



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ**

*ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»*

Διατριβή Εξειδίκευσης:

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ LOICZ: Η
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΛΠΟΥ ΓΕΡΑΣ.**

Ζαχαρώ Καβακλή

Επιβλέπων: Γ. Τσιρτσής, Επίκουρος Καθηγητής

Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2005

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου στον κ. Τσιρτσή Γεώργιο, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Αιγαίου τμήμα Επιστημών της Θάλασσας. Η συνεχής καθοδήγηση, βοήθεια, υποστήριξη, ενθάρρυνση και εμπιστοσύνη στις δυνατότητές μου κατά την επίβλεψη της διατριβής εξειδίκευσης ήταν σημαντικές για να την ολοκληρώσω.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Λέκτορα κα. Κρασακοπούλου Ευαγγελία και τους υποψήφιους διδάκτορες Κολοβογιάννη Βασίλη, Σπαθάρη Σοφία και Ταμβάκη Ανδρονίκη του Πανεπιστημίου Αιγαίου τμήμα Επιστημών της Θάλασσας για την μεγάλη βοήθεια και τον χρόνο που μου διέθεσαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου Βαγγελιώ για τις πολύτιμες συμβουλές της σχετικά με την μεταπτυχιακή μου εργασία και γενικότερα την οικογένειά μου για την απεριόριστη συμπαράσταση, κατανόηση, βοήθεια, υποστήριξη και αγάπη που μου προσφέρουν απλόχερα σε όλα τα βήματα της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης του κόλπου Γέρας βασισμένη στην χρήση ισοζυγίων του LOICZ, την ανάπτυξη σεναρίων και την εφαρμογή του πλαισίου DPSIR. Ο κόλπος Γέρας αποτελεί ένα ημίκλειστο οικοσύστημα του Αιγαίου, που επηρεάζεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην λεκάνη απορροής. Μελετήθηκαν δύο χρονικοί περίοδοι, η περίοδος στρωμάτωσης (από Μάιο έως Οκτώβριο) και η περίοδος ανάμιξης (από Νοέμβριο έως Απρίλιο). Αρχικά εφαρμόστηκε το μοντέλο ενός διαμερίσματος σε σταθερές συνθήκες. Οι βασικές πηγές εισερχόμενων-εξερχόμενων ροών συντηρητικών και μη-συντηρητικών υλικών στο κόλπο είναι η ροή των ποταμών, η υπόγεια ροή, η εξατμισοδιαπνοή, η κατακρήμνιση, η υπολειμματική ροή και η ροή ανάμιξης. Η υπολειμματική ροή και η ροή ανάμιξης εκτιμήθηκαν από το τρισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο POM (Princeton Ocean Model). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο λεκάνης απορροής που υπολογίζει την διάβρωση/ επιφανειακή απορροή καθώς και την ποσότητα θρεπτικών και οργανικής ύλης που φτάνει στο παράκτιο οικοσύστημα μέσω σημειακών και μη σημειακών πηγών. Η υπόγεια ροή εκτιμήθηκε μέσω της χρήσης του ισοζυγίου νερού και προέκυψε άμεση εξάρτησή της από την ροή κατακρημνίσης. Ο χρόνος παραμονής του νερού στον κόλπο είναι μικρός και υπολογίστηκε περί τις δέκα ημέρες καθ' όλο τον χρόνο. Το θαλάσσιο οικοσύστημα χαρακτηρίζεται ως ετερότροφο. Λειτουργεί ως πηγή CO₂ και στις δύο περιόδους. Η διεργασία της νιτροποίησης κυριαρχεί έναντι της απονιτροποίησης κατά την στρωμάτωση ενώ το αντίστροφο συμβαίνει κατά την περίοδο ανάμιξης. Η ανάπτυξη του σεναρίου Εντατικοποίησης της Καλλιέργειας έδειξε σχεδόν μηδενικές επιπτώσεις σε σύγκριση με την παρούσα κατάσταση. Σε αντίθεση το σενάριο της Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης σχετίζεται με μια ποικιλομορφία δραστηριοτήτων ανάπτυξης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και προβλήματα παράκτιας διαχείρισης. Παράλληλα το πλαίσιο DPSIR ανέδειξε τις πιθανές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της υπάρχουσας κατάστασης και των σεναρίων ανάπτυξης. Η εφαρμογή των διαχειριστικών εργαλείων συμπεριλαμβανόμενων κοινωνικοοικονομικών πληροφοριών και συνεπειών στο φυσικό περιβάλλον φαίνεται να είναι αποδοτική στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης της παράκτιας ζώνης.

ABSTRACT

At the present study an integrated coastal zone management approach is suggested on the gulf of Gera, based on LOICZ budget analysis, scenario development and DPSIR application. The Gulf of Gera is a semi-enclosed coastal ecosystem of the Aegean Sea influenced by anthropogenic activities in the surrounding watershed. Two time periods were considered, the stratification period (May to October) and the mixing period (November to April). Initially the steady state 'single box single layer' LOICZ approach was followed. The main incoming-outcoming sources of conservative and non-conservative material to the Gulf are the river flow, groundwater, evapotranspiration, precipitation, residual and mixing flows. Residual and mixing flows were estimated by the 3D-Hydrodynamic model POM (Princeton Ocean Model). In addition, a watershed model that calculates erosion/surface runoff and the quantities of nutrients and organic matter flowing into the marine ecosystem through point and non-point sources was used. The groundwater flow estimated by the water budget gave a direct connection to the precipitation flow. The water residence time was found to be relatively small of about ten days during the year. The coastal ecosystem is characterized by heterotrophic metabolism. The gulf acts as a source of CO₂ during both periods. Nitrification processes overwhelm denitrification processes during stratification while the opposite phenomenon takes place during mixing period. The development of Agriculture Intensification scenario showed insignificant effects compared to the present state. However, the scenario of Urban and Tourism development is related to a range of growth activities, environmental and coastal management problems. In addition, the DPSIR framework revealed the socioeconomic results of the present state and of the development scenarios. The application of integrated tools including both socioeconomic information and the consequences on the physical environment seems to be efficient and promising in the framework of integrated coastal zone management.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT	ii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Παράκτια Ζώνη.....	1
1.2 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης (ΟΔΠΖ)	2
1.3 Ισχύουσα Νομοθεσία	4
1.4 Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα DITTY	5
1.5 Αλληλεπιδράσεις Χέρσου-Ωκεανού στην Παράκτια Ζώνη, LOICZ, (Land– Ocean Interactions in the Coastal. Zone).....	6
1.6 Βιογεωχημικά Ισοζύγια: ένα διαχειριστικό εργαλείο του LOICZ.....	8
2 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ.....	10
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	11
3.1 Εισαγωγή στην Μεθοδολογία Βιογεωχημικών Ισοζυγίων του LOICZ.....	11
3.2 Απλό Μοντέλο Ενός Διαμερίσματος	12
3.2.1 Υπολογισμός των συντηρητικών ροών.....	12
3.2.2 Υπολογισμός των μη-συντηρητικών ροών	16
3.2.3 Στοιχειομετρική σύνδεση των μη-συντηρητικών ροών των θρεπτικών (Y’s)	17
3.2.4 Μη συντηρητική ροή φωσφόρου και μεταβολισμός οικοσυστήματος	19
3.2.5 Μεταβολισμός αζώτου και διαφορά νιτροποίησης απονιτροποίησης.	19
3.3 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης: Ο Κόλπος της Γέρας	20
3.4 Λεκάνη Απορροής	24
3.5 Ανάλυση Σεναρίων	28
3.6 Πλαίσιο DPSIR.....	29
4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	31
4.1 Ισοζύγιο Συντηρητικών Ροών: Νερού – Αλατιού.....	31
4.2 Ισοζύγιο Μη-Συντηρητικών Ροών Θρεπτικών	33
4.3 Ανάπτυξη Σεναρίων	36
4.3.1 Σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας	37
4.3.2 Σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης.....	39
4.3.3 Σύγκριση Σεναρίων με την Υφιστάμενη Κατάσταση του Κόλπου	40
4.4 Εφαρμογή του Πλαισίου DPSIR.....	42

4.4.1	Κινητήριες δυνάμεις	42
4.4.2	Πιέσεις	43
4.4.3	Υφιστάμενη κατάσταση.....	43
4.4.4	Επιπτώσεις	44
4.4.5	Απόκριση	45
4.4.6	Σενάρια	47
5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	48
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
7	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	56

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Συνοπτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON), ανόργανου φωσφόρου (DIP) και αλατότητας στην στήλη του νερού (από Αρχοντίτσης 1998).....	23
Πίνακας 3.2: Συνοπτικά αποτελέσματα των ροών ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON) και ανόργανου φωσφόρου (DIP) από σημειακές και μη σημειακές πηγές της χέρσου (από Ταμβάκη 2004).	26
Πίνακας 3.3: Συνοπτικά αποτελέσματα των ροών ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON), ανόργανου φωσφόρου (DIP) από σημειακές και μη σημειακές πηγές της χέρσου για τα σενάρια Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1) και Αστικοποίησης/ Ανάπτυξης Τουρισμού (Σ2) (από Ταμβάκη 2004).	26
Πίνακας 3.4: Τιμές ροής όγκου ανάμιξης (V_X) και υπολειμματικού όγκου (V_R) κατά την περίοδο Στρωμάτωσης και Ανάμιξης αντίστοιχα (από Kolonoyiannis and Tsirtsis 2005).	28

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Γενικευμένο διάγραμμα υλικών ισοζυγίων (από LOICZ website 2000).	11
Σχήμα 3.2 : Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου νερού θαλασσίων οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).	13
Σχήμα 3.3: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου άλατος θαλασσίων οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).	15
Σχήμα 3.4: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου των μη-συντηρητικών ροών των θαλασσίων οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).	17
Σχήμα 3.5: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τους κύκλους άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου σε σχέση με τον μεταβολισμό των οργανισμών (συνεχής γραμμή: στάδια οργανικής παραγωγής, διακεκομμένη γραμμή: στάδια αναπνοής) (από LOICZ website 2000).	18
Σχήμα 3.6: Ο κόλπος Γέρας της νήσου Λέσβου, (από Arhonditsis et al. 2000).	21
Σχήμα 3.7: Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και εξάτμισοδιαπνοής κατά την διάρκεια των ετών 1996 και 1997 στον κόλπο της Γέρας.	23
Σχήμα 3.8: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τις ροές των ισοζυγίων συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών του κόλπου Γέρας.	24
Σχήμα 3.9: Παράδειγμα ταχυτήτων νερού στον κόλπο, 1 Δεκεμβρίου 1996 (από Kolonoyiannis and Tsirtsis 2005).	27
Σχήμα 3.10: Πλαίσιο DPSIR.	30
Σχήμα 4.1: Ισοζύγιο νερού και αλατιού κατά την περίοδο στρωμάτωσης.	31
Σχήμα 4.2: Ισοζύγιο νερού και αλατιού κατά την περίοδο ανάμιξης.	32
Σχήμα 4.3: Συγκριτική αναπαράσταση των ροών όγκου νερού που εισέρχονται και εξέρχονται τον κόλπο Γέρας κατά τις περιόδους στρωμάτωσης και ανάμιξης.	32
Σχήμα 4.4: Ισοζύγιο θρεπτικών κατά την περίοδο στρωμάτωσης.	34
Σχήμα 4.5: Ισοζύγιο θρεπτικών κατά την περίοδο ανάμιξης.	35
Σχήμα 4.6: Διακύμανση των μη συντηρητικών ροών διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN) και διαλυμένου οργανικού αζώτου (DON) κατά την διάρκεια των περιόδων στρωμάτωσης και ανάμιξης.	36
Σχήμα 4.7: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο στρωμάτωσης, σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1).	37
Σχήμα 4.8: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο ανάμιξης, σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1).	38
Σχήμα 4.9: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο στρωμάτωσης, σενάριο Αστικοποίηση και Τουριστική Ανάπτυξη (Σ2).	39
Σχήμα 4.10: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο ανάμιξης, σενάριο Αστικοποίηση και Τουριστική Ανάπτυξη (Σ2).	40
Σχήμα 4.11: Ποσοστό μεταβολής (%) των μη-συντηρητικών παραμέτρων στα σενάρια Σ1 και Σ2 σε σχέση με την παρούσα κατάσταση του κόλπου Γέρας, περίοδος στρωμάτωσης.	41
Σχήμα 4.12: Ποσοστό μεταβολής (%) των μη-συντηρητικών παραμέτρων στα σενάρια Σ1 και Σ2 σε σχέση με την παρούσα κατάσταση του κόλπου Γέρας, περίοδος ανάμιξης.	42
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα DPSIR για τον κόλπο Γέρας, Λέσβου (συνεχής γραμμή: ροή πλαισίου, διακεκομμένη γραμμή: αλληλεπιδράσεις μεταξύ βημάτων).	46

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Παράκτια Ζώνη

Οι παράκτιες θαλάσσιες περιοχές αποτελούν μέρος του παγκόσμιου ωκεανού και χαρακτηρίζονται από φυσικές, βιολογικές και βιογεωχημικές διεργασίες που επηρεάζονται άμεσα από την χέρσο. Η παράκτια ζώνη είναι μια δυναμική μεταβατική περιοχή μεταξύ της χέρσου και της ανοιχτής θάλασσας. Περιλαμβάνει την παράκτια θαλάσσια περιοχή και το τμήμα της χέρσου που επηρεάζει τις θαλάσσιες διεργασίες και χρήσεις και αντίστροφα. Δέχεται μεγάλες ποσότητες γλυκών νερών, θρεπτικών ουσιών, διαλυμένης και σωματιδιακής οργανικής ύλης, ιζημάτων και ρυπαντικών ουσιών. Επιπλέον στις παράκτιες θαλάσσιες περιοχές οι πελαγικές και οι βενθικές διεργασίες συνδέονται ισχυρά. Τα παραπάνω καθιστούν την παράκτια ζώνη ισχυρά ενεργή από άποψη πρωτογενούς παραγωγής και αναπνοής (Κοκκώσης 2002, Gazeau et al. 2004). Συντηρεί μεγάλο αριθμό οργανισμών και για το λόγο αυτό χρειάζεται να διατηρηθεί παρά τις αυξανόμενες πιέσεις της αστικής ανάπτυξης (Clark 1997). Παράλληλα, οι παράκτιες περιοχές και οι φυσικοί πόροι τους (θαλάσσιοι και χερσαίοι) διαδραματίζουν στρατηγικό ρόλο για την κάλυψη των αναγκών και επιδιώξεων των σημερινών και μελλοντικών πληθυσμών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2001). Αποτελούν θέση υψηλού ενδιαφέροντος για τους κατοίκους, το εμπόριο, τον τουρισμό και την ψυχαγωγία, τον στρατό και τις ποικίλες βιομηχανίες (Clark 1997, UNEP/MAP/PAP 2001).

Στις χώρες της Μεσογείου όπως η Ελλάδα, οι παράκτιοι πόροι και η βιωσιμότητα των οικονομικών δραστηριοτήτων αντιμετωπίζουν σοβαρές απειλές. Η ανθρώπινη δραστηριότητα στην παράκτια ζώνη επιδρά αρνητικά στην υγεία του τοπικού πληθυσμού, καταστρέφει το φυσικό περιβάλλον, ελαττώνει το εισόδημα από την αλιεία και υδατοκαλλιέργεια, μειώνει το τουριστικό ενδιαφέρον, την αναψυχή και την ακίνητη αξία της περιοχής (UNEP/MAP/PAP 2001). Κύρια πηγή των προβλημάτων αποτελούν η αστικοποίηση και η άμεσα συνδεδεμένη με αυτή τουριστική ανάπτυξη. Η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη επιβαρύνει υπέρμετρα τη φυσική φέρουσα ικανότητα των παράκτιων ζωνών. Παραδοσιακοί συμβατοί τομείς καλλιέργειας και αλιείας παρακμάζουν (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 1999). Επιπλέον, η υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων οδηγεί στην υφαλμύρωση τους. Η διάβρωση των ακτών που απασχολεί σοβαρά την Ελλάδα, επιταχύνεται από αμμοληψίες και ανεπιτυχή έργα. Τέλος, η συνεχής αστική ανάπτυξη μαζί με τη βιομηχανία κατά μήκος της ακτής αποτελούν

κέντρα έντονης κατανάλωσης πόρων αλλά και έντονης παραγωγής. Απόρροια της έντονης παραγωγής είναι η ανεξέλεγκτη διάθεση αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον και κατ' επέκταση αλλοίωσής του (UNEP/MAP/PAP 2001).

Η σημασία των παράκτιων ζωνών τόσο από οικολογικής, όσο και από κοινωνικοοικονομικής άποψης αναγνωρίζεται ευρέως. Η ανάγκη υιοθέτησης μιας στρατηγικής για τη βιώσιμη ανάπτυξή τους, η οποία θα διασφαλίζει την ποιότητα των παρακτίων πόρων και των οικοσυστημάτων ταυτόχρονα με την μακροχρόνια ανάπτυξη των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που φιλοξενούνται στη ζώνη αυτή, είναι επιτακτική (Κοκκώσης 2002). Η απάντηση για τα πολύπλοκα κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που επηρεάζουν την παράκτια ζώνη παγκοσμίως δίνεται μέσα από την έννοια της ολοκληρωμένης διαχείρισης της παράκτιας ζώνης (ΟΔΠΖ). Η έννοια αυτή προέκυψε τις τελευταίες δεκαετίες και έχει ευρεία αποδοχή από την επιστημονική κοινότητα (Tagliani et al. 2003).

1.2 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης (ΟΔΠΖ)

Η διαχείριση σύνθετων συστημάτων απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση ικανή να συνδυάσει τα πολλαπλά, αλληλένδετα ενδιαφέροντα της παράκτιας ζώνης με ένα συντονισμένο και λογικό τρόπο, ώστε η εκμετάλλευση των παράκτιων πόρων να γίνεται με σκοπό το βέλτιστο κοινωνικό και οικονομικό όφελος για τις σημερινές και μελλοντικές γενιές, χωρίς την πρόκληση βλάβης στους φυσικούς πόρους και τη διατήρηση των οικολογικών διεργασιών (UNEP 1994). Η ολοκληρωμένη διαχείριση των παράκτιων ζωνών ορίστηκε από το συνέδριο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προς μια ολοκληρωμένη ευρωπαϊκή στρατηγική διαχείρισης των παράκτιων ζωνών (1999), ως *‘μια δυναμική, συνεχής και επαναληπτική διαδικασία, σχεδιασμένη για την προώθηση της αειφόρου διαχείρισης των παράκτιων ζωνών’*. Η αειφόρος ανάπτυξη είναι η δυναμική ισορροπία μεταξύ της κοινωνικής ευημερίας και κοινωνικής δικαιοσύνης έναντι μιας αποδεκτής περιβαλλοντικής ποιότητας. Η αποδεκτή ισορροπία ποικίλει μεταξύ των διαφορετικών κοινοτήτων και θα ποικίλει επίσης εντός μιας κοινότητας κατά τη διάρκεια του χρόνου (Burbidge 1997).

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των παράκτιων ζωνών ασχολείται μεταξύ άλλων με θέματα συντήρησης πόρων και οικονομικής ανάπτυξης περιοχών, υποθέσεις συχνά αντικρουόμενες. Θα πρέπει να κάνει αποτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης, να

ορίσει την υφή και το μέγεθος των προβλημάτων και να προσδιορίσει τους επιθυμητούς στόχους. Να καθορίσει τα όρια ευθύνης των ενδιαφερομένων και εμπλεκόμενων και τους μηχανισμούς συντονισμού τους. Να ορίσει θεσμούς και νομικά πλαίσια, αλλά και προστατευόμενες ζώνες (UNEP/MAP/PAP 1999, Belfiore 2000).

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των παράκτιων ζωνών στοχεύει μακροπρόθεσμα να αντισταθμίσει τα οφέλη της οικονομικής ανάπτυξης και των ανθρωπίνων χρήσεων της παράκτιας ζώνης, τα οφέλη από την προστασία, τη συντήρηση και την αποκατάσταση των παρακτίων ζωνών, τα οφέλη από την ελαχιστοποίηση της απώλειας ζωής και της περιουσίας του ανθρώπου και τα οφέλη από τη δημόσια πρόσβαση και την απόλαυση της παράκτιας ζώνης, εντός των ορίων που καθορίζονται από τη φυσική δυναμική και τη φέρουσα ικανότητα. Παράλληλα, χρησιμοποιεί την ενημέρωση, συμμετοχή και συνεργασία όλων των πλευρών που έχουν ενδιαφέρον και συμφέρον, για να αξιολογήσει τους κοινωνικούς στόχους σε μια δεδομένη παράκτια περιοχή και σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και για να εισάγει τις δράσεις του που είναι απαραίτητες για να προχωρήσει κανείς προς την επίτευξη αυτών των στόχων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 1999).

Ένα πρόγραμμα ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιων ζωνών περιλαμβάνει μόνο εκείνα τα όρια της χέρσου και θάλασσας που έρχονται αντιμέτωπα με περιβαλλοντικά και κοινωνικο-οικονομικά ζητήματα καθώς και τους στόχους που καλείται να πετύχει (Clark 1997). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (1999), η καλή διαχείριση των παράκτιων ζωνών βασίζεται σε οχτώ αρχές: α) Πολυδιάστατη προοπτική, β) Μακροπρόθεσμη προοπτική, γ) Προσαρμοστική διαχείριση στο πλαίσιο μιας σταδιακής διαδικασίας, δ) Ανάπτυξη της τοπικής ιδιαιτερότητας, ε) Λειτουργία σε συνάρτηση με τις φυσικές διεργασίες, στ) Συμμετοχικός σχεδιασμός, ζ) Υποστήριξη και συμμετοχή όλων των αρμόδιων διοικητικών φορέων και η) Αξιοποίηση ενός συνδυασμού μέσων.

Ποικίλα εργαλεία και μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ολοκληρωμένη διαχείριση παρακτίων περιοχών στα πλαίσια διαχείρισης πληροφοριών, ανάπτυξης σχεδίων και εφαρμογής. Αυτά περιλαμβάνουν: βάσεις δεδομένων, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), συστήματα υποστήριξης απόφασης (DSS), βιογεωχημικά ισοζύγια LOICZ (Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone), πλαίσιο Driver–Pressure–State–Impact–Response (DPSIR), εκτίμηση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EIA), στρατηγική περιβαλλοντική εκτίμηση (SEA), οικονομική αξιολόγηση των δαπανών και των κερδών, σενάρια περιβαλλοντικής ανάπτυξης, ανάλυση φέρουσας ικανότητας (CCA), κανονισμός και έλεγχος ή οικονομικοί μηχανισμοί, ενημέρωση, ικανότητα υποδομής (capacity building) και εκπαίδευσης, και επίλυση συγκρούσεων (Turner et al. 1998, UNEP/MAP/PAP 1999, Bowen and Riley 2003).

