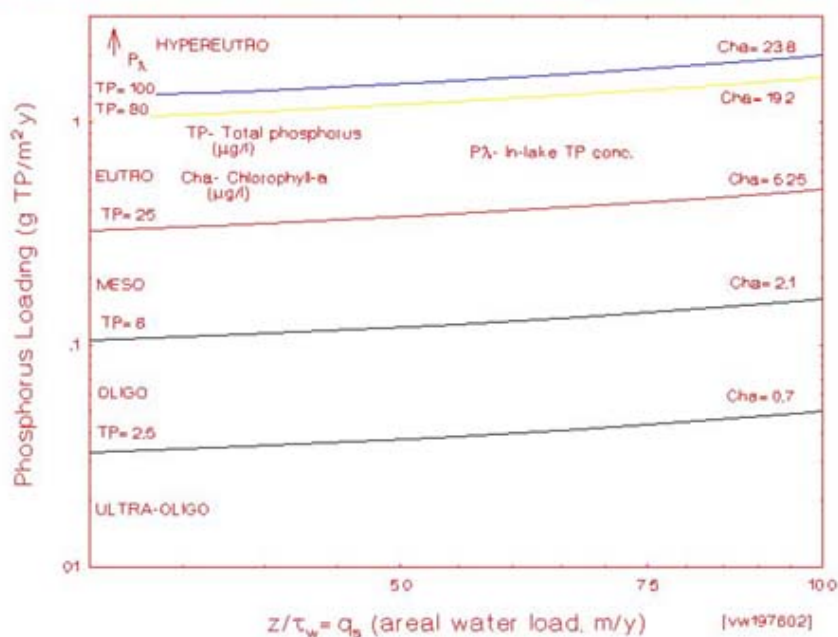
Σε αντίστοιχα συμπεράσματα καταλήγουν και οι Guildford & Hecky (2000), οι οποίοι πραγματοποίησαν μετρήσεις συνολικού αζώτου και συνολικού φωσφόρου με ταυτόχρονες μετρήσεις χλωροφύλλης -α και φυτοπλαγκτού σε ένα μεγάλο αριθμό λιμνών και περιοχών του ωκεανού χρησιμοποιώντας ίδιες μεθόδους. Η αναλογία TN:TP στις επιφάνειες των ωκεάνιων περιοχών ήταν συνήθως σύμφωνη με τον λόγο Redfield που παρατηρήθηκε στον βαθύ ωκεανό. Όταν όλες οι τοποθεσίες συγκρίθηκαν, ο περιορισμός N φάνηκε σε τιμές $TN:TP < 20$ (molar) και ο περιορισμός P εμφανίστηκε σταθερά για $TN:TP > 50$ (molar). Στις ενδιάμεσες τιμές της αναλογίας μπορεί να υπάρχει είτε περιορισμός φωσφόρου είτε αζώτου. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι ο περιορισμός αζώτου ή φωσφόρου για την ανάπτυξη μπορεί να προσδιοριστεί από την αναλογία TN:TP είτε το σύστημα είναι θαλάσσιο είτε γλυκού νερού (Guildford & Hecky, 2000).

Το φυτοπλαγκτόν, επομένως, για την ανάπτυξή του προσλαμβάνει θρεπτικά από το νερό σε αναλογία με τη στοιχειομετρία του. Στη διαχείριση του ευτροφισμού είναι σημαντικό να προσδιορίζεται ποιο θρεπτικό, από αυτά που απαιτούνται, ελέγχει τα επίπεδα ανάπτυξης στη στήλη του νερού. Ο λόγος άζωτου προς φώσφορο σε βιομάζα είναι περίπου 7,2. Αν ο λόγος N:P είναι μικρότερος από 7,2 τότε το άζωτο θεωρείται περιοριστικός παράγοντας. Αντίστοιχα, για μεγαλύτερες τιμές περιοριστικός είναι ο φώσφορος (Charpa, 1997).

3.1.2 Μοντέλο Vollenweider

Ο Vollenweider ήταν ο πρώτος που ανέφερε ‘επιτρεπτά’ και ‘επικίνδυνα’ επίπεδα παροχής θρεπτικών συστατικών για λίμνες, με βάση ένα λογαριθμικό διάγραμμα ετήσιας φόρτισης φωσφόρου συναρτήσεως του βάθους (Σχήμα 1) για 100 λίμνες στην Ευρώπη και την Β. Αμερική. Οι παροχές αυτές χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως κριτήρια κατάταξης των λιμνών σε oligοτροφικές, μεσοτροφικές και ευτροφικές. Η τροφική κατάταξη έγινε με βάση παρατηρήσεων ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού και των συνθηκών διατάραξης (Schnoor, 1996).

Base= Vollenweider 1976 TP Model + 1982 OECD Management Model trophic categories



Σχήμα 1: Διάγραμμα Vollenweider (OECD)

Το πρώτο διάγραμμα φερτών αναπτύχθηκε από τον Vollenweider το 1968. Ο Vollenweider συνέλεξε δεδομένα φερτών συνολικού φωσφόρου L_p ($mgPm^{-2}yr^{-1}$) και μέσου βάθους H (m) από λίμνες σε όλο τον κόσμο. Χρησιμοποιώντας τα σημεία αυτά τοποθέτησε τις λίμνες σε ένα χωρίο με άξονες $\log L_p$ και $\log H$. Στη συνέχεια χαρακτήρισε κάθε λίμνη ως προς το τροφικό επίπεδο (ολιγότροφο, μεσότροφο, εύτροφο) και υπέρθεσε γραμμές διαχωρίζοντας τις κατηγορίες των λιμνών. Το διάγραμμα αυτό παρέχει ένα εύκολο στη χρήση μοντέλο όπου χρησιμοποιώντας

δεδομένα φερτών και βάθους μπορεί να εκτιμηθεί η τροφική κατάσταση μιας λίμνης. Επιπλέον, μπορούν να προσδιοριστούν τα φερτά που απαιτούνται ώστε να επιτευχθεί ένα επιθυμητό τροφικό επίπεδο για μία λίμνη με συγκεκριμένο μέσο βάθος (Chapra, 1997).

Ο Vollenweider το 1975 πρόσθεσε έναν δεύτερο προσδιοριστικό παράγοντα. Αναγνώρισε ότι όχι μόνο το βάθος αλλά και ο χρόνος ανανέωσης έχει επίπτωση στον ευτροφισμό. Πρακτικά, παρατήρησε ότι λίμνες με μικρότερο χρόνο ανανέωσης του νερού εμφανίζονταν να είναι λιγότερο επιρρεπείς στον ευτροφισμό από λίμνες με μεγαλύτερο χρόνο ανανέωσης. Την επίδραση αυτή την ενσωμάτωσε στο διάγραμμα προσθέτοντας τον αντίστροφο του χρόνου παραμονής στη συνιστώσα. Επιπρόσθετα, αντικατέστησε τις ευθείες με καμπύλες ώστε να επιτευχθεί καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα πρόβλημα με τη χρήση μέσου βάθους και του χρόνου παραμονής είναι ότι δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Όμως η συνιστώσα H / τ_w μπορεί να δειχθεί ότι είναι ανεξάρτητη του βάθους:

$$\frac{H}{\tau_w} = \frac{HQ}{V} = \frac{HQ}{HA_s} = \frac{Q}{A_s} = q_s \quad (1)$$

όπου το q_s ονομάζεται υδραυλικός ρυθμός υπερχειλίσης ($m \cdot yr^{-1}$)

Μία τελική προσαρμογή που αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από τον Vollenweider (1976) και τους Larsen και Mercier (1976), ήταν τα μοντέλα τους να αντιστοιχούν σε διαγράμματα του λογάριθμου L_p ως προς το λογάριθμο του $q_s \cdot (1 + \sqrt{\tau_w})$. Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν καμπύλες ώστε να διαχωριστούν τα τροφικά επίπεδα στο διάγραμμα.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των μοντέλων παροχής φωσφόρου διαπιστώθηκε ότι την ίδια πρόβλεψη παρέχουν και τα μοντέλα ισοζυγίου μάζας. Το 1976 ο Vollenweider έγραψε ένα από τα πρώτα ισοζύγια μάζας φωσφόρου για μία καλά αναμεμιγμένη λίμνη:

$$V \frac{dp}{dt} = W - Qp - k_s Vp \quad (2)$$

όπου

V: όγκος (m^3)

p: συνολική συγκέντρωση φωσφόρου ($mg \cdot m^{-3}$)

t: χρόνος (yr)

W: συνολικός ρυθμός φερτού φωσφόρου ($mg \cdot yr^{-1}$)

Q: εκροές ($m^3 \cdot yr^{-1}$)

k_s : ρυθμός μείωσης λόγω καθίζησης πρώτου βαθμού (yr^{-1})

Με βάση την παραπάνω εξίσωση ισοζυγίου ο Vollenweider το 1976 ανέπτυξε ένα μοντέλο παροχής φωσφόρου που δίνεται από την σχέση:

$$p = \frac{L}{q_s (1 + \sqrt{\tau_w})} \quad (3)$$

Και είναι γνωστό ως μοντέλο Vollenweider.

➤ Η προσέγγιση Vollenweider προσφέρει ένα θεμελιώδες πλαίσιο σκέψης σχετικά με τα φερτά θρεπτικά στα παράκτια οικοσυστήματα. Θεωρήθηκε ότι ήταν η καλύτερη κλίμακα για την εγκαθίδρυση ορίων σε παράκτιους κόλπους και εφαρμόστηκε στο πρόγραμμα Buzzards Bay (BBP). Για την εφαρμογή της προσέγγισης Vollenweider στο θαλάσσιο οικοσύστημα οι Boynton και Garber (1988) βρήκαν ότι υπήρχε καλή συσχέτιση φερτών και συνολικής χλωροφύλλης – α στη στήλη νερού των εκβολών.

Σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα τα θρεπτικά αποδίδονται ως θρεπτικά ανά μονάδα όγκου, γιατί κόλποι διαφορετικών βαθών έχουν διαφορετική απόκριση σε περιοχές ισοδύναμων φερτών. Η απόκριση του θαλάσσιου συστήματος στις συγκεντρώσεων θρεπτικών, χλωροφύλλης κ.α. εξαρτάται από τον όγκο του νερού που εισρέει καθώς και από το χρόνο ανανέωσης. Έχει παρατηρηθεί ότι η ποιότητα νερού βελτιώνεται όταν ο χρόνος ανανέωσης του νερού μειώνεται ως αποτέλεσμα των τεχνητών ή φυσικών αλλαγών στο στόμιο του κόλπου και γενικότερα εκτιμάται ότι τέτοια συστήματα ανέχονται μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών (Costa *et al.*, 1999).

Ο χρόνος παραμονής ή ανανέωσης είναι σημαντικός παράγοντας στο θαλάσσιο οικοσύστημα και μπορεί να επιλεγεί ως κλίμακα εκτίμησης των φερτών θρεπτικών. Η κλίμακα αυτή μπορεί επιπλέον να γίνει πιο ακριβής λαμβάνοντας υπόψιν το χρόνο αναστροφής των περιορισμένων θρεπτικών. Για μικρούς χρόνους ανανέωσης, ο όρος $(1 + \sqrt{\tau_w})$ πλησιάζει το 1. Για μεγαλύτερους χρόνους ανανέωσης ο όρος Vollenweider μπορεί να επηρεάσει σχετικά εύρη φερτών. Το BBP πρότεινε ένα στρωματοποιημένο σύστημα των συνολικών μέγιστων ετήσιων φερτών θρεπτικών των κόλπων που εξαρτώνται από τον χρόνο ανανέωσης, την βαθυμετρία του κόλπου και την υπάρχουσα ταξινόμηση διαχείρισης ποιότητας νερού. Τα προτεινόμενα όρια μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας μία από τις ακόλουθες εξισώσεις (έκταση ή ογκομετρικά όρια) Η επιλογή του ορίου που χρησιμοποιήθηκε εξαρτάται από το βάθος και τα κριτήρια ανανέωσης.

