ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Μακροβενθικές βιοκοινωνίες υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων: παράδειγμα από έναν ημίκλειστο κόλπο της Ανατολικής Μεσογείου (Μαλιακός κόλπος, Αιγαίο Πέλαγος).

ΙΩΑΝΝΑ ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



MAPTIOS 2004

Η διατριβή εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή Αναστάσιου Ελευθερίου.

*

Η τριμελής συμβουλευτική επιτροπή αποτελούταν από τους:

Καθηγητή Αναστάσιο Ελευθερίου, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Καθηγητή Μωϋσή Μυλωνά, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Άρτεμις Νικολαΐδου, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών

*

Για τη σύσταση της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής κλήθηκαν τα μέλη της τριμελούς και τα κάτωθι μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης:

Καθηγήτρια Μαρουδιώ Κεντούρη

Καθηγητής Αριστείδης Οικονομόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής Βασίλειος Γαλανόπουλος

Λέκτορας Κωνσταντία Λύκα.

Η διατριβή με τίτλο «Μακροβενθικές βιοκοινωνίες υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων: παράδειγμα από έναν ημίκλειστο κόλπο της Ανατολικής Μεσογείου» χρηματοδοτήθηκε από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Πανεπιστημίου Κρήτης, από το πρόγραμμα του

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. «Ποιότητα Υδάτων του Μαλιακού κόλπου ενόψει του έργου ΖΕΥΞΗ ΜΑΛΙΑΚΟΥ», από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Πανεπιστημίου Αθηνών και από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων

Ερευνών (Ανάβυσσος).

*

Χρησιμοποιήθηκε το αλιευτικό σκάφος «Αγ. Σπυρίδων» με έδρα Στυλίδα.

*

Για τη μετάβαση από την Πανεπιστημιόπολη Αθήνας στη Φθιώτιδα χρησιμοποιήθηκαν Ιδιωτικής Χρήσης οχήματα που ανήκουν στους Α. Νικολαΐδου, Μαρίνα Λαντζούνη, Σωκράτη Παπασπύρου και Μαριάννα Ακουμιανάκη.

*

Εργαστηριακές αναλύσεις έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης, στο εργαστήριο Χημείας του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Στυλίδας και στο εργαστήριο Χημείας του τμήματος Θαλάσσιας Τεχνολογίας και το εργαστήριο Βενθικής Οικολογίας του τμήματος Θαλάσσιας Βιολογίας και Βιοποικιλότητας του Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης (νυν ΕΛΚΕΘΕ).

Περιεχόμενα

Κεφάλαια	Σελ.
Ευχαριστίες	1
Περίληψη	6
Abstract	8
1.Εισαγωγή	10-25
1.1 Ορισμός των ακτών τύπου «δέλτα»	10
1.2 Βιβλιογραφική αναδρομή	13
1.2.1 Γενικά	13
1.2.2 Ελλάδα	18
1.3 Σκοπός της μελέτης	19
1.3.1 Για ποιο λόγο «μακροπανίδα»	21
1.4 Υποθέσεις Εργασίας	22
2.Υλικά και Μέθοδοι	27-77
2.1 Περιοχή Μελέτης	27
2.2 Τακτική Δειγματοληψίας –Πειραματικός Σχεδιασμός	33
2.3 Τεχνικές Πεδίου	39

	2.3.1 Γενικά	39
	2.3.2 Υδρολογικά στοιχεία	40
	2.3.3 Συλλογή δειγμάτων νερού	40
	2.3.4 Δείγματα ιζήματος	41
2.4 Τε	εχνικές Εργαστηρίου	44
	2.4.1 Θερμοκρασία, Αλατότητα, Θολερότητα, Διαλυμένο Οξυγόνο	44
	2.4.2 Χλωροπλαστικές χρωστικές:	
	Χλωροφύλλη α (Chl a) – Φαιοχρωστικές α (Pheo)	47
	2.4.3 Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη (ΑΣΥ)	49
	2.4.4 Κοκκομετρική σύσταση ιζήματος	49
	2.4.5 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC)	50
	2.4.6 Βιοχημικές αναλύσεις ιζήματος	52
	2.4.7 Χλωρίδα	53
	2.4.8 Πανίδα	53
	2.4.8.1.Διαλογή, Προσδιορισμοί, Βιομάζα	53
	2.4.8.2 Φάσμα κλάσεων της Βιομάζας (Biomass Size Spectra, BSS)	54
2.5 Av	ναλύσεις Δεδομένων	57
	2.5.1 Δείκτες Ποικιλότητας	57
	2.5.2 Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων	61
	2.5.2.1 Πρώτο στάδιο: Περιγραφή των δεδομένων	61

2.5.2.2 Δεύτερο στάδιο: Στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων	62
2.5.2.3 Τρίτο στάδιο: Ανάλυση της Δομής της Βιοκοινωνίας	67
2.5.2.3.1 Δείκτες ανομοιότητας (Αποστάσεις)	67
2.5.2.3.2 Ταξιθέτηση (Ordination)	70
2.5.2.3.3 Ανάλυση ομάδων (Cluster Analysis)	75
2.5.2.3.4 Σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών	76
3.Αποτελέσματα – Συζήτηση	79-279
3.1 Πρώτο Δειγματοληπτικό πλάνο	79-173
3.1.1 Υδρολογικά στοιχεία	79
3.1.2 Αιωρούμενο Υλικό	84
3.1.3 Τζημα	93
3.1.4 Πανίδα	106
3.1.5 Δομή της Βιοκοινωνίας	124
3.2 Δεύτερο Δειγματοληπτικό πλάνο	174-220
3.2.1 Υδρολογικά στοιχεία	174
3.2.2 Αιωρούμενο Υλικό	177
3.2.3 Ίζημα	182
3.2.4 Πανίδα	190
3.2.5 Δομή της Βιοκοινωνίας	205

3.3 Τρίτο Δειγματοληπτικό πλάνο	221-278
3.3.1 Στήλη	221
3.3.2 Ίζημα	225
3.3.3 Πανίδα - Κλάσεις Βιομάζας	247
3.3.4 Ποτάμι	275

4.Συμπεράσματα	279-284
4.1 Επιτεύχθηκαν οι στόχοι της μελέτης;	281
4.2 Διαψεύσθηκαν οι Υποθέσεις Εργασίας;	283
4.3 Προέκυψαν νέα ερωτήματα;	284
Βιβλιογραφία	285-307
Παράρτημα	309-315

Ευχαριστίες

Όταν ξεκίνησα το διδακτορικό μου είχα ήδη 7 χρόνια θητείας στο χώρο της έρευνας. Είχα ήδη αρχίσει να διαμορφώνω την επιστημονική μου ταυτότητα. Το σπουδαιότερο, τα χρόνια που είχαν προηγηθεί ανέπτυξα το ένστικτο μου και διεύρυνα τις γνώσεις μου και τα ενδιαφέροντα μου. Έτσι, κατά τη διάρκεια εκπόνησης του διδακτορικού μου είχα την ευθύνη των επιλογών μου. Είχα επίσης βαθιά επίγνωση των πάσης φύσης δυσκολιών και ήμουν κατά κάποιον τρόπο προετοιμασμένη όταν τελικά εκδηλώθηκαν η μία μετά την άλλη ή και όλες μαζί συγχρόνως...Θεωρώ ότι αυτή ήταν και η μεγαλύτερη δοκιμασία στην οποία υποβλήθηκα: να μην μπορώ να αποκλείσω το χειρότερο να συμβεί και όμως να εξακολουθώ να πιστεύω ότι αυτό που θέλω να κάνω αξίζει να γίνει.

Τον Ιούλιο του 1999 ωρίμασε μέσα μου η ιδέα να θέσω ως σκοπό της διατριβής μου τη μελέτη των παράκτιων οικοσυστημάτων με δελταϊκές εκβολές. Ξεκίνησα με την πρώτη ευκαιρία να συλλέγω δείγματα από τις αποθέσεις του Αλφειού, του Αχελώου κλπ. Ωστόσο, όταν τον Ιανουάριο του 2000 παρουσιάστηκε η ευτυχής συγκυρία να επισκέπτονται το Μαλιακό κόλπο η κ. Νικολαΐδου, η Tanya Hall, ο Κώστας Κορμάς και άλλοι για τους οποίους θα αναφερθώ ειδικά στη συνέχεια, και αφού είχε προκύψει το ενδεχόμενο να μην μπορώ να χρησιμοποιήσω τα δείγματα που είχα ήδη συλλέξει τον Ιούλιο '99 για το διδακτορικό μου, έστρεψα το ενδιαφέρον μου και επικεντρώθηκα στις δελταϊκές αποθέσεις του Σπερχειού. Παρόλο που από τότε είναι πολλοί αυτοί που μου είπαν ότι έχασα ένα χρόνο χάνοντας τα πρώτα δείγματα ή ότι άλλαξα θέμα διατριβής, θέλοντας και μη, πιστεύω πως όχι μόνο δεν υποχώρησε ή άλλαξε η αρχική μου ιδέα, αλλά ενισχύθηκε και ωρίμασε στο μεταζύ. Πιστεύω επίσης πως κέρδισα από την εμπειρία αυτή, κέρδισα από τη συνεργασία που προέκυψε και κέρδισα από το Μαλιακό και το Σπερχειό την ομορφιά και τα μυστικά που κρύβουν. Έτσι, το καλύτερο που προέκυψε κατά τη διάρκεια εκπόνησης, εκτός από τη διατριβή αυτή καθεαυτή, είναι ότι σφυρηλατήθηκε η υπομονή μου, η επιμονή μου, η αισιοδοζία μου και η πίστη μου στη φιλία. Μα όπως λέει κι ο ποιητής «Τα μυστικά της θάλασσας ζεχνιούνται στ'ακρογυάλια κι η σκοτεινάγρα του βυθού πεθαίνει στον αφρό» και γιαυτό στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέδραμαν και στάθηκαν για μένα φωτεινά πρότυπα τα χρόνια τούτα..

Είχα την τύχη ο επιβλέπων καθηγητής μου να είναι ο κ. Ελευθερίου. Είναι δύσκολο με ένα ευχαριστώ να αποδώσω όλα όσα πιστεύω πως μου έχει προσφέρει. Τον ευχαριστώ για όλα και ειδικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειζε. Το λέω τούτο διότι με τη στάση του με προέτρεψε να βρω το δικό μου δρόμο, γνωρίζοντας ότι αυτό από μόνο του θα με ενέπνεε ώστε να δώσω τον καλύτερο εαυτό μου. Ο κ. Ελευθερίου με απλές αλλά ουσιαστικές ερωτήσεις, έθετε το επιστημονικό ζήτημα ενώ δεν ήταν λίγες οι φορές που οι συμβουλές του είχαν ένα τόνο αποφθεγματικό σχεδόν φιλοσοφικό, σοφό. Ήταν πολύ σημαντικό ότι αν και πληθωρικός και διαρκώς απασχολημένος, δεν υιοθέτησε το ρόλο ενός «αφ'υψηλού» επιβλέποντα αλλά ενός καθοδηγητή και μερικές φορές συνομιλητή ακόμη και του κριτικού ακροατή. Δε θα ξεχάσω επίσης ποτέ ότι ο κ. Ελευθερίου όχι απλά μού «άνοιζε» την πόρτα» του Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας αλλά στην αρχή της σταδιοδρομίας μου –ήμουν 22 χρονών τότε- με έβαλε να δουλέψω πλάι σε εξαιρετικούς επιστήμονες. Το σπουδαιότερο, όμως, από όλα είναι ότι με έστρεψε προς την έρευνα λέγοντας μου σχεδόν κάθε φορά που με συναντούσε στην πτέρυγα Π, πολλά χρόνια πριν, όταν προπτυχιακή όντας, μάθαινα sorting στο εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας: «Πρέπει να δείτε τι γίνεται μετά το sorting γιατί ό,τι ακολουθεί είναι πολύ πιο ενδιαφέρον».

Ευχαριστώ τους καθηγητές της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ. Μυλωνά (Πανεπιστήμιο Κρήτης) και κ. Νικολαΐδου (Πανεπιστήμιο Αθήνας) που υποστήριζαν την προσπάθεια μου καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Η απόφαση μου να επιλέζω τον καθηγητή Μυλωνά ως μέλος της τριμελούς επιτροπής υπαγορεύτηκε κυρίως λόγω της συνάφειας του με το αντικείμενο της διατριβής μου. Πρέπει ωστόσο να τονίσω ότι συχνά κατά τη διάρκεια της συγγραφής επένδυα στην σκέψη ότι όταν θα διαβάσει κάποιους από τους συλλογισμούς μου θα συμβάλει στην εξέλιξη και τη βελτίωση τους. Πράγματι, οι ερωτήσεις που μου έθεσε ήταν διαρκώς στο μυαλό μου αλλά ως «ερωτήσεις βουνό» (π.χ. τι μπορώ να πω για το θέμα της εκτροπής ποταμών) που δεν τολμούσα καν να συνδέσω με τη δουλειά μου στο Μαλιακό κόλπο. Αφότου όμως τέθηκαν οι ερωτήσεις αυτές από τον κ. Μυλωνά, άρχισα να σκέφτομαι με περισσότερο θάρρος -και ωριμότητα- πάνω στις «απαντήσεις βουνό» που μπορεί να προκύψουν από τη διατριβή μου...

Θα ήθελα να εκφράσω ειδικά τις ευχαριστίες μου προς την κ. Νικολαΐδου. Χωρίς τη συμπαράσταση και την ενεργό συμμετοχή της, θα ήταν πολύ δύσκολο να ολοκληρωθεί η διατριβή μου. Θα είχα κυριολεκτικά «πελαγώσει». Και τούτο διότι η κ. Νικολαΐδου, έχοντας ήδη δουλέψει στο Μαλιακό κόλπο, μου εμπιστεύθηκε τις γνώσεις της και συζήτησε μαζί μου πολλά από τα προβλήματα της δειγματοληψίας και της επεξεργασίας των δειγμάτων. Πέρα από τις γνώσεις της, όμως, στήριζε την προσπάθεια μου ενισχύοντας οικονομικά τις εργασίες πεδίου στο Μαλιακό, καθώς η δουλειά μου συνέπεσε αλλά και ήρθε ως συνέχεια μελετών που είχαν προκύψει στο εργαστήριο της Αθήνας. Οφείλω επίσης να ομολογήσω ότι πιστεύω πως κέρδισα πολλά –και ανεκτίμητα- σαν άνθρωπος και επιστήμονας από τη γνωριμία και τη συνεργασία μας. Την ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές-μέλη της επταμελούς επιτροπής κ. Κεντούρη, κ. Λύκα, κ. Γαλανόπουλο και κ. Οικονομόπουλο, καταρχήν επειδή δέχτηκαν να συμπληρώσουν το έργο της συγγραφής και της βελτίωσης της διατριβής. Η συμβολή τους στο βάθεμα της σκέψης μου ήταν πραγματική. Οφείλω να ομολογήσω ότι η συγγραφή μιας διδακτορικής διατριβής αφήνει στο τέλος της μια έντονη γεύση από μεθοδολογίες, πρωτόκολλα εργαστηριακών αναλύσεων, εξισώσεις στατιστικών τύπων. Η σκέψη χρειάζεται μια ώθηση για να ξεφύγει από αυτά και να δει τη γενικότερη εικόνα της δουλειάς και την προοπτική της. Αυτή την ώθηση μου έδωσαν οι κυρίες και οι κύριοι που ήσαν μέλη της επταμελούς επιτροπής μου, με τα ζητήματα που έθεσαν.

Πολύ σημαντική υπήρξε η γνωριμία μου με τον Δρ. Κωνσταντίνο Κορμά, που εργάζεται και ερευνά στο Τμήμα Βιολογίας του Καποδιστριακού Παν/μίου της Αθήνας. Από την πρώτη στιγμή που γνωριστήκαμε, διαπίστωσα ότι ο Κώστας είναι πληθωρικός τόσο στα συναισθήματα όσο και στα προσόντα. Είναι ένας θαυμάσιος άνθρωπος που ξέρει να προσφέρει τον καλύτερο εαυτό του για το καινούριο. Μου έμαθε πάρα πολλά για το Μαλιακό κόλπο και οι ιδέες του είναι πάντα μια πρόκληση για τη σκέψη μου. Σε αυτόν άλλωστε –και στην τύχη που μας επέτρεψε να γνωριστούμεχρωστώ την επιλογή του Μαλιακού κόλπου ως το παράδειγμα της ενασχόλησης μου με τις βενθικές βιοκοινωνίες των δελταϊκών αποθέσεων, καθώς εκεί εκπόνησε και ο Κώστας τη δική του διδακτορική διατριβή. Του εύχομαι το καλύτερο και τον ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου.

Ο Σωκράτης Παπασπύρου ήταν το δεξί μου χέρι στις δειγματοληψίες, παρά το γεγονός ότι εκπονούσε και ο ίδιος τη δική του διδακτορική διατριβή κατά το ίδιο διάστημα. Άνθρωπος με πνευματικές ανησυχίες αλλά και φίλος της περιπέτειας, δε θυσίασε ποτέ τη σωστή επιστημονική μέθοδο ούτε στην κούραση ούτε στις δυσκολίες που συναντούσαμε κατά καιρούς. Τον ευχαριστώ για όλα και κυρίως για την καλοπροαίρετη και ουσιαστική κριτική του..

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την κυρία Tanya Hall με την οποία προσεγγίσαμε το Μαλιακό κόλπο από διαφορετική σκοπιά η κάθε μία και δυστυχώς με ένα χρόνο διαφορά. Παρόλα αυτά μου έμαθε πολλά, μού έδειζε πολλά και ελπίζω να της έχω προσφέρει κι εγώ κάτι.

Ευχαριστώ επίσης τις κυρίες Μαρία Κυριακάκη, Βαρβάρα Κάνδια, Ειρήνη Λεϊμωνή και τη Μαρίνα Λαντζούνη από το Πανεπιστήμιο Αθήνας για την πολύτιμη συνδρομή τους στις εργασίες πεδίου. Για τον ίδιο λόγο ευχαριστώ τον κ. Μιχάλη Βελούδιο, ο οποίος μου εμφύσησε ένα γενικότερο ενδιαφέρον για την περιοχή Φθιώτιδας μέσα από ένθερμες συζητήσεις καθ'οδόν στην Εθνική Αθηνών – Λαμίας.

Ευχαριστώ τη Λέκτορα Marti-Jane Anderson (Πανεπιστήμιο Auckland, Νέα Ζηλανδία), που συνέδραμε αποφασιστικά στη διάλυση της «θολούρας» των δεδομένων μου. Ιδιαιτέρως αζιομνημόνευτες είναι οι υπομονετικές απαντήσεις της στις ερωτήσεις μου καθώς και οι συμβουλές της για να μην επαναλάβω «τα ίδια λάθη» γενικώς. Πρέπει να τονίσω ότι όταν το Μάρτη του 2003 πήγα στη Ραβέννα να παρακολουθήσω τις διαλέζεις της πάνω σε θέματα πολυμεταβλητών ελέγχων υποθέσεων, νόμιζα ότι είχα τελειώσει τη συγγραφή της διατριβής μου, αν και «κάτι δε μου πήγαινε καλά». Στην πορεία κατάλαβα ότι η Marti χρησιμοποιεί τα εργαλεία που δεν είχα ως τώρα αλλά χρειαζόμουνα. Αν και ζέρω ότι τα «εργαλεία δεν κάνουν πάντα το μάστορα», αποφάσισα να ζεκινήσω και πάλι τις αναλύσεις χρησιμοποιώντας τις γνώσεις που αποκόμισα από τη Marti και επεκτείνοντας –τόσο πολύ με έπεισε η δουλειά της- κατά τέσσερις μήνες τη συγγραφή και επεζεργασία των δεδομένων μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Β. Μακράκη, η οποία πραγματικά βοήθησε το τελευταίο χρονικό διάστημα στην διεκπεραίωση των πρακτικών θεμάτων και έτσι εξάλειψε τυχόν προβλήματα λόγω της απουσίας μου από το Ηράκλειο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω γενικά τα μέλη ΔΕΠ και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του τομέα Ζωολογίας και Θαλάσσιας Βιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών που με τον τρόπο τους συνέδραμαν στην ουσιαστική και ευχάριστη επεξεργασία μέρους των δειγμάτων στα εργαστήρια του τομέα.

Ευχαριστώ τους ερευνητές του Ι.ΘΑ.ΒΙ.Κ. Δρ. Κωνσταντίνο Ντούνα και Dr Chris Smith επειδή διευκόλυναν τη διενέργεια των φυσικοχημικών αναλύσεων στα δείγματα της διατριβής μου στα εργαστήρια των οποίων ήταν επικεφαλής. Ευχαριστώ επίσης τις κυρίες Wanda Πλαΐτη και Γιολάντα Κουλούρη από το επιστημονικό προσωπικό του Ι.ΘΑ.ΒΙ.Κ. - ΕΛΚΕΘΕ για τις πολύ χρήσιμες υποδείζεις τους στη συστηματική Αμφιπόδων και Μαλακίων, αντίστοιχα.

Ευχαριστώ τον κ. Ν. Λαΐδη για την κατασκευή οργάνων δειγματοληψίας που χρησιμοποίησα και για τις πολύ καλές τιμές –σχεδόν δωρεάν- που μου έκανε.

Ευχαριστώ τον ιδιοκτήτη του σκάφους με το οποίο διεξήχθησαν οι δειγματοληψίες, κ. Δ. Χρηστούλη καθώς και τους «παραγιούς» που κατά καιρούς έφερνε για να βοηθήσουν στη συλλογή των δειγμάτων.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές του Κέντρου Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Στυλίδα, και ειδικά τον κ. Μαρκατέλη που χαιρόντουσαν να φιλοξενούν «αυτούς που μελετούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα της περιοχής τους».

Τέλος αζίζει ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας του ΕΛΚΕΘΕ, που το ανθρώπινο δυναμικό του, και ειδικά η Δρ Αργυρώ Ζενέτου, μου συνέδραμε και με εμψύχωσε στην τελική ευθεία αποπεράτωσης της διατριβής. Η επόμενη παράγραφος ανήκει στην οικογένεια μου. Και οι έζι ήταν υπέροχοι: Η Ασημίνα, η Μαριάννα, η Σαβίνα, ο Ευάγγελος, ο Steven και η Josephine. Ήταν μια ομάδα υποστήριζης που δε χρειαζόταν συντονισμό και καθοδήγηση. Ήζεραν τις βαθύτερες ανάγκες μου, καταλάβαιναν τις σκέψεις μου και ομολογώ πως είχα ανάγκη την αγάπη και την αυστηρότητα των προσδοκιών τους για μένα. Μακάρι να μην τους στενοχωρήσω ποτέ!

Περίληψη

Μακροβενθικές βιοκοινωνίες υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων: παράδειγμα από έναν ημίκλειστο κόλπο της Ανατολικής Μεσογείου (Μαλιακός κόλπος, Αιγαίο Πέλαγος).

Οι βενθικές βιοκοινωνίες των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων υπόκεινται σε φυσική όχληση, μεγάλης έντασης μερικές φορές, εξαιτίας πρωτίστως των ιζημάτων και της αιωρούμενης ύλης που εκφορτίζονται από τα ποτάμια και δευτερευόντως από την αστάθεια και επαναιώρηση των ιλυοαργιλωδών ιζημάτων από τα θαλάσσια ρεύματα στις κύριες και βαθύτερες αποθέσεις του δέλτα. Αναμένεται ότι 1. η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας καθορίζεται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της στήλης και του ιζήματος όταν η ιζηματογένεση είναι έντονη 2. η δομή της βιοκοινωνίας χαρακτηρίζεται από χωρική - χρονική ετερογένεια με τυχαία πρότυπα κατανομής των ειδών (μωσαϊκό) όταν η όχληση λόγω ιζηματαπόθεσης είναι ήπιας έντασης και 3. στο μέτωπο του δέλτα επικρατούν μικρού μεγέθους οργανισμοί λόγω υψηλού κόστους διατήρησης υπό συνθήκες όχλησης. Η παρούσα διατριβή διερευνά τις παραπάνω υποθέσεις για τη βενθική μακροπανίδα στις υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις του Σπερχειού ποταμού που εκβάλλει στο Μαλιακό κόλπο, ένα σχετικά ρηχό (μέγιστο βάθος ~25m), ημίκλειστο κόλπο της Ανατολικής Μεσογείου με στόχο 1. να κατανοηθεί η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στο χώρο και στο χρόνο σε σχέση με μεταβολές στο περιβάλλον και τις ποτάμιες εισροές 2. να μελετηθεί ο ρόλος του βένθους στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης στο μέτωπο του δέλτα λαμβάνοντας υπόψιν την επίδραση ποτάμιων εισροών στη βιοδιαθεσιμότητα της οργανικής ύλης και την κατά μέγεθος δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του δέλτα και 3. να διερευνηθεί η ύπαρξη ειδών ενδεικτικών των περιβαλλοντικών συνθηκών ώστε να γίνει δυνατή η διάγνωση υποβάθμισης στα Οι υποθέσεις εργασίας προσεγγίστηκαν βάσει τριών οικοσυστήματα των δελταϊκών εκβολών. δειγματοληπτικών πλάνων και οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα 6 φορές από τον Ιανουάριο 2000 έως Μάιο 2001. Το πρώτο πλάνο διερευνά την κατάσταση του Μαλιακού κόλπου και περιλαμβάνει σταθμούς σε όλους τους βιότοπους του κόλπου. Το δεύτερο και τρίτο πλάνο επικεντρώνονται στο μέτωπο του δέλτα και εξετάζουν τις επιπτώσεις των ποτάμιων εκφορτίσεων στη δομή της μακροπανίδας και στους ρυθμούς κατανάλωσης οξυγόνου από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας, αντίστοιχα. Τα δείγματα ιζήματος που συλλέχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν για τις παρακάτω αναλύσεις: μακροπανίδας (>0.5mm), κοκκομετρίας, Χλωροφύλλης α, Βιοπολυμερών, Ολικού Οργανικού, Βιοδιαθέσιμου Άνθρακα. Τα 288

δείγματα ιζήματος που πάρθηκαν συνολικά στα πλαίσια της μελέτης, συλλέχθηκαν με αρπάγη τύπου Ponar (0.05m²). Μετρήθηκαν επίσης οι κάθετες διαβαθμίσεις των υδρολογικών χαρακτηριστικών της στήλης με CTD, οι συγκεντρώσεις της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης και των χλωροφυλλούχων χρωστικών στη στήλη, και ο βενθικός μεταβολισμός με σκοτεινή επώαση ιζήματος σε πυρηνολήπτες. Υπολογίστηκαν δείκτες ποικιλότητας, το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας (ΦΚΒ) και εκτιμήθηκε η μακροπανιδική παραγωγή και αναπνοή από εμπειρικά μοντέλα. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση μονομεταβλητών και πολυμεταβλητών μεθόδων. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής: 1. Η μακροβενθική βιοκοινωνία χαρακτηρίζεται από υψηλή λειτουργική ποικιλότητα που της προσδίδει ευελιξία στη χωρική και εποχική δομή με αποτέλεσμα υψηλούς αριθμούς ατόμων και ειδών παρά την όχληση και την περιβαλλοντική μεταβλητότητα 2. Υφίσταται εντονότερη περιβαλλοντική ετερογένεια και όχληση στο μέτωπο του δέλτα στα οποία η μακροπανίδα αντεπεξέρχεται χάρη στη συνεχή τροφοδοσία σε προνύμφες από την «κοίτη ειδών» των γειτονικών ιζημάτων. Προκύπτει ένα μωσαϊκό αφθονιών ειδών στο χώρο και το χρόνο που καθορίζεται από το ποσοστό ιλύος-αργίλου στο ίζημα, το σύνολο των φυτοθρυμμάτων και της οργανικής ύλης στη στήλη και το βάθος 3. Στο μέτωπο του δέλτα επικρατούν ενδιάμεσου μεγέθους οργανισμοί παρά την όχληση και το υψηλό κόστος διατήρησης χάρη στην υψηλή βιοδιαθεσιμότητα της οργανικής ύλης. Το ΦΚΒ υποδεικνύει ότι εφόσον στην εκβολή επικρατούν ήπιες συνθήκες όχλησης ευνοείται η συσσώρευση της βιομάζας σε μεγάλα μεγέθη ατόμων ευαίσθητων ειδών και γι αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρακολούθησης των επιπτώσεων της στερεοπαροχής του ποταμού 4. Εκτιμάται ότι ο ρυθμός ενταφιασμού του οργανικού άνθρακα υπερβαίνει το ρυθμό πρόσληψης από τη μακροπανίδα, γεγονός που αποτελεί έμμεση ένδειξη της όχλησης λόγω ιζηματογένεσης 5. Ο ολικός βενθικός μεταβολισμός εμφανίζει αύξηση την άνοιξη με την άνοδο της μικροφυτικής βιομάζας στη στήλη και το ίζημα και από τα ιλυώδη ιζήματα στις παρυφές του δέλτα προς τις ρηχές ιλυοαμμώδεις αποθέσεις στην εκβολής του Σπερχειού. Επηρεάζεται, δε, αρνητικά από τη συγκέντρωση της λεπτόκοκκης οργανικής φάσης της αιωρούμενης ύλης και από τη συνεισφορά των λιπιδίων στην οργανική ύλη στο ίζημα, ενδεχομένως λόγω απόφραξης διηθητικών τροφοληπτικών εξαρτημάτων των ασπόνδυλων και της συνάφειας με αδρανή χερσογενή σύμπλοκα, αντίστοιχα 6. Το μακροζωοβενθικό σύστημα του Μαλιακού κόλπου δε μαρτυρά συνθήκες υποβάθμισης λόγω οργανικής ρύπανσης και ευτροφισμού. Υποδεικνύει, όμως, συνθήκες όχλησης λόγω ιζηματογένεσης. Η κατάσταση αυτή συνδέεται άμεσα με το κλιματικό – γεωλογικό καθεστώς της περιοχής (εναλλαγή περιόδου έντονων βροχοπτώσεων με ξηρή θερινή περίοδο,

υποθαλάσσιο δελταϊκό περιβάλλον, ημίκλειστος – ρηχός κόλπος) και έμμεσα με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού και γενικά του υδρολογικού δικτύου που εκβάλλει στον κόλπο (π.χ. εγγειοβελτιωτικά έργα, εκτροπή τμημάτων κοίτης ποταμού) και με χρήσεις του κόλπου (π.χ. εκβαθύνσεις λιμανιών, απόρριψη ιζημάτων κατά την κατασκευή έργων υποδομής στις ακτές). Η παρούσα διατριβή, καθώς αποτελεί την πρώτη εμπεριστατωμένη μελέτη της δομής των βενθικών βιοκοινωνιών των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων στην Ελλάδα, έθεσε επιστημονικά ερωτήματα για τη λειτουργία αυτών των οικοσυστημάτων και πρακτικά ζητήματα για την ορθολογική παρέμβαση στη μεσογειακή παράκτια ζώνη με δελταϊκές εκβολές.

Abstract

Macrobenthic communities of subaqueous deltaic depositions: a case study from a semienclosed bay in the Eastern Mediterranean (Maliakos Bay, Aegean Sea).

Benthic communities at subaqueous deltaic depositions are subject to natural disturbance caused by erosional/depositional events, varying riverine sediment and suspended material discharges and unstable seabed. It is expected that 1. The community structure is physically controlled when intensity of sedimentation is high. 2. The community displays a spatial and temporal mosaic of species compositions when disturbance from sedimentation is mild and 3. Sedimentation disturbance leads to miniaturization of macrobenthic fauna due to high maintenance cost. The present study explores these hypotheses in the deltaic depositions of Sperchios River in Maliakos Bay, a shallow (max. depth 25 m) semi-enclosed embayment. The hypotheses were explored according to three sampling plans. The first investigated the environmental conditions including stations throughout the bay while the second and third plan focused on the delta front area to assess the riverine impact on benthic community structure and the sediment community oxygen consumption rates (SCOC). The study site was visited 6 times from January 2000 until May 2001. Samples for sediment analysis, chlorophyll α (Chl α), total

organic and biopolymeric carbon in the sediment (three layers) as well as for suspended particulate mater (SPM) and chlorophyllous pigments in the water column were taken in association with CTD profiles. All macrofauna samples, 288 overall, were taken in triplicate with a Ponar grab (0.05m²) and retained in a 0.5mm sieve while SCOC were measured during dark incubation experiments on sediment cores. Macrofauna diversity and biomass size spectra (BSS) were calculated while production and respiration were estimated using empirical models. Statistical analyses included univariate and multivariate methods. The study showed that: 1. Due to high functional diversity, macrobenthic community displays resilient spatial and temporal structure and responds to environmental variability and disturbance with high numbers of species and individuals. 2. Macrobenthos is able to withstand the higher levels of environmental variability and disturbance in the delta front due to the continuous larval supply from adjacent sediments. Community structure resembles a spatiotemporal mosaic of species abundances which can be explained from organic suspended load, chloroplastic pigments equivalent, silt clay % and depth. 3. Intermediate biomass size classes dominate macrofauna respiration as a response to high lability of sedimentary organic matter despite disturbance. BSS indicates that during mild levels of sedimentation the accumulation of biomass in a few large individuals of a few sensitive species is favored. Therefore, BSS is recommended as a riverine sedimentation impact monitoring tool. 4. It is estimated that under the sedimentation regime during the course of the study, carbon burial rate exceeds carbon uptake rate by macrofauna which provides indirect evidence of sedimentation induced disturbance. 5. The increase of SCOC coincides with elevated pigment levels in the water column and sediment in spring and coarser sediments near the river mouth. However, organic suspended load and the contribution of lipids in organic matter exert a negative influence, probably due to clogging of suspension feeding appendages of invertebrates and lipidic refractory terrigenous compounds, respectively. 6. There is no evidence of impacts due to organic pollution or eutrophication on macrozoobenthos in Maliakos Bay. Macrobenthos is however subject to natural disturbance. This situation is directly consistent with the climatic - geological conditions (wet winter, hot dry summer, subaqueous deltaic environment, semi-enclosed shallow embayment) and indirectly associated with manmade interventions in the catchment area and the coastal zone. The results of the present thesis, as part of the first integrated study of subaqueous deltaic benthic communities in Greece, are discussed in the light of scientific questions for the functioning of these ecosystems and practical considerations for the management of the mediterranean deltaic coastal zone.

<u>Εισαγωγή</u> <u>1.1 Ορισμός των ακτών τύπου «δέλτα»</u>

Πριν από 2500 χρόνια περίπου ο Ηρόδοτος παρατήρησε ότι το έδαφος που περιλάμβανε τους αποκλίνοντες κλάδους του ποταμού Νείλου κοντά στη θάλασσα είχε το σχήμα του ελληνικού γράμματος δέλτα (Δ). Σήμερα, με τον όρο «δέλτα» χαρακτηρίζονται οι χερσαίες και καταβυθισμένες συναφείς μάζες των ιζημάτων που αποτίθενται στο νερό (θάλασσα ή λίμνη) αποκλειστικά όμως από τη δράση ενός ποταμού (Moove & Asquith 1971). Με βάση το γεωλογικό αυτό ορισμό, το δέλτα περιλαμβάνει όλους τους υγροτόπους που βρίσκονται εκεί που τα ποτάμια συναντούν τη θάλασσα και από τη συνθήκη Ramsar χαρακτηρίζονται ως «εκβολικά» (estuarine): το δελταϊκό οικοσύστημα, τα παραλιακά έλη (tidal marshes) και τα μανγκρόβια δάση (mangrove swamps), οι ποταμόκολποι (estuaries) καθώς και οι θαλάσσιες μάζες νερού μέχρι τα 6m βάθος που εκτείνονται μπροστά από το στόμιο της εκβολής. Ο ορισμός περιλαμβάνει, επίσης, τα οικοσυστήματα των υποθαλάσσιων δέλτα που έχουν σχηματισθεί από την εναπόθεση των φερτών υλών του ποταμού στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα.

Τα εκβολικά και η γειτονική παράκτια ζώνη αντιπροσωπεύουν περιβάλλοντα δυναμικών αλληλεπιδράσεων, υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας και ανακύκλωσης θρεπτικών (Kennish 1990). Σε γενικές γραμμές, τα παράκτια οικοσυστήματα που δέχονται ποτάμιες εισροές θεωρούνται «συστήματα εναπόθεσης» υλικών τόσο ποτάμιας όσο και θαλάσσιας προέλευσης (Levinton 1982, Aller *et al.* 1996, Levin *et al.* 2001). Διεργασίες δελταϊκής εναπόθεσης, διάβρωσης και επαναιώρησης των ιζημάτων αφενός και η δυναμική της ανάμιξης των ποτάμιων με τις θαλάσσιες υδάτινες μάζες αφετέρου, πλαισιώνουν το πολύπλοκο πλέγμα αλληλεπιδράσεων στο υποθαλάσσιο δελταϊκό περιβάλλον. Στο επίκεντρο της παρούσας μελέτης βρίσκεται το βενθικό οικοσύστημα των υποθαλάσσιων δέλτα και ο ρόλος των βενθικών εισροές. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο να δοθεί μια σύντομη περιγραφή των φυσικών και γεωλογικών μηχανισμών που διαμορφώνουν αυτά τα περιβάλλοντα.

Σύμφωνα με τον Pritchard (1967) η κάθετη στρωμάτωση της αλατότητας και οι παράγοντες που την επηρεάζουν, καθορίζουν το ρυθμό ιζηματογένεσης μπροστά στην εκβολή και τον τρόπο που οικοδομείται το δέλτα. Ως εκ τούτου, το ανεμολογικό καθεστώς, το παλιρροϊκό καθεστώς και η ποιοτική σύσταση του υλικού που εκβάλλεται, θεωρούνται οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που διαμορφώνουν την εναπόθεση των ιζημάτων. Η σχέση ιζηματολογικού δυναμικού του ποταμού με το υδροδυναμικό καθεστώς στην εκβολή, επηρεάζει αποφασιστικά το σχήμα των ακτών τύπου δέλτα το οποίο ποικίλει από εσοχές, γνωστές ως ποταμόκολποι (αγγλικά estuaries) ή αρνητικό δέλτα, έως προεξοχές ή δέλτα διαφόρων τύπων (λοβοειδούς, τριφυλλοειδούς, ακιδωτού, τοξοειδούς κλπ.) (Seibold & Berger 1982) (Εικόνα 1.1). Επιπλέον, οι ποτάμιες διεργασίες, που σχετίζονται κυρίως με την ιζηματοπαρογή των ποταμών, οι θαλάσσιες διεργασίες, που αφορούν στη δράση του κυματισμού και των ρευμάτων, και η ένταση των παλιρροϊκών φαινομένων στο στόμιο της εκβολής, προσφέρουν τα κριτήρια για την τριγωνική απεικόνιση-κατάταξη των ακτών τύπου δέλτα (Morgan 1970, Galloway 1975) (Εικόνα 1.2). Υπό αυτό το πρίσμα, οι ποταμόκολποι βρίσκονται στον αντίποδα των διαφόρων τύπων δελταϊκών ακτών, καθώς αποτελούν το συνηθέστερο τύπο δελταϊκού περιβάλλοντος στις περιοχές του κόσμου όπου η παλιρροϊκή δράση είναι έντονη. Αντίθετα, όταν επικρατεί μικροπαλιρροϊκό καθεστώς, γεγονός που ισχύει για τις περισσότερες μεσόγειες θάλασσες του πλανήτη, οι ποταμοί καταλήγουν σε δελταϊκές εκβολές και σχηματίζονται δέλτα και υποθαλάσσιες προσχώσεις όπως αυτά του Νείλου και του Μισισιπή. Επίσης, η υψηλή στερεοπαροχή λόγω έντονων βροχοπτώσεων, όπως συμβαίνει σε τροπικές περιοχές, και η υψηλή διάβρωση της λεκάνης απορροής του ποταμού, έχουν σαν αποτέλεσμα την εναπόθεση υψηλής ποσότητας ιζημάτων στη θαλάσσια λεκάνη, οπότε δημιουργούνται δέλτα όπως αυτό του Κίτρινου ποταμού. Αξίζει να αναφερθεί και η περίπτωση του ποταμόκολπου του Αμαζονίου όπου οι τεράστιες ποσότητες των ιζημάτων που εκβάλλονται, παρά την παλιρροϊκή δράση, δημιουργούν εκτεταμένες υποθαλάσσιες προσχώσεις, σχηματίζοντας την Υφαλοκρηπίδα του Αμαζονίου.

Ο Galloway (1975) δίνει τον όρο «δέλτα τύπου Ροδανού» για εκείνα τα δέλτα που σχηματίζονται από την τροφοδοσία μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων από τα ποτάμια (ποτάμιες διεργασίες) και η διευθέτηση των ιζημάτων στις ακτές προσδιορίζεται από θαλάσσιες διεργασίες όπως η δράση του κυματισμού και των ρευμάτων και σε ελάχιστο βαθμό από τις παλίρροιες. Το σύνολο των ελληνικών ακτών τύπου δέλτα ανήκει στην κατηγορία «δέλτα τύπου Ροδανού» (Stournaras 1999), γεγονός που είναι αναμενόμενο λόγω της γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων στις λεκάνες απορροής αλλά και της απουσίας σημαντικών παλιρροιακών φαινομένων κατά τη διάρκεια της τελευταίας περιόδου σχηματισμού των δελταϊκών

Ο μηχανισμός δημιουργίας των δελταϊκών προσχώσεων στο παράκτιο περιβάλλον, προσαρμοσμένος για την περίπτωση των δέλτα «τύπου Ροδανού», περιγράφεται διεξοδικά από το Χρόνη (1997): υπόπυκνες (χαμηλότερης αλατότητας) εκροές των ποταμών συναντούν υψηλότερης αλατότητας θαλάσσιες μάζες στην περιοχή της εκβολής. Αυτή η ανάμιξη οδηγεί στη δημιουργία ενός καθεστώτος στρωμάτωσης της πυκνότητας στο στόμιο της εκβολής. Ωστόσο, η ροή του ποταμού προκαλεί την κάθετη ανάμιξη της στήλης, οπότε επέρχεται σταδιακή καθίζηση και απόθεση του πλέον χοντρόκοκκου ποτάμιου υλικού λόγω βαρύτητας γύρω από την εκβολή. Μαζί με τα βαρύτερα κλάσματα συμπαρασύρεται και καθιζάνει ένα μέρος των λεπτόκοκκων υλικών (άργιλος), φαινόμενο γνωστό ως ηλεκτροχημική κροκίδωση. Τα λεπτόκοκκα κλάσματα, παραμένουν σε κατάσταση αιώρησης κοντά στον πυθμένα, δημιουργώντας μια νεφελοειδή στρώση που κινείται πάνω από τον πυθμένα με διεύθυνση που επηρεάζεται από τη θαλάσσια κυκλοφορία και ειδικά τα ρεύματα βάθους (near-bottom currents). Ένα άλλο μέρος της αιωρούμενης φάσης παγιδεύεται μεταξύ επιφάνειας της θάλασσας και του πυκνοκλινούς, δημιουργώντας την επιφανειακή νεφελοειδή στρώση, που επίσης επηρεάζεται από το υδροδυναμικό καθεστώς. Οι πρώτες αποθέσεις χονδρόκοκκου υλικού, λόγω μηχανικής καθίζησης, και αργίλου, λόγω κροκίδωσης, στην περιοχή του στομίου της εκβολής,

χαρακτηρίζονται ως ενιαία ιζηματολογική ενότητα με τον όρο κορυφαίες αποθέσεις δέλτα (topsets). Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται τα υποπεριβάλλοντα των αποθέσεων έλους (swamps), των λιμναίων αποθέσεων γλυκού νερού (lacustrine deposits), οι αποθέσεις φυσικών αναχωμάτων (natural levels) τόσο στην ξηρά όσο και υποθαλάσσια και το φράγμα στομίου εκβολής (mouth bar). Η παρουσία της νεφελοειδούς στρώσης πυθμένα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των κυρίων αποθέσεων (foresets) του μετώπου δέλτα (delta-front). Ως εκ τούτου η περιοχή του μετώπου χαρακτηρίζεται από έντονους ρυθμούς ιζηματογένεσης. Με την απομάκρυνση από την εκβολή και με την αύξηση του βάθους η πυκνότητα της νεφελοειδούς στρώσης πυθμένα εξασθενεί λόγω ιζηματαπόθεσης. Η περιοχή αυτή των βαθύτερων αποθέσεων (bottomsets) ονομάζεται προδέλτα (prodelta) και χαρακτηρίζεται από αργούς ρυθμούς απόθεσης του λεπτόκοκκου υλικού. Στο δε υπόστρωμα κάνουν την εμφάνιση τους τα ίχνη της βιολογικής δραστηριότητας που ορίζονται ως βιοαναμόχλευση. Οι παραπάνω περιβαλλοντικές ενότητες που συναντώνται σε ένα δέλτα «τύπου Ροδανού» παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 1.3.

1.2 Βιβλιογραφική αναδρομή

1.2.1 Γενικά

Τα εκβολικά συστήματα των μεγαλύτερων ποταμών του κόσμου έχουν έως τώρα μελετηθεί σε μικρό βαθμό. Ως εκ τούτου, λίγα είναι γνωστά για το αιωρούμενο φορτίο που μεταφέρεται από τα ποτάμια στις θάλασσες και γενικά για τις ποσότητες νερού και ιζημάτων που εκβάλλονται. Μεγάλης οικολογικής σημασίας παράμετροι όπως η ποσότητα της οργανικής ύλης, των θρεπτικών, τοξικών ουσιών κλπ., που εισρέουν μέσω των ποτάμιων εκφορτίσεων στο θαλάσσιο σύστημα, δεν έχουν εκτιμηθεί σε ποσοτικό επίπεδο. Οι Degens et al. (1991) διαπιστώνοντας την κατάσταση αυτή σε μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, απέδωσαν το γεγονός στη χρήση διαφορετικών δειγματοληπτικών τεχνικών κα οργάνων από κάθε ερευνητή αλλά και στην μη αντιπροσωπευτική επιλογή σταθμών δειγματοληψίας στις εκβολές των ποταμών. Ένας άλλος πολύ σημαντικός λόγος για τα ελλιπή βιβλιογραφικά στοιχεία είναι ότι τα εκβολικά οικοσυστήματα είναι έντονα μεταβαλλόμενα, δυσπρόσιτα και επηρεαζόμενα από πλήθος παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων αυτών που δρουν στη λεκάνη απορροής ή και τις πηγές του ποταμού. Επομένως, χρειάζεται αρκετά μεγάλη χρονοσειρά μετρήσεων για να καλυφθούν τα κενά γνώσης σχετικά με τις διακυμάνσεις των εισροών (Degens et al. 1985). Επίσης, κάθε ποταμός αποδίδει ξεχωριστό χημικό και γεωλογικό αποτύπωμα στις δελταϊκές προσχώσεις του, ως αποτέλεσμα της διαδρομής του από τα πετρώματα και τα οικοσυστήματα της λεκάνης απορροής. Αυτό αναμένεται να επηρεάζει τις διαγενετικές διεργασίες στα υποθαλάσσια δέλτα και την απόκριση των βενθικών βιοκοινωνιών, αν και δεν έχει μελετηθεί ο βαθμός στον οποίο αυτό συμβαίνει (Degens et al. 1991).

Αξίζει να σημειωθεί επιπρόσθετα ότι ο σημαντικός ρόλος των μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων που εισέρχονται στο παράκτιο σύστημα μέσω των ποταμοχείμμαρων που αποστραγγίζουν ορεινούς όγκους, έχει υποτιμηθεί (Milliman & Syvitski 1992). Για παράδειγμα, η μελέτη των 5 ή 10 μεγαλύτερων ευρωπαϊκών ποταμών θα δώσει πληροφορία για το 55% περίπου της συνολικής επιφανειακής απορροής που οφείλεται σε ποτάμια (Baumgartner & Reichel 1975), ποσοστό σχετικά μικρό για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση των ποταμών στις ευρωπαϊκές θάλασσες. Η ζώνη ανάμιξης γλυκών νερών με τις θαλάσσιες μάζες ερευνάται από αέρος και διαστήματος με αεροφωτογραφήσεις και με μεθόδους τηλεπισκόπισης, αντίστοιχα, με λήψεις δειγμάτων από γέφυρες, με κάποιο σκάφος, ή από τις όχθες των χερσαίων προσχώσεων του δέλτα. Σε αυτή τη κατεύθυνση ουσιαστική πρόοδος έχει επιτευχθεί με τη χρήση εξαιρετικά σύγχρονων τεχνικών τηλεπισκόπισης (remote sensing), με τη βοήθεια των οποίων έχει αρχίσει η διηνεκής συλλογή στοιχείων για τη συμπεριφορά και τις συγκεντρώσεις του αιωρούμενου υλικού και του φυτοπλαγκτού (Fischer *et al.* 1991). Τέλος, η ραδιοχρονολόγηση, οι μετρήσεις αναλογίας σταθερών ισοτόπων και η χρήση συγκεκριμένων μοριακών ανιχνευτών, έχουν συμβάλλει σημαντικά στην εκτίμηση της προέλευσης της εναποτιθέμενης ύλης καθώς και στην κατανόηση της λειτουργίας των υποθαλάσσιων δελταϊκών οικοσυστημάτων (Mook & Tan 1991).



Εικόνα 1.1. Κατάταξη των ακτών τύπου «δέλτα» με βάση το λόγο ιζηματολογικού δυναμικού του ποταμού προς το υδροδυναμικό καθεστώς στην εκβολή (από Seibold & Berger 1982).



Εικόνα 1.2 Τριγωνική απεικόνιση των ακτών τύπου «δέλτα» με βάση τα κριτήρια Galloway (1975).



Εικόνα 1.3 Υποθαλάσσιες περιβαλλοντικές ενότητες των «δέλτα» τύπου Ροδανού.

Κάθε ένας από τους τρόπους που αναφέρθηκαν έχει το δικό του πλεονέκτημα. Κατά γενική ομολογία, όμως, η ολοκληρωμένη μελέτη των φυσικών και βιογεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις περιοχές από το στόμιο των εκβολών μέχρι τις περιοχές του προδέλτα απαιτεί την χρήση όλων των παραπάνω τρόπων. Ένας από τους κυριότερους λόγους που επιβάλλει την πολυεπίπεδη έρευνα είναι η πολυπλοκότητα των διεργασιών που συνδέουν τη λειτουργία ολόκληρου του οικοσυστήματος με τη δράση του ποταμού και τις επεμβάσεις στη λεκάνη απορροής του (Esser & Kohlmaier 1991, Levin *et al.* 2001).

Στη συντριπτική πλειοψηφία των εργασιών που επικεντρώνονται στο βενθικό οικοσύστημα των δελταϊκών εκβολών, τα κυριότερα ερώτημα που τίθενται αφορούν στη διερεύνηση της δομής των βενθικών βιοκοινωνιών σε σχέση με τις φυσικοχημικές και γεωλογικές διαβαθμίσεις που υφίστανται στις περιβαλλοντικές ενότητες των περιοχών αυτών. Υπάρχει επίσης μια κατηγορία μελετών που εξετάζει τις διαφορές στους βιογεωχημικούς κύκλους μεταξύ δελταϊκών και μη δελταϊκών παράκτιων περιοχών. Οι απαντήσεις που έχουν δοθεί στα ερωτήματα αυτά, παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια, εστιάζοντας στην απόκριση του βένθους στις εισροές θρεπτικών και σωματιδιακής ύλης καθώς και τις εκφορτίσεις υψηλών ποσοτήτων ιζημάτων.

1. Εισροές Θρεπτικών: Σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι οι φυτοπλαγκτονικές ανθήσεις μπροστά από τις εκβολές μεγάλων ποταμών ρυθμίζονται σχεδόν αποκλειστικά από τη ροή θρεπτικών μέσω της υδατοπαροχής των ποταμών (De Master & Pope 1996). Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις ότι η απορρόφηση των θρεπτικών από το πελαγικό οικοσύστημα, ως βιομάζα των πρωτογενών παραγωγών, περιορίζεται από τα επίπεδα θολερότητας, που είναι συνήθως πολύ υψηλά (De Master & Pope 1996). Παράλληλα εκτιμάται ότι μόνον ένα πολύ μικρό μέρος των θρεπτικών που εισρέουν από τα ποτάμια, δεσμεύεται από το φυτοπλαγκτόν και ενταφιάζεται στη μορφή φυτοθρυμμάτων σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος, χωρίς να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά (Froelich et al. 1982, De Master et al. 1983, De Master & Nitrouer 1983, Showers & Angle 1986, Nixon 1987, Nelson 1992, De Master & Pope 1996). Στην πραγματικότητα, έχουν διαπιστωθεί υψηλοί ρυθμοί αποικοδόμησης στα ιζήματα των κορυφαίων και κύριων αποθέσεων ενός δέλτα που έχουν ως αποτέλεσμα υψηλούς ρυθμούς επιστροφής των θρεπτικών στη στήλη (Alongi 1995, Aller et al. 1996). Όλα τα παραπάνω υποδεικνύουν το σημαντικό ρόλο που μπορεί να παίζει η βενθική βιοκοινωνία στην ανακύκλωση και αναγέννηση θρεπτικών σε τέτοια περιβάλλοντα.

2. Εισροές Σωματιδιακής Ύλης: Η προέλευση της Αιωρούμενης Σωματιδιακής Οργανικής Ύλης (ΑΣΟΥ) στα ποτάμια συνδέεται με α. την αυτόχθονη παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού β. αλλόχθονες πηγές, όπως διάβρωση των εδαφών γ. υγρά απόβλητα δ. το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα, και ε. με *in situ* σχηματισμό από διαλυμένη οργανική ύλη (Ittekott & Laane 1991). Οι ποσότητες Σωματιδιακού Οργανικού Άνθρακα (Particulate Organic Carbon, POC) που περιέχονται στο αιωρούμενο υλικό των μεγαλύτερων ποταμών του κόσμου, αποτελούν μόνο το 0,5-12% της Ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ) που εκβάλλεται (Ittekkot 1988). Η συνεισφορά του Βιοαποικοδομήσιμου (ή Βιοδιαθέσιμου) Οργανικού Άνθρακα (Labile Organic Carbon, LOC) σε ποτάμια της εύκρατης ζώνης με χαμηλή στερεοπαροχή (π.χ. Μακένζυ, Άγιος Λαυρέντιος, Παρανάς) στο ΑΣΟΥ, φτάνει το 30-40% ενώ

στα ποτάμια των τροπικών περιοχών, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή στερεοπαροχή (π.χ. Γάγγης, Βραχμαπούτρα, Ινδός και Ορινόκος) το ποσοστό του LOC φτάνει το 20-25% του ΑΣΟΥ που εκβάλλεται (Ittekkot 1988). Ακόμη χαμηλότερα ποσοστά LOC -10-15% του ΑΣΟΥ- έχουν καταγραφεί στις σωματιδιακές εισροές ποταμών που έχουν υποστεί ανθρωπογενείς παρεμβάσεις κατά μήκος του ρου τους (π.χ. κατασκευή φραγμάτων). Η μείωση της ροής στα ποτάμια αυτά διευκολύνει α. την αποικοδόμηση της Σωματιδιακής Ύλης στους βιότοπους της λεκάνης απορροής (Ittekkot et al. 1985, Hedges et al. 1986) β. την κατακράτηση της στα φράγματα και γ. την εναπόθεση της στα ιζήματα παραποτάμιων λιμνών (Ittekkot & Arain 1986). Γενικά. εκτιμάται ότι η οργανική ύλη ποτάμιας προέλευσης είναι χαμηλής βιοαποικοδομησιμότητας και αντιπροσωπεύει μόλις το 1% της πρωτογενούς παραγωγής στην παράκτια ζώνη (Berner 1982, Meybek 1982, Ittekkot 1988). Ο LOC αντιστοιχεί στο 17% του POC που εκβάλλεται ανά έτος, με τις πρωτεΐνες να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό (7-29 LOC %) (Ittekkot & Laane 1991). Έχει υπολογισθεί ότι ετησίως λιγότερο από το ένα τρίτο του ΑΣΟΥ ποτάμιας προέλευσης ενταφιάζεται σε βαθύτερα στρώματα του υποθαλάσσιων δελταϊκών ιζημάτων, υποδεικνύοντας ότι το ποτάμιο οργανικό υλικό μπορεί να ανοργανοποιείται σχετικά γρήγορα ή / και να εξάγεται προς την ανοικτή θάλασσα (Hedges & Keil 1995). Ωστόσο οι μελέτες είναι μεμονωμένες και σε αυτό το πεδίο μελέτης.