1.3 Ισχύουσα Νομοθεσία

Η ισχύουσα νομοθεσία που αφορά την παράκτια ζώνη αναφέρεται κυρίως σε θέματα προστασίας υγροτόπων. Η Διεθνής Σύμβαση Ραμσάρ 1971, (Ramsar) αποτελεί την μοναδική διεθνή σύμβαση που αφορά υγροτόπους. Οι χώρες που υπογράφουν στην Ραμσάρ πιστεύουν πως οι υγρότοποι είναι αναντικατάστατος πόρος με μεγάλη οικονομική, πολιτιστική και επιστημονική αξία, καθώς και αξία αναψυχής, και ως εκ τούτου επιθυμούν να αποτρέψουν απώλειες υγροτόπων τώρα και στο μέλλον με εθνική και διεθνή δράση (Γεράκης και Κουτράκης 1996). Υπάρχουν και άλλες νομικές δεσμεύσεις που ισχύουν για την προστασία των υγροτόπων. Η Οδηγία 94/43/ΕΟΚ για την διατήρηση των φυσικών οικοτόπων και της άγριας χλωρίδας και πανίδας θεσπίζει την οργάνωση του πλαισίου και τη δημιουργία ενός δικτύου περιοχών με ιδιαίτερα οικολογικά, κοινωνικά, πολιτιστικά και οικονομικά χαρακτηριστικά οι οποίες τελούν υπό ειδικό καθεστώς προστασίας και διαχείρισης. Η Οδηγία 79/409/ΕΟΚ «Περί διατηρήσεως των άγριων πτηνών», όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία 81/854/ΕΟΚ, για τη διατήρηση, την προστασία και την διαχείριση όλων των ειδών της άγριας πτηνοπανίδας. Η Διεθνής Σύμβαση για τη διατήρηση της άγριας ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης, που υπογράφηκε στη Βέρνη την 19.9.1979 και κυρώθηκε με τον ν. 1355/1983. Σύμφωνα με την Σύμβαση, κάθε συμβαλλόμενο μέρος λαμβάνει τα αναγκαία μέτρα για την εφαρμογή εθνικής πολιτικής διατήρησης της άγριας χλωρίδας και πανίδας των φυσικών οικοτόπων (Ζούλιας 2004).

Επίσης, η Οδηγία–Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ (Water Framework Directive) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προστασία και διαχείριση των υδάτων είναι το βασικό νομοθετικό εργαλείο για την διαχείριση και προστασία του υδατικού περιβάλλοντος της Ευρώπης. Παράλληλα άλλα νομοθετικά εργαλεία

που μπορούν να εφαρμοστούν στην διαχείριση λιμνοθαλασσών είναι η Οδηγία για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης 96/61/EOK (Integrated Pollution Prevention and Control Directive) και έχει στόχο την διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου προστασίας για το περιβάλλον εξεταζόμενο σαν ένα σύνολο. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από την παρεμπόδιση ή μείωση των εκπομπών σε όλα τα περιβαλλοντικά μέσα (αέρα, νερό, έδαφος) και μέσω μέτρων αντιμετώπισης παραγωγής αποβλήτων. Η Οδηγία για την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων 85/337/EOK (Environmental Impact Assessment) είναι ακόμη ένα νομοθετικό όργανο που υποστηρίζει την ολοκληρωμένη διαχείριση. Η τροποποίησή της 97/11/EK επεκτείνει την κάλυψή της σε ένα μεγάλο αριθμό έργων όπως η εξόρυξη πετρελαίου. Τέλος, η Οδηγία Βιοτόπων 92/43 (Habitats Directive) καθιερώνει το ευρωπαϊκό δίκαιο για την προστασία των απειλούμενων βιοτόπων και ειδών ΦΥΣΗ 2000 (NATURA 2000) (EU 1997-1999).

1.4 Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα DITTY

Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα DITTY (Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff) ασχολείται με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Λιμνοθαλασσών της νότιας Ευρώπης. Στο έργο του προγράμματος συμβάλουν το ευρωπαϊκό θεματικό δίκτυο μελετών ELOISE (European Land Ocean Interaction Studies), και το πρόγραμμα LOICZ (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone) του IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme). Το πρόγραμμα επικεντρώνεται σε πέντε περιοχές: Ria Formosa (Πορτογαλία), Mar Menor (Ισπανία), Etang de Thau (Γαλλία), Sacca di Goro (Ιταλία) and Γέρα (Ελλάδα). Οι περιοχές αυτές μαζί με τις συνδεδεμένες λεκάνες απορροής ποταμού και παράκτιες ζώνες είναι όλες οικονομικά σημαντικές (υδατοκαλλιέργεια και οστρακαλιεία) και υφίστανται μια σειρά ανθρωπογενών πιέσεων (γεωργία, βιομηχανία και τουρισμός). Συγχρόνως επηρεάζονται από μια πολύ ποικίλη σειρά μετεωρολογικών συνθηκών (βροχοπτώσεις, ακραίες θερμοκρασίες) που μπορούν να επηρεαστούν από μακροπρόθεσμους κλιματολογικούς παράγοντες. Η επιλογή των περιοχών πραγματοποιήθηκε λόγω της διαθεσιμότητας καλών μακροπρόθεσμων δεδομένων και από το γεγονός ότι κάθε ένας από τους συνεργάτες έχει αναπτύξει καλές εργασιακές επαφές με τις τοπικές και περιφερειακές αρχές εξασφαλίζοντας την ανταλλαγή

πληροφοριών που καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών (DITTY Project website 2005).

Στόχος του προγράμματος είναι η ανάπτυξη εργαλείων πληροφορικής για την διαχείριση λιμνοθαλασσών της Νότιας Ευρώπης υπό την επίδραση των λεκανών απορροής. Ταυτόχρονα επιθυμεί να λάβει υπόψη όλες τις σχετικές επιδράσεις από τις γεωργικές, αστικές και οικονομικές δραστηριότητες, που έχουν επιπτώσεις στο υδρόβιο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό επιδιώκει την ανάπτυξη ενός γενικού διαχειριστικού συστήματος πληροφορίας που μπορεί να συμπεριλάβει όλες τις παραμέτρους ώστε να πετύχει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι ικανό να αναλύσει και να ενεργοποιήσει, χρησιμοποιώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, την υδροδυναμική των παράκτιων συστημάτων, την επίδραση της απορροής ποταμών μέσα σ' αυτά, οικολογία, τον κύκλο των θρεπτικών, την αλιεία οστρακοειδών, άνθιση μακροαλγών, όπως επίσης οικονομικές επιπτώσεις αναλύσεων σεναρίων. Ένα από τα διαχειριστικά εργαλεία που χρησιμοποιείται είναι η μεθοδολογία βιογεωχημικών ισοζυγίων του LOICZ με σκοπό την εκτίμηση και αξιολόγηση της αποδοτικότητας των παράκτιων περιοχών.

1.5 Αλληλεπιδράσεις Χέρσου-Ωκεανού στην Παράκτια Ζώνη, LOICZ, (Land–Ocean Interactions in the Coastal. Zone)

Το ερευνητικό έργο του LOICZ (Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone) είναι ένα από τα έντεκα στοιχεία του Διεθνούς Προγράμματος Γεώσφαιρας-Βιόσφαιρας, IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) μέρος του Διεθνούς Συμβουλίου Επιστημονικών Ενώσεων, ICSU (International Council of Scientific Unions). Εστιάζεται στην περιοχή της επιφάνειας της γης όπου χέρσος, ωκεανός και ατμόσφαιρα συναντώνται και αλληλεπιδρούν (LOICZ website 2000). Ενδιαφέρεται για τον ρόλο των παγκόσμιων παράκτιων ζωνών επάνω στη λειτουργία του γήινου συστήματος. Αναζητεί τον τρόπο με τον οποίο οι παγκόσμιες αλλαγές θα επηρεάσουν τον ρόλο αυτό, τον τρόπο με τον οποίο τέτοιες αλλαγές θα φέρουν επιπτώσεις στη χρήση των παράκτιων οικοσυστημάτων και πόρων από την ανθρωπότητα και τις συνέπειες τέτοιων αλλαγών για την ανθρώπινη ευημερία (Turner et al. 1998).

Το σχέδιο του LOICZ παρέχει ένα πρόγραμμα δράσης, έρευνας και ολοκληρωμένων δραστηριοτήτων, ιδανικά για την πλήρη επίτευξη των στόχων του

ερευνητικού έργου (LOICZ website 2000). Οι γενικοί στόχοι LOICZ όπως περιγράφουν οι Turner et al. (1998) είναι ως εξής:

I. Να καθορίσει σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα:

α) τις ροές υλικών μεταξύ του εδάφους, της θάλασσας και της ατμόσφαιρας μέσω της παράκτιας ζώνης

β) την ικανότητα των παράκτιων συστημάτων να μετασχηματίζουν και να αποθηκεύουν σωματιδιακή και διαλυμένη ύλη

γ) τα αποτελέσματα των αλλαγών στις εξωτερικές δυναμικές συνθήκες απάνω στη δομή και τη λειτουργία των παράκτιων οικοσυστημάτων.

II. Να καθορίσει πώς οι αλλαγές στη χρήση γης, στο κλίμα, στο επίπεδο της θάλασσας και στις ανθρώπινες δραστηριότητες αλλάζουν τις ροές και τη διατήρηση της σωματιδιακής ύλης στη παράκτια ζώνη, και έχουν επιπτώσεις στην παράκτια μορφοδυναμική.

III. Να καθορίσει πώς οι αλλαγές στα παράκτια συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των αντιδράσεων στις ποικίλες εδαφικές και ωκεάνιες εισροές της οργανικής ύλης και των θρεπτικών ουσιών, θα επηρεάσουν τον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα και την σύνθεση των αερίων της ατμόσφαιρας.

IV. Να αξιολογήσει πώς οι αντιδράσεις των παράκτιων συστημάτων στην πλανητική αλλαγή θα έχουν επιπτώσεις στην κατοίκηση και τη χρήση από τους ανθρώπους που ζουν στις παράκτιες ζώνες και να αναπτύξει περαιτέρω τις επιστημονικές και κοινωνικο-οικονομικές βάσεις για την ολοκληρωμένη διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

Η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της παράκτιας ζώνης και της πλανητικής αλλαγής δεν μπορεί να επιτευχθεί αποκλειστικά από μελέτες που αφορούν την παρατήρηση των φαινομένων. Η μοντελοποίηση των βασικών περιβαλλοντικών διεργασιών είναι το ζωτικό εργαλείο ολοκληρωμένης διαχείρισης που χρησιμοποιεί το LOICZ προκειμένου να επιτύχει τους γενικούς σκοπούς και τους στόχους του. Παράλληλα, λαμβάνει υπόψη ότι πολλές από τις αβεβαιότητες σχετικά με την ροή του πλανητικού άνθρακα μπορεί να οφείλονται σε μη ποσοτικές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στην παράκτια ζώνη.

1.6 Βιογεωχημικά Ισοζύγια: ένα διαχειριστικό εργαλείο του LOICZ

Η παράκτια ζώνη είναι περιοχή έντονης πρωτογενούς παραγωγής και έχει σημαντικό ρόλο στους παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους των άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου. Μπορεί να συμβάλλει στην παραγωγή ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα CO₂ (Simpson and Rippeth 1998, Durrieu de Madron et al. 2003). Το διεθνές πρόγραμμα LOICZ έχει ως βασικό σκοπό να προσδιορίσει αν οι παράκτιες ζώνες εξάγουν ή εισάγουν θρεπτικά με την ανοιχτή θάλασσα και τον χαρακτήρα τους ως πηγή ή καταβόθρα CO₂. Για το λόγο αυτό έχει αναπτύξει τις Οδηγίες Βιογεωχημικής Μοντελοποίησης (Biogeochemical Modelling Guidelines) (Gordon et al. 1996) κάτω από την υπόθεση ύπαρξης σταθερών συνθηκών.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί είναι ευρέως εφαρμόσιμη και έχει ελάχιστες απαιτήσεις δεδομένων (Talaue-McManus et al. 2003). Με την χρήση απλών ισοζυγίων είναι δυνατό να υπολογιστούν οι ροές των θρεπτικών μεταξύ της παράκτιας ζώνης και της γειτονικής θάλασσας και συνεπώς τα ισοζύγιά τους (Simpson and Rippeth 1998, Durrieu de Madron et al. 2003). Τα αποτελέσματα της μεθόδου δίνουν προσεγγιστικές πλην χρήσιμες πληροφορίες για τις ροές άνθρακα C, αζώτου N, φωσφόρου P, στην παράκτια ζώνη και τις βιογεωχημικές διεργασίες (LOICZ Data website 2000). Παράλληλα, τα ισοζύγια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ανταλλαγής της ροής των υδάτων ανάμεσα στην παράκτια ζώνη και την ανοιχτή θάλασσα (Simpson and Rippeth 1998). Από αυτές τις πληροφορίες πραγματοποιείται η διερεύνηση της σχέσης των ροών με τις περιβαλλοντικές αλλαγές. Επιπλέον, αναπτύσσει επιστημονικά δίκτυα με στόχο να ενοποιήσει τις υπάρχουσες σχετικές πληροφορίες (LOICZ website 2000). Έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε 200 εκβολές παγκοσμίως με σκοπό την δημιουργία ενός παγκόσμιου καταλόγου θρεπτικών ουσιών και άνθρακα (Talaue-McManus et al. 2003).

Στην Ελλάδα η μεθοδολογία LOICZ έχει εφαρμοστεί σε περιορισμένο αριθμό μελετών παρ' ότι το μεγάλο ποσοστό της παράκτιας ζώνης της χώρας παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον για την παραγωγή CO₂. Μία περίπτωση μελέτης είναι ο Θερμαϊκός κόλπος. Η υδάτινη στήλη του ορίσθηκε ως ομογενής καθ' όλη την χρονική περίοδο. Η μεθοδολογία 'ενός διαμερίσματος, ενός στρώματος' εφαρμόστηκε με σκοπό την ανάλυση ισοζυγίων νερού, αλατιού, διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου και διαλυμένου ανόργανου αζώτου. Η απλή μεθοδολογία

αποδεικνύεται αναποτελεσματική στην περιγραφή πολύπλοκων συστημάτων όπως αυτό του Θερμαϊκού (Pagou et al. 2000). Σε αντίθεση η προσέγγιση ‘δύο και μισού διαμερίσματος’ στο Βόρειο–Ανατολικό Αιγαίο φαίνεται να περιγράφει με επάρκεια τα δύο πρώτα στρώματα νερού ως προς την ανταλλαγή νερού, αλατιού, διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου και διαλυμένου ανόργανου αζώτου (Krasakourou et al. 2002).

Οι ερευνητές Talaue-McManus et al. (2003) αναφέρουν πως η προσέγγιση των μοντέλων ισοζυγίων του LOICZ λειτουργεί καλύτερα σε εκβολικές περιοχές με καλά καθορισμένα ‘φυσικά’ ανοιχτά όρια που μπορούν να προσδιοριστούν από την τοπογραφία, την κυκλοφορία ή τις κλίσεις των υλικών. Το εμβαδόν και το βάθος μεταξύ της εκβολής και της παρακείμενης ανοιχτής θάλασσας καθορίζουν τους χρόνους ανταλλαγής και παραμονής του νερού. Στην περίπτωση που τα θαλάσσια όρια είναι δύσκολο να προσδιοριστούν η κατασκευή ισοζυγίων νερού, αλατιού και θρεπτικών μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα αποτελέσματα.

Οι τρέχουσες έρευνες εξετάζουν τους τρόπους να προβλεφθεί η φόρτιση ροών μη-συντηρητικών θρεπτικών ως μέσον εκτίμησης των επιδράσεων της συγκέντρωσης θρεπτικών στις εκβολές (Talaue-McManus et al. 2003). Ταυτόχρονα, παρά το γεγονός ότι η εισροή υπόγειων θαλάσσιων υδάτων είναι γνωστή παρατηρείται έλλειψη μελέτης της. Επικρατούσε η αντίληψη πως δεν παίζουν σημαντικό ρόλο ενώ παράλληλα είναι δύσκολα μετρήσιμα. Η πλειονότητα των μελετών εστιάζονται στην υφαλμύρωση (Taniguchi et al. 2002). Λίγες έρευνες όπως στην περίπτωση ενός βαλτώδους οικοσυστήματος Torre Guaceto στην Δυτική Αδριατική υπάρχει μια προσέγγιση υπολογισμού των υπόγειων νερών που εισρέουν στο σύστημα (Cappello et al. 2004). Στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρείται αμελητέα η ύπαρξη υπογείων υδάτινων ροών αν και η είσοδός τους στην παράκτια ζώνη αναγνωρίζεται ως σημαντικό μονοπάτι μεταφοράς ύλης (Taniguchi et al. 2002). Τέλος, παρ’ ότι η μεθοδολογία των βιογεωχημικών ισοζυγίων αποτελεί χρήσιμο εργαλείο διαχείρισης φαίνεται να μην χρησιμοποιείται για την κατασκευή σεναρίων.

2 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

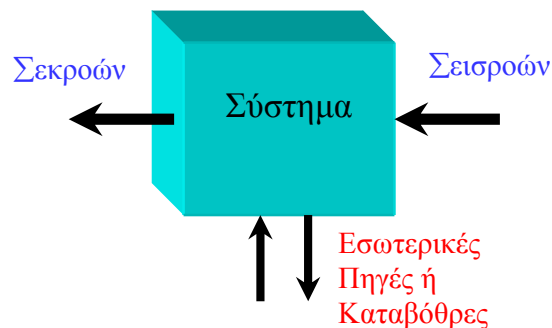
Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ολοκληρωμένη παράκτια διαχείριση του κόλπου Γέρας μέσω της χρήσης του βιογεωχημικού μοντέλου του LOICZ για την εκτίμηση της ανταλλαγής υδάτινης μάζας και των θρεπτικών μεταξύ χέρσου, ατμόσφαιρας, θάλασσας και κόλπου Γέρας. Παράλληλα μελετούνται τα σενάρια Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1), Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης (Σ2) στην περιοχή που περικλείει τον κόλπο Γέρας και οι πιθανές επιπτώσεις τους στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Τέλος, εφαρμόζεται το πλαίσιο DPSIR με σκοπό την κατανόηση της αλληλεπίδρασης των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιδράσεων στην παράκτια περιοχή.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή στην Μεθοδολογία Βιογεωχημικών Ισοζυγίων του LOICZ

Τα ‘μοντέλα ισοζυγίων’ είναι απλοί υπολογισμοί ισορροπίας μάζας συγκεκριμένων μεταβλητών (όπως νερό, άλας, ίζημα, CNP, κ.λπ.) μέσα σε καθορισμένες γεωγραφικές περιοχές και κατά τη διάρκεια καθορισμένων περιόδων. Η μεθοδολογία υπολογισμού ισοζυγίων του LOICZ βασίζεται στην αρχή διατήρησης της μάζας όπως παρουσιάζεται παρακάτω και βρίσκεται στον διαδικτυακό τόπο του LOICZ και στο εγχειρίδιο Gordon et al. (1996).

Ένα ισοζύγιο περιγράφει το ρυθμό παροχής υλικού στο σύστημα (εισροές), το ρυθμό αφαίρεσης υλικού από το σύστημα (εκροές) και το ρυθμό αλλαγής της μάζας του υλικού μέσα στο σύστημα (αποθήκευση). Μερικά υλικά μπορούν να υποβληθούν στους εσωτερικούς μετασχηματισμούς της κατάστασής τους που οδηγούν στην εμφάνιση ή την εξαφάνιση αυτών των υλικών. Τέτοιες αλλαγές αναφέρονται μερικές φορές ως "εσωτερικές πηγές ή καταβόθρες" (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Γενικευμένο διάγραμμα υλικών ισοζυγίων (από LOICZ website 2000).

Η διαφορά ($\sum[\text{πηγές} - \text{καταβόθρες}]$) των εισερχόμενων ($\sum\text{σεισορών}$) και των εξαγόμενων ($\sum\text{σεκροών}$) υλικών μπορεί να εξηγηθεί από τις διεργασίες εντός του συστήματος.

$$\frac{dM}{dt} = \sum \text{εισροές} - \sum \text{εκροές} + \sum [\text{Πηγές} - \text{Καταβόθρες}] \quad (1)$$

Όπου, $\frac{dM}{dt}$, παριστάνει το ρυθμό μεταβολής μάζας για ένα συγκεκριμένο υλικό του συστήματος με το χρόνο. Συχνά το σύστημα θεωρείται σε σταθερή κατάσταση με $\frac{dM}{dt} = 0$ απλοποιώντας την εξίσωση 1.

Η προσέγγιση της μεθοδολογίας του υπολογισμού των ισοζυγίων του LOICZ περιέχει τα εξής στάδια: α) οριοθέτηση του υπό μελέτη συστήματος, β) εκτίμηση των ροών των συντηρητικών παραμέτρων (νερό και αλάτι), γ) υπολογισμός των μη-συντηρητικών ροών και δ) βάσει των μη-συντηρητικών ροών των θρεπτικών εξαγωγή συμπερασμάτων για τη βιογεωχημική συμπεριφορά του συστήματος.

Οι απαιτούμενες παράμετροι για την προσέγγιση είναι: 1) η επιφάνεια και όγκος συστήματος, 2) οι παροχές 'γλυκών νερών', υγρή κατακρήμνιση, εξάτμιση, 3) η αλατότητα 4) τα φορτία θρεπτικών, 5) ο διαλυμένος ανόργανος φώσφορος (DIP), 6) το διαλυμένο ανόργανο άζωτο (DIN), (NH₄+NO₂+NO₃), 7) ο διαλυμένος οργανικός φώσφορος (DOP) και το διαλυμένο οργανικό άζωτο (DON) (αν υπάρχουν) και 8) ο διαλυμένος ανόργανος άνθρακας (DIC) (αν υπάρχει).

Ανάλογα με το υπό μελέτη σύστημα και το πλήθος των γνωστών απαιτούμενων παραμέτρων διακρίνονται οι εφαρμογές: απλό μοντέλο ενός διαμερίσματος (ομογενές σύστημα), μοντέλο διαμερίσματος δύο στρωμάτων (στρωματοποιημένο σύστημα) και σύνθετα συστήματα σε σειρά (που επικοινωνούν).

3.2 Απλό Μοντέλο Ενός Διαμερίσματος

3.2.1 Υπολογισμός των συντηρητικών ροών

Τα ισοζύγια νερού και αλατιού μπορούν να υπολογισθούν μόνο εάν υπάρχει διαφορά αλατότητας μεταξύ του συστήματος και των παρακείμενων νερών και εάν η γεωμετρία της ανταλλαγής του νερού με τα παρακείμενα συστήματα είναι σχετικά απλή. Στα συστήματα που είτε δεν υπάρχει διαφορά αλατότητας είτε που είναι γεωμετρικά πιο σύνθετες, υπάρχουν άλλοι τρόποι να υπολογιστεί η ανταλλαγή νερού.

Το νερό και το αλάτι δεν έχουν εσωτερικές εισροές ή εκροές επομένως η εξίσωση (1) μπορεί να απλοποιηθεί ως:

$$\frac{dM}{dt} = \sum \text{εισροές} - \sum \text{εκροές} \quad (2)$$

I. Ισοζύγιο νερού

Ο ρυθμός μεταβολής του όγκου νερού στο σύστημα περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\frac{dV_{Syst}}{dt} = V_Q + V_P + V_E + V_G + V_O + V_R \quad (3)$$

Όπου,

V_{Syst} , όγκος του υπό μελέτη συστήματος,

V_Q , εισροή ποταμού,

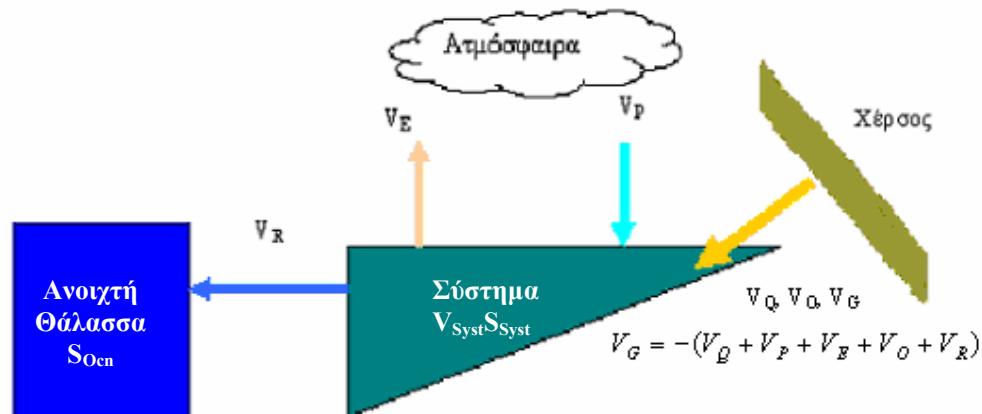
V_P , ροή κατακρήμνιση,

V_E , ροή εξάτμιση,

V_G , υπόγειες ροές,

V_O , ροή γλυκού νερού από μη σημειακές πηγές,

V_R , υπολειμματική ροή, ποσότητα νερού που απαιτείται να εισέλθει είτε να εξέλθει από το σύστημα ώστε να διατηρείται ο όγκος σταθερός.