Κρίσιμα ετήσια φερτά (σε $Kg \cdot yr^{-1}$) =

= areal limit • έκταση κόλπου (σε m^2) ÷ 1000

= volumetric limit • όγκος στη μισή παλίρροια (σε m^3) • $(1 + \sqrt{\tau_w}) / \tau_w$ ÷ 1000000

Όπου τ_w είναι ο υδραυλικός χρόνος ανανέωσης σε χρόνια.

Οποιαδήποτε κλίμακα φερτών θρεπτικών και αν επιλεγεί από τους διαχειριστές, τα όρια των φερτών θρεπτικών σε έναν κόλπο μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές παρατηρήσεις των οικοσυστημικών αλλαγών όπως μετριούνται κατά μήκος της επιλεγμένης κλίμακας. Οι διαχειριστές μπορούν τότε να χρησιμοποιούν αυτές τις παρατηρήσεις ώστε να προβλέψουν πώς ένας κόλπος μπορεί να αποκριθεί σε αντίστοιχα φερτά ή να προσδιορίσουν τα όρια των θρεπτικών φερτών που είναι μέσα στους διαχειριστικούς στόχους (Costa *et al.*, 1999) .

3.1.3 Κατανομή P-N

Σύμφωνα με τη κατανομή P-N (Physical –Normal distribution) (Stefanou et. al., 2000) τα διαθέσιμα δεδομένα συγκεντρώσεων θρεπτικών στο θαλάσσιο χώρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μιας κλίμακας συγκέντρωσης θρεπτικών για τον χαρακτηρισμό του συστήματος σε ολιγότροφο και εύτροφο. Οι τιμές των δεδομένων αναδιοργανώνονται σε δύο νέες τυπικές ομάδες: η πρώτη περιλαμβάνει χαμηλές τιμές και η δεύτερη υψηλές, χαρακτηριστικές του ολιγότροφου και εύτροφου περιβάλλοντος αντίστοιχα. Έτσι, αναπτύσσεται μία βηματική διαδικασία για τον προσδιορισμό μιας προσομοιωμένης κανονικής κατανομής.

Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην αναδιοργάνωση των πρωτογενών δεδομένων σε δύο νέες τυπικές ομάδες. Ακολουθώντας την βηματική διαδικασία και χρησιμοποιώντας δεδομένα συγκεντρώσεων νιτρικών από δύο τοποθεσίες του Αιγαίου υπολογίστηκαν η μέση τιμή μ και η τυπική απόκλιση σ . Το ένα σύνολο δεδομένων συλλέχθηκε από τον Σαρωνικό κόλπο, όπου τα νερά του χαρακτηρίζονται εύτροφα και το δεύτερο σύνολο συλλέχθηκε από το νησί της Ρόδου όπου η περιοχή χαρακτηρίζεται ολιγοτροφική. Οι τιμές που υπολογίστηκαν ήταν $\mu = 0,32 \mu\text{mol} \cdot L^{-1}$ η μέση τιμή και $\sigma = 0,11 \mu\text{mol} \cdot L^{-1}$ η τυπική απόκλιση της P-N κατανομής. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για στατιστικές συγκρίσεις που αφορούν την ποιότητα νερού σε παράκτιες περιοχές.

Η τιμή μ θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως ογκομετρικό όριο μεσοτροφισμού.

3.2 Μοντέλο Εισροών

Το μαθηματικό μοντέλο που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των φερτών θρεπτικών από την χέρσο που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας (Zoboli, 2005), αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος DITTY (Development of an information technology tool for the management of Southern European lagoons under the influence of river-basin runoff). Για τον υπολογισμό των φερτών λαμβάνονται υπόψη τόσο οι σημειακές όσο και οι μη σημειακές πηγές θρεπτικών. Οι μη σημειακές πηγές υποτέθηκε ότι οφείλονται στη μεταφορά θρεπτικών μέσω της απορροής. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε βάση της συνάρτησης φορτίου, στην οποία η υπολογιζόμενη απορροή πολλαπλασιάζεται με τις μεταφερόμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών σε διαλυμένη μορφή.

Η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση Curve Number που αναπτύχθηκε από τους Haith και Tubbs (1981) και η συνολική απορροή υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την συνολική βροχόπτωση.

Η εξίσωση Curve Number είναι η εξής:

$$Q_{ij} = \frac{(R_{ij} - 0,2S_{ij})^2}{[S_{ij} + 0,8S_{ij}] \cdot 2,52} \text{ αν } R_{ij} > I_{ij}$$

$$Q_{ij} = 0 \text{ αν } R_{ij} \leq I_{ij}$$

Όπου Q_{ij} είναι η απορροή της μέρας j από την i περιοχή, R_{ij} είναι η αντίστοιχη βροχόπτωση (m), S_{ij} είναι ο επιφανειακός παράγοντας κατακράτησης (cm) και το

CN_{ij} ονομάζεται curve number και εξαρτάται από τα απορρίμματα, την κλίση, τις χρήσεις γης, τις υδρολογικές συνθήκες και τα υγρά απόβλητα.

Έτσι, ο υπολογισμός των διαλυμένων φερτών θρεπτικών λόγω της απορροής μετά από βροχή σε μία μοναδιαία περιοχή i την ημέρα j βασίστηκε στον τύπο (Haith και Tubbs, 1981):

$$LD_{ij} = 10Cd_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot TD_i$$

Όπου LD_{ij} είναι τα διαλυμένα φερτά θρεπτικά (kg/km^2), Cd_{ij} είναι οι συγκεντρώσεις θρεπτικών σε διαλυμένη φάση (mg/l), TD_i είναι ο παράγοντας μεταφοράς που καθορίζει το κλάσμα των θρεπτικών σε διαλυμένη φάση που κινείται από την i περιοχή προς τον κόλπο και Q_{ij} είναι το ύψος βροχής (cm).

Το ολικό ποσό των θρεπτικών σε στερεή μορφή LD για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις απώλειες από κάθε ανεξάρτητο πεδίο της αντίστοιχης περιοχής E_i (km^2) και προσθέτοντας όλα τα πεδία των ημερών αυτής της χρονικής περιόδου:

$$LD = 10 \sum_j \sum_i Cd_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot TD_i \cdot E_i$$

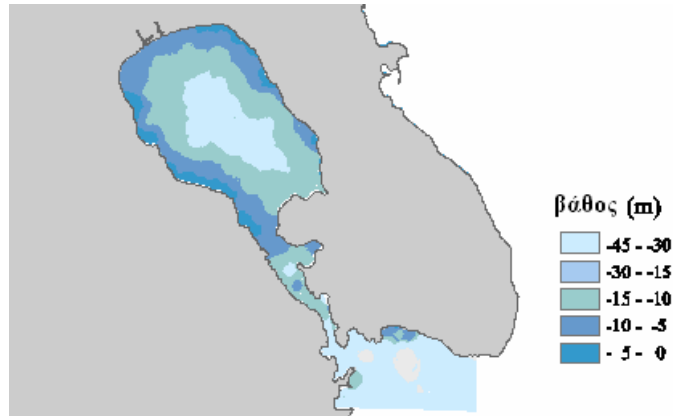
Αυτός ο αλγόριθμος απαιτεί την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής και των συγκεντρώσεων των ρύπων σε διαλυμένη μορφή κατά την βροχόπτωση, σε κάθε πεδίο της χέρσου.

Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για τις μη σημειακές πηγές (απορροή από τις καλλιέργειες και τις αστικές περιοχές) είναι ένα σύνολο πληροφοριών από την επιφάνεια και την σχετική Curve Number για κάθε διαφορετικό πεδίο. Για τις σημειακές πηγές (ελαιοτριβεία, κτηνοτροφικές μονάδες κ.λ.π.) συνυπολογίζονται ο πληθυσμός, τα ζώα, η παραγωγή ελαιόλαδου, οι υδατοκαλλιέργειες και ο τουρισμός. Για τον υπολογισμό των φερτών θρεπτικών από κάθε πηγή, τα δεδομένα εισόδου πολλαπλασιάζονται από έναν προσδιορισμένο συντελεστή για το άζωτο και έναν δεύτερο για το φώσφορο.

Το μοντέλο υπολογίζει το συνολικό φώσφορο με τη μορφή των φωσφορικών αλάτων και το συνολικό άζωτο σε νιτρικά, αμμωνία και οργανικό άζωτο σύμφωνα με μία αναλογία που έχει προέλθει από μελέτες πεδίου στον κόλπο της Γέρας.

3.3 Η περιοχή μελέτης – περιγραφή του κόλπου Γέρας

Ο κόλπος της Γέρας βρίσκεται στην Λέσβο και είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος σε μέγεθος φυσικός κόλπος του νησιού. Αποτελεί ένα ημίκλειστο θαλάσσιο οικοσύστημα, το οποίο επικοινωνεί με το Αιγαίο Πέλαγος μέσω ενός διαύλου στη νότια πλευρά του κόλπου. Το πλάτος του διαύλου κυμαίνεται μεταξύ 200m και 800m και το μήκος του είναι 6,5 Km (Αρχοντίσης, 1998). Η επιφάνεια του κόλπου είναι περίπου $43km^2$ και ο συνολικός του όγκος $0.9 \cdot 10^9 m^3$. Το μέσο βάθος του κόλπου είναι 10m και το μέγιστο βάθος του είναι 20m (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Η βαθυμετρία του κόλπου της Γέρας στη Λέσβο.

3.2.1 Λεκάνη απορροής

Η λεκάνη απορροής που περιβάλλει τον κόλπο παρουσιάζει ένα πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο μικρών ποταμών (χειμάρρων) (Σχήμα 3), οι οποίοι έχουν ροή κυρίως τους μήνες μεταξύ Νοεμβρίου και Απριλίου, όπου παρατηρείται μεγάλο ύψος βροχόπτωσης (Σχήμα 4). Οι σημαντικότεροι ποταμοί βρίσκονται στο δυτικό και βόρειο τμήμα του κόλπου με σημαντικότερο τον Ευεργέτουλα (Αρχοντίτσης, 1998).

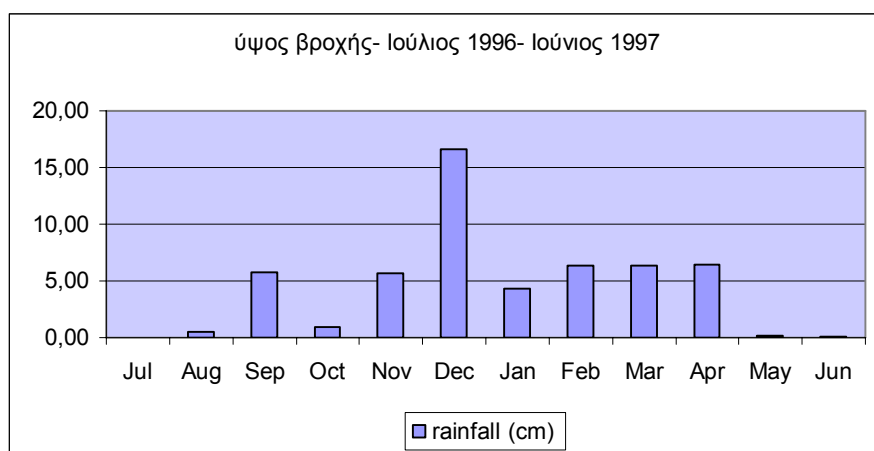


Σχήμα 3: Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής που περικλείει τον κόλπο της Γέρας.

Η περιοχή γύρω από τον κόλπο καλύπτεται κατά 57% από ελαιόδεντρα και η μορφολογία της διαφοροποιείται μεταξύ του δυτικού και ανατολικού τμήματος. Το δυτικό τμήμα (έκταση 170 km^2) έχει ομαλό ανάγλυφο και σ' αυτό βρίσκονται πέντε χωριά με συνολικό πληθυσμό 7000 κατοίκους. Το βόρειο και δυτικό τμήμα χαρακτηρίζονται από διάφορες χρήσεις γης, όπως περιβόλια, δέντρα φρούτων, τριφύλλι και μακί. Η περιοχή γύρω από το δέλτα του ποταμού Ευεργέτουλα, που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα, ανήκει στο δίκτυο NATURA 2000. Το ανατολικό τμήμα (έκταση 30 km^2) καλύπτεται κυρίως από ελαιώνες και το ανάγλυφό του παρουσιάζει απότομες πλαγιές (Tsirtsis et al., 2003).