3. Ιζηματολογικό φορτίο ποταμών: Η υποθαλάσσια προσχωματική δράση των ποταμών προκαλεί φαινόμενα φυσικής διατάραξης και αστάθειας του υποστρώματος εξαιτίας των υψηλών ρυθμών ιζηματαπόθεσης και των πυκνών νεφελοειδών στρώσεων πυθμένα που σχηματίζονται. Η ένταση των επιδράσεων αυτών εξαρτάται άμεσα από την εποχικότητα των υδατοπαροχών και στερεοπαροχών του ποταμού. Ως εκ τούτου, οι βενθικές βιοκοινωνίες που αναπτύσσονται στις δελταϊκές αποθέσεις ενός ποταμού υπόκεινται σε φυσικές διαταραχές ποικίλης συχνότητας και έντασης. Η κατανομή των ειδών και των ατόμων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τους ρυθμούς ιζηματογένεσης επί της υποπαραλιακής και περιπαραλιακής ζώνης. Θεωρείται, μάλιστα, ότι στο στόμιο των εκβολών μεγάλων ποταμών (κορυφαίες αποθέσεις), η εναπόθεση ιζημάτων είναι κατά περιδους καταστροφική προκαλώντας έως και απώλεια ενδιαιτήματος

(Aller & Stupakoff 1996, Rhoads *et al.* 1985). Η βενθική βιοκοινωνία αποκρίνεται στις συνθήκες αυτές με ακραίες διακυμάνσεις άμεσα σχετιζόμενες με τη δυνατότητα επαναποίκησης των ιζημάτων (Aller & Stupakoff 1996) και τους ρυθμούς ιζηματογένεσης (Rhoads *et al.* 1985, Sun & Dong 1985). Χαρακτηριστική είναι η κυριαρχία οργανισμών μικρού μεγέθους (μικροβιακή βιοκοινωνία) όσον αφορά τη βιομάζα (Aller & Aller 1986, Alongi *et al.* 1992).

1.2.2 Ελλάδα

Στην Ελλάδα οι περισσότερες μελέτες σε συστήματα υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων έχουν έως τώρα επικεντρωθεί στους μηχανισμούς εξάπλωσης των δελταϊκών προσχώσεων, την επίδραση τους στη μορφολογία των ακτών καθώς και στη μεταφορά σωματιδιακής ύλης χερσογενούς προέλευσης προς την υφαλοκρηπίδα και τις βαθιές θαλάσσιες λεκάνες (Lykoussis & Chronis 1989, Poulos & Collins 1994, Poulos et al. 1994, Poulos et al. 1996, Poulos & Chronis 1997, Poulos et al. 1998, Karageorgis & Anagnostou 2001, Stournaras 1999, Poulos et al. 2000, Pavlidou 2000, Albanakis et al. 2001). Όπως προκύπτει από τις παραπάνω μελέτες, ένα μεγάλο ποσοστό των λεπτόκοκκων κλασμάτων ιζήματος που εκβάλλονται από τα ελληνικά ποτάμια, καθιζάνει εντός των ορίων του ηπειρωτικού υφαλοπρανούς. Κυρίως, όμως, παγιδεύεται μπροστά στις εκβολές λόγω υψηλής στερεοπαροχής. Αντίθετα, οι μελέτες που αφορούν στις φυσικοχημικές ιδιότητες της στήλης στις δελταϊκές εκβολές (Friligos 1978, Readman et al. 1993, Albanis et al. 1994, 1995, Christou et al. 1995, Psyllidou-Giouranovits et al. 1997, Friligos et al. 1997) και των ιζημάτων (Anagnostou & Caberi 1995, Voutsinou-Taliadouri & Varnavas 1995, Angelidis & Aloupi 2000), εστιάστηκαν στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας εργοστασίων και της παρουσίας μεγάλων αστικών κέντρων κοντά στις εκβολές. Λιγότερες είναι οι μελέτες που έχουν γίνει σε επίπεδο οικοσυστήματος και βιοκοινωνιών (Παπαθανασίου 1992, ΕΚΘΕ 1994). Συγκεκριμένα, έχουν μελετηθεί η δομή των πλαγκτονικών (Nicolaidou et al. 1983, Christou et al. 1995, Kormas et al. 1997, 1998) και των

βενθικών βιοκοινωνιών (Tziavos 1979, Μπόγδανος 1983, Nicolaidou et al. 1983, Zenetos et al. 1991, Chryssovergis & Panayotidis 1995, Kormas et al. 1997). Από τις μελέτες αυτές, οι περισσότερες από τις οποίες είχαν πιλοτικό χαρακτήρα, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι εισροές θρεπτικών περισσότερο και λιγότερο οι εισροές γλυκών νερών, επηρεάζουν θετικά τη δομή των πλαγκτονικών βιοκοινωνιών. Από την άλλη μεριά, οι κατανομές των ζωοβενθικών οργανισμών καθορίζονται από την κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων και τους υψηλούς ρυθμούς ιζηματαπόθεσης.

1.3 Σκοπός της μελέτης

Τα τελευταία δέκα χρόνια το βενθικό οικοσύστημα του Μαλιακού κόλπου έχει μελετηθεί με σκοπό την καταγραφή των ειδών μακροπανίδας και την περιγραφή των γαρακτηριστικών της μακροβενθικής βιοκοινωνίας σε διάφορες περιοχές του κόλπου. Σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν, υφίσταται διαβάθμιση στις τιμές αφθονίας και ποικιλότητας της μακροπανίδας, οι οποίες από πολύ χαμηλές κοντά στις εκβολές του Σπερχειού αυξάνονται σταδιακά προς τις εξωτερικές περιοχές του κόλπου, χωρίς όμως να αντανακλούν τις υψηλές τιμές φυτοπλαγκτονικής βιομάζας που παράγονται στη στήλη του Μαλιακού (ΕΚΘΕ 1994, Kormas et al. 1997). Θεωρήθηκε, επομένως, ότι το βενθικό οικοσύστημα του Μαλιακού κόλπου υποφέρει από τους υψηλούς ρυθμούς δελταϊκής ιζηματαπόθεσης που προκαλούν διατάραξη του υποστρώματος και επάγουν συνθήκες αστάθειας. Διατυπώθηκε η υπόθεση ότι οι συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν περιορισμό της αφθονίας των αιωρηματοφάγων και των επιφανειακών ιζηματοφάγων οργανισμών και επηρεάζουν αρνητικά την επιβίωση των νεοστρατολογημένων και νεαρών ατόμων, ενώ ευνοούν την επικράτηση ειδών που παρουσιάζουν αντοχή σε συνθήκες αστάθειας (ΕΚΘΕ 1994, Kormas et al. 1997). Οι μεγάλες ποσότητες νεκρών μαλακίων, κυρίως γαστεροπόδων, «θαμμένων» μόλις λίγα εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του ιζήματος -δείγμα πρόσφατης και έντονης ιζηματαπόθεσης (προσωπικές παρατηρήσεις, Kormas *et al.* 1997) - καθώς και η παρουσία μεγάλου αριθμού πελαγικών προνυμφικών σταδίων στα δείγματα μεσοζωοπλαγκτού, που δεν αντιστοιχούν όμως στις μειωμένες αφθονίες του μακροζωοβένθους (Christou *et al.* 1995, Kormas *et al.* 1997), ενισχύουν την υπόθεση της διατάραξης λόγω ιζηματογένεσης.

Θεωρητικά και λαμβάνοντας υπόψιν τις πληροφορίες σχετικά με τις βενθικές διεργασίες σε υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις, η επίδραση του Σπερχειού αφορά στο ιζηματολογικό φορτίο του ποταμού, το οποίο εναποτίθεται στο Μαλιακό κόλπο, στις εισροές θρεπτικών, στις εισροές σωματιδιακής ύλης, στις εισροές γλυκών νερών και στην μεταφορά ρύπων μαζί με τα ιζήματα καθώς και σε διαλυμένη μορφή. Οι ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες για τις παραπάνω επιδράσεις είναι από ελλιπείς έως ανύπαρκτες, γεγονός που καθιστά τη μέτρηση των παραπάνω παραγόντων αναγκαίο σκοπό. Επιπλέον ιδιαιτερότητες της περιοχής, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι ο Μαλιακός είναι ένας ημίκλειστος κόλπος, αλληλεπιδρούν λίγο ή πολύ με τους παράγοντες αυτούς. Η επίδραση του Σπερχειού μπορεί να εκδηλωθεί είτε σε επίπεδο βιοκοινωνίας προκαλώντας γενική μείωση των ειδών και των ατόμων της μακροπανίδας και μείωση συγκεκριμένων λειτουργικών τύπων, είτε σε επίπεδο ατομικό επηρεάζοντας τη φυσιολογία, την αναπαραγωγική ικανότητα και τον ρυθμό ανάπτυξης ειδών που παρουσιάζουν ευαισθησία σε έναν ή περισσότερους παράγοντες, για παράδειγμα στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων χημικών ενώσεων.

Η παρούσα διατριβή, εξετάζει τις μακροβενθικές βιοκοινωνίες των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων του Μαλιακού κόλπου. Οι στόχοι της μελέτης διαμορφώθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών στην περιοχή καθώς και σύγχρονους προβληματισμούς σχετικά με την κατάσταση των παράκτιων οικοσυστημάτων. Η μελέτη θέτει τα παρακάτω ερωτήματα – στόχους:

ποια είναι η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στις κύριες αποθέσεις του Σπερχειού;

 ποια είναι η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στις προδελταϊκές περιοχές του Μαλιακού κόλπου; υπάρχουν διαφορές στη δομή των βιοκοινωνιών στο χώρο και στο χρόνο και πώς
ερμηνεύονται;

πώς μεταβάλλεται το περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου σε σχέση με τις ποτάμιες
εισροές;

υπάρχει σύζευξη ανάμεσα στη βενθική βιοκοινωνία και την αυξημένη πρωτογενή
παραγωγή λόγω των ποτάμιων εισροών;

πώς επηρεάζεται η βιοδιαθεσιμότητα της οργανικής ύλης από τις ποτάμιες εισροές;

ποια η σημασία του βένθους στο οικοσύστημα των δελταϊκών εκβολών; Ποιος ο ρόλος
του βένθους στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης στο μέτωπο του δέλτα;

ποια είναι η κατά μέγεθος δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του δέλτα;

υπάρχουν είδη τα οποία είναι ενδεικτικά των περιβαλλοντικών συνθηκών που
επικρατούν;

ποια είναι η κατάσταση του οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου; Μπορεί να χρησιμεύσει η μελέτη της βενθικής βιοκοινωνίας στην διάγνωση συνθηκών υποβάθμισης ενός παρόμοιου οικοσυστήματος;

1.3.1 Για ποιο λόγο «μακροπανίδα»

Στη μακροπανίδα ανήκουν οι βενθικοί οργανισμοί των οποίων η διάμετρος σώματος είναι μεγαλύτερη από ή ίση με 0.5 χιλιοστά του μέτρου (Eleftheriou & Holme 1984). Οι σχετικά μεγάλοι κύκλοι ζωής των μακροπανιδικών ασπόνδυλων, που κυμαίνονται από λίγους μήνες έως και μερικά χρόνια, ευθύνονται για την καθυστερημένη χρονικά απόκριση των οργανισμών αυτών σε φαινόμενα όχλησης, σε μεταβολές στην παροχή τροφής καθώς και σε πληθυσμιακές αυξομειώσεις που προκαλούνται από ανωμαλίες κατά τη στρατολόγηση νεαρών ατόμων, τέτοια ώστε να μπορεί να ανιχνευθεί από τον ερευνητή αρκετούς μήνες μετά το συμβάν. Σύμφωνα με τους Clarke & Warwick (1994), αυτό αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς οι περιβαλλοντικές μεταβολές μπορούν να ανιχνευθούν στη δομή των μακροπανιδικών βιοκοινωνιών, ακόμα και όταν το φαινόμενο που την προκάλεσε έχει παρέλθει. Ταυτόχρονα, η μικρής κλίμακας κινητικότητα, η σχετικά εύκολη συστηματική και η πολύχρονη μελέτη της βιονομίας και των φυσιολογικών αποκρίσεων πολλών ειδών σε ποικίλους παράγοντες, καθιστούν τη μακροπανίδα ένα εύχρηστο εργαλείο για τη μελέτη της επίδρασης περιβαλλοντικών συνθηκών στο βένθος, σε τοπικό επίπεδο κυρίως. Ειδικότερα, σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, υπάρχει η δυνατότητα να επιλεχθούν συγκεκριμένα είδη με σχετικά γρήγορη απόκριση των οποίων είναι γνωστό το εύρος των αποκρίσεων ανάλογα με τον λειτουργικό τους τύπο και τον τύπο της διατάραξης (Rees et al. 1991).

Ωστόσο, η μελέτη της μακροπανίδας παρουσιάζει μειονεκτήματα και δυσκολίες. Για παράδειγμα, η μακροπανίδα μπορεί να αποκρίνεται σε εντελώς διαφορετικούς τύπους διατάραξης π.χ. τοξική ρύπανση, ακατάλληλο υπόστρωμα, οργανικό φορτίο κλπ. με παρόμοιο τρόπο. Επίσης, η επεξεργασία της μακροπανίδας στο πεδίο, ειδικά σε βαθύαλα οικοσυστήματα, και στο εργαστήριο είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα επομένως και δαπανηρή (Clarke & Warwick 1994). Κάποια από τα προβλήματα αυτά είναι ανυπέρβλητα ενώ για άλλα έχουν προταθεί λύσεις. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ερμηνεία της ετερογενούς κατανομής των ατόμων στο χώρο (ή στο χρόνο) με βάση τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που την προκαλούν, μπορούν να ξεπεραστούν με μεγάλη δειγματοληπτική επαναληψιμότητα και κατάλληλο πειραματικό-δειγματοληπτικό σχεδιασμό, ώστε να ελεγχθούν ξεχωριστά οι υποθέσεις

για την επίδραση κάθε παράγοντα (Morrisey *et al.* 1992, Underwood 1997). Δυστυχώς, σπανίως ο οικονομικός προϋπολογισμός αρκεί για να καλύψει τις επιστημονικές προϋποθέσεις μιας ερευνητικής πρότασης. Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, στο όνομα της συλλογής δεδομένων εξοικονομείται χρήμα από τον περιορισμό της δειγματοληπτικής προσπάθειας, οδηγώντας σε ψευδοεπαναληψιμότητα και ασαφή ερμηνεία των προτύπων κατανομής των ατόμων στο χώρο και το χρόνο (Underwood 1981).

Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε τελικά να χρησιμοποιηθούν τα μακροπανιδικά ασπόνδυλα για να διερευνηθούν οι στόχοι της παρούσας μελέτης, είναι οι εξής: 1. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτά τα ασπόνδυλα όσον αφορά την απόκριση τους σε φαινόμενα διατάραξης, την εύκολη συστηματική τους καθώς επίσης και τη σχετικά εύκολη συλλογή και επεξεργασία τους στο πεδίο σε ρηχές περιοχές. 2. Ο οικονομικός προϋπολογισμός και η εργαστηριακή υποστήριξη μπορούσαν να διασφαλίσουν ικανοποιητικά τη μείωση επιστημονικών σφαλμάτων. 3. Η επιστημονική συνέχεια: η παρούσα μελέτη αποτελεί συνέχεια των πιλοτικών μελετών βάσει των οποίων διατυπώθηκε η υπόθεση της διατάραξης των μακροβενθικών βιοκοινωνιών λόγω ιζηματογένεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι υποθέσεις εργασίας της παρούσας μελέτης διερευνήθηκαν χρησιμοποιώντας κόσκινο συλλογής με υποδιπλάσσια διάμετρο πόρων (0.5 χιλιοστά) από ότι προηγούμενα.

1.4 Υποθέσεις Εργασίας

Αφετηρία για την παρούσα διατριβή, όπως ήδη προαναφέρθηκε, υπήρξαν παρατηρήσεις που έγιναν στην περιοχή του Μαλιακού κόλπου σχετικά με την εξαιρετικά φτωχή παρουσία της μακροπανίδας στα ιζήματα της περιοχής (ΕΚΘΕ 1994). Οι παρατηρήσεις αυτές έδειξαν την ύπαρξη διαβάθμισης στα χαρακτηριστικά της μακροβενθικής βιοκοινωνίας, με τις χαμηλότερες τιμές να σημειώνονται στον Εσωτερικό Μαλιακό και κυρίως κοντά στις εκβολές ενώ

διαπιστώθηκε έντονη χωρική ετερογένεια ως προς τη σύνθεση των ειδών. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές διατυπώθηκε η υπόθεση της φυσικής διατάραξης από την υψηλή ιζηματαπόθεση λόγω της τροφοδοσίας του Μαλιακού κόλπου με ιλυοαργιλλώδη ιζήματα από το Σπερχειό ποταμό (Αρχική Υπόθεση). Αξίζει να σημειωθεί ότι η διατύπωση της Αρχικής Υπόθεσης στηρίχθηκε σε δειγματοληψίες που έλαβαν χώρα μόνο σε μια εποχή του έτους (χειμώνας), με μικρό μέγεθος δείγματος (1 ή 2 επαναλήψεις) αλλά και με ακατάλληλα εργαλεία για τη συλλογή του συνόλου των μακροπανιδικών οργανισμών (π.χ. χρήση κόσκινων διαμέτρου 1 χιλιοστού). Αξίζει να τονιστεί επίσης ότι στην Αρχική Υπόθεση οι ποτάμιες εισροές έχουν αρνητική επίδραση στη μακροβενθική βιοκοινωνία. Ωστόσο, δεν είναι γνωστή η συχνότητα και η ένταση των διαταραχών που προκαλούν ούτε κατά πόσον οι επιδράσεις επιφέρουν παρόμοιο αποτέλεσμα με άλλες πηγές διατάραξης ή απόκλισης από μια κατάσταση ισορροπίας. Στην πραγματικότητα, για να προσδιοριστούν οι συνέπειες της διατάραξης, θα πρέπει να εκτιμηθούν οι αρχικές συνθήκες ή συνθήκες ελέγχου. Επιπλέον, είναι άγνωστο εάν υπάρχουν είδη που αποτελούν δείκτες της πορείας ανάκαμψης από το γεγονός διατάραξης. Για τους λόγους αυτούς η στρατηγική της δειγματοληψίας διαμορφώθηκε έτσι ώστε να διερευνηθούν οι παρακάτω υποθέσεις:

1) Ο Μαλιακός κόλπος αντιπροσωπεύει ένα περιβάλλον με έντονη χωρική ετερογένεια και φυσική όχληση, που προκύπτουν κυρίως ως αποτέλεσμα α. των χερσογενών εκφορτίσεων του Σπερχειού και διαφόρων ποταμοχείμαρρων, β. του μικρού βάθους, που καθιστά τα ιλυοαργιλλώδη ιζήματα επιρρεπή στον κυματισμό και τα ρεύματα και της υδρογραφίας της περιοχής και γ. των διακυμάνσεων στις ποσότητες υδάτων και ιζημάτων που εκφορτίζονται. Όσο μεγαλύτερες είναι οι περιβαλλοντικές διακυμάνσεις και η όχληση στην οποία υπόκεινται οι βενθικοί οργανισμοί, τόσο περισσότερο η δομή της βιοκοινωνίας στο χώρο εξαρτάται και καθορίζεται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της στήλης και του ιζήματος (Πρώτη Υπόθεση) 2) Σε αποστάσεις από την εκβολή, που θεωρείται πηγή όχλησης λόγω ιζηματογένεσης, τέτοιες ώστε η φυσική όχληση λόγω της στερεοπαροχής (φορτίο πυθμένα και αιωρούμενο φορτίο) του Σπερχειού να είναι ήπιας έντασης η δομή της βιοκοινωνίας χαρακτηρίζεται από

χωρική και χρονική ετερογένεια με τυχαία πρότυπα κατανομής των αφθονιών των ειδών και σχετικά υψηλό αριθμό ειδών (Δεύτερη Υπόθεση) και 3) στο μέτωπο του δέλτα επικρατούν μικρού μεγέθους οργανισμοί λόγω υψηλού κόστους διατήρησης (maintenance cost) υπό συνθήκες όχλησης (<u>Τρίτη Υπόθεση</u>).

Το θεωρητικό υπόβαθρο της Πρώτης Υπόθεσης βασίζεται στην υπόθεση της Περιβαλλοντικής Σταθερότητας του Sanders (1968) σύμφωνα με την οποία όταν υφίστανται έντονες περιβαλλοντικές διακυμάνσεις ή οι οργανισμοί υπόκεινται σε φυσιολογικό στρες (παρεμπιπτόντως το ένα δεν αποκλείει το άλλο), ευνοούνται είδη με ευρύ οικολογικό θώκο που προσαρμόζονται στις ολοένα μεταβαλλόμενες συνθήκες ενώ η ποικιλότητα μειώνεται με την επιδείνωση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Στην περίπτωση αυτή η βιοκοινωνία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις φυσικές παραμέτρους (naturally controlled community). Στην αντίθετη περίπτωση, οπότε οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σχετικά σταθερές και οι οργανισμοί δεν υπόκεινται σε φυσιολογικό στρες, η ποικιλότητα είναι αυξημένη ενώ η δομή της βιοκοινωνίας και το εύρος των οικολογικών θώκων ρυθμίζονται από διαειδικές αλληλεπιδράσεις (ανταγωνισμός για τροφή και χώρο, σχέσεις θηρευτή-λείας) (biologically accommodated community). Ο Sanders (1968) θεωρεί πως στην πραγματικότητα, οι βιοκοινωνίες δεν είναι ποτέ μόνο φυσικά καθορισμένες ή μόνο βιολογικά ρυθμιζόμενες αλλά βρίσκονται ανάμεσα στις δύο αυτές ακραίες θεωρητικές καταστάσεις. Τελικά, η μεταξύ τους αναλογία παίζει τον καθοριστικό ρόλο στη δομή της βιοκοινωνίας.

Η Πρώτη Υπόθεση Εργασίας περιέχει δύο σκέλη. Στο πρώτο, η βενθική βιοκοινωνία του Μαλιακού θεωρείται ως ενιαία οντότητα, οπότε εξετάζεται σε ποιο βαθμό η χωρική δομή της ανταποκρίνεται στη χωρική ετερογένεια του κόλπου. Στο δεύτερο σκέλος, εξετάζεται εάν τυχόν υπάρχουσες διαφορές στη δομή της μακροβενθικής βιοκοινωνίας μεταξύ των Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού αποτελούν απόκριση σε διαβάθμιση φυσικής όχλησης ή σε διαφορετική οργάνωση της βιοκοινωνίας (π.χ. διαφορετικά επίπεδα διαθέσιμης τροφής).
Οι προβλέψεις της Δεύτερης Υπόθεσης παραπέμπουν στις υποθέσεις που συνδέουν τη διατάραξη με τη χωρική ετερογένεια (patchiness) στη δομή της βιοκοινωνίας (patch formation) ή «μοντέλα όχλησης» όπως επίσης αναφέρονται (Levin & Paine 1974, Paine & Levin 1981). Αφορούν, δε, σε πρότυπα κατανομής της ποικιλότητας σε μικρές κλίμακες χώρου και χρόνου, δηλαδή δεν έχουν σχέση με τη χρονική κλίμακα της εξέλιξης αλλά ούτε με αποικισμό από απομακρυσμένες περιοχές ή με φαινόμενα που προκαλούν καταστροφή βιοτόπων (Rosenweig 1997). Σύμφωνα με το «μοντέλο όχλησης» κάθε στιγμή σε κάθε σημείο (patch) ενός βιοτόπου, ο αριθμός των ειδών -που τροφοδοτείται από την πάγια δεξαμενή ειδών της συγκεκριμένης περιοχής- αλλάζει διαρκώς. Έτσι, σε κάποια σημεία η ποικιλότητα αυξάνεται ενώ σε κάποια άλλα μειώνεται, λόγω ανταγωνιστικού αποκλεισμού ή όχλησης, αιτία την οποία παρομοιάζει ο Rozenweig (1997) με μια «εικονική σκούπα» που απομακρύνει κάποια είδη από το σημείο αυτό. Υπό αυτό το πρίσμα, η μέση τιμή ποικιλότητας σε ένα βιότοπο εξαρτάται από τη συχνότητα των οχλήσεων στην περιοχή. Η ήπιας έντασης και μέτριας συχνότητας διατάραξη αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη συνθήκη για την εξασφάλιση μεγάλου αριθμού ειδών περιορίζοντας ταυτόχρονα τον ανταγωνιστικό αποκλεισμό κάποιων ειδών.

Η Δεύτερη Υπόθεση Εργασίας διερευνά τα πρότυπα κατανομής ατόμων και ειδών στο μέτωπο του δέλτα, όπου η ιζηματογένεση έχει τους υψηλότερους ρυθμούς. Προβλέπει ότι στις παρυφές του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού και στις προδελταϊκές περιοχές, όπου αναμένεται η ιζηματαπόθεση να είναι ηπιότερη από ότι πιο κοντά στην εκβολή, σημειώνονται τα μέγιστα ποικιλότητας στην περιοχή του μετώπου. Προβλέπει επίσης ότι εάν ισχύουν συνθήκες ήπιας διατάραξης, το μέτωπο του δέλτα θα περιέχει ένα ευρύ φάσμα τιμών ποικιλότητας, από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες, με τη μέση τιμή να καθορίζεται από τις διακυμάνσεις στην ένταση και τη συχνότητα της διατάραξης.

Στον πυρήνα της Τρίτης Υπόθεσης Εργασίας βρίσκονται οι θεωρίες αλλομετρίας σύμφωνα με τις οποίες η απόκριση των οργανισμών από βιοενεργητική άποψη μπορεί να διαβαθμιστεί ανάλογα με το μέγεθος τους (Reiss 1989). Συγκεκριμένα, για τις μακροζωοβενθικές βιοκοινωνίες υπάρχουν ενδείξεις ότι σε περιπτώσεις περιβαλλοντικού στρες, αυξάνεται το

κόστος διατήρησης των οργανισμών (Sibly & Calow 1986) ενώ στη δομή της βιοκοινωνίας επικρατούν ευκαιριακοί οργανισμοί με υψηλούς ρυθμούς αύξησης, μικρό μέγεθος και μικρή ικανότητα να μετατρέπουν την ενέργεια σε βιομάζα (Pearson & Rosenberg 1978, Odum 1985, Tumbiolo & Downing 1994, Gonzalez-Oreja & Saiz-Salinas 1999). Ως εκ τούτου, σε συνθήκες όχλησης αυξάνεται η μεταβολική δραστηριότητα με τη μείωση του μεγέθους σώματος *per se*.

Η Τρίτη Υπόθεση προβλέπει ότι κοντά στην εκβολή επικρατούν μικρού μεγέθους ευκαιριακοί μακροπανιδικοί οργανισμοί, με υψηλό ετήσιο λόγο Παραγωγής προς Βιομάζα. Επιπλέον, λόγω έντονης ιζηματογένεσης κοντά στην εκβολή, οι μικρού μεγέθους βενθικοί οργανισμοί (μικροβιακή βιοκοινωνία) συνεισφέρουν περισσότερο στο συνολικό βενθικό μεταβολισμό.

Με βάση τις παραπάνω υποθέσεις εργασίας σχεδιάστηκε η δειγματοληψία και διαμορφώθηκαν οι στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων που θα περιγραφούν στο επόμενο κεφάλαιο

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Περιοχή Μελέτης

Ο Μαλιακός κόλπος είναι ένας κλειστός επιμήκης κόλπος στη Στερεά Ελλάδα, μεταξύ Φθιώτιδας και Λοκρίδας απέναντι από το βόρειο άκρο της Εύβοιας (Εικόνα 2.1). Εισχωρεί αισθητά μέσα στη χέρσο με άξονα Ανατολή-Δύση σχηματίζοντας μια εγκόλπωση μήκους 8 με 12,5 ναυτικά μίλια και συνολικής έκτασης 9,000 εκταρίων. Όρια του θεωρούνται η νοητή γραμμή ανάμεσα στο Ακρ. Τάπια και το Ακρ. Βασιλίνα στο Δίαυλο Ωρεών προς τα Βορειοανατολικά ενώ προς Νοτιοανατολικά τα Λιχαδονήσια ανάμεσα στο Ακρ. Κνημίς και τα Καμένα Βούρλα αποτελούν το φυσικό σύνορο του Μαλιακού με το Β. Ευβοϊκό κόλπο. Τα φυσικά ακρωτήρια Χιλιομίλι στα νότια και Καραβοφάναρο στα βόρεια διαχωρίζουν τον κόλπο σε δυτικό και ανατολικό. Ο Δυτικός Μαλιακός κόλπος, που αποκαλείται επίσης και Εσωτερικός Μαλιακός κόλπος περιλαμβάνει την περιοχή από τις εκβολές του Σπερχειού ποταμού, τη Στυλίδα, και «κλείνει» στο νοητό όριο ανάμεσα στα ακρωτήρια Χιλιομίλι και Καραβοφάναρο όπου «ανοίγει» ο Ανατολικός Μαλιακός κόλπος, που αποκαλείται επίσης και Εξωτερικός Μαλιακός κόλπος και ορίζεται προς ανατολικά από το Δίαυλο Ωρεών στα βόρεια, τη Χερσόνησο Γιάλτρα της Εύβοιας και το στενό της Κνημίδας στα νότια. Το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα των ακτών του Μαλιακού κόλπου μετατοπίζονται συνεχώς προς τα ανατολικά λόγω της προσχωσιγενούς δράσης του Σπεργειού ποταμού. Στον εσωτερικό Μαλιακό κόλπο βρίσκεται το λιμάνι της Στυλίδας (6,000 κάτοικοι), που φιλοξενεί μέρος του εμπορικού και αλιευτικού στόλου της χώρας, και η Αγία Μαρίνα, που είναι το παραθεριστικό επίνειο της Λαμίας.

Στον Εσωτερικό Μαλιακό κόλπο το ανάγλυφο του βυθού είναι ομαλό με μικρές κλίσεις προς το κέντρο του και μέγιστο βάθος τα 27 μέτρα. Η επιφάνεια του ανέρχεται σε 91.5 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το μήκος της ακτογραμμής του φτάνει τα 52 χιλιόμετρα (Αναγνώστου & Παπαθανασίου 1994). Στην περιοχή αυτή επικρατεί η διαδικασία της προσχωσιγενούς δυναμικής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται και φαινόμενα διάβρωσης κυρίως στα βορειοδυτικά τμήματα (παραλία Αγίας Μαρίνας) (Αναγνώστου & Τζιαβός 1992).

Στον Εξωτερικό Μαλιακό κόλπο το ανάγλυφο του βυθού είναι επίσης ομαλό και το μέγιστο βάθος υπερβαίνει τα 50 μέτρα στο Δίαυλο Ωρεών και τα 60 μέτρα στο στενό της Κνημίδας. Η επιφάνεια του ανέρχεται σε 107,8 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το μήκος της ακτογραμμής τα 36 χιλιόμετρα (Αναγνώστου & Παπαθανασίου 1994).

Στο Μαλιακό κόλπο εκφορτίζεται το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Σπερχειού (συνολικής έκτασης 2,116 τετραγωνικών χιλιομέτρων, Κακαβάς 1984) μαζί με μεγάλους όγκους φερτών υλών που αποτίθενται στα όρια της χέρσου με τη θάλασσα και διασπείρονται στον πυθμένα του κόλπου. Μέσω της επιφανειακής απορροής του Σπερχειού ποταμού εισέρχονται ετησίως στο Μαλιακό κόλπο 501.1 X 10⁶ κυβικά μέτρα γλυκού νερού (Κακαβάς 1984) ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για τον όγκο των γλυκών νερών των εφήμερων ποταμοχείμμαρων που εκφορτίζουν απευθείας στο Μαλιακό. Η μέση ετήσια ροή στις εκβολές φτάνει τα 63 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (Πούλος 1997) ενώ σύμφωνα με υπολογισμούς των Κουτσογιάννη και συνεργατών (1995) κάθε 10 χρόνια αναμένεται να υπάρχει πλημμυρική παροχή στις εκβολές του Σπερχειού της τάξης των 1500 κυβικών μέτρων νερού ανά δευτερόλεπτο. Η τιμή αποτελεί μια στατιστική πρόγνωση βασισμένη σε μικρό όγκο δεδομένων και ως εκ τούτου περιέχει σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Ωστόσο αναφέρεται ενδεικτικά επειδή η πλημμυρική παροχή ενός ποταμού είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση των επιδράσεων του στο δέλτα και τη θαλάσσια περιοχή που τροφοδοτεί.



Εικόνα 2.1. Ο Μαλιακός κόλπος, περιοχή μελέτης της παρούσας διατριβής.

Σύμφωνα με στοιχεία του Αριστοτέλειου Παν/μίου, από τα 2,656,000 κυβικά μέτρα φερτών υλών που παράγονται κατ'έτος στη λεκάνη του Σπερχειού, το 43 και 21% διευθετείται στο δέλτα και στον υποθαλάσσιο χώρο, αντίστοιχα (Κωτούλας 1987). Η μεγαλύτερη ποσότητα της στερεοπαροχής του ποταμού, 2,100 τόνοι περίπου, εκβάλλεται στη θάλασσα ως αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη ενώ πολύ μικρότερες ποσότητες φτάνουν στον υποθαλάσσιο χώρο με σύρση ή ως διαλυμένο υλικό (Πούλος 1997). Στοιχεία για τη στερεομεταφορά από τους εφήμερους ποταμοχείμαρρους που δεν εντάσσονται στο υδρογραφικό δίκτυο του Σπερχειού, δεν υπάρχουν προς το παρόν. Πιστεύεται όμως ότι οι φερτές ύλες που μεταφέρουν διευθετούνται πρωτίστως στις ακτές και συντελούν στη δημιουργία προσχωσιγενών κώνων που περιορίζουν πλευρικά, και κυρίως νότια, το Μαλιακό κόλπο (Αναγνώστου & Παπαθανασίου 1994). Τελικά, η προσχωσιγενής δράση του Σπερχειού και των ποταμοχείμμαρων του έχει σαν αποτέλεσμα: 1) το σχηματισμό πελματοειδών δελταϊκών διεισδύσεων της χέρσου στη θάλασσα, 2) το πολύ μικρό βάθος στον Εσωτερικό Μαλιακό κόλπο και 3) τη σταδιακή επέλαση της χέρσου επί της θάλασσας (Εικόνα 2.2) με ρυθμούς που για την περίοδο 1943-1971 υπολογίστηκε ότι ανέρχονται στα 0.235 τετραγωνικά χιλιόμετρα ανά έτος (Κωτούλας 1987).

Οι συγκεντρώσεις θρεπτικών κοντά στις εκβολές του Σπερχειού παρουσιάζουν μέγιστα την άνοιξη αλλά είναι χαμηλότερες συγκρινόμενες με τις συγκεντρώσεις σε άλλα ποτάμια της Ελλάδας (Kormas 1999). Τα επίπεδα χλωροφύλλης α στην εκβολή αυξάνονται σημαντικά το καλοκαίρι ενώ το ποσοστό της βιοδιαθέσιμης αιωρούμενης ύλης φτάνει μόλις το 1.1% της οργανικής αιωρούμενης ύλης (Kormas 1999).

Στην περιοχή του Μαλιακού κόλπου οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 7 (Ιανουάριος) έως 28°C (Ιούλιος) (Στοιχεία από χρονοσειρές της ΕΜΥ στο σταθμό της Λαμίας από 1931-1940 και 1956-1981). Σύμφωνα με στοιχεία του ΕΚΘΕ (1994), μέσω βροχοπτώσεων κυρίως αλλά και χιονοπτώσεων, φαινόμενα που είναι πιο έντονα από τους μήνες Σεπτέμβριο έως και Απρίλιο, φτάνουν απευθείας στο Μαλιακό κόλπο ετησίως 120 Χ 10⁶ κυβικά μέτρα νερού, περίπου. Όσον αφορά το ανεμολογικό καθεστώς της περιοχής, το 96% των ανέμων σε ετήσια βάση είναι ασθενείς έως μέτριοι όλων των κατευθύνσεων ενώ όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι εντάσεως πάνω από 5 Μποφόρ έχουν Βορειοδυτική και Δυτική κατεύθυνση, σύμφωνα με το άξονα της κοίτης του Σπερχειού (ΕΚΘΕ 1994).

Η κυκλοφορία των υδάτων στο Μαλιακό κόλπο σχετίζεται με παλίρροιες στις οποίες οφείλονται οι κινήσεις εισόδου των θαλάσσιων μαζών του Αιγαίου προς το Β. Ευβοϊκό (φάση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης) και η αντίθετη κυκλοφορία με έξοδο των νερών του Β. Ευβοϊκού μέσω του Διαύλου των Ωρεών. Αυτή η κυκλοφορία επηρεάζει την κατανομή των ρευμάτων στο Μαλιακό κόλπο, με αποτέλεσμα στη διατομή Χιλιομίλι – Βελάς το παλιρροιακό ρεύμα να φτάνει τα 10 εκατοστά / δευτερόλεπτο (Krestenitis 2000). Σχηματικά και απλοποιημένα, η κυκλοφορία των υδάτων στο Μαλιακό κόλπο δίνεται στην Εικόνα 2.2 (από Χριστιανίδη 1992).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν ως τώρα η στήλη του Εσωτερικού Μαλιακού παρουσιάζει ένα υπόπυκνο επιφανειακό στρώμα κατά τους χειμερινούς μήνες, λόγω της τροφοδοσίας της περιοχής με τα γλυκά νερά του Σπερχειού (ΕΚΘΕ 1994). Κατά την ίδια περίοδο έχει παρατηρηθεί έξοδος υδάτινων μαζών χαμηλότερης αλατότητας προς το Β. Ευβοϊκό κόλπο (Χριστιανίδης 1992). Στην αρχή του καλοκαιριού η στήλη παρουσιάζει θερμοκρασιακή στρωμάτωση ενώ κατά το υπόλοιπο του έτους είναι ομογενοποιημένη οπότε διευκολύνεται η είσοδος των νερών του Αιγαίου στον Εξωτερικό Μαλιακό και στη συνέχεια στο Β. Ευβοϊκό (ΕΚΘΕ 1994).



Εικόνα 2.2. Απλοποιημένο διάγραμμα της κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών στο Μαλιακό κόλπο (από Χριστιανίδη, 1992).

Οι υδάτινες μάζες του Μαλιακού κόλπου είναι καλά οξυγονωμένες καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, ακόμη και κατά τους μήνες που η στήλη παρουσιάζει κάθετη στρωμάτωση (Παπαθανασίου 1992, Kormas *et al.* 1997, 1998). Οι συγκεντρώσεις θρεπτικών, της σωματιδιακής αιωρούμενης ύλης και της χλωροφύλλης *a* είναι υψηλότερες στον Εσωτερικό Μαλιακό από ότι στον Εξωτερικό και κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες (Christou *et al.* 1995, Kormas *et al.* 1997, 1998, Psyllidou-Giouranovits *et al.* 1997, Anagnostou *et al.* 2000). Αν και οι τιμές των παραμέτρων αυτών είναι γενικά υψηλές σε σχέση με τις μέσες τιμές που παρατηρούνται σε διάφορες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, δεν είναι κατά κανόνα υψηλότερες συγκρινόμενες με άλλες περιοχές με υψηλές εισροές θρεπτικών (Christou *et al.* 1995). Οι πληθυσμοί των βακτηρίων, των πρωτόζωων και του φυτοπλαγκτού ακολουθούν τα πρότυπα κατανομής των φυσικών παραμέτρων της στήλης, δηλαδή μειώνονται από τις εκβολές προς τα όρια του Εξωτερικού Μαλιακού και από το χειμώνα προς το καλοκαίρι (Christou *et al.* 1995, Kormas *et al.* 1998). Αντίθετα, οι ζωοπλαγκτονικοί πληθυσμοί του Μαλιακού, με βάση τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έως τώρα, δεν παρουσιάζουν συγκεκριμένα πρότυπα κατανομής στο χώρο (Christou *et al.* 1995, Kormas *et al.* 1997).

Ο βυθός του Μαλιακού κόλπου χαρακτηρίζεται από μεγάλη ομοιομορφία, με την επικράτηση των ιλυοαργιλλωδών ιζημάτων στο μέτωπο του δέλτα και τις προδελταϊκές περιοχές και της αμμώδους ιλύος στις κορυφαίες αποθέσεις (ΕΚΘΕ 1994, Poulos *et al.* 1996). Προκαταρκτικές μελέτες στο ζωοβένθος υποδεικνύουν συγκριτικά χαμηλές αφθονίες και την επικράτηση ειδών που αναφέρονται ως δείκτες αστάθειας και ολιγοτροφισμού (Zenetos *et al.* 1991, Παπαθανασίου 1992, ΕΚΘΕ 1994, Kormas *et al.* 1997). Στο σκληρό υπόστρωμα των ακτών του Μαλιακού αλλά και στις προβλήτες του λιμανιού της Στυλίδας και στις διάφορες μαρίνες που έχουν κατασκευαστεί στον κόλπο, υπάρχουν τεράστιοι πληθυσμοί μυδιών (*Mytilus galloprovincialis*) των οποίων η πυκνότητα φτάνει τα 3,139 άτομα ανά τετραγωνικό μέτρο (Kormas *et al.* 1997). Η, δε, παραγωγή οστρακοειδών θεωρείται από τις υψηλότερες στην Ελλάδα (Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος, <u>www.minenv.gr</u>). Αναφορικά με το φυτοβένθος, συνθήκες ευτροφισμού και υποβάθμισης μαρτυρούν οι φυτοκοινωνίες του σκληρού

υποστρώματος της παράλιας ζώνης στην Αγία Μαρίνα και τη Στυλίδα ενώ στα αβαθή των ακτών του Δ. Μαλιακού υπάρχουν μεγάλα και πυκνά λιβάδια του αγγειόσπερμου *Cymodocea nodosa* (Chryssovergis & Panayotidis 1995). Τέλος, η αλιευτική παραγωγή του κόλπου θεωρείται σημαντική και συνδέεται κυρίως με το γεγονός ότι ο Εσωτερικός Μαλιακός αποτελεί τροφικό καταφύγιο και νηπιοτροφείο για πολλά είδη ψαριών. Για το λόγο αυτό, ο Εσωτερικός Μαλιακός τελεί υπό καθεστώς περιορισμού της αλιείας.

Βόρεια του στομίου εκβολής του Σπερχειού βρίσκεται το Λιβάρι, μια περιοχή με γαρακτηριστικά λιμνοθάλασσας, συνολικής έκτασης 500 εκταρίων και μέγιστου βάθους 5 μέτρα (Εικόνα 2.1). Το Λιβάρι αποτελεί νηπιοτροφείο για τα νεαρά ψάρια της περιοχής και τελεί υπό καθεστώς προστασίας. Η περιοχή αυτή γειτνιάζει με τον Υγροβιότοπο του Μαλιακού κόλπου που καταλαμβάνει 10,000 εκτάρια περίπου στις νότιες εκτάσεις του δελταϊκού πεδίου του Ο υγροβιότοπος αυτός αποτελεί το σημαντικότερο σταθμό διαγείμασης της Σπεργειού. ορνιθοπανίδας στην ανατολική πλευρά της ελληνικής χερσονήσου (Κιλικίδης & συνεργάτες, 1993). Μεγάλο μέρος του αποτελείται από ρυζοκαλλιέργειες. Στον Υγροβιότοπο του Μαλιακού διακρίνονται μερικές από τις γεωτοπικές ζώνες ενός δέλτα, που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 1.1: αμμώδεις νησίδες στην κοίτη και τις εκβολές, αλίπεδα στο προσχωσιγενές πεδίο, λασπώδεις παραλίες (mudflats), εγκαταλειμμένες κοίτες ποταμού (Ρίζος 1994). Η γλωρίδα του υγροβιότοπου περιλαμβάνει μεταξύ πολλών άλλων, τα είδη Phragmites australis (νεροκάλαμο), Juncus spp. (νερόβουρλα) και Potamogeton spp. (ποταμογείτονες). Φιλοξενεί δε, πολλά μεταναστευτικά γαραδριόμορφα και αρκετά αρπακτικά είδη πουλιών, ερωδιούς και πάπιες. Από τις τελευταίες, το είδος Aythya ferina (κοκκινοκέφαλη) ζει και τρέφεται στα ρηγά θαλάσσια νερά του μετώπου του δέλτα του Σπερχειού (Κιλικίδης & συνεργάτες 1993).

Ένα ακόμη ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιοχής, που δεν έχει όμως μελετηθεί καθόλου, είναι η παρουσία υδροθερμικής δραστηριότητας, που συνδέεται με τις αναβλύσεις θερμών υδάτων στις Θερμοπύλες και την εκδήλωση ηφαιστειακής δραστηριότητας στα Λιχαδονήσια στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα στο Μαλιακό κόλπο και στο Δέλτα του Σπερχειού είναι αξιόλογη, αν κρίνει κανείς από τα πληθυσμιακά μεγέθη των γύρω οικιστικών κέντρων και τηρουμένων των αναλογιών (π.χ. Στυλίδα: 6,000 κάτοικοι, Λαμία: 44,000 κάτοικοι, Οικισμοί στις παρυφές του Δέλτα του Σπερχειού: 9,000 κάτοικοι). Συγκεκριμένα, στο Σπερχειό ποταμό και τους παραπόταμους του κατέληγαν, μέχρι πριν λίγα χρόνια με μικρή ή χωρίς επεξεργασία, 1. τα αστικά λύματα διαφόρων κοινοτήτων που βρίσκονται στην πεδιάδα της Μακρακώμης (Μακρακώμη, Σπερχειάδα, Υπάτη) και της πόλης της Λαμίας 2. τα βιομηχανικά απόβλητα διαφόρων μονάδων που είναι εγκατεστημένες πλησίον των όχθων του ποταμού (Χαρτοποιία Φθιώτιδας, Βιομηχανία Βαφής Υφασμάτων, διάφορα ελαιοτριβεία, Μεταλλουργική βιομηχανία SOULIS, Αγροτική Βιομηχανία Γάλακτος Λαμίας) και 3. τα γεωργικά απόβλητα (λιπάσματα, φυτοφάρμακα) που προέρχονται από την αποστράγγιση και απόπλυση των καλλιεργούμενων εδαφών στη λεκάνη απορροής. Απευθείας στο Μαλιακό κόλπο απορρίπτονται (ή απορρίπτονταν μέχρι πρόσφατα στις περισσότερες των περιπτώσεων) τα απόβλητα της βιομηχανίας ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΚΗ, της χαρτοποιίας ΠΑΚΟ, της βιομηχανίας παραγωγής καλωδίων και διαφόρων Τέλος, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, στο λιμάνι της Στυλίδας είναι ελαιουργείων. εγγεγραμμένα 322 μικρά αλιευτικά σκάφη (Ιπποδύναμη 7-150 HP, 4-12 μέτρα μήκος) που αντιστοιχούν σε 700 αλιείς (www.minenv.gr) ενώ έχει ήδη αρχίσει η εγκατάσταση υδατοκαλλιεργητικών μονάδων (στην περιοχή Αγ. Σεραφείμ Λοκρίδας, Εξωτερικός Μαλιακός) και η επένδυση στην οστρακοκαλλιέργεια (Εσωτερικός Μαλιακός). Τέλος, οι ακτές του Μαλιακού μόλις μέσα στη τελευταία δεκαετία αξιοποιούνται τουριστικά, με κατασκευή μαρίνων, λιμενοβραγιόνων κλπ. παραπλεύρως μικρών ξενοδογειακών συγκροτημάτων.

Παρόλα αυτά, οι διεξοδικές μελέτες που έλαβαν χώρα την τελευταία δεκαετία με αντικείμενο την περιεκτικότητα των ιζημάτων και της στήλης σε βαρέα μέταλλα και ενώσειςδείκτες οργανικής ρύπανσης, κατέληξαν στο χαρακτηρισμό τόσο των ιζημάτων (ΕΚΘΕ 1994, Anagnostou *et al.* 2000) όσο και της στήλης (Psyllidou-Giouranovits *et al.* 1997) του Μαλιακού κόλπου ως «μη επιβαρημένων». Αξίζει να σημειωθεί ότι η μελέτη του βενθικού οικοσυστήματος σε σχέση με το εξαιρετικά μεταβαλλόμενο φυσικό περιβάλλον και τις ποικίλες ανθρωπογενείς δράσεις στο Μαλιακό κόλπο, δεν έχει ως τώρα προσεγγιστεί μεθοδικά και εντατικά. Η εκτενής ανασκόπηση των στοιχείων που είναι ως τώρα γνωστά για το Μαλιακό κόλπο, συμβάλλει στην κατανόηση του θεμελιώδους ερωτήματος της παρούσας διατριβής: «τι μπορεί να μας πει το βένθος για ένα τόσο πολύπλοκο οικοσύστημα». Το θέμα αυτό όμως θα αναπτυχθεί εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια.

2.2 Τακτική Δειγματοληψίας – Πειραματικός Σχεδιασμός

Κατά κοινή ομολογία, η εξέλιξη του πειραματικού σχεδιασμού στις Θετικές Επιστήμες διευκολύνθηκε από τη χρήση του λογικού αναλυτικού πλαισίου των μοντέλων ανάλυσης διασποράς (Underwood 1981, 1997, Legendre & Legendre 1998). Ειδικότερα για τους διάφορους κλάδους της Βιολογίας, η εφαρμογή των μοντέλων αυτών καλύπτει από θεμελιώδη ερωτήματα, όπως εάν διαφέρουν μεταξύ τους οι μέσες τιμές μιας μεταβλητής από πολλά δείγματα ως προς έναν παράγοντα, μέχρι πολύπλοκα προβλήματα, όπως η μελέτη των επιδράσεων πολλών παραγόντων και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων σε μία ή σε πολλές μεταβλητές (Underwood 1997).

Η ισχύς κάθε μιας από τις υποθέσεις εργασίας που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1.4 διερευνήθηκε μέσω της εφαρμογής ενός ξεχωριστού δειγματοληπτικού πλάνου. Κάθε πλάνο δειγματοληψίας σχεδιάστηκε με βάση το κατάλληλο πειραματικό μοντέλο ανάλυσης διασποράς. Κάποιοι από τους σταθμούς είναι κοινοί ανάμεσα στα διαφορετικά πλάνα, γεγονός που εξυπηρέτησε την ελάχιστη απώλεια δυνάμεων, χρήματος και χρόνου για μια δεδομένη δειγματοληπτική επίσκεψη. Έτσι, η συλλογή των στοιχείων της παρούσας μελέτης βασίστηκε στον παρακάτω σχεδιασμό δειγματοληψίας: Το πρώτο δειγματοληπτικό πλάνο αντιστοιχεί στην Πρώτη Υπόθεση η οποία περιέχει δύο σκέλη (Κεφάλαιο 1.4). Σχεδιάστηκε έτσι ώστε να διερευνηθεί η υπόθεση ότι η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας καθορίζεται από τη χωρική μεταβλητότητα του φυσικού περιβάλλοντος του Μαλιακού κόλπου. Για το σκοπό αυτό τα δείγματα συλλέχθηκαν από 8 σταθμούς, οι μισοί από τους οποίους βρίσκονται στον Εσωτερικό και οι υπόλοιποι στον Εξωτερικό Μαλιακό (Εικόνα 2.3) κατά τη διάρκεια τεσσάρων δειγματοληπτικών περιόδων: τον Αύγουστο και Νοέμβριο 2000, Φεβρουάριο και Μάιο 2001.



Εικόνα 2.3. Σταθμοί δειγματοληψίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Οι θέσεις των περισσότερων σταθμών του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου, επελέγησαν με βάση τους όρους της περιβαλλοντικής μελέτης του ΥΠΕΧΩΔΕ «Ποιότητα Υδάτων του Μαλιακού κόλπου». Συγκεκριμένα πρόκειται για τους

σταθμούς 1, 2, 3, 4, 5 και 6, οι οποίοι βρίσκονται σε βάθη που κυμαίνονται από 17.5 έως 22 μέτρα σε τυχαία σημεία κατά μήκος των ρευμάτων με κατεύθυνση από τον Εξωτερικό Μαλιακό προς την εκβολή (Εικόνα 2.2) καθώς και το σταθμό 7 (20 μέτρα βάθος), όπου οι θαλάσσιες μάζες έχουν την αντίθετη κατεύθυνση (Χριστιανίδης 1992). Οι όροι της μελέτης προέκυψαν από την πρόθεση να κατασκευαστεί υποθαλάσσια υφαλαύλακα για τη ζεύξη των Ακρ. Χιλιομίλι με το Ακρ. Βελάς και με σκοπό τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της επικείμενης κατασκευής. Ο σταθμός 8 (12 μέτρα βάθος) βρίσκεται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού κατά μήκος των ρευμάτων που έχουν κατεύθυνση προς τον Εξωτερικό Μαλιακό.

Οι στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων για το πρώτο σκέλος της υπόθεσης (ο Μαλιακός κόλπος νοείται ως ενιαία οντότητα), έγιναν χρησιμοποιώντας το Μοντέλο Ανάλυσης Διασποράς με ένα παράγοντα (one-way ANOVA), με το Σταθμό ως το μόνο (τυχαίο) παράγοντα για κάθε περίοδο δειγματοληψίας χωριστά. Το δεύτερο σκέλος της πρώτης υπόθεσης (εξετάζονται οι διαφορές μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού), ελέγχθηκε με βάση το Ιεραρχικό Μοντέλο (nested design) με δύο παράγοντες (Underwood 1997). Ο πρώτος παράγοντας (Περιοχή, Εσωτερικός ή Εξωτερικός Μαλιακός) είναι καθορισμένος (fixed) και εκφράζει τη μεταβλητότητα που ερμηνεύεται με βάση τις διαφορές ανάμεσα στον Εσωτερικό και Εξωτερικό Μαλιακό. Ο δεύτερος παράγοντας (Σταθμός) είναι τυχαίος και εκφράζει τη μεταξύ των σταθμών μεταβλητότητα στο χώρο σε κάθε υποπεριοχή του Μαλιακού χωριστά.

Η ονομασία των σταθμών προέκυψε από τον κωδικό κάθε σταθμού (1 έως 8), όπως χρησιμοποιήθηκε στην περιβαλλοντική μελέτη, και το αρχικό γράμμα του μήνα κατά τον οποίο διενεργήθηκε η δειγματοληψία (A, N, Φ, M).

 Το δεύτερο δειγματοληπτικό πλάνο αντιστοιχεί στη Δεύτερη Υπόθεση. Στόχος της δειγματοληψίας δηλαδή ήταν να διερευνηθούν τα αποτελέσματα της διατάραξης λόγω της στερεοπαροχής (φορτίο πυθμένα και αιωρούμενο φορτίο) του Σπερχειού ποταμού στη δομή της βιοκοινωνίας γύρω από την εκβολή. Έτσι, σε αποστάσεις του ενός ναυτικού μιλίου και δύο ναυτικών μιλίων από το στόμιο της εκβολής του Σπερχειού λήφθηκαν δείγματα από 4 σταθμούς περιμετρικά της εκβολής με τρεις επαναλήψεις (Εικόνα 2.4). Οι δειγματοληψίες διενεργήθηκαν 4 φορές κατά τη διάρκεια του έτους 2000 και συγκεκριμένα τους μήνες Ιανουάριο, Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο 2000. Τα βάθη των σταθμών στην πρώτη απόσταση κυμαίνονται από 7.5 έως 17.5 μέτρα ενώ στη δεύτερη απόσταση από 12.5 έως 22 μέτρα. Η δεύτερη απόσταση αντιστοιχεί περίμετρικά της εκβολής. Προκειμένου να αντιστοιχούν τα δείγματα από κάθε σταθμό σε ανεξάρτητες στο χρόνο δειγματοληπτικές μονάδες (replicates) για κάθε απόσταση, οι μέσοι όροι των τριών επαναλήψεων από κάθε σταθμό θεωρήθηκαν ως επαναλήψεις για την εκτίμηση του μέσου όρου της απόστασης σε κάθε εποχή. Με άλλα λόγια σε κάθε απόσταση πάρθηκαν 4 επαναλήψεις, που αντιστοιχούν σε 4 σταθμούς.