Σχήμα 3.2 : Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου νερού θαλασσίων οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).

Σε σταθερές συνθήκες:

$$\frac{dV_{Syst}}{dt} = 0$$

Οπότε η εξίσωση τροποποιείται ως:

$$0 = V_Q + V_P + V_E + V_G + V_O + V_R \quad (4)$$

Η υπόγεια ροή υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_G = -(V_Q + V_P + V_E + V_O + V_R) \quad (5)$$

II. Ισοζύγιο αλατιού

Για το ισοζύγιο αλατιού ορίζεται η μέση αλατότητα σε κάθε μία από τις εισροές νερού. Κάθε όρος της σχέσης (3) πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη αλατότητα.

Επομένως ο ρυθμός μεταβολής του αλατιού δίνεται από την σχέση (6):

$$\frac{V_{Syst} dS_{Syst}}{dt} = V_Q S_Q + V_{PE} S_{PE} + V_G S_G + V_O S_O + V_R S_R + V_X (S_{Ocn} - S_{Syst}) \quad (6)$$

Όπου,

S_{Syst} , αλατότητα συστήματος,

S_Q , αλατότητα εισροής ποτάμιας απορροής,

S_{PE} , αλατότητα κατακρήμνισης- εξάτμισης,

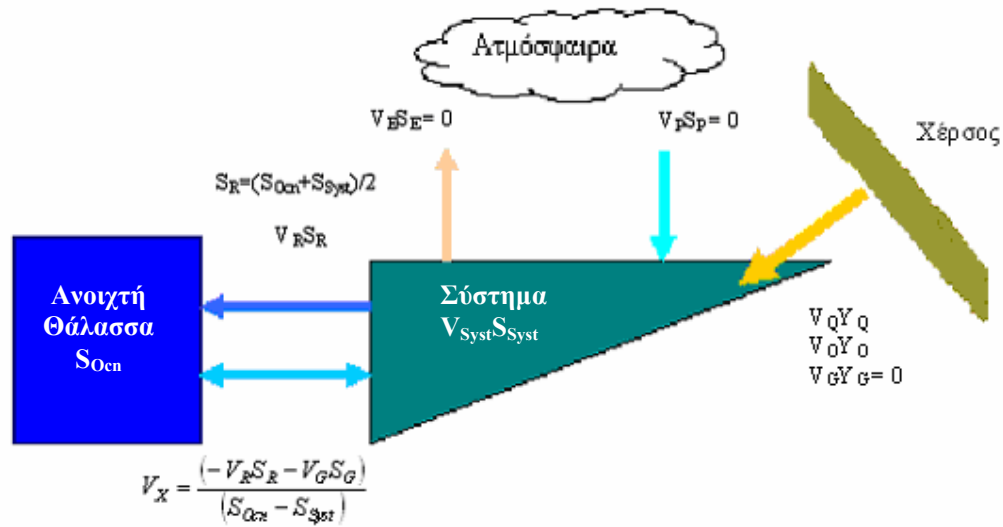
S_G , αλατότητα υπόγειων ροών,

S_O , αλατότητα ροής γλυκού νερού από μη σημειακές πηγές,

S_R , αλατότητα υπολειμματικής ροής,

S_{Ocn} , αλατότητα ωκεανού,

V_X , ροή ανάμιξης.



Σχήμα 3.3: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου άλατος θαλασσιών οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).

Απάλειψη όρων που ισούνται με ή είναι κοντά στο μηδέν και υπόθεση σταθερής κατάστασης. Οπότε η εξίσωση (6) γίνεται:

$$0 = V_G S_G + V_R S_R + V_X (S_{Ocn} - S_{Syst}) \quad (7)$$

και

$$V_X = \frac{(-V_R S_R - V_G S_G)}{(S_{Ocn} - S_{Syst})} \quad (8)$$

Ο όρος V_X αντιπροσωπεύει έναν όγκο νερού που κινείται αποτελεσματικά πίσω και εμπρός από την θάλασσα προς το παράκτιο σύστημα ενδιαφέροντος. Μεταφέρει το άλας με το θαλασσινό νερό του ωκεανού στο σύστημα, και μεταφέρει το άλας του συστήματος πίσω στη θάλασσα. Στην περίπτωση σταθερής κατάστασης, αυτή η μεταφορά άλατος πρέπει να είναι ακριβώς ίση και αντίθετη με την ποσότητα νερού που είναι αναγκαία ώστε να αντισταθμίζεται η απώλεια αλατιού κυρίως από το V_R .

Επίσης,

$$\tau = \frac{V_{Syst}}{(V_X + |V_R|)} \quad (9)$$

Όπου τ , ο χρόνος παραμονής νερού.

3.2.2 Υπολογισμός των μη-συντηρητικών ροών

Στην περίπτωση του υπολογισμού του ισοζυγίου μη συντηρητικών ροών ενός στοιχείου με συγκέντρωση Y θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην σχέση (6) ο όρος ΔY που υποδηλώνει την ύπαρξη εσωτερικών πηγών ή καταβόθρων του συστήματος.

$$\frac{d(VY)}{dt} = V_Q Y_Q + V_G Y_G + V_O Y_O + V_P Y_P + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X (Y_{Ocn} - Y_{Syst}) + \Delta Y \quad (10)$$

Όπου,

Y_Q , η συγκέντρωση του στοιχείου στην ποτάμια απορροή,

Y_G , η συγκέντρωση του στοιχείου στην εισροή των υπόγειων νερών,

Y_O , η συγκέντρωση του στοιχείου στην εισροή γλυκού νερού από μη σημειακές πηγές,

Y_P , η συγκέντρωση του στοιχείου στην κατακρήμνιση,

Y_E , η συγκέντρωση του στοιχείου στην εξάτμιση,

Y_R , η συγκέντρωση του στοιχείου στην υπολειμματική ροή,

Y_{Ocn} , η συγκέντρωση του στοιχείου στη θάλασσα,

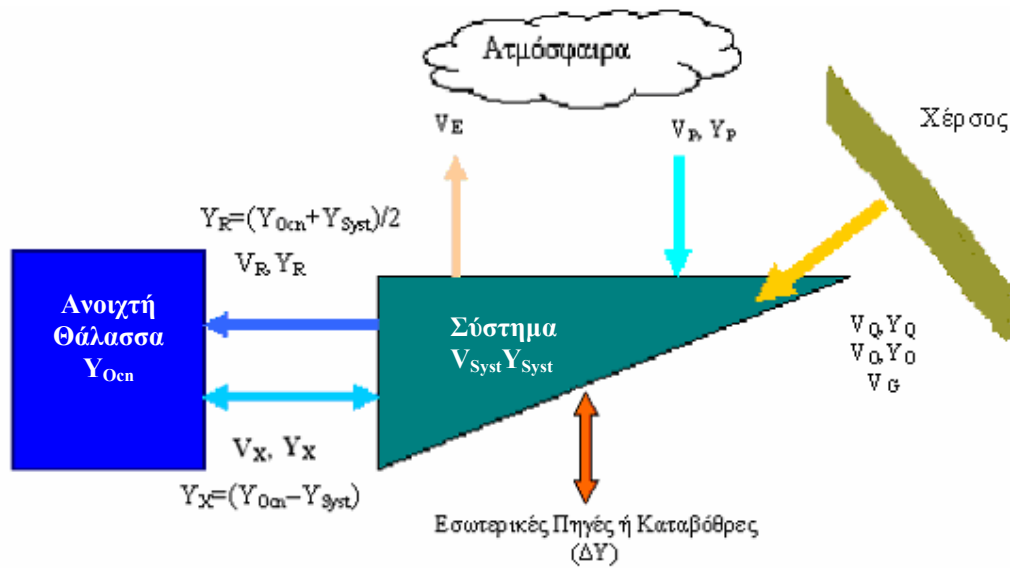
Y_{Syst} , η συγκέντρωση του στοιχείου στο σύστημα.

Απάλειψη όρων που ισούνται με ή είναι κοντά στο μηδέν. Οπότε μέσω της υπόθεσης σταθερής κατάστασης η εξίσωση (10) γίνεται:

$$0 = V_Q Y_Q + V_G Y_G + V_O Y_O + V_P Y_P + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X (Y_{Ocn} - Y_{Syst}) + \Delta Y \quad (11)$$

Οι εσωτερικές πηγές ή καταβόθρες του συστήματος υπολογίζονται ως:

$$\Delta Y = -V_Q Y_Q - V_G Y_G - V_O Y_O - V_P Y_P - V_E Y_E - V_R Y_R - V_X (Y_{Ocn} - Y_{Syst}) \quad (12)$$

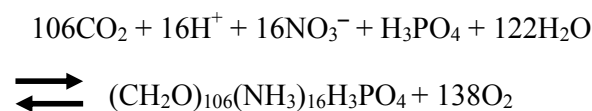


Σχήμα 3.4: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τον υπολογισμό του ισοζυγίου των μη-συντηρητικών ροών των θαλασσιών οικοσυστημάτων (από LOICZ website 2000).

3.2.3 Στοιχειομετρική σύνδεση των μη-συντηρητικών ροών των θρεπτικών (Y's)

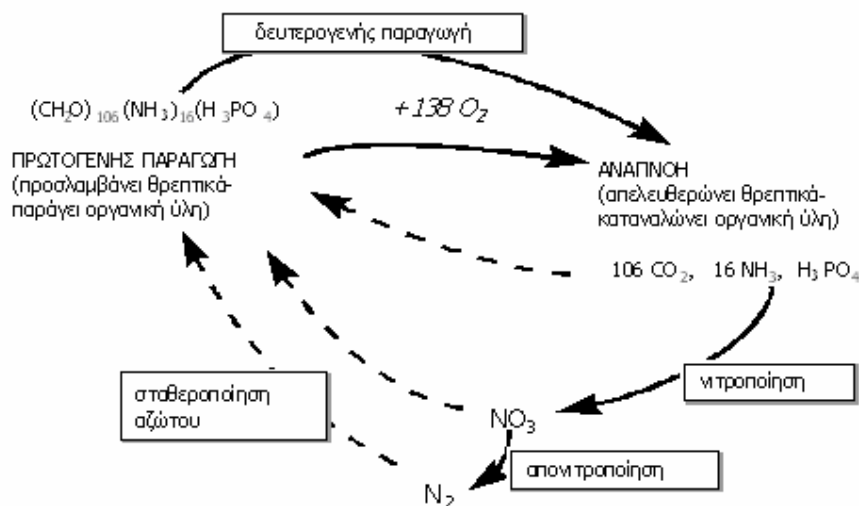
Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης που περιέχεται στο θαλασσίνο νερό προκαλεί αλλαγές στις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου, αζώτου, φωσφόρου, πυριτίου και άνθρακα. Το πλέον γνωστό και αποδεκτό μοντέλο για τη στοιχειομετρία των θρεπτικών στηρίζεται στην αρχή ότι κάτω από αερόβιες συνθήκες ο άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος αφομοιώνονται και αναγεννώνται σε σταθερές αναλογίες, που είναι ίσες με την αναλογία αυτών των στοιχείων στα κύτταρα του φυτοπλαγκτού και στους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς (C:N:P = 106:16:1) (Redfield et al. 1963).

Εξίσωση Redfield:



Στην απλούστερή της μορφή η παραπάνω εξίσωση προχωρά από αριστερά προς δεξιά κατά τη διάρκεια παραγωγής οργανικών (p) και από δεξιά προς αριστερά κατά τη διάρκεια της αναπνοής (r). Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών διεργασιών ($p-r$) είναι μέτρο του καθαρού μεταβολισμού του οικοσυστήματος ως πηγή ή καταβόθρα άνθρακα, NEM. Εάν η οργανική ύλη ενός στοιχείου εκτός από την αναλογία Redfield

C:N:P στις 106:16:1 παράγεται ή καταναλώνεται, η άλγεβρα της αντίδρασης ρυθμίζεται για να διατηρήσει μια ισορροπία φορτίου. Εξ' αιτίας των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στα διάφορα θαλάσσια συστήματα, ο λόγος αυτός δεν αναμένεται να ισχύει παντού. Οι Atkinson και Smith (1983) προτείνουν την αναλογία C:N:P = 335:35:1 στην περίπτωση που οι διεργασίες του θαλάσσιου οικοσυστήματος οφείλονται σε μακροάλγη.



Σχήμα 3.5: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τους κύκλους άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου σε σχέση με τον μεταβολισμό των οργανισμών (συνεχής γραμμή: στάδια οργανικής παραγωγής, διακεκομμένη γραμμή: στάδια αναπνοής) (από LOICZ website 2000).

Ο κύκλος του αζώτου περιέχει δύο δευτερεύουσες αντιδράσεις την απονιτροποίηση και την νιτροποίηση. Αυτός είναι και ο λόγος που είναι πιο πολύπλοκος σε σύγκριση με τον κύκλο του φωσφόρου και άνθρακα. Κατά την απονιτροποίηση το νιτρικό άλας μετατρέπεται σε αέριο άζωτο. Κατά τη νιτροποίηση το αέριο άζωτο μετατρέπεται σε οργανικό άζωτο. Επομένως αυτές οι αντιδράσεις παράγουν ή καταναλώνουν τις διάφορες μορφές αζώτου χωρίς να μεταβάλουν φώσφορο και άνθρακα. Σε μερικές παράκτιες περιοχές οι δευτερεύουσες αντιδράσεις του αζώτου αποτελούν ποσοτικά σημαντικές διεργασίες αλλάζοντας την μη συντηρητική ροή του αζώτου.

3.2.4 Μη συντηρητική ροή φωσφόρου και μεταβολισμός οικοσυστήματος

Έστω μια μη συντηρητική ροή διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου (ΔDIP) που έχει υπολογισθεί μέσω ισοζυγίου. Ο φώσφορος είναι σημαντικός για τη ζωή και σε πολλά παράκτια οικοσυστήματα μπορεί να θεωρηθεί πως ο μεταβολισμός του οικοσυστήματος ισούται με ΔDIP (διαφορά μεταξύ πρωτογενούς παραγωγής και αναπνοής). Οι δευτερεύουσες αντιδράσεις δεν είναι σημαντικές.

Αν το σύστημα είναι παραγωγός οργανικής ύλης δηλαδή ($[p-r] > 0$) δεσμεύει CO_2 και το DIP καταναλώνεται ($\Delta DIP < 0$). Στην αντίθετη περίπτωση το σύστημα αποτελεί πηγή CO_2 . Αν το ΔDIP είναι γνωστό χρησιμοποιείται η C:P αναλογία της οργανικής ύλης που παράγεται ή καταναλώνεται για την προσέγγιση του NEM:

$$[p-r] = -\Delta DIP \times \left(\frac{C}{P}\right) \quad (13)$$

όπου, $\left(\frac{C}{P}\right)$ είναι C:P αναλογία της οργανικής ύλης που παράγεται ή καταναλώνεται.

Σε γενικές γραμμές (C:P) είναι 106:1 και (N:P) είναι 16:1 η αναλογία Redfield αποτελεί καλή προσέγγιση για τις περιπτώσεις που δεν υπάρχει κατάλληλο C:N:P. Ο διαλυμένος οργανικός φώσφορος (DOP) είναι παρών στο θαλάσσιο περιβάλλον και μπορεί να παραχθεί ή να καταναλωθεί και πιθανόν αποτελεί μια πηγή ή αποβάθρα του ΔDIP .

3.2.5 Μεταβολισμός αζώτου και διαφορά νιτροποίησης απονιτροποίησης

Θεωρείται το ισοζύγιο για τη μη συντηρητική ροή διαλυμένου ανόργανου άζωτου ($DIN = NO_3 + NO_2 + NH_4$) και οργανικού αζώτου. Αυτές οι μορφές αζώτου αναφέρονται ως διαλυμένο σταθεροποιημένο άζωτο για να διαχωριστούν από το διαλυμένο αέριο άζωτο και συμβολίζονται ως ΔN_{obs} (παρατηρούμενη τιμή). Επίσης, η παραγωγή ή κατανάλωση του διαλυμένου οργανικού αζώτου σχετίζεται με το NEM. Η αναμενόμενη τιμή του αζώτου (ΔN_{exp}) που καταναλώνεται ή παράγεται με το διαλυμένο φώσφορο δίνεται από την εξίσωση (14):

$$\Delta N_{exp} \equiv (\Delta DIN + \Delta DON)_{exp} = (\Delta DIP + \Delta DOP) \times \left(\frac{N}{P}\right) \quad (14)$$

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμες οι μη συντηρητικές τιμές των ΔDON και ΔDOP μπορεί να θεωρηθούν ως πολύ μικρές και να παραληφθούν. Η διαφορά μεταξύ ΔN_{obs} και ΔN_{exp} είναι σημαντική διότι είναι δείκτης ύπαρξης διεργασιών εκτός του οργανικού μεταβολισμού που μεταβάλλουν το σταθεροποιημένο άζωτο. Η σταθεροποίηση του αζώτου και η απονιτροποίηση είναι σημαντικές διεργασίες για την μη συντηρητική ροή του αζώτου των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Η διαφορά τους ($[nfix-denit]$) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$[nfix - denit] = \Delta N_{obs} - \Delta N_{exp} \quad (15)$$

Η σχέση (15) σε συνδυασμό με την (13) μετατρέπεται σε:

$$[nfix - denit] = \Delta N_{obs} - \Delta DIP \times \left(\frac{C}{P} \right) \quad (16)$$

Ο όρος αυτός αποτελεί ένδειξη ύπαρξης άλλων διεργασιών εκτός του ‘οργανικού μεταβολισμού’ που επηρεάζουν τη ροή αζώτου.

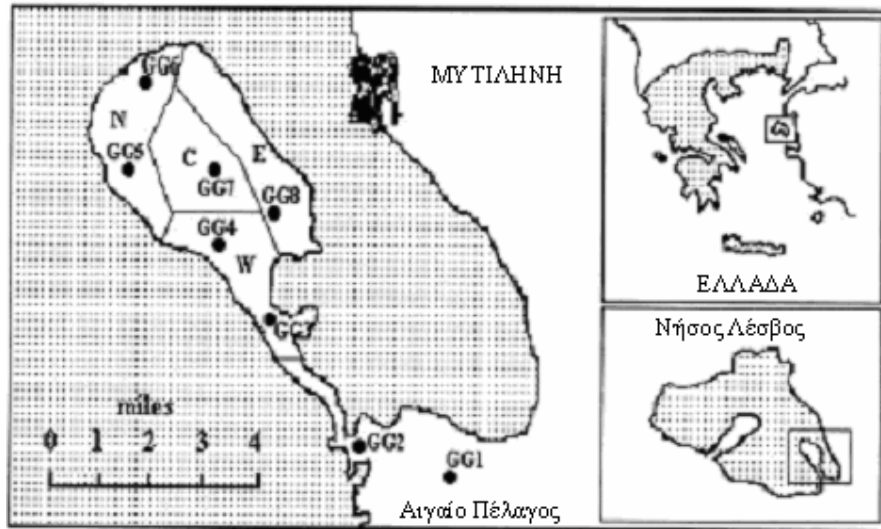
Πολλά παράκτια οικοσυστήματα παρουσιάζουν κάθετη στρωμάτωση. Η περίπτωση αυτή συναντάται συνήθως σε συστήματα που δέχονται μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού. Χρησιμοποιείται το μοντέλο διπλής στρωμάτωσης όπου οι εξισώσεις που περιγράφουν τα ισοζύγια υλικών είναι παρόμοιες με την περίπτωση του ενός στρώματος αλλά κάπως τροποποιημένες. Στην περίπτωση των σύνθετων σχεδίων ροής απαιτείται κάποια μέθοδος υπολογισμού των ανεξάρτητων ισοζυγίων ροών.

3.3 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης: Ο Κόλπος της Γέρας

Ο κόλπος Γέρας βρίσκεται στη Λέσβο, νησί του Ανατολικού Αιγαίου Πελάγους της Ελλάδας Σχήμα (3.6). Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κόλπου έχει ενταχθεί στο ερευνητικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα DITTY. Αποτελεί ένα ημίκλειστο παράκτιο οικοσύστημα εμβαδού επιφανείας 43 Km² όγκου 0.52 Km³ και μέσου βάθους 10 m. Ο κόλπος συγκοινωνεί με την ανοιχτή θάλασσα με ένα στενό κανάλι μήκους 6.5 Km, πλάτους 200-800 m και κυμαινόμενου βάθους από 10 ως 30 m (Tsirtsis et al. 2003).

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και γενικότερα της Λέσβου είναι οι χαρακτηριστικές της ανατολικής Μεσογείου. Παρατηρείται υψηλή ηλιοφάνεια ακόμα

και κατά την χειμερινή περίοδο, χαμηλό μέσο ύψος βροχοπτώσεων, ξηρό καλοκαίρι, υψηλή υγρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα και επικρατούν ισχυροί βορειοανατολικοί άνεμοι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούλιο και Αύγουστο) (Tsirtsis et al. 2003).



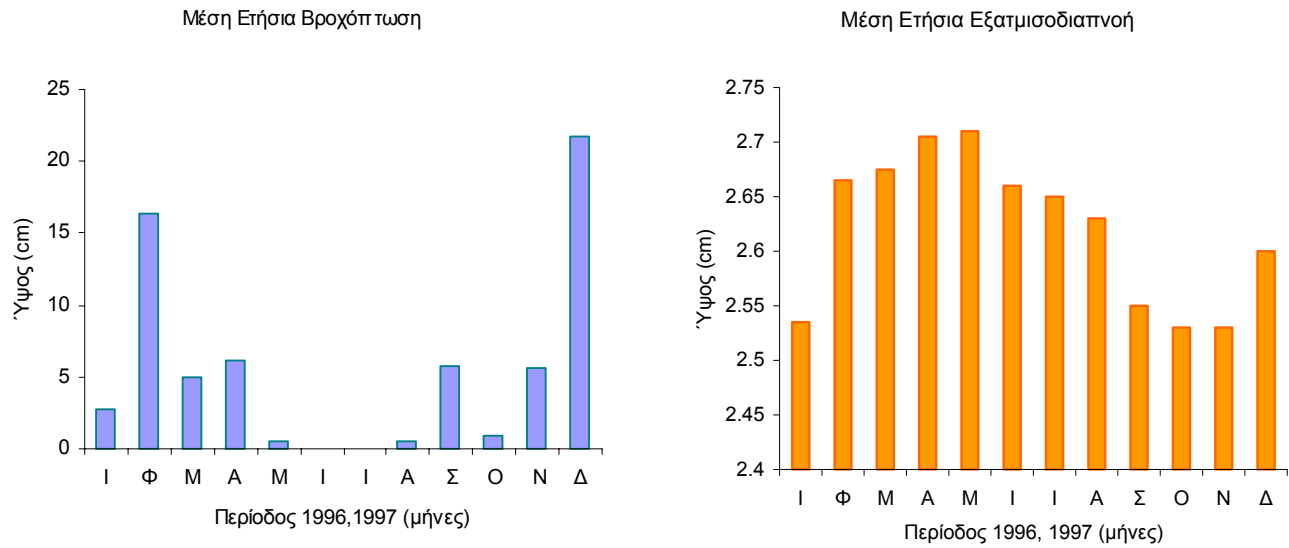
Σχήμα 3.6: Ο κόλπος Γέρας της νήσου Λέσβου, (από Arhonditsis et al. 2000).