Η σημαντικότερη βιομηχανική δραστηριότητα είναι τα ελαιοτριβεία. Το παραπροϊόν που παράγεται από την επεξεργασία της ελιάς περιέχει μικρές ποσότητες ανόργανου αζώτου και φωσφόρου, οι οποίες καταλήγουν στον κόλπο αφού απορρίπτεται στους ποταμούς χωρίς επεξεργασία. Ως συνέπεια παρατηρείται ο χρωματισμός του νερού

και η διατάραξη των πελαγικών και βενθικών κοινοτήτων των ποταμών και της θάλασσας. Τα μεγαλύτερα ελαιοτριβεία βρίσκονται στο δυτικό και στο ανατολικό τμήμα.(Tsirtsis et al., 2003).



Σχήμα 4: Ύψος βροχής σε cm την περίοδο Ιούλιος 1996 – Ιούνιος 1997.

3.2.2 Θαλάσσιο σύστημα

Η κυκλοφορία του νερού μέσα στον κόλπο επηρεάζεται και οδηγείται κυρίως από το φαινόμενο της παλίρροιας και ακολουθεί κυκλωνική κίνηση, με εξαίρεση το ανατολικό τμήμα στο οποίο παρατηρείται περιορισμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία (Kolonoyiannis and Tsirtsis, 2005).. Σε διάστημα 24 ωρών 50' και 5'' παρατηρούνται δύο ανυψώσεις και δύο υποχωρήσεις (Αρχοντίσης, 1998). Κατά την φάση της πλήμμυς εισρέει νερό στον κόλπο και αντίστροφα στην αμπώτιδα κυρίως από το επιφανειακό στρώμα. Ο χρόνος ανανέωσης του νερού στον κόλπο υπολογίζεται περίπου στις 9 μέρες (Καβακλή, 2005). Οι μεγαλύτερες ταχύτητες καταγράφονται στο διάυλο, τόσο στην είσοδο από την ανοιχτή θάλασσα όσο και στην είσοδο του κόλπου. Οι τιμές των ταχυτήτων δεν ξεπερνούν τα 0.7 m/s στις εισόδους και τα 0.3 m/s στο εσωτερικό. Σχετικά μεγάλες ταχύτητες παρατηρούνται και στο κεντρικό τμήμα του κόλπου.

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κόλπου παρουσιάζει αύξηση από το μήνα Μάιο και οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται τον Ιούλιο. Μεταξύ Ιουνίου και Οκτωβρίου η θερμοκρασία μέσα στον κόλπο είναι μεγαλύτερη από αυτή της ανοιχτής θάλασσας. Σε αντίθεση, από τον Δεκέμβριο έως τον Απρίλιο η θερμοκρασία του νερού έξω από τον κόλπο είναι υψηλότερη. Τους μήνες αυτούς δεν παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές ως προς το βάθος, ενώ σε σημεία που εισρέουν στον κόλπο υδάτινοι όγκοι από τη λεκάνη απορροής οι τιμές της θερμοκρασίας είναι μικρότερες συγκριτικά με άλλα σημεία του κόλπου. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν το μήνα Φεβρουάριο.

Αντίστοιχα, τα ποσοστά αλατότητας για το ίδιο χρονικό διάστημα είναι μικρότερα μέσα στον κόλπο λόγω του νερού των χειμάρρων που καταλήγει σ' αυτόν. Αντίστροφα, από τον μήνα Ιούνιο έως το Νοέμβριο η αλατότητα είναι μεγαλύτερη στο εσωτερικό, γιατί η εισροή νερού από την λεκάνη απορροής είναι μικρή και τα ποσοστά εξάτμισης μεγάλα.

Περιληπτικά στατιστικά στοιχεία διακύμανσης της θερμοκρασίας και της αλατότητας μέσα στον κόλπο κατά την περίοδο 1996-1997, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας ($^{\circ}C$) και αλατότητας (psu) και η μέση τιμή τους (Tsirtsis et al., 2003).

Παράμετρος	Θερμοκρασία	Αλατότητα
Μέση τιμή	17.37	39.11
Τυπ. απόκλιση	9.84-25.74	37.17-40.12

Η εισροή θρεπτικών στον κόλπο (Πίνακας 3) από τις σημειακές και μη σημειακές πηγές είναι σημαντική κυρίως το χειμώνα. Σημαντικές σημειακές πηγές είναι τόσο τα ελαιοτριβεία όσο και τα μη επεξεργασμένα οικιακά λύματα. Η εισροή θρεπτικών και οργανικής ύλης από την χέρσο σε συνδυασμό με τον χρόνο ανανέωσης έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ευτροφικών κρίσεων κατά τη διάρκεια του χρόνου (Tsirtsis et al., 2003).

Πίνακας 3: Μέσος όρος και διακύμανση των νιτρικών, νιτρωδών, αμμωνίας, φωσφόρου και χλωροφύλλης α στον κόλπο της Γέρας την περίοδο 1996-97.

	Νιτρικά	Νιτρώδη	Αμμωνία	Φώσφορος	Χλωροφύλλη α
Μέσος όρος	0.59	0.10	0.49	0.20	0.78
Διακύμανση	0.06-2.57	0.01-0.56	0.06-2.47	0.05-0.85	0.03-3.07

3.2.3 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την διερεύνηση των ερωτημάτων που αφορούν τις συγκεντρώσεις θρεπτικών στο θαλάσσιο σύστημα προέρχονται από εργασίες πεδίου κατά την περίοδο Ιουνίου 1996 – Οκτωβρίου 1997 (Αρχοντίσης, 1998).

Οι δειγματοληψίες έγιναν σε δίκτυο 8 σταθμών (Σχήμα 5) και ήταν μηνιαίες. Από τους σταθμούς αυτούς οι έξι βρίσκονταν εσωτερικά του κόλπου, ένας στο διάυλο επικοινωνίας με την ανοιχτή θάλασσα και ένας στην ανοιχτή θάλασσα, στην είσοδο του κόλπου.



Σχήμα 5: Οι 8 σταθμοί στους οποίους έγιναν οι μηνιαίες δειγματοληψίες στον κόλπο Γέρας την περίοδο Ιουνίου 1996 – Οκτωβρίου 1997.

Ο κόλπος της Γέρας αποτελεί μέρος της Λέσβου, η οποία χαρακτηρίζεται από το τυπικό κλίμα της ανατολικής Μεσογείου. Η ηλιοφάνεια του νησιού είναι μεγάλη ακόμα και το χειμώνα. Επιπλέον, το χειμώνα τα ποσοστά υγρασίας είναι υψηλά, ενώ ο μέσος όρος βροχόπτωσης είναι γενικά χαμηλός. Τα καλοκαίρια είναι ξηρά και χαρακτηρίζονται κυρίως από τους δυνατούς βορειοανατολικούς ανέμους (Tsirtsis et al., 2003).

4. Αποτελέσματα

4.1 Σχέση των ανόργανων θρεπτικών μεταξύ τους και με την χλωροφύλλη –α στο θαλάσσιο σύστημα.

➤ Από τη συσχέτιση 271 δειγμάτων από διάφορα βάθη του κόλπου (1,5,10,15), από όλους τους σταθμούς δειγματοληψιών (GG3-8) και όλες τις μηνιαίες δειγματοληψίες στο εσωτερικό του κόλπου το διάστημα μεταξύ Ιουνίου 1996 – Οκτωβρίου 1997 παρατηρείται θετική σχέση των νιτρικών (Πίνακας 5) και νιτρωδών (Πίνακας 6) με τα φωσφορικά και των φωσφορικών με την χλωροφύλλη – α (Πίνακας 4), ενώ αρνητική παρουσιάζεται η σχέση της αμμωνίας με τα φωσφορικά και την χλωροφύλλη – α (Πίνακας 7).

Πίνακας 4: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,007 (0,904)	-0,082 (0,180)
Φωσφορικά		-	0,217** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 5: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρικά	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρικά	-	0,611** (0,000)	0,191** (0,002)
Φωσφορικά		-	0,217** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 6: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρώδη	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρώδη	-	0,623** (0,000)	0,120* (0,048)
Φωσφορικά		-	0,217** (0,000)

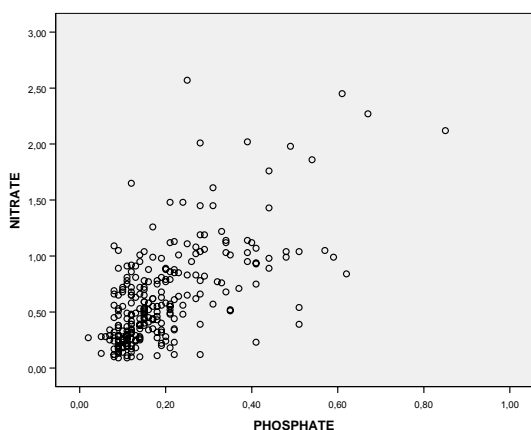
** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

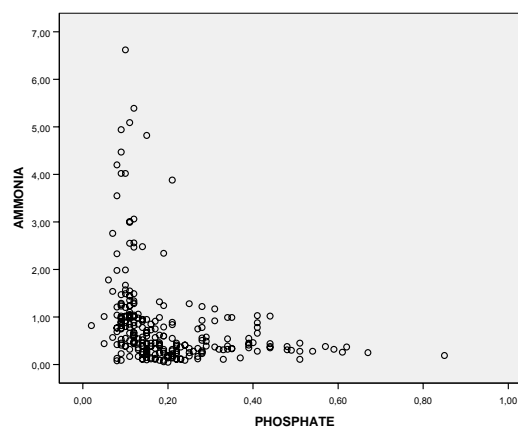
Πίνακας 7: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Αμμωνία	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Αμμωνία	-	-0,491** (0,000)	-0,274** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,217** (0,000)

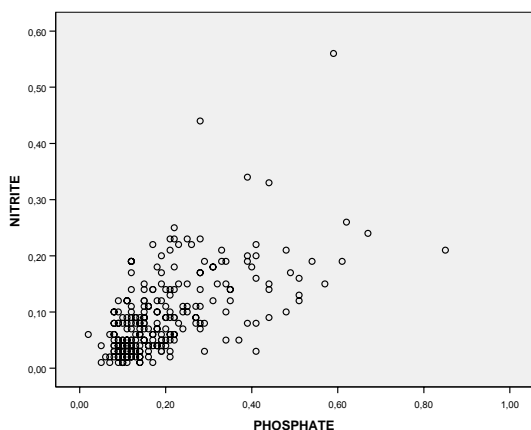
** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01



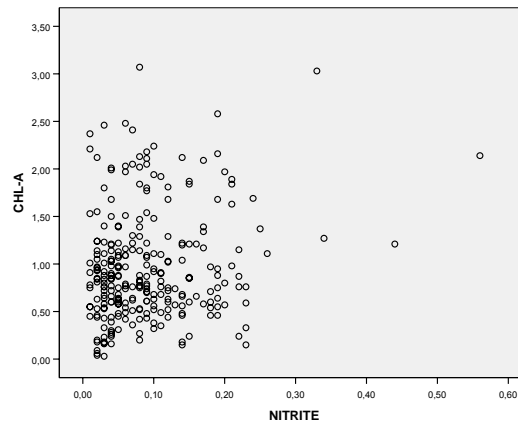
Σχήμα 6: Σχέση νιτρικών – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.



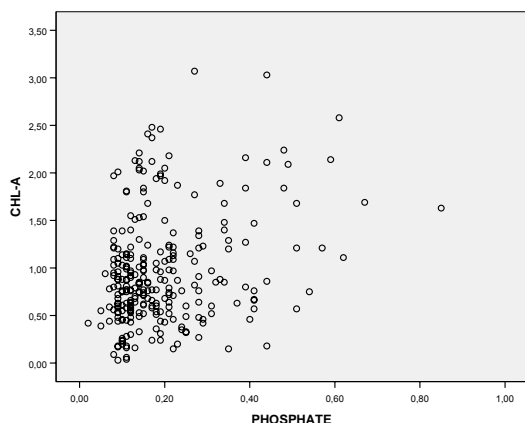
Σχήμα 8: Σχέση αμμωνίας – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.