Εικόνα 2.4. Σταθμοί δειγματοληψίας του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου και ισοβαθείς καμπύλες στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Τα κλειστά τετράγωνα αντιστοιχούν στους σταθμούς που βρίσκονται στην απόσταση 1 μιλίου από την εκβολή. Τα ανοιχτά τετράγωνα αντιστοιχούν στους σταθμούς που βρίσκονται στην απόσταση 2 μιλίων από την εκβολή.

Η τακτική αυτή εφαρμόστηκε να αποφευχθούν προβλήματα για ψευδοεπαναληψιμότητας (Underwood 1997) στον πειραματικό σχεδιασμό και τις οικολογικές ερμηνείες που θα προκύψουν. Εάν για παράδειγμα, οι σταθμοί ήταν στην ίδια θέση σε κάθε Εποχή, τότε οι δειγματοληπτικές μονάδες για τον παράγοντα Εποχή δε θα ήταν ανεξάρτητες από αυτές για τον παράγοντα Σταθμό, οπότε θα υπήρχε ασάφεια στη απόδοση του στατιστικού σφάλματος (residual error). Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει τρόπος να διακριθεί η μεταβλητότητα που προκύπτει από τυχαίες διακυμάνσεις των μεταβλητών ως προς την Απόσταση από αυτήν που οφείλεται στον παράγοντα Εποχή ή στην αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων. Η κατάσταση αυτή ονομάστηκε από το Hurlbert (1984) ψευδοεπαναληψιμότητα (pseudoreplication) και στην πρόσφατη βιβλιογραφία είναι συνώνυμη του όρου confounding (επισκίαση) (Underwood 1997). Επομένως θεωρώντας το σταθμό ως τυχαία επαναληπτική μονάδα, αποφεύγεται ένα σημαντικό στρατηγικό σφάλμα.

Το δεύτερο πλάνο σχεδιάστηκε με βάση το Παραγοντικό Μοντέλο με δύο παράγοντες ορθογώνιους μεταξύ τους (Underwood 1997). Ο πρώτος παράγοντας είναι η Απόσταση, είναι καθορισμένος (fixed), με δύο επίπεδα (1 και 2 ναυτικά μίλια) και 4 επαναλήψεις στο καθένα. Εκφράζει δε τη μεταβλητότητα που οφείλεται στην

απόσταση από την εκβολή. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η Εποχή με τέσσερα επίπεδα (καθορισμένος παράγοντας) και 4 επαναλήψεις. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων εκφράζει τις μεταβολές που οφείλονται στην Απόσταση ανάλογα με την Εποχή και το αντίστροφο. Προφανώς, εάν η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων είναι στατιστικά σημαντική, δε έχει οικολογικό νόημα ο έλεγχος της σημαντικότητας των επιδράσεων κάθε παράγοντα ξεχωριστά (Underwood 1997).

Οι κωδικοί των σταθμών περιλαμβάνουν ένα γράμμα σαν εμπρόθετο προσδιορισμό, που αντιστοιχεί στο μήνα δειγματοληψίας (Ι: Ιανουάριος, Μ: Μάιος, Α: Αύγουστος, Ν: Νοέμβριος) και δύο ψηφία. Το πρώτο, αντιστοιχεί στην Απόσταση (1 ή 2), και το δεύτερο, στο Σταθμό (1, 2, 3 ή 4). Έτσι, στην πρώτη απόσταση βρίσκονται οι σταθμοί 11, 12, 13 και 14 ενώ στη δεύτερη οι σταθμοί 21, 22, 23 και 24.

 Το τρίτο δειγματοληπτικό πλάνο αντιστοιχεί στην Τρίτη Υπόθεση Εργασίας και διερευνά τη δομή κατά μεγέθη της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας και τη σχέση της με τη βιοδιαθεσιμότητα της οργανικής ύλης στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά στρώματα του ιζήματος καθώς και με την ολική βενθική μεταβολική δραστηριότητα.

Για το σκοπό αυτό, δείγματα συλλέχθηκαν από 4 σταθμούς στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Έτσι ο σταθμός ΕΟ βρίσκεται πολύ κοντά στο στόμιο εκβολής του Σπερχειού σε βάθος που ανάλογα με την εποχή κυμάνθηκε από 2 έως 4 μέτρα, ο σταθμός Ε2 βρίσκεται σε απόσταση ενός μιλίου από την εκβολή σε βάθος που κυμάνθηκε από 7.5 έως 10 μέτρα και οι σταθμοί Ε3 και Ε4 βρίσκονται στις παρυφές του μετώπου του Δέλτα σε απόσταση 2 μιλίων από την Εκβολή σε βάθη 12 και 22 μέτρα, αντίστοιχα (Εικόνα 2.5). Όλοι οι σταθμοί, εκτός αυτού που βρίσκεται στο στόμιο εκβολής, βρίσκονταν νότια της εκβολής επειδή στις βόρειες περιοχές έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα διάβρωσης. Τα δείγματα του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου ελήφθησαν κατά τους μήνες Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο 2000 και Φεβρουάριο, Μάιο 2001. Ο πειραματικός σχεδιασμός βασίστηκε στο Ιεραρχικό Μοντέλο με δύο τυχαίους παράγοντες (Underwood 1997). Ο πρώτος παράγοντας είναι ο Σταθμός, με 4 επίπεδα, όσα δηλαδή οι σταθμοί δειγματοληψίας. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η Περίοδος Δειγματοληψίας, είναι τυχαίος και έχει πέντε επίπεδα που αντιστοιχούν στις δειγματοληπτικές επισκέψεις. Ο δεύτερος παράγοντας είναι ένθετος (nested) στον πρώτο παράγοντα. Οι κωδικοί των σταθμών περιλαμβάνουν εμπρόθετο προσδιορισμό του μήνα δειγματοληψίας (2000M, A, N, Φ, 2001M) και τον κωδικό του σταθμού (E0, E2, E3, E4).



Εικόνα 2.5. Σταθμοί δειγματοληψίας του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Ο σταθμός μέσα στο ποτάμι είναι ο σταθμός Π.

Δείγματα ιζήματος και στήλης ελήφθησαν επίσης μέσα στο ποτάμι, σε απόσταση 1 ναυτικού μιλίου από την εκβολή (σταθμός Π) και στο μέτωπο του Δέλτα σε απόσταση 1 μιλίου βορειοανατολικά της εκβολής (σταθμός Ε1, Εικόνα 2.5). Τα δείγματα ελήφθησαν τον Ιανουάριο 2000 και το Φεβρουάριο 2001 με σκοπό να πραγματοποιηθεί προκαταρκτική περιγραφή των βιοκοινωνιών που βρίσκονται γύρω από την εκβολή του Σπερχειού κατά την περίοδο των μέγιστων εκφορτίσεων.

2.3 Τεχνικές Πεδίου

2.3.1 Γενικά

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με την αλιευτική τράτα «Άγιος Σπυρίδων» μήκους 12 μέτρων με έδρα το λιμάνι της Στυλίδας. Το σκάφος αυτό διαθέτει σύστημα ηχοεντοπισμού (SONAR) με τη βοήθεια του οποίου καταγραφόταν το βάθος των σταθμών. Ο εντοπισμός των σταθμών γινόταν μέσω του συστήματος Global Positioning System (GPS) με δέκτη τύπου MAGELAN NAV 5000.

Με εξαίρεση τις δύο πρώτες αποστολές (Ιανουάριος και Μάιος 2000), οπότε οι εργασίες πεδίου διήρκεσαν μία ημέρα, οι ακόλουθες είχαν διάρκεια δύο ημερών. Η εκκίνηση γινόταν νωρίς το πρωί (6 π.μ.) από το λιμανάκι του Καραβόμυλου στα πλαίσια του εργασιών του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου και από το λιμάνι της Στυλίδας ή της Αγίας Μαρίνας στα πλαίσια των εργασιών του δεύτερου και τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Η δειγματοληψία στο σταθμό Π μέσα στο Σπερχειό, παρουσίασε δυσκολίες και σχετικό βαθμό επικινδυνότητας ως προς την προσέγγιση του μέσα από δύσβατα λασπώδη έλη του Δέλτα του Σπερχειού, καθώς η μετάβαση στην περιοχή δειγματοληψίας γινόταν με οχήματα τύπου ΙΧ που δε διέθεταν σύστημα 4X4.

Η ρουτίνα της δειγματοληψίας οργανώθηκε έτσι ώστε να βοηθήσει στην γρήγορη και σωστή επεξεργασία των δειγμάτων στο πεδίο καθώς υπήρχες περιορισμός χρόνου για πρακτικούς και οικονομικούς λόγους. Για να μην υπερβαίνει η παραμονή σε κάθε σταθμό τη 1 ώρα τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

1. Προσέγγιση του σταθμού με τη βοήθεια του GPS και του συστήματος ηχοεντοπισμού του σκάφους.

2. Σταθεροποίηση του σκάφους με τη βοήθεια της άγκυρας

- 3. Πόντιση CTD και δίσκου του Secchi
- 4. Δειγματοληψία στήλης
- 5. Δειγματοληψία ιζήματος
- 6. Διαχωρισμός μακροπανίδας από ίζημα
- 7. Αναχώρηση για επόμενο σταθμό.

Μετά από κάθε δειγματοληψία, ο εξοπλισμός και τα δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο χημείας του Κέντρου Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Στυλίδας όπου εκτός από τη διήθηση των δειγμάτων νερού, γίνονταν έκπλυση του εξοπλισμού με γλυκό νερό και έλεγχος του ημερολογίου δειγματοληψίας.

2.3.2 Υδρολογικά στοιχεία

Σε κάθε σταθμό μετρήθηκαν επί τόπου οι παρακάτω περιβαλλοντικές παράμετροι: Διαύγεια νερού, Θερμοκρασία, Αλατότητα και Οπτική Επανασκέδαση ή Θολερότητα (Optical Backscatterance, OBS). Η διαύγεια μετρήθηκε με τη χρήση δίσκου του Secchi. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της θολερότητας συναρτήσει του βάθους έγιναν με τη χρήση CTD της Sea-Bird Electronics τύπου SBE 19-03. Κατά τη μέτρηση της Οπτικής Επανασκέδασης, υπέρυθρη ή ορατή ακτινοβολία διαπερνά το δείγμα νερού και ένα μέρος της επανασκεδάζεται εφόσον υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια στο δείγμα. Το σήμα ανιχνεύεται από μια σειρά φωτοδιόδων που χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η βαθμονόμηση έγινε με το υλικό φορμαζίνη και γι αυτό η μονάδα μέτρησης της θολερότητας στην παρούσα περίπτωση είναι σε mg/l φορμαζίνης ή FTU (Formazin Turbidity Units). Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων (Black & Rosenberg 1994) και θεωρείται ικανοποιητική όταν αυτό κυμαίνεται μεταξύ 200-400μm (Coner & De Visser 1990).

2.3.3 Συλλογή δειγμάτων νερού

Δείγματα νερού ελήφθησαν με χρήση πλαστικής φιάλης Limnos όγκου 5L σε τρία στρώματα της στήλης: την επιφάνεια (~0.5 m), τη μέση της στήλης του νερού (~10 m) και λίγο πάνω από τον πυθμένα (17 -20 m, ανάλογα με το μέγιστο βάθος του σταθμού). Η συλλογή του νερού έγινε για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των παρακάτω παραμέτρων: διαλυμένου οξυγόνου, χλωροφύλλης α και φαιοχρωστικών, ολικού αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού, οργανικού και ανόργανου αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού. Για την ανάλυση καθεμιάς από τις παραπάνω παραμέτρους στο εργαστήριο, με εξαίρεση την ανάλυση του δΟ₂, συλλέχθηκαν 500-750 ml νερού. Το νερό για κάθε ανάλυση χωριστά διηθήθηκε υπό κενό από φίλτρα ύαλου GF/F (διαμέτρου πόρων 0.7μm). Τα φίλτρα αποθηκεύτηκαν στη συνέχεια στους -20°C για χρονικό διάστημα μικρότερο από 3 εβδομάδες, διάστημα κατάλληλο για σχεδόν πλήρη ανάκτηση των βιομορίων (Weber *et al.* 1986).

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης διαλυμένου Οξυγόνου στη στήλη, δείγματα νερού ελήφθησαν μόνο από το βαθύτερο στρώμα της στήλης κοντά στον πυθμένα. Σε κάθε σταθμό το νερό τοποθετούταν σε γυάλινα φιαλίδια τύπου Wheaton όγκου 120 ml με τη βοήθεια ελαστικού σωλήνα έτσι ώστε να αποφευχθεί η εισροή αέρα μέσω φυσαλίδων και κλεινόταν αμέσως για να αποφευχθεί επιμόλυνση με ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Αμέσως μετά τοποθετούνταν με πιπέτα Gilson, 0.8 ml του θειικού μαγγανίου (αντιδραστήριο I) και ιωδιώδους νατρίου (αντιδραστήριο II), το μίγμα αναδευόταν και φυλασσόταν σε μέρος δροσερό για λίγες ώρες.

2.3.4 Δείγματα ιζήματος

Για τη συλλογή των δειγμάτων ιζήματος χρησιμοποιήθηκε ποσοτικός δειγματολήπτης βυθού (αρπάγη) τύπου PONAR δειγματοληπτικής επιφάνειας 0.05 m². Η αρπάγη τύπου PONAR κυκλοφόρησε στην αγορά για πρώτη φορά το 1966 για τη λήψη ποσοτικών και αδιατάρακτων δειγμάτων επι- και ενδοπανίδας από τους λασπώδεις βυθούς λιμνών και από λασπώδη υποστρώματα γενικότερα. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της ερευνητικής ομάδας «Great Lakes" του Πανεπιστημίου του Michigan και πήρε το όνομα του από τα αρχικά των ερευνητών-κατασκευαστών του: CE Powers, RA Ogle, VE Noble, JC Ayers και A Robertson (Powers & Robertson 1967). Όσον αφορά τα τεχνικά της χαρακτηριστικά, η αρπάγη αυτή αποτελείται από δύο αντιτασσόμενες ημικυκλικές σιαγόνες οι οποίες αρχικά διατηρούνται ανοιχτές με ένα σύστημα σκανδάλης. Κατά τη χρήση του, ο δειγματολήπτης ποντίζεται με τη σκανδάλη οπλισμένη, οπότε όταν έρχεται σε επαφή με τον πυθμένα η σκανδάλη απελευθερώνεται και οι σιαγόνες κλείνουν παγιδεύοντας το δείγμα ιζήματος. Για την αποφυγή

έκπλυσης των ιζημάτων και τη διατήρηση της επιφάνειας τους αδιατάρακτης κατά την ανάκτηση του δείγματος στο σκάφος, ένα πολύ λεπτό μεταλλικό δίχτυ καλύπτει μέρος της επάνω επιφάνειας των σιαγόνων. Επιπλέον χάρη στα δικτυωτά πλαίσια που είναι τοποθετημένα στο επάνω μέρος του μειώνεται το ωστικό κύμα που δημιουργείται κατά την κάθοδο του οπότε επιτυγχάνεται μικρότερη διατάραξη της επιφάνειας του υποστρώματος και της επιπανίδας. Η επιφάνεια του PONAR εξαρτάται από το μέγεθος του ανοίγματος των σιαγόνων. Όταν η επιφάνεια είναι 0.055 τετραγωνικά μέτρα, το βάρος του δειγματολήπτη δεν είναι λιγότερο από 25 κιλά και ο όγκος του ιζήματος που συλλέγεται είναι περίπου 8.4 λίτρα, οπότε απαιτείται η χρήση βαρούλκου. Οι σιαγόνες κλείνουν και όταν το σκοινί ή σύρμα ανύψωσης χαλαρώνει γιαυτό κατά τη χρήση του το σκάφος πρέπει να είναι ακινητοποιημένο ή να επικρατούν σχετικά καλές καιρικές συνθήκες (Eleftheriou & Holme 1984). Η επιλογή αυτού του δειγματολήπτη για τις εργασίες δειγματοληψίας ενισχύθηκε από το γεγονός ότι το μικρό του μέγεθος διευκόλυνε τη διαδικασία των ποντίσεων από το μικρό αλιευτικό που γρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, οι ήπιες καιρικές συνθήκες που συνήθως επικρατούν στο Μαλιακό δεν προκάλεσαν προβλήματα κατά τη δειγματοληψία ενώ η φύση των ιζημάτων υπαγορεύει τη χρήση ενός τέτοιου δειγματολήπτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δειγματολήπτης αυτός θεωρείται ποσοτικός μόνο εφόσον η δειγματοληψία γίνεται στο κατάλληλο υπόστρωμα και τούτο επειδή ανάλογα με το υπόστρωμα ποικίλλει το βάθος διείσδυσης αυτού του δειγματολήπτη στο ίζημα. Άρα δεδομένης της ίδιας επιφάνειας μπορεί να συλλέγει κάθε φορά οργανισμούς με διαφορετικό βάθος διείσδυσης και να αυξάνει το δειγματοληπτικό σφάλμα (Flannagan 1970, Hudson 1970). Τέλος, η αρπάγη τύπου Ponar θεωρείται κατάλληλη για την εκτίμηση των τάσεων της σχετικής αφθονίας στο χώρο και το χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των τάσεων, επί μεγάλης σειράς ετών, υπό συνθήκες ρύπανσης και γενικότερα όχλησης (Nalepa et al. 1988).

Συλλέχθηκαν τρία επαναληπτικά δείγματα ανά σταθμό. Κρατήθηκαν μόνο όσα δείγματα ανασύρθηκαν αδιατάρακτα και είχαν διεισδύσει πάνω από δέκα εκατοστά μέσα στο ίζημα. Σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας μετρήθηκε η θερμοκρασία του ιζήματος. Από κάθε δείγμα παίρνονταν δύο μικροί πυρηνολήπτες εσωτερικής διαμέτρου 2 εκατοστών έως βάθους 6

εκατοστών για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης και των χημικών παραμέτρων του ιζήματος. Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των χλωροπλαστικών χρωστικών, του ολικού οργανικού άνθρακα, των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων και των λιπιδίων πάρθηκαν δείγματα από τρία στρώματα του ιζήματος: 0-2 εκατοστά, 2-4 εκατοστά και 4-6 εκατοστά. Οι τομές γίνονταν επάνω στο σκάφος κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας και αμέσως φυλάσσονταν στους -20 °C για να λυοφιλιωθούν αμέσως μετά το πέρας κάθε δειγματοληψίας.

Το ίζημα από κάθε δείγμα τοποθετούταν σε μεγάλα πλαστικά δοχεία (κουβάδες), όπου διαλυόταν με την άσκηση ήπιας ανάδευσης έτσι ώστε να αποφευχθούν οι απώλειες τόσο ολόκληρων οργανισμών όσο και τμημάτων τους χρήσιμων στη ταξινομική τους αναγνώριση. Στη συνέχεια η μακροπανίδα διαχωριζόταν από τα λεπτόκοκκα κλάσματα του ιζήματος με κόσκινο με διάμετρο πόρων 0.5 χιλιοστά. Μετά το κοσκίνισμα προστέθηκαν σε κάθε δείγμα διάλυμα ουδετεροποιημένης φορμόλης 4 % για μονιμοποίηση και διάλυμα χρωστικής Ερυθρό της Βεγγάλης 1 % για εκλεκτική χρώση των ζωντανών οργανισμών.

Επώαση πυρήνων στο σκοτάδι: Στους σταθμούς Ε0, Ε2, Ε3 και Ε4 του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου έγιναν επωάσεις ιζήματος υπό σκοτεινές συνθήκες για την εκτίμηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας. Αρχικά πάρθηκαν δείγματα νερού (2 επαναλήψεις) με τις φιάλες Limnos από τη στρώση πυθμένα της στήλης για ανάλυση περιεκτικότητας οξυγόνου σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.3.3. Στη συνέχεια και αμέσως μετά πάρθηκαν δείγματα ιζήματος με πυρηνολήπτες από Plexiglas, εσωτερικής διαμέτρου 9.6 εκατοστά και μήκος 20 εκατοστά. Σε κάθε σταθμό η πυρηνοληψία γινόταν από δείγμα ιζήματος που συλλέχθηκε με προσεχτική βύθιση του πυρηνολήπτη μέχρι βάθους 10 εκατοστών σε αδιατάρακτο ίζημα που μόλις είχε συλλεχθεί με την αρπάγη. Αμέσως και με ήπιες προσεχτικές κινήσεις συμπληρωνόταν η στήλη ύψους 10 εκατοστών πάνω από το ίζημα με νερό, που είχε ήδη συλλεχθεί όπως περιγράφηκε προηγούμενα, και προσεχτικά σφραγίζονταν με ειδικές τάπες ώστε το σύστημα αυτό να επωάζεται αεροστεγώς και καλυπτόταν με μαύρες πλαστικές σακούλες για τη διατήρηση απόλυτα σκοτεινών συνθηκών. Το επόμενο βήμα περιελάμβανε την τοποθέτηση των πυρήνων

επώασης σε κουβάδες με συνεχώς ανανεούμενο θαλασσινό νερό μέσω της μάνικας του σκάφους ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία στα επίπεδα του θαλασσινού νερού. Η επώαση είχε διάρκεια 3-4 ώρες καθώς σε δοκιμές που υπερέβησαν τις 5 ώρες παρατηρήθηκε πλήρης απόσβεση του διαλυμένου οξυγόνου ενώ σε δοκιμές διάρκειας μικρότερης από 2 ώρες η κατανάλωση ήταν πολύ μικρή. Το υπερκείμενο νερό σε κάθε πυρηνολήπτη αναδευόταν με ειδικό μηχανισμό έτσι ώστε η περιεκτικότητα του σε διαλυμένο οξυγόνο να διατηρείται ομοιογενής. Το πείραμα τερματιζόταν με υποδειγματοληψία του υπερκείμενου νερού στους πυρήνες επώασης και την προσεχτική τοποθέτηση του σε φιαλίδια Wheaton όγκου 120 ml, προσθήκη των αντιδραστηρίων Ι και ΙΙ και ογκομέτρηση του υπόλοιπου νερού στον πυρήνα. Η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο του νερού πριν αρχίσει η επώαση αντιπροσωπεύει την αρχική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ενώ μετά το πέρας της επώασης, η περιεκτικότητα αντιστοιχεί στην τελική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Η μεταξύ τους διαφορά είναι η εκτίμηση της κατανάλωσης οξυγόνου από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας. Εάν το πείραμα έχει εκτελεστεί σωστά χωρίς δηλαδή να εμπλουτιστούν τα δείγματα με ατμοσφαιρικό οξυγόνο λόγω χειρισμών τότε η αρχική συγκέντρωση είναι πάντα μεγαλύτερη της τελικής τιμής αφού κατά τη διάρκεια μια επώασης υπό σκοτεινές συνθήκες οι βενθικοί οργανισμοί καταναλώνουν O2 για τις ενεργειακές τους ανάγκες ενώ οι μικροφυτοβενθικοί οργανισμοί λόγω απουσίας φωτός δεν είναι σε θέση να παράγουν Ο₂ μέσω φωτοσύνθεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους σταθμούς που είχε επιλεχθεί να γίνουν οι επωάσεις, η λήψη αυτών των δειγμάτων προηγούταν της λήψης δειγμάτων μακροπανίδας.

2.4 Τεχνικές Εργαστηρίου

2.4.1 Θερμοκρασία, Αλατότητα, Θολερότητα, Διαλυμένο Οξυγόνο

Στο εργαστήριο έγινε η ανάκτηση των κάθετων διαβαθμίσεων θερμοκρασίας, αλατότητας, θολερότητας από κάθε σταθμό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Με την εξαίρεση της αλατότητας, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (δO₂) είναι ίσως η πιο κοινή χημική μέτρηση που χρησιμοποιείται σε ωκεανογραφικές μελέτες. Για την ιστορία της μεθόδου, στην ωκεανογραφία χρησιμοποιείται μια τροποποίηση της κλασσικής μεθόδου του Winkler (1888). Ακόμη και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια, όπως άρχισε να συμβαίνει από τη δεκαετία του '60 και μετέπειτα, η βαθμονόμηση τους γίνεται με τη μέθοδο Winkler. Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου εκφράζονται γενικά σε milliM, mMoles/kg, mgatoms/litre ή ml/litre. Τιμές από 0 έως 13 ml/l συναντώνται στους ωκεανούς αλλά συνήθως το εύρος τιμών διαλυμένου οξυγόνου στα περισσότερα θαλάσσια οικοσυστήματα κυμαίνεται μεταξύ 4 και 9 ml/litre. Αν και η διαλυτότητα του οξυγόνου αυξάνει με τη μείωση της θερμοκρασίας και της αλατότητας, είναι οι βιολογικές διεργασίες που διαμορφώνουν αυτό το μεγάλο εύρος τιμών. Η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, για παράδειγμα, μπορεί να προκαλέσει υπερκορεσμό ενώ η αναπνοή των οργανισμών να καταναλώσει όλο το διαθέσιμο δΟ₂ σε κάποιες περιοχές.

Υπό ιδανικές συνθήκες, η μέθοδος Winkler είναι αρκετά ακριβής. Έχουν αναπτυχθεί τροποποιήσεις της μεθόδου που παρέχουν ακρίβεια 0.1% για συγκεντρώσεις δO2 ~5 ml/litre (Carpenter 1965a) και έχουν παραχθεί πίνακες διαλυτότητας οξυγόνου υπό διάφορες συνθήκες με ακρίβεια ~0.01 ml/litre (Murray & Riley 1969). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η τροποποίηση της μεθόδου Winkler για συνθήκες πεδίου (Carpenter 1965b), η οποία υπό την προϋπόθεση ότι εκπονείται με προσοχή μπορεί να έχει ακρίβεια καλύτερη και από 0.05 ml/litre συμπεριλαμβανομένων των τυπικών σφαλμάτων (τίτλος προτύπου διαλύματος) και των σφαλμάτων που οφείλονται σε «χειρισμούς». Γενικά, πριν τη χρησιμοποίηση ψηφιακών προχοΐδων και την κατάλληλη τροποποίηση της κλασσικής μεθόδου –χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην αναλυτική ακρίβεια –η ακρίβεια των μετρήσεων δΟ₂ στα πλαίσια ωκεανογραφικών μελετών έφτανε μόλις το 0.5 ml/litre (Carritt & Carpenter 1966). Μια δυσμενής συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι ότι είναι αδύνατο να γίνουν

συγκρίσεις στα δεδομένα χρονοσειρών, από περιοχές που είναι ίσως δύσκολο να επαναπροσεγγιστούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά τις τροποποιήσεις η μέθοδος δεν μπορεί να ανιχνεύσει διαφορές δΟ₂ μικρότερες από 0.15 ml/litre, όταν οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών είναι υψηλές, όταν υπάρχει υδρόθειο, όταν υπάρχει ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα και όταν υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα σε αναγωγικές ουσίες. Για την περίπτωση των χαμηλών συγκεντρώσεων συνιστάται η χρωματομετρική μέθοδος των Broenkow & Cline (1969) αν και η καλύτερη λύση είναι η χρήση αυτοματοποιημένων αναλυτικών μεθόδων τιτλοδότησης που βελτιώνουν την ακρίβεια, διευκολύνουν την καταγραφή των δεδομένων άμεσα στον Η/Υ και μειώνουν το άγχος του αναλυτή.

Στην παρούσα μελέτη, η τιτλοδότηση των δειγμάτων γινόταν σε διάστημα μικρότερο των 24 ωρών από τη δειγματοληψία. Η ανάλυση έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Χημείας του Τμήματος Βιολογίας στο Πανεπιστήμιο της Αθήνας. Γενικά η μέθοδος βασίζεται στην αρχή ότι με την προσθήκη διαλύματος θειικού μαγγανίου και αλκαλικού διαλύματος ιωδιούχων σε θαλασσινό νερό γνωστού όγκου, το δO₂ «παγιδεύεται» και κατακρημνίζεται ως τετρασθενές ένυδρο οξείδιο του μαγγανίου το οποίο με οξίνιση δρα σαν μέσο οξείδωσης προς απελευθέρωση ιωδίου από τα ιόντα ιωδίου. Το ιώδιο που εκλύεται ισοδυναμεί με το δO₂ που υπήρχε στο δείγμα και η συγκέντρωση του προσδιορίζεται με τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα θειοθειικού νατρίου. Ο αποχρωματισμός του γίνεται ορατός με τη χρήση αμύλου. Μετά την καταγραφή των ενδείξεων της προχοΐδας κατά τον αποχρωματισμό κάθε δείγματος, ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του δO₂ γίνεται με βάση την εξίσωση:

$$\delta O_2 (ml/l) = [(R-T)*559.8 / (RT-T)*(V\Phi-1.6)] - 0.015$$

όπου, R=όγκος θειοθειικού που καταναλώθηκε για την τιτλοδότηση του δείγματος

RT= όγκος θειοθειικού που καταναλώθηκε για την τιτλοδότηση του προτύπου διαλύματος

Τ=όγκος θειοθειικού που καταναλώθηκε για το τυφλό δείγμα και

VΦ=όγκος φιαλιδίου.

Με βάση τις τιμές που αντιστοιχούν στις αρχικές και τελικές συγκεντρώσεις δΟ₂ από τους πυρήνες επώασης, υπολογίστηκε η κατανάλωση O₂ / m² / ώρα, από τη διαφορά ανάμεσα στην αρχική και την τελική τιμή. Με αυτό τον τρόπο εκτιμάται η κατανάλωση οξυγόνου από το ίζημα μέχρι τα 10 cm περίπου μέσα στο ίζημα, η οποία αντιστοιχεί στην αερόβια αναπνοή των οργανισμών όλης της βενθικής βιοκοινωνίας (μικρόβια, μειοβένθος, μακροβένθος) και στην οξείδωση των αναγωγικών ουσιών (Υδρόθειο, δισθενή ιόντα μαγγανίου και σιδήρου, αμμώνιο) που παράγονται κατά την αναερόβια αναπνοή (Canfield *et al.* 1993). Εξαίρεση αποτελεί η διαδικασία της απονιτροποίησης κατά την οποία το N₂ που παράγεται δε συμμετέχει πλέον στις οξειδοαναγωγικές διεργασίες του ιζήματος. Για τη μετατροπή του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου από τη βενθική βιοκοινωνία σε ρυθμό οξείδωσης άνθρακα χρησιμοποιήθηκε το αναπνευστικό πηλίκο RQ=0.85 (Smith *et al.* 1974, Smith 1978). Το υπόλοιπο 0.15 αντιστοιχεί κυρίως σε απονιτροποίηση.

Είναι γεγονός ότι για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης η εκτίμηση του ολικού ρυθμού οξείδωσης οργανικού άνθρακα στο ίζημα βασίζεται στην παραδοχή ότι η κατανάλωση του O_2 γίνεται μόνο μέσω αερόβιας αναπνοής, αν και μετρήσεις των ρυθμών αναγωγής των θειικών ιόντων και των ιόντων μαγγανίου, σιδήρου και αμμωνίου δεν έχουν διεξαχθεί για να αποδειχθεί ότι όντως ο ρόλος τους στη ροή οξυγόνου στο ίζημα είναι μικρός. Είναι ωστόσο πιθανό ότι ο ρόλος των αναγωγικών διεργασιών είναι περιορισμένος στην περιοχή μελέτης, λόγω της αστάθειας του υποστρώματος που επιφέρει επαρκή διείσδυση του O_2 μέσα στο ίζημα. Πράγματι, δεν υπάρχουν ενδείξεις ανοξικών συνθηκών στα πρώτα ~15 εκατοστά ιζήματος, στα οποία εστιάζεται και η παρούσα μελέτη. Επιπλέον οι υψηλοί ρυθμοί εναπόθεσης οξειδίων του σιδήρου και μαγγανίου στα δελταϊκά περιβάλλοντα σε συνδυασμό με τα έντονα εναλλασσόμενα φαινόμενα διάβρωσης – ταφής, συντελούν στην διοχέτευση οξυγόνου στο ίζημα που επαρκεί για την οξείδωση των προϊόντων αναγωγής των οξειδίων μαγγανίου και σιδήρου (Canfield *et al.* 1993).

2.4.2 Χλωροπλαστικές χρωστικές: Χλωροφύλλη α (Chl a)-Φαιοχρωστικές α (Pheo)

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α αποτελεί δείκτη-κλειδί για την παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Ο προσδιορισμός των επιπέδων της παρέχει ένα μέτρο της βιομάζας και της παραγωγικότητας των μονοκύτταρων πρωτογενών παραγωγών της στήλης (φυτοπλαγκτόν) και του ιζήματος (βενθικά μικροφύκη). Το γεγονός ότι οι μικροσκοπικοί χλωροφυλλούχοι οργανισμοί των υδάτινων οικοσυστημάτων αποτελούν έναν από τον κυριότερους πυρήνες απορρόφησης του ατμοσφαιρικού CO₂ (Smil 1997, pp. 48-53), καταδεικνύει τη σπουδαιότητα μέτρησης της χλωροφύλλης στα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε μέτρηση τόσο της χλωροφύλλης α όσο και των ανενεργών παραγώγων της, χλωροφυλλίδιο α, φαιοφυτίνη α και φαιοφορβίδιο α, που το σύνολο τους αποκαλείται φαιοχρωστικές α. Ο ταυτόχρονος προσδιορισμός τους με το ενεργό μόριο υπαγορεύεται από το γεγονός ότι παρουσιάζουν παρόμοια χημική δομή και επομένως έχουν παρόμοιο φάσμα απορρόφησης. Έτσι, μέτρηση της απορρόφησης του δείγματος πριν και μετά από οξίνιση με HCl αποδίδει τη διαφορά ανάμεσα στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης α και των ανενεργών παραγώγων της.

Ο προσδιορισμός των φαιοχρωστικών στο ίζημα γενικά θεωρείται ως ένας χρήσιμος τρόπος να μελετηθεί η τροφική δυναμική των οικοσυστημάτων (Bianchi *et al.* 1991, Brotas & Plante-Cunny 1998). Τα φαιοφορβίδια α είναι δείκτες *in situ* βόσκησης ενώ ο λόγος Χλωροφύλλη α / (Φαιοχρωστικές + Χλωροφύλλη α = Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών) χρησιμοποιείται γενικά για να αποδώσει το φυσιολογικό καθεστώς των μικροβενθικών βιοκοινωνιών δηλαδή το ποσοστό αποικοδόμησης της χλωροφύλλης (Bianchi *et al.* 1998).

Η μέτρηση των χλωροπλαστικών χρωστικών γίνεται με φωτομετρικές (φασματοφωτομετρία και φθορισμομετρία) και με χρωματογραφικές μεθόδους (κυρίως υγρή

χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης - HPLC). Κατά τη μέθοδο προσδιορισμού της χλωροφύλλης με HPLC, ένα υποδείγμα εισάγεται σε στήλη ανάστροφου φάσεως και η συγκέντρωση των προϊόντων του διαχωρισμού υπολογίζεται από την απορροφητικότητα τους στα 440 nm με ακρίβεια 1 ‰. Θεωρείται η πιο σύγχρονη, αξιόπιστη και ακριβής μέθοδος προσδιορισμού των χλωροφυλλών και των παραγώγων τους (Mantoura & Llewellyn 1983). Από την άλλη μεριά, οι φωτομετρικές μέθοδοι μέτρησης της χλωροφύλλης αξιοποιούν την ιδιότητα του μορίου να απορροφά στο μήκος κύματος του μπλε φωτός και να εκπέμπει στο μήκος κύματος του κόκκινου φωτός. Με το φασματοφωτόμετρο μετράται η απορρόφηση του δείγματος στα 664 nm ενώ με το φθορισμόμετρο εκπέμπεται μια δέσμη φωτός στα 440 nm (μπλε φως) που διεγείρει τα μόρια χλωροφύλλης στο δείγμα και ανιχνεύεται η απορρόφηση των διεγερμένων μορίων στα 680 nm (κόκκινο). Ω_{ζ} γνωστόν, η σχέση αναλογίας ανάμεσα στην απορροφητικότητα και τη συγκέντρωση της χρωστικής στο δείγμα είναι γραμμική, οπότε με τη χρησιμοποίηση προτύπου καμπύλης από δείγματα γνωστής περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη προσδιορίζεται η άγνωστη συγκέντρωση δειγμάτων. Τα πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης του φθορισμόμετρου έναντι του φασματοφωτόμετρου έγκεινται στην ελάττωση του προβλήματος της αλληλοεπικάλυψης των φασμάτων απορρόφησης ανάμεσα στις χλωροφύλλες α , β και γ μεταξύ τους και με τη φαιοφυτίνη α, που είναι παράγωγο της χλωροφύλλης α. Η ακρίβεια όμως της μέτρησης εξαρτάται από την αναλογία χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β και χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη γ. Υπολογίστηκε, για παράδειγμα, ότι όταν η αναλογία χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη *b* είναι 5:1 η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α υποεκτιμάται κατά 5% (Arar 1994). Για το λόγο αυτό, η φθορισμομετρική μέθοδος συνιστάται στις περιπτώσεις που είναι γνωστή, έστω και κατά προσέγγιση, η κατά είδος σύνθεση των μικροφυκών στα δείγματα.

Η χρήση του κατάλληλου μέσου εκχύλισης έχει μεγάλη σημασία όχι μόνο για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των παραμέτρων αλλά και για τον προσδιορισμό της κατάστασης του οικοσυστήματος. Μερικοί διαλύτες επάγουν αποικοδόμηση της χλωροφύλλης με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των φαιοχρωστικών χωρίς όμως να αντανακλούν οι τιμές αυτές τα επίπεδα στο πεδίο. Για δείγματα ιζήματος, οι Buffan-Dubau & Carman (2000) έδειξαν ότι η χρήση ακετόνης ως διαλύτη σε συνδυασμό με ξήρανση ιζήματος σε λυοφιλιωτή και κατεργασία με υπερήχους κατά τη διάρκεια της εκχύλισης, βελτιώνουν σημαντικά την ανάκτηση της χλωροφύλλης και των παραγώγων της σε λιγότερο από 3 ώρες. Στόχος των χειρισμών κατά την εκχύλιση είναι να έρθουν σε επαφή με το διαλύτη τα κύτταρα που περιέχουν χλωροφυλλούχες χρωστικές για όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο.

Η εκχύλιση των χλωροπλαστικών χρωστικών στα δείγματα της παρούσας μελέτης έγινε με διάλυμα ακετόνης σε 90 % κ.ο. και 10% απιονισμένο νερό σε λυοφιλιωμένα δείγματα ιζήματος και στα φίλτρα από τα οποία διηθήθηκαν δείγματα νερού (Yentsch & Menzel 1963, Bowles *et al.* 1985, Buffan-Dubau & Carman 2000). Η ποσότητα της χλωροφύλλης α στα δείγματα προσδιορίστηκε φθορισμομετρικά σύμφωνα με τη μέθοδο των Yentsch & Menzel (1963) με τη χρήση φθορισμόμετρου τύπου Turner 112. Η ένδειξη του οργάνου πριν και μετά την προσθήκη 0.1 N HCl (οξίνιση) για τη συγκεκριμένη θύρα καταγράφηκε. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε με την εκχύλιση χλωροφύλλης α από το στέλεχος του είδους *Anacystis nidulans*. Με τη χρήση του κατάλληλου συντελεστή (40.3, de Jonge 1980), οι τιμές χλωροφύλλης α μετατράπηκαν σε ισοδύναμα άνθρακα.

2.4.3 Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη (ΑΣΥ)

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των ολικών και ανόργανων αιωρούμενων σωματιδίων στηρίχτηκε στη διαφορά βάρους προζυγισμένων φίλτρων πριν και μετά τη διήθηση γνωστού όγκου νερού αφενός, πριν και μετά την πλήρη καύση των φίλτρων αφετέρου. Πιο συγκεκριμένα: τα φίλτρα (Whatman GF/F 0,7 μm) που χρησιμοποιήθηκαν για τη διήθηση νερού προς προσδιορισμό της συγκέντρωσης των Ολικών Αιωρούμενων Σωματιδίων, είχαν προζυγιστεί αφού προηγουμένως είχαν παραμείνει για 3 ώρες στους 450 °C (Mook & Hoskin 1982) ώστε να γίνει πλήρης καύση των οργανικών ουσιών που περιέχονταν στο φίλτρο. Μετά τη

δειγματοληψία, τα φίλτρα ξηράθηκαν για 24 ώρες στους 60 °C και στη συνέχεια ζυγίστηκαν με ακρίβεια 0.0001g. Το καθαρό βάρος αντιστοιχεί στην ποσότητα της ολικής αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (ΑΣΥ) που περιέχεται στον όγκο νερού που διηθήθηκε. Κατόπιν, τα ξηραμένα φίλτρα αφού κάηκαν στους 450 °C για 3 ώρες, ζυγίστηκαν. Το βάρος αυτό αντιστοιχεί στην ποσότητα της αιωρούμενης σωματιδιακής ανόργανης ύλης (ΑΣΑΥ) ενώ η διαφορά ανάμεσα στην πρώτη τιμή βάρους και τη δεύτερη αντιπροσωπεύει την αιωρούμενη σωματιδιακή οργανική ύλη (ΑΣΟΥ).

2.4.4 Κοκκομετρική σύσταση ιζήματος

Για την ανάλυση της κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές που περιγράφονται από τον Buchanan (1984). Εν συντομία, μετά τον υγρό διαχωρισμό των αδρών κλασμάτων από την ιλύ και άργιλο, ακολουθεί διαδοχικός διαχωρισμός των κλασμάτων άμμου σε ξηρή φάση δια μέσου σειράς κόσκινων με διάμετρο πόρων 400, 280, 200, 140, 100, 71, 50 35.5, 25, 18, 12.5, 9 (Folk 1974) και οι ποσότητες ιζήματος που συγκρατούνται ζυγίζονται. Για τον προσδιορισμό της αναλογίας των λεπτόκοκκων κλασμάτων εφαρμόζεται η «ανάλυση πιπέτας», οπότε το μέγεθος των κόκκων υπολογίζεται με βάση την ταχύτητα κάθετης καθίζησης των κόκκων σε στήλη απιονισμένου νερού 1 λίτρου (Stoke's law). Οι τιμές των χαρακτηριστικών του ιζήματος προσδιορίζονται με τη βοήθεια των αθροιστικών καμπύλων βάρους ιζήματος που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο (κλάση μεγέθους) ως προς το λογάριθμο με βάση το 2 των κλάσεων μεγέθους των κόκκων του ιζήματος (αναφέρεται και ως τιμή φ, phi=log₂ (διάμετρος πόρων κόσκινου σε χιλιοστά). Υπολογίστηκαν τα εξής χαρακτηριστικά του ιζήματος με βάση τις αθροιστικές καμπύλες από κάθε σταθμό: το μέσο μέγεθος κόκκων (φ50), που υπολογίζεται από το γεωμετρικό μέσο της καμπύλης αθροιστικών συχνοτήτων. Αποτελεί κριτήριο του τύπου ιζήματος και συγκεκριμένα ισχύουν τα ακόλουθα:

φ<-1 χαλίκια, κροκάλες, κλπ

-1<φ<3.75 αμμώδες ίζημα,

3.75<φ<8 ιλυώδες ίζημα

φ>8 αργιλώδες ίζημα

2. ο συντελεστής ταξινόμησης (σ₁), που υπολογίζεται από την τυπική απόκλιση της καμπύλης αθροιστικών συχνοτήτων. Αποτελεί μέτρο της ομοιογένειας της κατανομής μεγεθών των κόκκων. Έτσι, τιμές μεγαλύτερες από 1 αντανακλούν ετερογένεια μεγεθών και φτωχή ταξινόμηση ενώ τιμές μικρότερες από 1 υποδηλώνουν ομοιογένεια μεγεθών κόκκων και επομένως καλή ταξινόμηση.

3. ο συντελεστής λοξότητας (sk₁), που υπολογίζεται ως η απόκλιση από τη συμμετρία της κωδωνοειδούς καμπύλης της κανονικής κατανομής. Ως εκ τούτου, αποτελεί μέτρο της επικράτησης ενός συγκεκριμένου κλάσματος μεγέθους κόκκων έναντι των υπολοίπων. Πιο συγκεκριμένα, ισχύουν τα ακόλουθα:

-1<sk1<-0.1, επικρατούν αδρά κλάσματα

-0.1<Sk1<0.1, συμμετρική κατανομή μεγέθους κόκκων

0.1<sk1<1, επικρατούν λεπτόκοκκα κλάσματα.

2.4.5 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC)

Η οργανική ύλη που περιέχεται στα ιζήματα αποτελείται κυρίως από βιογενή θρύμματα και σε μικρότερο βαθμό από ζωντανούς οργανισμούς (Pomeroy 1982). Στην πραγματικότητα αποτελείται από ένα μίγμα ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνονται τα λιπίδια, οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες, οι χρωστικές και οι λιγνίνες (Mortenson & Himes 1964). Έτσι, μια πλήρης ανάλυση της οργανικής ύλης στο ίζημα θα έπρεπε να περιλαμβάνει τις επιμέρους αναλύσεις για την ανάλυση των παραπάνω κατηγοριών ενώσεων. Αντί για αυτό, που απαιτεί χρονοβόρες, επίπονες, υψηλής τεχνολογίας και κόστους αναλύσεις, η εκτίμηση της αφθονίας του βιογενούς υλικού στα ιζήματα γίνεται έμμεσα με τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας της οργανικής ύλης σε διάφορα στοιχεία που περιέχονται στην έμβια ύλη (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και άλλα στοιχεία). Ο άνθρακας, το πιο άφθονο στοιχείο της φύσης, αποτελεί το 45-55% του οργανικού υλικού βιολογικής προέλευσης (Stickland 1960 pp.21-22). Έτσι, η ανάλυση του οργανικού άνθρακα παρέχει την πιο ευαίσθητη και αξιόπιστη ποσοτική εκτίμηση της βιογενούς οργανικής ύλης, καθώς το άζωτο και ο φώσφορος, εκτός από το ότι βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα στα κύτταρα των οργανισμών, επιδεικνύουν σχετικά υψηλή μεταβλητότητα και επιδεκτικότητα στη βιολογική αποικοδόμηση.

Η πιο σύγχρονη μέθοδος προσδιορισμού της συγκέντρωσης οργανικού άνθρακα στη στήλη και στο ίζημα προϋποθέτει την ύπαρξη CHN στοιχειακού αναλυτή και η ανάλυση ακολουθεί το πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε από τους Hedges & Stern (1984). Το υψηλό κόστος της ανάλυσης αυτής υπήρξε ο λόγος που δεν ακολουθήθηκε το παραπάνω πρωτόκολλο. Οι συγκεντρώσεις ολικού οργανικού άνθρακα στο ίζημα προσδιορίστηκαν, μετά από κατάλληλες τροποποιήσεις, σύμφωνα με την κλασσική μέθοδο της «υγρής οξείδωσης» με δι-χρωμικό οξύ που περιγράφεται από τους Walkley & Black (1934). Το πρωτόκολλο της ανάλυσης αυτής τους Walkley & Black (1934). Και διαταλυσης που δεί και στη συνέχεια τιτλοδότηση με σιδηρούχο άλας (σιδηροθειικό αμμώνιο) και δείκτη Ν-φαινυλανθρανιλικό οξύ. Με την τιτλοδότηση εκτιμάται η ποσότητα του δι-χρωμικού οξέος που δεν ανάγεται από την οργανική ύλη που περιέχει κάθε δείγμα. Έτσι υπολογίζεται η ποσότητα

του «Οργανικού Άνθρακα που μπορεί να οξειδωθεί από το διχρωμικό οξύ» (αναφέρεται και ως «αναγωγική ικανότητα», Frost 1962).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή υπολογίζει την ποσότητα άνθρακα που περιέχεται στην οργανική ύλη σε ισοδύναμα γλυκόζης (1 ml διχρωμικού οξέος αντιστοιχεί σε 3 mg άνθρακα που περιέχεται σε καθαρή γλυκόζη). Επομένως, η ακρίβεια της μεθόδου επηρεάζεται από τη βιοχημική σύνθεση της οργανικής ύλης. Ωστόσο θεωρείται ότι η βιοχημική σύνθεση του φυτοπλαγκτού και των βιογενών θρυμμάτων στη στήλη είναι τέτοια ώστε ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας που περιέχουν απέχει μόλις 10-20% από τον οξειδώσιμο άνθρακα που υπολογίζει η μέθοδος (Strickland & Parsons 1972). Επίσης, το ποσοστό ανάκτησης του ολικού οργανικού άνθρακα από την οργανική ύλη του ιζήματος ποικίλλει από 75-90% ανάλογα με τον τύπο του ιζήματος (Buchanan 1984), οπότε δεν είναι αναγκαία η διόρθωση των τιμών. Επιπλέον, οι τιμές οργανικού άνθρακα που προκύπτουν από στοιχειακούς αναλυτές δεν διαφέρουν από τις τιμές που προκύπτουν με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης για την ίδια σειρά δειγμάτων (ThermoFinnigan CHN analyzer / User's Manual).

2.4.6 Βιοχημικές αναλύσεις ιζήματος

Η αποικοδομησιμότητα της οργανικής ύλης που είναι διαθέσιμη στους βενθικούς οργανισμούς εξαρτάται από την βιοχημική της σύνθεση (Valiela 1995). Βιοπολυμερή όπως οι πρωτεΐνες, τα λίπη και οι υδατάνθρακες, βρίσκονται στη βάση του βενθικού ετερότροφου τροφικού πλέγματος καθώς μπορούν να προσληφθούν άμεσα από όλους τους βενθικούς οργανισμούς ενώ σύμπλοκα ενώσεων που έχουν ήδη υποστεί μερική μικροβιακή αποικοδόμηση παίζουν δευτερεύοντα ρόλο λόγω χαμηλότερης, λίγο ή πολύ, θρεπτικής αξίας. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των ολικών πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπιδίων στο ίζημα, αποτελεί μια από τις προσεγγίσεις του βαθμού βιοαποικοδομησιμότητας της ολικής οργανικής ύλης (Fabiano & Danovaro 1994).

<u>Ολικές Πρωτεΐνες</u>: Ο προσδιορισμός των ολικών πρωτεϊνών στο ίζημα έγινε σύμφωνα με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο του Hartree (1972), με την τροποποίηση του Rice (1982), για τη διόρθωση για φαινόλη. Οι τιμές της πρωτεΐνης υπολογίστηκαν ως ισοδύναμα αλβουμίνης (BSA).

<u>Ολικοί Υδατάνθρακες</u>: Ο προσδιορισμός των ολικών υδατανθράκων έγινε φασματοφωτομετρικά σύμφωνα με τη μέθοδο των Gerchakov & Hatcher (1972) η οποία αποτελεί προσαρμογή της κλασσικής μεθόδου των Dubois *et al.* (1956) για εκχύλιση των υδατανθράκων από το ίζημα. Οι τιμές των υδατανθράκων υπολογίστηκαν ως ισοδύναμα (D-) γλυκόζης.

<u>Ολικά Λιπίδια:</u> Η εκχύλιση των ολικών λιπιδίων από το ίζημα έγινε φασματοφωτομετρικά σύμφωνα με τη μέθοδο των Bligh & Dyer (1959) και Marsh & Wenstein (1966). Οι τιμές των ολικών λιπιδίων υπολογίστηκαν ως ισοδύναμα τριπαλμιτίνης.

Οι συγκεντρώσεις των πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπιδίων που προσδιορίστηκαν, μετατράπηκαν σε ισοδύναμα άνθρακα με τη χρήση των συντελεστών 0.49, 0.40 και 0.75, αντίστοιχα (Fabiano & Puscedu 1998) και στη συνέχεια εκφράστηκαν ως ποσοστά του Ολικού Οργανικού Άνθρακα.

2.4.7 Χλωρίδα

Τα υπολείμματα των φύλλων του αγγειόσπερμου *Cymodocea nodosa* και άλλων φυτικών κομματιών από κάθε σταθμό, κρατήθηκαν προκειμένου να γίνει εκτίμηση της συνεισφοράς φυτικών θρυμμάτων αλλόχθονης προέλευσης στην περιοχή δειγματοληψίας. Στη συνέχεια,

ζυγίστηκε το ξηρό βάρος απαλλαγμένο στάχτης των φυτικών θρυμμάτων σε κάθε σταθμό μετά από παραμονή στους 450°C για 3 ώρες.

2.4.8 Πανίδα

2.4.8.1 Διαλογή, Προσδιορισμοί, Βιομάζα

Κάθε δείγμα μακροπανίδας υποβλήθηκε σε διαδοχικές εκπλύσεις με νερό της βρύσης με τη βοήθεια ενός δοχείου όγκου 2 λίτρων. Έτσι, χάρη στο διαχωρισμό του υπερκείμενου κλάσματος, που αποτελούταν κυρίως από τους μικρότερους οργανισμούς και ελαφρά θρύμματα, από το υποκείμενο, που περιείχε συνήθως ίζημα, μεγάλα κελύφη νεκρών μαλακίων και μεγάλα σε μέγεθος άτομα, η διαδικασία της διαλογής (sorting) διευκολύνθηκε και επιταχύνθηκε. Η διαλογή των οργανισμών του πρώτου κλάσματος έγινε με τη βοήθεια στερεοσκοπίου OLYMPUS VM-VMZ-1X-4X ενώ του δεύτερου κλάσματος με τη βοήθεια μεγεθυντικού φακού.

Ακολούθησε κατάταξη της πανίδας στις κυριότερες ταξινομικές ομάδες, δηλαδή σε πολύχαιτους, μαλάκια, εχινόδερμα, καρκινοειδή και σε διάφορα (σωληνοειδή, ανθόζωα, νημερτίνοι, ασκίδια, φορονοειδή, πυκνογονίδια). Όλοι οι οργανισμοί προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους, εκτός από περιπτώσεις που η κατάσταση των οργανισμών δεν το επέτρεψε. Τα άτομα από κάθε ταξινομική ομάδα μετρήθηκαν και φυλάχτηκαν σε ξεχωριστά φιαλίδια. Όλοι οι προσδιορισμοί έγιναν με τη χρήση στερεοσκοπίου OLYMPUS VM-VMZ-1X-4X και οπτικό μικροσκόπιο τύπου Leica DM *LS*, με καταδυτικό φακό μεγέθυνσης 10X - 100X.

Η μέτρηση της υγρής βιομάζας (Wet Biomass) έγινε ξεχωριστά για κάθε δειγματοληπτική μονάδα (replicate), μετά την αποπεράτωση του προσδιορισμού των ατόμων σε επίπεδο είδους. Τα άτομα ζυγίστηκαν ανά κύρια ταξινομική ομάδα. Συγκεκριμένα ανά δείγμα μετρήθηκε το νωπό βάρος των Πολύχαιτων, Μαλακίων, Καρκινοειδών, Εχινοδέρμων και της ομάδας των Διαφόρων, αφού πρώτα αφαιρέθηκαν οι σωλήνες από Πολύχαιτους, Αμφίποδα και Φορονοειδή
καθώς και τα κελύφη από Σωληνοειδή και Δεκάποδα. Αντίθετα, τα Μαλάκια και τα Εχινόδερμα (εχινοειδή) ζυγίστηκαν με το κέλυφος τους. Η ζύγιση του νωπού βάρους έγινε με ζυγό Mettler AJ100 με ακρίβεια 0.0001 g, αφού προηγουμένως τα άτομα κάθε ομάδας στραγγίζονταν σε απορροφητικό χαρτί, μέχρι να μην αφήνουν ίχνη υγρασίας. Τα μεγάλα άτομα, δηλαδή εκείνα που υπερέβαιναν το συνολικό νωπό βάρος της εκάστοτε δειγματοληπτικής μονάδας, ζυγίστηκαν χωριστά και η βιομάζα τους δεν περιλήφθηκε στον υπολογισμό της ολικής βιομάζας του σταθμού.

Για τη μετατροπή της νωπής βιομάζας σε ξηρή (ΞΒ) και ξηρή βιομάζα απαλλαγμένη στάχτης (ΞΒΑΣ) χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές μετατροπής που περιέχονται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση των Ricciardi & Bourget (1998). Για τη μετατροπή της ξηρής βιομάζας σε ισοδύναμα άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές κατά Rowe (1983).