Η έκταση που περιβάλλει τον κόλπο (200 Km^2) μπορεί να διαιρεθεί ανάλογα με την γεωμορφολογία του και τις χρήσεις εδάφους. Στη δυτική περιοχή (170 Km^2) του κόλπου Γέρας βρίσκονται πέντε χωριά με 7000 συνολικό πληθυσμό κατοίκων. Στο μεγαλύτερο μέρος κυριαρχεί η καλλιέργεια της ελιάς και σε μικρά ποσοστά άλλα είδη φυτών. Το ανατολικό μέρος της λεκάνης απορροής (30 Km^2) καλύπτεται κυρίως με ελιές σε απότομες κλίσεις, ενώ μια μικρή περιοχή περιλαμβάνει δάση πεύκων. Τα βόρεια και δυτικά μέρη χαρακτηρίζονται από περισσότερες διαφορετικές χρήσεις εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των φυτοκομικών περιοχών, των φυτειών οπωροφόρων δέντρων και μούρων, του τριφυλλιού και μακί. Στο βόρειο μέρος της λεκάνης απορροής βρίσκεται ένας σημαντικός υδροβιότοπος που εντάσσεται στο δίκτυο ΦΥΣΗ 2000. Η λεκάνη απορροής εμπλουτίζεται από ένα πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο μικρών ποταμών που ρέουν κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ο ποταμός Ευεργέτουλας, είναι ο σημαντικότερος ποταμός στη περιοχή και πηγάζει από τον Όλυμπο (Tsirtsis et al. 2003).

Παλαιότερες μελέτες στον κόλπο Γέρας έχουν δείξει πως η κυκλοφορία του νερού είναι κυκλωνικής μορφής και προξενείται από την παλίρροια. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού οι φυσικές καταστάσεις επιτρέπουν την είσοδο ολιγοτροφικών μαζών νερού από το Αιγαίο πέλαγος. Τον υπόλοιπο χρόνο τα υδροδυναμικό προφίλ του κόλπου αντιστρέφεται (Θεοχάρης και Γεωργόπουλος 1986). Η κατανομή της θερμοκρασίας και της αλατότητας του κόλπου είναι χαρακτηριστική των μικρών κλειστών παράκτιων οικοσυστημάτων που επηρεάζονται από φυσικές διεργασίες κατακρήμνισης, εξάτμισης και χερσαίων απορροών. Κατά τη θερινή περίοδο η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στο εσωτερικό του κόλπου σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει το χειμώνα. Παρόμοια τάση παρατηρείται για την αλατότητα με υψηλές τιμές το καλοκαίρι και χαμηλές το χειμώνα σε σύγκριση με την ανοιχτή θάλασσα (Tsirtsis et al. 2003).

Η ροή των θρεπτικών από σημειακές και μη σημειακές πηγές είναι σημαντική. Ιδιαίτερα αυξημένα παρουσιάζονται τα αποθέματα ανόργανου αζώτου την χειμερινή περίοδο όπου αποτελούν περιοριστικό παράγοντα του συστήματος και κυμαίνονται μεταξύ 40 to 60% (Arhonditsis et al. 2000). Ο εσωτερικός κόλπος χαρακτηρίζεται ως εύτροφος, το κανάλι επικοινωνίας με την ανοιχτή θάλασσα μεσότροφο και το άνοιγμα του κόλπου από την πλευρά της θάλασσας ολιγότροφο (Tsirtsis et al. 2003). Τα κύρια αίτια του ευτροφισμού του κόλπου Γέρας είναι οι εισροές που προέρχονται από ακατέργαστα αστικά λύματα των χωριών, λύματα μονάδων παραγωγής ελαιολάδου και γεωργικά λιπάσματα. Μελέτες για τις επιπτώσεις που προξενούν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά στο κόλπο δεν έχουν γίνει λόγω έλλειψης πληροφοριών.

Το Σχήμα 3.6 δείχνει τους οχτώ σταθμούς δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση κατά την περίοδο Ιούνιο 1996 με Οκτώβριο 1997 και ο Πίνακας 3.1 δείχνει τις μέσες τιμές των αποτελεσμάτων των σταθμών δειγματοληψίας (Αρχοντίσης 1998). Το ύψος βροχόπτωσης και εξάτμισοδιαπνοής κατά την διάρκεια των ετών 1996 και 1997 δόθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς (Σχήμα 3.7). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και εξάτμισοδιαπνοής για την περιοχή του κόλπου Γέρας την χρονική αυτή περίοδο ήταν 654 mm yr^{-1} και 996 mm yr^{-1} αντίστοιχα (Αρχοντίσης 1998). Η υγρή ατμοσφαιρική απόθεση του ανόργανου αζώτου και ο φώσφορος υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Markaki et al. 2003) $19.7 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ και $68.4 \text{ } \mu\text{mol P m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ αντίστοιχα.



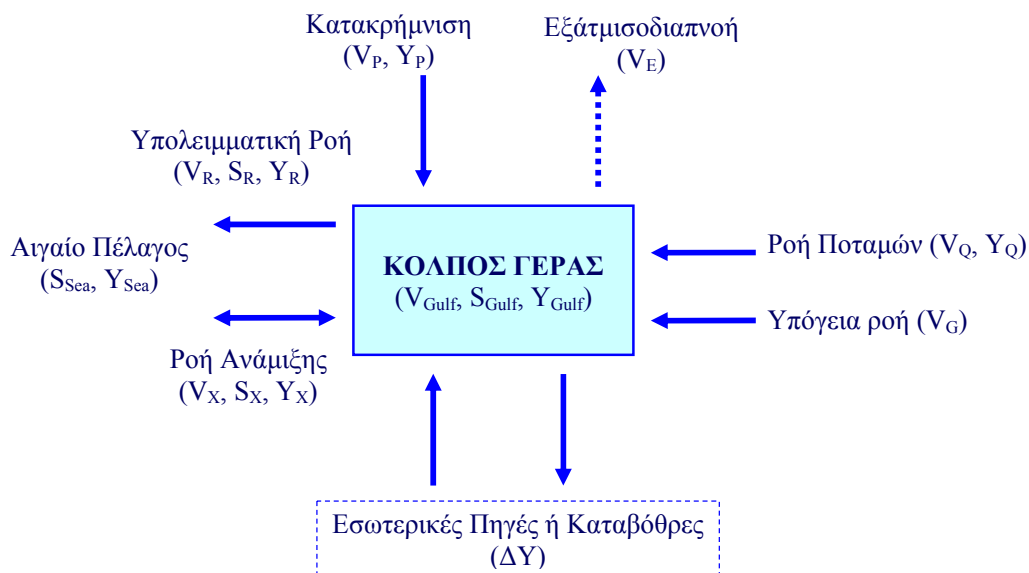
Σχήμα 3.7: Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής κατά την διάρκεια των ετών 1996 και 1997 στον κόλπο της Γέρας.

Πίνακας 3.1: Συνοπτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON), ανόργανου φωσφόρου (DIP) και αλατότητας στην στήλη του νερού (από Αρχοντίτσης 1998).

Περιοχή	DIN (mmol m ⁻³)	DON (mmol m ⁻³)	DIP (mmol m ⁻³)	Αλατότητα (psu)
Κόλπος Γέρας	0.98–2.88	4.14–11.38	0.10–0.39	38.13–39.97
Αιγαίο Πέλαγος	0.58–1.11	6.11–11.80	0.10–0.24	38.81–39.14

Στην παρούσα εργασία το θαλάσσιο οικοσύστημα μελετήθηκε σε δύο περιόδους, την περίοδο στρωμάτωσης (από Μάη έως Οκτώβρη) και την περίοδο ανάμιξης (από Νοέμβριο έως Απρίλιο). Η υδάτινη στήλη θεωρήθηκε ομοιογενής κατά την διάρκεια των δύο περιόδων και ακολουθήθηκε η προσέγγιση ‘ενός διαμερίσματος, ενός στρώματος’ όπου το σύστημα παραμένει σε σταθερή κατάσταση. Η σχηματική παράσταση του μοντέλου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8. Έχοντας γνωστά (α) τις ροές

νερού από μετρήσεις *in situ*, δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών και μοντέλο απορροής, (β) την ανταλλαγή νερού μεταξύ του κόλπου και του Αιγαίου Πελάγους από υδροδυναμικό μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε η διατήρηση ροής υδάτινης μάζας του βιογεωχημικού μοντέλου LOICZ για την εκτίμηση της υπόγειας ροής. Επιπλέον, αξιολογήθηκε ο ρόλος του κόλπου ως παραγωγός ή καταναλωτής CO₂ με την βοήθεια του ισοζυγίου μη-συντηρητικών διαλυμένων στοιχείων (θρεπτική και οργανική ύλη) LOICZ από εισροές σημειακών και μη σημειακών πηγών (από μοντέλο), υγρής ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης (από βιβλιογραφία) και ανταλλαγές με την ανοιχτή θάλασσα (από μετρήσεις *in situ* και μοντέλο). Θεωρήθηκε η ισχύς της αρχής ότι κάτω από αερόβιες συνθήκες ο άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος αφομοιώνονται και αναγεννώνται σε σταθερές αναλογίες, που είναι ίσες με την αναλογία αυτών των στοιχείων στα κύτταρα του φυτοπλαγκτού και στους ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς (Redfield et al. 1963).



Σχήμα 3.8: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τις ροές των ισοζυγίων συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών του κόλπου Γέρας.

3.4 Λεκάνη Απορροής

Ο αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών μοντέλων προσομοίωσης στις θαλάσσιες επιστήμες φανερώνει ότι τα μαθηματικά μοντέλα έχουν γίνει αποδεκτά ως χρήσιμα

εργαλεία στην ανάλυση την κατανόηση σύνθετων συστημάτων όπως η παράκτια ζώνη (Kolovoyiannis and Tsirtsis 2005). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα μοντέλων που ανέπτυξαν οι Ταμβάκη (2004) και Kolovoyiannis and Tsirtsis (2005) για την εφαρμογή τους στα ισοζύγια νερού και θρεπτικών.

Οι πηγές των θρεπτικών και της οργανικής ύλης ενός παράκτιου οικοσυστήματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις σημειακές και μη σημειακές πηγές. Η μεγαλύτερη συνεισφορά θρεπτικών στον θαλάσσιο αποδέκτη προέρχεται από μη σημειακές πηγές (Arhonditsis et al. 2000). Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα για την μελέτη και ποσοτικοποίηση της συμβολής των μη σημειακών πηγών στη ρύπανση του κόλπου Γέρας. Η ποσότητα των θρεπτικών διαλυτής μορφής που ξεκινά από τη λεκάνη εξαιτίας μιας βροχόπτωσης και καταλήγει μέσω των υδροφορέων στο θαλάσσιο τμήμα του κόλπου Γέρας υπολογίστηκε με χρήση των loading functions. Ο υπολογισμός της επιφανειακής απορροής έγινε με τη βοήθεια του αλγόριθμου Curve Number Equation (CNE) (Ταμβάκη 2004).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι οι μη σημειακές πηγές παρέχουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών το παράκτιο σύστημα ενώ ταυτόχρονα υφίστανται εποχικές μεταβολές, με υψηλές τιμές το χειμώνα (γύρω στο 60% της συνολικής ετήσιας παροχής) και μηδαμινές τιμές το καλοκαίρι. Επιπλέον, η πλειοψηφία της ροής θρεπτικών (σχεδόν το 95%) εισέρχεται στον κόλπο διαμέσου των επιφανειακών απορροών μετά από μία κατακρήμιση. Συνεπώς τα θρεπτικά βρίσκονται κυρίως σε διαλυμένη μορφή επηρεάζοντας άμεσα τη δυναμική του θαλάσσιου οικοσυστήματος (Ταμβάκη 2004). Με την βοήθεια των μαθηματικών μοντέλων υπολογίσθηκαν οι ροές των θρεπτικών, των ποταμών και μη σημειακών πηγών για το έτος 1996–1997 και για την ανάπτυξη σεναρίων Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1) και Αστικοποίηση και Τουριστική Ανάπτυξη (Σ2) (Πίνακας 3.2 και Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.2: Συνοπτικά αποτελέσματα των ροών ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON) και ανόργανου φωσφόρου (DIP) από σημειακές και μη σημειακές πηγές της χέρσου (από Ταμβάκη 2004).

Περίοδος	$V_{O}DIN_{O}$ (mmol d ⁻¹)	$V_{O}DON_{O}$ (mmol d ⁻¹)	$V_{O}DIP_{O}$ (mmol d ⁻¹)
Στρωμάτωση	4556785	1.9	25707
Ανάμιξη	5392352	167390	37573

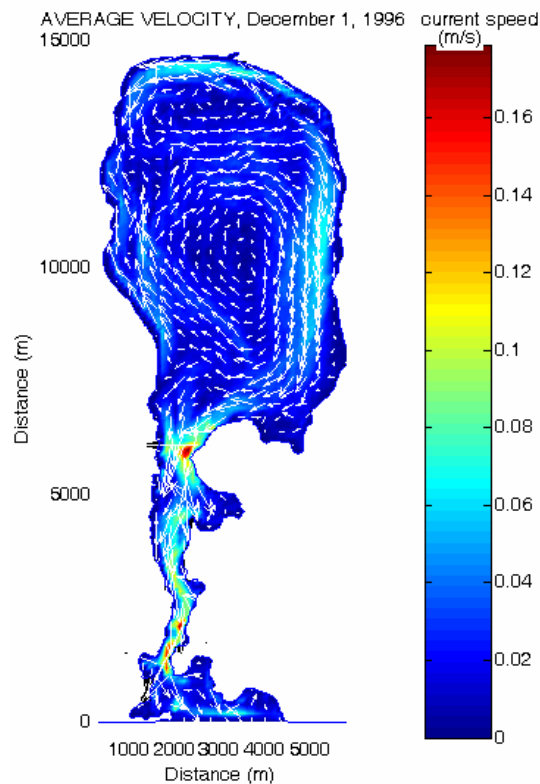
Πίνακας 3.3: Συνοπτικά αποτελέσματα των ροών ανόργανου αζώτου (DIN), οργανικού αζώτου (DON), ανόργανου φωσφόρου (DIP) από σημειακές και μη σημειακές πηγές της χέρσου για τα σενάρια Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1) και Αστικοποίησης/ Ανάπτυξης Τουρισμού (Σ2) (από Ταμβάκη 2004).

Περίοδος	$V_{O}DIN_{O}$ (mmol d ⁻¹)		$V_{O}DON_{O}$ (mmol d ⁻¹)		$V_{O}DIP_{O}$ (mmol d ⁻¹)	
	Σ1	Σ2	Σ1	Σ2	Σ1	Σ2
Στρωμάτωση	4556785	5666132	1.9	1.9	25707	28463
Ανάμιξη	5074510	6328800	97558	167390	32729	39901

Για την μελέτη του υδροδυναμικού καθεστώτος του κόλπου Γέρας εφαρμόστηκε η τρισδιάστατη έκδοση του ωκεάνιου αριθμητικού μοντέλου προσομοίωσης Princeton (POM). Το POM είναι μια απλή εξίσωση, ελεύθερης επιφάνειας, σίγμα-συντεταγμένης, γενικού μοντέλου κυκλοφορίας, ικανό να μιμηθεί την υδροδυναμική κατάσταση ρηχών παράκτιων περιοχών κάτω από ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Το μοντέλο οδηγείται από πραγματικές κινητήριες δυνάμεις όπως η καθημερινή ένταση ανέμου και η ανύψωσης παλίρροιας. Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται από τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης ανέμου (ροές ορμής) ενώ η παλίρροια είναι ημι-ημερήσια για την περιοχή μελέτης με ανώτατο εύρος 0.6m και εφαρμόζεται στα νότια ανοικτά όρια του κόλπου. Το παλιρροιακό σήμα προσομοιώθηκε ως το άθροισμα τεσσάρων απλών

αρμονικών (κύμα ημιτόνου ή συνημιτόνου) συνιστωσών. Κάθε μία συνιστώσα έχει τη χαρακτηριστική της περίοδο, φάση και πλάτος. Επιπλέον, κινητήριες δυνάμεις του μοντέλου αποτελούν το μεταβλητό όριο επιφάνειας και οι συνθήκες ανοιχτών ορίων.

Η προσομοίωση εκτελέστηκε για ένα πλήρη ετήσιο κύκλο με μεγάλη ευκρίνεια. Ανάμεσα στα αποτελέσματα της προσομοίωσης ήταν οι ροές ανταλλαγής νερού στο κανάλι που συνδέει τον κόλπο με την ανοικτή θάλασσα. Στην περιοχή αυτή οι δύο μάζες νερού αναμιγνύονται με ταχύτητες $0.3\text{--}0.4\text{ m s}^{-1}$ (Σχήμα 3.9). Οι ροές νερού μέσα και έξω από τον κόλπο ποικίλλουν από $40\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ως $2200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ με μέση τιμή $760\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ (Kolovoyiannis and Tsirtsis 2005). Βάση των αποτελεσμάτων του υδροδυναμικού μοντέλου υπολογίστηκαν οι τιμές του όγκου ανάμιξης και υπολειμματικού όγκου (Πίνακας 3.4). Οι αρνητικές τιμές σημαίνουν έξοδο νερού από τον κόλπο ενώ οι θετικές τιμές είσοδο νερού προς τον κόλπο.



Σχήμα 3.9: Παράδειγμα ταχυτήτων νερού στον κόλπο, 1 Δεκεμβρίου 1996 (από Kolovoyiannis and Tsirtsis 2005).

Πίνακας 3.4: Τιμές ροής όγκου ανάμιξης (V_X) και υπολειμματικού όγκου (V_R) κατά την περίοδο στρωμάτωσης και ανάμιξης αντίστοιχα (από Kolonoyiannis and Tsirtsis 2005).

Περίοδος	Όγκος Ανάμιξης ($m^3 d^{-1}$)	Υπολειμματικός Όγκος ($m^3 d^{-1}$)
Στρωμάτωσης	60988734	- 33553
Ανάμιξης	68123870	- 484789

3.5 Ανάλυση Σεναρίων

Η εισροή μεγάλων ποσοτήτων θρεπτικών από την χέρσο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε γενικά προϊόντα βιογεωχημικών αντιδράσεων και σε υλικά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η ανθρώπινη παραγωγή περιλαμβάνει ένα σύνθετο μίγμα προϊόντων όπως αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, απορρίμματα κατοικίδιων, λιπάσματα και ατμοσφαιρική κατακρήμνιση αζώτου που προέρχεται από εκπομπές οχημάτων και εργοστασίων. Η παράκτια ζώνη είναι η περιοχή όπου τα φυσικά προϊόντα και τα προϊόντα της ανθρώπινης δραστηριότητας μεταφέρονται στον ωκεανό (Smith et al. 2003). Ένας τρόπος διερεύνησης και αντιμετώπισης των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη από πιθανές ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η ανάπτυξη σεναρίων.

Τα σενάρια αποτελούν αρχέτυπες περιγραφές εναλλακτικών εικόνων του μέλλοντος που έχουν δημιουργηθεί από χάρτες ή μοντέλα και αντανακλούν διαφορετικές προληπτικές εξελίξεων στο μέλλον. Ένα σενάριο είναι συνήθως μακροπρόθεσμο μέχρι 30 έτη και μπορεί να θεωρηθεί ως σύνδεση μεταξύ του παρόντος και του μέλλοντος μέσω μιας διάβασης που χτίζεται με στάδια 5–10 ετών (EU 1997–1999).

Η μορφολογία της λεκάνης της Μεσογείου περιορίζει την γεωργική δραστηριότητα στην παράκτια ζώνη. Οι κύριες πιέσεις της γεωργίας όταν ασκείται σε εντατικό βαθμό είναι η διάβρωση του εδάφους και το πλεόνασμα θρεπτικών όταν υπερβολική ποσότητα λιπασμάτων (EEA 1999). Στην περίπτωση του κόλπου Γέρας μελετάται το σενάριο της Εντατικοποίησης της Καλλιέργειας (Σ1). Περιλαμβάνει την καλλιέργεια φυτοκομικών εγκαταστάσεων, λουλουδιών, αμπελώνων και την κατασκευή θερμοκηπίων σε ελαιουργικές περιοχές που είναι είτε εγκαταλελειμμένες

είτε έχουν διαβαθμίσεις και ως τώρα δεν χρησιμοποιούνται λιπάσματα. Η αύξηση των γεωργικών δραστηριοτήτων και υποδομών επιφέρουν την αύξηση της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Μέρος των ουσιών αυτών καταλήγουν στον κόλπο μέσω σημειακών και μη-σημειακών πηγών.

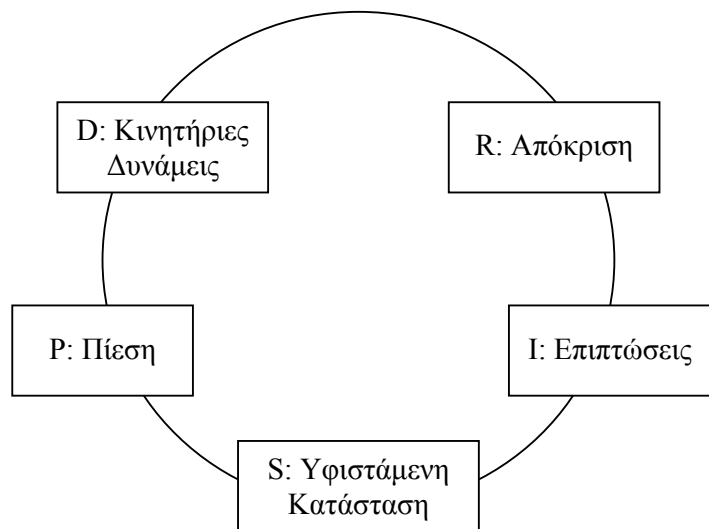
Παράλληλα, η παράκτια περιοχή της Μεσογείου αποτελεί μια ιδιαίτερη περιοχή προσέλκυσης τουριστών. Εκτιμάται πως η τουριστική ανάπτυξη θα διπλασιαστεί τα επόμενα είκοσι χρόνια. Ταυτόχρονα, σημειώνονται μεγάλοι ρυθμοί αστικοποίησης που σε μερικές περιοχές υπολογίζεται πως ο πληθυσμός θα διπλασιαστεί τα επόμενα τριάντα χρόνια (EEA 1999). Ο τουρισμός στην παράκτια ζώνη σχετίζεται με μια ποικιλομορφία δραστηριοτήτων ανάπτυξης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και προβλήματα παράκτιας διαχείρισης. Οι επιπτώσεις είναι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές είτε θετικές είτε αρνητικές (Wong 1998). Από την άλλη μεριά η συγκέντρωση μεγάλου αστικού πληθυσμού επιφέρει σοβαρές περιβαλλοντικές πιέσεις στην παράκτια ζώνη. Οι αναπτυξιακές πιέσεις εντοπίζονται κυρίως στην χρήση μηχανοκίνητων οχημάτων, κατασκευή οδικών δικτύων και την δημιουργία λυμάτων. Οι επιπτώσεις του τουρισμού και της αστικοποίησης του κόλπου Γέρας μελετάται μέσα από το σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης (Σ2). Θεωρείται διπλασιασμός του πληθυσμού συμπεριλαμβανομένων των τουριστών. Λαμβάνονται υπ' όψιν οι εποχιακές διακυμάνσεις των επισκεπτών-τουριστών στην περιοχή. Παράλληλα πραγματοποιούνται νέες κατασκευές υποδομής υπό την μορφή οδικού δικτύου, ξενοδοχείων, εστιατορίων και άλλων εγκαταστάσεων. Αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού και των υποδομών είναι η άνοδος του οργανικού φορτίου που εισέρχεται ανεπεξέργαστο στον κόλπο Γέρας.