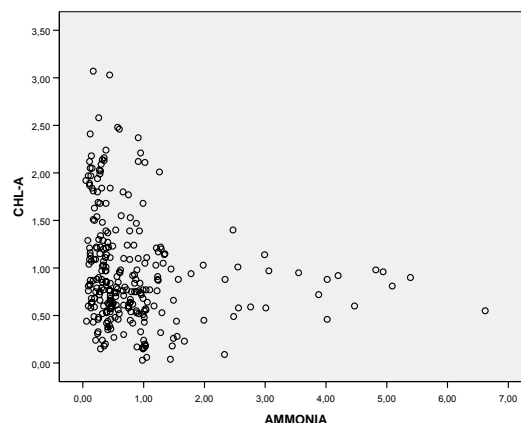
Σχήμα 7: Σχέση νιτρωδών – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.



Σχήμα 9: Σχέση νιτρικών – χλωροφύλλης -α στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.



Σχήμα 10: Σχέση χλωροφύλλης -α – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.



Σχήμα 11: Σχέση αμμωνίας – χλωροφύλλης -α στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.

➤ Για τις ίδιες συσχετίσεις στην ομάδα των σταθμών που επηρεάζονται από εκβολές ποταμών (GG3-6) παρουσιάζεται μία παρόμοια εικόνα:

Πίνακας 8: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,156 (0,054)	0,062 (0,446)
Φωσφορικά		-	0,294** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 9: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρικά	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρικά	-	0,732** (0,000)	0,256** (0,001)
Φωσφορικά		-	0,294** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 10: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρώδη	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρώδη	-	0,669** (0,000)	0,109 (0,178)
Φωσφορικά		-	0,294** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 11: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Αμμωνία	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Αμμωνία	-	-0,478** (0,000)	-0,227** (0,005)
Φωσφορικά		-	0,294** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

➤ Για τους σταθμούς εξωτερικά του κόλπου παρατηρούμε θετική σχέση του ολικού ανόργανου αζώτου με την χλωροφύλλη - α (Πίνακας 12). Πιο συγκεκριμένα, τα νιτρικά και τα νιτρώδη δείχνουν να έχουν καλή συσχέτιση με την χλωροφύλλη – α και τα φωσφορικά (Πίνακες 13, 14), ενώ η αμμωνία δείχνει να μην έχει κάποια συσχέτιση (Πίνακας 15). Τα φωσφορικά εμφανίζουν θετική σχέση με το ολικό ανόργανο άζωτο και με την χλωροφύλλη – α (Πίνακας 12). Πιθανότατα εξωτερικά του κόλπου ακολουθείται ένα διαφορετικό τροφικό πρότυπο με αυτό που υπάρχει εσωτερικά.

Πίνακας 12: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,301** (0,001)	0,477** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,233* (0,011)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

Πίνακας 13: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρικά	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρικά	-	0,426** (0,000)	0,349** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,233* (0,011)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

Πίνακας 14: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Νιτρώδη	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρώδη	-	0,428** (0,000)	0,347** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,233* (0,011)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

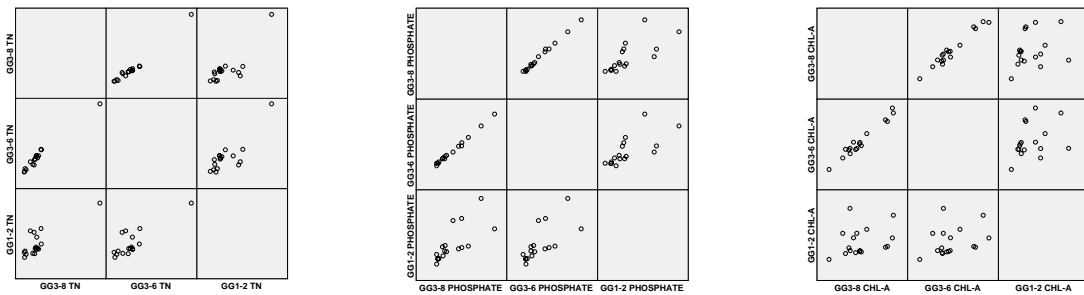
Πίνακας 15: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Παράμετρος	Αμμωνία	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Αμμωνία	-	-0,081 (0,379)	0,265** (0,004)
Φωσφορικά		-	0,233* (0,011)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

➤ Συσχετίζοντας τις μηνιαίες μέσες τιμές αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης-α μεταξύ των τριών ομάδων των σταθμών δειγματοληψιών 3-6, 3-8, 1-2 παρατηρείται ότι μεταξύ των εσωτερικών σταθμών υπάρχει θετική σχέση ενώ δεν παρατηρείται το ίδιο με τους εξωτερικούς σταθμούς (Πίνακες 16, 17, 18, Σχήμα 12). Θετική σχέση μέσα και έξω από τον κόλπο παρατηρείται κυρίως στα φωσφορικά (Πίνακας 17) αλλά και στο ολικό ανόργανο άζωτο. Η σχέση αυτή είναι αναμενόμενη αφού το σύστημα οδηγείται από την παλίρροια. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σχέση των τιμών της χλωροφύλλης-α μέσα και έξω από τον κόλπο (Πίνακας 18) καθώς και ότι η αμμωνία εσωτερικά εμφανίζεται αρνητική ως προς την χλωροφύλλη ενώ εξωτερικά όχι, θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι εξωτερικά του κόλπου αναπτύσσεται ένα διαφορετικό σύστημα – ένας τέτοιος ισχυρισμός βέβαια χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση.



Σχήμα 12: Σχέση μέσων μηνιαίων τιμών ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.

Πίνακας 16: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων ολικού ανόργανου αζώτου μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο GG3-8	Ολ. ανόργ. άζωτο GG3-6	Ολ. ανόργ. άζωτο GG1-2
Ολ. ανόργ. άζωτο GG3-8	-	0,961** (0,000)	0,647** (0,005)
Ολ. ανόργ. άζωτο GG3-6		-	0,657** (0,004)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 17: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων φωσφορικών μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.

Παράμετρος	Φωσφορικά GG3-8	Φωσφορικά GG3-6	Φωσφορικά GG1-2
Φωσφορικά GG3-8	-	0,979** (0,000)	0,824** (0,000)
Φωσφορικά GG3-6		-	0,803** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 18: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης - α μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.

Παράμετρος	Χλωροφύλλη-α GG3-8	Χλωροφύλλη-α GG3-6	Χλωροφύλλη-α GG1-2
Χλωροφύλλη-α GG3-8	-	0,904** (0,000)	0,324 (0,205)
Χλωροφύλλη-α GG3-6		-	0,424 (0,090)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

➤ Εφαρμόζοντας τις ίδιες συσχετίσεις για κάθε ομάδα σταθμών δειγματοληψίας ξεχωριστά για τις περιόδους Μαΐου – Οκτωβρίου (περίοδος στρωμάτωσης) και Νοεμβρίου – Απριλίου (περίοδος ανάμειξης) παρατηρείται ότι:

Στους σταθμούς GG3-8 την περίοδο Νοεμβρίου – Απριλίου υπάρχει θετική σχέση μεταξύ ανόργανου αζώτου και φωσφορικών καθώς και φωσφορικών και χλωροφύλλης – α (Πίνακας 19, Σχήμα 13). Δεν παρατηρείται ιδιαίτερη σχέση μεταξύ ολικού ανόργανου αζώτου και χλωροφύλλης πιθανότατα γιατί στις συγκεντρώσεις του TN περιέχεται και η αμμωνία.

Πίνακας 19: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3 – 8.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,476** (0,000)	0,214* (0,036)
Φωσφορικά		-	0,415** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

Όμοια εικόνα καταγράφεται και στους εσωτερικούς σταθμούς GG3-6 που επηρεάζονται από την εισροή θρεπτικών από την χέρσο (Πίνακας 20).

Πίνακας 20: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3 – 6.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,481** (0,000)	0,381** (0,004)
Φωσφορικά		-	0,493** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Για την περιοχή εξωτερικά του κόλπου την περίοδο Νοεμβρίου - Απριλίου δεν είναι εμφανής η σχέση αζώτου, φωσφόρου και χλωροφύλλης (Πίνακας 21, Σχήμα 14).

Πίνακας 21: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	0,200 (0,204)	0,221 (0,160)
Φωσφορικά		-	-0,225 (0,151)

Στους σταθμούς GG3-8 την περίοδο Μαΐου – Οκτωβρίου παρατηρείται θετική σχέση μεταξύ νιτρικών και νιτρώδων με τα φωσφορικά (Πίνακας 23, Σχήμα 13), ενώ είναι αρνητική η σχέση αμμωνίας με τα φωσφορικά και την χλωροφύλλη – α (Πίνακας 24). Επίσης αρνητική είναι η σχέση της αμμωνίας με τις συγκεντρώσεις των άλλων μορφών ανόργανου αζώτου (Πίνακας 25).

Πίνακας 22: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8.

Παράμετρος	Ολ. ανόργ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόργ. άζωτο	-	-0,348** (0,000)	-0,251** (0,001)
Φωσφορικά		-	0,259** (0,001)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 23: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών – νιτρώδων, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8.

Παράμετρος	Νιτρικά - Νιτρώδη	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρικά - Νιτρώδη	-	0,370** (0,000)	0,187* (0,013)
Φωσφορικά		-	0,259** (0,001)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

Πίνακας 24: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8.

Παράμετρος	Αμμωνία	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Αμμωνία	-	-0,474** (0,000)	-0,320** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,259** (0,001)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 25: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, νιτρικών και αμμωνίας. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8.

Παράμετρος	Νιτρικά	Νιτρώδη	Αμμωνία
Νιτρικά	-	0,395** (0,000)	-0,487** (0,000)
Νιτρώδη		-	-0,493** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Όμοια αποτελέσματα προκύπτουν από τις ίδιες συσχετίσεις των σταθμών GG3-6.

Για τους εξωτερικούς σταθμούς GG1-2 την περίοδο Μαΐου – Οκτωβρίου παρατηρείται θετική σχέση της χλωροφύλλης –α τόσο με νιτρικά και νιτρώδη όσο και με τις συγκεντρώσεις αμμωνίας (Πίνακες 26, 27, 28, Σχήμα 14). Θετική σχέση παρουσιάζουν τα φωσφορικά με την χλωροφύλλη – α και με νιτρικά και νιτρώδη (Πίνακας 27), ενώ δεν έχουν σχέση με την αμμωνία (Πίνακας 28). Επιπλέον, μεταξύ των μορφών ανόργανου αζώτου δεν καταγράφεται κάποια συσχέτιση (Πίνακας 29).

Πίνακας 26: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.

Παράμετρος	Ολ. ανόρ. άζωτο	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Ολ. ανόρ. άζωτο	-	0,306** (0,007)	0,582** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,416** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 27: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών – νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.

Παράμετρος	Νιτρικά - Νιτρώδη	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Νιτρικά - Νιτρώδη	-	0,367** (0,001)	0,440** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,416** (0,000)

** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 28: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.

Παράμετρος	Αμμωνία	Φωσφορικά	Χλωροφύλλη-α
Αμμωνία	-	0,213 (0,062)	0,432** (0,000)
Φωσφορικά		-	0,416** (0,000)

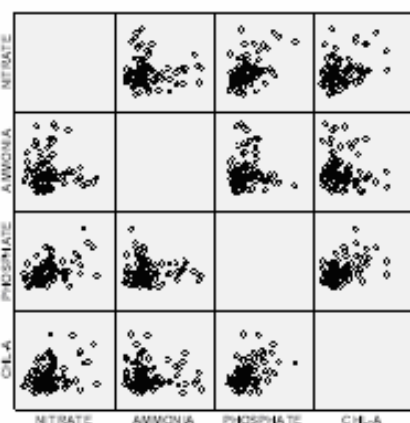
** επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,01

Πίνακας 29: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνίας. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.