Η μέση αφθονία και η μέση ξηρή βιομάζα και ξηρή βιομάζα απαλλαγμένη στάχτης από κάθε σταθμό εκφράστηκαν ως αριθμός ατόμων ανά m² και γραμμάρια ανά m², αντίστοιχα.

2.4.8.2 Φάσμα κλάσεων της Βιομάζας (Biomass Size Spectra, BSS)

Στα πλαίσια του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου και του ελέγχου της τρίτης υπόθεσης εργασίας διερευνήθηκε η δομή της βιοκοινωνίας κατά κλάσεις βιομάζας, δηλαδή το φάσμα κλάσεων της βιομάζας ("biomass size spectra" ή BSS, Sheldon & Parsons 1967). Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ βιοκοινωνιών με κριτήριο τις ομοιότητες ως προς το μέγεθος των οργανισμών και όχι τις αφθονίες των ειδών, οδηγώντας σε συμπληρωματικά συμπεράσματα προς αυτά που προκύπτουν κατά τη μελέτη της δομής της βιοκοινωνίας βάσει της κατά είδος σύνθεσης. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής έγκειται στην οικουμενικότητα των συμπερασμάτων της, αφού οργανισμοί του ίδιου μεγέθους ανεξάρτητα από τη γ

σκοπιά (Peters 1983). Προκύπτει δε από το γεγονός ότι η βιομάζα συσχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας από τους οργανισμούς. Επιπρόσθετα, ολόκληρος ο κύκλος ζωής ενός οργανισμού μπορεί να σταθμιστεί με βάση το μέγεθος του (Schmidt-Nielsen 1984). Επομένως ο διαχωρισμός της βιομάζας σε κλάσεις προσφέρει ένα ευρείας χρήσης εργαλείο διερεύνησης των λειτουργικών χαρακτηριστικών της βιοκοινωνίας σε σχέση με διάφορες περιβαλλοντικές επιδράσεις.

Η μεθοδολογία αυτή προτάθηκε αρχικά από τους Sheldon & Parsons (1967) ως «συνεχές φάσμα μεγεθών σωματιδιακής ύλης στους ωκεανούς». Συγκεκριμένα, το φάσμα μεγεθών βιομάζας ορίζεται ως η κατανομή της βιομάζας σε διαδοχικά, ίσα λογαριθμικά, διαστήματα (κλάσεις) σωματικών μεγεθών (Sheldon *et al.* 1972), τα οποία αντιστοιχούν σε ανισομεγέθη διαστήματα στη γραμμική κλίμακα, και χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό της δομής του οικοσυστήματος. Η χρήση λογαριθμικής κλίμακας – κυρίως με βάση το 2- υπαγορεύεται από το γεγονός ότι δεν μπορούν να απεικονιστούν όλες οι κλάσεις ενός ευρέος φάσματος μεγεθών στη γραμμική κλίμακα (Han & Straskraba 1998).

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή του φάσματος είναι ο τύπος του υπό μελέτη οικοσυστήματος, η μονάδα μέτρησης σωματικού μεγέθους που χρησιμοποιείται και το μέγεθος των κλάσεων. Όσον αφορά τον πρώτο παράγοντα, η εφαρμογή της μεθόδου υποδεικνύει ότι το φάσμα βιομάζας είναι επίπεδο σε υποτροπικές και τροπικές θαλάσσιες περιοχές (Sheldon *et al.* 1972, 1973, Sprules *et al.* 1983, Macpherson & Gordoa 1996), ενώ εμφανίζει τοπικά μέγιστα και ελάχιστα σε εύκρατες θαλάσσιες περιοχές (Gerlach *et al.* 1986, Schwinghamer 1988, Saiz-Salinas & Ramos 1999) και σε οικοσυστήματα γλυκών νερών (Rasmussen 1993, Echevarria & Rodriguez 1994, Morin *et al.* 2001). Ωστόσο, η σύγκριση της κατά μέγεθος δομής των οικοσυστημάτων με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα περιπλέκεται από το γεγονός ότι τα φάσματα βιομάζας έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας διαφορετικές μονάδες μέτρησης του σωματικού μεγέθους, όπως το βάρος σώματος, ή ο όγκος σώματος ή το μήκος σώματος.

Το μέγεθος των κλάσεων πρέπει κάθε φορά να προσαρμόζεται έτσι ώστε αφενός να αντικατοπτρίζει την ποικιλότητα μεγεθών σε μια δεδομένη βιοκοινωνία και αφετέρου να προκύπτει ένα συνεχές φάσμα τιμών βιομάζας, ώστε να μπορεί να αναλυθεί μαθηματικά. Στη φύση, ωστόσο, η κατανομή των μεγεθών δεν είναι συνεχής, και το εύρος των κλάσεων που χρησιμοποιούνται σε ένα φάσμα βιομάζας εξαρτάται από το πώς ορίζεται η κλάση. Για παράδειγμα στα πελαγικά οικοσυστήματα η κλάση αντιστοιχεί σε τροφικό επίπεδο (Sheldon *et al.* 1972) γεγονός που υπαγορεύεται από τις σταθερές αναλογίες μεγεθών ανάμεσα σε δύο διαδοχικά τροφικά επίπεδα π.χ. η αναλογία φυτοπλαγκτού (λεία) προς ζωοπλαγκτόν (θηρευτής) στα πελαγικά τροφικά πλέγματα (Kerr 1974, Borgman 1987). Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένα επίπεδο φάσμα μεγεθών βιομάζας. Αντίθετα στο βένθος η έννοια της κλάσης μεγέθους δεν αντιστοιχεί σε τροφικό επίπεδο, καθώς μόνο ένα μικρό ποσοστό των βενθικών οργανισμών αποτελείται από μακροφάγους θηρευτές. Ως εκ τούτου, το φάσμα κλάσεων βιομάζας μιας βενθικής βιοκοινωνίας κάθε άλλο παρά επίπεδο είναι (Strayer 1991, Schwinghamer 1981, Warwick 1984, Saiz-Salinas & Ramos 1999).

Όταν η κατανομή των τιμών βιομάζας σε λογαριθμισμένες κλάσεις μεγέθους δεν είναι ομοιόμορφη αλλά διαφέρει μεταξύ των κλάσεων, κατάσταση που αφορά κυρίως σε βενθικές βιοκοινωνίες, τότε χρησιμοποιείται η κλίση της ευθείας της κανονικοποιημένης κατανομής τιμών βιομάζας στις κλάσεις (normalized size distribution, NSD), ώστε να εκτιμηθεί η απόκλιση από την ομοιόμορφη κατανομή (Sprules & Munawar 1986). Το κανονικοποιημένο φάσμα κλάσεων βιομάζας προσδιορίζεται από την ευθεία παλινδρόμησης μεταξύ του λογάριθμου [(Βιομάζα κλάσης)/(εύρος κλάσης)] και του λογάριθμου του ανώτερου ορίου της κλάσης (Sprules & Munawar 1986, Hanson 1990). Όταν η κλίση της ευθείας είναι ίση με -1, τότε τα δεδομένα υποδεικνύουν τάση για επίπεδο φάσμα κλάσεων βιομάζας, τιμές κλίσεις μεγέθους ενώ τιμές μεγαλύτερες από -1 υποδηλώνουν αύξηση της βιομάζας στις μικρές κλάσεις μεγέθους.

Ο διαχωρισμός της βιομάζας σε κλάσεις, εφαρμόστηκε στους 4 σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Οι οργανισμοί κοσκινίστηκαν διαδοχικά μέσα από μια σειρά

κόσκινων με σταδιακά μειούμενη διάμετρο πόρων 8, 4, 2, 1 και 0.5 χιλιοστά. Οι οργανισμοί που κατακρατήθηκαν σε κάθε κόσκινο ζυγίστηκαν με ακρίβεια 0.0001 g, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 2.4.8.1. Οι οργανισμοί προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους, επίσης. Στη συνέχεια, αφού υπολογίστηκε το μέσο βάρος ανά άτομο από κάθε ταξινομική ομάδα διαιρώντας το βάρος κάθε ταξινομικής ομάδας με τον αντίστοιχο αριθμό ατόμων, καταχωρήθηκαν τα βάρη των οργανισμών σε κλάσεις βιομάζας. Οι κλάσεις βιομάζας προσδιορίστηκαν στι το εύρος τιμών ξηρής βιομάζας του μακροζωοβένθους είναι από 0.1 mg έως 1300 g περίπου ανά τετραγωνικό μέτρο (Gerlach *et al.* 1985 Rasmussen 1993 Saiz-Salinas & Ramos 1999). Το φάσμα κλάσεων της βιομάζας και το κανονικοποιημένο φάσμα κλάσεων βιομάζας υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό με βάση το λογάριθμο του 2. Για τον προσδιορισμό της κλίσης του κανονικοποιημένου φάσματος χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή βιομάζας από τις πέντε περιόδους δειγματοληψίας.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ετήσια παραγωγή κάθε κλάσης και η ολική παραγωγή ανά σταθμό από το άθροισμα των επιμέρους κλάσεων, χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Tumbiolo & Downing (1994):

log(Παραγωγή)=0.18+0.97log(Βιομάζα)-0.22log(Μέσο Βάρος Σώματος)+ 0.04(Θερμοκρασία πυθμένα)- 0.014(Θερμοκρασία πυθμένα)log(Βάθος+1).

Η εξίσωση αυτή είναι μια τροποποίηση της εξίσωσης του Brey (1990) που βασίζεται σε πραγματικές μετρήσεις δευτερογενούς παραγωγής ειδών από διαφορετικές ταξινομικές ομάδες και μεγάλου εύρους μεγεθών, λαμβάνοντας όμως υπόψιν την επίδραση της θερμοκρασίας και του βάθους.

2.5 Αναλύσεις Δεδομένων

2.5.1 Δείκτες ποικιλότητας

Το πιο απλό μέτρο της ποικιλότητας μιας βιοκοινωνίας είναι ο αριθμός ειδών που περιέχει (species richness). Η απλή γνώση όμως του αριθμού ειδών δεν επαρκεί για τον ορισμό της ποικιλότητας της βιοκοινωνίας. Αυτό οφείλεται στο ότι τον όρο ποικιλότητα συνθέτουν δύο καθοριστικά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αριθμός ειδών, πράγμα που σημαίνει ότι ένα δείγμα ή μια βιοκοινωνία με περισσότερα είδη παρουσιάζει μεγαλύτερη ποικιλότητα από ένα άλλο δείγμα ή βιοκοινωνία με λιγότερα είδη. Το δεύτερο στοιχείο είναι ο βαθμός ισομερούς κατανομής των ατόμων ανάμεσα στα είδη ή αλλιώς ομοιομορφία (equitability or evenness). Η ομοιομορφία τα περισσότερα άτομα ενός δείγματος ανήκουν σε ένα είδος. Συνεπώς, εάν συγκρίνονται δείγματα με τον ίδιο αριθμό ειδών, τη μεγαλύτερη ποικιλότητα παρουσιάζουν εκείνα που έχουν τις χαμηλότερες τιμές κυριαρχίας των ειδών τους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μέτρηση της ποικιλότητας πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τον αριθμό ειδών και το βαθμό ισομερούς κατανομής των ατόμων στα είδη μια βιοκοινωνίας. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι Δείκτες Ποικιλότητας οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως ως προς τη βαρύτητα που δίνουν στον αριθμό ειδών σε σχέση με την ομοιομορφία. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση για τη σωστή εκτίμηση της ποικιλότητας είναι η κατάλληλη επιλογή του μεγέθους δείγματος ανάλογα με το μέγεθος των οργανισμών και τη δομής της υπό μελέτη βιοκοινωνίας (Magurran 1988).

Η Magurran (1988) ταξινομεί τους δείκτες ποικιλότητας σε τρεις κύριες κατηγορίες:

 Δείκτες αριθμού ειδών. Η χρησιμοποίηση τους ενδείκνυται όταν η περιοχή μελέτης είναι περιορισμένης έκτασης και υπάρχει σταθερό μέγεθος δείγματος. Ακολουθεί περιγραφή των δεικτών αυτής της κατηγορίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Σε μια πρώτη προσέγγιση, υπολογίστηκε ο αριθμός των ειδών (species richness) με απλή καταμέτρηση των ειδών ανά δείγμα. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ο δείκτης Margalef (d) (Margalef 1958), που υπολογίζει τον αριθμό ειδών ανά αριθμό ατόμων με βάση το μαθηματικό τύπο:

$$d = \frac{(S-1)}{\log(N)}$$

όπου Ν, ολικός αριθμός ατόμων που καταμετρήθηκαν και S, ολικός αριθμός ειδών.

Οι δύο παραπάνω δείκτες εξαρτώνται από το μέγεθος του δείγματος δηλαδή από τον αριθμό ατόμων σε κάθε δείγμα. Επομένως, η αντικειμενικότητα τους περιορίζεται στις περιπτώσεις όπου τα δείγματα που συγκρίνονται έχουν παρόμοιο μέγεθος.

Σε μια δεύτερη προσέγγιση, υπολογίστηκε ο αριθμός ειδών θεωρώντας ότι όλα τα δείγματα περιέχουν τον ίδιο αριθμό ατόμων (Sanders 1968). Η μέτρηση της ποικιλότητας με αυτόν τον τρόπο είναι ιδανική για περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να διασφαλιστεί ότι τα δείγματα που συγκρίνονται έχουν το ίδιο μέγεθος. Συνήθως, κατασκευάζονται διαγράμματα του αριθμού ειδών (άξονας Χ) προς τον αριθμό ατόμων (άξονας Υ). Επιλέγονται τυχαία υποδείγματα διαφόρων μεγεθών από ένα δείγμα και υπολογίζεται ο αριθμός ειδών για κάθε τυχαίο υποδείγμα. Η κλίση της καμπύλης που προκύπτει αποτελεί μέτρο της ποικιλότητας του δείγματος: όσο πιο αναμενόμενος αριθμός ειδών Ε(S) υπολογίζεται από το μαθηματικό τύπο του Hurlbert (1971):

$$ES(x) = \sum_{i=1}^{S} \left[1 - \frac{\left(\frac{N - N_i}{n}\right)}{\left(\frac{N}{n}\right)} \right]$$

όπου ES(χ) = ο αναμενόμενος αριθμός ειδών σε ένα υποδείγμα με n άτομα και Ni άτομα του είδους I, τα οποία συλλέγονται τυχαία (χωρίς επανατοποθέτηση) από ένα δείγμα το οποίο περιέχει N άτομα και S είδη.

Ο υπολογισμός της ποικιλότητας με τη μέθοδο Rarefaction έχει δεχθεί αξιοσημείωτη κριτική (Magurran 1988 και εκεί παρατιθέμενη βιβλιογραφία). Ο λόγος είναι ότι χάνεται σε μεγάλο βαθμό η πληροφορία για τον τρόπο κατανομής των ατόμων στα είδη. Παρόλα αυτά, η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στη Θαλάσσια Οικολογία χάρη στη δυνατότητα

σύγκρισης δειγμάτων μέσω διαγραμματικής απεικόνισης που προσφέρει και κυρίως για το γεγονός ότι επιτρέπει τη σύγκριση τιμών ποικιλότητας ανάμεσα σε δείγματα διαφορετικού μεγέθους.

2. Μοντέλα Ειδών-Αφθονίας (αριθμού ατόμων). Οι δείκτες αυτοί περιγράφουν τις κατανομές των ατόμων στα είδη και έλκουν την καταγωγή τους από παρατηρήσεις σχετικά με την ύπαρξη χαρακτηριστικών προτύπων κατανομής των ατόμων στα είδη (Fisher *et al.* 1943, Williams, 1964). Υπό αυτό το πρίσμα, η ποικιλότητα εξετάζεται ως προς 4 κύρια μοντέλα-κατανομές: τη λογαριθμική-κανονική κατανομή, τις γεωμετρικές σειρές, τις λογαριθμικές σειρές και το μοντέλο broken stick. Καθένα από αυτά τα μοντέλα προβλέπει τάσεις ποικιλότητας υπό συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Όταν λοιπόν δεδομένα ειδών – ιεραρχημένων τιμών αφθονίας απεικονίζονται διαγραμματικά, ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης που προκύπτει, είναι δυνατό να προσαρμοστούν τα δεδομένα σε ένα από τα παραπάνω μοντέλα-κατανομές και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σε επίπεδο βιοκοινωνίας. Οι παράμετροι των κατανομών αυτών χρησιμοποιούνται ως δείκτες ποικιλότητας.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένας άλλος τύπος διαγραμματικής απεικόνισης των δεδομένων ειδών – αφθονίας, το διάγραμμα k-dominance (Lambshead *et al.* 1983, Platt *et al.* 1984). Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται ο επί τοις εκατό αθροιστικός αριθμός ατόμων προς την αύξουσα τάξη (rank) (ή του λογάριθμου αυτής) στην οποία τοποθετούνται τα είδη ανάλογα με το πόσα άτομα περιέχουν. Έτσι, προκύπτουν οι k-dominance καμπύλες, η κλίση των οποίων δίνει στοιχεία για την ποικιλότητα των δειγμάτων. Συνήθως, καμπύλες από διαφορετικά δείγματα τοποθετούνται στο ίδιο διάγραμμα για να διευκολυνθεί η μεταξύ τους σύγκριση. Οι καμπύλες που βρίσκονται χαμηλότερα αντιστοιχούν σε βιοκοινωνίες με υψηλότερη ποικιλότητα και χαμηλότερη κυριαρχία. Σύμφωνα με τους Platt *et al.* (1984) όταν δύο καμπύλες χιάζονται, τότε τα δείγματα δεν μπορούν να συγκριθούν. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά την κατάταξη των ειδών κατά αύξουσα τάξη, εκ των πραγμάτων, προσδίδεται διαφορετικό βάρος στον προσδιορισμό της ποικιλότητας τους, είτε ως προς τον αριθμό ειδών είτε ως προς το βαθμό ισομερούς κατανομής. Η Magurran (1988), όμως, πιστεύει ότι ο χιασμός των k-dominance καμπυλών, περιέχει τη μέγιστη δυνατή πληροφορία επειδή αντανακλά τη μετάβαση της ποικιλότητας από καταστάσεις με σχετικά υψηλή κυριαρχία κάποιων ειδών προς καταστάσεις με σχετικά μεγαλύτερη ομοιομορφία.

3. Δείκτες αναλογίας αριθμού ειδών. Οι δείκτες αυτοί επιχειρούν να συνδέσουν τα δύο καθοριστικά συστατικά της ποικιλότητας, δηλαδή τον αριθμό ειδών και το βαθμό ισομερούς κατανομής των ατόμων στα είδη. Για το λόγο αυτό ονομάζονται και δείκτες ετερογένειας (Peet 1974). Επιπλέον, επειδή δεν περιέχουν προϋποθέσεις για τα χαρακτηριστικά των κατανομών ειδών – αφθονίας αναφέρονται και ως μη-παραμετρικοί δείκτες (Southwood 1978). Οι περισσότερο χρησιμοποιημένοι μη – παραμετρικοί δείκτες είναι αυτοί που έλκουν την καταγωγή τους από τη Θεωρία Πληροφορίας. Ο υπολογισμός τους βασίζεται στη λογική ότι η ποικιλότητα, ή πληροφορία, που περιέχει ένα φυσικό σύστημα μπορεί να μετρηθεί όπως η πληροφορία που περιέχεται σε ένα μήνυμα. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Shannon – Wiener (Shannon & Weaver 1949) και ομοιομορφίας Pielou (Pielou 1969), που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία. Ο δείκτης Shannon – Wiener προϋποθέτει ότι όλα τα άτομα έχουν τυχαία συλλεχθεί από έναν άπειρο πληθυσμό και ότι όλα τα είδη του πληθυσμού αντιπροσωπεύονται στο δείγματος. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} (p_i) (Log_2 p_i)$$

ópou, p_i eínai η analogía twn atómwn pou antistoicoún sto eídoc i.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ο λογάριθμος με βάση τον αριθμό 2. Η log₂ ποικιλότητα Shannon – Wiener μετριέται σε ψηφία (bits) (Pielou 1969), γεγονός που υποδηλώνει τη σχέση του δείκτη με τη Θεωρία Πληροφορίας. Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης κυμαίνονται μεταξύ 1.5 και 3.5 ενώ σπανίως υπερβαίνουν τα 4.5 ψηφία (Margalef 1972).

Ο δείκτης ομοιομορφίας Pielou έχει τις ίδιες προϋποθέσεις –άρα και προβλήματα στην εκτίμηση του- με το δείκτη Shannon – Wiener. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$J = \frac{H'}{H_{\text{max}}} = \frac{H'}{Log_2 S}$$

όπου, Η max είναι η μέγιστη ποικιλότητα με βάση το δείκτη Shannon που υπάρχει όταν όλα τα είδη περιέχουν τον ίδιο αριθμό ατόμων S.

Οι τιμές του δείκτη Pielou κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1.0, όπου η τιμή 1.0 αντιπροσωπεύει την κατάσταση στην οποία υφίσταται ισομερής κατανομή των ατόμων στα είδη.

Τα δείγματα της παρούσας μελέτης προέρχονται από μια σχετικά περιορισμένη σε έκταση περιοχή. Επομένως η ποικιλότητα που προσδιορίστηκε είναι η ποικιλότητα σημείου (point diversity) και σε επίπεδο βιοτόπου αποτελεί εκτίμηση της «άλφα» ποικιλότητας. Επιπλέον, οι διαφορές στη δομή της βιοκοινωνίας αφορούν περισσότερο στη σχετική αφθονία των ειδών παρά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας σε είδη ή σε ολικούς αριθμούς ατόμων. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση δεικτών ποικιλότητας των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τον ολικό αριθμό ειδών ή από το μέγεθος δείγματος, δεν εισάγει σημαντικό συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση της ποικιλότητας στο Μαλιακό κόλπο. Όλοι οι δείκτες ποικιλότητας υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα Primer 5.1.2 για Windows (Primer-E Ltd 2000).

2.5.2 Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων

Σκοπός της επεξεργασίας των δεδομένων ήταν να γίνει μια όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη προσέγγιση των στόχων της μελέτης. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να χωριστεί το αναλυτικό πλαίσιο εργασίας σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο επιχειρήθηκε ολοκληρωμένη περιγραφή των δεδομένων. Στο δεύτερο στάδιο, έγιναν όλοι οι μονομεταβλητοί και πολυμεταβλητοί στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων ώστε να ανιχνευθούν τα πρότυπα μεταβολής των δεδομένων ως προς τις υποθέσεις εργασίας. Στο τρίτο στάδιο, διερευνήθηκε ποια είδη είναι

υπεύθυνα για τα πρότυπα που ανιχνεύθηκαν και εξετάστηκαν οι μεταβολές της δομής της βιοκοινωνίας ως προς τις περιβαλλοντικές παραμέτρους.

2.5.2.1 Πρώτο στάδιο: Περιγραφή των δεδομένων

Η πορεία που ακολουθήθηκε για τα τρία δειγματοληπτικά πλάνα είναι η εξής: Καταρχήν υπολογίστηκαν οι ολικοί αριθμοί ατόμων και ειδών, η ολική βιομάζα και οι τιμές όλων των δεικτών ποικιλότητας για κάθε δείγμα. Επίσης υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των παραμέτρων ιζήματος που μετρήθηκαν για κάθε δείγμα. Από τα πειράματα κατανάλωσης οξυγόνου υπολογίστηκαν οι τιμές κατανάλωσης οξυγόνου υπολογίστηκαν οι τιμές κατανάλωσης οξυγόνου και πρόσληψης οργανικού άνθρακα για κάθε δείγμα. Με βάση τις τιμές από τρεις (ή δύο για τα πειράματα κατανάλωσης οξυγόνου) δειγματοληπτικές μονάδες εκτιμήθηκαν οι μέσες τιμές και τα τυπικά σφάλματα τους για όλες τις παραπάνω μεταβλητές για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν ιστογράμματα ώστε να απεικονιστούν οι διακυμάνσεις των μεταβλητών στο χώρο και στο χρόνο. Εκτός από τις μέσες τιμές υπολογίστηκαν επίσης οι εκατοστιαίες αναλογίες των κύριων ταξινομικών ομάδων και των ισοδύναμων άνθρακα από κάθε ομάδα βιοπολυμερών που προσδιορίστηκε για κάθε δείγμα.

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου απεικονίστηκαν ως χάρτες με ισοϋψείς γραμμές (contours) με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SURFER και της μεθόδου παρεμβολής 'krigging''. Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή το πλέγμα σταθμών είναι αρκετά αραιό, η παρεμβολή των τιμών που δεν μετρήθηκαν παρουσιάζει σφάλμα. Πάραυτα, τα διαγράμματα αυτά εξακολουθούν να παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμότητα λόγου του τρόπου με τον οποίο απεικονίζουν την τάση των δεδομένων στο χώρο.

2.5.2.2 Δεύτερο στάδιο: Στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων βασίστηκαν στα πειραματικά μοντέλα Ανάλυσης Διακύμανσης (Analysis of Variance, ANOVA) που κατασκευάστηκαν για κάθε δειγματοληπτικό πλάνο με βάση τις Υποθέσεις Εργασίας. Τα μοντέλα αυτά έχουν ήδη περιγραφεί διεξοδικά στο Κεφάλαιο 2.2.

Οι μονομεταβλητές συγκρίσεις δειγμάτων έγιναν με τη χρήση του F-λόγου και της Ανάλυσης Διακύμανσης, ελέγχοντας τη μηδενική υπόθεση ότι οι διασπορές (σ^2) και οι μέσες τιμές (μ), αντίστοιχα, των δειγμάτων που συγκρίνονται δε διαφέρουν. Πρόκειται για δύο τόσο ευρέως χρησιμοποιημένες τεχνικές, ώστε μια εκτενής περιγραφή εννοιών θεωρείται περιττή. Στην παρούσα μελέτη οι έλεγχοι της ομοιογένειας των διασπορών έγιναν χρησιμοποιώντας το τεστ του Cohran (1951). Όπου χρειάστηκε και με βάση τη σχέση μεταξύ μέσης τιμής (μ) και διασποράς (σ^2), χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός $\sqrt{\chi+1}$ για τα βιοτικά δεδομένα και log(χ) για τα περιβαλλοντικά. Ακολούθησαν *a posteriori* πολλαπλές συγκρίσεις των δεδομένων ανάλογα με το αποτέλεσμα της ΑΝΟVΑ, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία Student-Newman-Keuls (SNK, Newman 1939, Keuls 1952). Όλες οι μονομεταβλητές αναλύσεις ΑΝΟVΑ, έγιναν με το πρόγραμμα WinGMAV 5 (Underwood & Chapman 1998). Ελέγχθηκαν τιμές ολικής αφθονίας, βιομάζας, τιμές αφθονίας ενός μόνο είδους και τιμές περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Τα αποτελέσματα της παραμετρικής ANOVA, θα πρέπει να επεξεργάζονται και να ερμηνεύονται πολύ προσεκτικά, ειδικά όταν η ανάλυση γίνεται με μικρό μέγεθος δείγματος, δηλαδή με λιγότερες από 6 δειγματοληπτικές μονάδες (Underwood 1997). Ικανοποιητική λύση σε αυτό το πρόβλημα, προσφέρει η εφαρμογή των μεθόδων επανατοποθέτησης των δεδομένων (resampling methods). Εξαιρετική επισκόπηση των μεθόδων αυτών γίνεται στα συγγράμματα των Edgington (1995), Manly (1997) και Good (2000). Στην παρούσα μελέτη οι μονομεταβλητοί στατιστικοί έλεγχοι των πειραματικών μοντέλων έγιναν με την τεχνική των τυχαίων ανασυνδυασμών των δεδομένων (permutation tests) (Anderson 2001a, Anderson & ter

Braak 2003). Οι έλεγχοι ανασυνδυασμών είναι ακριβείς, δηλαδή το σφάλμα Τύπου Ι όντως ισούται με το επίπεδο σημαντικότητας που έχει τεθεί *a priori* χάρη στους τυχαίους ανασυνδυασμούς (Fisher 1935). Είναι επίσης έλεγχοι που γίνονται υπό τους όρους του πειράματος (conditional test) και όχι υπό τους όρους ενός ιδανικού μεγαλύτερου πληθυσμού, από τον οποίο υποτίθεται ότι προέρχονται τα δείγματα (Edgington 1995).

Η βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων με τη μέθοδο των τυχαίων ανασυνδυασμών είναι να υπάρχει η δυνατότητα ανταλλαγής ανάμεσα στις παρατηρήσεις (exchangeability). Αυτό εξασφαλίζεται με τυχαίο καταμερισμό των παρατηρήσεων στο πειραματικό μοντέλο. Στην περίπτωση, όμως, περιγραφικών μελετών στις οποίες δεν έχουν τεθεί *a priori* υποθέσεις, ο έλεγχος προϋποθέτει ότι όλες οι παρατηρήσεις προέρχονται από την ίδια κατανομή –όχι απαραίτητα την κανονική- και άρα μπορούν να είναι ανταλλάξιμες (Anderson 2001a).

Δύο είναι τα απαραίτητα βήματα για να εφαρμοστεί ο στατιστικός έλεγχος με τη μέθοδο των τυχαίων ανασυνδυασμών (Anderson 2001a):

Βήμα 1. Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων μονάδων (παρατηρήσεις) για τον στατιστικό έλεγχο που έχει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ένας εύκολος τρόπος να γίνει αυτό είναι να κοιτάει κανείς τον παρονομαστή του F-λόγου για κάθε όρο του μοντέλου που ελέγχεται.

Βήμα 2. Προσδιορισμός των περιορισμών στη διαδικασία επανατοποθέτησης των ανταλλάξιμων μονάδων. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα πειραματικό ιεραρχικό μοντέλο που συγκρίνει α περιοχές και σε κάθε περιοχή υπάρχουν β σταθμοί και n δειγματοληπτικές μονάδες. Τότε για να γίνει το στατιστικό τεστ για τον έλεγχο της επίδρασης της περιοχής στη μεταβλητή που εξετάζεται, επανατοποθετούνται τυχαία οι β σταθμοί στις α περιοχές. Για να γίνει όμως ο στατιστικός έλεγχος για την επίδραση του σταθμού, ανταλλάσσονται τυχαία οι n δειγματοληπτικές μονάδες ανάμεσα στους β σταθμούς της κάθε περιοχής. Περιορίζονται δηλαδή οι επανατοποθετήσεις εντός της κάθε περιοχής. Θα αναφερθεί και δεύτερο παράδειγμα. Έστω ένα παραγοντικό μοντέλο που μελετά τη επίδραση του βάθους

και της σκιάς σε βενθικές βιοκοινωνίες του σκληρού υποστρώματος, με δύο παράγοντες και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Έτσι, υπάρχουν α βάθη, β επίπεδα σκιερότητας και n δειγματοληπτικές μονάδες. Για να ελεγχθεί η επίδραση του βάθους επανατοποθετούνται τυχαία οι n δειγματοληπτικές μονάδες ανάμεσα στα διαφορετικά βάθη και οι ανασυνδυασμοί περιορίζονται σε κάθε επίπεδο σκιερότητας. Για να ελεγχθεί η επίδραση της σκιερότητας επανατοποθετούνται τυχαία σκιερότητας και οι ανασυνδυασμοί περιορίζονται σε κάθε επίπεδο σκιερότητας. Για να ελεγχθεί η επίδραση της σκιερότητας επανατοποθετούνται τυχαία οι n δειγματοληπτικές μονάδες ανάμεσα στα διαφορετικά βάθη και οι ανασυνδυασμοί περιορίζονται σε κάθε επίπεδο σκιερότητας. Για να ελεγχθεί η επίδραση της σκιερότητας επανατοποθετούνται τυχαία οι n δειγματοληπτικές μονάδες ανάμεσα στα διαφορετικά βάθη και οι ανασυνδυασμοί γίνονται ξεχωριστά σε κάθε επίπεδο βάθους. Το πρόβλημα έγκειται στον έλεγχο της σημαντικότητας της αλληλεπίδρασης. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να γίνει αυτό. Στην παρούσα μελέτη, οι n δειγματοληπτικές μονάδες, επανατοποθετήθηκαν τυχαία σε όλους του μοντέλου ΑΝΟVΑ (Manly 1997).

Η διαδικασία υπολογισμού της ελεγχοσυνάρτησης για ένα μοντέλο ANOVA με τη μέθοδο των τυχαίων ανασυνδυασμών περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Καταρχήν υπολογίζεται η ελεγχοσυνάρτηση, δηλαδή ο F-λόγος (F-observed).
- Ακολουθεί τυχαία επανατοποθέτηση των παρατηρήσεων σε ομάδες και νέος υπολογισμός της ελεγχοσυνάρτησης (F-perm).
- Στη συνέχεια, η διαδικασία της τυχαίας επανατοποθέτησης επαναλαμβάνεται πολλές φορές (>1000) έτσι ώστε να προκύψει μια κατανομή F-perm για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης (Ho).
- Έπεται σύγκριση της Fobserved τιμής με την κατανομή F-perm λόγων και ελέγχεται η σημαντικότητα με βάση τον υπολογισμό του κριτηρίου p (p-value) από τη σχέση

p = [Aριθμός F-perm μεγαλύτερα από τιμή (F-observed + 1)] / (Ολικός αριθμός F-perm + 1)

Οι μονομεταβλητοί στατιστικοί έλεγχοι των πειραματικών μοντέλων της παρούσας μελέτης με τη μέθοδο των ανασυνδυασμών έγιναν με το στατιστικό πακέτο NPMANOVA (Anderson 2003a).

Με βάση τα μοντέλα κάθε δειγματοληπτικού πλάνου έγιναν οι στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα είδη της βιοκοινωνίας. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται Πολυμεταβλητή Ανάλυση Διακύμανσης (MANOVA) (Pillai 1955). Στην κλασσική της μορφή, η ΜΑΝΟVΑ ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι τα κέντρα των ομάδων παρατηρήσεων (κεντροειδή) δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Το πρόβλημα με τη MANOVA είναι ότι οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή της, εκτός από αυτήν που αφορά την ανεξαρτησία των παρατηρήσεων, σπανίως πληρούνται από οικολογικά δεδομένα. Για παράδειγμα, η προϋπόθεση της πολυμεταβλητής κανονικότητας είναι ιδιαιτέρως ανεδαφική για ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει τις αφθονίες των ειδών ως μεταβλητές. Αυτό οφείλεται στον τύπο της κατανομής της αφθονίας κάθε είδους (μεταβλητής) που στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι συναθροιστική ή ασύμμετρη (Gaston & McArdle 1994). Επίσης, οι αφθονίες των ατόμων λαμβάνουν διακριτές τιμές και τα είδη των οποίων οι αφθονίες έχουν μικρή μέση τιμή παρουσιάζουν ασύμμετρη κατανομή ενώ τα σπάνια είδη συνεισφέρουν πολλά μηδενικά στη Βασική προϋπόθεση, επιπλέον, είναι ότι η μήτρα των δεδομένων (Anderson 2001b). διακύμανση και η συνδιακύμανση (που παραπέμπει στο σχήμα των κεντροειδών) δεν πρέπει να διαφέρουν ανάμεσα στις ομάδες παρατηρήσεων ενώ οι μετασχηματισμοί των δεδομένων συνήθως δεν βοηθούν καθώς η παραδοσιακή ΜΑΝΟVA είναι πολύ ευαίσθητη στην καταστρατήγηση των προϋποθέσεων της. Ένα άλλο πολύ σημαντικό πρόβλημα είναι ότι χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση για τον υπολογισμό της μέσης τιμής των κεντροειδών που ως γνωστόν επηρεάζεται από τις κοινές απουσίες ειδών στη μήτρα δεδομένων, οπότε αλλοιώνει την «οικολογική απόσταση» ανάμεσα στις παρατηρήσεις (Legendre & Legendre 1998, Legendre & Gallagher 2001). Τέλος, τα στατιστικά πακέτα δεν μπορούν να υπολογίσουν τις στατιστικές συναρτήσεις της ΜΑΝΟVA, όταν οι μεταβλητές είναι περισσότερες από τις δειγματοληπτικές μονάδες, κατάσταση ιδιαίτερα συχνή σε οικολογικά δεδομένα.

Τα προβλήματα αυτά ξεπεράστηκαν με την ανάπτυξη μη – παραμετρικών μεθόδων MANOVA (npMANOVA). Η θεμελιώδης προϋπόθεση που θέτουν αυτές οι μέθοδοι είναι η ανεξαρτησία των παρατηρήσεων και τα σφάλματα να προέρχονται από την ίδια κατανομή,

δηλαδή να υπάρχει ομοιογένεια των διασπορών. Μόνο τότε μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος των τυχαίων ανασυνδυασμών των παρατηρήσεων και των επανατοποθετήσεων τους σε ομάδες παρατηρήσεων (βλ. παρακάτω). Έχουν, δε, ως κοινό παρονομαστή δύο στοιχεία. Το πρώτο είναι ότι μπορούν να βασιστούν σε δείκτες ανομοιότητας (dissimilarity measures) –και όχι μόνο στις Ευκλείδειες αποστάσεις όπως η κλασσική MANOVA- ανάμεσα σε ζεύγη πολυμεταβλητών παρατηρήσεων, δηλαδή σε αποστάσεις στο πολυμεταβλητό χώρο. Ως εκτούτου, ο στατιστικός έλεγχος συγκρίνει τις αποστάσεις ανάμεσα στις παρατηρήσεις που ανήκουν σε ένα κεντροειδές (within centroid) με τις αποστάσεις ανάμεσα στις παρατηρήσεις ενός άλλου κεντροειδούς, στο εκάστοτε πλαίσιο εργασίας της ανάλυσης διασποράς. Το δεύτερο κοινό ανάμεσα στις μηπαραμετρικές MANOVA είναι ότι χρησιμοποιούν ανασυνδυασμούς (permutations) των παρατηρήσεων για να καθοριστεί το επίπεδο σημαντικότητας για κάθε επιμέρους στατιστικό έλεγχο.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος npMANOVA η οποία μπορεί να κάνει τον καταμερισμό της μεταβλητότητας χρησιμοποιώντας αφενός το δείκτη ανομοιότητας της επιλογής του ερευνητή και αφετέρου την τεχνική των ανασυνδυασμών ώστε να υπολογιστεί το επίπεδο σημαντικότητας του στατιστικού ελέγχου, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα του πειραματικού μοντέλου (Legendre & Anderson 1999, Anderson 2001b). Καταρχήν κατασκευάζεται μήτρα ανομοιότητας που περιέχει το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων μεταξύ των παρατηρήσεων (interpoint distances) διά του ολικού αριθμού παρατηρήσεων. Έτσι, μπορεί να γίνει η σύγκριση μεταξύ των παρατηρήσεων και του καταμερισμού της μεταβλητότητας χωρίς να υπολογιστούν οι μέσες τιμές των κεντροειδών. Το επίπεδο σημαντικότητας του στατιστικού ελέγχου υπολογίζεται με τυχαίους ανασυνδυασμούς των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Καταρχήν υπολογίζεται η ελεγχοσυνάρτηση, δηλαδή ο F-λόγος (F-observed).
- Ακολουθεί τυχαία επανατοποθέτηση των παρατηρήσεων σε ομάδες και νέος υπολογισμός της ελεγχοσυνάρτησης (F*).

- Στη συνέχεια, η διαδικασία της τυχαίας επανατοποθέτησης επαναλαμβάνεται πολλές φορές (>1000) έτσι ώστε να προκύψει μια κατανομή F* τιμών για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης (Ho).
- Έπεται σύγκριση της F-observed τιμής με την κατανομή F* τιμών και ελέγχεται η σημαντικότητα με τον υπολογισμό του κριτηρίου p (p-value) από τη σχέση:

P-value = (Αριθμός F^* μεγαλύτερα από τιμή Fobserved) / (Ολικός αριθμός F^*).

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει όλα τα πλεονεκτήματα των μη-παραμετρικών μεθόδων, μπορεί να εφαρμοστεί στο δείκτη ανομοιότητας που κρίνεται κατάλληλος για τα δεδομένα, κάνει καταμερισμό της μεταβλητότητας και πραγματοποιεί το στατιστικό έλεγχο με βάση το γνωστό και οικείο F-λόγο. Δεν είναι βέβαιο όμως ότι μπορεί να ανιχνεύσει σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε ομάδες παρατηρήσεων με ίδια μέση τιμή αλλά διαφορετική διασπορά (dispersion) του νέφους των παρατηρήσεων. Για το λόγο αυτό συνιστάται να συνοδεύονται τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης npMANOVA από το διάγραμμα ταξιθέτησης των δεδομένων με την τεχνική της μη-μετρικής πολυδιάστατης διαβάθμισης (non-metric Multidimensional Scaling), εφόσον χρησιμοποιείται ο ίδιος μετασχηματισμός και ο ίδιος δείκτης ανομοιότητας (Anderson 2001b). Η npMANOVA πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ΝΡΜΑΝΟVΑ-2 (Anderson 2003a) και οι πολυμεταβλητές διαφορές σε επίπεδο διασπορών διερευνήθηκαν με το πρόγραμμα NPDISP (Anderson 2003b).

Στην παρούσα μελέτη, ο στατιστικός έλεγχος των *a priori* υποθέσεων κάθε δειγματοληπτικού πλάνου ακολούθησε την εξής διαδικασία:

- Προσδιορισμός του κατάλληλου δείκτη ανομοιότητας και μετασχηματισμού των δεδομένων αφθονίας των ειδών.
- Προσδιορισμός των όρων μοντέλου ανάλυσης διασποράς.
- Προσδιορισμός των F-λόγων από τους όρους του μοντέλου ανάλυσης διασποράς.

- Εφαρμογή της npMANOVA και προσδιορισμός των σημαντικών επιδράσεων και αλληλεπιδράσεων.
- Εφαρμογή των τεχνικών της ταξινόμησης (classification) ή της ταξιθέτησης (ordination), χρησιμοποιώντας τους παράγοντες που αποδείχτηκε ότι είναι σημαντικοί.
- Διερεύνηση των ειδών που ευθύνονται για τα πρότυπα στο χώρο και το χρόνο.
- Εφαρμογή μονομεταβλητής ANOVA για τα είδη που παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό προτύπων στη βιοκοινωνία, για τις περιπτώσεις παραμέτρων όπως η ολική αφθονία / αριθμός ειδών / βιομάζα κλπ. και, τέλος, για άλλες παραμέτρους των οποίων οι διακυμάνσεις παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα δοθεί η περιγραφή των τεχνικών της ταξινόμησης και της ταξιθέτησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη καθώς και των μεθόδων που εφαρμόστηκαν για να διερευνηθεί ποια είδη είναι υπεύθυνα για τα πρότυπα που ανιχνεύθηκαν. Καταρχήν όμως θα γίνει αναφορά στους δείκτες ανομοιότητας που χρησιμοποιήθηκαν.

2.5.2.3 Τρίτο Στάδιο: Ανάλυση της Δομής της Βιοκοινωνίας

2.5.2.3.1 Δείκτες ανομοιότητας (Αποστάσεις)

Οι δείκτες ανομοιότητας ανάμεσα σε παρατηρήσεις δεδομένων αποτελούν τη βάση όλων των σύγχρονων μεθόδων πολυμεταβλητής ανάλυσης. Το ζητούμενο είναι να απεικονιστεί το νέφος των δεδομένων στις δύο ή τρεις διαστάσεις με τέτοιο τρόπο ώστε οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των παρατηρήσεων να διατηρούνται όσο το δυνατό αναλλοίωτες. Κάθε πολυμεταβλητή ανάλυση ξεκινά από τον υπολογισμό των αποστάσεων ανάμεσα σε κάθε ζεύγος παρατηρήσεων, οπότε η αρχική μήτρα δεδομένων της μορφής n x p, όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων και p ο αριθμός των ειδών, παίρνει τη μορφή n x n, και ονομάζεται μήτρα ανομοιότητας ή αποστάσεων. Η πολυμεταβλητή ανάλυση βασίζεται στη μήτρα ανομοιότητας και για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να τίθενται εκ των προτέρων τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου δείκτη ως προς 1. τον τρόπο με τον οποίο μετρούν τις αποστάσεις ανάμεσα στις παρατηρήσεις 2. τις όψεις των δεδομένων που αναδεικνύουν και 3. τον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύονται τα αποτελέσματα μιας πολυμεταβλητής ανάλυσης ανάλογα με το δείκτη ανομοιότητας που χρησιμοποιήθηκε.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, οι στόγοι της μελέτης, οι υποθέσεις εργασίας και οι προκαταρκτικές μελέτες που προηγήθηκαν, υπαγόρευσαν τη χρήση των αφθονιών από κάθε είδος ως μεταβλητές στην ανάλυση και όχι, για παράδειγμα την παρουσία των ειδών στους σταθμούς ή κάποιο μορφομετρικό χαρακτηριστικό τους. Επιπλέον, η δομή της βιοκοινωνίας σε οικοσυστήματα με έντονη περιβαλλοντική μεταβλητότητα, όπως ο Μαλιακός κόλπος, ρυθμίζεται από αλλαγές στις σχετικές αφθονίες των ειδών. Έντονες διαβαθμίσεις δεν έχουν διαπιστωθεί στο Μαλιακό κόλπο, οπότε η απουσία ειδών από κάποιους σταθμούς μπορεί να οφείλεται σε τυχαίο γεγονός ή σε δειγματοληπτικό σφάλμα. Έτσι. επιλέχθηκε ο δείκτης ανομοιότητας Bray - Curtis (Bray & Curtis 1957) για την πολυμεταβλητή ανάλυση των βιοτικών δεδομένων της παρούσας μελέτης, ο οποίος δεν επηρεάζεται από κοινές απουσίες ειδών, δίνει έμφαση τόσο στις σχετικές αφθονίες όσο και στη σύνθεση των ειδών. Άλλα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει είναι ότι ο τρόπος που υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ δύο παρατηρήσεων δεν επηρεάζεται από το σύνολο των δεδομένων ενώ παράλληλα ο δείκτης αυτός εμφανίζει σχεδόν γραμμική σχέση με την οικολογική απόσταση (Faith et al. 1987). Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του δείκτη αυτού είναι ότι η συμμετοχή κάθε μεταβλητής στις αποστάσεις εξαρτάται από την κλίμακα της. Έτσι όμως δίνεται μεγαλύτερο βάρος στα είδη που έχουν μεγαλύτερη αφθονία. Για το λόγο αυτό, εάν οι αφθονίες των ειδών διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους, συνιστάται ο μετασχηματισμός των δεδομένων, και χρησιμοποιείται συνήθως ο λογάριθμος ή η διπλή τετραγωνική ρίζα (Clarke & Green 1988). Οι Clarke & Green (1988) υποστηρίζουν ότι οι μετασχηματισμοί από $y^{0.5}$, $y^{0.25}$, logy έως παρουσία / απουσία (binary data), δίνουν, κατά σειρά που γράφονται, αυξανόμενο βάρος στα σπάνια είδη.

Ένα άλλο πρόβλημα με τη χρήση του δείκτη Bray-Curtis είναι ότι εάν δύο παρατηρήσεις (δείγματα) δεν έχουν τα ίδια είδη τότε θα είναι 100% ανόμοια. Συνεπώς, όσο πιο ανόμοια είναι δυο δείγματα τόσο πιο δύσκολο είναι να διακριθούν οι μεταξύ τους % διαφορές με βάση τις Bray-Curtis αποστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι δείγματα με λίγα κοινά είδη μεταξύ τους θα έχουν μεγάλη Bray-Curtis απόσταση, ανεξάρτητα από το εάν μοιάζουν ως προς τις σχετικές αφθονίες άλλων ειδών. Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι ότι κατά τη ταξιθέτηση με την τεχνική της μημετρικής πολυδιάστατης διαβάθμισης (non-metric Multidimensional Scaling, nMDS), το πρόβλημα αυτό εξομαλύνεται λόγω της χρήσης διαβαθμισμένων αποστάσεων για την απεικόνιση στις δύο διαστάσεις (Clarke 1993). Τσως γιαυτό η χρήση των Bray-Curtis αποστάσεων συνιστάται ιδιαιτέρως κατά την εφαρμογή της nMDS (Field *et al.* 1982, Faith *et al.* 1987).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι Bray-Curtis αποστάσεις τείνουν να μειώνονται όσο πιο δραματική είναι η επίδραση του μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται (Clarke 1993). Στην παρούσα μελέτη αποφασίστηκε να μη χρησιμοποιηθεί μετασχηματισμός. Αυτό προέκυψε από τους παραπάνω συλλογισμούς αλλά και από δοκιμές με διάφορους μετασχηματισμούς. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι οι μετασχηματισμοί της διπλής τετραγωνικής ρίζας και της παρουσίας / απουσίας εξομοιώνουν τους σταθμούς σε πολύ μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα το διάγραμμα της MDS να περιέχει ένα αδόμητο συνονθύλευμα των παρατηρήσεων.

Ο δείκτης ανομοιότητας Bray-Curtis χωρίς μετασχηματισμό χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις πολυμεταβλητές αναλύσεις που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη. Υπολογίζεται από το μαθηματικό τύπο:

$$d_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{p} |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^{p} (y_{ij} + y_{ik})}$$

όπου y_{ij} η αφθονία του είδους του είδους i στο δείγμα j, και p ο συνολικός αριθμός ειδών. Η ομοιότητα Bray-Curtis υπολογίζεται από την εξίσωση: S_{ik}=1-d_{ik}. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι Ευκλείδειες αποστάσεις στην Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA) που είναι μια τεχνική ταξιθέτησης. Ο υπολογισμός των αποστάσεων αυτών προκύπτει από την εφαρμογή του Πυθαγόρειου Θεωρήματος και είναι απλά η ευθεία γραμμή που ενώνει δυο παρατηρήσεις. Υπολογίζεται δε από το μαθηματικό τύπο:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{p} (y_{ik} - y_{jk})^2}$$

όπου, y_{ik} η αφθονία του είδους i στο δείγμα k καιρ ο συνολικός αριθμός ειδών.

Οι Ευκλείδειες αποστάσεις επηρεάζονται από τις κοινές απουσίες στις μεταβλητές, από τις διαφορές στην κλίμακα των μεταβλητών και η απόδοση τους εξαρτάται κατά πολύ από το μετασχηματισμό που χρησιμοποιείται. Για τους παραπάνω λόγους, στην παρούσα μελέτη, η χρήση τεχνικών που βασίζονται σε ευκλείδειες αποστάσεις εφαρμόστηκε μόνο σε περιβαλλοντικά δεδομένα.

Ο Clarke (1993) επισημαίνει ότι η επιλογή του δείκτη ανομοιότητας πρέπει να υπαγορεύεται από τα ίδια τα δεδομένα και τις υποθέσεις εργασίας και όχι από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μεθόδου ταξιθέτησης που εφαρμόζεται. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ταξιθέτησης οι οποίες, όπως η Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων (Principal Coordinates Analysis, PCoA) και η nMDS, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να βασιστούν στο δείκτη ανομοιότητας της επιλογής του ερευνητή. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι ταξιθέτησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

2.5.2.3.2 Ταξιθέτηση (Ordination)

Ο όρος ταξιθέτηση περιλαμβάνει όλες εκείνες τις τεχνικές που τοποθετούν τα πολυμεταβλητά δεδομένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να απεικονιστούν στη μία, τις δύο ή τις τρεις διαστάσεις. Η οικολογική σημασία της ταξιθέτησης συνίσταται στο γεγονός ότι οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών στο διάγραμμα ταξιθέτησης αντανακλούν ανομοιότητες στη δομή των πληθυσμών που αντιπροσωπεύουν.

Διακρίνονται δύο τύποι ταξιθέτησης ανάλογα με το εάν υπάρχουν *a priori* υποθέσεις για τα δεδομένα ή όχι (ter Braak 1995). Ο πρώτος τύπος είναι η έμμεση (indirect) ταξιθέτηση στην οποία η «τακτοποίηση» των παρατηρήσεων στο χώρο της μιας, δύο ή τριών το πολύ διαστάσεων αποσκοπεί στην ανάδειξη της συνολικής μεταβλητότητας των δεδομένων. Ο δεύτερος τύπος είναι η άμεση (direct) ταξιθέτηση στην οποία η απεικόνιση συνδέεται με τον έλεγχο *a priori* υποθέσεων για διαφορές ανάμεσα σε ομάδες παρατηρήσεων, όρος που αποτελεί και το κριτήριο της τακτοποίησης διακριτών ομάδων παρατηρήσεων.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τεχνικές έμμεσης ταξιθέτησης: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων και μη-μετρική Πολυδιάστατη Διαβάθμιση.

<u>Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis, PCA):</u> Στόχος της είναι η μείωση των διαστάσεων των δεδομένων μέσα από γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών μεταβλητών, ώστε οι νέες μεταβλητές που παράγονται, να διατηρούν τη μέγιστη δυνατή διασπορά των αρχικών δεδομένων. Αυτό γίνεται μέσα από προβολή του αρχικού νέφους των δεδομένων σε νέους άξονες, που ονομάζονται κύριες συνιστώσες (Κ.Σ.). Κάθε νέος άξονας είναι κάθετος στους προηγούμενους και περιέχει διαφορετικό "ποσό" πληροφορίας για τα αρχικά δεδομένα, το οποίο αποδίδεται με τις τιμές των scores για κάθε Κ.Σ. Η ταξινόμηση των Κ.Σ. κατά σειρά σπουδαιότητας βασίζεται στις ιδιοτιμές (eigenvalues) που αντιπροσωπεύουν τη μεταβλητότητα που εξηγείται από κάθε άξονα και εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό του αθροίσματος των ιδιοτιμών (Συνολική Μεταβλητότητα των αρχικών δεδομένων). Η πρώτη Κ.Σ.

μεταβλητότητας. Η δεύτερη Κ.Σ., κάθετη στην πρώτη, περιέχει την αμέσως μικρότερη μεταβλητότητα κλπ.

Η PCA καταλήγει σε τόσες Κ.Σ. όσες είναι οι μεταβλητές των αρχικών δεδομένων. Εάν όμως οι δύο πρώτες Κ.Σ. περιέχουν υψηλό ποσοστό της ολικής μεταβλητότητας (π.χ. >70%, αν και αυτό το ποσοστό είναι στην κρίση του ερευνητή), τότε το διάγραμμα ταξιθέτησης χρησιμοποιώντας τις Κ.Σ. 1 και Κ.Σ.2, προσεγγίζει ικανοποιητικά την εικόνα των αρχικών δεδομένων. Οι Κ.Σ. είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, οπότε περιέχουν διαφορετικό ποσοστό της αρχικής πληροφορίας (Clarke & Warwick 1994). Η PCA βασίζεται σε μήτρα Ευκλείδειων αποστάσεων και εάν οι μεταβλητές βρίσκονται σε ομογενείς διαστάσεις η ιδιο-ανάλυση (eigenanalysis) γίνεται με βάση τον πίνακα διασπορών-συνδιασπορών (πίνακας S) του αρχικού συνόλου. Εάν όμως οι μετρήσεις δεν είναι ομογενείς, τα δεδομένα πρέπει να τυποποιηθούν. Στην περίπτωση αυτή, οι Κ.Σ. προκύπτουν από την ιδιο-ανάλυση του πίνακα συσχετίσεων (πίνακας R).

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής ταξιθέτησης συνιστάται όταν τα δεδομένα είναι ποσοτικά, ο αριθμός των μεταβλητών είναι μικρότερος από τον αριθμό των παρατηρήσεων, δεν υπάρχουν πολλές μηδενικές τιμές και τα δεδομένα προσεγγίζουν την κανονική κατανομή και τέλος όταν οι αρχικές μεταβλητές συσχετίζονται μεταξύ τους.

Για τους παραπάνω λόγους, η PCA χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για να διευθετηθούν οι σταθμοί ως προς τα περιβαλλοντικά δεδομένα. Χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας R και τα δεδομένα απεικονίστηκαν ως Ευκλείδεια biplots, όπου η συνεισφορά κάθε μεταβλητής στα πρότυπα που αναδεικνύει το διάγραμμα ταξιθέτησης παριστάνεται με ένα διάνυσμα. Το διάνυσμα προκύπτει από την προβολή των scores των παρατηρήσεων στις μεταβλητές. Η επίδραση αυξάνεται στην κατεύθυνση του διανύσματος και μειώνεται στην αντίθετη ενώ το μέγεθος της επίδρασης υποδεικνύεται από το μέγεθος του διανύσματος. Η ανάλυση έγινε με το στατιστικό πακέτο R 1.6.2 (The R development core team 2003).