3.6 Πλαίσιο DPSIR

Η προσέγγιση Driver–Pressure–State–Impact–Response, αναπαριστά επιτυχώς την πολυπλοκότητα των κοινωνικών και περιβαλλοντικών αλληλεπιδράσεων και τονίζει την ανάγκη κατανόησης της φύσης. Ο καθορισμός των προβλημάτων που προέρχονται από αυτές τις συγκρούσεις των αλληλεπιδράσεων θεωρείται βασικό σημείο της ολοκληρωμένης διαχείρισης (UNEP/MAP/PAP 1999).

Το πλαίσιο DPSIR (Σχήμα 3.10) αποτελεί ένα εργαλείο περιβαλλοντικής εκτίμησης. Περιγράφει την αλληλεπίδραση μεταξύ α) των κινητήριων δυνάμεων που

σκιαγραφούν κοινωνικο-οικονομικές καταστάσεις και τομεακές τάσεις στην παράκτια ζώνη (D), β) των πιέσεων, όπως ανθρωπογενής πρότυπα αλλοίωσης που επηρεάζουν την ποιότητα των παράκτιων περιβαλλόντων (P), γ) της υφιστάμενης κατάστασης, όπου παρατηρούνται αλλαγές του δυναμικού του οικοσυστήματος (S), δ) των επιπτώσεων, που αποτελούν οι αλλαγές στις αξίες της κοινωνικής ευμάρειας (I) και ϵ) της απόκρισης, που προξενείται από τις αλλαγές του συστήματος (R) (Bowen and Riley 2003). Το πλαίσιο αυτό μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση και ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των παραπάνω παραμέτρων.

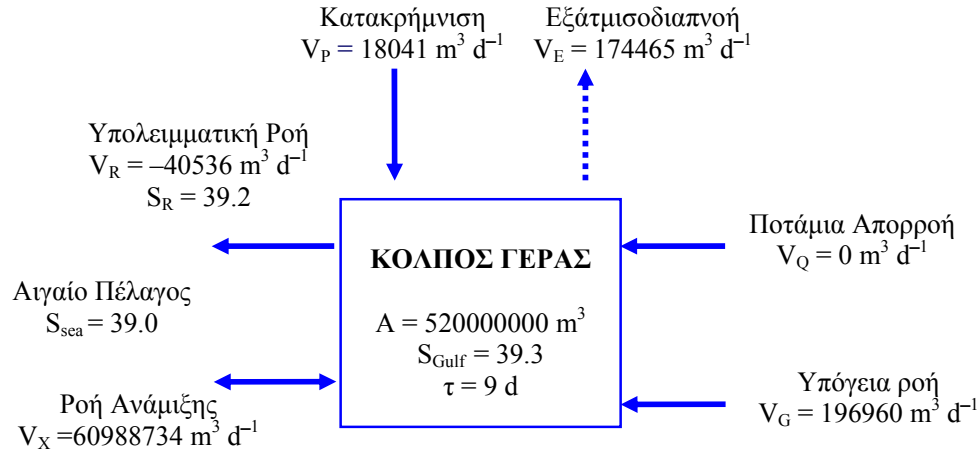


Σχήμα 3.10: Πλαίσιο DPSIR.

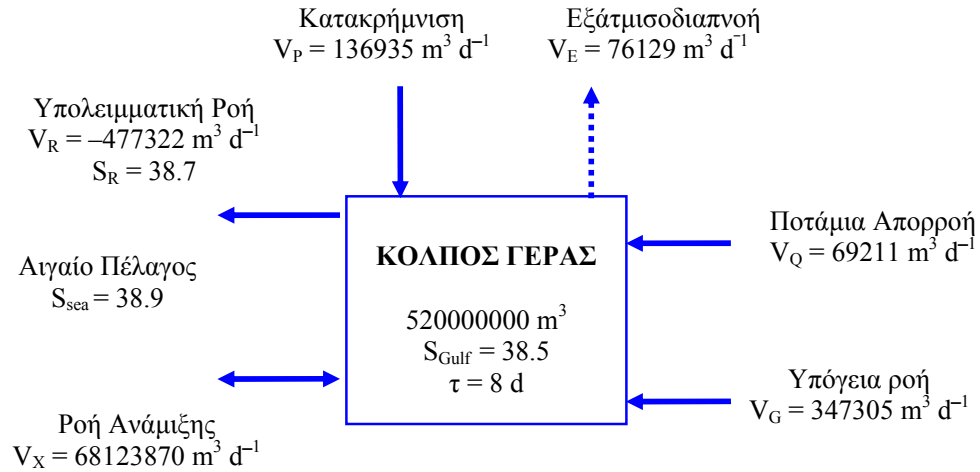
4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Ισοζύγιο Συντηρητικών Ροών: Νερού – Αλατιού

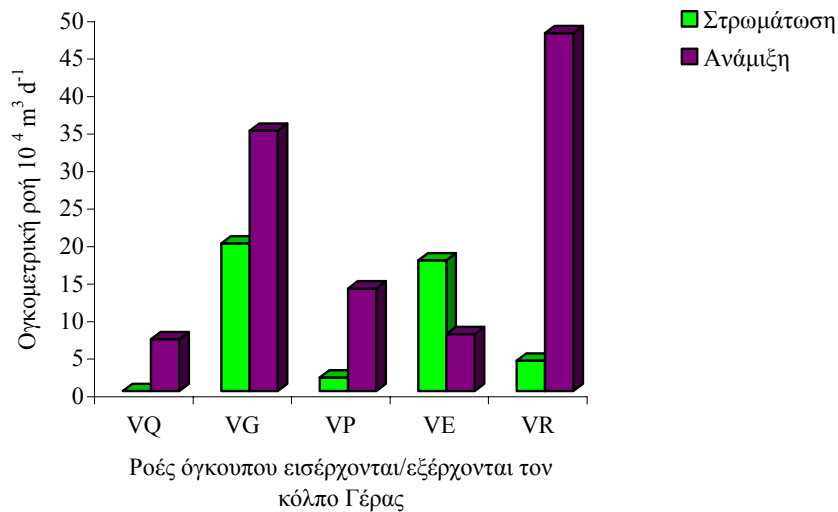
Στην παρούσα μελέτη το υπόγειο θαλάσσιο νερό λαμβάνεται υπό την στενή έννοια ως το φρέσκο καθαρό γλυκό νερό που ρέει από τον παράκτιο υδροφόρο προς τον κόλπο της Γέρας. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5) εκτιμήθηκε η υπόγεια ροή για τις δύο περιόδους στρωμάτωσης και ανάμιξης. Η ροές των ακατέργαστων αστικών λυμάτων, λυμάτων μονάδων παραγωγής ελαιολάδου και γεωργικής δραστηριότητας θεωρήθηκαν πως καταλήγουν στα ποτάμια. Στα Σχήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα ισοζύγια νερού και αλατιού κατά την περίοδο στρωμάτωσης (από Μάη έως Οκτώβρη) και ανάμιξης (από Νοέμβριο έως Απρίλιο) αντίστοιχα. Στο Σχήμα 4.3 παριστάνονται γραφικά οι ροές υδάτων του θαλάσσιου οικοσυστήματος και στις δύο περιόδους. Οι ροές ποταμού και γλυκών νερών υπολογίστηκαν από την εξίσωση (4). Οι αρνητικές τιμές σημαίνουν έξοδο μάζας νερού από τον κόλπο ενώ οι θετικές τιμές είσοδο νερού προς τον κόλπο.



Σχήμα 4.1: Ισοζύγιο νερού και αλατιού κατά την περίοδο στρωμάτωσης.



Σχήμα 4.2: Ισοζύγιο νερού και αλατιού κατά την περίοδο ανάμιξης.



Σχήμα 4.3: Συγκριτική αναπαράσταση των ροών όγκου νερού που εισέρχονται και εξέρχονται τον κόλπο Γέρας κατά τις περιόδους στρωμάτωσης και ανάμιξης.

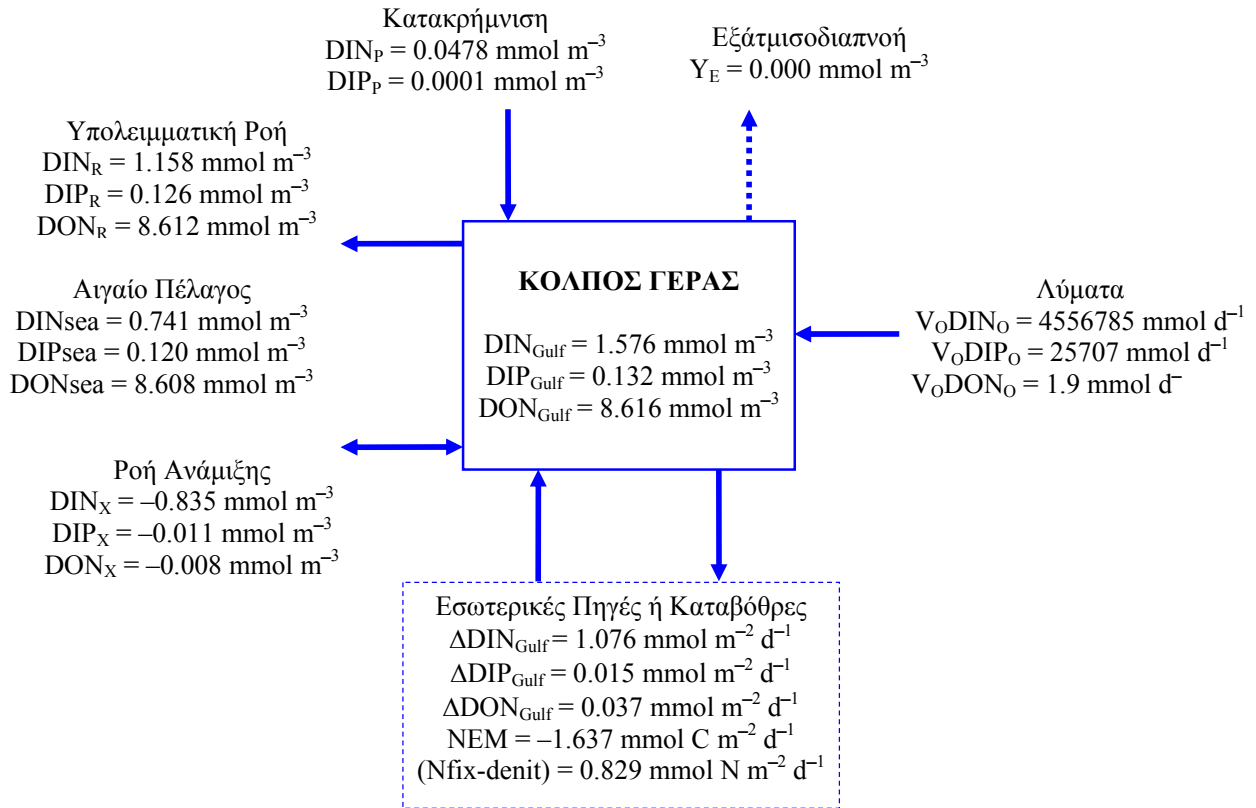
Στα Σχήματα 4.1, 4.2 και 4.3 παρατηρούνται αυξημένες ροές νερού κατά την περίοδο ανάμιξης, όπου υπάρχει υψηλή βροχόπτωση, σε σχέση με την περίοδο στρωμάτωσης. Η υπόγεια ροή κατά την περίοδο στρωμάτωσης είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις ροές εξάτμισης και βροχόπτωσης. Σε αντίθεση, κατά την περίοδο

ανάμιξης η υπόγεια ροή είναι μεγαλύτερη και ίδια τάξης μεγέθους με την ροή βροχόπτωσης

Επιπλέον παρατηρείται ελαφρά υψηλότερη τιμή αλατότητας στον κόλπο Γέρας από την ανοιχτή θάλασσα την περίοδο στρωμάτωσης ενώ την περίοδο ανάμιξης παρουσιάζεται το αντίστροφο φαινόμενο. Επειδή η τιμή της αλατότητα της μάζας νερού της ανοιχτής θάλασσας και του κόλπου Γέρας είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη το μοντέλο ισοζυγίου αλατιού δεν μπορεί να λειτουργήσει σωστά. Για τον λόγο αυτό η ροή του όγκου ανάμιξης και υπολειμματικού όγκου εκτιμήθηκαν από το υδροδυναμικό μοντέλο που περιγράφεται στην ενότητα 3.4. Τέλος, οι χρόνοι παραμονής του νερού στον κόλπο βρέθηκαν 9 και 8 ημέρες κατά την περίοδο στρωμάτωσης και ανάμιξης αντίστοιχα σύμφωνα με την εξίσωση (9).

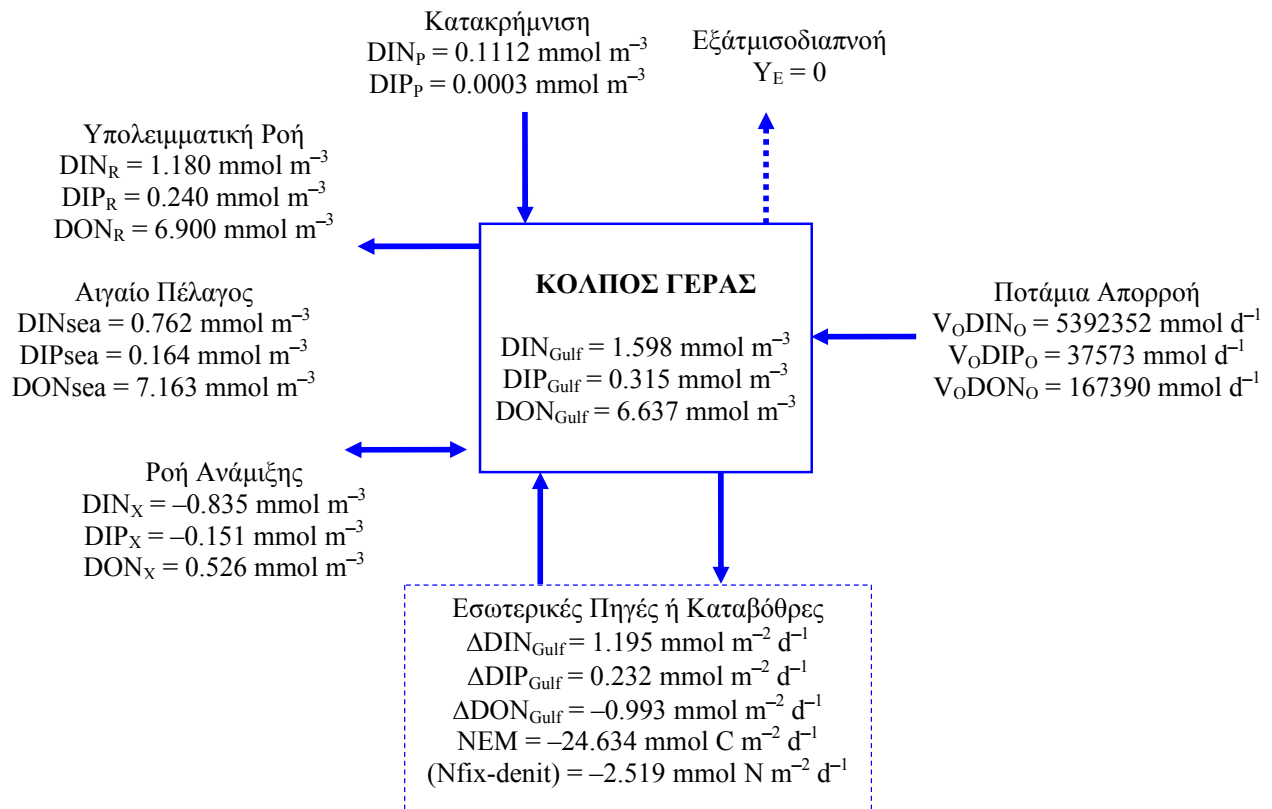
4.2 Ισοζύγιο Μη-Συντηρητικών Ροών Θρεπτικών

Οι μη συντηρητικές ροές διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου (DIP), διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN) και διαλυμένου οργανικού αζώτου (DON) υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις εκτιμώμενες τιμές ογκομετρικής ροής του μοντέλου ‘ενός διαμερίσματος, ενός στρώματος’ και πολλαπλασιάζοντας την κατάλληλη τιμή συγκέντρωσης θρεπτικών. Οι εσωτερικές πηγές ή καταβόθρες του συστήματος υπολογίστηκαν σύμφωνα με την εξίσωση (12). Τα αποτελέσματα του βιογεωχημικού μοντέλου κατά τις περιόδους στρωμάτωσης και ανάμιξης απεικονίζονται στα Σχήματα 4.4 και 4.5 αντιστοίχως. Οι αρνητικές τιμές σημαίνουν καταβόθρα θρεπτικών ενώ οι θετικές τιμές πηγή θρεπτικών.



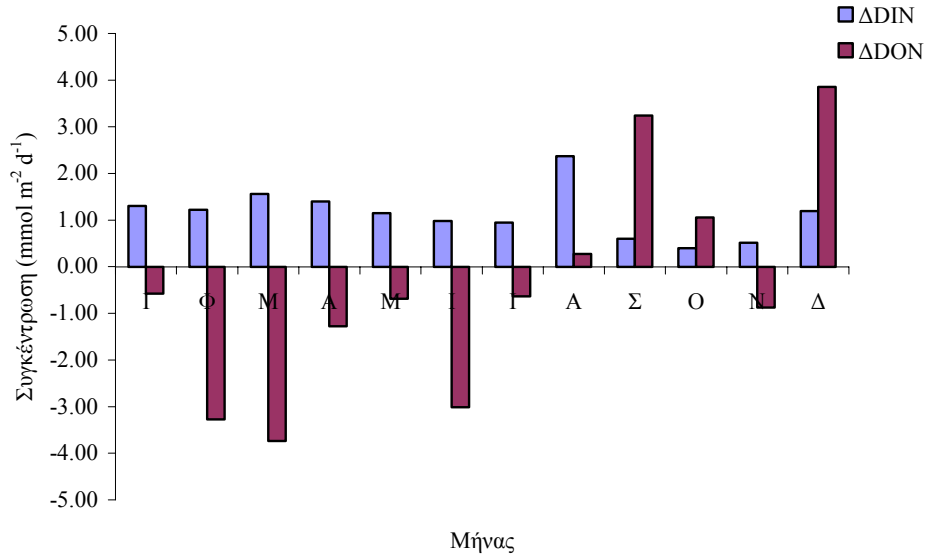
Σχήμα 4.4: Ισοζύγιο θρεπτικών κατά την περίοδο στρωμάτωσης.

Κατά την περίοδο στρωμάτωσης (Σχήμα 4.4) οι τιμές των ΔDIN_{Gulf} , ΔDON_{Gulf} και ΔDIP_{Gulf} είναι θετικές υποδηλώνοντας ότι για να παραμένει το σύστημα σε σταθερή κατάσταση και να αντισταθμιστούν η εκροή και οι ανταλλαγές προς τη θάλασσα και οι εισροές από ατμόσφαιρα και λεκάνη απορροής απαιτείται απελευθέρωση DIN, DON και DIP. Παρατηρείται ως σημαντικότερη πηγή εισόδου θρεπτικών τα λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο για τους μήνες Μάη ως Οκτώβρη. Επιπλέον, ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί από το σύστημα συγκέντρωση θρεπτικών σαν συνέπεια των υπάρχουσων διαφορών μεταξύ του κόλπου και της ανοιχτής θάλασσας. Επιπλέον φαίνεται η αναπνοή να υπερσχύει της πρωτογενούς παραγωγής και το σύστημα χαρακτηρίζεται ως καθαρός καταναλωτής οργανικής ύλης. Τέλος, η θετική διαφορά ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση δείχνει πως κυριαρχούν διεργασίες νιτροποίησης στο σύστημα.



Σχήμα 4.5: Ισοζύγιο θρεπτικών κατά την περίοδο ανάμιξης.

Κατά την περίοδο ανάμιξης (Σχήμα 4.5) οι τιμές των $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$ και $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ είναι θετικές υποδηλώνοντας ότι για να παραμείνει το σύστημα σε σταθερή κατάσταση και να αντισταθμιστούν η εκροή και οι ανταλλαγές προς τη θάλασσα και οι εισροές από ατμόσφαιρα και λεκάνη απορροής απαιτείται απελευθέρωση DIN και DIP. Σε αντίθεση η τιμή του $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ είναι αρνητική σημαίνοντας λήψη DON από το σύστημα. Παρατηρούνται ως σημαντικότερες πηγές εισόδου θρεπτικών η ροή των ποταμών που περιέχουν λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο για τους μήνες Νοέμβριο ως Απρίλιο. Ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί συγκέντρωση DIN και DIP ενώ προσθέτει DON από το σύστημα σαν συνέπεια των διαφορών μεταξύ του κόλπου και της ανοιχτής θάλασσας. Επιπλέον φαίνεται η πρωτογενής παραγωγή να κατischύει της αναπνοής χαρακτηρίζοντας το σύστημα ως καθαρός καταναλωτή οργανικής ύλης. Τέλος, η αρνητική διαφορά ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση φανερώνει την απονητροποίηση ως υπερίσχυσα διεργασία.



Σχήμα 4.6: Διακύμανση των μη συντηρητικών ροών διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN) και διαλυμένου οργανικού αζώτου (DON) κατά την διάρκεια των περιόδων στρωμάτωσης και ανάμιξης.

Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των μη συντηρητικών ροών διαλυμένου ανόργανου αζώτου (ΔDIN) και διαλυμένου οργανικού αζώτου (ΔDON) που έχουν υπολογισθεί μέσω ισοζυγίου. Οι αρνητικές τιμές σημαίνουν καταβόθρα υλικού και οι θετικές τιμές πηγή υλικού στον κόλπο. Παρατηρείται πως ο κόλπος της Γέρας είναι πηγή διαλυμένου ανόργανου αζώτου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Παρουσιάζει μέγιστη τιμή τον Αύγουστο και ελάχιστη τον Οκτώβριο. Σε αντίθεση με το διαλυμένο ανόργανο άζωτο ο κόλπος της Γέρας είναι καταβόθρα διαλυμένου οργανικού αζώτου κατά τους μήνες Ιανουάριο έως Ιούλιο και τον Νοέμβριο. Την υπόλοιπη χρονική περίοδο το θαλάσσιο οικοσύστημα είναι πηγή διαλυμένου οργανικού αζώτου, με ελάχιστη τιμή τον Αύγουστο και μέγιστη τον Δεκέμβριο.