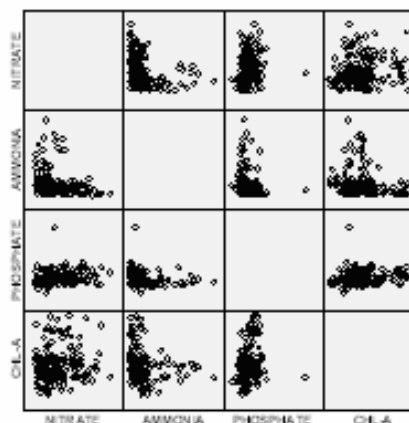
Παράμετρος	Νιτρικά	Νιτρώδη	Αμμωνία
Νιτρικά	-	0,248* (0,030)	0,149 (0,197)
Νιτρώδη		-	-0,149 (0,197)

* επίπεδο σημαντικότητας συσχέτισης 0,05

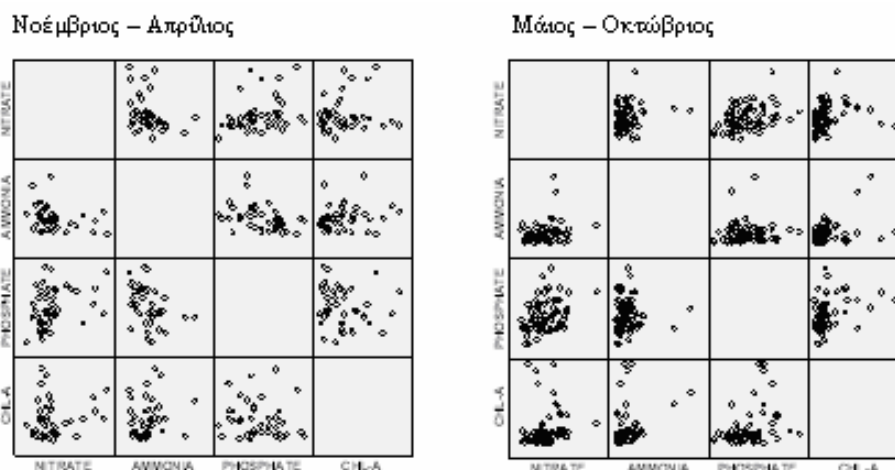
Νοέμβριος – Απρίλιος



Μάιος – Οκτώβριος



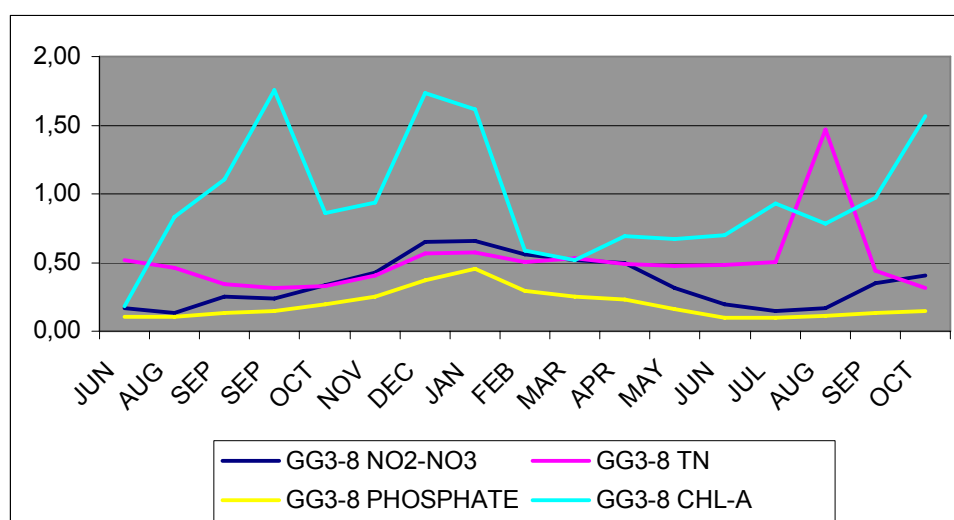
Σχήμα 13: Σχέση νιτρικών, αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης –α στους σταθμούς GG3-8 τις χρονικές περιόδους Νοεμβρίου – Απριλίου και Μαΐου – Οκτωβρίου 1996-1997.



Σχήμα 14: Σχέση νιτρικών, αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης –α στους σταθμούς GG1-2 τις χρονικές περιόδους Νοεμβρίου – Απριλίου και Μαΐου – Οκτωβρίου 1996-1997.

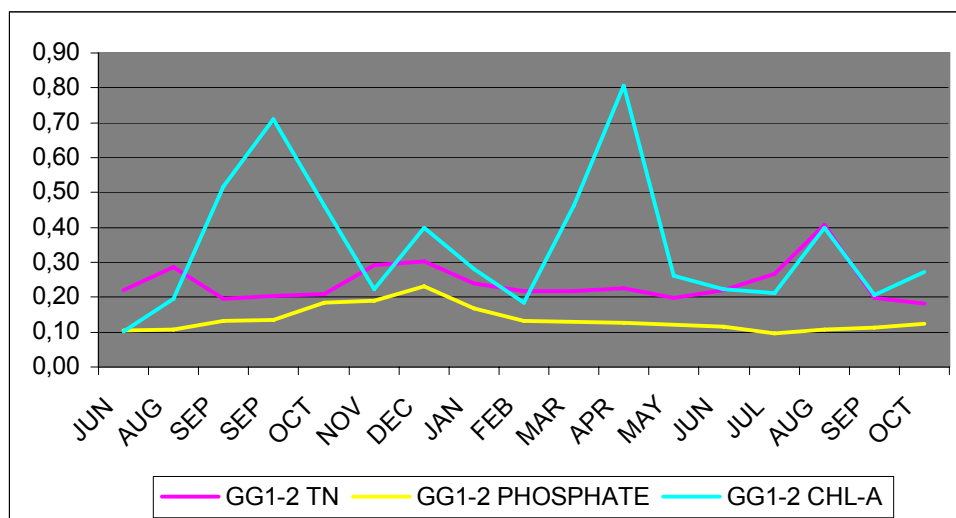
4.2 Κατανομή αζώτου, φωσφόρου και χλωροφύλλης – α στο χρόνο

.Η κατανομή του ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφόρου και χλωροφύλλης – α, όπως προκύπτει από τις μέσες μηνιαίες τιμές των σταθμών GG3 έως GG8 για το χρονικό διάστημα Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997, εμφανίζεται στο σχήμα 15. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης είναι ιδιαίτερα υψηλές μεταξύ των μηνών Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου και Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου, όπου καταγράφονται αυξημένες βροχοπτώσεις (Σχήμα 4). Τους μήνες Σεπτέμβριο – Οκτώβριο λόγω βροχής και κατάλληλων συνθηκών (θερμοκρασία, στρωμάτωση) εμφανίζονται μεγάλες συγκεντρώσεις και τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο παρατηρείται μεγάλη εισροή θρεπτικών από την λεκάνη απορροής.



Σχήμα 15: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις ανόργανου αζώτου (μM/l), φωσφορικών (μM/l) και χλωροφύλλης-α (μg/l) στον κόλπο της Γέρας την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Στους εξωτερικούς σταθμούς παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης – α κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο (Σχήμα 16), περίοδοι που ευνοούν τις αυξημένες συγκεντρώσεις φυτοπλακτονικών οργανισμών.



Σχήμα 16: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις ολικού ανόργανου αζώτου (μM/l), φωσφορικών (μM/l) και χλωροφύλλης-α (μg/l) εξωτερικά του κόλπου της Γέρας την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

Εξωτερικά του κόλπου το φυτοπλακτόν ακολουθεί το σύνηθες πρότυπο συγκεντρώσεων με δύο εξάρσεις άνοιξη και φθινόπωρο. Στο εσωτερικό όμως, η κατανομή είναι διαφορετική και οι εξάρσεις καταγράφονται τους μήνες των βροχοπτώσεων. Τα φερτά των ποταμών και των μη σημειακών πηγών προσφέρουν στο θαλάσσιο σύστημα υλικά που πιθανότατα είναι περιορισμένα μέσα στον κόλπο.

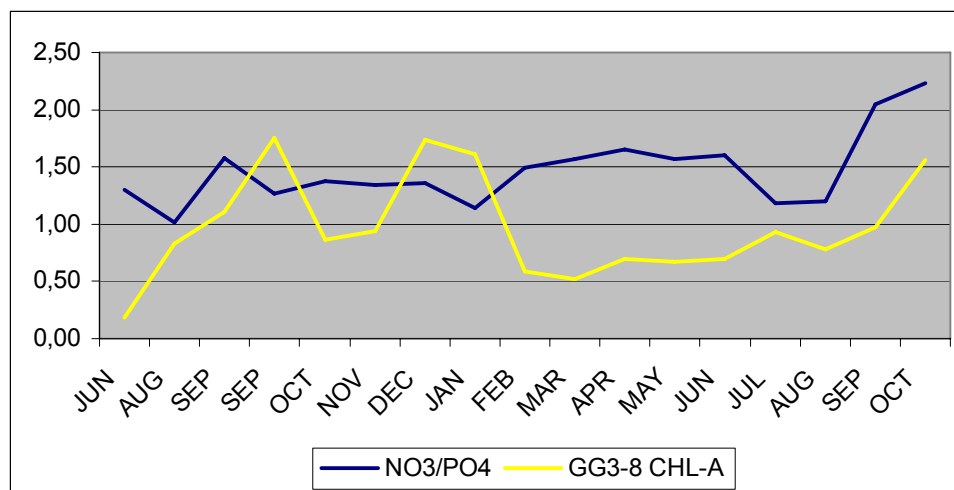
4.3 Περιοριστικός παράγοντας

➤ Για την καλύτερη διερεύνηση της απόκρισης του θαλάσσιου οικοσυστήματος στην εισροή θρεπτικών είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ο περιοριστικός παράγοντας του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε ο λόγος Redfield και εφαρμόστηκε μεταξύ των μέσων μηνιαίων τιμών νιτρικών και φωσφορικών από τους εσωτερικούς σταθμούς δειγματοληψιών. Οι συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της αναλογίας είχαν ως μονάδες μg/l. Αν η ακτίνα μάζας N:P είναι μικρότερη από 7,2 θεωρείται το N ως περιοριστικός παράγοντας και για ακτίνα μεγαλύτερη από 10 περιοριστικός είναι ο φώσφορος (Charpa, 1997). Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 30 η αναλογία Redfield είναι όλους τους μήνες μικρότερη από 7,2. Ο περιοριστικός παράγοντας σε αυτή την περίπτωση είναι το άζωτο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές του λόγου NO_3 / PO_4 είναι ιδιαίτερα μικρές γεγονός που δείχνει ότι οι συγκεντρώσεις αζώτου στον κόλπο αποτελούν βασικό ρυθμιστή των επιπέδων ευτροφισμού σε αυτόν.

Πίνακας 30: Λόγος Redfield μεταξύ των μέσων μηνιαίων τιμών νιτρικών (μgr/l) και φωσφορικών (μgr/l) από τους εσωτερικούς σταθμούς δειγματοληψιών του κόλπου της Γέρας.

year	month	NO_3 / PO_4
1996	JUN	1,30
1996	AUG	1,01
1996	SEP	1,58
1996	SEP	1,27
1996	OCT	1,37
1996	NOV	1,35
1996	DEC	1,36
1997	JAN	1,14
1997	FEB	1,49
1997	MAR	1,57
1997	APR	1,65
1997	MAY	1,57
1997	JUN	1,60
1997	JUL	1,18
1997	AUG	1,20
1997	SEP	2,04
1997	OCT	2,23

➤ Η κατανομή της αναλογίας Redfield και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης ως προς τον χρόνο παρουσιάζονται στο Σχήμα 17. Οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης ακολουθούν τις αυξομειώσεις του λόγου με κάποια χρονική καθυστέρηση – το διάστημα που αντιστοιχεί στην απόκριση του συστήματος.