Μη-μετρική Πολυδιάστατη διαβάθμιση (non-metric Multidimensional scaling, nMDS) (Shepard 1962, Kruskal 1964, Kruskal & Wish 1978, Kenkel & Orloci 1986): Το ζητούμενο της ταξιθέτησης των δεδομένων με τη μέθοδο αυτή είναι η κατασκευή ενός "χάρτη" στον οποίο τα δείγματα τοποθετούνται στις δύο ή τρεις διαστάσεις, συνήθως, σε τέτοιες αποστάσεις μεταξύ τους ώστε να ικανοποιούνται όλες οι συνθήκες που υπαγορεύονται από την ιεράρχηση (ranking) του δείκτη ανομοιότητας που χρησιμοποιείται. Μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας (iterative procedure) παλινδρομήσεων, βρίσκεται η ελάχιστη τιμή του συντελεστή έντασης (stress). Ο συντελεστής αυτός έχει μικρές τιμές όταν επιτυγχάνεται μονότονη τοποθέτηση των ζευγών τιμών που προκύπτουν κατά την εφαρμογή μη-μετρικής (μονότονης) παλινδρόμησης μεταξύ των ευκλείδειων αποστάσεων (άξονας Y) και των ιεραρχημένων αποστάσεων της μήτρας ανομοιότητας (άξονας X) ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη δειγμάτων. Η μικρή τιμή του συντελεστή έντασης (stress) αποτελεί κριτήριο καλής εφαρμογής του μοντέλου και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την πιστότητα της μεθόδου (Field et al. 1982). Βέβαια, το stress του διαγράμματος nMDS αυξάνει με τον αριθμό των μεταβλητών. Εμπειρικά όμως, τιμές συντελεστή έντασης μεγαλύτερες από 0.2 «κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου» σημαντικών λαθών στην οικολογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης (Clarke 1993).

Οι άξονες της nMDS δεν έχουν συγκεκριμένη ερμηνεύσιμη σημασία. Έτσι, το διάγραμμα μπορεί να περιστραφεί, να μεγεθυνθεί ή να συσταλλεί, χωρίς αυτό να επηρεάσει το χάρτη των παρατηρήσεων που απεικονίζονται. Η εφαρμογή της nMDS παρουσιάζει τέσσερα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα: μπορεί να βασιστεί στο δείκτη ανομοιότητας (ή ομοιότητας) της επιλογής του ερευνητή, επηρεάζεται πολύ λιγότερο -σε σχέση με άλλες τεχνικές ταξιθέτησηςαπό την παρουσία ακραίων τιμών και λόγω της κατάταξης των αποστάσεων μεταξύ των παρατηρήσεων σε διατεταγμένη σειρά περιέχει την πλέον κατάλληλη οικολογική πληροφορία. Τέλος, πρόκειται για μια μη-παραμετρική πολυμεταβλητή μέθοδο που δεν προϋποθέτει γραμμικές σχέσεις μεταξύ των ειδών και των περιβαλλοντικών κλίσεων, όπως για παράδειγμα κάνει η PCA (Clarke 1993). Ωστόσο, μια σημαντική προϋπόθεση για την εφαρμογή της nMDS είναι η μονοτονία των σχέσεων μεταξύ ειδών και περιβαλλοντικών κλίσεων, η οποία όταν δεν πληρείται, η απεικόνιση της nMDS, αλλά και της PCA, υποφέρει από το φαινόμενο του πετάλου (horseshoe effect) (Gauch 1982).

Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε η nMDS στα δεδομένα αφθονίας των ειδών μακροπανίδας χρησιμοποιώντας το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίστηκαν με Ευκλείδειο biplot, όπου διανύσματα που αναπαριστούν την επίδραση των διαφόρων ειδών στο νέφος των παρατηρήσεων προκύπτουν με παλινδρόμηση των μεταβλητών με τους άξονες της nMDS. Η ανάλυση αυτή έγινε με το στατιστικό πακέτο Primer 5.1.2 για Windows (Primer-E Ltd, 2000).

Στις μεθόδους άμεσης ταξιθέτησης περιλαμβάνονται οι Κανονικές Αναλύσεις (Canonical Analyses) (ter Braak 1995). Ως κανονικές ορίζονται οι τεχνικές άμεσης ταξιθέτησης οι οποίες αναλύουν ταυτόχρονα δύο ή περισσότερες μήτρες δεδομένων λαμβάνοντας υπόψιν τις συσχετίσεις μεταξύ των εξαρτημένων μεταβλητών (Legendre & Legendre 1998). Υψίστου οικολογικού ενδιαφέροντος είναι ο τρόπος με τον οποίο μια βιοκοινωνία αποκρίνεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Έτσι, στις οικολογικές εφαρμογές της κανονικής ανάλυσης, συνήθως αναλύοται μαζί η μήτρα δεδομένων που περιέχει τις αφθονίες των ειδών (Υ μήτρα) και η μήτρα που περιέχει τα περιβαλλοντικά δεδομένα ή ποιοτικά δεδομένα, όπως αυτά ενός μοντέλου ανάλυσης διασποράς (Χ μήτρα). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα της διερεύνησης *α priori* υποθέσεων αναδεικνύοντας τη μεταβλητότητα της Υ μήτρας που σχετίζεται με τη Χ μήτρα, μέσω στατιστικών ελέγχων. Όπως, σε κάθε άλλη μέθοδο ταξιθέτησης, το αποτέλεσμα των κανονικών αναλύσεων μπορεί να αποδοθεί γραφικά στη μία ή δύο διαστάσεις, μεταβλητές από τις δύο μήτρες δεδομένων.

Η Κανονική Ανάλυση Διαχωρισμού ή Γραμμική Ταξινομική Ανάλυση (Canonical Discriminant Analysis, CDA) και η Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων (Canonical Correlation Analysis, CCorA) είναι δύο από τις σημαντικότερες μεθόδους Κανονικής Ανάλυσης (Legendre & Legendre 1998). Βασίζονται όμως στις Ευκλείδειες αποστάσεις και γιαυτό ενδείκνυται για

την ανάλυση μορφομετρικών δεδομένων, κυρίως και όχι αφθονιών ειδών. Οι Legendre & Legendre (1998) ήταν οι πρώτοι που επεσήμαναν ότι η CDA και η CCorA θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στους άξονες της PCoA. Πράγματι, χρησιμοποιώντας ένα υποσύνολο των αξόνων της PCoA, που έχει γίνει με βάση αποστάσεις της επιλογής του ερευνητή, μπορεί να εφαρμοστεί η CDA. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Κανονική Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων (CAP), διατηρεί όλα τα πλεονεκτήματα της κλασσικής CDA και για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται ευθύς αμέσως.

Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων (Principal coordinates analysis, PCoA) (Torgerson 1958, Gower 1966, Everitt 1978): Η ανάλυση αυτή ονομάζεται και μετρική Πολυδιάστατη Διαβάθμιση. Σε σύγκριση με την PCA, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να βασιστεί στο δείκτη ανομοιότητας της επιλογής του ερευνητή. Στο διάγραμμα ταξιθέτησης οι παρατηρήσεις τοποθετούνται με απλή γεωμετρική λογική, δηλαδή δημιουργείται ένας «χάρτης» στον ευκλείδειο χώρο. Οι νέοι άξονες, που ονομάζονται Κύριες Συντεταγμένες προκύπτουν από ιδιοανάλυση στη μήτρα ανομοιότητας, οπότε κάθε νέος άξονας περιέχει ένα ερμηνεύσιμο ποσοστό της αρχικής μεταβλητότητας των δεδομένων. Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών αποστάσεων που χρησιμοποιούνται, αντίθετα με ότι συμβαίνει στην PCA, η σχέση των αρχικών μεταβλητών με τις Κύριες Συντεταγμένες δεν είναι απαραίτητα γραμμική. Όταν όμως χρησιμοποιούνται οι Ευκλείδειες αποστάσεις το αποτέλεσμα της PCoA ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της PCA, γεγονός που δείχνει ότι η PCoA, στην ουσία, αποτελεί μια γενίκευση της PCA.

Η εφαρμογή της ανάλυσης αυτής στην παρούσα μελέτη έγινε στα πλαίσια της Κανονικής Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Anderson & Willis 2003) που περιγράφεται στη συνέχεια.

<u>Kavovikή Aváλυση Kupíwv Συντεταγμένων (Canonical Analysis of Principal Coordinates,</u> <u>CAP) (Legendre & Legendre 1998, Anderson & Willis 2003</u>). Η μέθοδος CAP επιτρέπει τον έλεγχο υποθέσεων με τη διαδικασία των τυχαίων ανασυνδυασμών με βάση τους στατιστικούς ελέγχους της Κανονικής Ανάλυσης Διαχωρισμού (CDA). Επιτρέπει επίσης να υπολογιστούν εκ των υστέρων οι συσχετίσεις κάθε μεταβλητής (είδος) με τους κανονικούς άξονες (ή κανονικές μεταβλητές) με σκοπό να αναδειχθούν τα είδη που ευθύνονται για το διαχωρισμό των ομάδων παρατηρήσεων. Παρόμοια, μπορεί να εφαρμοστεί CCorA στο υποσύνολο των αξόνων της PCoA, για να διερευνηθεί η υπόθεση ότι η διάταξη των παρατηρήσεων οφείλεται σε συγκεκριμένες συσχετίσεις περιβαλλοντικών παραγόντων με τις αφθονίες των ειδών. Ειδικότερα, μπορεί να εξεταστεί η συσχέτιση της δομής της βιοκοινωνίας, και των επιμέρους ειδών χωριστά, με περιβαλλοντικές μεταβλητές. Το διάγραμμα ταξιθέτησης προκύπτει με τη δημιουργία νέων αξόνων οι οποίοι μεγιστοποιούν τις διαφορές ανάμεσα στις ομάδες παρατηρήσεων που έχουν τεθεί *a priori*. Διερευνάται, δηλαδή, η υπόθεση ότι οι ομάδες παρατηρήσεων διαφέρουν μεταξύ τους. Κατ'αναλογίαν, η ταξιθέτηση με την Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων (CCorA) αναδεικνύει τους άξονες που μεγιστοποιούν τη σχέση της Υ μήτρας με το γραμμικό συνδυασμό των περιβαλλοντικών που είδων μεταβλητών. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι λαμβάνονται υπόψιν οι συσχετίσεις μεταβλητός.

Ένα από τα σημεία της μεθόδου CAP που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι ο τρόπος επιλογής του υποσυνόλου των αξόνων της PCoA που πρόκειται να υποβληθούν σε κανονική ανάλυση. Η επιλογή του αριθμού των αξόνων αυτών γίνεται έτσι ώστε να περιλαμβάνεται ένα μεγάλο ποσοστό (~ 60%) της αρχικής πληροφορίας (μεταβλητότητας), χωρίς όμως να περιλαμβάνονται άξονες (κύριες συντεταγμένες) που δε συνεισφέρουν στο διαχωρισμό των παρατηρήσεων σε ομάδες. Έτσι, το πιο κατάλληλο κριτήριο για την επιλογή του αριθμού των κυρίων συντεταγμένων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην CAP, είναι να περιλαμβάνονται μόνο όσοι άξονες επιτρέπουν ελάχιστο σφάλμα επανατοποθέτησης των παρατηρήσεων στις ομάδες που πραγματικά ανήκουν. Πιο συγκεκριμένα ο έλεγχος καλής προσαρμογής των δεδομένων στο διάγραμμα ταξιθέτησης επιτυγχάνεται σύμφωνα με την προσέγγιση των Lachenbruch & Mickey (1968), γνωστή ως "leave-one-out" (ή "jack-knife classification"). Συγκεκριμένα, η ταξιθέτηση γίνεται αρχικά χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν μια από τις παρατηρήσεις. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή, προσδιορίζεται η ομάδα στην οποία διευθετείται η παρατήρηση αυτή. Επειδή όμως είναι *a priori* γνωστό σε ποια ομάδα ανήκει, καθορίζεται εάν έγινε σφάλμα ή όχι κατά την τοποθέτηση της παρατήρησης σε κάποια από τις ομάδες του διαγράμματος ταξιθέτησης. Εάν αυτή η διαδικασία επαναληφθεί πολλές φορές, προσδιορίζεται συνολικά για τα δεδομένα το ελάχιστο σφάλμα ταξινόμησης (misclassification error), που αποτελεί κριτήριο για την «καλή προσαρμογή» της απεικόνισης στα αρχικά δεδομένα. Στην περίπτωση που εφαρμόζεται η ανάλυση συσχετίσεων (CAPCorr), τότε η μέθοδος "leave-one-out" εφαρμόζεται στα σφάλματα του αθροίσματος των τετραγώνων των συνδυασμών μεταξύ ειδών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Ο τρόπος με τον οποίο ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης (CAP) έχει ως εξής: 1. Διάγραμμα Ταξιθέτησης: Με βάση τα scores των αφθονιών των ειδών στους Κανονικούς Άξονες τοποθετούνται οι σταθμοί ανάλογα με τις κατ' επιλογήν αποστάσεις μεταξύ τους, (Bray-Curtis στην παρούσα μελέτη). Έτσι, προκύπτουν σταθμοί που αντιστοιχούν στις αρνητικές τιμές του άξονα και σταθμοί που αντιστοιχούν στις θετικές. 2. Συσχετίσεις των ειδών: Εξετάζεται το πρόσημο και το μέγεθος της συσχέτισης της αφθονίας κάθε είδους με τους Κανονικούς Άξονες που χρησιμοποιήθηκαν στο διάγραμμα ταξιθέτησης. Έτσι, είδη με θετικό πρόσημο για έναν Κανονικό Άξονα έχουν υψηλότερες αφθονίες στους σταθμούς των οποίων τα scores βρίσκονται στις θετικές τιμές του άξονα αυτού. Το αντίθετο ισχύει για τις αρνητικές τιμές συσχετίσεων. Εάν τα είδη έχουν μεγάλες τιμές συσχέτισης μπορεί να χαρακτηρίζουν ένα σταθμό ή ομάδα σταθμών. 3. Συσχετίσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων: Εάν εφαρμόζεται η ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων τότε εξετάζονται και οι τιμές συσχέτισης κάθε περιβαλλοντικής παραμέτρου χωριστά με τους Κανονικούς Άξονες. Ανάλογα με το μέγεθος των συσχετίσεων αυτών χαρακτηρίζεται ο Κανονικός Άξονας και μπορούν επομένως να ερμηνευθούν οι διαφορές μεταξύ των σταθμών με βάση την κατανομή των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εάν η τιμή συσχέτισης ενός περιβαλλοντικού παράγοντα είναι πολύ υψηλή (>0.8) τότε ο Κανονικός Άξονας αντιστοιχεί στις μεταβολές αυτού του παράγοντα και μόνο. Οι αναλύσεις CAP έγιναν με το στατιστικό πρόγραμμα CAP10.exe (Anderson 2003c).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι άμεσες μέθοδοι ταξιθέτησης δεν δίνουν πληροφορίες για τη διασπορά των δεδομένων. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να εξετάζονται σε συνδυασμό με διαγράμματα έμμεσης ταξιθέτησης, όπως οι μέθοδοι της PCA και της nMDS, που στόχο έχουν να αποδώσουν όσο γίνεται πιο πιστά τη δομή της βιοκοινωνίας. Διότι τελικά, εκτός από τον έλεγχο υποθέσεων, ο ερευνητής πρέπει να «ακούει» τα δεδομένα του ("Let the data speak for themselves"), όπως πολύ ωραία το έθεσε ο Clarke (1993).

2.5.2.3.3 Ανάλυση ομάδων (Cluster Analysis)

Με την Ανάλυση Ομάδων μπορεί να εκτιμηθεί η ομοιότητα μεταξύ παρατηρήσεων. Η ανάλυση ομαδοποιεί τις παρατηρήσεις με βάση μήτρα ομοιότητας και στη συνέχεια αποδίδει τις ομαδοποιήσεις με τη μορφή δενδρογράμματος. Πρακτικά, έχει διερευνητικό σκοπό και συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την nMDS, προκειμένου να αναδειχθεί η δομή των δεδομένων ανεξάρτητα από την *a priori* ύπαρξη ομάδων βάσει υποθέσεων (Clarke 1993).

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης η Ανάλυση Ομάδων έγινε με την τεχνική "groupaverage linkage" (Clifford & Stephenson 1975) με την οποία υπολογίζεται η μέση ομοιότητα όλων των δυνατών ζευγών δειγμάτων από κάθε ομάδα και όχι η μέγιστη ομοιότητα ανάμεσα στα ζεύγη (Field *et al.* 1982). Η ανάλυση βασίστηκε στο δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis και έγινε με το στατιστικό πακέτο Primer 5.1.2 για Windows (Primer-E Ltd 2000).

2.5.2.3.4 Σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών

Συσχέτιση: Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σχέση μεταξύ ζευγών συνεχών μεταβλητών αναλύθηκε με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson (Pearson's product moment correlation

coefficient). Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε κυρίως σε ζεύγη περιβαλλοντικών παραμέτρων από τη στήλη και το ίζημα.

Παλινδρόμηση: Όπως ήδη αναφέρθηκε, η Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων προσφέρει τη χρήσιμη δυνατότητα να ελεγχθεί εάν δύο μεταβλητές, Υ και Χ, συσχετίζονται σημαντικά μεταξύ τους. Ωστόσο η μέθοδος αυτή δεν παρέχει πληροφορίες για την ποσότητα της μεταβλητότητας που εξηγείται από τη σχέση αυτή. Έτσι, στις περιπτώσεις που κρίνεται αναγκαίο να προβλεφθεί το ποσοστό της μεταβλητότητας των εξαρτημένων μεταβλητών που εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητός, πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι στατιστικοί έλεγχοι της Ανάλυσης Πλεονασμού (Redundancy Analysis) (ter Braak 1990) και το ερώτημα να προσεγγιστεί με τη μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης. Πρόσφατα βελτιωμένες εκδοχές της Ανάλυσης Πλεονασμού επιτρέπουν τη χρήση δείκτη ανομοιότητας της επιλογής του ερευνητή, οπότε και οι αντίστοιχοι στατιστικοί έλεγχοι μπορούν να αξιοποιηθούν στην πολυμεταβλητή πολλαπλή παλινδρόμηση (Legendre & Anderson 1999, McArdle & Anderson 2001).

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εφαρμόστηκε πολυμεταβλητή πολλαπλή παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας το BRAY-CURTIS δείκτη ανομοιότητας. Με αυτή την ανάλυση διερευνήθηκε η σχέση ανάμεσα στις περιβαλλοντικές μεταβλητές (ανεξάρτητες μεταβλητές) και τις εξαρτημένες μεταβλητές που αφορούν σε αφθονίες των ειδών (πρώτο και δεύτερο δειγματοληπτικό πλάνο). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα DISTLM 2 forward.exe (Anderson 2003d) εφαρμόζοντας τη μέθοδο επιλογής προς τα μπροστά (forward selection) για την αναζήτηση του βέλτιστου μοντέλου. Το πρόγραμμα αρχικά εξετάζει τη σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών στην «προβλεψιμότητα» του μοντέλου, κάνοντας τους ελέγχους χωριστά για κάθε μεταβλητή αγνοώντας την επίδραση των υπόλοιπων μεταβλητών (marginal tests). Στη συνέχεια εφαρμόζονται σταδιακά μεταβλητές (ή σετ μεταβλητών) μέχρι η προσθήκη μιας μεταβλητής (ή σετ μεταβλητών) να μη συμβάλλει περισσότερο στην «προβλεψιμότητα» του μοντέλου (conditional tests), χρησιμοποιώντας ως κριτήριο για τον υπολογισμό του στατιστικού ελέγχου (pseudo-F, Legendre & Anderson 1999, McArdle &

Anderson 2001) το ποσοστό του Ολικού Αθροίσματος των Τετραγώνων που εξηγείται από κάθε μεταβλητή (ή σετ μεταβλητών) και τυχαίους ανασυνδυασμούς επί των σφαλμάτων (residuals). Το πρόγραμμα παρέχει επίσης πληροφορία για την πολυσυγγραμικότητα (multicolinearity), δηλαδή την ύπαρξη σχέσης ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές, παραθέτοντας πίνακα με τις συσχετίσεις μεταξύ ζευγών ανεξάρτητων μεταβλητών. Με τον τρόπο αυτό κρίνεται η εισαγωγή κάποιων μεταβλητών έναντι άλλων στη διαδικασία αναζήτησης του βέλτιστου μοντέλου.

Στα πλαίσια του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου εφαρμόστηκε επίσης η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης για την εύρεση του μοντέλου που προβλέπει τις διακυμάνσεις της κατανάλωσης οξυγόνου από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας. Το βέλτιστο μοντέλο επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση των σφαλμάτων και χρησιμοποιώντας μόνο μεταβλητές με μεταξύ τους συντελεστή συσχέτισης μικρότερο από 0.5, προκειμένου να περιοριστούν προβλήματα πολυσυγγραμικότητας. Χρησιμοποιήθηκαν οι λογάριθμοι των μεταβλητών. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο Systat 5.02 (Systat Inc. 1992).

οχ3.1 Αποτελέσματα πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου

3.1.1 Υδρολογικά Στοιχεία

Τα υδρολογικά στοιχεία που μετρήθηκαν στα πλαίσια του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου, περιλαμβάνουν τις κάθετες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας, αλατότητας και θολερότητας στη στήλη καθώς και το βάθος διείσδυσης του φωτός.



Εικόνα 3.1.1 Κάθετες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας σε κάθε σταθμό και μήνα δειγματοληψίας του πρώτου πλάνου.

Αξιοσημείωτες είναι οι εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες να σημειώνονται το μήνα Φεβρουάριο (από 11.9 °C, επιφάνεια, Σταθμός 7 μέχρι 13.4 °C, πυθμένας, Σταθμοί 3 και 8) και τις υψηλότερες το μήνα Αύγουστο (από 24.9 °C, επιφάνεια, Σταθμός 5 μέχρι 27.4 °C, επιφάνεια, Σταθμός 4) (Εικόνα 3.1.1). Κατά τη διάρκεια της μελέτης, διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών θερμοκρασίας στην επιφάνεια και στη στρώση πυθμένα της στήλης (Πίνακας 3.1.1 α). Επίσης, με εξαίρεση το Φεβρουάριο, το εύρος των επιφανειακών τιμών δε διαφέρει σημαντικά από το εύρος τιμών στον πυθμένα (F-λόγος < 1.47, p>0.05, Πίνακας 3.1.1 β).



Εικόνα 3.1.2. Κάθετες διαβαθμίσεις αλατότητας σε κάθε σταθμό του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Κάθε εποχή δειγματοληψίας απεικονίζεται σε διαφορετική κλίμακα.

Η εισροή γλυκών νερών από το Σπερχειό και τους ποταμοχείμαρρους των βόρειων ακτών του Μαλιακού λαμβάνει χώρα σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας, όπως φαίνεται από το υπόπυκνο επιφανειακό στρώμα που φτάνει τα 4 m πάχος σε κάποιους από τους σταθμούς της μελέτης (Εικόνα 3.1.2). Γενικά, οι τιμές αλατότητας στα πρώτα επιφανειακά εκατοστά είναι κατά 1-2 ‰ χαμηλότερες από ότι στη στρώση πυθμένα της στήλης. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ επιφάνειας και πυθμένα κυμαίνεται μεταξύ 3-3.5 ‰ και παρατηρείται το Μάιο στους σταθμούς 3, 6 και 8. Την περίοδο αυτή σημειώνονται και οι χαμηλότερες τιμές αλατότητας στους σταθμούς αυτούς, προφανώς λόγω εισροής γλυκών νερών. Οι παραπάνω παρατηρήσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1.1 β, όπου διαπιστώνεται ότι το εύρος τιμών επιφάνειας διαφέρει σημαντικά από το εύρος τιμών πυθμένα το Νοέμβριο, το Φεβρουάριο και το Μάιο. Διαπιστώνεται επίσης ότι κατά τη διάρκεια της μελέτης οι διακυμάνσεις της αλατότητας στην επιφάνεια, δε συσχετίζονται ισχυρά με τις διακυμάνσεις κοντά στον πυθμένα (Πίνακας 3.1.1 α). Κατά πάσα πιθανότητα, αυτό οφείλεται στο γρήγορο ρυθμό οριζόντιας ανάμιξης των υδάτων στο Μαλιακό κόλπο (Christou *et al.* 1995).

Πίνακας 3.1.1. Στατιστικοί έλεγχοι των τιμών των υδρολογικών παραμέτρων που συλλέχθηκαν στα πλαίσια του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. α. Συντελεστές συσχέτισης (R) ανάμεσα στις τιμές στην στρώση επιφάνειας και πυθμένα της στήλης από όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους (n=αριθμός σταθμών). β. Σύγκριση των τιμών επιφάνειας και στρώσης πυθμένα σε κάθε δειγματοληπτική περίοδο χωριστά με F-λόγο. p:επίπεδο σημαντικότητας. MΣ: Μη σημαντικό. *: 0.01 . **<math>0.001 .

α.			
Παράμετρος	R	n	

Θερμοκρασία	0.927	32	
Αλατότητα	0.479	32	
Θολερότητα	0.991	32	
β.			
Θερμοκρασία	F-λόγος	р	n
Αύγουστος	0.35	ΜΣ	8
Νοέμβριος	1.47	ΜΣ	8
Φεβρουάριος	16.82	***	8
Μάιος	0.54	ΜΣ	8
Αλατότητα	F-λόγος	р	n
Αύγουστος	0.31	ΜΣ	8
Νοέμβριος	10.14	**	8
Φεβρουάριος	9.46	**	8
Μάιος	8.75	**	8
Θολερότητα	F-λόγος	р	n
Αύγουστος	18.66	***	8
Νοέμβριος	1.95	ΜΣ	8
Φεβρουάριος	0.17	*	8
Μάιος	0.942	MΣ	8



Εικόνα 3.1.3. Κάθετες διαβαθμίσεις Θολερότητας (FTU) σε όλους τους σταθμούς και τις περιόδους δειγματοληψίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Οι κάθετες διαβαθμίσεις θολερότητας (Εικόνα 3.1.3) αντανακλούν αξιοσημείωτες χωρικές και εποχικές διακυμάνσεις. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται κατά το Μάιο (132.8 FTU, στρώση πυθμένα, Σταθμός 6). Κατά την περίοδο αυτή παρατηρούνται οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των σταθμών, καθώς οι τιμές στους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού είναι από δεκαπλάσιες έως εκατονταπλάσιες από ότι στους υπόλοιπους σταθμούς. Τον Αύγουστο (σταθμοί 4 και 6) και το Μάιο (σταθμός 8) παρατηρείται η παρουσία επιφανειακής νεφελοειδούς στρώσης γεγονός που υποδηλώνει εκφορτίσεις αιωρούμενου υλικού. Αντίθετα το υψηλό φορτίο αιωρούμενης ύλης στη στρώση πυθμένα στους σταθμούς 1, 3, 4 και 7 το Φεβρουάριο και στους σταθμούς 2, 3, 4 και 7 το Μάιο, υποδεικνύει την επίδραση φαινομένων επαναιώρησης των ιζημάτων κατά τις περιόδους αυτές. Οι τιμές θολερότητας στην επιφάνεια συσχετίζονται (R=0.991) με τις τιμές στη στρώση πυθμένα στο σύνολο των σταθμών από όλες τις περιόδους δειγματοληψίας (Πίνακας 3.1.1 α), γεγονός που αποτελεί ένδειξη κάθετης ανάμιξης της στήλης κατά τη διάρκεια μελέτης. Το εύρος τιμών στην επιφάνεια διαφέρει σημαντικά από αυτό στην στρώση πυθμένα κατά τον Αύγουστο και το Φεβρουάριο (Πίνακας 3.1.1 β).

Οι χωρικές διακυμάνσεις του βάθους διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετά έντονες. Έτσι, οι τιμές είναι, γενικά, μεγαλύτερες στον εξωτερικό Μαλιακό, όπου το ηλιακό φως διεισδύει ως τα 16 μέτρα τον Αύγουστο, και μικρότερες κοντά στην εκβολή του Σπερχειού, όπου το βάθος διείσδυσης κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 7.5 μέτρων (Εικόνα 3.1.4).


Εικόνα 3.1.4. Βάθος διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το συνολικό βάθος της στήλης στους σταθμούς δειγματοληψίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Συνοψίζοντας, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά στη στήλη του Μαλιακού ακολουθούν, σε γενικές γραμμές, τον εποχικό κύκλο και χαρακτηρίζονται από χωρική ετερογένεια αλλά μικρό βαθμό κάθετης στρωμάτωσης. Έτσι, κατά το τέλος της καλοκαιρινής περιόδου (Αύγουστος), η στήλη χαρακτηρίζεται από καλή κάθετη ανάμιξη ως προς τη θερμοκρασία, την αλατότητα και τη θολερότητα, με τις διαφορές να εντοπίζονται σε οριζόντιο επίπεδο δηλαδή μεταξύ σταθμών. Η κατάσταση αυτή συνεχίζεται και το Νοέμβριο, παράλληλα με σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας. Ο περιορισμός του υπόπυκνου σήματος το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο αποτελεί ένδειξη γρήγορης ανάμιξης των ποτάμιων εισροών με τις θαλάσσιες μάζες και τυρβώδους ροής των μαζών. Από το Φεβρουάριο προς το Μάιο παρατηρείται αύξηση των αιωρούμενων ιζημάτων στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε επαναιώρηση των ιζημάτων ή / και στη συσσώρευση συσσωματωμάτων στη στρώση πυθμένα, ειδικά στους σταθμούς όπου λαμβάνει χώρα συνάντηση υπόπυκνων στρώσεων με τις θαλάσσιες μάζες, λόγω του φαινομένου της κροκίδωσης, (μέτωπο δέλτα, σταθμοί 6 και 8, Poulos et al. 1996). Τέλος, το Μάιο με την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια διακρίνεται η απαρχή εγκατάστασης θερμοκλινούς στη στήλη σε όλους στους σταθμούς, ενώ είναι εμφανέστατο το «σήμα» εισροής γλυκών νερών και αιωρούμενου υλικού (λάσπη και άργιλος κυρίως) από το Σπερχειό με την παρουσία αλοκλινούς, πολύ υψηλών τιμών θολερότητας στην επιφάνεια και μικρού βάθους διείσδυσης του ηλιακού φωτός στο μέτωπο του δέλτα. Η κατάσταση αυτή αποτελεί ένδειξη ότι υφίσταται χρονική μετατόπιση του μέγιστου εισροών από το Σπερχειό από το τέλος του χειμώνα-αρχή άνοιξης, οπότε είχε εντοπιστεί κατά τη διάρκεια παλαιότερων μελετών (ΕΚΘΕ 1994, Christou et al. 1995, Poulos et al. 1996, Κορμάς 1998, Kormas et al. 2002), προς την αρχή της καλοκαιρινής περιόδου. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι το

γεγονός αυτό μπορεί να σχετίζεται με αλλαγές ή ρυθμίσεις της ροής του ποταμού από το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων της περιοχής (προσωπική επικοινωνία με τοπικό εκπρόσωπο). Δυστυχώς, η απουσία ενός αξιόπιστου σχεδιαγράμματος της μηνιαίας κυκλοφορίας των υδάτων στο Μαλιακό κόλπο και ειδικά στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, δεν επιτρέπει παρά μόνον τη διατύπωση υποθετικών συλλογισμών σχετικά με τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά του κόλπου.

3.1.2 Αιωρούμενο Υλικό

Οι παράμετροι του αιωρούμενου υλικού που παρουσιάζονται στην παράγραφο αυτή περιλαμβάνουν τις συγκεντρώσεις της ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ), της Αιωρούμενης Σωματιδιακής Οργανικής Ύλης (ΑΣΟΥ), του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (Chlroroplastic Pigment Equivalent, CPE) καθώς και τις επιμέρους συγκεντρώσεις της Χλωροφύλλης *α* (Chl *a*) και των Φαιοχρωστικών (Pheo).

Οι διακυμάνσεις της ΑΣΥ απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1.5 και δεν ακολουθούν συγκεκριμένο πρότυπο διαφορών μεταξύ των τριών στρωμάτων της στήλης (επιφάνεια, μέση, πυθμένας). Τα επίπεδα ΑΣΥ είναι σε γενικές γραμμές υψηλότερα από 25 mg/l το Φεβρουάριο και το Μάιο στους σταθμούς που βρίσκονται στις βόρειες ακτές του Μαλιακού κόλπου (Εικόνες 3.1.5 και 2.4) και κοντά στην εκβολή του Σπερχειού (σταθμός 8). Οι τιμές αυτές είναι από τις υψηλότερες που έχουν σημειωθεί στο Μαλιακό (Poulos *et al.* 1996, Kormas *et al.* 1997) και είναι συγκρίσιμες με τις μέγιστες τιμές που έχουν σημειωθεί σε εκβολικά ποταμών με υπερπολλαπλάσιο ιζηματολογικό φορτίο (Δέλτα Fly, Νέα Γουινέα, Robertson *et al.* 1998). Το γεγονός ότι οι τάσεις αυτές του ΑΣΥ δε σχετίζονται με τη θολερότητα, η εκτίμηση της οποίας βελτιστοποιείται όταν το εύρος του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεταξύ 200-400μm (Coner & De Visser 1990), υποδεικνύουν την εισροή μεγάλων ποσοτήτων λεπτόκοκκου υλικού (<200μm) το Φεβρουάριο από τους ποταμοχείμαρρους των βόρειων ακτών του Μαλιακού. Αυτό αποτελεί έμμεση ένδειξη ότι ο Σπερχειός εκφορτίζει αδρότερο αιωρούμενο υλικό από τους ποταμοχείμαρρους.

Τα ποσοστά ΑΣΟΥ επί της ολικής ΑΣΥ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1.2, σπανίως υπερβαίνουν το 50%. Οι υψηλότερες ποσοστιαίες αναλογίες σημειώνονται το Φεβρουάριο στις βόρειες ακτές του Μαλιακού, στους σταθμούς όπου παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές ΑΣΥ κατά τη διάρκεια της μελέτης. Αντίθετα, στους σταθμούς 5, 6, 7 και 8 η συγκέντρωση ΑΣΟΥ είναι κατά κανόνα μικρότερη από το 20% της ΑΣΥ σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ του εύρους τιμών στην επιφάνεια και τον πυθμένα δεν παρατηρήθηκαν παρά μόνον το Μάιο (F=5.17, p=0.02), ενώ οι ποσοστιαίες αναλογίες ΑΣΟΥ/ΑΣΥ στην επιφάνεια και τον πυθμένα δεν παρατηρήθηκαν παρά μόνον το Μάιο (F=5.17, p=0.02), ενώ οι ποσοστιαίες αναλογίες ΑΣΟΥ/ΑΣΥ στην επιφάνεια και τον πυθμένα δεν παραυτηρήθηκαν παρά μόνον το Μάιο (F=5.17, p=0.02), ενώ οι ποσοστιαίες αναλογίες ΑΣΟΥ/ΑΣΥ στην επιφάνεια και τον πυθμένα δεν παραυτηρήθηκαν παρά μόνον το Μάιο (F=5.17, p=0.02), ενώ οι ποσοστιαίες αναλογίες ΑΣΟΥ/ΑΣΥ στην επιφάνεια και τον πυθμένα δεν παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της μελέτης (R=-0.04), υποδηλώνοντας ότι παρά την κάθετη ανάμιξη των μαζών οι πηγές ΑΣΟΥ στην επιφάνεια διαφοροποιούνται από αυτές στον πυθμένα. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι το Φεβρουάριο σημειώνεται το μεγαλύτερο εύρος τιμών στα τρία στρώματα της στήλης ενώ γενικά, εξαιρουμένου ίσως του Μαΐου, οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των σταθμών αφορούν στη στρώση πυθμένα.

Οι χαμηλότερες τιμές Χλωροφύλλης *α* σημειώνονται τον Αύγουστο οπότε οι συγκεντρώσεις που σημειώνονται, εξαιρουμένου του σταθμού 8, δεν υπερβαίνουν τα 0.4 μg/l (Εικόνα 3.1.6). Στις υπόλοιπες περιόδους τα επίπεδα Χλωροφύλλης *α* κυμαίνονται κατά κανόνα κοντά στο 1 ± 0.2 μg/l περίπου ενώ οι υψηλότερες τιμές (~1.6 μg/l) σημειώνονται το Μάιο στη στρώση πυθμένα της στήλης σε σταθμούς του εξωτερικού Μαλιακού. Οι τιμές αυτές βρίσκονται στα χαμηλότερα όρια του εύρους μέγιστων τιμών που έχουν έως τώρα καταγραφεί στο Μαλιακό και δεν υποδεικνύουν την ύπαρξη διαβαθμίσεων των συγκεντρώσεων της Χλωροφύλλης *α* στον άξονα Εσωτερικού - Εξωτερικού Μαλιακού (Friligos 1978, Christou *et al.* 1995, Kormas *et al.* 1997, 1998, 2002) Οι συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης *α* στο Μαλιακό κυμαίνονται σε άλλες παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου με εισροές θρεπτικών (βλ. επισκόπηση Stergiou *et al.* 1997). Κυμαίνονται όμως σε συγκρίσιμα επίπεδα με τις τιμές



που έχουν σημειωθεί σε άλλες περιοχές του κόσμου με υψηλή στερεοπαροχή (Robertson *et al.* 1998, Ayukai & Wolanski 1997)

Εικόνα 3.1.5. Διακυμάνσεις της ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης - ΑΣΥ (mg/l) σε όλους τους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Λευκές ράβδοι: επιφάνεια στήλης. Γκρίζες ράβδοι:μεσαία στρώση στήλης. Μαύρες ράβδοι: στρώση πυθμένα στήλης.

Οι συγκεντρώσεις των Φαιοχρωστικών κυμαίνονται στα ίδια –τον Αύγουστο- ή και χαμηλότερα επίπεδα –το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο- από τη Χλωροφύλλη α (Εικόνα

3.1.6). Έτσι, ο συνδυασμός χαμηλών τιμών Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών τον Αύγουστο, υποδεικνύει ότι το τέλος του καλοκαιριού αντιπροσωπεύει μια περίοδο κατά την οποία η φυτοπλαγκτονική βιομάζα και τα προϊόντα αποικοδόμησης της έχουν ήδη εξαντληθεί στη στήλη ή εναποτεθεί στο ίζημα. Η δεύτερη εκδοχή δεν υποστηρίζεται από αυξημένη συγκέντρωση των φαιοχρωστικών στη στρώση πυθμένα της στήλης. Αντίθετα, το φαινόμενο εξάντλησης της στήλης έχει ήδη παρατηρηθεί σε προηγούμενες μελέτες κατά το Σεπτέμβριο και φαίνεται να σχετίζεται με χαμηλές έως μηδενικές τιμές θρεπτικών (Kormas *et al.* 1997, 2002). Εξαίρεση αποτελούν οι υψηλές τιμές φαιοχρωστικών που μετρήθηκαν στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού (σταθμοί 6 και 8) και οι οποίες τον Αύγουστο, καθώς και το Νοέμβριο, υπερβαίνουν τα 2.4 μg/l.

Ι Δειγμι 2	Ιρώτο ατοληπτικό πλάνο	Ποσοστιαία αναλογία ΑΣΟΥ επί ΑΣΥ												
						Σταθμ	οί							
Εποχ ή	Βάθος Στήλης	1	2	3	4	5	6	7	8	$MT{\pm}\tau\alpha$				
	Επιφάνεια	65.45	30.3 6	14.52	28.57	32.88	23.75	30.61	20.00	30.77±15.3 1				
Α	Μέση	48.89	47.5 0	48.00	54.05	18.03	58.33	60.00	16.92	43.97±16.9 9				
	Πυθμένας	40.63	16.6 7	2.77	65.85	23.44	15.00	34.78	16.92	27.01±19.6 6				
	Επιφάνεια	6.38	36.0 0	35.14	21.13	14.21	10.43	14.29	6.00	17.95±11.9 0				
Ν	Μέση	40.43	24.5 6	21.43	27.08	20.45	4.65	20.69	8.82	21.01±10.9 7				
	Πυθμένας	48.33	17.1 4	56.99	16.67	40.00	3.23	15.52	8.82	25.84±19.7 9				

Πίνακας 3.1.2 Εκατοστιαίες αναλογίες της Αιωρούμενης Σωματιδιακής Οργανικής Ύλης (ΑΣΟΥ επί της ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ) στους σταθμούς του πρώτου πλάνου. ΜΤ: Μέση τιμή, τα: τυπική απόκλιση.

	Επιφάνεια	23.31	9.91	15.22	88.14	11.78	18.00	7.39	51.97	28.21±28.0 0
Φ	Μέση	14.14	10.2 9	12.38	76.67	14.15	21.10	28.36	2.91	22.50±23.1 3
	Πυθμένας	13.28	83.9 1	5.95	27.78	17.85	51.32	45.83	2.91	31.10±27.6 3
	Επιφάνεια	52.71	14.1 4	35.66	21.15	15.79	19.10	3.14	18.09	22.47±15.1 5
Μ	Μέση	28.00	16.1 3	5.49	20.45	17.01	18.63	5.34	18.09	5.34±7.55
	Πυθμένας	1.15	18.4 6	21.43	18.18	18.75	15.66	22.56	18.09	22.56±6.66

Η μέση τιμή του λόγου Χλωροφύλλης *α* προς Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE), ο οποίος αποτελεί μέτρο της παλαιότητας της φυτικής βιομάζας, κυμαίνεται σε όλο τον κόλπο, εκτός από τις περιοχές κοντά στην εκβολή του Σπερχειού, σε αρκετά υψηλά επίπεδα (>0.6) (Εικόνα 3.1.7). Αυτές οι τάσεις αντανακλούν την επικράτηση συνθηκών που επιτρέπουν την παραγωγή φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στη στήλη του Μαλιακού καθόλη τη διάρκεια του έτους. Πράγματι, μελέτη των μηνιαίων διακυμάνσεων των φωτοσυνθετικών χρωστικών στη στήλη του Μαλιακού κάθολη τη διάρκεια του έτους. Πράγματι, μελέτη των μηνιαίων διακυμάνσεων των φωτοσυνθετικών χρωστικών στη στήλη του Μαλιακού κόλπου κατά την χρονική περίοδο 1998-1999 κατέδειξε ότι φυτοπλαγκτονική άνθηση έλαβε χώρα τον Οκτώβριο, τον Ιανουάριο και το Μάιο ενώ τον Αύγουστο οι τιμές Χλωροφύλλης *α* ήταν σχετικά αυξημένες. Αντίθετα, κατά τους ενδιάμεσους μήνες τα επίπεδα ήταν ιδιαίτερα χαμηλά (Kormas *et al.* 2002). Από τα παραπάνω φαίνεται ότι οι δειγματοληπτικές περίοδοι της παρούσας μελέτης προσεγγίζουν ή συμπίπτουν χρονικά με την εμφάνιση της πληθυσμιακής έκρηξης του φυτοπλαγκτού στη περιοχή μελέτης, με αποτέλεσμα την τεχνητή εξομάλυνση των εποχικών διαφορών.

Από την άλλη μεριά φαίνεται ότι η χαμηλότερη ποιότητα των φυτοθρυμμάτων στην περιοχή του μετώπου του Δέλτα σχετίζεται περισσότερο με συσσώρευση των προϊόντων αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης α παρά με μικρότερη φυτοπλαγκτονική βιομάζα από ότι σε άλλους σταθμούς. Ενδεχομένως η κατάσταση αυτή συνδέεται με πολύ αργό ρυθμό μαρασμού πρόσφατης πληθυσμιακής αύξησης του φυτοπλαγκτού στη στήλη που θα εξηγούνταν με μικρούς ρυθμούς βόσκησης από το ζωοπλαγκτόν. Η υπόθεση αυτή υποστηρίζεται από προηγούμενες μελέτες κατά τις οποίες επισημάνθηκαν ενδείξεις περιορισμού της ζωοπλαγκτονικής βιοκοινωνίας κοντά στην εκβολή του Σπερχειού εξαιτίας υψηλού φορτίου αιωρούμενου υλικού, ειδικά το Νοέμβριο (Christou et al. 1995, Kormas et al. 1997). Δεν αποκλείεται ωστόσο χάρη στην κυκλοφορία των μαζών αντίθετα με τους δείκτες του ρολογιού να συμβαίνει συσσώρευση των προϊόντων αποικοδόμησης φυτοπλαγκτονικής βιομάζας, που έχει παραχθεί σε προδελταϊκές περιοχές του Μαλιακού, στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Τούτη η υπόθεση υποστηρίζεται από παρατηρήσεις σύμφωνα με τις οποίες το Νοέμβριο αυξάνεται η αριθμητική συνεισφορά στον εσωτερικό Μαλιακό, γεγονός που θεωρήθηκε ένδειξη εισροής θαλάσσιων μαζών από το Αιγαίο Πέλαγος (Christou et al. 1995).

Ένας άλλος μηχανισμός που μπορεί να εξηγήσει τη διατήρηση των συγκεντρώσεων φαιοχρωστικών σε υψηλά επίπεδα στο μέτωπο του δέλτα τον Αύγουστο και Νοέμβριο, είναι η λειτουργία της φυτοπλαγκτονικής βιοκοινωνίας ως φίλτρου της αιωρούμενης ύλης που εκβάλλεται από ένα ποτάμι (Ayukai & Wolanski 1997). Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία συσσωματωμάτων λεπτόκοκκου αιωρούμενου υλικού με φυτοπλαγκτονικά κύτταρα, μηχανισμός που μπορεί να επιταχύνει την καθίζηση, άρα και απομάκρυνση από τη στήλη, των προϊόντων της πρωτογενούς παραγωγής. Ωστόσο, το μικρό μέγεθος των φυτοπλαγκτονικών κυττάρων στο τέλος του καλοκαιριού (Kormas *et al.* 2002) σε συνδυασμό με την καλή κάθετη ανάμιξη της στήλης κοντά στην εκβολή τον Αύγουστο και το Νοέμβριο, προσφέρουν μια καλή ερμηνεία για την αργή καθίζηση και έξοδο των συσσωματωμάτων από τη στήλη, όπου και λαμβάνει χώρα η αποικοδόμηση τους. Ενδεχομένως η κατάσταση αυτή, παρατείνοντας την παραμονή των φυτοθρυμμάτων στη στήλη, συμβάλλει στη διατήρηση της συνεισφοράς της πρωτογενούς παραγωγής σε υψηλότερα επίπεδα στο μέτωπο του δέλτα από ότι σε άλλες περιοχές του Μαλιακού, σε μια περίοδο που τόσο οι αυτόχθονες όσο και αλλόχθονες εισροές αιωρούμενης οργανικής ύλης είναι μειωμένες. Επιπλέον, η υπόθεση αυτή μπορεί να εξηγήσει το λόγο για τον οποίο τα επίπεδα φαιοχρωστικών το Φεβρουάριο και Μάιο, οπότε αυξάνεται η ποσότητα των φερτών υλών που εκβάλλονται αλλά και το μέγεθος των φυτοπλαγκτονικών κυττάρων (Kormas *et al.* 2002), είναι το ίδιο χαμηλά σε όλους τους σταθμούς.

Το ποσοστό της οργανικής ύλης φυτικής προέλευσης (CPE / ΑΣΟΥ %) είναι γενικά χαμηλό (<20%). Ωστόσο εξαιρετικά υψηλές τιμές (>90%) σημειώνονται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού (σταθμοί 6 και 8) το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο και στον Εξωτερικό Μαλιακό το Μάιο (Εικόνα 3.1.8). Ελαφρά αυξημένα είναι τα επίπεδα του λόγου το Νοέμβριο σε όλους τους σταθμούς, ίσως επειδή την περίοδο αυτή συμπίπτουν υψηλές τιμές φυτοπλαγκτονικής παραγωγής με χαμηλή ποσότητα εισροών γλυκών νερών. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η υψηλή συνεισφορά της φυτικής βιομάζας στην ΑΣΟΥ συμπίπτει με μικρά ποσοστά της ΑΣΟΥ επί της ΑΣΥ και δε φαίνεται να σχετίζεται με κάποιο συγκεκριμένο στρώμα της στήλης.

Τα αποτελέσματα αυτά προσφέρουν ισχυρές ενδείξεις ότι η κύρια πηγή αιωρούμενης οργανικής ύλη στο Μαλιακό δεν προκύπτει από το φυτοπλαγκτόν του κόλπου, έχει δηλαδή αλλόχθονη προέλευση. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, η οργανική ύλη στο πελαγικό περιβάλλον του Μαλιακού είναι κυρίως χερσογενούς προέλευσης, οπότε καταλήγει στον κόλπο μαζί με τις εκφορτίσεις γλυκών νερών από το Σπερχειό και τους ποταμοχείμαρρους συνδεδεμένο με τα λεπτότερα κλάσματα του αιωρούμενου υλικού. Συνεπώς, διατηρείται υπό αιώρηση στην επιφανειακή νεφελοειδή στρώση, μεταφέρεται και διασπείρεται με τα ρεύματα καθιζάνοντας με αργούς ρυθμούς σε προδελταϊκές περιοχές μακριά από τα στόμια εκβολών. Από την άλλη μεριά, η αύξηση του λόγου ΑΣΟΥ/ΑΣΥ στη στρώση πυθμένα σηματοδοτεί κυρίως την ύπαρξη επαναιώρησης των ιζημάτων και την παγίδευση των λεπτόκοκκων κλασμάτων στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα. Δεδομένου του μικρού βάθους της στήλης στο Μαλιακό, της πρόδηλης κάθετης ανάμιξης και της τυρβώδους ροής που επηρεάζει την κυκλοφορία των θαλάσσιων μαζών, το αιωρούμενο φορτίο στο Μαλιακό αναμένεται να περιέχει σημαντικές ποσότητες επαναιωρούμενων ιζημάτων. Ωστόσο, είναι δύσκολο να διακριθούν χρονικά και χωρικά, οι ποσοτικές και ποιοτικές διαφορές ανάμεσα στο χερσογενές και το επαναιωρούμενο φορτίο βάσει των δεδομένων που είναι διαθέσιμα στα πλαίσια του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Επιπλέον, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά πόσον η τύχη και η προέλευση της αιωρούμενης οργανικής ύλης (χερσογενής ή από επαναιώρηση) επηρεάζει την ποιότητα της και συνεπώς τη διαθεσιμότητα της στους αιωρηματοφάγους βενθικούς οργανισμούς.

Επιπλέον αξίζει να διερευνηθεί η επίδραση της θολερότητας και του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων ως περιοριστικών παραγόντων στην ανάπτυξη της φυτοπλαγκτονικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού. Αυτό το ερώτημα προκύπτει όχι μόνο από το γεγονός ότι οι τιμές Χλωροφύλλης α είναι χαμηλότερες από άλλες παράκτιες περιοχές του Ελληνικού χώρου αλλά και από το γεγονός ότι μελέτες στα εκβολικά μέτωπα μεγάλων ποταμών έχουν αναδείξει το ρόλο των παραγόντων αυτών ως περιοριστικών της πρωτογενούς παραγωγής στα οικοσυστήματα αυτά (Milliman & Boyle 1975, Cadee 1984, Xiuren *et al.* 1988, Lohrenz *et al* 1990, Turner *et al.* 1990, Ayukai & Wolanski 1997). Ειδικότερα στο Μαλιακό κόλπο, θεωρείται ότι το φαινόμενο της αυτοσκίασης (shelf-shading) του φυτοπλαγκτού επηρεάζει αρνητικά την αύξηση της βιομάζας του κατά την περίοδο της άνθησης (Kormas *et al.* 2002).

Επομένως, η παρούσα μελέτη καταδεικνύει ότι μεταξύ χειμώνα και άνοιξης συντελείται η εισροή της μεγαλύτερης ποσότητας χερσογενούς οργανικής ύλης στο Μαλιακό κόλπο. Η επαναιώρηση των ιζημάτων στις προδελταϊκές περιοχές του Μαλιακού αποτελεί άμεση συνέπεια των υδρογραφικών χαρακτηριστικών του κόλπου (Poulos *et al.* 1996) και φαίνεται ότι η ένταση της, και συνεπώς η συνεισφορά των επαναιωρούμενων ιζημάτων, επίσης αυξάνουν το χειμώνα και την άνοιξη. Τέλος, διαπιστώνεται μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των σταθμών ως προς τη συνεισφορά της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στο ΑΣΟΥ, η οποία εμφανίζει τοπικά μέγιστα σε διαφορετικά σημεία κατά τη διάρκεια της μελέτης. Στη συνέχεια διερευνάται κατά πόσον οι συγκεντρώσεις της οργανικής ύλης στα επιφανειακά ιζήματα του Μαλιακού επηρεάζονται από

την αυτόχθονη πρωτογενή παραγωγή στη στήλη, το χερσογενές αιωρούμενο φορτίο και τις τυχαίες ανακατατάξεις των επιφανειακών ιζημάτων που επιφέρει η επαναιώρηση.



Εικόνα 3.1.6. Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών σε τρία βάθη της στήλης (επιφάνεια, μέση, πυθμένας) σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Λευκές ράβδοι: επιφάνεια στήλης. Γκρίζες ράβδοι:μέση στήλης. Μαύρες ράβδοι: στρώση πυθμένα στήλης.



Εικόνα 3.1.7. Μέση τιμή του Λόγου Χλωροφύλλης α / Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών στη στήλη (± τυπική απόκλιση του μέσου όρου από τα τρία στρώματα της στήλης) σε όλους τους σταθμούς και τις περιόδους δειγματοληψίας του πρώτου πλάνου.

Εικόνα 3.1.8. Διακυμάνσεις του % λόγου Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) προς την Αιωρούμενη Σωματιδιακή Οργανική Ύλη (ΑΣΟΥ) στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Λευκές ράβδοι: επιφάνεια στήλης. Γκρίζες ράβδοι:μέση στήλης. Μαύρες ράβδοι: στρώση πυθμένα στήλης.

<u>3.1.3 Τζημα</u>

Στο ίζημα μετρήθηκαν η θερμοκρασία, η κοκκομετρική σύσταση, οι συγκεντρώσεις του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC), του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE), της Χλωροφύλλης α (Chl a)και των Φαιοχρωστικών (Pheo) στην επιφάνεια του ιζήματος.

Οι θερμοκρασίες στα 4 cm βάθος ιζήματος που μετρήθηκαν σε κάθε σταθμό κατά τη διάρκεια της μελέτης παρουσιάζουν σαφή εποχικότητα (Εικόνα 3.1.9).



Εικόνα 3.1.9. Διακυμάνσεις της μέσης θερμοκρασίας στα 4 cm βάθος ιζήματος (± τυπική απόκλιση του μέσου από 8 σταθμούς) στο Μαλιακό κόλπο κατά την περίοδο Αύγουστος 2000 - Μάιος 2001.

Η κατάταξη των ιζημάτων του Μαλιακού με βάση τη σχετική αναλογία των κλασμάτων άμμου, ιλύος και αργίλου απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1.10. Σύμφωνα με το διάγραμμα SHEPARD (Shepard 1954), το υπόστρωμα σε όλους τους σταθμούς, εκτός των 1, 4 και 5, χαρακτηρίζεται ως «ιλύς» και ενίοτε ως «αμμώδης ιλύς». Στους σταθμούς 1 και 4 το υπόστρωμα ποικίλλει από «αργιλώδης ιλύς» έως «άμμος» ενώ ο σταθμός 5, που βρίσκεται στον εξωτερικό Μαλιακό, εμφανίζει σταθερά το πιο αδρό ίζημα κατά τη διάρκεια της μελέτης. Οι έντονες μεταβολές της μέσης διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος στους σταθμούς 1 και 4, υποδηλώνουν έντονη μεταβλητότητα των συνθηκών που μπορεί να οφείλεται σε υψηλό υδροδυναμικό καθεστώς καθώς και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Για παράδειγμα η ταχύτητα των παλιρροιακών ρευμάτων πυθμένα είναι ιδιαίτερα υψηλή στην περιοχή του σταθμού 1 (Krestenitis 2000) ενώ οι εκβαθύνσεις του πυθμένα του λιμανιού της Στυλίδας και η εναπόθεση του υλικού σε άλλα σημεία, έχουν ενδεχομένως συμβάλλει στις διακυμάνσεις που παρουσιάζει ο σταθμός 4.