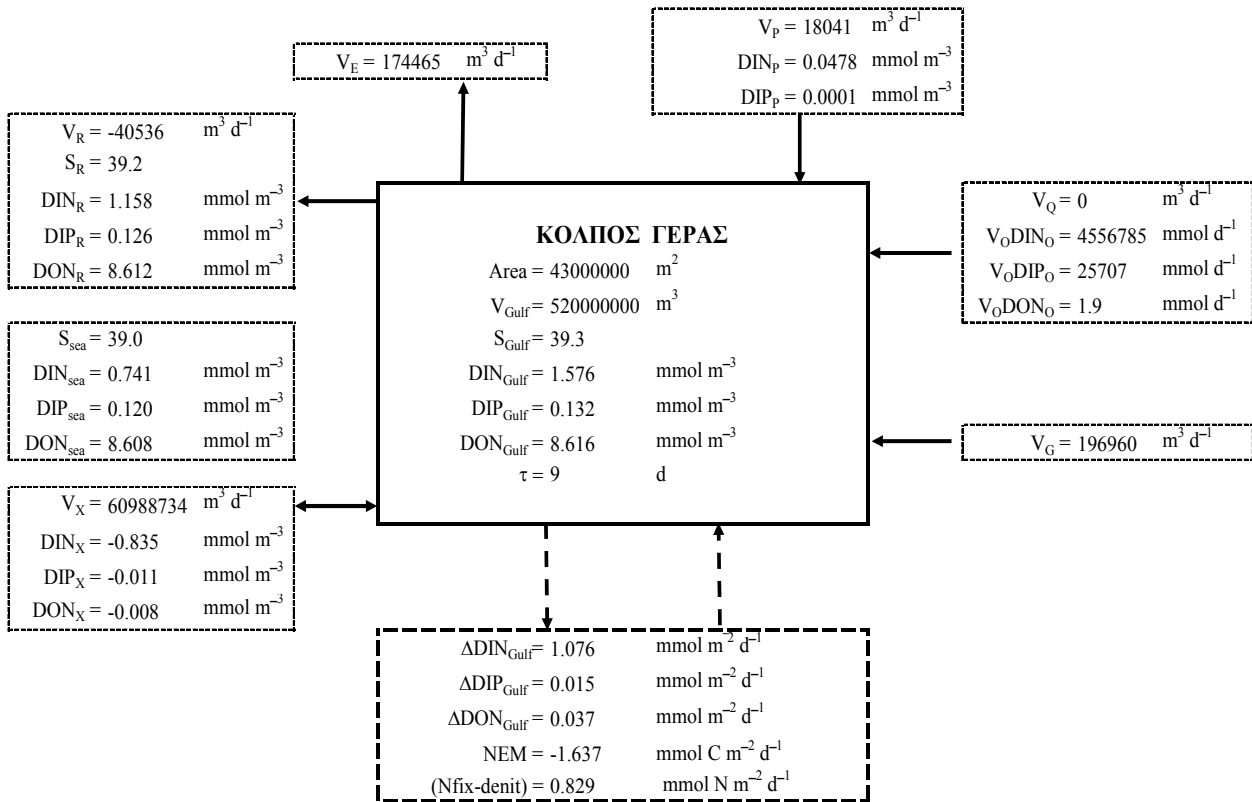
4.3 Ανάπτυξη Σεναρίων

Κατά την ανάπτυξη των σεναρίων Εντατικής Καλλιέργειας (Σ1) και Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης (Σ2) θεωρήθηκαν οι ογκομετρικές ροές που εισέρχονται

και εξέρχονται στον κόλπο ίδιες με την υφιστάμενη κατάσταση. Οι υπόγειες ροές και οι χρόνοι παραμονής του νερού παραμένουν ίδιες με αυτές υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4.1. Η μελέτη επικεντρώθηκε στον υπολογισμό μη-συντηρητικών ροών.

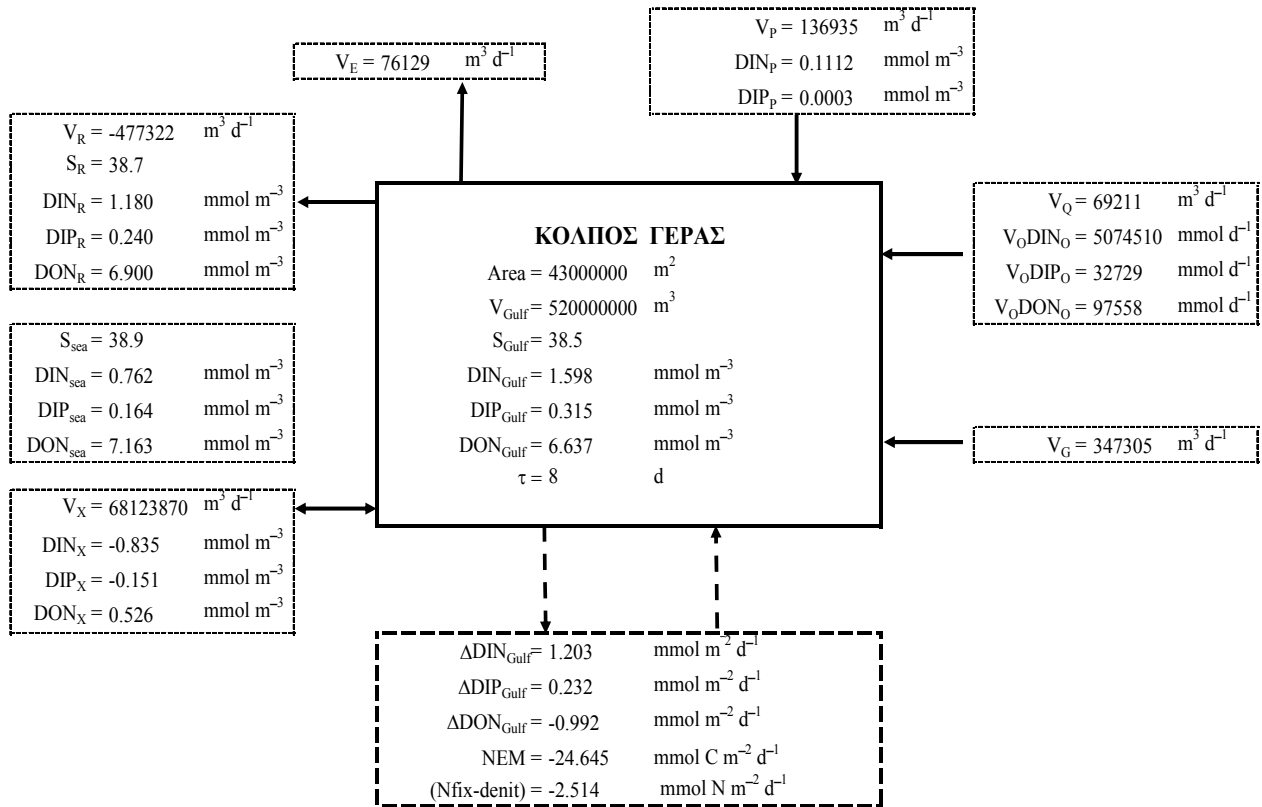
4.3.1 Σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας

Κατά την περίοδο στρωμάτωσης οι τιμές των $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$, $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ και $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ είναι θετικές. Βασικές πηγές εισόδου θρεπτικών στο οικοσύστημα αποτελούν το Αιγαίο Πέλαγος και τα λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο. Ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί συγκέντρωση DIN, DIP και DON από το σύστημα σαν συνέπεια των διαφορών μεταξύ του κόλπου και της ανοιχτής θάλασσας. Επιπλέον φαίνεται η αναπνοή να υπερिशύει της πρωτογενούς παραγωγής. Τέλος, η θετική διαφορά ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση δείχνει πως κυριαρχούν διεργασίες νιτροποίησης στο σύστημα.



Σχήμα 4.7: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο στρωμάτωσης, σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1).

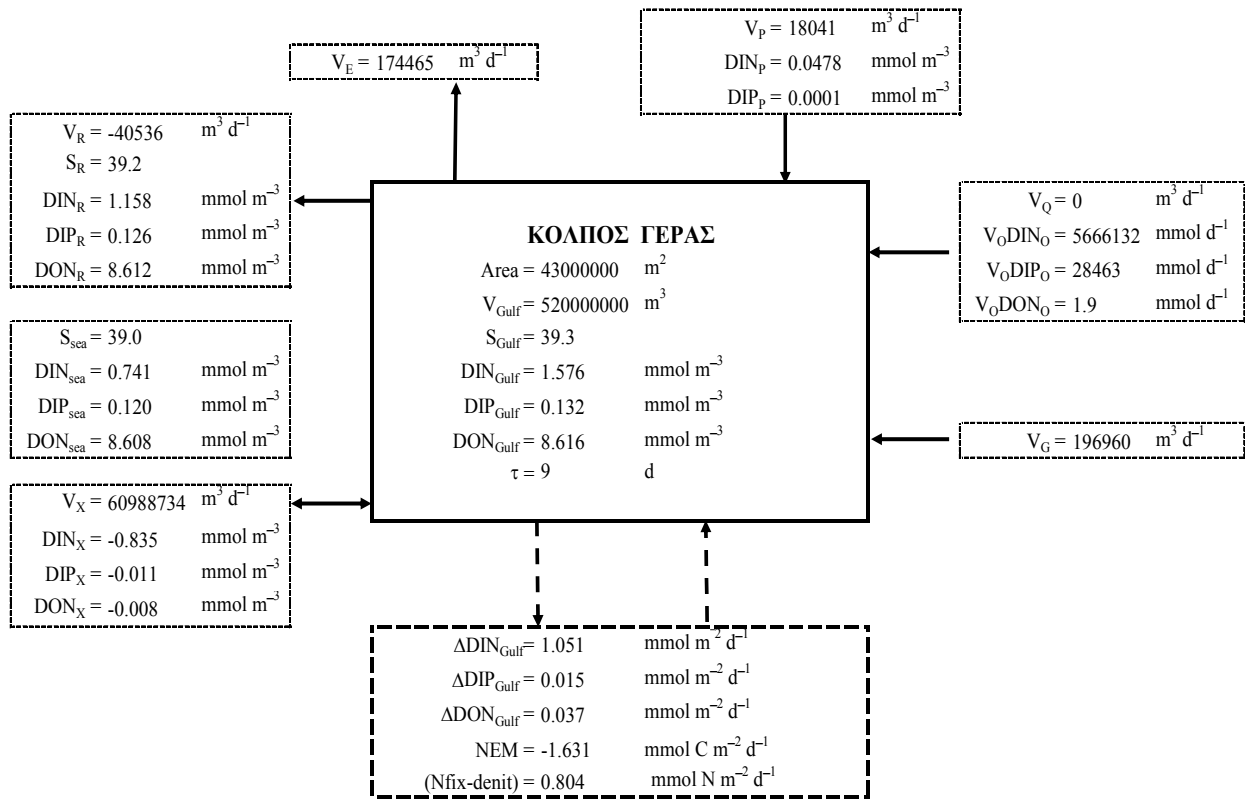
Κατά την περίοδο ανάμιξης οι τιμές των $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$ και $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ είναι θετικές (πηγές) ενώ η τιμή του $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ είναι αρνητική (καταβόθρα). Παρατηρούνται ως σημαντικότερες πηγές εισόδου θρεπτικών η ροή των ποταμών που μεταφέρει τα λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο. Επιπλέον, ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί συγκέντρωση DIN και DIP ενώ προσθέτει DON από το σύστημα σαν συνέπεια των διαφορών μεταξύ του κόλπου και της ανοιχτής θάλασσας. Επιπλέον φαίνεται η πρωτογενής παραγωγή να είναι μικρότερη της αναπνοής χαρακτηρίζοντας το σύστημα ως καταναλωτής οργανικής ύλης. Τέλος, η διαφορά ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση είναι αρνητική.



Σχήμα 4.8: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο ανάμιξης, σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας (Σ1).

4.3.2 Σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης

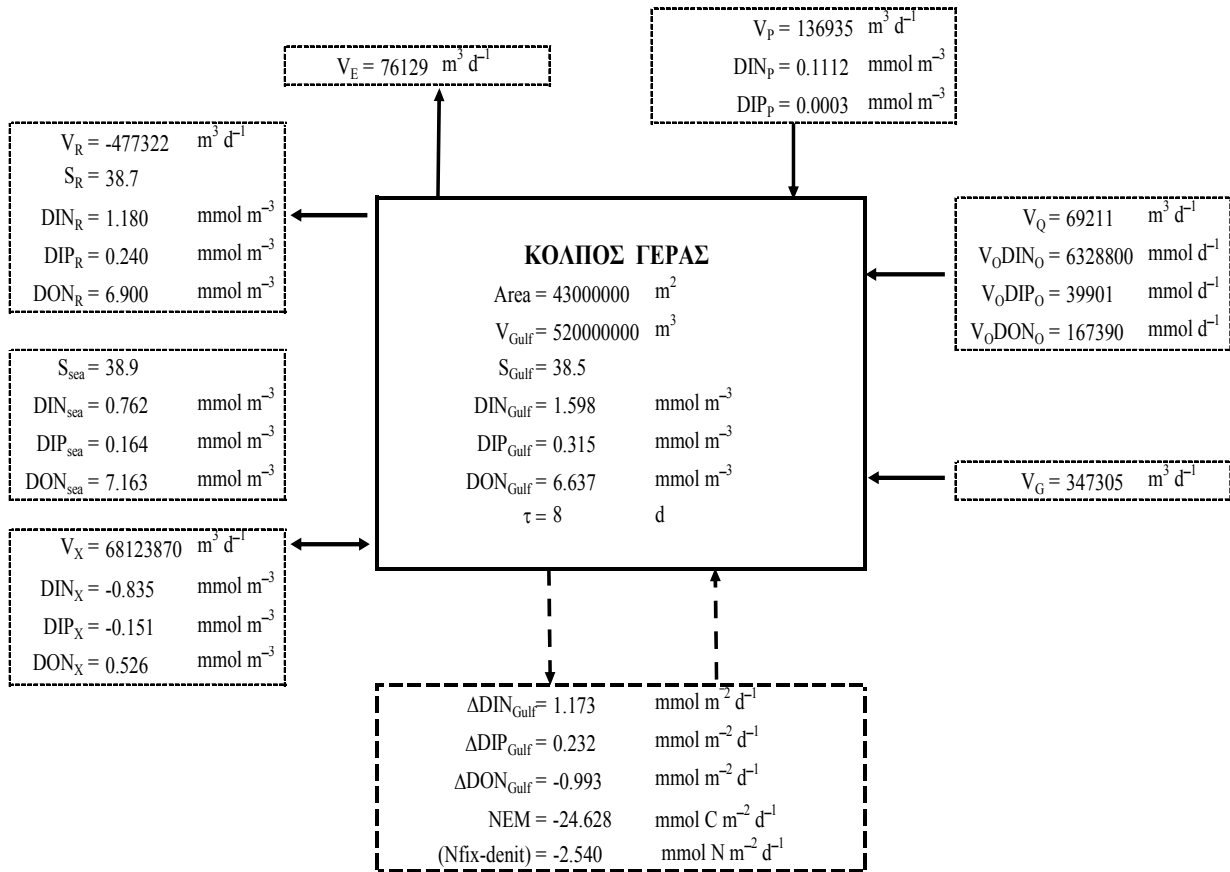
Κατά την περίοδο στρωμάτωσης (Σχήμα 4.9) οι συντηρητικές τιμές ροής των $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$, $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ και $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ είναι θετικές. Βασικές πηγές εισόδου θρεπτικών στο οικοσύστημα αποτελούν τα λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο. Ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί συγκέντρωση DIN, DIP και DON από το σύστημα σαν συνέπεια των διαφορών μεταξύ του κόλπου και της ανοιχτής θάλασσας. Επίσης, η πρωτογενής παραγωγή κατισχύει της αναπνοής. Τέλος, στο σύστημα κυριαρχούν διεργασίες νιτροποίησης με αποτέλεσμα την ύπαρξη θετικής διαφοράς ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση.



Σχήμα 4.9: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο στρωμάτωσης, σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστική Ανάπτυξη (Σ2).

Κατά την περίοδο ανάμιξης (Σχήμα 4.10) οι συντηρητικές τιμές ροής των $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$, και $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ είναι θετικές (πηγές) σε αντίθεση με το $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ που έχει αρνητική τιμή (καταβόθρα). Οι σημαντικότερες φορτίσεις θρεπτικών είναι η ροή των

ποταμών όπου μεταφέρει τα λύματα από δραστηριότητες στην χέρσο. Επιπλέον, φαίνεται πως ο όγκος ανάμιξης αφαιρεί συγκέντρωση DIN και DIP ενώ προσθέτει DON από το σύστημα. Ο καθαρός μεταβολισμός του οικοσυστήματος είναι αρνητικός, δηλαδή η πρωτογενής παραγωγή να είναι μικρότερη της αναπνοής ενώ η διαφορά ανάμεσα στην νιτροποίηση και απονιτροποίηση είναι αρνητική.

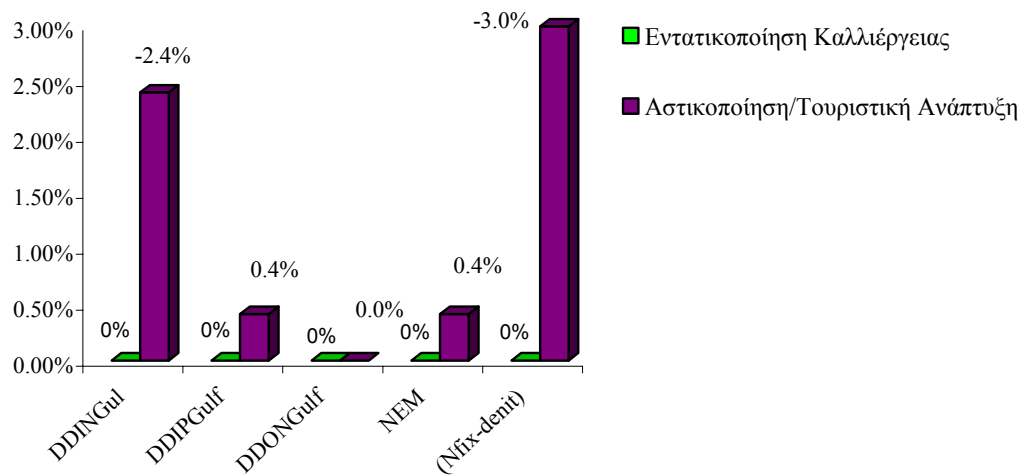


Σχήμα 4.10: Ισοζύγιο συντηρητικών και μη-συντηρητικών ροών κατά την περίοδο ανάμιξης, σενάριο Αστικοποίηση και Τουριστική Ανάπτυξη (Σ2).

4.3.3 Σύγκριση Σεναρίων με την Υφιστάμενη Κατάσταση του Κόλπου

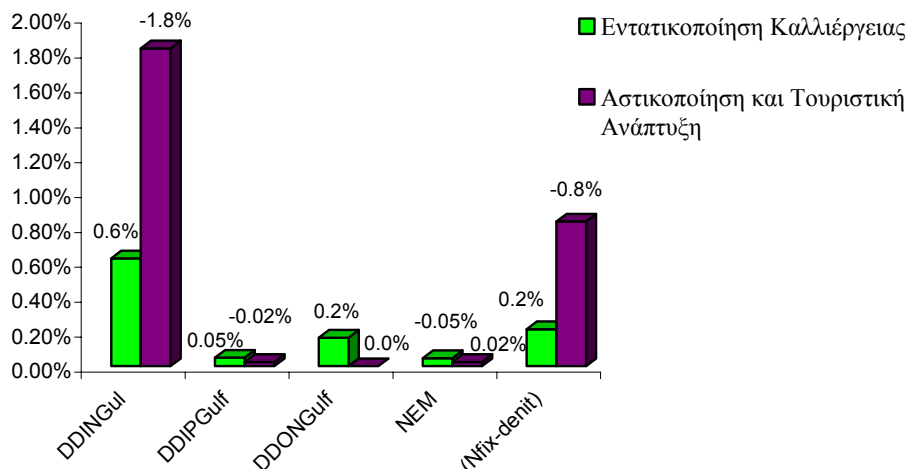
Στο Σχήμα 4.11 φαίνεται το επί τοις εκατό ποσοστό μεταβολής των μη συντηρητικών ροών των δύο σεναρίων σε σύγκριση με την παρούσα κατάσταση του κόλπου Γέρας κατά την περίοδο στρωμάτωσης. Παρατηρείται μηδενική μεταβολή των τιμών του σεναρίου Εντατικοποίησης της Καλλιέργειας. Σε αντίθεση είναι εμφανής η ύπαρξη

διαφορών στις συντηρητικές τιμές ροής μεταξύ του σεναρίου Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης και της υφιστάμενης κατάστασης. Παρατηρείται μείωση στο $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$, μηδενική μεταβολή στο $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ και αύξηση στα $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$, NEM και στην διαφορά νιτροποίησης απονιτροποίησης.



Σχήμα 4.11: Ποσοστό μεταβολής (%) των μη-συντηρητικών παραμέτρων στα σενάρια Σ1 και Σ2 σε σχέση με την παρούσα κατάσταση του κόλπου Γέρας, περίοδος στρωμάτωσης.

Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται το επί τοις εκατό ποσοστό μεταβολής των μη συντηρητικών ροών των δύο σεναρίων σε σύγκριση με την παρούσα κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος κατά την περίοδο ανάμιξης. Παρατηρείται μικρή μείωση του NEM ενώ μικρή άνοδο των DIN_{Gulf} , $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$, $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$ και στην διαφορά νιτροποίησης απονιτροποίησης στο σενάριο Εντατικοποίησης της Καλλιέργειας. Στο σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης παρατηρείται μείωση στο $\Delta\text{DIN}_{\text{Gulf}}$ και $\Delta\text{DIP}_{\text{Gulf}}$ ενώ μικρή αύξηση των τιμών $\Delta\text{DON}_{\text{Gulf}}$, NEM και στην διαφορά νιτροποίησης απονιτροποίησης σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση του κόλπου.



Σχήμα 4.12: Ποσοστό μεταβολής (%) των μη-συντηρητικών παραμέτρων στα σενάρια Σ1 και Σ2 σε σχέση με την παρούσα κατάσταση του κόλπου Γέρας, περίοδος ανάμιξης.

4.4 Εφαρμογή του Πλαισίου DPSIR

4.4.1 Κινητήριες δυνάμεις

Οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες της περιοχής χωρίζονται στον πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα. Ο πρωτογενής τομέας περιλαμβάνει γεωργία, αλιεία, κτηνοτροφία και ιχθυοκαλλιέργεια. Ο δευτερογενής και τριτογενής τομέας περιορίζονται στο εμπόριο του ελαιοκάρπου και στον τουρισμό αντίστοιχα. Παραδοσιακά η καλλιέργεια της ελιάς αποτελούσε τον κύριο οικονομικό πόρο της περιοχής. Ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες ανταγωνιστικά προϊόντα προξένησαν οικονομική δυσχέρεια με αποτέλεσμα την μαζική μετακίνηση των κατοίκων σε άλλες περιοχές. Η γεωργία δεν καθίσταται κερδοφόρος λόγω των ορεινών εκτάσεων με απότομη κλίση και των μικρών καλλιεργήσιμων κτημάτων. Επιπλέον παράγοντας μπορεί να θεωρηθεί η ελλιπής ενημέρωση των αγροτών από το Υπουργείο Γεωργίας. Ο τουρισμός παρουσίασε μια μικρή άνοδο στα τέλη του 1980 αλλά παρ' όλα αυτά δεν θεωρείται ανεπτυγμένος εν συγκρίσει με το υπόλοιπο νησί. Επομένως, οι αγρότες δουλεύουν παράλληλα σε οικοδομικές εργασίες και στην κτηνοτροφία. Υπολογίζεται πως περίπου 5500 πρόβατα και κατσίκια εκτρέφονται στην γύρω περιοχή. Στον κόλπο της Γέρας υπάρχει μία μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας που παράγει 150 tons/year πέρκα και ξηφία. Επίσης ισχύει η Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/EK (Water Framework

Directive) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Τέλος, στο βόρειο μέρος της λεκάνης απορροής βρίσκεται ένας σημαντικός υδροβιότοπος που εντάσσεται στο δίκτυο ΦΥΣΗ 2000 (Tsirtsis et al. 2003).