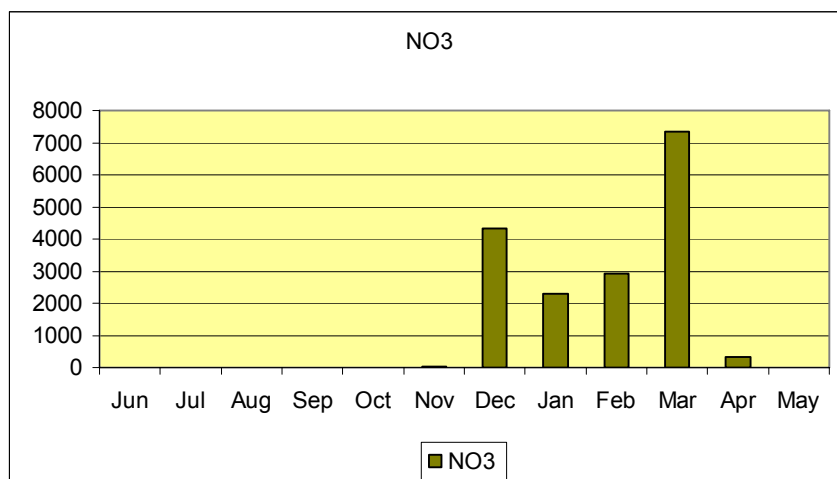


Σχήμα 17: Κατανομή της αναλογίας Redfield και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης – α (μgr/l) την χρονική περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.

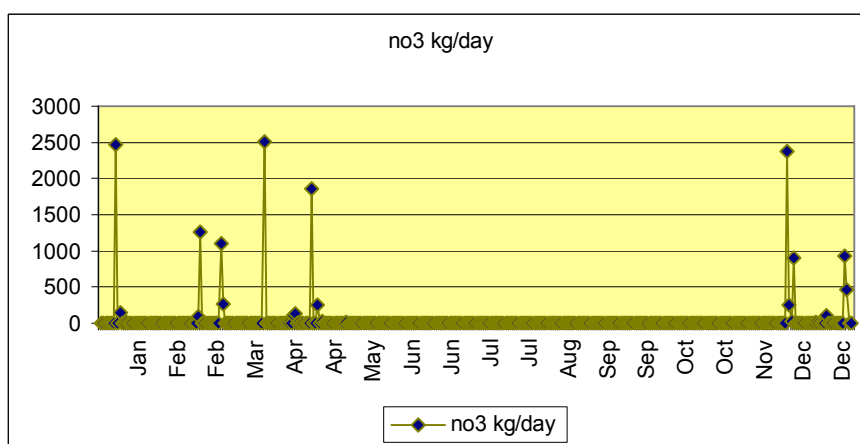
Εκτιμάται ότι η αύξηση της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας μετά από μία βροχή φτάνει σε μέγιστη τιμή μετά από 8 ή 9 μέρες. Η εκτίμηση αυτή, ωστόσο, είναι εμπειρική και χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση.

4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εισροών από χέρσο.

➤ Οι συγκεντρώσεις νιτρικών εμφανίζονται να είναι καθοριστικές για τα επίπεδα ευτροφισμού στον κόλπο, όπως προκύπτει από την αναλογία Redfield. Η εισροή τους στον κόλπο πραγματοποιείται μέσω των σημειακών και μη σημειακών πηγών φερτών θρεπτικών της λεκάνης απορροής. Τα νιτρικά που καταλήγουν στη θάλασσα σύμφωνα με το μοντέλο εισροών για την περίοδο Ιούνιος 1996 – Ιούνιος 1997 είναι:



Σχήμα 18: Μηνιαία παροχή νιτρικών (kg) στον κόλπο της Γέρας όπως προκύπτει από το μοντέλο εισροών.



Σχήμα 19: Ημερήσιες ποσότητες νιτρικών (kg) που εισέρχονται στον κόλπο, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου εισροών.

Εισροή θρεπτικών στον κόλπο καταγράφεται από το Νοέμβριο έως τον Απρίλιο (Σχήμα 18), τους μήνες δηλαδή, των βροχοπτώσεων. Την περίοδο αυτή υπάρχει καλή ανάμειξη του νερού και τα θρεπτικά διαχέονται σε όλη τη στήλη του νερού.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου δίνουν την εισροή σε μηνιαίες τιμές. Ανάγοντας τα αποτελέσματα σε ημερήσιες ποσότητες (Σχήμα 19) παρατηρείται ότι σε διάστημα ενός μήνα η εισροή είναι μεγάλη κάποιες συγκεκριμένες και λίγες αριθμητικά μέρες. Αυτό συμβαίνει γιατί οι βροχοπτώσεις που σημειώνονται στην περιοχή διαρκούν συνήθως μία ημέρα. Λόγω του ανάγλυφου της περιοχής είναι σπάνιο να βρέχει για αρκετές μέρες αδιάκοπα.

4.5 Ορισμός κατωφλίου εισροής νιτρικών στον κόλπο της Γέρας.

Τελικός στόχος είναι ο ορισμός ενός κατωφλίου παροχής θρεπτικών στον κόλπο, το οποίο θα αποτελεί ένα όριο διαχωρισμού του θαλάσσιου συστήματος σε oligότροφο και εύτροφο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο όρος του Vollenweider $(1 + \sqrt{\tau_w})$.

Αν και ο Vollenweider ανέπτυξε την εξίσωσή του για να υπολογίσει την παροχή φωσφόρου στις λίμνες, η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παράκτια οικοσυστήματα επιλέγοντας τους κατάλληλους συντελεστές (Costa et al., 1999). Η εξίσωση Vollenweider στα παράκτια συστήματα γράφεται:

$$L = \frac{a \cdot V \cdot (1 + \sqrt{\tau_w})}{\tau_w}$$

L: είναι η ετήσια ποσότητα νιτρικών που μπορεί να ανεχθεί το υπό μελέτη θαλάσσιο οικοσύστημα, δηλαδή το ετήσιο επιτρεπτό φορτίο (kg / yr).

a: είναι το όριο συγκέντρωσης νιτρικών στον αντίστοιχο όγκο νερού (kg / m^3).

V: είναι ο όγκος του κόλπου (m^3).

τ_w : είναι ο χρόνος ανανέωσης του νερού στον κόλπο υπολογισμένος σε χρόνια.

Η εισροή θρεπτικών στον κόλπο της Γέρας δεν πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό κατά την διάρκεια του έτους. Υπάρχουν περίοδοι που δεν καταγράφονται καθόλου βροχοπτώσεις και κατά συνέπεια δεν υπάρχει φυσικός εμπλουτισμός με θρεπτικά. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται μέσα σε ένα έτος απαιτούν ένα περισσότερο εύρηστο διαχειριστικό όριο που θα αναφέρεται σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Σκοπός στην παρούσα εργασία είναι ο προσδιορισμός ενός κατωφλίου για την επιτρεπτή ποσότητα (kg) νιτρικών που μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα. Πολλαπλασιάζοντας την παραπάνω σχέση με τ_w προκύπτει η ποσότητα που «ανέχεται» το σύστημα στον αντίστοιχο χρόνο ανανέωσης.

Έχοντας ως δεδομένα:

$a = 0,32 \mu mol / l = 4,48 \cdot 10^{-6} kg / m^3$ η μέση τιμή της κατανομής P – N.

$V = 4,85 \cdot 10^8 m^3$ ο όγκος του κόλπου της Γέρας

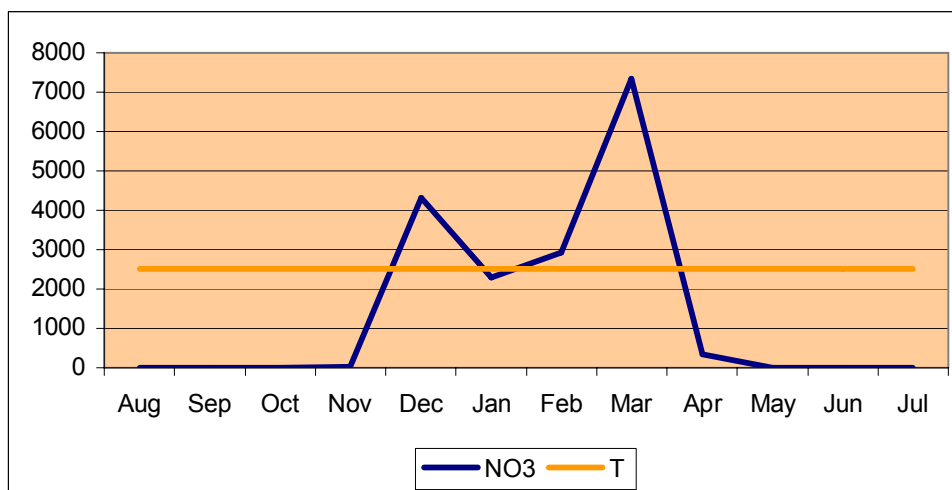
$\tau_w = \frac{9}{365} yr$ ο χρόνος ανανέωσης σε χρόνια

Η ποσότητα νιτρικών που μπορεί να δεχθεί ο κόλπος της Γέρας σε διάστημα ενός χρόνου ανανέωσης (9 μέρες) είναι:

$$T = a \cdot V \cdot (1 + \sqrt{\tau_w}) = 4,48 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{m^3} \cdot 4,85 \cdot 10^8 m^3 \cdot (1 + \sqrt{\frac{9}{365}}) = 2514 kg$$

Το όριο αυτό εκφράζει το επίπεδο του μεσοτροφισμού αφού το a είναι η μέση τιμή της κατανομής P – N. Ο όρος του Vollenweider $(1 + \sqrt{\tau_w})$ είναι αδιάστατος και το τ_w πρέπει να υπολογίζεται σε έτη.

➤ Με βάση το κατώφλι μεσοτροφισμού που υπολογίστηκε από την παραπάνω σχέση και την παροχή νιτρικών που προέκυψε από το μοντέλο εισροών της λεκάνης απορροής, τους μήνες Δεκέμβριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο η παροχή βρίσκεται πάνω από το όριο (Σχήμα 20) και τον Ιανουάριο βρίσκεται κοντά στο κατώφλι.



Σχήμα 20: Κατώφλι μεσοτροφισμού εισερχόμενων νιτρικών (kg) στον κόλπο της Γέρας.

Είναι σημαντικό να ελεγχθεί αν το κατώφλι που ορίστηκε πλησιάζει την πραγματική εικόνα του συστήματος.

Αρχικά, συγκρίνοντας τις μέσες μηνιαίες τιμές χλωροφύλλης –α των εσωτερικών σταθμών με τα τροφικά επίπεδα του πίνακα 1 το σύστημα χαρακτηρίζεται μεσότροφο με ιδιαίτερα υψηλές τιμές τον Σεπτέμβριο, τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο.

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των μέσων τιμών χλωροφύλλης σε σχέση με τις μέρες δειγματοληψίας και βροχοπτώσεων (Πίνακας 31). Δεδομένου ότι η απόκριση του συστήματος εκτιμάται γύρω στις 8 με 9 μέρες και το όριο μεσοτροφισμού ξεπερνιέται τους μήνες Δεκέμβριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο παρατηρούνται τα εξής:

➤ Το Σεπτέμβριο οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις 3 και στις 26 και οι βροχοπτώσεις που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης –α στις 24 Αυγούστου και 4,8,20,23,27,28 Σεπτεμβρίου, με μεγαλύτερο ύψος βροχής στις 28. Πρέπει να σημειωθεί ότι τον Σεπτέμβριο στον κόλπο επικρατούν συνθήκες στρωμάτωσης.

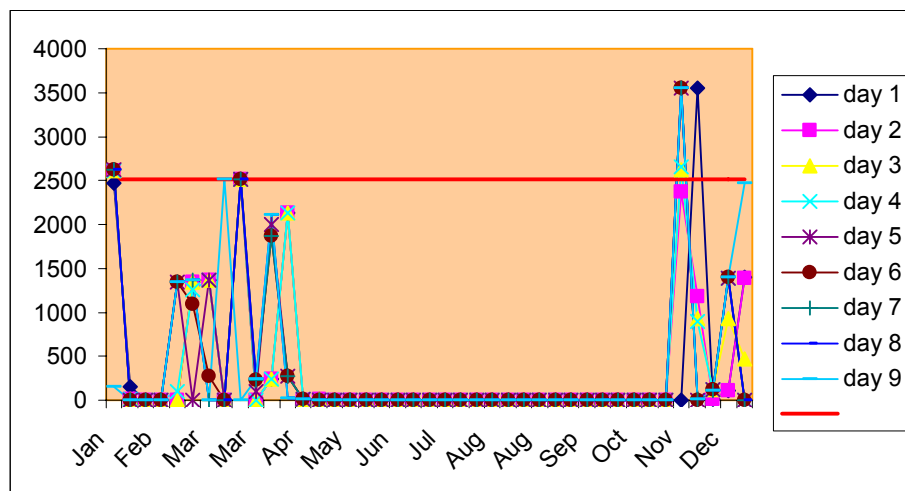
➤ Το Δεκέμβριο η δειγματοληψία έγινε στις 7 και τα μεγαλύτερα ύψη βροχών σημειώθηκαν στις 30 Νοεμβρίου και 1 Δεκεμβρίου. Το σύστημα είχε χρόνο να αποκριθεί μέχρι την ημέρα της δειγματοληψίας.