Εικόνα 3.1.10. Διάγραμμα τύπου SHEPARD για το χαρακτηρισμό της κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Σε όλους τους σταθμούς η ταξινόμηση των κόκκων του ιζήματος κυμάνθηκε από κακή έως πολύ κακή (Πίνακας 3.1.3), υποδηλώνοντας συνθήκες που επιφέρουν ετερογένεια στην κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός 8 που επιδεικνύει από κακή (Αύγουστος, Φεβρουάριος) έως καλή (Νοέμβριος) ταξινόμηση των κόκκων του ιζήματος. Ο συντελεστής λοξότητας, που παρουσιάζει έντονες χωρικές και χρονικές μεταβολές, κυμάνθηκε από -0.75 (πολύ ασύμμετρη κατανομή προς χονδρόκοκκα κλάσματα) έως 0.50 (πολύ ασύμμετρη κατανομή προς χονδρόκοκκα κλάσματα) έως ο.50 (πολύ εναλλαγές μεταξύ

συνθηκών που επιτρέπουν την εναπόθεση και την ενσωμάτωση του λεπτόκοκκου υλικού στα ιζήματα του πυθμένα με συνθήκες που επάγουν την απομάκρυνση των λεπτόκοκκων κλασμάτων από τα ιζήματα και τη διατήρηση τους υπό αιώρηση (King 1972), και δεν υφίστανται στους σταθμούς 5 και 6, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της μελέτης. Ο σταθμός 6 κοντά στην εκβολή του Σπερχειού εμφανίζει συμμετρική κατανομή μεγέθους κόκκων κατά τη διάρκεια της μελέτης, κατάσταση που παραπέμπει σε συνθήκες κατά τις οποίες η εναπόθεση λεπτόκοκκου υλικού αντισταθμίζεται από την απομάκρυνση του, προφανώς με τη βοήθεια ρευμάτων πυθμένα. Από την άλλη μεριά, στο σταθμό 5, που βρίσκεται στον Εξωτερικό Μαλιακό, τόσο ο συντελεστής ταξινόμησης όσο και ο συντελεστής λοξότητας αντικατοπτρίζουν ένα παράκτιο περιβάλλον με υψηλό υδροδυναμικό καθεστώς, αμμώδες υπόστρωμα αλλά και έντονη ιζηματαπόθεση λεπτόκοκκου υλικού.

Πίνακας 3.1.3.	Αποτελέσματα τη	ς κοκκομετρική	ς ανάλυσης το	υ ιζήματος στους	σταθμούς του
πρώτου δειγματο	οληπτικού πλάνου.	ΜΔ: μέση διάμ	ιετρος κόκκων	. σ ₁ : συντελεστής	; ταξινόμησης.
Sk1: συντελεστήσ	ς λοξότητας.				

]	Πρώτο	Παράμετροι Κοκκομετρικής Σύστασης Ιζήματος													
Δειγμ	ιατοληπτικό πλάνο				Σταθ)μοί									
Εποχ ή	Παράμετρ ος	1	2	3	4	5	6	7	8						
ې د	ΜΔ	0.027	0.02	0.017	0.005	0.26	0.013	0.032	0.011						
γουστα	σ_1	3.10	2.85	2.38	3.28	2.92	1.43	3.25	1.11						
AÚ	\mathbf{Sk}_1	-0.59	-0.75	-0.68	0.11	0.31	- 0.029	-0.47	0.18						
գ Տ	MΔ	0.016	0.016	0.015	0.013	0.11	0.012	0.018	0.006						
0 I30N	σ_{1}	1,82	1,76	1,70	1,89	2,21	1,41	1,082	0.32						

	Sk ₁	-0.15	0.029	0.098	-0.12	0.26	0.000 5	0.31	0
5010	MΔ	0.29	0.016	0.017	0.025	0.47	0.011	0.013	0.006
ρουάρ	σ_{1}	2.72	2.19	2.21	3.66	3.22	1.21	1.5	1.01
Φεβ	\mathbf{Sk}_{1}	0.3	0.2	0.017	-0.34	0.50	0.023	-0.14	-0.21
	MΔ	0.06	0.02	0.02	0.21	0.13	0.012	0.014	0.01
Λάιος	σ_{I}	3.23	3.51	3.51	2.96	2.55	1.36	1.37	0.91
	\mathbf{Sk}_{1}	-0.25	-0.47	-0.47	0.25	0.14	0.049	0.033	0.33

Η σχέση μεταξύ του συντελεστή ταξινόμησης και της μέσης διαμέτρου των κόκκων είναι δυνατό να αποκαλύψει ομάδες σταθμών με παρόμοιο καθεστώς εναπόθεσης. Όπως διαπιστώνεται από τα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.11, παρατηρούνται τέτοιες ομάδες σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Έτσι, τον Αύγουστο παρατηρούνται 3 ζεύγη σταθμών που αντανακλούν τη διαβάθμιση από περιβάλλοντα με έντονους ρυθμούς εναπόθεσης ιζημάτων (σταθμοί 6 και 8 κοντά στην εκβολή του Σπερχειού) προς περιβάλλοντα με χαμηλή ιζηματαπόθεση (σταθμοί 1 και 7 στον εξωτερικό Μαλιακό). Η τάση αυτή εύκολα διακρίνεται και στις υπόλοιπες περιόδους δειγματοληψίας. Πρέπει να τονιστεί, ότι ο σταθμός 5 διαφέρει τόσο πολύ από τους υπόλοιπους σταθμούς όσον αφορά στο μέγεθος των κόκκων ώστε δεν περιλήφθηκε στα διαγράμματα. Για τον ίδιο λόγο, δεν απεικονίζονται οι σταθμοί 1 και 4 το Φεβρουάριο και το Μάιο, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.1.11. Σχέση μεταξύ συντελεστή ταξινόμησης του ιζήματος (σ) και μέσης διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος (ΜΔ) στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Το Μάιο η κλίμακα της μέσης διαμέτρου των κόκκων είναι διαφορετική.

Οι διακυμάνσεις του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) και του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) στα επιφανειακά ιζήματα των σταθμών του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο, απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1.12. Γενικά, οι συγκεντρώσεις TOC κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα (6 έως 11.5 mg/g) και δεν παρουσιάζουν σαφές εποχικό πρότυπο. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στο σταθμό 5 (4.5 έως 5 mg/g), όπως άλλωστε αναμενόταν λόγω αμμώδους υποστρώματος, ενώ εμφανώς υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στο σταθμό 8 (13 έως 22 mg/g) οι οποίες δε συνδυάζονται με το ίδιο υψηλές τιμές στο σταθμό 6, παρόλο που αυτοί οι δυο σταθμοί βρίσκονται, όπως διαπιστώθηκε προηγούμενα, σε περιβάλλον με παρόμοιο καθεστώς εναπόθεσης. Το γεγονός αυτό αντανακλά ετερογενείς συνθήκες εναπόθεσης και συσσώρευσης του οργανικού άνθρακα στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι ο οργανικός άνθρακας που περιέχεται στο ίζημα αποτελεί ακατάλληλο μέτρο της διαθεσιμότητας της οργανικής ύλης, ειδικά σε περιβάλλοντα με υψηλές ποσότητες χερσογενών εκφορτίσεων (Faganeli *et al.* 1994), καθώς αντανακλά τη διατήρηση του αδρανούς (refractory) άνθρακα που συσσωρεύεται στα ιζήματα (Degens & Moper 1976) Με τον όρο αυτό υποδηλώνεται ότι ο άνθρακας αυτός αυτός τις συνθήκες λαμβάνει χώρα με αργούς (μερικές εβδομάδες σε φυτοπλαγκτονικά θρύμματα, Otsuki & Hanya 1972) ή πολύ αργούς ρυθμούς (μερικοί μήνες έως μερικά χρόνια σε φυτοθρύμματα θαλάσσιων αγγειοσπέρμων, Valiela *et al.* 1985, Godshalk & Wetzel 1987).

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις CPE, παρά το γεγονός ότι οι διακυμάνσεις τους είναι αξιόλογες ωστόσο δεν εμπίπτουν σε συγκεκριμένο χωρικό ή εποχικό πρότυπο (Εικόνα 3.1.12β). Έτσι, παρατηρείται ότι στους σταθμούς 4, 6 και 8, τα μέγιστα επίπεδα CPE σημειώνονται το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο ενώ στους σταθμούς του εξωτερικού Μαλιακού αυτό συμβαίνει το Μάιο. Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα της Εικόνας 3.1.13 οι υψηλές τιμές CPE στους σταθμούς του εσωτερικού Μαλιακού το Νοέμβριο και Φεβρουάριο οφείλονται σε αύξηση της συγκέντρωσης των Φαιοχρωστικών στην επιφάνεια του ιζήματος. Αντίθετα, το Μάιο τα μέγιστα CPE συμπίπτουν με αυξημένα επίπεδα Χλωροφύλλης *α*.

Τα αποτελέσματα αυτά δίνουν την εικόνα ύπαρξης ενός εποχικού κύκλου με τις υψηλότερες τιμές Χλωροφύλλης α το Μάιο (τέλος άνοιξης) και τις χαμηλότερες το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο (χειμώνας). Ωστόσο, ο κύκλος αυτός δεν ισχύει για το μέτωπο του Δέλτα του

Σπερχειού όπου τα επίπεδα φυτικής βιομάζας στο ίζημα διατηρούνται σε παρόμοια επίπεδα το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο.



Εικόνα 3.1.12. Διακυμάνσεις του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (mg/g) και του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) (μg/g) (±1 τυπικό σφάλμα) στα επιφανειακά ιζήματα των σταθμών του πρώτου πλάνου. Χρησιμοποιείται μέση τιμή από τρία δείγματα (±1 τυπικό σφάλμα). N=Νοέμβριος 2000, Φ=Φεβρουάριος 2001, M=Μάιος 2001. Δεδομένα από τον Αύγουστο δεν είναι διαθέσιμα.



Εικόνα 3.1.13. Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών (μg/g) στα επιφανειακά ιζήματα του Μαλιακού κόλπου (Πρώτο Δειγματοληπτικό πλάνο). Δεδομένα από τον Αύγουστο δεν είναι διαθέσιμα.

Οι τιμές των χλωροπλαστικών χρωστικών στην επιφάνεια του ιζήματος στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου είναι ιδιαίτερα υψηλές.. Οι συγκεντρώσεις της Χλωροφύλλης α που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης του Μαλιακού κόλπου είναι συγκρίσιμες με τα υψηλά επίπεδα που έχουν σημειωθεί σε εξαιρετικά παραγωγικά συστήματα της Μεσογείου όπως οι λειμώνες *Posidonia* (Danovaro *et al.* 1994, Danovaro & Fabiano 1995, 1987, Plante *et al.* 1986), όπου αντιστοιχούν κατά πάσα πιθανότητα στη μικροχλωρίδα που συνδέεται με την αναγέννηση των θρεπτικών που λαμβάνει χώρα κατά την αποικοδόμηση των φυτοθρυμμάτων (αποσπασμένα φύλλα και νεκρά τμήματα των φανερογάμων) (Pomeroy 1982). Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν ένδειξη ότι η σημασία της πρωτογενούς μικροφυτικής παραγωγής στα ιλυώδη ιζήματα του Μαλιακού είναι το ίδιο αξιόλογη με συστήματα πλούσια σε φυτοθρύμματα. Αυτό δε θα έπρεπε να προξενεί εντύπωση καθώς πολύ υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας της βενθικής μικροχλωρίδας (26 - 66 g οργανικού άνθρακα / m^2 / έτος, Teal 1980) έχουν καταγραφεί στην επιφάνεια ιλυωδών ή αμμωδών ιζημάτων που στερούνται φυτικής κάλυψης σε λίμνες, έλη και θαλάσσια οικοσυστήματα. Εντωμεταξύ, αυξάνουν οι μελέτες που αποδίδουν όλο και μεγαλύτερη σημασία στο ρόλο των βενθικών μικροφυκών στην οργάνωση της ροής ενέργειας στα παράκτια οικοσυστήματα (Varela & Penas 1985, Rizzo 1990, Barranguet 1997). Από την άλλη μεριά, οι σχετικά υψηλές τιμές των φαιοχρωστικών αποτελούν γενικά ένδειξη έντονης αποικοδόμησης των φυτοθρυμμάτων που μπορεί να είναι φυτοπλαγκτονικής και βενθικής μικροφυτικής ή/ και μακροφυτικής προέλευσης (de Jonge 1980).

Αν και δεν είναι απόλυτα γνωστός ο τρόπος με τον οποίο το μικρό βάθος του κόλπου, η κάθετη ανάμιξη των μαζών και το μέγεθος των φυτοπλαγκτονικών κυττάρων επηρεάζουν αφενός το ρυθμό αποικοδόμησης και αφετέρου το ρυθμό καθίζησης του φυτοπλαγκτού, τη συσσώρευση του στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα και τη μετέπειτα εναπόθεση του στο ίζημα, εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της Χλωροφύλλης α που μετρήθηκε στα επιφανειακά ιζήματα αντιστοιχεί στη βιομάζα των βενθικών μονοκύτταρων φυκών που φωτοσυνθέτουν στην επιφάνεια των ιλυωδών ή αμμωδών ιζημάτων του κόλπου. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι οι χωρικές διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων της Χλωροφύλλης α στο ίζημα δεν εμφανίζουν ισχυρή γραμμική σχέση με τις τιμές της στη στρώση πυθμένα της στήλης (Εικόνα 3.1.14). Επιπλέον δεν παρατηρείται αντιστοιχία ανάμεσα στα εποχικά μέγιστα στη στήλη (Μάιος, σταθμός 5, Εξωτερικός Μαλιακός) και στο ίζημα (Μάιος, σταθμός 8, Εσωτερικός Μαλιακός). Ενδεχομένως, το αιωρούμενο φορτίο και η διαφάνεια του νερού επηρεάζουν διαφορετικά την πρωτογενή παραγωγή στη στήλη και το ίζημα. Ο εμπλουτισμός σε οργανικό φορτίο και θρεπτικά έχει διαφορετική επίδραση στο φυτοπλαγκτόν και στα βενθικά μικροφύκη, όπως για παράδειγμα έχει διαπιστωθεί γενικά σε παράκτιες περιοχές (Colijn 1983, Charpy-Roubeaud & Sournia 1990) και σε περιοχή οστρακοκαλλιέργειας (Barranguet 1997). Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί επικράτηση της βενθικής μικροφυτικής παραγωγής έναντι της φυτοπλαγκτονικής σε μεσογειακά υποθαλάσσια δελταϊκά περιβάλλοντα (Κόλπος Φος, Δέλτα Poδανού, Plante-Cunny & Bodoy 1987) και γενικότερα σε παράκτια συστήματα με υψηλούς ρυθμούς ιζηματαπόθεσης (MacIntyre *et al.* 1996).



Εικόνα 3.1.14. Σχέση μεταξύ των χλωροφυλλούχων χρωστικών στη στρώση πυθμένα της στήλης και στα επιφανειακά ιζήματα στο Μαλιακό κόλπο (Πρώτο Δειγματοληπτικό Πλάνο). Ρόμβοι: Συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α. Τετράγωνα: Συγκεντρώσεις Φαιοχρωστικών.

Επιπλέον, αντίθετα από ότι παρατηρήθηκε στη στήλη, οι συγκεντρώσεις φαιοχρωστικών στο ίζημα είναι πάντα μεγαλύτερες από τις τιμές Χλωροφύλλης α στο ίζημα. Το Φεβρουάριο, όμως, παρατηρείται σύζευξη μεταξύ των τιμών στη στήλη και το ίζημα, αν και κατά τα φαινόμενα η φυτοπλαγκτονική άνθηση λαμβάνει χώρα τόσο το Νοέμβριο όσο και το Μάιο. Προκειμένου να ερμηνευτεί αυτή η κατάσταση, θα πρέπει να υποτεθεί ο μηχανισμός που την υπαγορεύει, ο οποίος μπορεί να αναζητηθεί είτε στη στήλη ή στο ίζημα.

Οι Φαιοχρωστικές στο ίζημα έχουν δύο κύριες πηγές προέλευσης, όπως ήδη αναφέρθηκε. Πρώτον, μπορεί να προέρχονται από το μαρασμό της φυτοπλαγκτονικής άνθησης και την αποικοδόμηση των φυτοθρυμμάτων που καθιζάνουν από τη στήλη και δεύτερον, μπορεί να αποτελούν τα προϊόντα αποσύνθεσης φύλλων μακρόφυτων ή μακροφυκών που έχουν μεταφερθεί από γειτονικές περιοχές ενώ δεν αποκλείεται ένα μέρος τους να παράγεται in situ κατά τη λύση των μονοκύτταρων φυκών από τα οποία προέρχεται η Χλωροφύλλη *α*.

Η τυρβώδης ροή των θαλάσσιων μαζών θεωρείται ότι συμβάλλει στη δημιουργία χωρικής ετερογένειας (patchiness) των φυτοπλαγκτονικών βιοκοινωνιών (Valiela 1995 και εκεί αναφορές). Όπως έχει ήδη επισημανθεί, η ύπαρξη ακανόνιστων διακυμάνσεων της ταχύτητας των υδάτινων μαζών καθώς και αναμίξεων δεν μπορούν να αποκλειστούν από έναν ημίκλειστο κόλπο με μεγάλες εκφορτίσεις γλυκών νερών, όπως ο Μαλιακός. Επομένως, αυτό που συμβαίνει στη στήλη με τα προϊόντα της πρωτογενούς παραγωγής μπορεί να περιγραφεί ως διασπορά τους, αρχικά, και μετέπειτα εναπόθεση τους σε κάποιο σημείο του πυθμένα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σχέση ανάμεσα στα χωρικά πρότυπα στη στήλη και τον πυθμένα. Με τον τρόπο αυτό, η διασπορά των προϊόντων της πρωτογενούς παραγωγής στη στήλη, που γίνεται τυχαία, μπορεί να εξηγήσει εν μέρει την απουσία πελαγικής-βενθικής σύζευξης ως προς τις Φαιοχρωστικές το Νοέμβριο και το Μάιο. Ωστόσο, η υψηλότερη σχέση μεταξύ φαιοχρωστικών στήλης και ιζήματος που υφίσταται το Φεβρουάριο δεν συνδέεται με αύξηση των φαιοχρωστικών στα ιζήματα ή στη στήλη σε σύγκριση με τις άλλες περιόδους δειγματοληψίας. Ενδεχομένως, το γεγονός ότι το Φεβρουάριο αυξάνει η ένταση της επαναιώρησης επιφέρει σχετική

ομογενοποίηση της διάφασης μεταξύ ιζήματος και στήλης, με αποτέλεσμα να ισχυροποιείται η πελαγική-βενθική σύζευξη κατά την περίοδο αυτή.

Από την άλλη μεριά, κατά τη διάρκεια της μελέτης παρατηρήθηκαν υπολείμματα του φανερόγαμου Cymodocea nodosa σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, προφανώς μεταφερόμενα από τους λειμώνες που βρίσκονται στα ρηχά των βόρειων και νότιων ακτών του Μαλιακού κόλπου (Chryssovergis & Panayotidis 1995). Στην προκειμένη περίπτωση τα υπολείμματα που βρέθηκαν εμπίπτουν στην περιγραφή του Bowen (1984) για «έμμορφα φυτοθρύμματα», τα οποία διατηρούν το σχήμα, τη μορφή και την κυτταρινική δομή του αρχικού φυτού. Στην Εικόνα 3.1.15 δίνονται οι διακυμάνσεις της ξηρής φυτικής μάζας απαλλαγμένης στάχτης (ΞΦΜΑΣ) που εκτιμήθηκε με βάση τα φυτικά υπολείμματα σε κάθε δειγματοληπτική μονάδα. Οι τιμές είναι υψηλές και η παρουσία των υπολειμμάτων σταθερή στα επιφανειακά ιζήματα του Μαλιακού. Αν και παρατηρείται μια τάση αύξησης της ΞΦΜΑΣ από τον Αύγουστο προς το Μάιο, ωστόσο οι διαφορές δεν είναι σημαντικές, ούτε μεταξύ περιόδων δειγματοληψίας ούτε μεταξύ περιοχών του Μαλιακού κόλπου. Όπως έχει διαπιστωθεί, η αποικοδόμηση των έμμορφων φυτοθρυμμάτων των θαλάσσιων αγγειοσπέρμων είναι μια αργή διεργασία - που διαρκεί πολύ περισσότερο από 1 εβδομάδα - κατά την οποία τα διαλυτά συστατικά που περιέχουν τα νεκρά τμήματα αποπλένονται σταδιακά ως διαλυμένη ύλη (Alber & Valiela 1994, Buchsbaum et al. 1991). Όσο διαρκεί η έκπλυση των διαλυτών συστατικών, τα θρύμματα δεν είναι προσιτά ούτε στη βακτηριακή δράση ούτε σε μεγαλύτερου μεγέθους καταναλωτές. Μόνο αφού ολοκληρωθεί ο σχηματισμός της άμορφης οργανικής σωματιδιακής ύλης (σωματίδια μεγέθους 1-500μm), μέσω βακτηριακής δραστηριότητας, επέρχεται αύξηση του πρωτεϊνικού περιεχόμενου στα συσσωματώματα αυτά. Επομένως βελτιώνεται η θρεπτική αξία τους γενικά και η δυνατότητα πρόσληψης από τους μακροβενθικούς καταναλωτές ειδικότερα (Mann 1988, Alber & Valiela 1994) Ως εκ τούτου, η ΞΦΜΑΣ, μόνο κατά προσέγγιση μπορεί να εξηγήσει την απουσία σχέσης ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των χρωστικών στη στήλη και στο ίζημα λόγω σταδιακής έκπλυσης των φαιοχρωστικών από τα έμμορφα φυτοθρύμματα. Δίνει όμως την εικόνα σταθερής συνεισφοράς οργανικής ύλης μακροφυτικής προέλευσης στη ροή ενέργειας στο οικοσύστημα του Μαλιακού κόλπου.



Εικόνα 3.1.15. Διακυμάνσεις της μέσης Ξηρής Φυτικής Μάζας Απαλλαγμένης Στάχτης (ΞΦΜΑΣ) (± τυπική απόκλιση μέσου όρου από 4 σταθμούς) στον εσωτερικό και εξωτερικό Μαλιακό κόλπο (Πρώτο Δειγματοληπτικό Πλάνο).

Με βάση τα παραπάνω, δεν προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι η παλαιότητα των φυτοθρυμμάτων στα επιφανειακά ιζήματα του Μαλιακού κόλπου, όπως εκτιμάται από το λόγο Χλωροφύλλης *a* (Chl *a*) προς Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE), είναι μεγαλύτερη από αυτήν στη στήλη καθώς κυμαίνεται σταθερά σε τιμές μικρότερες από το 0.5 (Εικόνα 3.1.16 α). Οι μεγαλύτερες τιμές του λόγου (~0.4) παρουσιάζονται το Μάιο στους σταθμούς 1, 5 και 8, δηλαδή σε σταθμούς με διαφορετικό τύπο υποστρώματος, ενώ κατά την ίδια εποχή ο λόγος Chl *a* / CPE δεν υπερβαίνει το 0.25 στους υπόλοιπους σταθμούς, υποδηλώνοντας μεγάλη χωρική ετερογένεια ως προς τις διεργασίες αποικοδόμησης της φυτικής βιομάζας στα ιζήματα του Μαλιακού. Οι παρατηρήσεις αυτές σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στη στήλη το Μάιο επικρατεί ομοιογένεια ως προς την παλαιότητα των φυτοθρυμμάτων, υποδεικνύουν διαφορές στις διεργασίες που επηρεάζουν την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης που παράγεται από πρωτογενείς παραγωγούς στη στήλη και το ίζημα, θέμα ιδιαιτέρου ενδιαφέροντος προς περαιτέρω διερεύνηση.

Τέλος, από τις τιμές του λόγου του Άνθρακα που περιέχεται στη Χλωροφύλλη α (C-Chl a) προς τον Ολικό Οργανικό Άνθρακα (TOC), διαπιστώνεται ότι ο φρέσκος άνθρακας που παράγεται στο βένθος δε συνεισφέρει σημαντικά στην ποσότητα του ολικού οργανικού άνθρακα (Εικόνα 3.1.16β). Το Μάιο σημειώνονται τα μεγαλύτερα ποσοστά του λόγου C-Chl a / TOC, τα οποία όμως δεν υπερβαίνουν το 2 %. Οι τιμές αυτές είναι συγκρίσιμες –αν και χαμηλότερες- με εκείνες που έχουν αναφερθεί για ιλυώδη ιζήματα σε περιβάλλοντα με υψηλό οργανικό φορτίο (Οστρακοκαλλιέργεια, Δέλτα Ροδανού, Barranguet 1997) και υψηλούς ρυθμούς ιζηματαπόθεσης (Ποταμόκολπος Hudson, Bianchi *et al.* 1993, Kiel Bight, Boon *et al.* 1999, Δέλτα Πάδου, Moodley *et al.* 1998). Είναι όμως κατά πολύ χαμηλότερες από τις μέσες και μέγιστες ετήσιες τιμές δειγμάτων ιζήματος από λειμώνες *Posidonia* (Θάλασσα Λιγκουρίας, Danovaro & Fabiano 1995).

Συνοψίζοντας, ο συνδυασμός

- υψηλού ποσοστού ιλύος-αργίλου, που καθιστά τα επιφανειακά ιζήματα επιρρεπή σε ρεύματα και κυματισμό,
- μικρού βάθους στην περιοχή γενικά και ειδικά στους υπό μελέτη σταθμούς,
- ισχυρών σχετικά ρευμάτων πυθμένα ειδικά στο τρίγωνο που δημιουργείται από τα ακρωτήρια Βελάς, Χιλιομίλι, Καραβοφάναρο (Krestenitis 2000) και
- της υδρογραφίας της περιοχής και ειδικά της ύπαρξης τυρβώδους ροής

συμβάλλουν στο χαρακτηρισμό του βενθικού περιβάλλοντος του Μαλιακού κόλπου ως ασταθούς. Οι συνθήκες αστάθειας αντικατοπτρίζονται στις τιμές των συντελεστών ταξινόμησης και λοξότητας και στην αξιοσημείωτη χωρική ετερογένεια που παρατηρείται στις συγκεντρώσεις φαιοχρωστικών και του λόγου C-Chl *a* / TOC στα επιφανειακά ιζήματα και η οποία δε σχετίζεται με διαφορές στον τύπο του υποστρώματος. Δεδομένου ότι στο ίζημα σταδιακά καταλήγει η αιωρούμενη οργανική ύλη αλλά και η οργανική ύλη που παράγεται στο βένθος, συνάγεται στο συμπέρασμα ότι η συνεισφορά του οργανικού άνθρακα αυτότροφης προέλευσης στον ολικό οργανικό άνθρακα που συσσωρεύεται στα ιζήματα είναι ποσοτικά μικρή. Σε αυτό φαίνεται να συμβάλλουν η μικρή συνεισφορά των φυτοπλαγκτονικών φυτοθρυμμάτων στην ολική αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη αφενός και αφετέρου η διαρκής παροχή και συσσώρευση οργανικού άνθρακα χερσογενούς προέλευσης στο οικοσύστημα του Μαλιακού. Το γεγονός ότι οι τιμές ΑΣΥ, τόσο της παρούσας όσο και προηγούμενων μελετών, είναι συγκρίσιμες με αυτές που έχουν καταγραφεί στα εκβολικά μέτωπα ποταμών με υπερπολλαπλάσιο ιζηματολογικό φορτίο από το Σπερχειό (Robertson et al. 1998) αποτελεί ένδειξη εισροής υψηλής ποσότητας χερσογενούς υλικού στο Μαλιακό. Έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι οι υπό αιώρηση χερσογενείς εισροές επηρεάζουν λίγο έως πολύ την πρωτογενή παραγωγή στην περιοχή, δελταϊκών μετώπων μεγάλων ποταμών (Δέλτα Αμαζονίου: Milliman & Boyle 1975, Δέλτα Ζαΐρ: Cadee 1984, Δέλτα Changjiang: Xiuren et al. 1988, Δέλτα Huanghe: Turner et al. 1990, Δέλτα Μισισιπή: Lohrenz et al. 1990). Παλαιότερες μελέτες είχαν υποθέσει την ύπαρξη ενός περιοριστικού παράγοντα στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού στο Μαλιακό, σε μια προσπάθεια να εξηγήσουν τις σχετικά χαμηλότερες από άλλες εύτροφες περιοχές τιμές Χλωροφύλλης α (Christou et al. 1995) ενώ η παρούσα μελέτη απλά επιβεβαιώνει την ύπαρξη ακόμη χαμηλότερων τιμών. Ανεξάρτητα από το εάν όντως υπάρχει τέτοιου είδους περιοριστική δράση στο Μαλιακό, η αιωρούμενη οργανική ύλη σπανίως συνδέεται με τα προϊόντα της πρωτογενούς παραγωγής, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης. Δεδομένου ότι η αιωρούμενη οργανική ύλη ποτάμιας χερσογενούς προέλευσης, η οποία παρεμπιπτόντως χαρακτηρίζεται γενικά από μικρή βιοδιαθεσιμότητα (Hedges et al. 1988a, b), σταδιακά εναποτίθεται στα παράκτια ιζήματα μπορεί να θεωρηθεί ότι μόνο ένα μικρό μέρος της ροής οργανικής ύλης προς το βένθος είναι φυτικής προέλευσης ενώ το μεγαλύτερο μέρος περιέχει «παλαιές», αδρανείς ενώσεις. Για το λόγο αυτό, εποχικό σήμα φυτοπλαγκτονικής άνθησης δεν μπορεί να ανιχνευτεί στα ιζήματα του Μαλιακού. Επιπλέον, μέρος της ύλης που καθιζάνει επαναιωρείται, με αποτέλεσμα να επανατροφοδοτείται η

δεξαμενή αιωρούμενης αδρανούς οργανικής ύλης στη στήλη. Υπό αυτές τις συνθήκες, αυξάνει το ενδιαφέρον για το ρόλο της βενθικής βιοκοινωνίας στη ροή ενέργειας στο Μαλιακό κόλπο,



επειδή εμπλέκεται σε μεγάλο βαθμό στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης ολόκληρου του οικοσυστήματος. Στη συνέχεια εξετάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στους 8 σταθμούς της μελέτης.

Εικόνα 3.1.16. Ποιοτικά χαρακτηριστικά της οργανικής ύλης στα επιφανειακά ιζήματα του Μαλιακού κόλπου (Πρώτο Δειγματοληπτικό Πλάνο). Επάνω: Διακυμάνσεις του λόγου της συγκέντρωσης της Χλωροφύλλης α (Chl a) προς τη συγκέντρωση του Ισοδύναμου
Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) (± τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα). Κάτω: Διακυμάνσεις του % λόγου των Ισοδύναμων Άνθρακα της Χλωροφύλλης α (C-Chl a) προς τη συγκέντρωση του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) (± τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα). Δεδομένα από τον Αύγουστο δεν είναι διαθέσιμα.

3.1.4 Πανίδα

Οι πανιδικές παράμετροι που εκτιμήθηκαν στα πλαίσια του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου περιλαμβάνουν τον αριθμό ατόμων από κάθε είδος (αφθονία) καθώς και την ολική αφθονία, τη βιομάζα, τον αριθμό ειδών και διάφορους δείκτες ποικιλότητας σε κάθε σταθμό.

Οι διακυμάνσεις της αφθονίας / m^2 σε όλους τους σταθμούς και τις περιόδους δειγματοληψίας του πρώτου πλάνου παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1.17. Ιδιαίτερη εντύπωση σε αυτό το διάγραμμα προκαλούν οι πολύ υψηλές τιμές αφθονίας αλλά και η έντονη χωρική ετερογένεια ανά χρονική περίοδο, ειδικά όμως το Μάιο. Το μικρότερο εύρος τιμών σημειώνεται το Νοέμβριο (από 1500 έως 4950 άτομα / m^2) ενώ το Φεβρουάριο το μεγαλύτερο (από 1500 έως 9100 άτομα / m^2). Οι περισσότεροι σταθμοί, ειδικά αυτοί που βρίσκονται στον εσωτερικό Μαλιακό, επιδεικνύουν εμφανώς υψηλότερες αφθονίες το Μάιο. Κατά τις υπόλοιπες περιόδους δειγματοληψίας, οι χαμηλότερες αφθονίες παρατηρούνται τόσο σε σταθμούς κοντά στην εκβολή του Σπερχειού όσο και σε σταθμούς στον εξωτερικό Μαλιακό. Πρέπει να τονιστεί ότι τα μικρά τυπικά σφάλματα ανά σταθμό υποδηλώνουν ότι η δειγματοληψία ήταν ικανοποιητικά ακριβής.



Εικόνα 3.1.17. Διακυμάνσεις της ολικής αφθονίας / m² (±1 τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα) στους σταθμούς του Πρώτου Δειγματοληπτικού Πλάνου.

Η συνεισφορά κάθε κύριας ταξινομικής ομάδας στην ολική αφθονία κάθε σταθμού (Εικόνα 3.1.18), προσφέρει αξιόλογες πληροφορίες για τις χωρικές και χρονικές αυξομειώσεις που παρατηρήθηκαν στην Εικόνα 3.1.17. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αντίθετα με ό,τι συνήθως παρατηρείται σε παράκτια οικοσυστήματα, το βένθος του Μαλιακού κόλπου δεν χαρακτηρίζεται από την επικράτηση των Πολύχαιτων. Οι Πολύχαιτοι επικρατούν έναντι των υπόλοιπων ταξινομικών ομάδων μόνο στον εξωτερικό Μαλιακό κυρίως δε στους σταθμούς 1 και 5, δηλαδή σε αμμώδη υποστρώματα. Στον εσωτερικό Μαλιακό φαίνεται να επικρατούν τα Μαλάκια τα οποία τουλάχιστον σε έναν από τους σταθμούς κοντά στην εκβολή του Σπερχειού (σταθμοί 6 και 8) καταλαμβάνουν σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας, εκτός από το Μάιο, περισσότερο από το 50% επί του ολικού αριθμού ατόμων. Αξιόλογη είναι όμως η παρουσία τους και στους σταθμούς 2 και 7 του εξωτερικού Μαλιακού. Το Μάιο παρατηρείται σημαντική αύξηση της αφθονίας των Καρκινοειδών σε όλους τους σταθμούς με ιλυώδες υπόστρωμα, όπου και αποτελούν την κυρίαρχη αριθμητικά ταξινομική ομάδα υπερβαίνοντας ακόμη και το 50% επί

της ολικής αφθονίας (σταθμοί 2 και 4). Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αύξηση των τιμών ολικής αφθονίας που παρατηρείται το Μάιο 2001 σε όλους σχεδόν τους σταθμούς, μπορεί να αποδοθεί στη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των Καρκινοειδών.



Εικόνα 3.1.18. Αριθμός ατόμων / m² των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων στους σταθμούς του πρώτου πλάνου.

κινοειδών σε κάθε σταθμό του Πρώτου ιμές έχουν γραμμοσκιαστεί. Τα τυπικά ιρόντα πίνακα.

Πολύγαιτοι	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	Ø1	Ø 2	Ø}	Ф4	Ø5	Ф6	Ø7 -	Ð8	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Aricidea claudiae	200	13	187	40	140	0	0	0	127	40	147	53	160	0	60	6.6	40	87	153	1	20	1	33	1	0	67	1	200	33	20	47	33
Diplocirrus glaucus	120	80	53	20	80	0	13	0	180	140	80	20	40	0	13	0	20	80	107	27	180	0	0	0	60	73	73	0	67	0	20	13
Ditrupa arietina	0	73	160	307	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	7	0	40	3	0	0	0
Hyalinoecia brementi	0	0	0	0	280	0	7	0	13	0	0	0	220	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	10	0	0	0
Paralacydonia paradoxa	0	13	0	0	760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	13	0	60	0	0	0	240	0	0	0	120	0	0	0
Lanice conhylega	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	60	0	0	0	0
Tauberia gracilis	0	193	0	0	100	0	140	20	67	13	0	0	0	7	47	27	0	60	133	20	140	53	27	47	60	180	220	560	120	200	333	1140
Lumbrineris latreilli	373	180	120	127	60	0	207	1	247	73	153	127	680	20	80	80	20	147	180	47	220	13	80	7	660	160	180	700	410	47	73	147
Magelona minuta	120	173	100	7	0	1	73	7	73	13	147	27	100	1	13	0	40	60	207	53	0	7	27	27	200	193	153	60	197	33	93	53
Nephtys hystricis	127	20	100	73	40	207	67	107	0	0	20	40	100	127	33	107	0	1	53	113	0	87	93 2	100	40	47	60	100	43	200	127	227
Polycirrus tenuisetis	0	20	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	13	0	7	0	0	1	20	0	40	13	27	0	13	20	0	7	53	13	100
Pseudoleiocapitella fauveli	87	0	100	47	220	0	193	0	113	27	60	33	200	0	73	1	20	13	13	7	0	0	20	1	0	20	73	180	10	40	47	120
Spiophanes bombyx	0	1	0	0	120	0	0	0	0	20	13	0	40	0	33	0	520	13	53	0	40	0	0	0	20	20	13	0	20	7	0	0
Sternaspis scutata	120	127	27	93	0	7	40	53	53	47	20	13	20	93	67	47	0	160	167	127	60	80	133 2	107	0	140	213	0	70	133	293	173
Terebellides stroem i	187	47	100	107	120	20	100	0	60	60	87	27	80	0	40	20	20	33	427	140	20	20	40	40	60	27	447	120	43	167	153	133
Oligochaeta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	500	0	0	13	0	7	0	0	0	13	33	0	0	13	13	80	1	0	13	27
Μαλάκια	Al	A2	A3	A4	AS	A6	A7	A8	Nl	N2	N3	N4	NS	N6	N7	N8	Ø]	Ф2	Ф3	Ф4	Ø 5	Ø6	Φ7	Ф8	Ml	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Corbula gibba	60	67	73	40	0	100	20	107	33	73	53	20	0	147	0	113	100	107	107	140	40	173	0	73	200	193	207	200	197	960	200	93
Dentalium inaequistatum	0	0	27	20	0	0	0	0	60	60	7	7	0	7	0	20	80	87	140	127	120	20	13	7	60	47	147	80	53	20	0	1
Hyala vitrea	0	113	320	327	0	193	287	520	80	60	47	180	80	593	233	294	60	327	387	460	40	307	447 4	106	0	53	180	0	27	273	527	406
Anodontia fragilis	0	1	20	653	20	27	60	53	60	27	0	33	0	13	7	0	60	0	280	7	0	13	0	67	0	0	33	80	0	647	13	67
Mysella bidentata	33	160	553	680	0	273	300	266	280	233	340	220	0	273	220	120	20	207	553	120	40	80	267 1	.93	20	213	553	500	117	420	240	193
Tellina pulchela	33	1	0	0	0	0	0	0	40	7	7	7	20	0	13	0	0	7	20	0	0	0	1	0	20	0	27	0	10	0	40	0
Thyasira flexuosa	200	0	0	0	100	0	260	73	287	207	193	53	0	80	193	47	260	167	0	153	160	73	127 1	20	180	167	187	20	173	80	347	120
Καρκινοειδή	Al	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	Ø]	Ф2	Ф3	Ф4	Ø5	Ф6	Φ7	Ф8	Ml	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Amnalisca en	300	120	17	307	1/0	60	110	151	3/0	73	173	147	720	27	287	247	340	180	267	113	160	100	160 3	193	260	180	447	1020	220	460	160	1080
лтрепьси эр.	J U U	140	4/	J01	140	00	440	205	J40	15							0	20	152	260	40	27		_								007
Ampensia sp. Apseudes latreilli	167	80	47	280	0	107	440 127	253 60	140	100	120	80	0	20	333	80	0	20	100	200	40	41	233	60	40	147	407	120	93	353	0	321
Apseudes latreilli Corrophium acherusicum	167 0	80 0	47 167 0	280 0	0	00 107 0	440 127 0	253 60 0	140 0	100 0	120 0	80 0	0 0	20 0	333 0	80 120	0 0	20 0	0	0	40	0	233 0	60 0	40 0	147 0	407 0	120 0	93 0	353 0	0 0	327 0
Ampetiscu sp. Apseudes latreilli Corrophium acherusicum Diastylis rugosa	167 0 0	80 0 0	47 167 0 13	280 0 0	0 0 0	107 0 0	440 127 0 0	253 60 0 0	140 0 0	100 0 0	120 0 0	80 0 0	0 0 0	20 0 0	333 0 0	80 120 0	0 0 0	20 0 0	0	200 0 0	40 0 0	27 0 0	233 0 0	60 0 0	40 0 60	147 0 0	407 0 13	120 0 0	93 0 30	353 0 0	0 0 0	527 0 0
Ampenscu sp. Apseudes latreilli Corrophium acherusicum Diastylis rugosa Eudorella nana	167 0 0 0	80 0 0 7	47 167 0 13 7	280 0 0 13	0 0 0 0	107 0 0 0	440 127 0 0 0	253 60 0 0	0 0 0 0	100 0 0 0	120 0 0 0	80 0 0 0	0 0 0 0	20 0 0 0	333 0 0 0	80 120 0 0	0 0 0 400	20 0 0 0	0 0 107	200 0 40	40 0 0 0	27 0 0 0	233 0 0 7	60 0 0 0	40 0 60 0	147 0 0 13	407 0 13 53	120 0 0 80	93 0 30 7	353 0 0 13	0 0 0 0	0 0 0 0
Ampensca sp. Apseudes latreilli Corrophium acherusicum Diastylis rugosa Eudorella nana Iphinoe serrata	167 0 0 53	80 0 7 20	47 167 0 13 7 0	280 0 0 13 13	0 0 0 0 80	00 107 0 0 0 0	440 127 0 0 0 13	253 60 0 0 0	140 0 0 0 13	100 0 0 0 0	120 0 0 0 0	80 0 0 0 7	0 0 0 200	20 0 0 0	333 0 0 0 0	80 120 0 0	0 0 400 0	20 0 0 0 0	0 0 107 0	200 0 40 0	40 0 0 0 80	27 0 0 0 0	233 0 0 7 7	60 0 0 0	40 0 60 0 0	147 0 0 13 0	407 0 13 53 40	120 0 0 80 20	93 0 30 7 0	353 0 0 13 0	0 0 0 13	327 0 0 0 0

Κατά τη διάρκεια της μελέτης στις δύο πρώτες αριθμητικά επικρατέστερες θέσεις του καταλόγου με τα κυρίαρχα είδη από κάθε κύρια ταξινομική ομάδα εναλλάσσονται δεκαέξι είδη Πολύχαιτων, επτά είδη Μαλακίων και επτά είδη Καρκινοειδών (Πίνακας 3.1.4). Τα είδη *Amphiura chiajei* και *Asterina* sp. και τα είδη *Tubulanus polymorphus* (Nemertea), *Phoronis* cf *psamophila* (Phoronida) και *Onchnesoma steenstrupi* (Sipuncula) αποτελούν τα κυρίαρχα είδη από τις ομάδες των Εχινοδέρμων και των Διαφόρων, αντίστοιχα.

Σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας διακρίνονται ιδιαίτερα έντονες χωρικές διακυμάνσεις της αφθονίας των κυρίαρχων Πολύχαιτων. Έτσι, το είδος Lumbrineris latreilli κυριαρχεί σε όλους σχεδόν τους σταθμούς κατά το Νοέμβριο ενώ αυτό συμβαίνει με το Tauberia gracilis το Μάιο. Υπάρχουν, επίσης, είδη που συγκαταλέγονται ανάμεσα στα κυρίαρχα της κλάσης μόνο σε συγκεκριμένους σταθμούς, όπως το Nephtys hystricis στους σταθμούς 6 και 8 κοντά στην εκβολή του Σπερχειού, καθώς και είδη που υπάρχουν αποκλειστικά σε μερικούς σταθμούς όπου και κυριαρχούν, όπως τα είδη Ηyalinoecia brementi, Paralacydonia paradoxa και Lanice conchilega στους σταθμούς του εξωτερικού Μαλιακού με αμμώδες ίζημα. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται πως οι διαφορές μεταξύ των δύο υποπεριοχών του Μαλιακού ως προς την κατανομή των Πολύχαιτων του Πίνακα 3.1.4, επισκιάζονται από τις διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς κάθε υποπεριοχής.

Έντονες χωρικές διακυμάνσεις εμφανίζουν και τα κυρίαρχα είδη Μαλακίων από τα οποία τα Δίθυρα Mysella bidentata και Thyasira flexuosa συγκαταλέγονται ανάμεσα στα δύο κυρίαρχα του φύλου σε όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους (Πίνακας 3.1.14). Αντίθετα, το Γαστερόποδο Hyala vitrea, που επικρατεί στους περισσότερους σταθμούς τον Αύγουστο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο, φαίνεται πως αντικαθίσταται από το δίθυρο Corbula gibba το Μάιο. Τέλος, τα Αμφίποδα Ampelisca sp. και Leptocheirus mariae αποτελούν τα δύο κυρίαρχα Καρκινοειδή σε όλους σχεδόν τους σταθμούς κατά τους μήνες Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο (Πίνακας 3.1.4). Τον Αύγουστο όμως το Ανισόποδο *Apseudes latreilli mediterranea* σημειώνει αρκετά μεγαλύτερες αφθονίες από το Αμφίποδο *L. mariae*.

Οι διακυμάνσεις της ολικής Ξηρής Βιομάζας (Εικόνα 3.1.19) καθώς και της Ξηρής Βιομάζας Απαλλαγμένης Στάχτης (ΞΒΑΣ) (ash-free dry weight) (Εικόνα 3.1.20) παρουσιάζουν αξιόλογες χωρικές διακυμάνσεις σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Η δυσκολία διάκρισης ενός συγκεκριμένου προτύπου των μεταβολών που παρατηρούνται έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας οι μέγιστες τιμές βιομάζας λαμβάνουν χώρα όχι μόνο σε διαφορετικό σταθμό αλλά και σε διαφορετική υποπεριοχή του κόλπου. Συμβαίνει μάλιστα τα τοπικά μέγιστα να σημειώνονται στην ίδια υποπεριοχή με τα τοπικά ελάχιστα της βιομάζας, με αποτέλεσμα να επισκιάζεται η ύπαρξη τυχόν διαβαθμίσεων από τον Εσωτερικό προς τον Εξωτερικό Μαλιακό. Παρόλα αυτά, το εύρος τιμών παραμένει χρονικά σταθερό αν και το Φεβρουάριο είναι σχετικά μεγαλύτερο εξαιτίας του υψηλού αριθμού ατόμων του είδους *Lanice* conchilega. Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί ότι σε γενικές γραμμές η μακροπανιδική βιομάζα του Μαλιακού κόλπου κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα.

Τα Μαλάκια αποτελούν την επικρατέστερη ομάδα στην Ξηρή Βιομάζα σχεδόν σε όλους τους σταθμούς (Εικόνα 3.1.21). Ωστόσο, ως προς την ΞΒΑΣ υπερέχει η ομάδα των Πολύχαιτων, ειδικά στους σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού αν και τα Μαλάκια εξακολουθούν να έχουν σημαντικό ρόλο στους σταθμούς 4, 6 και 8 (Εικόνα 3.1.22). Τα, δε, Καρκινοειδή, των οποίων η αφθονία αυξάνεται δραματικά το Μάιο, συνεισφέρουν ελάχιστα στην ολική Ξηρή Βιομάζα και ΞΒΑΣ.



Εικόνα 3.1.19. Διακυμάνσεις Ξηρής Βιομάζας (gr / m²) (±1 τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα) στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.



Εικόνα 3.1.20. Διακυμάνσεις Ξηρής Βιομάζας Απαλλαγμένης Στάχτης (ΞΒΑΣ) (gr/m²) (±1 τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα) στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου.



Εικόνα 3.1.21. Ξηρή Βιομάζα (gr / m^2) των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων στους σταθμούς του πρώτου πλάνου.

Οι μέσοι αριθμοί ειδών ανά δειγματοληπτική μονάδα κυμαίνονται από 20 (Σταθμός 6, Αύγουστος) έως 74 είδη (Σταθμός 4, Μάιος). (Εικόνα 3.1.23). Καταμετρήθηκαν 122 είδη τον Αύγουστο, 110 είδη το Νοέμβριο, 154 είδη το Φεβρουάριο και 170 είδη το Μάιο που ανήκουν σε 84, 71, 94 και 105 οικογένειες αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της μελέτης βρέθηκαν 218 είδη, 120 οικογένειες, 21 κλάσεις και 13 φύλα, συνολικά. Σε γενικές γραμμές, οι χαμηλότεροι αριθμοί ειδών επιδεικνύονται στους σταθμούς του εσωτερικού Μαλιακού. Λιγότερα από 40 είδη καταμετρούνται σε κάθε σταθμό κατά τον Αύγουστο και Νοέμβριο ενώ το Μάιο ο αριθμός ειδών ανά δείγμα υπερβαίνει τα 40. Η ομάδα των Πολύχαιτων δε συνεισφέρει πάντοτε τα περισσότερα
είδη στον ολικό αριθμό ειδών σε κάθε σταθμό κατά τη διάρκεια της μελέτης (Εικόνα 3.1.24). Σε κάποιους σταθμούς, τα Μαλάκια περιέχουν εξίσου πολλά ή και περισσότερα είδη από τους Πολύχαιτους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στους σταθμούς 2, 4, 6 και 8 τον Αύγουστο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο. Το Μάιο, ωστόσο, φαίνεται πως η μακροπανιδική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου κατακλύζεται από είδη Πολύχαιτων, τα οποία είναι δύο έως και τρεις φορές περισσότερα από τα είδη Μαλακίων, που εξακολουθούν να αποτελούν τη δεύτερη ομάδα σε αριθμό ειδών. Υπενθυμίζεται ότι η αύξηση του αριθμού ειδών Πολύχαιτων δεν συμβάλλει στην αύξηση της ολικής αφθονίας που παρατηρείται κατά το Μάιο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι δεν πρόκειται για νέα είδη στην περιοχή αλλά για είδη τα οποία εκπροσωπούνταν από περιορισμένο αριθμό ατόμων τουλάχιστον σε μια από τις δειγματοληπτικές περιόδους που προηγήθηκαν του Μαΐου.



Εικόνα 3.1.22. Ξηρή Βιομάζα Απαλλαγμένη Στάχτης (ΞΒΑΣ) (gr / m²) των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων στους σταθμούς του πρώτου πλάνου.



Εικόνα 3.2.23. Διακυμάνσεις του αριθμού ειδών ανά δειγματοληπτική μονάδα (±1τυπικό σφάλμα μέσης τιμής από 3 δείγματα) στους σταθμούς του πρώτου πλάνου.





Εικόνα 3.1.24. Αριθμός ειδών ανά δείγμα των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων,

Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων στους σταθμούς του πρώτου πλάνου.



Οι δείκτες ποικιλότητας Shannon-Wiener και Pielou δεν παρουσιάζουν αξιόλογες αυξομειώσεις (Εικόνα 3.1.25). Τον Αύγουστο και Νοέμβριο, όμως, ο δείκτης Η' στο Σταθμό 8 είναι εμφανώς χαμηλότερος από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Σε γενικές γραμμές, η ποικιλότητα της βενθικής βιοκοινωνίας στο Μαλιακό κόλπο, σύμφωνα με τους συγκεκριμένους δείκτες ετερογένειας, κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Η ομοιομορφία J' ποικίλλει από 0.7 έως 0.92 ενώ η ποικιλότητα Η' σπάνια είναι μικρότερη από 3.5 ψηφία ανά άτομο.

Από τα διαγράμματα με τις καμπύλες του αναμενόμενου αριθμού (Es), συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι χαμηλότεροι αριθμοί ειδών επιδεικνύονται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού ενώ οι υψηλότεροι σε σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού (Εικόνα 3.1.26). Αυτό παρατηρείται σε όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το εύρος τιμών του αναμενόμενου αριθμού ειδών συρρικνώνεται σταδιακά από τον Αύγουστο έως το Μάιο, γεγονός που αποτελεί ένδειξη επίδρασης ενός παράγοντα που επιφέρει εξομάλυνση των διαφορών στην ποικιλότητα μεταξύ των σταθμών στο μέτωπο του Δέλτα και τον Εξωτερικό Μαλιακό.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση της ποικιλότητας των σταθμών βάσει των διαγραμμάτων k-dominance (Εικόνα 3.1.27). Γενικά, οι σταθμοί που βρίσκονται στον Εζωτερικό Μαλιακό περιέχουν εμφανώς περισσότερα είδη και χαμηλότερα ποσοστά επικράτησης των κυρίαρχων ειδών σε σχέση με τους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού. Οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι κυρίως χωρικές, όπως προκύπτει από τους πολλούς χιασμούς των καμπυλών που επισκιάζουν την πορεία κάθε καμπύλης χωριστά. Το πιο αξιοσημείωτο γεγονός όμως είναι ότι οι καμπύλες από σταθμούς που βρίσκονται σχετικά κοντά και επομένως υποτίθεται ότι υπόκεινται σε παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι σταθμοί του Εξωτερικού Μαλιακού αλλά και οι δύο σταθμοί κοντά στην εκβολή, τέμνονται μεταξύ τους σε όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι στο Μαλιακό κόλπο υπάρχει μεγάλη χωρική ετερογένεια ως προς τις διεργασίες που επηρεάζουν τα δύο καθοριστικά συστατικά της ποικιλότητας, δηλαδή τον αριθμό ειδών και την ομοιομορφία.



(n)

(n)

(n

(n)

Εικόνα 3.1.26. Μέσες τιμές του αναμενόμενου αριθμού ειδών (ES) στους σταθμούς δειγματοληψίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου για διάφορα μεγέθη δείγματος (n, βλ. Κεφ. 2.5.1). Οι τυπικές αποκλίσεις ήταν μικρότερες από 4 και παραλείπονται.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αντανακλούν μια πλούσια βιοκοινωνία τόσο με όρους ποικιλότητας όσο και με όρους αφθονίας και βιομάζας. Πράγματι, οι τιμές αφθονίας και βιομάζας κρίνονται ιδιαίτερα υψηλές και είναι από τις υψηλότερες που έχουν σημειωθεί έως τώρα σε παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου (βλ. επισκόπηση Stergiou *et al.* 1997) ενώ βρίσκονται σε συγκρίσιμα επίπεδα με τιμές από τη Δ. Μεσόγειο (Gremare *et al.* 1998), τη Β. Θάλασσα (Eleftheriou & Basford 1989) και την Αδριατική (Kisseleva 1968, Moodley *et al.* 1998). Ο Μαλιακός κόλπος χαρακτηρίζεται από υψηλότερους μακροπανιδικούς πληθυσμούς από ότι η παράκτια ζώνη που δέχεται τις εισροές του Ροδανού στον Κόλπο των Λεόντων (Gremare *et al.* 1998), του ποταμού Entella στη Θάλασσα της Λιγκουρίας (Albertelli *et al.* 1999) και του Αμαζονίου (Aller & Stupakoff 1996) αλλά χαμηλότερους από τη παράκτια ζώνη που βρίσκεται υπό την επίδραση των εισροών του Πάδου στην Αδριατική Θάλασσα (Moodley et al. 1998, Ambrogi et al. 2001) και του Έβρο στις Καταλανικές ακτές (Sarda et al. 1995). Είναι επίσης πρόδηλη η διαφορά των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης από προηγούμενες που προσέγγισαν τη βενθική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου με κόσκινα διαμέτρου πόρων 1 χιλιοστού. Η παρούσα μελέτη αναδεικνύει υπερπολλαπλάσσιες τιμές αφθονίας από ότι είχαν καταγραφεί ως τώρα (ΕΚΘΕ 1994, Kormas et al. 1997) και ρίχνει το φως σε είδη τα οποία αν και αριθμητικά κυρίαρχα (π.χ. Hyala vitrea, Ampelisca sp., Leptocheirus mariae, Paralacydonia paradoxa, Anodontia fragilis) δεν είχαν συμπεριληφθεί σε καμιά βιβλιογραφική αναφορά για το Μαλιακό κόλπο.