4.4.2 Πιέσεις

Οι σοβαρότερες απειλές στην ποιότητα νερού του θαλάσσιου οικοσυστήματος προέρχονται από την άσκηση ανθρωπίνων δραστηριοτήτων τόσο στον αγροτικό όσο και στον αστικό χώρο. Οι πιέσεις που δέχεται ο κόλπος από τις γεωργικές δραστηριότητες είναι περιορισμένες λόγω έλλειψης μοντέρνων τεχνικών καλλιέργειας όπως, ύδρευση και χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων. Η κύρια πηγή εισόδου θρεπτικών προέρχεται από την λίπανση της ελιάς. Από την άλλη πλευρά κατά την περίοδο παραγωγής ελαιολάδου μεγάλες ποσότητες κατσίγαρου εισέρχονται ακατέργαστες από τις μονάδες παραγωγής μέσω των ποταμών. Τέλος σημαντική πηγή ρύπανσης συνιστά η χερσαία εναπόθεση υγρών αποβλήτων και οι σηπτικοί βόθροι των γύρω οικισμών. Τα ακατέργαστα λύματα καταλήγουν μέσω ποταμών και υπόγειων νερών στον κόλπο (Tsirtsis et al. 2003).

4.4.3 Υφιστάμενη κατάσταση

Μελέτες στον κόλπο Γέρας έχουν δείξει πως κατά τη θερινή περίοδο η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στο εσωτερικό του κόλπου σε σχέση με την ανοιχτή θάλασσα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει το χειμώνα. Παρόμοια τάση παρατηρείται για την αλατότητα με υψηλές τιμές το καλοκαίρι και χαμηλές το χειμώνα σε σύγκριση με την ανοιχτή θάλασσα (Tsirtsis et al. 2003). Η ροή των θρεπτικών από σημειακές (ποτάμια) και μη σημειακές (επιφανειακή απορροή) πηγές είναι σημαντική. Το εσωτερικό του κόλπου χαρακτηρίζεται συχνά από φαινόμενα ευτροφισμού ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο. Την περίοδο αυτή τα αποθέματα του ανόργανου αζώτου παρουσιάζονται αυξημένα (Arhonditsis et al. 2000). Τα κύρια αίτια του ευτροφισμού του κόλπου Γέρας είναι οι εισροές που προέρχονται από ακατέργαστα αστικά λύματα των χωριών, λύματα μονάδων παραγωγής ελαιολάδου και γεωργικά λιπάσματα (Tsirtsis et al. 2003).

4.4.4 Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις των παραμέτρων της κατάστασης του περιβάλλοντος του κόλπου Γέρας μπορούν να εκτιμηθούν ανάλογα με την υποβάθμιση που προκαλείται στις επιμέρους οικονομικές αξίες της (Ζούλιας 2004).

I. Άμεσες χρηστικές αξίες

α) Αξία χρήσης αλιευτικών πόρων: Η μείωση ή και απώλεια της αλιευτικής παραγωγής επηρεάζει την μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας.

β) Αξία χρήσης υδατικών πόρων: Υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα από την εισροή λυμάτων και λιπασμάτων.

γ) Αξίες Αισθητικής, αναψυχής και τουρισμού: Ελαττώνεται η απόλαυση που προσφέρει ο κόλπος σε κάτοικους και τουρίστες.

δ) Ακίνητη αξία: Μειώνεται η αξία πώλησης/ ενοικίασης της γης και των οικοδομών λόγω υποβάθμισης της ποιότητας ζωής στην περιοχή.

II. Έμμεσες χρηστικές αξίες

α) Οικοσυστημική αξία: Η δομή και η λειτουργία του θαλάσσιου οικοσυστήματος υποβαθμίζεται. Παρατηρούνται φαινόμενα ευτροφισμού. Η δυνατότητα αποκατάστασης και επαναφοράς του οικοσυστήματος στην αρχική του κατάσταση από μόνο του δυσχεραίνεται. Υφίσταται αναγκαία λήψη μέτρων κάτω από κάποιο κόστος.

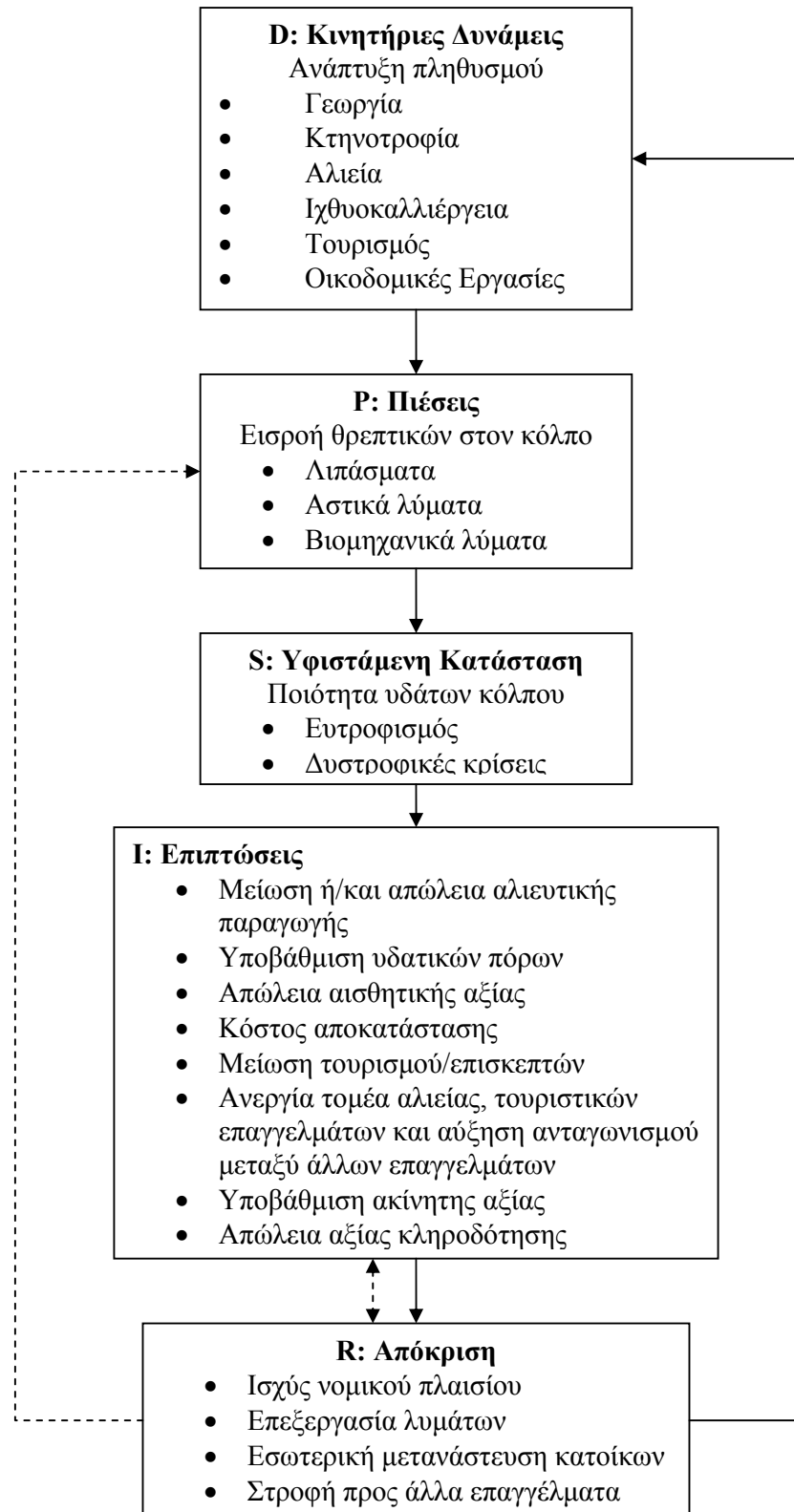
β) Κοινωνική συνοχή: Η μείωση της αλιευτικής παραγωγής προκαλεί απώλεια θέσεων εργασίας καθώς και άνισες ευκαιρίες ευμάρειας μεταξύ των κατοίκων που ασχολούνται με γεωργία και αλιεία.

III. Μη χρηστικές αξίες

Εδώ συμπεριλαμβάνονται οι αξίες ύπαρξης, κληροδότησης και φιλανθρωπική.

4.4.5 Απόκριση

Η απόκριση εστιάζεται στο νομικό πλαίσιο και κυρίως στο πλαίσιο ΦΥΣΗ 2000 και στην Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ (Water Framework Directive) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Πραγματοποιούνται έργα απορρύπανσης συμπεριλαμβανομένου εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Οι κάτοικοι που ασχολούνται με την αλιεία αναγκάζονται να στραφούν σε άλλες δραστηριότητες με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερος ανταγωνισμός μεταξύ των υπόλοιπων δραστηριοτήτων. Δημιουργούνται νέοι τομείς απασχόλησης, ορισμένοι επιδοτούμενοι από το κράτος και την Ευρωπαϊκή Κοινότητα. Άλλοι κάτοικοι αναγκάζονται να φύγουν από την περιοχή προς τα μεγάλα αστικά κέντρα όπου οι ευκαιρίες εργασίες είναι πιθανόν περισσότερες.



Σχήμα 4.13: Διάγραμμα DPSIR για τον κόλπο Γέρας, Λέσβου (συνεχής γραμμή: ροή πλαισίου, διακεκομμένη γραμμή: αλληλεπιδράσεις μεταξύ βημάτων).

4.4.6 Σενάρια

Η εφαρμογή του πλαισίου DPSIR στο σενάριο Εντατικοποίησης Καλλιέργειας φαίνεται να μην επιφέρει αλλαγές στα προαναφερόμενα βήματα του πλαισίου. Όπως μελετήθηκε στην ενότητα 4.3 το σενάριο αυτό προξενεί μικρές αλλαγές στο παράκτιο οικοσύστημα μόνο την περίοδο ανάμιξης. Σε αντίθεση το σενάριο Αστικής και Τουριστικής Ανάπτυξης πιθανόν να προξενήσει μεγαλύτερες πιέσεις προερχόμενες από τα αστικά και βιομηχανικά λύματα. Τα φαινόμενα της υφιστάμενης κατάστασης (ευτροφισμός και δυστροφικές κρίσεις) μπορεί να γίνουν εντονότερα και συχνότερα. Επίσης, με την αύξηση του τουρισμού ίσως υπάρξουν φαινόμενα επηρεασμού των ηθών και εθίμων του τοπικού πληθυσμού. Βάση του σχήματος 4.13 οι επιπτώσεις φαίνονται να είναι σημαντικότερες. Οι τομείς της αλιείας, τουρισμού και οι ιδιοκτήτες κέντρων διασκέδασης ίσως αντιμετωπίσουν την ανεργία. Οι περιοχές που περιβάλλουν τον κόλπο Γέρας πιθανώς θα πάνουν να είναι προορισμός αναψυχής τουριστών και επισκεπτών και η αξία αγοράς ή πώλησης ακίνητης περιουσίας θα μειωθεί. Οι αισθητική, εκπαιδευτική και κληροδοτικής αξίες πιθανόν να χαθούν. Τα πτηνά που τρεφόντουσαν από τον κόλπο ίσως αναγκαστούν να αποδημήσουν προς άλλες περιοχές. Το κόστος αποκατάστασης του θαλάσσιου οικοσυστήματος μπορεί να προβεί ασύμφορο και η ίδια η αποκατάσταση του στην αρχική κατάσταση μη εφικτή. Πιθανά αποτελέσματα μπορεί να είναι η μαζική αλλαγή των τωρινών εργασιών απασχόλησης. Η κάτοικοι θα τραπούν να μετακινηθούν στα αστικά κέντρα και σε άλλες περιοχές για εύρεση εργασίας.

Επομένως ο πληθυσμός του δήμου Γέρας αλλά και των τουριστών/ επισκεπτών θα μειωθεί. Η δημιουργία εγκαταστάσεων μονάδων επεξεργασίας λυμάτων θα προβεί αναγκαία για την συνέχιση της διαβίωσης των κατοίκων. Νέες και παλιές νομοθεσίες θα ισχύσουν και θα εφαρμοστούν. Η μη συμμόρφωση θα συνεπάγεται με κυρώσεις. Η ενημέρωση αλλά και εκπαίδευση των κατοίκων, επιχειρηματιών και τουριστών στην σωστή διαχείριση του παράκτιου περιβάλλοντος αλλά και η συμμετοχή των μονίμων κατοίκων στις λήψεις αποφάσεων θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων. Επομένως το σενάριο της Αστικοποίησης και Τουριστικής ανάπτυξης θα μπορέσει να υλοποιηθεί προκαλώντας όσο το δυνατόν λιγότερα περιβαλλοντικά προβλήματα και θα φέρει την οικονομική και πολιτιστική άνθιση του δήμου.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα ποτάμια μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού και θρεπτικών από την χέρσο στους ωκεανούς. Αποτελούν ορατά μονοπάτια μεταφοράς υλικών που είναι εύκολο να προσδιοριστούν ποσοτικά. Μια άλλη βασική πηγή ηπειρωτικού γλυκού νερού στον ωκεανό είναι το θαλάσσιο υπόγειο νερό (V_G) (Taniguchi et al. 2002). Η υπόγεια ροή νερού μπορεί είναι καθαρό γλυκό νερό, ανακυκλωμένο θαλασσινό νερό ή συνδυασμός και των δύο. Κάθε περιοχή έχει διαφορετική ποιότητα νερού η οποία εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως, στη υδραυλική αγωγιμότητα, περιοχή συλλογής υπόγειων νερών κ.α. (UNESCO 2004).

Στην παρούσα μελέτη επιχειρήθηκε για πρώτη φορά η εκτίμηση του υπόγειου νερού που εισέρχεται στον Κόλπο Γέρας. Από το ισοζύγιο νερού βρέθηκε πως το υπόγειο νερό και η εξατμισοδιαπνοή είναι της ίδιας τάξης μεγέθους κατά την περίοδο στρωμάτωσης. Κατά την περίοδο ανάμιξης το υπόγειο νερό είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την βροχόπτωση. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση του υπόγειου νερού κατά την περίοδο ανάμιξης ενώ μείωση του την περίοδο στρωμάτωσης.

Η ροή του υπόγειου νερού στον κόλπο Γέρας εξαρτάται από την ποσότητα βροχόπτωσης στην λεκάνη απορροής μαζί με την εξάτμιση, την απορροφητικότητα και βλάστηση του εδάφους. Η ροή μπορεί να προκληθεί επίσης από την υδραυλική κλίση, την ανύψωση κυματισμών, τις παλιρροιακές παλινδρομήσεις, μεταγωγή λόγω πυκνότητας και θερμικής μεταφοράς (Taniguchi et al. 2002, UNESCO 2004). Πιθανόν η διαφορά των τιμών ροής του υπόγειου νερού στις δύο περιόδους να οφείλονται στις παραπάνω παραμέτρους. Σε μελέτη στην εκβολή ποταμού Delaware υπολογίστηκε η υπόγεια ροή με χρήση περισσειας ^{222}Rn ισοδύναμη της ροής του ποταμού δίνοντας τιμές $1252800\text{--}2531520 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Wassmann et al. 2004). Η παραπάνω μελέτη έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του κόλπου Γέρας αποδεικνύοντας την άμεση σχέση του υπόγειου νερού με το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής.

Οι υψηλές τιμές εισροής γλυκών υδάτων κατά την περίοδο ανάμιξης επιφέρουν μείωση στον χρόνο παραμονής των υδάτων του οικοσυστήματος, βρίσκοντας σύμφωνους και άλλους συγγραφείς (Wassmann et al. 2004). Εντούτοις, και στις δύο περιόδους οι χρόνοι παραμονής του νερού έχουν πολύ μικρή διαφορά. Πιθανόν

οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την περίοδο στρωμάτωσης επικρατούν ισχυρά ρεύματα επιτρέποντας την εισροή ολιγοτροφικών μαζών νερού από το Αιγαίο Πέλαγος με αποτέλεσμα η να βοηθείται η γρήγορη ανανέωση των υδάτων (Θεοχάρης και Γεωργόπουλος 1986). Κάτω από συνθήκες γρήγορης ανανέωσης ευνοείται η ανάπτυξη ολιγοαλατικού φυτοπλανκτού όπως χλωρόφυτα (Wassmann et al. 2004). Επομένως, ο κόλπος Γέρας αποτελεί ένα πολύ καλά ανανεώσιμο παράκτιο οικοσύστημα με μεγάλες ροές ανάμιξης.

Η φόρτιση θρεπτικών σε ημίκλειστα θαλάσσια οικοσυστήματα πετυχαίνεται μέσω της ατμόσφαιρας, των επιφανειακών σημειακών και μη-σημειακών πηγών από την χέρσο, των υπόγειων νερών και της θάλασσας. Η έξοδος των θρεπτικών από το σύστημα πραγματοποιείται μέσω παλιρροιακής ανταλλαγής, απόθεσης ιζημάτων και απονιτροποίησης. Μία επιπρόσθετη πηγή είναι η νιτροποίηση από ειδικά ήδη κυανοβακτηριδίων και εσωτερικές πηγές είναι η πελαγική και βενθική αναγέννηση θρεπτικών (Knoppers 1994).

Το ισοζύγιο των μη-συντηρητικών ροών των θρεπτικών έγινε με σκοπό την ανάδειξη του ρόλου του κόλπου στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέσα από την μελέτη του μεταβολισμού του οικοσυστήματος (NEM). Βρέθηκε πως ο κόλπος δεν παρουσιάζει την εποχιακή αλλαγή από αυτότροφο σε ετερότροφο όπως χαρακτηρίζονται οι περισσότεροι ημίκλειστοι κόλποι και λιμνοθάλασσες (Knoppers 1994). Ο κόλπος είναι ετερότροφος καθ' όλη τη χρονιά, δρα ως καθαρός παραγωγός διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), καταναλώνει οργανική ύλη και ελευθερώνει διαλυμένο ανόργανο φώσφορο (DIP) ως παραπροϊόν. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να είναι απόρροια της εισροής ροών από αστικά λύματα και λύματα μονάδων παραγωγής ελαιολάδου, γεωργικής και αλιευτικής δραστηριότητας μέσα στον κόλπο δίχως να υφίστανται καμία επεξεργασία. Επιπλέον, παρατηρείται πως η αρνητική τιμή του καθαρού οικοσυστημικού μεταβολισμού αυξάνεται κατά 1436% την περίοδο ανάμιξης σε σχέση με την περίοδο στρωμάτωσης. Αυτό το γεγονός ίσως να οφείλεται στον εμπλουτισμό του θαλάσσιου οικοσυστήματος με θρεπτικά και οργανική ύλη μετά από επεισοδιακά γεγονότα βροχοπτώσεων (Arhonditsis et al. 2000).

Επιπλέον, κατά την περίοδο στρωμάτωσης η υπερίσχυση της διεργασίας της νιτροποίησης έναντι της απονιτροποίησης πιθανόν φανερώνει ότι μια μερίδα του DIN προέρχεται από τη βιολογική δημιουργία του ατμοσφαιρικού αζώτου από τα είδη φανερογάμων (*oceanica Posidonia*) και από τα είδη βακτηριοπλανκτού (Knoppers

1994, Krasakopoulou et al. 2002). Κατά την περίοδο ανάμιξης η διαφορά είναι αρνητική. Το γεγονός αυτό μπορεί να προέρχεται από την μαζική φόρτιση θρεπτικών του θαλάσσιου οικοσυστήματος μετά από γεγονότα βροχόπτωσης. Η απονιτροποίηση παριστάνει καταβόθρα διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN) και λαμβάνει μέρος σε υδάτινη στήλη όπου επικρατούν χαμηλές συνθήκες οξυγόνου ως αποτέλεσμα υψηλής οργανικής αποσύνθεσης που μειώνει την περιεκτικότητα σε οξυγόνο (Krasakopoulou et al. 2002).

Από το σενάριο Εντατικοποίησης της Καλλιέργειας (Σ1) έγινε φανερό πως ο μεταβολισμός του οικοσυστήματος παραμένει σχεδόν σταθερός ως έχει η παρούσα κατάσταση μελέτης του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Σημειώνεται μια ελαφρά μείωση του καθαρού οικοσυστημικού μεταβολισμού ενώ μικρή άνοδο των υπολοίπων συντηρητικών ροών του κόλπου μόνο κατά την διάρκεια της περιόδου ανάμιξης. Επομένως, φαίνεται πως η αυξημένη εισροή θρεπτικών στον κόλπο ειδικά του διαλυμένου ανόργανου αζώτου προξενεί μικρή αύξηση της αναπνοής και της διεργασίας της νιτροποίησης την περίοδο ανάμιξης. Η ιδιομορφία της περιοχής με τις απότομες κλίσεις και την κυριαρχία εκτάσεων με ελιά και πεύκα επιτρέπει την εντατικοποίηση μόνο ενός μέρους της βορειοδυτικής πλευράς της Γέρας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μικρή αύξηση των εισροών θρεπτικών στον κόλπο την περίοδο ανάμιξης όπου πιθανόν μετά από επεισοδιακές βροχοπτώσεις μεταφέρονται στον κόλπο ποσότητες αζωτούχων λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για τις καλλιέργειες. Κάποιες έρευνες έχουν δείξει πως το ποσοστό αζώτου που χάνεται από την χρήση λιπασμάτων και εισέρχεται στο νερό εξαρτάται από τις διεργασίες μετατροπής του σε οργανική ύλη εδάφους. Όταν η χρήση λιπασμάτων είναι περίπου ίδια με την απόδοση των διεργασιών του εδάφους τότε οι απώλειες είναι μικρές. Ο φώσφορος εξαρτάται λιγότερο από τις βιολογικές διεργασίες του εδάφους. Η ικανότητα απορρόφησης του από το έδαφος είναι συνήθως υψηλή με αποτέλεσμα την μικρή απώλεια του προς τους υδροφόρους ορίζοντες και στη θάλασσα. Το μεγαλύτερο ποσοστό φωσφόρου που εισέρχεται στην παράκτια ζώνη οφείλεται στη διάβρωση (Wassmann et al. 2004). Επομένως, η σχεδόν ανύπαρκτη μεταβολή των συντηρητικών τιμών ροής μπορεί να οφείλεται στα φτωχά σε θρεπτικά εδάφη της περιοχής. Μία άλλη αιτία των αποτελεσμάτων είναι πως ίσως η Κοινή Αγροτική Πολιτική του 1970 (Institute for European Environmental Policy, 1999) να έχει ήδη προξενήσει μεγάλη άνοδο της εισροής θρεπτικών από την μεγάλη χρήση λιπασμάτων στην παρούσα κατάσταση

οπότε το σενάριο της εντατικοποίησης μιας μικρής περιοχής να μην επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο οικοσύστημα.