➤ Το Φεβρουάριο μεγάλο ύψος βροχής καταγράφηκε στις 18 και κυρίως στις 28 του μήνα, η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 24.

Πίνακας 31: Μέσες μηνιαίες τιμές χλωροφύλλης – α στο εσωτερικό του κόλπου, οι αντίστοιχες ημέρες δειγματοληψιών και οι κατακρημνίσεις στην περιοχή ανά μήνα. Το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε ύψος βροχής πάνω από 1cm, το κόκκινο πάνω από 2cm και το μπλε πάνω από 3cm.

μήνας	μέρες δειγματοληψίας	GG3-8 chl-a (mgr/m3)	μέρες βροχοπτώσεων
AUG	1	0,83	24
SEP	3, 26	1,11, 1,76	4,8,20,23,27,28
OCT	30	0,86	9,10,21,22,31
NOV	23	0,94	22,25,26,27,28,29,30
DEC	7	1,73	1,2,3,4,5,12,14,19,20,27,28,29,30,31
JAN	17	1,61	7,8,9,10,11,13
FEB	24	0,59	7,8,17,18,28
MAR	26	0,52	1,21,30
APR	21	0,69	1,2,3,4,5,7,13,14,16,18,19,30
MAY	22	0,67	1
JUN	19	0,7	27
JUL	5	0,93	

➤ Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο χρόνος ανανέωσης του κόλπου είναι 9 μέρες και αθροίζοντας τις ημερήσιες τιμές νιτρικών φορτίων (kg/day) από τις σημειακές και μη σημειακές πηγές της λεκάνης απορροής, όπως προέκυψαν από το μοντέλο εισροών, ανά 9 ημέρες παρατηρούμε ότι το όριο παροχής θρεπτικών L ξεπερνιέται τους μήνες, Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και οριακά τον Μάρτιο (Σχήμα 21). Η προσέγγιση αυτή αποκρίνεται καλύτερα στις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης – α που μετρήθηκαν.



Σχήμα 21: Ποσότητα θρεπτικών (kg) που εισέρχεται στον κόλπο της Γέρας ανά 9 μέρες.

Συνεκτιμώντας τις τιμές χλωροφύλλης – α ανά ημερομηνία δειγματοληψίας, την ποσότητα θρεπτικών που εισέρχεται στον κόλπο ανά χρόνο ανανέωσης με βάση τις βροχοπτώσεις, τον χρόνο ανανέωσης του νερού και τον χρόνο απόκρισης του συστήματος διαπιστώνεται ότι το κατώφλι που ορίστηκε προσεγγίζει ικανοποιητικά την εικόνα του συστήματος και διαχωρίζει το ολιγότροφο και το εύτροφο επίπεδο. Ωστόσο, για να γίνει αποδεκτό ως διαχειριστικό εργαλείο ένα τέτοιο όριο είναι αναγκαίο να γίνει η ίδια διερεύνηση σε μεγαλύτερη χρονοσειρά.

5. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις συσχετίσεις που εφαρμόστηκαν παραπάνω προέκυψε θετική σχέση μεταξύ των νιτρικών, του φωσφόρου και της χλωροφύλλης – α στον κόλπο της Γέρας. Αξιοσημείωτη είναι η αρνητική σχέση της αμμωνίας με τα παραπάνω, κάτι που χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση. Εξωτερικά του κόλπου παρατηρήθηκε θετική σχέση του συνολικού αζώτου με την χλωροφύλλη – α, ενώ ο φώσφορος δεν είχε κάποια θετική σχέση με την χλωροφύλλη. Από τις συσχετίσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων θρεπτικών και χλωροφύλλης μέσα και έξω από τον κόλπο δεν παρατηρήθηκε θετική σχέση παρά μόνο στον φώσφορο. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω καθώς και ότι το σύστημα οδηγείται από την παλίρροια και ο περιοριστικός παράγοντας μέσα στον κόλπο είναι τα νιτρικά καταγράφονται δύο διαφορετικά τροφικά πρότυπα εσωτερικά και εξωτερικά του κόλπου. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από την παρατήρηση των φυτοπλαγκτονικών εξάρσεων στη διάρκεια του έτους. Εξωτερικά καταγράφονται δύο εξάρσεις την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ εσωτερικά μία το φθινόπωρο και παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων.

Πρέπει να επισημανθεί ότι τα στοιχεία με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση προέρχονται από δειγματοληψίες 18 μηνών. Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αλλά και την αντικειμενικότητα του κατωφλίου είναι αναγκαία η μελέτη του συστήματος σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Στον ορισμό του κατωφλίου ιδιαίτερο παράγοντα αποτελεί το ογκομετρικό όριο. Το όριο πρέπει να είναι διαφορετικό σε κάθε ευρύτερη θαλάσσια περιοχή ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τα χαρακτηριστικά του θαλάσσιου συστήματος. Η μέση τιμή της κατανομής P-N που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία παρέχει ένα όριο μεσοτροφισμού στο Αιγαίο. Αν επιλεγεί ένα διάστημα 'γύρω' από την μέση τιμή τότε τα άκρα του αντιστοιχούν στην συγκέντρωση χαμηλού μεσοτροφισμού και στην συγκέντρωση υψηλού μεσοτροφισμού. Αντίστοιχα, οι τιμές των άκρων του διαστήματος μπορούν να παράγουν δύο διαφορετικά κατώφλια εισροής θρεπτικών στον κόλπο που θα αντιστοιχούν σε μικρότερο και μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας. Έτσι, δημιουργούνται επίπεδα κατωφλίων χρήσιμα για την διαχείριση του συστήματος.

Ο ορισμός του κατωφλίου δεν αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο αλλά συμπληρώνει τα κριτήρια αποφάσεων σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα. Σκοπός είναι το κατώφλι αυτό να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύτερο σύστημα διαχειριστικών αποφάσεων, στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου διαχειριστικού εργαλείου. Ο έλεγχος του ευτροφισμού των νερών τις παράκτιας ζώνης απαιτεί προσεκτικές διαχειριστικές πρακτικές, ιδιαίτερες για κάθε περιοχή, τόσο για το άζωτο όσο και το φώσφορο. Πρέπει να γίνεται με αμερόληπτους όρους οι οποίοι θα διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών περιοχών και θα εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες και από την προσδοκώμενη από τον πληθυσμό ποιότητα νερού. Για την προσπάθεια διαχείρισης των φερτών θρεπτικών και τον περιορισμό τους είναι σημαντικό να υπολογίζονται με ακρίβεια παράμετροι που οδηγούν το εκάστοτε σύστημα.

Ο χρόνος ανανέωσης είναι καθοριστικός σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα. Ο ακριβής προσδιορισμός του είναι σημαντικός για την ανάπτυξη των διαχειριστικών εργαλείων, αφού για μικρούς χρόνους ανανέωσης το σύστημα μπορεί να δεχθεί περισσότερα θρεπτικά. Επιπλέον, σε ήδη επιβαρυνμένες περιοχές η ανάκαμψη μπορεί να είναι γρηγορότερη αν υπάρχει καλή ανανέωση. Στην περίπτωση που στο σύστημα παρατηρείται εποχική διαφοροποίηση ως προς τον χρόνο ανανέωσης μπορούν να προσδιοριστούν διαφορετικά όρια για κάθε εποχή. Την περίοδο της στρωμάτωσης, αν

αυτή είναι σημαντική, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν μόνο ο όγκος του νερού που ανανεώνεται και όχι όλου του κόλπου.

Τα διαχειριστικά μοντέλα δεν μπορούν να απεικονίσουν την πραγματικότητα όταν μάλιστα οι ακριβείς διεργασίες που συμβαίνουν σε ένα παράκτιο οικοσύστημα δεν είναι απόλυτα κατανοητές. Είναι μία απλούστευση των γνωστών διεργασιών και παρά τα μειονεκτήματα είναι βασικά διαχειριστικά εργαλεία που τελικό στόχο έχουν την πρόβλεψη και αποτροπή φαινομένων επικίνδυνων για την δημόσια υγεία και την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων.

Παρόλο που τα μοντέλα πρόβλεψης δεν είναι τέλεια και οι ακριβείς βιολογικές συνθήκες σε ένα οικοσύστημα ποικίλουν από χρόνο σε χρόνο, ως αποτέλεσμα των κλιματικών και άλλων περιβαλλοντικών μεταβολών, μπορούν να είναι χρήσιμα στον προγραμματισμό και την στρατηγική της τοπικής κοινωνίας. Όταν χρησιμοποιούνται ως βάση για τις διαχειριστικές αποφάσεις στις παράκτιες περιοχές, τα μετρήσιμα δεδομένα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τους μέσους από μεγάλο αριθμό δειγμάτων σε μεγάλη κλίμακα χρόνου. Έτσι, οι εκτιμήσεις παράγονται από ένα καλά βαθμονομημένο μοντέλο που βασίζεται σε τρέχουσα χρήση και τα όρια είναι αναπαράσταση των μακρόχρονων μέσων γύρω από τους οποίους οι μετρήσεις ποικίλουν.

Αυτό βέβαια είναι ιδανικό, ενώ στην πραγματικότητα υπάρχουν μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα και αυτή η ακρίβεια δεν μπορεί να επιτευχθεί σε όλες τις περιπτώσεις. Ακόμη, όμως, και αν υπάρχει μεγάλο χάσμα μεταξύ των προβλεπόμενων και των δειγματοληπτικών δεικτών τροφικής κατάστασης για μία συγκεκριμένη περιοχή, και υπάρχει αμφιβολία γύρω από τις απόλυτες τιμές των δεικτών πρόβλεψης, τα μοντέλα ακόμα θα δηλώνουν τη σχετική μεταβολή της τροφικής κατάστασης που θα προκύψει από μία δοσμένη μεταβολή συνθηκών.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

Arrigo R. Kevin, 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. NATURE, vol 437, 15 September 2005.

Boesch F. Donald, 2001. CAUSES AND CONSEQUENCES OF NUTRIENT OVERENRICHMENT OF COASTAL WATERS. Submitted *Proceedings of 24th Annual Seminar on World Planetary Emergencies, Erice, Italy, 19-24 August 2001*.

Buzzards Bay National Estuary Program (BBP). www.buzzardsbay.org
Capone G. Douglas and Knapp N. Angela, 2007. A marine nitrogen cycle fix?. NATURE, 11 January 2007, Vol 445.

Chapra C. Steven, 1997. Surface water – quality modeling. McGraw-Hill, United States, 1997.

Costa J. E., Howes B. L., Janik D., Aubrey D., Gunn E., Giblin A. E., 1999. Managing anthropogenic nitrogen inputs to coastal embayments: Technical basis and evaluation of a management strategy adopted for Buzzards Bay. Buzzards Bay Technical Report, Draft Final, September 24, 1999.

Dettmann H. Edward, 2001. Effect of Water Residence Time on Annual Export and Denitrification of Nitrogen in Estuaries: A Model Analysis. Estuaries, Vol.24, No 4, August 2001, p. 481-490.

Environmental Protection Agency (EPA), 2001. Nutrient Criteria, Technical Guidance Manual – Estuarine and Coastal Marine Waters. United States, EPA-822-B-01-003, October 2001.

Gotsis – Skretas O. and Ignatiades L., 2005. Phytoplankton in Pelagic and Coastal Waters. State of the Hellenic Marine Environment. Editors: E. Papathanasiou and A. Zenetos, HCMR, 2005.