Εικόνα 3.1.27. Καμπύλες k-dominance στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η υψηλή συμμετοχή των Μαλακίων στις ολικές τιμές αφθονίας,

βιομάζας και αριθμού ειδών καθώς και η υψηλή σχετικά παρουσία των Καρκινοειδών. Και τούτο διότι ο κανόνας στις ελληνικές θάλασσες, συμπεριλαμβανομένων αυτών που επηρεάζονται από υπόπυκνες εκφορτίσεις και χερσογενείς εισροές, είναι η επικράτηση των Πολύχαιτων με

ποσοστά μεγαλύτερα από 60% επί της ολικής αφθονίας και η κατά πολύ μικρότερη συμμετοχή των Μαλακίων και των Καρκινοειδών (Nicolaidou et al. 1983, Stergiou et al. 1997). Οι μεγάλοι πληθυσμοί Δίθυρων και Αμφιπόδων, τα οποία διηθούν σωματίδια που καθιζάνουν στην επιφάνεια του ιζήματος (Barnes & Mann 1982), υποδηλώνουν εισροή μεγάλων ποσοτήτων σωματιδιακής οργανικής ύλης στα επιφανειακά ιζήματα. Πράγματι, η επικράτηση των Mαλακίων Corbula gibba, Mysella bidentata, Tellina pulchela, του Αμφίποδου Ampelisca sp. και Φορονοειδών υποδεικνύει ομοιότητες με τη μακροπανιδική βιοκοινωνία που έχει περιγραφεί στην υποπαραλιακή ζώνη της Δ. Αδριατικής που δέχεται τις χερσογενείς εκφορτίσεις του ποταμού Πάδου (Ambrogi et al. 2001, Moodley et al. 1998, Tahey et al. 1994). Στην περιοχή αυτή, θεωρείται ότι τα είδη αυτά ως αιωρηματοφάγα αξιοποιούν την υψηλή ροή αιωρούμενης ύλης στο βένθος. Συγκεκριμένα, το Δίθυρο Corbula gibba, που έχει ευρεία εξάπλωση σε ποταμόκολπους και εύτροφες περιοχές της Βόρειας Ευρώπης και της Μεσογείου, πιστεύεται ότι όντως επωφελείται από υψηλά οργανικά φορτία στα επιφανειακά ιζήματα (Rosenberg 1977, Pearson & Rosenberg 1978, Jensen 1990) ενώ το είδος Thyasira flexuosa, από τα επικρατή της παρούσας μελέτης, θεωρείται δείκτης οργανικού εμπλουτισμού στο ίζημα, με ιδιαίτερη αντοχή σε συνθήκες υποξίας (Pearson & Rosenberg 1978). Το γένος Ampelisca θεωρείται ότι επίσης αξιοποιεί αποτελεσματικά και ενεργητικά την αιωρούμενη ύλη που καθιζάνει στο ίζημα, ζώντας μέσα σε κάψουλες που προεξέχουν στην επιφάνεια του ιζήματος (Barnes & Mann 1982). Αντίθετα το Δίθυρο Mysella bidentata, που αποτελεί ένα από τα πιο άφθονα είδη του Μαλιακού κόλπου, αναφέρεται ως μη-υπογρεωτικός διηθηματοφάγος οργανισμός (Rosenberg 1995), υποδηλώνοντας ότι μπορεί να καταλάβει ξεχωριστούς τροφικούς θώκους ανάλογα με την ποιότητα της διαθέσιμης τροφής. Η ταυτόχρονη όμως παρουσία σαρκοφάγων ειδών (π.χ. Nephtys. hystricis, Hyala vitrea), επιφανειακών (Aricidea claudia, Tauberia gracilis, Magelona minuta, Apseudes latreilli mediterranea, Terebellides stroemi) αλλά και υποεπιφανειακών ιζηματοφάγων (Sternaspis scutata, Paralacydonia paradoxa, Sipuncula), ανάμεσα στα κυρίαργα είδη της ίδιας υποπεριοχής, ή ακόμη και του ίδιου σταθμού, υποδηλώνει ότι η τροφική δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού δεν καθορίζεται απλά και μόνον από τη ροή οργανικής ύλης από τη στήλη.

Η παρούσα μελέτη δεν υποδεικνύει την ύπαρξη διαβάθμισης από τον Εσωτερικό προς τον Εξωτερικό Μαλιακό, τουλάχιστον ως προς τις ολικές τιμές αφθονίας και βιομάζας. Υπενθυμίζεται όμως ότι δεν ανιχνεύθηκε διαβάθμιση ούτε σε κάποιον από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μετρήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, δεν μπορεί να υποτεθεί η ύπαρξη ενός ή περισσότερων περιοριστικών παραγόντων στην χωρική κατανομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού, παρά την έντονη ετερογένεια. Επιπλέον, δεν υπάρχει σαφής εικόνα αναφορικά με τις εποχικές διαφορές. Συγκεκριμένα, το Μάιο παρατηρείται αύξηση της αφθονίας ειδών που απελευθερώνουν πελαγικές προνύμφες (*Tauberia gracilis*, Giangrande 1997 και C. gibba, www.marlin.ac.uk), η οποία κατά πάσα πιθανότητα συνδέεται με εγκατάσταση των προνυμφών που εξαπολύθηκαν κατά την γειμερινή – ανοιξιάτικη φυτοπλαγκτονική άνθηση. Ωστόσο, είδη όπως τα L. mariae και Ampelisca sp., των οποίων οι προνύμφες αναπτύσσονται στο βένθος (www.marlin.ac.uk), εμφανίζουν επίσης δραματική αύξηση το Μάιο. Γενικά, είδη από όλες τις κατηγορίες αναπαραγωγικών στρατηγικών –δηλαδή αυτών που απελευθερώνουν πλαγκτονοτροφικές προνύμφες (Thyasira flexuosa, Mysella bidentata, Lumbrineris latreilli Nephtys hystricis) ή λεκιθοτροφικές προνύμφες (Pseudoleiocapitella fauveli, Terebellides stroemi) ή εμφανίζουν άμεση ανάπτυξη όπως το Apseudes latreilli mediterranea - αν και επιδεικνύουν μεγάλες χωρικές διακυμάνσεις, δεν παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ δειγματοληπτικών περιόδων. Είναι ως εκ τούτου δύσκολο να κατανοηθούν οι κατανομές των ειδών αυτών ως προς τις αναπαραγωγικές τακτικές και την επιτυχία εγκατάστασης των νεαρών ατόμων. Υπάρχουν ενδείξεις ότι συμβαίνει εγκατάσταση κάποιων ειδών καθόλη τη διάρκεια του έτους, καθώς δεν παρατηρούνται εποχικά μέγιστα στην αφθονία των ειδών που αναπαράγονται με πελαγικές προνύμφες. Επίσης με βάση προσωπικές παρατηρήσεις τα Αμφίποδα και Ανισόποδα περιείγαν αυγά σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας, υποδηλώνοντας ότι η διαθέσιμη τροφή για τα ενήλικα και τα για τα νεαρά άτομα που πρόκειται να εκκολαφθούν είναι επαρκής καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Πολλά από τα είδη που συγκαταλέγονται μεταξύ των κυρίαρχων της παρούσας μελέτης, αναφέρονται βιβλιογραφικά ως δείκτες αστάθειας υποστρώματος. Συγκεκριμένα πρόκειται, μεταξύ άλλων, για τα είδη Ditrupa arietina, Corbula gibba, Lumbrineris latreilli, Amphiura chiajei, Thyasira flexuosa και Nucula turgida τα οποία συνιστούν τα κυρίαρχα είδη σε περιοχές με έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα στην υποπαραλιακή (λιμάνια, απόρριψη λυμάτων) και στην περιπαραλιακή ζώνη (διαταραχή ιζημάτων λόγω αλιείας με βενθοπελαγική τράτα (Peres & Picard 1958, Bellan & Bellan-Santini 1972, Desbruyeres et al. 1972, Pearson & Rosenberg 1978, FAO/UNEP 1986). Η σημαντική παρουσία των ειδών αυτών στο Μαλιακό κόλπο, έχει ήδη επισημανθεί σε προηγούμενες μελέτες οπότε και είχε αποδοθεί στην υποτιθέμενη οικολογική αστάθεια εξαιτίας των χερσογενών εκφορτίσεων λεπτόκοκκου υλικού και του οργανικού εμπλουτισμού (ΕΚΘΕ 1994). Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των βιοκοινωνιών η δομή των οποίων συνδέεται με συνθήκες αστάθειας υποστρώματος είναι η έντονα μεταβαλλόμενη δυναμική τους στο χώρο και στο χρόνο. Μάλιστα, οι Peres & Picard (1958) αναφέρουν ότι οι πληθυσμοί των κυρίαρχων ειδών των βιοκοινωνιών αυτών εξαφανίζονται πριν ακόμη εγκαθιδρυθούν ενώ παράλληλα καταλαμβάνουν στενές ζώνες, δεδομένου ότι οι συνθήκες αστάθειας χαρακτηρίζουν μεταβατικές καταστάσεις στο χώρο και στο χρόνο.

Αντίθετα στο Μαλιακό τα είδη Corbula gibba, Lumbrineris latreilli, Amphiura chiajei, Thyasira flexuosa και Nucula spp. εμφανίζουν σταθερά υψηλή παρουσία, όπως διαπιστώνεται και από τις μελέτες που έχουν προηγηθεί (ΕΚΘΕ 1994, Kormas et al. 1997). Επιπλέον οι πληθυσμοί γενών όπως τα Harmothoe και Lumbrineris, πολύχαιτοι των οποίων η απουσία από βιοκοινωνίες με χαμηλό αριθμό ειδών θεωρείται ένδειξη ιδιαίτερα επιβλαβών περιβαλλοντικών συνθηκών (Rygg 1985), είναι αξιόλογοι στην περιοχή μελέτης ενώ ταυτόχρονα και τα δύο γένη αποτελούνται από περισσότερα του ενός είδη (H. antilopis, H. lunulata και L. latreilli, L. emandibulata, L. funchalensis, αντίστοιχα). Τέλος, απουσιάζουν είδη που αποτελούν δείκτες οικολογικής αστάθειας ή ρύπανσης (π.χ Capitella, Malacoceros, Pocklington & Wells 1992) ή δείκτες ανάκαμψης από πρόσφατη περιβαλλοντική επίπτωση (π.χ. Neanthes, Pearson & Rosenberg 1978). Γενικά οι οικογένειες Πολύχαιτων με το μεγαλύτερο αριθμό ευκαιριακών ειδών, όπως *Capitellidae* και *Spionidae* (Group 1 sensu Rhoads *et al.* 1978), αν και παρούσες σε όλους τους σταθμούς, υπολείπονται αριθμητικά των υπόλοιπων οικογενειών. Στα πλαίσια αυτής της θεώρησης εξαίρεση ίσως αποτελεί η παροδική αύξηση του είδους *Ditrupa arietina* στους σταθμούς 1, 3 και 4, η οποία μπορεί να συνδέεται με διατάραξη των ιζημάτων στις βόρειες ακτές του Μαλιακού ειδικά στην περιοχή της Στυλίδας, όπως έχει ήδη υποτεθεί με βάση την κοκκομετρική ανάλυση.

Ωστόσο, η μακροβενθική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου παρουσιάζει, εκ πρώτης όψεως τουλάχιστον, ομοιότητες με τη μακροβενθική βιοκοινωνία της υφαλοκρηπίδας του Αμαζονίου όπου οι οικογένειες Lumbrineridae, Nephtyidae και Corbulidae, μαζί με τα γένη Ampelisca και Eudorella θεωρούνται χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος αυτού (Aller & Aller 1986). Η αριθμητικά σημαντική παρουσία των ειδών αυτών στις υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις του Αμαζονίου θεωρείται αποτέλεσμα των λειτουργικών γνωρισμάτων τους -υψηλή κινητικότητα, κατασκευή στοών ή υποεπιφανειακή διαβίωση- βάσει των οποίων μπορούν να επιβιώνουν και να προσλαμβάνουν τη διαθέσιμη τροφή στα ασταθή ιλυώδη ιζήματα ως ιζηματοφάγοι, παμφάγοι ή σαρκοφάγοι θηρευτές (Aller & Stupakoff 1996). Παρόμοια συμπεράσματα ως προς την επικράτηση των λειτουργικών τύπων μακροπανίδας έχουν προκύψει από τη μελέτη των μακροβενθικών βιοκοινωνιών στις δελταϊκές αποθέσεις του ποταμού Yangtze (Aller & Stupakoff 1996, Rhoads et al. 1985) και του ποταμού Fly στον κόλπο Παπούα (Alongi et al. 1992), οδηγώντας στο γενικό συμπέρασμα ότι η δομή των μακροβενθικών βιοκοινωνιών και η επικράτηση συγκεκριμένων λειτουργικών τύπων σε υποθαλάσσια δελταϊκά περιβάλλοντα, καθορίζεται κυρίως από το ρυθμό ιζηματαπόθεσης του χερσογενούς (ιλυώδους) υλικού που εκβάλλεται.

Οι χωρικές διακυμάνσεις των λειτουργικών τύπων μακροπανίδας (sensu Aller & Stupakoff 1996, Υφαλοκρηπίδα Αμαζονίου) στο Μαλιακό κόλπο αποκαλύπτουν ομοιότητες με τα κατά πολύ περισσότερο επιβαρημένα περιβάλλοντα των δελταϊκών αποθέσεων του Αμαζονίου και του ποταμού Yangtze (Εικόνα 3.1.28). Πράγματι, οι πλάνητες μακροπανιδικοί οργανισμοί (Θηρευτές, Παμφάγοι, Πλάνητες Επιφανειακοί και Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι) επικρατούν αριθμητικά σε όλους τους σταθμούς και τις περιόδους δειγματοληψίας έναντι των Εδραίων Επιφανειακών και Υποεπιφανειακών Ιζηματοφάγων.



Εικόνα 3.1.28. Χωρικές διακυμάνσεις της συνεισφοράς των λειτουργικών τύπων μακροπανίδας (sensu Aller & Stupakoff 1996) στην ολική αφθονία στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Π.: Παμφάγοι, Θ: Θηρευτές, ΠΥΙ: Πλάνητες Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΥΙ: Εδραίοι Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΕΙ: Εδραίοι Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι.



Εικόνα 3.1.29. Σχέση ανάμεσα στις αφθονίες (αριθμός ατόμων / m²) των λειτουργικών τύπων μακροπανίδας (sensu Aller & Stupakoff 1996) και τις μέσες συγκεντρώσεις Αιωρούμενου Σωματιδιακού Υλικού (ΑΣΥ) (mg/l) στη στήλη στους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Π.: Παμφάγοι, Θ: Θηρευτές, ΠΥΙ: Πλάνητες Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΥΙ: Εδραίοι Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΕΙ: Εδραίοι Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι.

Ωστόσο, τα διαγράμματα που απεικονίζουν τη σχέση της αφθονίας κάθε λειτουργικού τύπου με το ΑΣΥ, υποδεικνύουν ότι μόνο οι εδραίοι μακροπανιδικοί οργανισμοί (ΕΕΙ και ΕΥΙ) συσχετίζονται με την χωρική κατανομή του αιωρούμενου φορτίου και μάλιστα θετικά (Φεβρουάριος, R_{EYI}= 0.8, R_{EEI}=0.66 και Μάιος, R_{EEI}=0.67) (Εικόνα 3.1.29). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι αφθονίες των Παμφάγων, των Θηρευτών, των Πλάνητων Επιφανειακών και Υποεπιφανειακών Ιζηματοφάγων, εξαπλώνονται σε όλο το φάσμα τιμών αφθονίας ανεξάρτητα από τις τιμές ΑΣΥ. Ακόμα και το Φεβρουάριο και Μάιο, οπότε η στήλη επιβαρύνεται με τα υψηλότερα ετήσια φορτία ΑΣΥ, οι πλάνητες ιζηματοφάγοι οργανισμοί δεν υφίστανται μείωση στους αντίστοιχους σταθμούς. Οι δε θηρευτές παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους αριθμούς ατόμων στους σταθμούς με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ΑΣΥ, ενδεχομένως επωφελούμενοι από αυξημένη συσσώρευση οργανισμών που ενταφιάζονται σε υποεπιφανειακά ιζήματα λόγω ιζηματαπόθεσης. Τέλος, οι παμφάγοι το Φεβρουάριο εκπροσωπούνται ούτως ή άλλως από χαμηλό αριθμό ατόμων.

Η λειτουργική κατηγορία των εδραίων ή με περιορισμένη κινητικότητα ιζηματοφάγων οργανισμών περιλαμβάνει τα Δίθυρα Μαλάκια, Πολύχαιτους από τις οικογένειες Serpulidae, Sabellidae, Terebellidae, Maldanidae και Chaetopteridae κυρίως, τα Φορονοειδή, τα Ανθόζωα και τα Ασκίδια. Ενδεχομένως, οι συγκεντρώσεις ΑΣΥ στο Μαλιακό κόλπο είναι υψηλές αλλά όχι επιζήμιες (detrimental) για τη λειτουργία των μηχανισμών πρόσληψης τροφής αυτών των οργανισμών. Επιπλέον, η επικράτηση ιζηματοφάγων οργανισμών θεωρείται προσαρμογή σε περιβάλλοντα με υψηλά ποσοστά ιλύος, όπου η τροφή τους αποτελείται από μικροοργανισμούς

που περιβάλλουν τους κόκκους είτε τα οργανικά και ανόργανα μικροσωματίδια που συνδέονται με αυτούς (Barnes & Mann 1982).

Θα μπορούσε επομένως να θεωρηθεί ότι στο Μαλιακό κόλπο ο συνδυασμός υψηλού ποσοστού ιλύος στο υπόστρωμα, και σχετικά μεγάλης ποσότητας ιλυοργιλωδών εκφορτίσεων, ευνοεί την επικράτηση ιζηματοφάγων έναντι αιωρηματοφάγων οργανισμών, οι οποίοι είναι διαρκώς εκτεθειμένοι στον κίνδυνο απόφραξης των μηχανισμών διήθησης από μεγάλα σωματίδια ιλύος. Ωστόσο, υπό συνθήκες συχνής επαναιώρησης των λεπτόκοκκων ιζημάτων και έντονης ιζηματαπόθεσης είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς ανάμεσα σε εδραίους αιωρηματοφάγους και επιφανειακούς ιζηματοφάγους δεδομένου ότι και οι δύο υφίστανται παρόμοια πίεση ως προς τον κίνδυνο ενταφιασμού σε βαθύτερα στρώματα του υποστρώματος λόγω του υψηλού ρυθμού ιζηματαπόθεσης. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις στο πεδίο, δεν ανιχνεύθηκε η παρουσία αναγωγικών συνθηκών (π.χ. μαύρο οργανικό στρώμα, μυρωδιά υδρόθειου) στα πρώτα 10-15 εκατοστά στο ίζημα. Συνεπώς, ο ενταφιασμός δε συνδέεται με έκθεση σε ανοξικές συνθήκες, παρόλο που πολλοί από τους οργανισμούς έχουν περιγραφεί σε ανοζικά περιβάλλοντα (π.χ. *Thyasira flexuosa*).

Πολλοί από τους εδραίους οργανισμούς στην περιοχή μελέτης επιτυγχάνουν σχετική σταθερότητα ζώντας σε βλενοειδείς σωλήνες με προσκολλημένους κόκκους στην επιφάνεια τους, όπως είδη των οικογενειών Maldanidae και Terebellidae, ενώ άλλοι, όπως τα Δίθυρα της οικογένειας Tellinacea, διαμένουν σε στοές (τρόπος διαβίωσης γνωστός ως burrowing) από όπου μέσω του σιφωνίου προσλαμβάνουν σωματίδια στην επιφάνεια του υποστρώματος (Levinton 1982). Αντίθετα τα Δίθυρα της οικογένειας Nuculidae, δε διαμένουν σε στοές οπότε υπόκεινται στις κινήσεις του υποστρώματος (μηχανική αστάθεια), τρέφονται όμως υποεπιφανειακά (Levinton 1982), και συνεπώς η εναπόθεση ιζημάτων επηρεάζει σε πολύ μικρότερο βαθμό την πρόσληψη τροφής. Ενδεχομένως ο λόγος για τον οποίο οι εδραίοι οργανισμοί που προαναφέρθηκαν εμφανίζουν θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις ΑΣΥ, οφείλεται στην ικανότητα τους αφενός να αντεπεξέρχονται στις επιπτώσεις του ενταφιασμού και της μηχανικής αστάθειας μέσω της κατασκευής σωλήνων και στοών καθώς και πρόσληψης τροφής σε

υποεπιφανειακά ιζήματα και αφετέρου να αντισταθμίζουν τις απώλειες με παράλληλη μαζική στρατολόγηση νεαρών ατόμων στα τέλη χειμώνα – αρχές άνοιξης. Ισχυρές ενδείξεις για το ότι ο χειμώνας και η άνοιξη αποτελούν περιόδους κατάλληλες για την ανάπτυξη των πλαγκτονοτροφικών προνυμφών των δίθυρων, τουλάχιστον, και την αποκορύφωση της εγκατάστασης τους στο βένθος, παρέχονται από το γεγονός ότι το Φεβρουάριο και το Μάιο αυξάνεται κατά 2 έως 10 φορές η παρουσία νεαρών ατόμων του είδους *Mytilus galloprovincialis* στους σταθμούς μελέτης, προφανώς προερχόμενων από τα κράσπεδα που σχηματίζουν τα ενήλικα άτομα του είδους στις βόρειες ακτές του Μαλιακού κόλπου.

Οι παραπάνω συλλογισμοί υποδηλώνουν ότι η δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας δεν είναι απόλυτα συμβατή με την υπόθεση της επικράτησης συνθηκών οικολογικής αστάθειας και παρουσίας ευκαιριακών ειδών των οποίων οι αφθονίες κορυφώνονται στα πρώτα στάδια διαδοχής μετά την επέλαση φαινομένων όχλησης στο βενθικό περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις υποδεικνύουν αυξημένη πολυπλοκότητα στη δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας, καθώς η υψηλή λειτουργική ποικιλότητα υπαινίσσεται τον αυξημένο ρόλο των βιολογικών αλληλεπιδράσεων στον καθορισμό της δομής της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου. Για το λόγο αυτό οι αλληλεπιδράσεις των ειδών μεταξύ τους και με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους είναι προτιμότερο να προσεγγιστούν με πολυμεταβλητές μεθόδους ανάλυσης. Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζονται η χωρική δομή της βενθικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου, τα είδη που ευθύνονται για τις διαφορές, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των ειδών αυτών και η «προβλεψιμότητα» της συνολικής απόκρισης της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού

3.1.5 Δομή της Βιοκοινωνίας

Οι αφθονίες των ειδών που βρέθηκαν σε κάθε δειγματοληπτική μονάδα αποτέλεσαν την αρχική μήτρα δεδομένων για να διενεργηθούν οι πολυμεταβλητοί έλεγχοι υποθέσεων για τη δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. Από τις αναλύσεις αυτές, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν για κάθε δειγματοληπτική περίοδο χωριστά, παραλείφθηκαν τα είδη που ήταν παρόντα μόνο με 1 άτομο ανά περίοδο δειγματοληψίας. Συνεπώς, οι πολυμεταβλητές αναλύσεις βασίστηκαν σε τέσσερις μήτρες δεδομένων που αντιστοιχούν στις τέσσερις περιόδους δειγματοληψίας, Αύγουστος, Νοέμβριος, Φεβρουάριος και Μάιος, και αποτελούνται από 100, 96, 154 και 151 είδη (μεταβλητές), αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα της μη-παραμετρικής ΜΑΝΟΥΑ για το πρώτο σκέλος του μοντέλου Ανάλυσης Διασποράς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου (διερεύνηση των διαφορών μεταξύ 8 σταθμών για κάθε περίοδο δειγματοληψίας χωριστά) δίνονται στον Πίνακα 3.1.4, όπου διαπιστώνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των σταθμών είναι σημαντικές σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί άμεση ένδειξη ότι η βενθική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου εμφανίζει χωρική διαφοροποίηση. Αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός ότι η μέση μεταβλητότητα -που ισούται με το μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)- τόσο μεταξύ των σταθμών όσο και μεταξύ των δειγματοληπτικών μονάδων του ίδιου σταθμού είναι αρκετά υψηλότερη το Μάιο. Τέλος, η *a posteriori* σύγκριση μεταξύ σταθμών ανά ζεύγη (pairwise comparisons) υποδεικνύει ότι οι διαφορές μεταξύ σταθμών εντοπίζονται τόσο μεταξύ διαφορετικών σημείων στην ίδια υποπεριοχή, όπως για παράδειγμα ισχύει το Νοέμβριο και Φεβρουάριο για τους σταθμούς 2 και 5 στον Εξωτερικό Μαλιακό, όσο και μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορετικές υποπεριοχές του Μαλιακού, όπως ισχύει το Νοέμβριο και Φεβρουάριο για τους σταθμούς 7 και 8 (Πίνακας 3.1.4). Ωστόσο, επειδή ο Σταθμός στο συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί τυχαία πηγή μεταβλητότητας, οι διαφορές αυτές δεν μπορούν παρά να αποδοθούν σε τυχαία χωρική μεταβλητότητα.

Η ανίχνευση σημαντικών διαφορών στη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού κόλπου επετεύχθη με την εφαρμογή μη-παραμετρικής

ΜΑΝΟΥΑ με βάση το ιεραρχικό μοντέλο με δύο παράγοντες (δεύτερο σκέλος της Πρώτης Υπόθεσης). Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης (Πίνακας 3.1.5) διαπιστώνεται ότι υφίστανται σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο υποπεριοχών ως προς τη δομή της βιοκοινωνίας τον Αύγουστο και το Μάιο. Ωστόσο η επίδραση του Σταθμού είναι σημαντική σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Αξίζει να σημειωθεί επιπρόσθετα ότι η τιμή των Μέσων Τετραγώνων -μέτρο της μεταβλητότητας ενός παράγοντα στο μοντέλο ΑΝΟVΑ- που αντιστοιχεί στο σφάλμα (residual) είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που αντιστοιχεί στην Περιοχή ή το Σταθμό. Επειδή το σφάλμα αντιπροσωπεύει τη μεταβλητότητα μεταξύ δειγματοληπτικών μονάδων του ίδιου σταθμού (επαναλήψεις), συνάγεται το συμπέρασμα ότι ο Μαλιακός κόλπος δε χαρακτηρίζεται γενικά από μικρής κλίμακας χωρική μεταβλητότητα. Αντίθετα επικρατεί από μεσαίας κλίμακας μεταβλητότητα, αφού κατά τη διάρκεια μελέτης, τουλάχιστον, οι σημαντικές διαφορές που ανιχνεύθηκαν ήταν μεταξύ των σταθμών. Επομένως μεγάλης κλίμακας φαινόμενα που επηρεάζουν τη δομή μιας βιοκοινωνίας όπως για παράδειγμα διαφορές στο κλίμα, ή διεργασίες που επιδρούν σε πολύ μικρές κλίμακες, όπως τοπικές διαφορές στη συχνότητα θήρευσης, μπορούν να αποκλειστούν ως παράγοντες που επηρεάζουν τη δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στο Μαλιακό κόλπο.

Πίνακας 3.1.4.	Αποτελέσματα	α της μη-π ο	ιραμετρικής	MANOVA µa	ε βάση το	ο μοντέλο Αν	νάλυσης
Διασποράς του	πρώτου σκέλοι	ος του πρώ	του δειγματο	οληπτικού πλά	avov. df:	Βαθμοί ελει	υθερίας.
SS: Άθροισμα	τετραγώνων.	MS: Μέσ	ο άθροι σ μα	τετραγώνων.	No. per	rm: Δυνατοί	τυχαίοι
ανασυνδυασμοί							

Πηγή Μεταβλητότητας	df	SS	MS	F	р	No. perm	Σημαντικοί <i>a</i> posteriori έλεγχοι
Αύγουστος							
Σταθμός Σφάλμα Σύνολο	7 16 23	37623.3 10573.9 48197.3	5374.7 660.8	8.13	0.0002	>10 ¹⁰	A5 # A6
Νοέμβριος							

N2 # N5

Σταθμός	7	32641.6	4663.1	7.35	0.0001	$>10^{10}$	N7 # N8
Σφάλμα	16	10145.7	634.1				
Σύνολο	23	42787.3					
Φεβρουάριος							
							$\Phi 2 \# \Phi 5$
Σταθμός	7	38046.9	5435.3	6.61	0.0001	$> 10^{10}$	$\Phi7 \# \Phi8$
Σφάλμα	16	13152.2	822.0				
Σύνολο	23	51119.2					
Μάιος							
5							
Σταθμός	7	36733.3	6122.2	7.24	0.0001	$>10^{10}$	MI # M5
	10	11000	044.0				M6 # M /
Σφάλμα	16	11828.6	844.9				
Σύνολο	23	48561.9					

Πίνακας 3.1.5. Αποτελέσματα της μη-παραμετρικής ΜΑΝΟVA με βάση το ιεραρχικό μοντέλο Ανάλυσης Διασποράς του δεύτερου σκέλους του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου. df: Βαθμοί ελευθερίας. SS: Αθροισμα τετραγώνων. MS: Μέσο άθροισμα τετραγώνων. No. perm: Δυνατοί τυχαίοι ανασυνδυασμοί.

Πηγή	df	55	MS	F	n	No perm	
Μεταβλητότητας	ui	66	1015	ľ	þ	rio. perm	
Αύγουστος							
Περιοχή	1	11541.8	11541.8	2.64	0.031	35	
Σταθμός	6	26202.2	1267.0	6.67	0.0001	0.2×10^9	
(Περιοχή)	0	20202.2	4307.0	0.02	0.0001	0.2 A 10	
Σφάλμα	16	10547.1	659.2				
Σύνολο	23	48291.2					
Νοέμβριος							
Περιοχή	1	6780.2	6780.2	1.56	0.167	35	
Σταθμός	6	25950.6	4325.1	6.87	0.0001	0.2 X 10 ⁹	

(Περιοχή)						
Σφάλμα	16	10070.8	629.4			
Σύνολο	23	42801.7				
Φεβρουάριος						
Περιοχή	1	6690.5	6690.5	1.27	0.19	35
Σταθμός (Περιοχή)	6	31517.9	5252.9	6.41	0.0001	0.2 X 10 ⁹
Σφάλμα	16	13108.2	819.3			
Σύνολο	23	51316.7				
Μάιος						
Περιοχή	1	9258.6	9258.6	2.51	0.031	35
Σταθμός (Περιοχή)	6	22128.8	3688.1	7.88	0.0001	0.2 X 10 ⁹
Σφάλμα	16	7481.9	467.6			
Σύνολο	23	38869.4				

Οι υφιστάμενες σε κάθε δειγματοληπτική περίοδο διαφορές στη δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας απεικονίστηκαν με τη βοήθεια Ευκλείδειων διαγραμμάτων μη-μετρικής πολυδιάστατης διαβάθμισης (nMDS) (Εικόνα 3.1.30). Οι τιμές του stress κυμάνθηκαν σε ικανοποιητικά για την ερμηνεία της διευθέτησης επίπεδα. Φαίνεται πως η nMDS επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μη-παραμετρικής MANOVA αφού στα διαγράμματα αυτά οι σταθμοί του Εξωτερικού Μαλιακού (1,2,5,7) διαχωρίζονται από τους σταθμούς του εσωτερικού Μαλιακού τον Αύγουστο και το Μάιο ενώ το Νοέμβριο και



Φεβρουάριο οι διαφορές μεταξύ των σταθμών δε συνδέονται με την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Αξιοσημείωτη είναι και η μικρή διασπορά των δεδομένων από τις δειγματοληπτικές μονάδες που συλλέχθηκαν σε κάθε σταθμό



Εικόνα 3.1.30. Ευκλείδεια διαγράμματα μη-μετρικής πολυδιάστατης διαβάθμισης στα δεδομένα αφθονίας ειδών του πρώτου πλάνου για κάθε δειγματοληπτική περίοδο χωριστά. Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ανομοιότητας Bray-Curtis χωρίς μετασχηματισμό. Το διάνυσμα του είδους *N. hystricis* συμπίπτει με το διάνυσμα του είδους *C. Gibba* τον Αύγουστο.

Τα Ευκλείδεια διαγράμματα προσφέρουν, επίσης, χρήσιμες πληροφορίες για το ποια είδη συνεισφέρουν στη διευθέτηση των σταθμών με βάση τις Bray-Curtis αποστάσεις μεταξύ τους. Όπως έχει ήδη εξηγηθεί, τα ανύσματα των ειδών προκύπτουν από την παλινδρόμηση των αρχικών μεταβλητών, δηλαδή των αφθονιών των ειδών, με τους άξονες της nMDS. Η κατεύθυνση και το μέγεθος κάθε ανύσματος αντανακλούν την επίδραση κάθε είδους στην απεικονιζόμενη δομή. Για λόγους ευκρίνειας, στα Ευκλείδεια διαγράμματα της Εικόνας 3.1.30 αποδίδονται μόνο τα είδη εκείνα που απαριθμούν περισσότερα από 60 άτομα / 0.05m² στους σταθμούς κάθε περιόδου και των οποίων το άνυσμα ήταν ευμέγεθες. Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν τα είδη που συμβάλλουν στην παρατηρούμενη χωρική ανομοιότητα ενώ παράλληλα επιδεικνύουν αξιόλογη αριθμητική παρουσία σε κάθε ομάδα σταθμών.

Τον Αύγουστο, τα είδη Corbula gibba, Nephtys hystricis, Hyala vitrea φαίνεται να επικρατούν στους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού ενώ τα είδη Paralacydonia paradoxa, Tubulanus polymorphus, Iphinoe serrata, Lumbrineris latreilli, Aricidea claudia και Amphiura chiajei είναι σημαντικά στον Εξωτερικό Μαλιακό. Οι διαφορές στις σχετικές αφθονίες των ειδών αυτών συντελούν στη διάκριση μεταξύ των δύο υποπεριοχών του Μαλιακού. Αντίθετα τα είδη Spiochaetopterus costarum, Tauberia gracilis, Mysella bidentata και Apseudes latreilli mediterranea, αν και επιδεικνύουν σχετικά υψηλές αφθονίες συνεισφέρουν λίγο ή καθόλου στην διαφοροποίηση μεταξύ των δύο υποπεριοχών, καθώς το άνυσμα τους είναι σχεδόν κάθετο στον άζονα που διαχωρίζει τους σταθμούς ως προς την περιοχή.

Το Νοέμβριο διαχωρίζονται οι σταθμοί 6 και 8 από όλους τους υπόλοιπους. Τα είδη Hyala vitrea και Nucula turgida είναι σημαντικότερα κοντά στην εκβολή του Σπερχειού ενώ ο σταθμός 5 του Εξωτερικού Μαλιακού διαχωρίζεται από τους υπόλοιπους χάρη στην έντονη παρουσία των ειδών Lumbrineris latreilli, Aricidea claudia, Tubulanus polymorphus και Ampelisca sp.. Τα είδη Mysella bidentata και Thyasira flexuosa αφθονούν κυρίως στους ενδιάμεσους σταθμούς (2, 3, 4 και 7).

Το Φεβρουάριο οι σταθμοί 2, 3, 4, 6, 7 και 8 συγκροτούν μία ομάδα η οποία διαφοροποιείται από τους σταθμούς 1 και 5. Το Σωληνοειδές Onchnesoma steenstrupi επικρατεί στους σταθμούς 5 και 2, ενώ τα είδη Spiophanes bombyx, Eudorella nana, Thyasira flexuosa και Ampelisca sp., υπεραφθονούν στο σταθμό 1. Τα είδη Hyala vitrea, Nephtys hystricis, Sternaspis scutata, Nucula turgida, Apseudes latreilli mediterranea, και Mysella bidentata, είναι σημαντικότερα στους σταθμούς 3, 4 και 7.

Το Μάιο τα είδη που χαρακτηρίζουν τους σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού με αμμώδες υπόστρωμα είναι κυρίως οι Πολύχαιτοι Magelona minuta και Lumbrineris latreilli. Αντίθετα, τα είδη Phoronis sp., Tauberia gracilis, Nephtys hystricis, Mysella bidentata, Nucula turgida, και Leptocheirus mariae φαίνεται να προτιμούν γενικά ιλυώδη ιζήματα και τον Εσωτερικό Μαλιακό ειδικότερα κατά την περίοδο αυτή.

Ανακεφαλαιώνοντας, η παρατηρούμενη χωρική ετερογένεια (Πίνακας 3.1.4) συνδέεται κυρίως με διαφορές στη σχετική αφθονία των ειδών από σταθμό σε σταθμό αλλά και με την αποκλειστική παρουσία ειδών σε σταθμούς όπου είναι κυρίαρχα.

Ωστόσο, η nMDS, δεν αποτελεί παρά περιγραφικό, και ως εκ τούτου διερευνητικό, εργαλείο στην αναζήτηση ειδών που ευθύνονται για στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών ή ομάδων σταθμών που συγκρίνονται. Η Κανονική Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων (CAP) που χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να αποδοθεί η απεικόνιση των σταθμών, ως προς άζονες που αναδεικνύουν τις μέγιστες πολυμεταβλητές διαφορές στο δισδιάστατο χώρο, παρέχει τη δυνατότητα στατιστικού ελέγχου της σημαντικότητας αυτών των διαφορών. Κάθε διάγραμμα διευθέτησης με τη μέθοδο CAP, συνοδεύεται από διάγραμμα που αποδίδει τις συσχετίσεις των αρχικών μεταβλητών (αφθονίες ειδών) με τους Κανονικούς Άξονες (περιλήφθηκαν μόνο τα είδη που είναι υπεύθυνα για τις σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατίθενται στον Πίνακα 3.1.6 που περιέχει τον αριθμό Κυρίων Συντεταγμένων

που χρησιμοποιήθηκαν στην Κανονική Ανάλυση (m), το ποσοστό μεταβλητότητας που εξηγείται από αυτές (% Var), το επί τοις εκατό σφάλμα επανατοποθέτησης των δεδομένων στις *a priori* ομάδες των οποίων οι διαφορές διερευνώνται, τα τετράγωνα των Κανονικών Συσχετίσεων των δύο πρώτων Κανονικών Αξόνων και, τέλος, το επίπεδο σημαντικότητας της *a priori* υπόθεσης που ελέγχεται (Πίνακας 3.1.6). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων CAP για κάθε περίοδο, όπου ελέγχεται η χωρική ετερογένεια στη δομή της βιοκοινωνίας με βάση το μοντέλο του πρώτου σκέλους, δηλαδή ελέγχεται η υπόθεση εάν ομάδες των τριών δειγματοληπτικών μονάδων από κάθε σταθμό διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς ποια είδη. Η εφαρμογή της CAP με βάση το μοντέλο του δεύτερου σκέλους δεν έδειξε κάτι διαφορετικό από την αντίστοιχη npMANOVA και γιαυτό τα αποτελέσματα της δεν παρουσιάζονται στο παρόν κείμενο.

Πίνακας 3.1.6. Αποτελέσματα Κανονικής Ανάλυσης Κυρίων Συντεταγμένων (CAP) με βάση τα δεδομένα από κάθε περίοδο δειγματοληψίας χωριστά. m: αριθμός Κανονικών Συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκαν στην Κανονική Ανάλυση. % Var: Ποσοστό μεταβλητότητας που εξηγείται από τις Κύριες Συντεταγμένες. δ_1^2 , δ_2^2 : τετράγωνα Κανονικών Συσχετίσεων των δύο πρώτων Κανονικών Αξόνων. Οι τιμές p προέκυψαν χρησιμοποιώντας 9999 τυχαίους ανασυνδυασμούς.

Περίοδος			Σφάλμα			
Δειγματοληψίας	m	% Var	Επανατοποθέτησης	δ_1^2	δ_2^2	р
Αύγουστος	13	98.5	12.5	0.997	0.996	0.00001
Νοέμβριος	8	89.15	16.65	0.987	0.943	0.0001
Φεβρουάριος	7	81.9	20.83	0.997	0.980	0.0001





Εικόνα. 3.1.31. Διευθέτηση των σταθμών τον Αύγουστο με τη μέθοδο CAP και διάγραμμα συσχετίσεων των ειδών (|R|>0.2) με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. Για περισσότερα βλ. κείμενο.

Τον Αύγουστο ο διαχωρισμός μεταξύ των σταθμών είναι σημαντικός, όπως καταδεικνύεται τόσο από τις υψηλές τιμές των δ² και το στατιστικά σημαντικό p όσο και από το μικρό Σφάλμα Επανατοποθέτησης (Πίνακας 3.1.6). Από τα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.31, συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα είδη που έχουν θετική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα, αυξάνονται προς το σταθμό 5 ενώ αρνητική συσχέτιση σημαίνει αύξηση προς τους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού και μείωση στο σταθμό 5. Παρομοίως, θετική συσχέτιση των ειδών με το δεύτερο Κανονικό Άξονα αντανακλά αύξηση της αφθονίας τους προς το σταθμό 3 ενώ αρνητική συσχέτιση, υποδηλώνει αύξηση προς τους σταθμούς 1 και 7. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα είδη συσχετίζονται αρνητικά τόσο με τον πρώτο όσο και με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, γεγονός που υποδεικνύει ότι η πλειοψηφία των ειδών επιδεικνύει υψηλότερες αφθονίες στον Εσωτερικό Μαλιακό. Ωστόσο, οι υψηλότερες τιμές συσχέτισης έχουν θετικό πρόσημο (R>0.75) και είναι με τον πρώτο Κανονικό άξονα μόνο, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει μια κατηγορία ειδών που έχουν αποκλειστική παρουσία στο σταθμό 5 (Πίνακας 3.1.7). Στον αντίποδα, βρίσκονται τα είδη με αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άζονα, τα οποία επιδεικνύουν μέγιστη αφθονία σε έναν από τους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού (6, 8, 3 και 4) ενώ ταυτόχρονα απουσιάζουν από έναν από τους σταθμούς 1, 5 ή 7. Ως εκ τούτου η CAP όχι μόνο επιβεβαιώνει την έκβαση της npMANOVA (δεύτερο σκέλος), σύμφωνα με την οποία τον Αύγουστο η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στον Εσωτερικό Μαλιακό διαφοροποιείται από αυτήν στον Εξωτερικό, αλλά αποκαλύπτει και τα είδη που συμβάλουν στις υπάρχουσες διαφορές.

Λιγότερα από 11 είδη εμφανίζουν τιμές συσχέτισης κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 και για τους δύο άξονες ταυτόχρονα και επομένως σχετίζονται περισσότερο με την παρατηρούμενη δισδιάστατη δομή της βιοκοινωνίας (Εικόνα 3.1.31). Στα είδη αυτά περιλαμβάνονται ο πολύχαιτος Ditrupa arietina, τα δίθυρα Mysella bidentata και Corbula gibba, τα γαστερόποδα Turitella communis και Cylichna cylindracea και το φορονοειδές Phoronis sp. (cf P. psamophila) που συσχετίζονται αρνητικά με τον πρώτο και θετικά με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, οπότε η αφθονία τους είναι αυξημένη στους σταθμούς 2, 3, 4 και 8. Μπορεί να θεωρηθεί ότι τα είδη αυτά είναι χαρακτηριστικά των ιλυωδών ιζημάτων του Εσωτερικού Μαλιακού. Αντίθετα, τα είδη Spio decoratus και Aricidea claudia, που συσχετίζονται θετικά και με τους δύο Κανονικούς Άξονες, και οι πολύχαιτοι Pseudoleiocapitella fauveli και Eulalia punctifera και το αμφίποδο Harpinia crenulata, που συσχετίζονται θετικά με τον πρώτο και αρνητικά με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, αυξάνονται στους σταθμούς 1, 5 και 7. Επομένως, τα είδη αυτά είναι τυπικά του Εξωτερικού Μαλιακού.

Πίνακας 3.1.7. Ανάλυση CAP τον Αύγουστο: είδη που συσχετίζονται μόνο με τον πρώτο Κανονικό Άξονα με τιμή συσχέτισης (R) κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από 0.4. Δίνεται ο σταθμός στον οποίο παρουσιάζουν τη μέγιστη και ελάχιστη αφθονία / m^2 .

F /S	D	Αφθονία / m ²			
Ειοος	K	Max	Min		
Hyalinoecia brementi	0.956	280 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 1, 2, 3, 4, 6, 8)		
Paralacydonia paradoxa	0.952	760 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 1, 3, 4, 6, 7, 8)		
Spiophanes bombyx	0.949	120 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 1, 3, 4, 6, 7, 8)		
Naticarius fasciatus	0.939	40 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 6, 7, 8)		
Exogone verrugera	0.934	140 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 4, 6, 7, 8)		
Micronephtys mariae	0.926	100 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 6, 7, 8)		
Cirratulus filiformis	0.911	40 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 1, 3, 4, 6, 7, 8)		
Kefersteinia cirrata	0.910	60 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 2, 6, 7, 8)		
Melinna palmata	0.775	40 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 1, 3, 4, 6)		
Prionospio malmgreni	0.768	120 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 3, 4, 6, 7, 8)		
Iphinoe cirrata	0.729	80 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 3, 6)		
Sigambra tentaculata	0.602	100 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 4)		
Tubulanus polymorphus	0.556	200 (Σταθμός 5, 7)	0 (Σταθμός 4, 6, 8)		
Clymenura sp.	0.512	80 (Σταθμός 1, 5)	0 (Σταθμός 6, 8)		
Hyala vitrea	-0.483	520 (Σταθμός 8)	0 (Σταθμός 1, 5)		
Apseudes latreilli mediterranea	-0.457	280 (Σταθμός 4)	0 (Σταθμός 5)		

Στην Εικόνα 3.1.32 δίνονται οι διακυμάνσεις της αφθονίας όλων των παραπάνω ειδών, όπου διακρίνονται τα χωρικά πρότυπα που ανιχνεύθηκαν με την ανάλυση CAP. Έτσι, είναι εμφανές ότι η αφθονία των ειδών που συσχετίζονται αρνητικά με τον πρώτο Κανονικό Άξονα «κάνει βουτιά» στους σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού (Εικόνας 3.1.32 α) ενώ η αφθονία των ειδών που συσχετίζονται θετικά με τον πρώτο Κανονικό Άξονα παρουσιάζει άνοδο στους σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού (Εικόνα 3.1.32 β).



Εικόνα 3.1.32. Χωρικές διακυμάνσεις των ειδών που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 τον Αύγουστο. α. είδη με αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα και θετική με το δεύτερο. β. είδη με θετική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα και αρνητική ή θετική με το δεύτερο. Δίνονται οι Μέσες τιμές τριών δειγμάτων (± 1 τυπικό σφάλμα).

Τον Νοέμβριο, οι διαφορές μεταξύ των σταθμών είναι επίσης σημαντικές και ως προς τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες (Πίνακας 3.1.6). Από τα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.33 είναι προφανές ότι θετική συσχέτιση των ειδών με τον πρώτο άξονα με ταυτόχρονη αρνητική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα σημαίνει αύξηση της αφθονίας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Αντίθετα, αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο και θετική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα αντανακλά αύξηση της αφθονίας στους σταθμούς 1, 3 και 7. Η ανάλυση κατέδειξε ότι τα δύο τρίτα των ειδών παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα ενώ παράλληλα τα μισά είδη παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με τον δεύτερο Κανονικό Άξονα. Αυτό σημαίνει ότι η αφθονία της πλειοψηφίας των ειδών αυξάνει στους σταθμούς 1, 2, 3, 5 και 7.

Από τα είδη που εμφανίζουν απόλυτες τιμές συσχέτισης μεγαλύτερες από 0.2 κα με τους δύο Κανονικούς Άξονες, τα είδη Tubulanus polymorphus, Pseudoleiocapitella fauveli, Lumbrineris latreilli, Ampelisca sp., Spio decoratus, Eulalia punctifera, Spio decoratus, Hyalinoecia brementi, φαίνεται πως είναι αφθονότερα στο σταθμό 5 αφού συσχετίζονται αρνητικά με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες (Εικόνα 3.1.33). Αντίθετα, τα είδη Hyala vitrea, Corbula gibba, Turitella communis και Nephtys hystricis, τα οποία συσχετίζονται θετικά με τον πρώτο αλλά αρνητικά με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, επικρατούν στους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού. Τέλος, το δίθυρο Mysella bidentata φαίνεται να χαρακτηρίζει τους σταθμούς που βρίσκονται στις βόρειες ακτές του Μαλιακού, μεταξύ ακρωτηρίου Βέλα και Στυλίδας, (1, 2, 3, 4), καθώς εμφανίζει θετική συσχέτιση και με τους δύο άξονες αλλά μεγαλύτερη με το δεύτερο. Οι παραπάνω παρατηρήσεις επιβεβαιώνονται από την απεικόνιση των διακυμάνσεων της αφθονίας των ειδών αυτών στα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.34.



Εικόνα 3.1.33. Διευθέτηση των σταθμών το Νοέμβριο με τη μέθοδο CAP και διάγραμμα συσχετίσεων των ειδών (|R|>0.2) με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. Για περισσότερα βλ. κείμενο.



Εικόνα 3.1.34. Χωρικές διακυμάνσεις των ειδών που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 το Νοέμβριο. α. είδη με θετική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα και θετική ή αρνητική με το δεύτερο. β. είδη με αρνητική συσχέτιση τόσο με τον πρώτο και με το δεύτερο Κανονικό Άξονα. Δίνονται οι Μέσες τιμές τριών δειγμάτων (± 1 τυπικό σφάλμα).

Πίνακας 3.1.8. Ανάλυση CAP το Νοέμβριο: είδη που συσχετίζονται μόνο με τον πρώτο Κανονικό Άξονα με τιμή συσχέτισης (R) κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από 0.4. Δίνεται ο σταθμός στον οποίο παρουσιάζουν τη μέγιστη και ελάχιστη αφθονία / m².

Είδος	R		Αφθονία / m ⁻	
Luos	K	Max	Min	
		220	2	
Nucula turgida	0 694	(Σταθμός	0	
Nuculu lui giuu	0.074	(Διασμος	(Σταθμός 5)	
		6)		
		80	0	
Nucula tenuis	0.562	(Σταθμός	(Σταθμός 1, 2, 3, 4, 5,	
		8)	7)	
		33	0	
Odartamin aanaidan	0.560	$(\Sigma = \alpha) \psi = \alpha$	$(\Sigma = \alpha 0) \cdot (\alpha = 1 - 2 - 2 - 4 - 5)$	
Oaosiomia conoiaea	0.362	(Σταθμος	$(2100\mu0\zeta 1, 2, 3, 4, 3,$	
		8)	7)	
		13	0	
Rhodine loveni	0.461	(Σταθμός	(Σταθμός 1, 2, 3, 4, 5,	
		ົດໍ່	7 8)	
		7	,,0)	
	0 455			
Nucula sulcata	0.455	(Σταθμος	$(2\tau\alpha\theta\mu\sigma\varsigma 1, 2, 3, 4, 5,$	
		6, 8)	7)	
A.C. (* 11*		40	0	
Monticellina	0 4 3 5	(Σταθμός	(Σταθμός 1 2 3 4 5	
dorsobranchialis	01.000	((<u>-</u> ,	
		160	0, 7)	
	• 	109	0	
Aricidea claudia	-0.755	(Σταθμός 3,	(Σταθμός 6)	
		5)	(Σταύμος Ο)	
		40		
Chymeniura sp	-0 723	(Σταθμός	0	
Ciymenuru sp.	-0.725	(2100μ0ς	(Σταθμός, 4, 6, 7, 8)	
		3)		
		80	0	
Salmacina incrustans	-0.702	(Σταθμός	(Σταθμός 2, 3, 4, 6, 7,	
		5)	8)	
		200	- /	
Fragana varmugara	0 700	(Σταθμός	0	
Exogone verrugeru	-0.700	(Διαύμος	(Σταθμός 6, 7, 8)	
		5)		
		60	0	
Sigambra tentaculata	-0.691	(Σταθμός	$(\Sigma 0 (1 4 (0))$	
8		5)	$(2\tau\alpha\theta\mu\sigma\varsigma 1, 4, 6, 8)$	
		200		
To Line a manual of	0 (70	$(\Sigma = x 0 x 4 z)$	0	
Ipninoe serraia	-0.0/8	(Σταθμος	(Σταθμός 2, 6, 7, 8)	
		5)	(, _, _, _, _, _)	
		80	0	
Cirratulus filiformis	-0.670	(Σταθμός	(Σταθμός 1, 2, 3, 4, 6,	
5 5		(5)	8)	
		120	0	
	0 (52	120	$(\Sigma \circ (1) 2 4 (7))$	
Micronepthys mariae	-0.653	(Σταθμος	(Σταθμος 1, 3, 4, 6, /,	
		5)	8)	
		80	0	
Terebellides stroemi	-0.649	(Σταθμός 3.	0	
	0.0	(; 2,	(Σταθμός, 6)	
		5)		
~		40	0	
Spiophanes bombyx	-0.607	(Σταθμός	$(\Sigma \tau \alpha \theta u \dot{\alpha} c 1 4 6 8)$	
		5)	$(2000\mu05, 1, 7, 0, 0)$	
		20	0	
Koforstoinia cirrata	-0 575	(Σταθμός	$(\Sigma \tau \alpha \theta u \delta c 1 3 4 6 7)$	
	0.575	(Διασμος	$(2100\mu05, 1, 3, 7, 0, 7, 0)$	
		3)	8)	
		127	Ο	
Magelona minuta	-0.574	(Σταθμός	$(\Sigma_{\pi}, 0)$	
-		3)	(Δτασμος 8)	
		80		
		00	Δ	

Παρατηρείται ότι το Νοέμβριο η μεγαλύτερη μεταβλητότητα μεταξύ των σταθμών –που αντιστοιχεί πάντοτε στον πρώτο Κανονικό Άξονα - υφίσταται αναφορικά με τον άξονα που διαχωρίζει τον Εσωτερικό από τον Εξωτερικό Μαλιακό. Τα είδη που σχετίζονται μόνο με τον άξονα αυτό, κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες (Πίνακα 3.1.8). Στην πρώτη ανήκουν τα είδη με θετική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα, τα οποία βρίσκονται αποκλειστικά στους σταθμούς κοντά στην εκβολή του Σπερχειού (σταθμοί 6 και 8), όπως για παράδειγμα τα είδη *N. tenuis*, *N. sulcata*, *O. conoidea*, *R. loveni* και *M. dorsobranchialis*. Στη δεύτερη κατηγορία συγκαταλέγονται είδη με αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα τα οποία βρίσκονται αποκλειστικά στο σταθμό 5 ή με ταυτόχρονη μικρή παρουσία σε άλλους σταθμούς (*Salmacina icrustans*, *Micronepthys mariae*, *Cirratulus filiformis*, *Kefersteinia cirrata* και *Glycera rouxii*.

Με βάση την Κανονική Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων το Φεβρουάριο οι διαφορές μεταξύ των σταθμών είναι, επίσης, στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 3.1.6). Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.35, θετική συσχέτιση των ειδών με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες σημαίνει αύξηση της αφθονίας των ειδών στον Εξωτερικό Μαλιακό (σταθμοί 1, 2 και 5). Αντίθετα, αρνητική συσχέτιση των ειδών και με τους δύο άξονες υποδηλώνει αύξηση της αφθονίας των ειδών προς του σταθμούς 4, 6, 7 και 8.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ειδών το Φεβρουάριο παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα ενώ μόνο το ένα τρίτο των ειδών παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα στα δύο είδη εμφανίζουν θετική συσχέτιση μεγαλύτερη από 0.4 με τον πρώτο Κανονικό Άξονα ενώ είναι ασυσχέτιστα με το δεύτερο ($|\mathbf{R}| < 0.2$), πράγμα που σημαίνει ότι είναι αριθμητικά σημαντικά ή ακόμη και αποκλειστικά παρόντα στο σταθμό 1 (Πίνακας 3.1.9). Παρατηρείται επίσης ότι τα είδη που εμφανίζουν συσχέτιση με τον πρώτο άξονα κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από 0.4 ενώ ταυτόχρονα δε συσχετίζονται με τον πρώτο Κανονικό Άξονα, παρουσιάζουν μέγιστα στους σταθμούς 2 και 5, χωρίς η παρουσία τους να περιορίζεται αποκλειστικά στους σταθμούς αυτούς (Πίνακας 3.1.10). Επιπλέον, μόνο ένα είδος, ο πολύχαιτος *Sternaspis scutata*, εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο Κανονικό Άξονα μεγαλύτερη από -0.4 ενώ ταυτόχρονα δε συσχετίζεται με το δεύτερο (\mathbf{R} =0.062). Το σχόλιο αυτό παραπέμπει στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.4, όπου φαίνεται ότι το *S. scutata*, συγκαταλέγεται ανάμεσα στους κυρίαρχους πολύχαιτους το Φεβρουάριο σε όλους τους σταθμούς εκτός από αυτούς με αμμώδες υπόστρωμα (σταθμοί 1 και 5).