Διαφορετική εικόνα παρουσιάζει το σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης (Σ2). Ο διπλασιασμός του πληθυσμού προξενεί την αύξηση εισροής ακατέργαστων λυμάτων μέσω σημειακών και μη-σημειακών πηγών. Την περίοδο στρωμάτωσης η πρωτογενής παραγωγή σημειώνει άνοδο πιθανόν από την μεγάλη εισροή θρεπτικών στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Ωστόσο, κατά την περίοδο ανάμιξης η πρωτογενής παραγωγή αυξάνεται λιγότερο από την περίοδο στρωμάτωσης. Συνεπώς, η αύξηση της εισροής θρεπτικών (ειδικά νιτρικά και φωσφορικά) από ανθρωπογενείς παράγοντες συμβάλει στην άνοδο της αναπνοής και πρωτογενής παραγωγής και επομένως μπορεί να αποτελέσει μια επιπρόσθετη πηγή διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, πιθανόν ο κόλπος της Γέρας να οδηγείται σε ευτροφικά επίπεδα λόγω της βιογεωχημικής αντίδρασης στην μεγάλη ποσότητα εισροής φορτίου θρεπτικών. Σε υψηλές τιμές παραγωγής και αναπνοής μπορεί να παρατηρηθεί δραματική μείωση του οξυγόνου στα κατώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης με αποτέλεσμα την θανάτωση των οργανισμών του παράκτιου οικοσυστήματος (Smith et al. 2003). Η μείωση των τιμών νιτροποίησης κατά την περίοδο στρωμάτωσης και ανάμιξης μπορεί να φανερώνουν την επικράτηση συνθηκών χαμηλές σε οξυγόνο ως αποτέλεσμα υψηλής οργανικής αποσύνθεσης που μειώνει την περιεκτικότητα σε οξυγόνο.

Μέσα από το πλαίσιο DPSIR φανερώθηκαν πως οι επιθυμίες, ανάγκες και κανόνες που καθορίζουν τους κατοίκους των χωριών που περιβάλλουν τον κόλπο της Γέρας αλλάζουν με το χρόνο. Η ελιά κάποτε ήταν το βασικό εισόδημα των κατοίκων αλλά η είσοδος νέων προϊόντων στην αγορά μείωσε το κέρδος από την επεξεργασία ελιάς. Οι κάτοικοι των γύρω χωριών αναγκάζονται να ασκούν παράλληλες εργασίες για να συμπληρώσουν το εισόδημά τους. Νομικά πλαίσια όπως ΦΥΣΗ 2000 και η Οδηγία–Πλαίσιο 2000/60/EK ισχύουν στην περιοχή. Οι κύριες πιέσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα είναι τα αστικά λύματα, η ελαιουργική βιομηχανία και η γεωργία προξενώντας φαινόμενα ευτροφισμού. Το φαινόμενο επηρεάζει τις άμεσες, έμμεσες χρηστικές αξίες και μη χρηστικές αξίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απόκριση μέσου του υφιστάμενου νομικού πλαισίου, την λήψη μέτρων απορρύπανσης αλλά και την αναπροσαρμογή των κατοίκων στις νέες τάσεις εργασίας. Κατά την ανάπτυξη των δύο σεναρίων ανάπτυξης φάνηκε πως η αστική και τουριστική ανάπτυξη θα έχει

εντονότερες επιπτώσεις και συνεπώς δραστικότερες αντιδράσεις του κοινωνικού συνόλου εν συγκρίσει με την ήδη υπάρχουσα κατάσταση.

Τα αλληλοσυνδεόμενα βήματα του DPSIR επηρεάζονται και μεταβάλλονται. Είναι φανερό πως υπάρχει ανάγκη δημιουργίας μονάδων επεξεργασίας τόσο για τα αστικά όσο και για τα βιομηχανικά λύματα της περιοχής. Η εισροή των λυμάτων είναι ο βασικός παράγοντας που προξενεί ρύπανση στον κόλπο Γέρας. Επιπλέον, χρειάζεται έλεγχος λίπανσης των καλλιεργειών και ενημέρωση των αγροτών στην σωστή χρήση των χημικών παρασκευασμάτων. Τα προβλήματα ευτροφισμού και δυστροφικών κρίσεων του κόλπου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν διότι μέσω της λύσης τους προσεγγίζεται η ευμάρεια των κατοίκων του Δήμου Γέρας. Ταυτόχρονα, για να λειτουργήσει σωστά η ΟΔΠΖ είναι αναγκαία η κοινωνική υποστήριξη. Είναι απαραίτητη για να παρακινήσει την συμμετοχή και την συναίνεση στην διαδικασία της διαχείρισης. Οι κάτοικοι θα πρέπει να αλλάξουν νοοτροπία, συμπεριφορά και να υιοθετήσουν νέα σχέδια εντούτοις, τείνουν να παραμείνουν στον παλιό τρόπο συμπεριφοράς. Επομένως είναι ουσιαστικό να αυξηθεί η ενημέρωση του ευρέως κοινού επάνω στη σημασία των προβλημάτων της παράκτιας ζώνης και η δυνατότητα απαλλαγής τους μέσα από την ΟΔΠΖ. Τα εκπαιδευτικά συστήματα μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για το σκοπό αυτό (EU 1997-1999). Παράλληλα, η χρήση εργαλείων όπως Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (EIA), Εκτίμηση Περιβαλλοντικής Στρατηγικής (SEA), Ανάλυση Ομάδων Ενδιαφέροντος (Stakeholder Analysis), Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS), πλαίσιο Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους (CBA), Πολυκριτηριακή Ανάλυση (MCA), Ανάλυση της Φέρουσας Ικανότητας (CCA) θα βοηθήσουν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση της παράκτιας ζώνης του δήμου Γέρας.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει μία ολοκληρωμένη διαχειριστική προσέγγιση του κόλπου Γέρας της νήσου Λέσβου. Μελετήθηκαν δύο χρονικοί περίοδοι. Η περίοδος στρωμάτωσης περιλαμβάνει τους μήνες Μάη ως Οκτώβρη και η περίοδος ανάμιξης τους μήνες Νοέμβριο ως Απρίλιο. Η υδάτινη στήλη θεωρήθηκε ομοιογενής και στις δύο περιόδους και εφαρμόστηκε το μοντέλο ενός διαμερίσματος του LOICZ κάτω από σταθερές συνθήκες.

Από τις δύο περιόδους παρατηρήθηκε μία άμεση εξάρτηση της ποσότητας του υπόγειου νερού με την ροή βροχόπτωσης. Ο χρόνος παραμονής του νερού είναι περίπου δέκα ημέρες και στις δύο περιόδους λόγω των ρευμάτων και των μεγάλων εισόδων γλυκού νερού κατά την περίοδο στρωμάτωσης και ανάμιξης αντίστοιχα. Κατά τις περιόδους στρωμάτωσης και ανάμιξης ο κόλπος Γέρας παράγει διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλοντας στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Κατά την περίοδο στρωμάτωσης οι διεργασίες νιτροποίησης υπερισχύουν στο παράκτιο οικοσύστημα πιθανόν λόγω ύπαρξης του φανερόγαμου φυτού (*oceanica Posidonia*), που χαρακτηρίζουν τις μεσογειακές ακτές, και ειδών βακτηριοπλανκτού. Σε αντίθεση κατά την περίοδο ανάμιξης κυριαρχούν οι διεργασίες απονιτροποίησης ίσως λόγω των μεγάλων φορτίων θρεπτικών που εισέρχονται στον κόλπο ιδίως μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Η ανάπτυξη των σεναρίων έδειξε πως και τα δύο σενάρια μπορεί να επιφέρουν αλλαγές στον κόλπο. Ειδικά το σενάριο Αστικοποίησης και Τουριστικής Ανάπτυξης πιθανόν να προξενήσει αύξηση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα κατά την περίοδο ανάμιξης.

Η ανάλυση ισοζυγίων του LOICZ σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα μοντέλα (υδροδυναμικό, μοντέλο επιφανειακής απορροής) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση άγνωστων ή δύσκολα μετρήσιμων ποσοτήτων όπως η ροή υπόγειου νερού. Επιπλέον, η χρήση της μεθοδολογίας LOICZ μπορεί να φανεί σημαντική για τη διασύγκριση αποτελεσμάτων και εφαρμογών. Ταυτόχρονα, η ανάλυση του LOICZ σε συνδυασμό με την ανάπτυξη σεναρίων μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιας ζώνης.

Επιπλέον, η εφαρμογή του πλαισίου DPSIR είναι ικανό διαχειριστικό κοινωνικο-οικονομικό εργαλείο τόσο για την αντιμετώπιση της παρούσας κατάστασης του κόλπου όσο και για μελλοντικά σενάρια ανάπτυξης. Έδειξε πως η εισροή των

λυμάτων και η λίπανση των καλλιεργειών είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας που προκαλούν ρύπανση στον κόλπο Γέρας. Η ρύπανση προξενεί μία αλυσίδα προβλημάτων στο θαλάσσιο οικοσύστημα με αντίκτυπο στην κοινωνία του δήμου Γέρας. Κάποια επιβάρυνση του ήδη υπάρχοντος προβλήματος του κόλπου φαίνεται να προκαλούν τα σενάρια της εντατικοποίησης της καλλιέργειας και της αστικής και τουριστικής ανάπτυξης. Η απόκριση από τα παραπάνω θα είναι η εφαρμογή ισχύουσας και νέας νομοθεσίας αλλά και η δημιουργία μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Σαφώς η ενημέρωση, εκπαίδευση αλλά και συμμετοχή στις αποφάσεις των κατοίκων θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση της υπάρχουσας κατάστασης αλλά και των μελλοντικών σεναρίων ανάπτυξης.

Συμπερασματικά, δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος για να πραγματοποιηθεί η ολοκληρωμένη διαχείριση. Οι ενέργειες που χρειάζεται να ληφθούν ποικίλλουν ανάλογα με τα περιβαλλοντικά προβλήματα ανάπτυξης της κάθε περιοχής και τους πολιτικούς της θεσμούς. Μια ολοκληρωμένη διαχείριση θα πρέπει να συντονίσει νομοθεσία, πολιτική, σχεδιασμό, δραστηριότητες και να συμπεριλάβει άμεσα όλες τις ομάδες ενδιαφέροντος στον προγραμματισμό και τη διαχείριση. Μόνο αν οι ομάδες αυτές εργαστούν συντονισμένα και με κοινωνική συναίνεση για ένα κοινό στόχο που εξασφαλίζει την εναρμόνιση των αποφάσεων από όλους τους τομείς και επίπεδα διακυβέρνησης με τις εθνικές πολιτικές θα επιτευχθεί αποτελεσματική ολοκληρωμένη διαχείριση (Gilman 2002).

Τέλος, τα αποτελέσματα της εργασίας συνιστούν περαιτέρω έρευνα σε ορισμένους τομείς:

- Ακριβέστερη εκτίμηση του υπόγειου νερού με άλλες μεθόδους όπως με ανιχνευτές υπογείου νερού.
- Ποιοτικός έλεγχος του υπόγειου νερού με σκοπό την ανίχνευση ρυπαντών και θρεπτικών που μπορεί να επηρεάζουν το παράκτιο οικοσύστημα.
- Χρήση του μοντέλου διπλής στρωμάτωσης της μεθοδολογίας των βιογεωχημικών ισοζυγίων LOICZ στον κόλπο Γέρας. Η στρωμάτωση λαμβάνει μέρος σε βάθη 7–10 m χωρίζοντας την υδάτινη στήλη σε επιφανειακό και βαθύ στρώμα με αλατότητες που κυμαίνονται από 0.2 ως 3.9 (Dupra 2000). Ο κόλπος έχει μέσο βάθος 10 m οπότε η σύγκριση του

μοντέλου διπλής στρωμάτωσης με το μοντέλο ενός διαμερίσματος θα ήταν σκόπιμη.

- Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας του θαλάσσιου οικοσυστήματος και μετατροπή των τιμών NEM και διαφορά νιτροποίησης και απονιτροποίησης σε ποιοτικές τιμές με σκοπό την δημιουργία ενός καταφλίου ρύπανσης που θα εγκρίνονται ή θα απορρίπτονται τα σενάρια ανάπτυξης.
- Βαθύτερη κοινωνικο-οικονομική προσέγγιση της ανάπτυξης σεναρίων με την χρήση κοινωνικο-οικονομικών εργαλείων.

7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αρχοντίτσης Γ. (1998), *Ποσοτική Εκτίμηση του Θαλάσσιου Ευτροφισμού από τις μη Σημειακές Πηγές Ρύπανσης*, διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Γεράκης Π.Α. και Κουτράκης Ε. Θ. (συντονιστές έκδοσης) (1996), *Έλληνικοί Υγρότοποι*, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας-Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων. Εμπορική Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (1999), *Προς μια Ολοκληρωμένη Ευρωπαϊκή Στρατηγική Διαχείρισης των Παράκτιων Ζωνών: Γενικές Αρχές και Επιλογές Πολιτικής*.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2001), *Παράκτιες Ζώνες: Μια Προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Ένωση*.
- Ζούλιας Θ. (2004), *Δομή και Λειτουργία Λιμνοθαλάσσιων Συστημάτων και Προτάσεις Ολοκληρωμένης Διαχείρισης. Η Περίπτωση των Λιμνοθαλασσών Αράξου Αχαΐας και Γιάλοβας Μεσσηνίας*, Διατριβή Εξειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας.
- Θεοχάρης Α. και Γεωργόπουλος Δ. (1986), *Μελέτη Φυσικών Παραμέτρων Κόλπου Γέρας*, πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Αθήνα.
- Κοκκώσης Χ. (2002), *Άνθρωπος και Περιβάλλον στην Ελλάδα*, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.
- Ταμβάκη Α. (2004), *Εκτίμηση της Φόρτισης Παράκτιου Οικοσυστήματος από μη-Σημειακές Πηγές: Ανάπτυξη Μοντέλου Προσομοίωσης*, Διατριβή Εξειδίκευσης, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ΛΙΕΘΝΗΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Arhonditsis G., Tsirtsis G., Angelidis M. and Karydis M. (2000), *Quantification of the Effects of Nonpoint Nutrient Sources to Coastal Marine Eutrophication: Applications to a Semi-Enclosed Gulf in the Mediterranean Sea*, Ecological Modelling, **129**, 209–227.

- Arhonditsis G., Tsirtsis G. and Karydis M. (2002), '*The Effects of Episodic Rainfall Event to the Dynamics of Coastal Marine Ecosystems: Applications to a Semi-Enclosed Gulf in the Mediterranean Sea*', *Journal of Marine Systems*, **35**, 183-205.
- Atkinson M. J. and Smith S.V. (1983), '*C:N:P Ratios of Benthic Marine Plants*', *Limnol. Oceanogr.*, **28**, 568-574.
- Belfiore S. (2000), '*Recent Developments in Coastal Management in the European Union*', *Ocean & Coastal Management*, **43**, 123-135.
- Bird E. C. F. (1994), '*Physical Setting and Geomorphology of Coastal Lagoons*'. In: *Coastal Lagoons Processes* (Kjerfve B. ed.), ELSEVIER, 577pp.
- Bowen R. E. and Riley C. (2003), '*Socio-Economic Indicators and Integrated Coastal Management*', *Ocean & Coastal Management*, **46**, 299-312.
- Burbridge P. R. (1997), '*A Generic Framework for Measuring Success in Integrated Coastal Management*', *Ocean & Coastal Management*, **37**, 175-189.
- Clark J. R. (1997), '*Coastal Zone Management for the New Century*', *Ocean & Coastal Management*, **37**, 191-216.
- Copin-Montegut C. and Copin-Montegut G. (1983), '*Stoichiometry of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Marine Particulate Matter*', *Deep-Sea Res.*, **30**(1), 31-46.
- Durrieu de Madron X., Denis L., Diaz F., Garcia N., Guieu C., Grenz C., Loÿe-Pilot M-D., Ludwig W., Moutin T., Raimbault P. and Ridame C. (2003), '*Nutrients and Carbon Budgets for the Gulf of Lion During the Moogli Cruises*', *Oceanologica Acta*, **26**, 421-433.
- Estense C. (2003), *Proceedings of the International Conference on Southern European Coastal Lagoons: 'The Influence of River Basin-Coastal Zone interactions'*, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- European Union (1997-1999), '*Lessons from the European Commission's Demonstration Programme on Integrated Coastal Zone Management (ICZM)*'.

- Gazeau F., Smith S. V. and Gentili B. (2004) '*The European coastal zone: characterization and first assessment of ecosystem metabolism*', *Coastal. and Shelf Science*, **60**, 673–694.
- Gordon D. C. Jr., Boudreau P. R., Mann K. H., Ong J. E., Silvert W. L., Smith S. V., Wattayakorn G., Wulff F. and Yanagi T. (1996), '*LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines*', LOICZ Reports and Studies No. 5. Second Edition. LOICZ: Texel.
- Gilman E. (2002), '*Guidelines for coastal and marine site-planning and examples of planning and management intervention tools*', *Ocean & Coastal Management*, **45**, 377–404.
- Institute for European Environmental Policy (1999), '*The Influence of EU Policies on the Evolution of Coastal Zones*' Thematic Study E, Final. Report, Study Contract ERDF No. 98.00.27.049 ICZM Demonstration Programme, London 12 November 1999.
- Knoppers B. (1994), 'Aquatic Primary Production in Coastal Lagoons'. In: *Coastal Lagoons Processes* (Kjerfve B. ed.), ELSEVIER, 577pp.
- 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*', Department of Marine Sciences University of the Aegean.
- Krasakopoulou E., Zervakis V., Souvermezoglou E. and Georgopoulos D. (2002), '*North-Eastern Aegean Sea: An Effort to Estimate Steady-State N & P Budgets during September 1998*', *Mediterranean Marine Science*, **3/1**, 45–55.
- Markaki Z., Oikonomou K., Kocak M., Kouvarakis G., Chaniotaki A., Kubilay N. and Mihalopoulos N. (2003), '*Atmospheric Deposition of Inorganic Phosphorus in the Levantine Basin, Eastern Mediterranean: Spatial and Temporal Variability and its Role in Seawater Productivity*', *Limnol. Oceanogr.*, **48**(4), 1557–1568.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F. A. (1963), '*The Influence of Organisms on the Composition of Sea Water*', pp. 26–77, **In**: *The sea, ideas and observations on progress in the study of the seas*. M.N. Hill ed., Interscience, N.Y.

- Simpson J. H. and Rippeth T. P. (1998), '*Non-conservative Nutrient Fluxes from Budgets for the Irish Sea*', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**, 707–714.
- Smith V. S., Swaney P. D., Tal.aue-McManus L., Bartley D. J., Sandhei T. P., McLaughlin J. C., Dupra C. V., Crossland J. C., Buddemeier W. R., Maxwell A. B. and Wulff F. (2003), '*Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean*', *BioScience*, **53**.
- Tagliania P.R.A., Landazuri H., Reis E.G., Tagliani C.R., Asmus M.L., and Sanchez-Arcilla A. (2003), '*Integrated Coastal Zone Management in the Patos Lagoon Estuary: Perspectives in Context of Developing Country*', *Ocean & Coastal Management*, **46**, 807–822.
- Takahashi T., Broecker W.S., and Langer S. (1985), '*Redfield Ratio Based on Chemical. Data from Isopycnal Surfaces*', *J. Geophys. Res.*, **90**(C4), 6907–6924.
- Tal.aue-McManus L., Smith S.V. and Buddemeier R.W. (2003), '*Biophysical and Socio-Economic Assessments of the Coastal Zone: The LOICZ Approach*', *Ocean & Coastal Management*, **46**, 323–333.
- Taniguchi M., Burnett W. C., Cable J. E. and Turner J. V. (2002), '*Investigation of Submarine Groundwater Discharge*', *Hydrol. Process.* **16**, 2115–2129.
- Tsirsis G., Kitsiou D., Nitis T. and Avagianou E. (2003), '*Synthesis Report-Gulf of Gera*', DITTY Project Synthesis Report 2003, University of the Aegean, Lesvos, Greece.
- Turner R.K, Adger W.N. and Lorenzoni I. (1998), '*Towards Integrated Modelling and Analysis in Coastal. Zones: Principles and Practices*', LOICZ Reports & Studies No. 11, iv + 122 pp. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands.
- UNEP/MAP/PAP (1999), '*Conceptual Framework and Planning Guidelines for Integrated Coastal Area and River Basin Management*', Split, Priority Actions Programme.
- UNEP/MAP/PAP (2001), '*Good Practices Guidelines for Integrated Coastal Area Management in the Mediterranean Split*', Priority Actions Programme, 2001.
- Wong P. P. (1998), '*Coastal Tourism in Southeast Asia: Relevance and Lessons Fir Coastal Zone Management*', *Ocean & Coastal Management*, **38**, 89–109.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Cappello I., Palmisano L., Pomes A., Pinna M., Calò G., Tinelli R., Ciccolella A. and Basset A. (2004), '*Torre Guaceto Nature Reserve (South Adriatic): A Seasonally Compartmented Saltmarsh Ecosystem*'. Available at: <http://www.dittyproject.org> last visit April 2005.

DITTY Project website (2005), URL: <http://www.dittyproject.org> last visit April 2005.

Dupra V. (2000), '*Water and Salt Budgets for Pelorus Sound*', New Zealand. Available at: <ftp://data.ecology.su.se/LOICZwebsiteMay2000.zip> last updated May 2000.

European Environment Agency (1999), '*State and Pressures of the Marine and Coastal Mediterranean Environment*' Summary. Available at: <http://reports.eea.eu.int/92-9157-202-0/en/3.14.pdf> last visit June 2005.

Inland and Marine Waters Unit 21020 Ispra (VA) – Ferrara Italy 10–12th November 2003. Available at: <http://www.dittyproject.org> last visit April 2005.

Kraiem H. (2002), '*Biophysical and Socio-Economic Impacts of Climate Change on Wetlands in the Mediterranean*', Agriculture, Regional. Roundtable, 10–11 December 2002 Athens, Greece.
Available at: http://www.medwet.org/news/climate.html#_Toc25980406 last visit June 2005.

LOICZ website (2000), Land Ocean Interactions in the Coastal Zone. Available at: URL: <http://www.nioz.nl/loicz/info.htm> last updated May 2000.

LOICZ DATA website (2000), LOICZ Biogeochemical Guidelines. Available at: URL: <ftp://data.ecology.su.se/LOICZwebsiteMay2000.zip>. last updated May 2000.

Pagou K., Krasakopoulou E., Pavlidou A., Assimakopoulou G., Kontoyiannis H. and Anagnostou Ch. (2000), '*Inner Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea, E. Mediterranean): a Preliminary Approach*'. Available at: http://data.ecology.su.se/MNODE/Europe/Med_Aegean_BlackSea/Greece/InnerThermaikos/thermaikosbud.htm last updated May 2000.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2004), '*Submarine Groundwater Discharge. Management Implications, Measurements*

and Effects’, prepared for International Hydrological Program (IHP) Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) by Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), IHP-VI, series on groundwater No. 5, IOC manuals and guides No. 44. Available at: <http://ioc.unesco.org/icam/contents.php?id=89> last visit August 2005.

United Nations Environment Programme (1994), *Guidelines for Integrated Management of Coastal and Marine Areas with Special Reference to the Mediterranean Basin*’.

Available at: <http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/ICAMguidelines.pdf>
last visit April 2005.

Wassmann P., Olli K. eds. (2004), ‘Drainage Basin Nutrient Inputs and Eutrophication: An Integrated Approach’, University of Tromsø, Norway. 325 pp. Available at: www.ut.ee/~olli/eutr/ last visit August 2005.