Guildford J. Stephanie and Hecky E. Robert, 2000. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship?. Limnology and Oceanography, 45(6), 2000, 1213-1223.

Howarth Robert, Anderson Donald, Cloern James, Elfring Chris, Hopkinson Charles, Lapointe Brian, Malone Tom, Marcus Nancy, McGlathery Karen, Sharpley Andrew, and Walker Dan, 2000. Nutrient Pollution of Coastal Rivers, Bays, and Seas. Issues in Ecology, Number 7, Fall 2000.

Kolovoyiannis V. and Tsirtsis G., (2005), Implementation of a high resolution, 3 Dimensional, Hydrodynamic Model to a shallow, semi- enclosed water body, Gulf of Gera – Lesvos: 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes island, Greece, vol. A, 791-797.

Lerman Abraham, Mackenzie T. Fred, Ver B. Leah May, 2000. Nitrogen and Phosphorus Controls of the Carbon Cycle. Journal of Conference Abstracts, 2000 Cambridge Publications, Volume 5(2), 638.

OECD, 2007. Organization for Economic Co – Operation and Development. <http://lakes.chebusto.org/TPMODELS/OECD/managment.html>

Schnoor L. Jerald, 1996. Περιβαλλοντικά μοντέλα: τύχη και μεταφορά ρύπων στον αέρα, νερό και έδαφος. Μετάφραση Βασίλειος Χ. Γκέκας, εκδόσεις Τζιόλας, 2003.

Scott J. Sturgul and Larry G. Bundy, 2004. Understanding soil Phosphorus. An Overview of Phosphorus, Water Quality, and Agricultural Management Practices. University of Wisconsin-Extension, March 2004, NPM Program (608) 262-7486.

Smith V. H., 2006. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. Limnol. Oceanogr., 51(1, part 2), 2006, 377-384.

Stefanou P., Tsirtsis G., Karydis M., 2000. Nutrient scaling for assessing eutrophication: the development of a simulated normal distribution. Ecological Applications 10(1), 2000, pp. 303-309.

Tsirtsis G., Kitsiou D., Nitis Th., Avagianou E., Spatharis S., 2003. Synthesis of Available Information, Gulf of Gera case-study. Department of Marine Sciences, School of Environmental Sciences, University of the Aegean. EVK3-CT-20022-00084 (DITTY Project), September 2003.

Zoboli Ottavia, 2005. Application of Watershed Modeling and GIS to the Estimation of the Nutrient Loading in a shallow, semi-enclosed Marine System of Northern Aegean, Eastern Mediterranean. Thesis. Universita' Delgi studi di Parma, academic year 2004-2005.

Ελληνική

Αρχοντίσης Γ., 1998. Ποσοτική εκτίμηση του θαλάσσιου ευτροφισμού από τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 1998.

Γώγου Α., 2006. Βιοχημικές Διεργασίες στο Παράκτιο Σύστημα. Σημειώσεις, ΠΜΣ 'Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών', τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Καβακλή Ζαχαρώ, 2005. Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην διαχείριση παράκτιων περιοχών με τη χρήση ανάλυσης σεναρίων και της μεθοδολογίας ισοζυγίου LOICZ: η περίπτωση της παράκτιας περιοχής κόλπου Γέρας. Διατριβή Εξειδίκευσης. ΠΜΣ 'Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών', τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Καρύδης Μ., 2006. Οικολογία Παράκτιων Οικοσυστημάτων. Σημειώσεις, ΠΜΣ 'Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών', τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Παράρτημα 1: Δημοσιευμένη εργασία



CONSERVATION AND MANAGEMENT IN COASTAL ECOSYSTEM

an international forum for addressing management issues
of biodiversity, goods and service in transitional waters

A B S T R A C T



JOINT MEETING

INVITED LECTURES PP. 5-15

COMMUNICATIONS PP. 19-117

POSTERS PP. 121-155

November, 19-23 2007

Thresholds of terrestrial nutrient loading for the development of eutrophication episodes in a coastal embayment in the Aegean

Tsirtsis G., S. Spatharis, A. Sampatakaki, A. Spyropoulou

Department of Marine Sciences, University of the Aegean University Hill, Mytilini - Greece
gtsir@aegean.gr

A quantitative methodology was developed estimating thresholds of terrestrial nutrient loading (inorganic N and P) for the development of eutrophication episodes in an enclosed coastal embayment, the Kalloni gulf, in the Aegean Sea, Eastern Mediterranean. Nutrient loading arriving at the bay was estimated on a daily basis by a watershed runoff model taking into account land use, geomorphology, sewerage, industrial and animal farming by-products. The eutrophication episodes were assessed by an existing scale for the Aegean coastal waters based on phytoplankton biomass expressed in terms of chl_a, whereas the necessary nutrient concentrations (N and P) for the development of such episodes were defined using a probabilistic procedure proposed for the Aegean. Finally, the linking between nutrient loading arriving at the bay and the resulting nutrient enrichment of the marine ecosystem was attempted by applying three loading factors already developed by Vollenweider for lake and marine ecosystems. The first factor assumes that there is no exchange between the bay and the open sea, whereas the two others take into account water renewal time. Only the loading threshold for inorganic nitrogen estimated by the first factor was exceeded in the study area during

February after a strong rainfall event coinciding with a eutrophication episode observed in the bay; therefore implying that the waters of the bay are rather confined and the receiving body operates as a lake. The confinement of the bay was further examined by studying the temperature, salinity and density distributions inside the bay and across the channel connecting the bay to the open sea. It was found that the incoming freshwater from the watershed during winter results to the formation of a dilute surface layer of low salinity and density, which is clearly isolated from the open sea. Therefore the nutrients entering into the bay from the watershed are diluted into this water mass and the eutrophication threshold for nitrogen is surpassed. Although phosphorus loading was also remarkable during winter, the corresponding limits were never exceeded. The proposed methodology defines a clear-cut relationship between terrestrial nutrient loading and eutrophication development in coastal embayments, assuming that information on the physical setting of the system is available. These cause-and-effect relationships can be invaluable tools for managers and decision makers in the framework of Integrated Coastal Zone Management.

Παράρτημα 2: Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Επίπεδα ευτροφισμού στα ελληνικά θαλάσσια οικοσυστήματα (Gotsis – Skretas and Ignatiades, 2005)	6
Πίνακας 2: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας (°C) και αλατότητας (psu) και η μέση τιμή τους (Tsirtsis et al., 2003)	17
Πίνακας 3: Μέσος όρος και διακύμανση των νιτρικών, νιτρωδών, αμμωνίας, φωσφόρου και χλωροφύλλης α στον κόλπο της Γέρας την περίοδο 1996-97.....	17
Πίνακας 4: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	19
Πίνακας 5: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	19
Πίνακας 6: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	19
Πίνακας 7: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 - 8, εσωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	20
Πίνακας 8: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997....	21
Πίνακας 9: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	21
Πίνακας 10: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	22
Πίνακας 11: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG3 – 6 που επηρεάζονται από τις εκβολές των ποταμών που καταλήγουν στον κόλπο της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	22

Πίνακας 12: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	22
Πίνακας 13: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	23
Πίνακας 14: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	23
Πίνακας 15: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από τους σταθμούς GG1-GG2, εξωτερικά του κόλπου της Γέρας, την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	23
Πίνακας 16: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων ολικού ανόργανου αζώτου μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.....	24
Πίνακας 17: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων φωσφορικών μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.....	24
Πίνακας 18: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) μέσω μηνιαίων τιμών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης - α μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.....	24
Πίνακας 19: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3 – 8.....	25
Πίνακας 20: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3 – 6.....	25
Πίνακας 21: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Νοέμβριος 1996 – Απρίλιος 1997 από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.....	26
Πίνακας 22: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8.....	26

Πίνακας 23: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών – νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου. από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8	26
Πίνακας 24: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8	26
Πίνακας 25: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνίας. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG3-8	27
Πίνακας 26: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2	27
Πίνακας 27: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών – νιτρωδών, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2	27
Πίνακας 28: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2	28
Πίνακας 29: Συντελεστής συσχέτισης Spearman (επίπεδο σημαντικότητας) νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνίας. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Οκτωβρίου από τους σταθμούς δειγματοληψιών GG1-2.	28
Πίνακας 30: Λόγος Redfield μεταξύ των μέσων μηνιαίων τιμών νιτρικών και φωσφορικών από τους εσωτερικούς σταθμούς δειγματοληψιών του κόλπου της Γέρας	31
Πίνακας 31: Μέσες μηνιαίες τιμές χλωροφύλλης – α στο εσωτερικό του κόλπου, οι αντίστοιχες ημέρες δειγματοληψιών και οι κατακρημνίσεις στην περιοχή ανά μήνα. Το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε ύψος βροχής πάνω από 1cm, το κόκκινο πάνω από 2cm και το μπλε πάνω από 3cm.	35

Παράρτημα 3: Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1: Διάγραμμα Vollenweider (OECD).....	10
Σχήμα 2: Η βαθυμετρία του κόλπου της Γέρας στη Λέσβο	15
Σχήμα 3: Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής που περικλείει τον κόλπο της Γέρας.....	15
Σχήμα 4: Ύψος βροχής σε cm την περίοδο Ιούλιος 1996 – Ιούνιος 1997.....	16
Σχήμα 5: Οι 8 σταθμοί στους οποίους έγιναν οι μηνιαίες δειγματοληψίες στον κόλπο Γέρας την περίοδο Ιουνίου 1996 – Οκτωβρίου 1997	17
Σχήμα 6: Σχέση νιτρικών – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.....	20
Σχήμα 7: Σχέση νιτρικών – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.	20
Σχήμα 8: Σχέση αμμωνίας – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας	20
Σχήμα 9: Σχέση νιτρικών – χλωροφύλλης -α στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.....	20
Σχήμα 10: Σχέση χλωροφύλλης -α – φωσφορικών στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.....	21
Σχήμα 11: Σχέση αμμωνίας – χλωροφύλλης -α στο εσωτερικό του κόλπου της Γέρας	21
Σχήμα 12: Σχέση μέσων μηνιαίων τιμών ολικού ανόργανου αζώτου, φωσφορικών και χλωροφύλλης – α μεταξύ των ομάδων σταθμών GG3-8, GG3-6, GG1-2.	24
Σχήμα 13: Σχέση νιτρικών, αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης –α στους σταθμούς GG3-8 τις χρονικές περιόδους Νοεμβρίου – Απριλίου και Μαΐου – Οκτωβρίου 1996-1997.....	28
Σχήμα 14: Σχέση νιτρικών, αμμωνίας, φωσφορικών και χλωροφύλλης –α στους σταθμούς GG1-2 τις χρονικές περιόδους Νοεμβρίου – Απριλίου και Μαΐου – Οκτωβρίου 1996-1997.....	29
Σχήμα 15: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις ανόργανου αζώτου ($\mu\text{M/l}$), φωσφορικών ($\mu\text{M/l}$) και χλωροφύλλης-α ($\mu\text{gr/l}$) στον κόλπο της Γέρας την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	29
Σχήμα 16: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις ολικού ανόργανου αζώτου ($\mu\text{M/l}$), φωσφορικών ($\mu\text{M/l}$) και χλωροφύλλης-α ($\mu\text{gr/l}$) εξωτερικά του κόλπου της Γέρας την περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.	30
Σχήμα 17: Κατανομή της αναλογίας Redfield και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης – α ($\mu\text{gr/l}$) την χρονική περίοδο Ιούνιος 1996 – Οκτώβριος 1997.....	31

Σχήμα 18: Μηνιαία παροχή νιτρικών (kg) στον κόλπο της Γέρας όπως προκύπτει από το μοντέλο εισροών.	32
Σχήμα 19: Ημερήσιες ποσότητες νιτρικών (kg) που εισέρχονται στον κόλπο, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου εισροών.....	32
Σχήμα 20: Κατώφλι μεσοτροφισμού εισερχόμενων νιτρικών (kg) στον κόλπο της Γέρας.....	34
Σχήμα 21: Ποσότητα θρεπτικών (kg) που εισέρχεται στον κόλπο της Γέρας ανά 9 μέρες	35