Εικόνα 3.1.35. Διευθέτηση των σταθμών το Φεβρουάριο με τη μέθοδο CAP (αριστερά) και διάγραμμα συσχετίσεων των ειδών (|R|>0.2) με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες (δεξιά). Για περισσότερα βλ. κείμενο.

Στην Εικόνα 3.1.35 παρουσιάζονται τα είδη που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης μεγαλύτερες από [0.2] και με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. Στην εικόνα έχουν περιληφθεί μόνο όσα είδη εκπροσωπούνται από περισσότερα από 20 άτομα / m² σε έναν τουλάχιστον σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, το ανισόποδο Apseudes latreilli mediterranea, το γαστερόποδο Turitella communis και ο πολύχαιτος Nephtys hystricis σχηματίζουν τους μεγαλύτερους πληθυσμούς τους σε σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού ενώ τα είδη Thyasira flexuosa, Paralacydonia paradoxa, Cirratulus filiformis, Tubulanus sp., Aphelochaeta marioni, Iphinoe serrata και τα Μυσιδώδη αυξάνονται στους σταθμούς του Εξωτερικού Μαλιακού. Τέλος, το οφιουροειδές Amphiura chiajei, ο πολύχαιτος Lumbrineris emandibulata και το δεκάποδο Processa sp., εκπροσωπούνται από περισσότερο άτομα στο σταθμό 1 ενώ τα είδη Harmothoe lunulata, Axinulus croulinensis και Monticellina dorsobranchialis απουσιάζουν από τους σταθμούς που βρίσκονται στις βόρειες ακτές του Μαλιακού (2, 3, 4). Στην Εικόνα 3.1.36 απεικονίζονται οι διακυμάνσεις των ειδών της Εικόνας 3.1.35, οπότε επιβεβαιώνονται τα χωρικά πρότυπα που ανιχνεύθηκαν με την ανάλυση CAP.

Πίνακας 3.1.9. Ανάλυση CAP το Φεβρουάριο: είδη που συσχετίζονται μόνο με τον πρώτο Κανονικό Άξονα με τιμή συσχέτισης R > +0.4. και αφθονία >20 άτομα / m^2 σε έναν τουλάχιστον σταθμό. Δίνεται ο σταθμός όπου εμφανίζουν μέγιστη και ελάχιστη αφθονία / m^2 .

FíSoc	D	$Aφθονία / m^2$			
Είδος	Κ	Max	Min		
I aniaa aanahilaga	0.0586	620	0		
Lanice conchilega	0.9380	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7)		
Spiophanoghomehom	0.0595	540	0		
Spiopnanes bombyx	0.9383	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 4, 6, 7, 8)		

Salmacina incrustans	0.9584	140 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 6, 7, 8)
Aspidosphon muelleri	0.955	(Σταθμός 1) (Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 8)
Chrysopetalum debilis	0.9443	120 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Lumbrineris impatiens	0.9429	120 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Cossura soyeri	0.942	140 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 4, 6)
Nemertea sp1	0.9393	100 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Glycera rouxii	0.923	100 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 3, 4, 5, 7)
Syllis cornuta	0.9127	60 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Hyalinoecia brementi	0.9127	60 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Exogone verrugera	0.9107	80 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 5, 6, 7, 8)
Maldane sarsi	0.9011	100 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 6, 7, 8)
Spiochaetopterus costarum	0.8922	160 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 5)
Eudorella nana	0.881	420 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 5, 6, 8)
Cerebratlus fuscus	0.8677	40 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)
Odostomia conoidea	0.8587	80 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 3, 4)
Melinna palmata	0.8486	160 (Σταθμός 1)	13 (Σταθμός 6)
Chaetozone setosa	0.8456	80 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 6, 7, 8)
Leiocapitelides annalis	0.7647	40	0

		(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7,
			8)
Lasminaina alagans	0 7564	60	0
Jasmineira elegans	0.7304	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 4, 8)
Dobudona anaduilobata	0 7206	80	0
Polyaora quaarilobata	0.7500	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 5)
Dilaunia norme ogga	0 6057	60	0
Pilargis verrucosa	0.0937	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 6, 7, 8)
		20	0
Ditrupa arietina	0.6404	20 (Σ=α0μάς 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 5, 6, 7,
-		(Ζταθμος Τ)	8)
De au de laisse maitella faundi	0 5 9 5 9	40	0
Pseudolelocapilella jauvell	0.3838	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 5, 6)
Anna dia an an	0.5762	393	100
Ampeusca sp.	0.3762	(Σταθμός 8)	(Σταθμός 6)

Πίνακας 3.1.10. Ανάλυση CAP το Φεβρουάριο: είδη που συσχετίζονται με το δεύτερο Κανονικό Άξονα μόνο με τιμή συσχέτισης $|\mathbf{R}| > 0.4$ καθώς και ο σταθμός στον οποίο παρουσιάζουν τη μέγιστη (max) και ελάχιστη (min) τιμή αφθονίας.

		Αφθονία / m ²		
Είδος	R	Max	Min	
Diplocirrus glaucus	0.8842	180 (Σταθμός 5)	0 (Σταθμός 6, 7, 8)	
Lumbrineris latreilli	0.8496	220 (Σταθμός 5)	7 (Σταθμός 8)	
Onchnesoma steenstrupi	0.730	260 (Σταθμός 260)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 6, 7, 8)	
Tauberia gracilis	0,584	140 (Σταθμός 5)	20 (Σταθμός 1, 4)	
Micronephtys mariae	0.4248	100 (Σταθμός 5)	7 (Σταθμός 7)	
Mytilus galloprovincialis	0.4235	180 (Σταθμός 2)	0 (Σταθμός 4, 5, 6, 7)	


Εικόνα 3.1.36. Χωρικές διακυμάνσεις των ειδών που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 το Φεβρουάριο. α. είδη με αρνητική συσχέτιση και με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. β. είδη με θετική συσχέτιση και με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. γ. είδη με θετική συσχέτιση με τον πρώτο και αρνητική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα. Δίνονται οι Μέσες τιμές τριών δειγμάτων (± 1 τυπικό σφάλμα).



Εικόνα 3.1.37 Διευθέτηση των σταθμών το Μάιο με τη μέθοδο CAP (αριστερά) και διάγραμμα συσχετίσεων των ειδών (|R|>0.2) με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες (δεξιά).
 1. Spiophanes bombyx 2. Diplocirrus glaucus 3. Dentalium inaequicostatum 4. Melinna palmata 5. Pseudoleiocapitella fauveli 6. Axinulus croulinensis 7. Prionospio malmgreni. Για περισσότερα βλ. κείμενο.

Το Μάιο, τέλος, οι πολυμεταβλητές διαφορές μεταξύ των σταθμών είναι επίσης σημαντικές (Πίνακας 3.1.6). Σύμφωνα με τα διαγράμματα της Εικόνας 3.1.37, θετική συσχέτιση των ειδών με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες υποδηλώνει αύξηση της αφθονίας τους στους σταθμούς 7 και 8 ενώ θετική συσχέτιση με τον πρώτο και αρνητική με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, σημαίνει αύξηση στους σταθμούς 3 και 6. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ένα στα πέντε είδη εμφανίζει τιμή συσχέτισης με τον πρώτο Κανονικό Άξονα κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από 0.4 ενώ ταυτόχρονα δε συσχετίζεται με το δεύτερο άζονα (|R|<0.2). Όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 3.1.11, όπου παρουσιάζονται τα είδη αυτά, πρόκειται για δύο υποομάδες ειδών. Στην πρώτη, περιλαμβάνονται είδη τα οποία συσχετίζονται αρνητικά με τον πρώτο Κανονικό Άξονα και επιδεικνύουν ιδιαίτερα υψηλή ή ακόμη και τη μέγιστη αφθονία στο σταθμό 1 ενώ έχουν σποραδική παρουσία στους υπόλοιπους σταθμούς, όπως για παράδειγμα τα είδη Onchnesoma steenstrupi, Paralacydonia paradoxa και Lumbrineris emandibulata. Στη δεύτερη υποομάδα, περιλαμβάνονται είδη τα οποία έχουν θετική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα και επιδεικνύουν μέγιστη αφθονία στο σταθμό 3, 4 ή 7, όντας παρόντα σε όλους σχεδόν τους σταθμούς, όπως για παράδειγμα τα είδη Sternaspis scutata, Hyala vitrea, Mysella bidentata και Sigambra tentaculata. Τέλος, μόνο 5 είδη εμφανίζουν συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερη από 0.4, την ίδια στιγμή που είναι ασυσχέτιστα με τον πρώτο (Πίνακας 3.1.12). Πρόκειται για είδη που, εκτός από τον πολύχαιτο Jasmineira elegans, βρίσκονται σχεδόν αποκλειστικά στους Σταθμό 8 σχηματίζοντας μικρούς πληθυσμούς.

Πίνακας 3.1.11. Ανάλυση CAP το Μάιο: είδη που συσχετίζονται μόνο με τον πρώτο Κανονικό Άξονα με τιμή συσχέτισης $|\mathbf{R}| > 0.4$ και αφθονία >20 άτομα / m² σε έναν τουλάχιστον σταθμό. Δίνεται ο σταθμός όπου εμφανίζουν μέγιστη και ελάχιστη αφθονία / m².

EíSac	D	Αφθονία / m ²			
Ειδος	K	Max	Min		
Stormasnis scutata	0 6601	293	0		
siernuspis scululu	0.0001	(Σταθμός 7)	(Σταθμός 1, 4)		
Hvala vitrea	0 5351	527	0		
	0.0001	(Σταθμός 7)	(Σταθμός 1, 4)		
Mvsella hidentata	0.5318	553	20		
		(Σταθμός Ι)	(Σταθμός Ι)		
Onchnesoma steenstrupi	-0.9635	380			
ľ		(Σταθμος Ι)	$(2\tau\alpha\theta\mu\sigma, 2, 3, 4, 7, 8)$		
Paralacydonia paradoxa	-0.9414	240 (SecOuća 1)	$(\Sigma = \alpha \theta \psi \phi z 2 2 4 7 8)$		
		(Διαθμός Ι)	$(2100\mu0\zeta 2, 5, 4, 7, 8)$		
Lumbrineris emandibulata	-0.9368	(Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 4, 6, 7, 8)0		
		(2ιαθμος 1) 60	(Διασμος 4, 0, 7, 0)0		
Paraleiocapitella mosambica	-0.9368	(Σταθμός 1)	$(\Sigma \tau \alpha \theta \mu \phi c 2 3 4 7 8)$		
	0.0404	(<u>2</u> taoµoç 1) 60	0		
Diastylis rugosa	-0.9191	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 7, 8)		
T. L. Lauran	0.0172	100	0		
<i>Tubulanus</i> sp.	-0.91/3	(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 6)0		
Hyalinoogia bramanti	0 8006	20	0		
IIyuunoecia bremenii	-0.8900	(Σταθμός 1, 5)	(Σταθμός 2, 3, 4, 7, 8)		
Spio decoratus	-0 8906	20	0		
Spio accoraias	0.0700	(Σταθμός 1, 5)	(Σταθμός 2, 3, 4, 7, 8)		
Nemertea sp.1	-0.8715	40	0		

		(Σταθμός 1)	(Σταθμός 2, 3, 4, 7, 8)
Westwoodilla vectirostris	-0.8067	40 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 6, 8)
Schistomeringos neglecta	-0.8003	20 (Σταθμός 1, 4)	0 (Σταθμός 2, 6, 7, 8)
Cerebratulus fuscus	-0.7824	20 (Σταθμός 1)	0 (Σταθμός 2, 3, 4, 6, 8)
Sigambra tentaculata	-0.6324	220 (Σταθμός 4)	0 (Σταθμός 7)
Ophelina acuminata	-0.587	40 (Σταθμός 4)	0 (Σταθμός 3, 7, 8)

Πίνακας 3.1.12. Ανάλυση CAP το Μάιο: είδη που συσχετίζονται μόνο με το δεύτερο Κανονικό Άξονα με τιμή συσχέτισης $|\mathbf{R}| > 0.4$. Δίνεται ο σταθμός όπου εμφανίζουν μέγιστη και ελάχιστη αφθονία / m^2 .

FíSoc	D	Αφ	Αφθονία / m^2					
Είους	K	Max	Min					
Jasmineira elegans	0.6112	247 (Σταθμός 8)	0 (Σταθμός 4)					
<i>Micrura</i> sp.	0.5644	47 (Σταθμός 8)	(Σταθμός 1, 2, 3, 5, 6, 7)					
Paradoneis lyra	0.5181	13 (Σταθμός 8)	20 (Σταθμός 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)					
Aspidosiphon muelleri	0.4983	40 (Σταθμός 4)	0 (Σταθμός 1, 2, 3, 5, 6, 7)					
Tharyx multibranchis	0.4535	13 (Σταθμός 8)	0 (Σταθμός1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)					

Όσον αφορά τα είδη που εμφανίζουν συσχέτιση μεγαλύτερη από [0.2] και με τους δύο Κανονικούς Άξονες (Εικόνα 3.1.37), μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες ως προς τη χωρική κατανομή τους: 1. Είδη που έχουν υψηλή αφθονία στο σταθμό 8, κυρίως, και δευτερευόντως στους σταθμούς 4 και 7 (θετική συσχέτιση και με τους δύο άξονες, Εικόνα 3.1.38 α). 2. Είδη που αυξάνονται στους σταθμούς 1, 4 και 8 (αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο και θετική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, Εικόνα 3.1.38 β). 3. Είδη που αυξάνονται στους σταθμούς 1, 3 και 5 (αρνητική συσχέτιση και με τους δύο άξονες, Εικόνα 3.1.39 α) και 4. Είδη που έχουν υψηλή αφθονία στο σταθμό 6, κυρίως (θετική συσχέτιση με τον πρώτο αλλά αρνητική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα, Εικόνα 3.1.39 β).

Ως το σημείο αυτό, έγινε εκτενής παρουσίαση των ειδών που συμβάλουν στη χωρική διαφοροποίηση της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού. Προτού διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο οι μεταβολές στη δομή της βενθικής βιοκοικωνίας καθορίζονται από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, θεωρείται σκόπιμο να εξεταστεί η χωρική δομή του πελαγικού και βενθικού περιβάλλοντος του Μαλιακού κόλπου. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές τα δεδομένα στήλης (υδρολογικά στοιχεία, αιωρούμενο υλικό) και τα δεδομένα ιζήματος, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.1.38. Χωρικές διακυμάνσεις των ειδών που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 το Μάιο. α. είδη που παρουσιάζουν θετική συσχέτιση και με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες. β. είδη που παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τον πρώτο και θετική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό

Άξονα. Στα ένθετα, οι διακυμάνσεις των αφθονιών συγκεκριμένων ειδών σε διαφορετική κλίμακα. Δίνονται οι Μέσες τιμές τριών δειγμάτων (± 1 τυπικό σφάλμα).



Εικόνα 3.1.39. Χωρικές διακυμάνσεις των ειδών που εμφανίζουν τιμές συσχέτισης με τους δύο πρώτους Κανονικούς Άξονες κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από 0.2 το Μάιο. α. είδη που

παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση και με τους δύο άξονες. β. είδη που παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με τον πρώτο αλλά αρνητική συσχέτιση με το δεύτερο Κανονικό Άξονα. Δίνονται οι Μέσες τιμές τριών δειγμάτων (± 1 τυπικό σφάλμα).

Τα ευκλείδεια διαγράμματα της PCA ως προς τα δεδομένα της στήλης, απεικονίζουν ένα πελαγικό περιβάλλον στο οποίο η χωρική ετερογένεια εξαρτάται από την περίοδο δειγματοληψίας (Εικόνα 3.1.40). Έτσι, τον Αύγουστο η διαφοροποίηση των σταθμών 8 και 4 τόσο μεταξύ τους όσο και από τους υπόλοιπους σταθμούς ως προς τις δύο πρώτες ΚΣ εξηγεί το 94.48% της συνολικής μεταβλητότητας. Ωστόσο, μόνον ο σταθμός 8 διαγωρίζεται από τους υπόλοιπους ως προς την πρώτη ΚΣ, η οποία εξηγεί ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας (87.91%). Ο διαχωρισμός αυτός προκύπτει κυρίως από διαφορές στη συγκέντρωση των Φαιοχρωστικών και του λόγου Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών προς το ΑΣΟΥ, που είναι υψηλότερα στο σταθμό 8, υποδηλώνοντας καλύτερη ποιότητα του αιωρούμενου υλικού στο σημείο αυτό. Από την άλλη μεριά, ο διαγωρισμός του σταθμού 4 από τους υπόλοιπους οφείλεται κατά κύριο λόγο σε διαφορές στη Θολερότητα και τη συγκέντρωση της Χλωροφύλλης a, που είναι υψηλότερα στο σημείο αυτό Κατά τα άλλα, οι σταθμοί 1, 2, 3, 5, 6 και 7 συνιστούν μία ομάδα, γεγονός που φαίνεται να οφείλεται στις ομοιότητες μεταξύ των σταθμών ως προς τα υδρολογικά στοιχεία και τις συγκεντρώσεις $A\Sigma Y$ και Χλωροφύλλης α στη στρώση πυθμένα της στήλης. Ως εκ τούτου, το πελαγικό περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου κοντά στον πυθμένα κρίνεται σχετικά ομοιογενές.

Εμφανείς είναι οι διαφορές των σταθμών ως προς τις παραμέτρους που μετρήθηκαν στη στήλη το Νοέμβριο. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σταδιακή διαβάθμιση των συνθηκών που επικρατούν στη στήλη από την εκβολή Σπερχειού (σταθμοί 6 και 8) προς ακραίες περιοχές του Εξωτερικού Μαλιακού (σταθμοί 1 και 5). Η διευθέτηση των σταθμών σύμφωνα με το παραπάνω χωρικό πρότυπο εξηγεί σχεδόν το συνολικό ποσοστό μεταβλητότητας μεταξύ των σταθμών (98.469%). Ως προς την πρώτη ΚΣ διαχωρίζονται οι σταθμοί 5 και 8 από τους υπόλοιπους,

κυρίως με βάση τις τιμές του λόγου CPE προς ΑΣΟΥ στην επιφάνεια. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι είναι εμφανής η επίδραση τύπου πετάλου (horseshoe effect) στην PCA διευθέτηση του Νοεμβρίου από την οποία, μάλλον, έχει προκύψει η σύγκλιση μεταξύ των σταθμών 8 και 5. Ως προς τη δεύτερη KΣ, διαφοροποιούνται οι σταθμοί 6 και 8 (μέτωπο Δέλτα) από το Σταθμό 5 και μια ομάδα σταθμών που περιλαμβάνει όλους τους υπόλοιπους. Ο διαχωρισμός αυτός επηρεάζεται βασικά από το λόγο CPE προς ΑΣΟΥ στον πυθμένα, οποίος μειώνεται από την εκβολή προς τον Εξωτερικό Μαλιακό, υποδηλώνοντας ότι η διαβάθμιση που παρατηρείται σχετίζεται με μεταβολές της προέλευσης, επομένως και της ποιότητας, του αιωρούμενου υλικού που παγιδεύεται στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα. Όπως τον Αύγουστο έτσι και το Νοέμβριο, οι συγκεντρώσεις ΑΣΥ και Χλωροφύλλης *α* και τα υδρολογικά στοιχεία στην επιφάνεια και τον πυθμένα της στήλης δε συμβάλουν στις διαφορές μεταξύ των σταθμών.

Το Φεβρουάριο οι σταθμοί της εκβολής αφενός και οι σταθμοί που βρίσκονται κατά μήκος της βόρειων ακτών του Μαλιακού αποτελούν διακριτές ομάδες, μόνον όμως ως προς τη δεύτερη ΚΣ που εξηγεί μόλις το 2.23 % της συνολικής μεταβλητότητας. Εμφανής και σε αυτό το διάγραμμα διευθέτησης η επίδραση τύπου πετάλου εξαιτίας της οποίας ο σταθμός 5 ομαδοποιείται με τους σταθμούς 6 και 8. Η πρώτη ΚΣ περιέχει πάνω από το 95% της μεταβλητότητας μεταξύ των σταθμών και με βάση αυτήν όλοι οι σταθμοί πλην του 7 διευθετούνται αρκετά κοντά. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του ΑΣΥ στην επιφάνεια και τον πυθμένα στις βόρειες ακτές του Μαλιακού και οι υψηλότερες τιμές του λόγου CPE / ΑΣΟΥ στον αυθμάλλουν στη διαφοροποίηση μεταξύ των σταθμών αυτών ενώ ο λόγος CPE / ΑΣΟΥ στην επιφάνεια της στήλης, που αγγίζει το μηδέν στο σταθμό 7, συμβάλει στο διαχωρισμό του από τους υπόλοιπους. Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι το Φεβρουάριο επικρατούν παρόμοιες συνθήκες στη στήλη καθόλη την επικράτεια του Μαλιακού προφανώς λόγω ομοιογένειας στα φυσικά χαρακτηριστικά της στήλης καθώς και στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του αιωρούμενου υλικού στη στρώση πυθμένα.

Το Μάιο οι σταθμοί κοντά στην εκβολή του Σπερχειού (6 και 8) και οι σταθμοί 1 και 7 του Εξωτερικού Μαλιακού διαχωρίζονται ως προς την πρώτη ΚΣ, που εξηγεί περίπου το 61% της συνολικής μεταβλητότητας, από ομάδα που περιλαμβάνει τους σταθμούς 2, 3, 4 και 5,. Ένα επίσης αξιόλογο ποσοστό μεταβλητότητας εξηγείται από τη δεύτερη ΚΣ (28.74% επί της ολικής μεταβλητότητας), που διαχωρίζει τους σταθμούς 1, 6 και 7 από τους υπόλοιπους. Η ανομοιότητα μεταξύ των σταθμών φαίνεται πως οφείλεται περισσότερο στις τιμές θολερότητας, που είναι κατά πολύ υψηλότερες κοντά στην εκβολή του Σπερχειού παρά στις τιμές του λόγου CPE / ΔΣΟΥ. Οι τελευταίες παρουσιάζουν μέγιστα στον Εξωτερικό Μαλιακό, υποδεικνύοντας τάσεις σταδιακής αύξησης της συνεισφοράς της φυτική βιομάζας στην οργανική ύλη από τον Εσωτερικό προς τον Εξωτερικό Μαλιακό. Ενδεχομένως, η διαβάθμιση αυτή προκύπτει από την ποσοτική μείωση του αιωρούμενου φορτίου στη στήλη με την απόσταση από την κύρια πηγή τροφοδοσίας του Μαλιακού κόλπου με φερτές ύλες το Μάιο, δηλαδή την εκβολή του Σπερχειού.

Περισσότερο από το 93% της συνολικής μεταβλητότητας περιέχει σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας η πρώτη ΚΣ στα διαγράμματα PCA διευθέτησης των σταθμών ως προς τις παραμέτρους ιζήματος (Εικόνα 3.1.41). Με την εξαίρεση του Νοεμβρίου, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των σταθμών στις οποίες συμβάλλει κυρίως το ποσοστό ιλύος-αργίλου και δευτερευόντως η μέση διάμετρος των κόκκων. Σύμφωνα με τα ευκλείδεια διαγράμματα της ΡCΑ η μεταβλητότητα που εξηγείται από τη δεύτερη ΚΣ επηρεάζεται σε όλες τις περιπτώσεις από το συντελεστή λοξότητας καθώς και από τη συγκέντρωση CPE (Νοέμβριος) και TOC (Φεβρουάριος, Μάιος). Τον Αύγουστο, αν και δεν είναι διαθέσιμα στοιχεία για τις συγκεντρώσεις των χρωστικών και του Οργανικού Άνθρακα στα επιφανειακά ιζήματα, η κοκκομετρική ανάλυση του ιζήματος και μόνον είναι αρκετή για να αναδείξει διαφορές μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού. Το Νοέμβριο όλοι οι σταθμοί, πλην του 5, ομαδοποιούνται με βάση όλες τις παραμέτρους, γεγονός που υποδηλώνει την επικράτηση ομοιογενών συνθηκών στο βενθικό περιβάλλον του Μαλιακού. Τέλος, το Φεβρουάριο και το Μάιο, οι σταθμοί διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς το ποσοστό ιλύος-αργίλου.



Εικόνα 3.1.40. Ευκλείδεια διαγράμματα της διευθέτησης των σταθμών με Ανάλυση Κυρίων
Συνιστωσών ως προς τις παραμέτρους στήλης. s: επιφάνεια (surface) b: πυθμένας (bottom). Ts,
Τb: Θερμοκρασία. Θοs, Θοb: Θολερότητα Aλs, Aλb: Αλατότητα. Secchi: Βάθος διείσδυσης
φωτός. Chlas, Chlab: Συγκέντρωση Χλωροφύλλης α. Pheos, Pheob: Συγκέντρωση
Φαιοχρωστικών. CPE/AΣOYs, CPE/AΣOYb: Λόγος Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών
προς ΑΣΟΥ. ΑΣΥs, ΑΣΥb: Συγκέντρωση Αιωρούμενη Σωματιδιακής Ύλης.



Εικόνα 3.1.41. Ευκλείδεια διαγράμματα της διευθέτησης των σταθμών με Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών ως προς τις παραμέτρους ιζήματος. ΤΟC: Ολικός Οργανικός Άνθρακας, C-Chla: Λόγος Ισοδύναμων Άνθρακα Χλωροφύλλης α προς ΤΟC. CPE: Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών, Chla/CPE: Λόγος Χλωροφύλλης α προς CPE, ΜΔ: μέση διάμετρος κόκκων ιζήματος, IA%: ποσοστό ιλύος-αργίλου, σ1: συντελεστής ταξινόμησης, sk1: συντελεστής λοξότητας.

Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών κατέδειξε την ύπαρξη χωρικής ετερογένειας στο οικοσύστημα του Μαλιακού κόλπου με διαφορετικό πρότυπο σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Η εφαρμογή της ανάλυσης ξεχωριστά για τις παραμέτρους στήλης και ιζήματος επέτρεψε καλύτερη επισκόπηση των διαφορών που υφίστανται στο πελαγικό και στο βενθικό περιβάλλον. Η χωρική ανομοιότητα προκύπτει τόσο από διαφορές στην ποιοτική σύσταση της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης το Νοέμβριο και το Μάιο, όσο και από διαφορές στα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπως η θολερότητα (Μάιος) και η περιεκτικότητα του ιζήματος σε λεπτόκοκκα σωματίδια τον Αύγουστο, Φεβρουάριο και Μάιο. Εγείρεται επομένως το ερώτημα εάν ο σχετικός ρόλος των παραμέτρων που μετρήθηκαν επηρεάζει τη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου. Το ερώτημα αυτό θα απαντηθεί στη συνέχεια με την εφαρμογή της Ανάλυσης Κανονικών Συσχετίσεων.

Σημαντικές πληροφορίες για τους παράγοντες που επηρεάζουν τις κατανομές των ειδών της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου συνάγονται από την Κανονική Ανάλυση Συσχετίσεων βάσει Κυρίων Συντεταγμένων (CAPCorr). Στην πραγματικότητα, η ανάλυση αυτή προσφέρει μια ικανοποιητική ερμηνευτική βάση για τα πρότυπα που παρατηρήθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τις σχέσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων τόσο μεταξύ τους όσο και με τη βιοκοινωνία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για κάθε περίοδο χωριστά δίνονται στον Πίνακα 3.1.13. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας 2 ομάδες περιβαλλοντικών μεταβλητών: 1. Η πρώτη ομάδα περιέχει το σύνολο περιβαλλοντικών παραμέτρων στήλης που μετρήθηκαν στη στρώση πυθμένα σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας. 2. Η δεύτερη ομάδα περιέχει τις παραμέτρους που μετρήθηκαν στα επιφανειακά ιζήματα

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.1.13 συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι χωρικές διακυμάνσεις της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας συσχετίζονται σημαντικά με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες στη στήλη και το ίζημα. Περισσότερες πληροφορίες για τη σχέση της βενθικής βιοκοινωνίας με το περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου συνάγονται εξετάζοντας τις συσχετίσεις των ειδών αφενός και των περιβαλλοντικών παραμέτρων αφετέρου με τους δύο

πρώτους Κανονικούς Άξονες της Ανάλυσης Κανονικών Συσχετίσεων. Θετική συσχέτιση με έναν Κανονικό Άξονα υποδηλώνει αύξηση της τιμής της μεταβλητής (αφθονία είδους ή επίπεδο περιβαλλοντικής παραμέτρου) στους σταθμούς που αντιστοιχούν σε θετικά scores του άζονα. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα να ερμηνευθούν οι Κανονικοί Άξονες που απεικονίζουν τις διαφορές μεταξύ των σταθμών με βάση τη σχέση μεταξύ της δομής της βιοκοινωνίας και των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία αυτή δεν αποδεικνύει αλλά υποδεικνύει την ύπαρξη σχέσεων ανάμεσα στα είδη και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Αποτελεί επομένως ένα χρήσιμο διερευνητικό εργαλείο που μπορεί να συγκεκριμενοποιήσει ερωτήματα που έχουν ήδη τεθεί, και να οδηγήσει σε νέες υποθέσεις.

Πίνακας 3.1.13. Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων των αφθονιών των ειδών με ομάδες περιβαλλοντικών παραμέτρων. Παράμετροι Στήλης: Θερμοκρασία, Αλατότητα, Θολερότητα, Βάθος, Χλωροφύλλη α, Φαιοχρωστικές, λόγος CPE/AΣOY και ΑΣΥ. Παράμετροι ιζήματος: μέση διάμετρος κόκκων, ποσοστό ιλύος-αργίλου, συντελεστές λοξότητας και ταξινόμησης, C-Chla/TOC %, οι συγκεντρώσεις TOC και CPE και ο λόγος Chla/CPE, στα επιφανειακά ιζήματα. m: αριθμός Κανονικών Συντεταγμένων (ΚΣ) που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. % Var: Ποσοστό μεταβλητότητας των αρχικών δεδομένων που περιέχουν οι ΚΣ που χρησιμοποιήθηκαν. δ_1^2 , δ_2^2 : τετράγωνα κανονικών συσχετίσεων (ιδιοτιμές) πρώτου και δεύτερου Κανονικού Αξονα. p: επίπεδο σημαντικότητας επί του συνόλου των ιδιοτιμών.

		Στήλη	l			Ίζημο	ı			
Περίοδος	m	% Var	δ_1^2	δ_2^2	р	m	% Var	δ_1^2	δ_2^2	р
Αύγουστος	4	67.55	0.98	0.93	0.0001	4	67.55	0.98	0.91	0.0001
Νοέμβριος	3	66.64	0.96	0.94	0.0001	9	91.70	0.99	0.97	0.0001
Φεβρουάριος	4	64.97	0.99	0.96	0.0001	5	71.49	0.99	0.96	0.0001
Μάιος	4	80.09	0.99	0.95	0.0001	3	72.05	0.99	0.93	0.0001

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.1.14, τον Αύγουστο τα είδη Hyalinoecia brementi, Paralacydonia paradoxa, Schistomeringos neglecta, Spiophanes bombyx και Amphiura sp. Juv, εμφανίζουν υψηλές τιμές συσχέτισης (R>+0.6) με τον πρώτο Κανονικό Άξονα (KAσ 1) και όπως ήδη διαπιστώθηκε κατά την ανάλυση CAP αποτελούν τα χαρακτηριστικά είδη του σταθμού 5. Παράλληλα, ο λόγος CPE/AΣOY % και οι συγκεντρώσεις Φαιοχρωστικών έχει υψηλή αρνητική συσχέτιση με τον άξονα αυτό. Επομένως, ο KAσ 1 σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη συνεισφορά των φυτοπλαγκτονικών θρυμμάτων στην οργανική αιωρούμενη ύλη, βάσει της οποίας η σύνθεση της βιοκοινωνίας στο σταθμό 5 διαφοροποιείται των υπολοίπων (Εικόνα 3.1.42). Κρίνοντας από τα είδη του Πίνακα 3.1.14 και την ανάλυση CAP, τα είδη που είναι σημαντικά στο σταθμό 5 χαρακτηρίζονται από υψηλή κινητικότητα ενώ παρατηρείται ποικιλία τροφικών τύπων.

Πίνακας 3.1.14. Συσχετίσεις των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων Στήλης και Ιζήματος τον Αύγουστο. Παραλήφθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των ειδών που ήταν κατά απόλυτη τιμή μικρότεροι από 0.6. Σε παρένθεση ο λειτουργικός τύπος που ανήκει κάθε είδος (sensu Aller & Stupakoff 1996). Π: Παμφάγοι, Θ:Θηρευτές, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΕΙ: Εδραίοι Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΥΙ: Εδραίοι Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι.

Αφθονίες ειδών	KA ₀ 1	ΚΑσ2	Παράμετροι Στήλης	KA ₀ 1	ΚΑσ2
<i>Amphiura</i> sp. Juv (ПЕІ)	0.959	-			
<i>Clymenura</i> sp. (EYI)	0.602	-			
Eulalia punctifera (П)	0.685	-	ΑΣΥ	0.1378	-0.1642
<i>Hyalinoecia brementi</i> (П)	0.964	-	CPE/AΣOY	-0.6306	-0.2733

<i>Iphinoe serrata</i> (ПҮІ)	0.779	-	Χλωροφύλλη α	0.3636	-0.5445
Paralacydonia paradoxa	0.962	-	Φαιοχρωστικές	0.609	-0.1054
Lumbrineris latreilli (П)	-	0.659	Θερμοκρασία	-0.173	-0.238
Nephtys hystricis (Θ)	-	-0.639	Αλατότητα	-0.0194	-0.6132
Pseudoleiocapitella fauveli	0.649	-	Θολερότητα	-0.1943	-0.3059
Schistomeringos neglecta	0,962	-	Βάθος	0.191	0.3003
Spiophanes bombyx (ПЕІ)	0.960	-			
Thyasira flexuosa (EYI)	-	0.655			
Αφθονίες ειδών	ΚΑβ1	ΚΑβ2	Παράμετροι Ιζήματος	ΚΑβ1	ΚΑβ2
<i>Amphiura</i> sp. Juv. (ПЕІ)	0.928	-			
Corbula gibba (EEI)	-0.619	-			
<i>Eulalia punctifera</i> (П)	0.634	-			
<i>Exogone verrugera</i> (П)	0.757	-			
<i>Hyalinoecia brementi</i> (Π)	0.948	-	Διάμετρος κόκκων	0.5924	0.1156
<i>Iphinoe serrata (</i> IIYI)	0.764	-	Συντελεστής	0.7589	0.2169
Lumbrineris latreilli (П)	-	-0.750	Συντελεστής λοξότητας	-0.2478	0.9407
Paralacydonia paradoxa	0.941	-			
Pseudoleiocapitella fauveli	0.735	-			
Spiophanes bombyx (IIEI)	0.937	-			
Terebellides stroemi (EEI)	0.942	-			



Εικόνα 3.1.42. Διευθέτηση των σταθμών με τη μέθοδο των Κανονικών Συσχετίσεων μεταξύ των αφθονιών των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων στήλης (αριστερά) και ιζήματος (δεξιά) τον Αύγουστο. Τα τόξα δίνουν τη διεύθυνση συσχέτισης των παραμέτρων με την υψηλότερη τιμή με κάθε Κανονικό Άξονα. ΚΣσ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρους στήλης. ΚΣβ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρων ειδών με τις παραμέτρους ιζήματος.

Από την άλλη μεριά, μόνο τρία είδη έχουν συσχέτιση μεγαλύτερη από [0.6] με το δεύτερο Κανονικό Άξονα (ΚΑσ 2), με την αλατότητα και τη Χλωροφύλλη α να χαρακτηρίζουν τον εν λόγω άξονα (Πίνακας 3.1.14). Σύμφωνα με τη διευθέτηση της Εικόνας 3.1.42, οι σταθμοί της εκβολής τοποθετούνται στις υψηλότερες περιοχές του εύρους τιμών της αλατότητας. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι τα scores των σταθμών στους Κανονικούς Άξονες έχουν προκύψει λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τις συσχετίσεις μεταξύ των ειδών με τις παραμέτρως στήλης όσο και των παραμέτρων μεταξύ τους αλλά και των ειδών μεταξύ τους. Αντίθετα, οι επιμέρους συσχετίσεις των παραμέτρων με τους Κανονικούς Άξονες , δεν αντανακλούν παρά μέρος των πολύπλοκων σχέσεων που περιγράφει ένας Κανονικός Άξονας, γεγονός που ίσως εξηγεί το αποτέλεσμα αυτό. Προφανώς, οι διαβαθμίσεις της αλατότητας από τον Εξωτερικό προς τον Εσωτερικό Μαλιακό δεν είναι τέτοιες ώστε να επηρεάσουν την κατανομή των βενθικών οργανισμών. Ωστόσο, μπορεί να αντανακλούν το βαθμό ανάμιξης των θαλάσσιων μαζών του Αιγαίου με τις υδάτινες μάζες του εσωτερικού Μαλιακού, και συνεπώς το βαθμό μεταφοράς

προνυμφών από το Αιγαίο προς το Μαλιακό κόλπο μέσω των οριζόντιων ρευμάτων. Ούτως ή άλλως, ο βαθμός στον οποίο η μακροπανιδική βιοκοινωνία του Μαλιακού τροφοδοτείται από προνύμφες αλλόχθονης προέλευσης, αποτελεί έναν ενδιαφέρον μηχανισμό ανανέωσης σε είδη και πιθανά λαμβάνει χώρα όχι μόνο τον Αύγουστο. Κατά κύριο λόγο, όμως, η σημασία της αλατότητας στη δομή της βιοκοινωνίας τον Αύγουστο, υποδεικνύει ότι οι εκφορτίσεις γλυκών νερών από τους ποταμοχείμαρρους εμπλέκονται στις διαφορές που παρουσιάζουν οι σταθμοί των βόρειων ακτών του Μαλιακού από τους υπόλοιπους κατά την περίοδο αυτή. Ενδεχομένως αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υφίσταται έλεγχος της ροής των ποταμοχείμαρρων, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στο Σπεργειό. Η ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων υπέδειξε, επίσης, τη σημασία των συντελεστών ταξινόμησης και λοξότητας στη διευθέτηση των σταθμών (Εικόνα 3.1.42). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.1.14, η δομή της βιοκοινωνίας επηρεάζεται κατά πολύ από το συντελεστή ταξινόμησης και τη διάμετρο των κόκκων ως προς τον πρώτο Κανονικό Άξονα ΚΑβ 1. Επίσης, οι αφθονίες των ειδών Eulalia punctifera, Exogone vertugera, Hyalinoecia brementi, Iphinoe serrata, Paralacydonia paradoxa, Pseudoleiocapitella fauveli, Spiophanes bombyx, Terebellides stroemi kai Amphiura sp. Juv., συσχετίζονται θετικά με τον ΚΑβ 1. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο συντελεστής ταξινόμησης εμφανίζει θετική συσχέτιση με τον ΚΑβ 1, φαίνεται ότι η αύξηση της αφθονίας των ειδών αυτών, κοινό χαρακτηριστικό των οποίων είναι η κινητικότητα, συνδέεται με αδρά, ετερογενή ιζήματα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στο σταθμό 5. Επιπλέον, παρατηρείται διαφοροποίηση στη δομή της βιοκοινωνίας ως προς το συντελεστή λοξότητας που χαρακτηρίζει τον ΚΑβ 2, αν και η πλειοψηφία των ειδών δε συσγετίζεται ισγυρά με αυτόν τον άξονα.



Εικόνα 3.1.43. Διευθέτηση των σταθμών με τη μέθοδο των Κανονικών Συσχετίσεων μεταξύ των αφθονιών των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων στήλης (αριστερά) και ιζήματος (δεξιά) το Νοέμβριο. Τα τόξα δίνουν τη διεύθυνση συσχέτισης των παραμέτρων με την υψηλότερη τιμή με κάθε Κανονικό Άξονα. ΚΣσ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρους στήλης. ΚΣβ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρων με τις παραμέτρους ιζήματος.

Πίνακας 3.1.15. Συσχετίσεις των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων Στήλης και ιζήματος το Νοέμβριο. Παραλήφθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των ειδών που ήταν κατά απόλυτη τιμή μικρότεροι από 0.6. Σε παρένθεση ο λειτουργικός τύπος που ανήκει κάθε είδος (sensu Aller & Stupakoff 1996). Π: Παμφάγοι, Θ:Θηρευτές, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΕΙ: Εδραίοι Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΕΥΙ: Εδραίοι Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι.

Αφθονίες ειδών	ΚΑσ1	ΚΑσ2	Παράμετροι Στήλης	KA ₀ 1	ΚΑσ2
<i>Ampelisca</i> sp. (ПҮІ)	-0.723	-			
Aricidea claudia (ПҮІ)	-0.819	-			
Corbula gibba (ПЕІ)	0.67	-			
<i>Hyala vitrea</i> (Θ)	0.712	-	ΑΣΥ	-0.798	0.378
Hyalinoecia brementi	-0.636	-0.721	CPE/AΣOY	0.037	0.101
<i>Iphinoe serrata</i> (ПҮІ)	-0.636	-0.709	Χλωροφύλλη α	-0.357	-0.681
Leptocheirus mariae	-	0.763	Φαιοχρωστικές	0.413	-0.052
Lumbrineris latreilli (П)	-0.752	-	Θερμοκρασία	-0.171	-0.430
Nephtys hystricis (Θ)	-	-0.773	Αλατότητα	0.011	-0.139
Nucula turgida (EYI)	0.681	-	Θολερότητα	0.010	0.347
Oligochaeta (IIYI)	-0.607	-0.731	Βάθος	0.038	0.147
Thyasira flexuosa (EYI)	-	0.760			
<i>Turitella communis</i> (Π)	0.68	-			

Tubulanus polymorphus	-0.751	-			
Αφθονίες ειδών	ΚΑβ1	ΚΑβ2	Παράμετροι Ιζήματος	ΚΑβ1	ΚΑβ2
<i>Ampelisca</i> sp. (ПҮІ)	-0.776	-			
Aricidea claudia (ПҮІ)	-0.637	-	Διάμετρος κόκκων	-0.383	-0.620
<i>Corbula gibba (</i> ПЕІ)	0.70	-	Συντελεστής	-0.605	-0.141
<i>Iphinoe serrata</i> (ПҮІ)	-0.720	-	Συντελεστής λοξότητας	-0.582	0.295
Leptocheirus mariae	-0.085	-0.841	Ποσοστό Ιλύος-Αργίλου	0.152	-0.452
Lumbrineris latreilli (П)	-0.735	-	Ολικός Οργανικός	0.220	-0.329
Nephtys hystricis (Θ)	-	0.803	C-Chla/TOC%	-0.138	0.289
Nucula turgida (EYI)	0.652	-	CPE	-0.142	-0.213
Oligochaeta (ПҮІ)	-0.711	-	Βάθος	-0.137	0.315
<i>Thyasira flexuosa</i> (EYI)	-	-0.648			
<i>Turitella communis</i> (П)	0.60	-			

Το Νοέμβριο, η Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων υπέδειξε τις συγκεντρώσεις ΑΣΥ, Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών ως προς τον ΚΑσ 1 και Χλωροφύλλης α, ΑΣΥ και της Θερμοκρασίας ως προς ΚΑσ 2, ως τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που συσχετίζονται με τη δομή της βιοκοινωνίας στις δύο διαστάσεις. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η κατανομή των τιμών των χλωροπλαστικών χρωστικών και της αιωρούμενης ύλης είναι οι καθοριστικοί παράγοντες της στήλης (Πίνακας 3.1.15, Εικόνα 3.1.43). Από την άλλη μεριά στο ίζημα ο συντελεστής ταξινόμησης, ο συντελεστής λοξότητας και η μέση διάμετρος των κόκκων είναι οι περιβαλλοντικές παράμετροι που συσχετίζονται περισσότερο με τη δομή της βιοκοινωνίας (Πίνακας 3.1.15, Εικόνα 3.1.43). Το γεγονός ότι ελάχιστα είδη συσχετίζονται ισχυρά με τον ΚΑβ 2 έχει σαν αποτέλεσμα να διευθετείται ο σταθμός 5 μαζί με τους σταθμούς του μετώπου του δέλτα. Είναι δηλαδή σα να έχουν οι τρεις αυτοί σταθμοί το ίδιο λεπτόκοκκα ή το ίδιο αδρά ιζήματα, αφού ο άξονας αυτός συσχετίζεται ισχυρότερα με τη μέση διάμετρο των κόκκων. Στην πραγματικότητα η διευθέτηση υποδεικνύει ότι οι σταθμοί 5, 6 και 8 διαχωρίζονται από τους υπόλοιπους ως προς τον τύπο του υποστρώματος. Τα είδη που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές συσχέτισης με τους ΚΑσ και ΚΑβ, είναι είδη τα οποία σύμφωνα την ανάλυση CAP που προηγήθηκε χαρακτηρίζουν το σταθμό 5, όπως τα Hyalinoecia brementi, Lumbrineris latreilli, Ampelisca sp. μεταξύ άλλων με αρνητικές τιμές, καθώς και είδη που χαρακτηρίζουν τους σταθμούς της εκβολής (σταθμοί 6 και 8), όπως για παράδειγμα τα Hyala vitrea, Nephtys hystricis και Nucula turgida με θετικές τιμές συσχέτισης. Υπάρχουν επομένως ενδείξεις ότι τα χαμηλότερα επίπεδα ΑΣΥ και η υψηλότερη φυτοπλαγκτονική βιομάζα σε συνδυασμό με περισσότερο λεπτόκοκκα και ομοιογενή ιζήματα στο μέτωπο του Δέλτα το Νοέμβριο συνδέονται με την αύξηση των υποεπιφανειακών θηρευτών (π.χ. Hyala vitrea) και υποεπιφανειακών ιζηματοφάγων (π.χ. Nucula turgida). Από την άλλη μεριά, στις βόρειες ακτές του Μαλιακού η ετερογένεια των κόκκων του ιζήματος και τα υψηλότερα φορτία ΑΣΥ, που ενδεχομένως αποτελούν μέτρο της διαθέσιμης τροφής για αιωρηματοφάγους οργανισμούς, συνδέονται με την επικράτηση οργανισμών με αυξημένη κινητικότητα και διαβίωση σε σωλήνες ή στοές (π.χ. Ampelisca sp., Leptocheirus mariae).



Εικόνα 3.1.44. Διευθέτηση των σταθμών με τη μέθοδο των Κανονικών Συσχετίσεων μεταξύ των αφθονιών των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων στήλης (αριστερά) και ιζήματος (δεξιά) το Φεβρουάριο. Τα τόξα δίνουν τη διεύθυνση συσχέτισης των παραμέτρων με την υψηλότερη τιμή με κάθε Κανονικό Άξονα. ΚΣσ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρους στήλης. ΚΣβ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρων με τις παραμέτρους ιζήματος.

Το Φεβρουάριο, η δομή της βιοκοινωνίας συσχετίζεται κυρίως με το λόγο CPE / ΑΣΟΥ (ως προς τον ΚΑσ 1) τις συγκεντρώσεις των Φαιοχρωστικών, τη Θολερότητα και το Βάθος (ως προς τον KAσ 2), τους λόγους C-Chl a / TOC και Chl a / CPE στο ίζημα και τη μέση διάμετρο των κόκκων (ως προς τον ΚΑβ 1) και το συντελεστή ταξινόμησης του ιζήματος ως προς τον ΚΑβ 2 (Πίνακας 3.1.16, Εικόνα 3.1.44). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης, στα είδη που σχετίζονται αρνητικά με τον ΚΑσ 1 και ταυτόχρονα θετικά με τον ΚΑβ 1, περιλαμβάνονται είδη που χαρακτηρίζουν το σταθμό 1, κυρίως (βλ. ανάλυση CAP το Φεβρουάριο) καθώς και εδραίοι ιζηματοφάγοι που συναντώνται σε όλους τους σταθμούς, όπως οι Πολύχαιτοι Melinna palmata και Spiochaetopterus costarum. Υπάρχουν επομένως ενδείξεις ότι το Φεβρουάριο η αύξηση της αφθονίας ειδών που ανήκουν σε ευρύ φάσμα λειτουργικών τύπων (πλάνητες-εδραίοι, επιφανειακοί-υποεπιφανειακοί, ιζηματοφάγοι και μη), κυρίως στο σταθμό 1, συνδέεται με αύξηση των φυτοθρυμμάτων στη στρώση πυθμένα της στήλης και του οργανικού άνθρακα φυτικής προέλευσης στα επιφανειακά ιζήματα καθώς και με την ετερογένεια των ιζημάτων. Ωστόσο, η κατανομή ειδών των οποίων η αφθονία αυξάνει δραματικά το Φεβρουάριο όπως τα Hyala vitrea, Mysella bidentata, Ampelisca sp, και Leptocheirus mariae (Πίνακας 3.1.4) δε συσχετίζεται με κανέναν άξονα. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι τα παραπάνω είδη, όντας υποεπιφανειακοί θηρευτές, υποεπιφανειακοί ιζηματοφάγοι ή αιωρηματοφάγοι που διαμένουν σε σωλήνες, είναι προσαρμοσμένα να αντεπεξέρχονται τους κινδύνους του ενταφιασμού λόγω ιζηματαπόθεσης αξιοποιώντας την αυξημένη παροχή τροφής και τη ροή λεπτόκοκκου υλικού από τη στήλη στο ίζημα κατά τη διάρκεια της φυτοπλαγκτονικής άνθησης. Για το λόγο αυτό δεν εμφανίζουν προτίμηση ή αποφυγή ως προς το υπόστρωμα ή την ποσότητα της αιωρούμενης ύλης. Ενδεχομένως, η πανταχόθεν παρουσία τους στο Μαλιακό συνδέεται, εκτός άλλων, με την απαρχή της στρατολόγησης νεαρών ατόμων, φαινόμενο που θα αντιστάθμιζε απώλειες λόγω ιζηματαπόθεσης.

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι το Φεβρουάριο μεγάλο ρόλο στον καθορισμό της δομής της βενθικής βιοκοινωνίας παίζει η κατανομή της οργανικής ύλης φυτικής προέλευσης τόσο στη στήλη όσο και στο ίζημα. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 3.1.44, οι σταθμοί του Εσωτερικού Μαλιακού διευθετούνται πολύ κοντά με τους σταθμούς του Εξωτερικού, πλην των 1 και 5, ως προς τις συσχετίσεις τους με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες ενώ οι σταθμοί 1 και 5, παρόλο που βρίσκονται σε παρόμοιο υπόστρωμα, διαφέρουν ως προς τη μακροπανιδική σύνθεση. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν την ύπαρξη ενός μηχανισμού που ομογενοποιεί την χωρική κατανομή των προϊόντων της φυτοπλαγκτονικής άνθησης. Η σχέση του συντελεστή ταξινόμησης με τον ΚΑβ 2, υποστηρίζει την παραπάνω υπόθεση, καθώς υποδηλώνει παρόμοιο υδροδυναμικό καθεστώς σε σταθμούς που απέχουν πολύ μεταξύ τους, όπως οι σταθμοί 8 και 3. Προφανώς, πέρα από τις κινήσεις των θαλάσσιων μαζών και την επαναιώρηση των ιζημάτων, στην ομοιότητα αυτή συμβάλλει το γεγονός ότι τα σημεία εισροής φερτών υλών στον κόλπο είναι τόσο από το Σπερχειό όσο και από τους ποταμοχείμαρρους των βόρειων ακτών του Μαλιακού, όπου παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα αιωρούμενου φορτίου κατά την περίοδο αυτή.



Εικόνα 3.1.45. Διευθέτηση των σταθμών με τη μέθοδο των Κανονικών Συσχετίσεων μεταξύ των αφθονιών των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων στήλης (αριστερά) και ιζήματος (δεξιά) το Μάιο. Τα τόξα δίνουν τη διεύθυνση συσχέτισης των παραμέτρων με την υψηλότερη τιμή με κάθε Κανονικό Άξονα. ΚΣσ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρους στήλης. ΚΣβ: Κανονικοί άξονες που προκύπτουν από τη συσχέτιση των ειδών με τις παραμέτρων με τις παραμέτρους ιζήματος.

Το Μάιο, ο ΚΑσ 1, που συσχετίζεται θετικά με τη συγκέντρωση των Φαιοχρωστικών και του ΑΣΥ και αρνητικά με τις τιμές Θερμοκρασίας στη στρώση πυθμένα της στήλης, διαγωρίζει τους σταθμούς 1 και 5 από τους υπόλοιπους. Επιπλέον, η δομή της βιοκοινωνίας ως προς τον ΚΑσ 2 συνδέεται με χαμηλές τιμές Θερμοκρασίας και συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α στους σταθμούς στο μέτωπο του Δέλτα, στις ακτές της Στυλίδας και στα εξωτερικά σύνορα του Μαλιακού και με υψηλές στο τρίγωνο Χιλιομίλι-Βελάς-Καραβόμυλος (Πίνακας 3.1.17, Εικόνα 3.1.45). Ωστόσο, οι τιμές συσχέτισης των αξόνων με τις παραμέτρους στήλης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές. Τελικά, τα αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης Συσχετίσεων με τις παραμέτρους της στήλης είναι φαινομενικά αντιφατικά καθώς υποδεικνύουν ότι τα είδη που εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με τον ΚΑσ 1, στα οποία περιλαμβάνονται πλάνητες υποεπιφανειακοί ιζηματοφάγοι και παμφάγοι πολύγαιτοι καθώς και θηρευτές μακροπανιδικοί οργανισμοί, έχουν αρνητική σχέση με τη συγκέντρωση Φαιοχρωστικών ενώ ταυτόχρονα οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά υψηλές στους σταθμούς 1 και 5. Παρατηρείται όμως ότι τα είδη αυτά παρουσιάζουν έντονη χωρική ετερογένεια στις κατανομές τους (Πίνακας 3.1.11, Εικόνα 3.1.38) και οι αφθονίες τους ελαττώνονται στους σταθμούς που αιωρηματοφάγοι οργανισμοί όπως το δίθυρο Corbula gibba και τα αμφίποδα Ampelisca sp. και Leptocheirus mariae επικρατούν με ιδιαίτερα πυκνούς πληθυσμούς, ενδεχομένως αξιοποιώντας υψηλή ροή φυτοθρυμμάτων από τη στήλη στο ίζημα το Μάιο. Για παράδειγμα, όπως γίνεται φανερό από τις Εικόνες 3.138 και 3.139 αύξηση της αφθονίας των πολύχαιτων Lumbrineris latreilli και Micronephtys. mariae (Πίνακας 3.1.17) συμπίπτει με μείωση της αφθονίας του L mariae στους σταθμούς του Δέλτα ή στους σταθμούς 1 ή 5. Είναι επομένως πιθανόν ότι η αρνητική σχέση των αφθονιών των ειδών

με τον Κασ 1 και τα επίπεδα Φαιοχρωστικών να αντικατοπτρίζει μεταξύ άλλων ανταγωνισμό για χώρο με τους προαναφερθέντες αιωρηματοφάγους οργανισμούς.

Τέλος, η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α φαίνεται να επηρεάζουν τη δομή της βιοκοινωνίας όσον αφορά στη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο υποπεριοχών του Μαλιακού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης τα είδη που αυξάνονται στους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού συνδέονται με χαμηλότερες τιμές Θερμοκρασίας και φυτοπλαγκτονικής βιομάζας. Προκύπτουν επομένως ενδείξεις θετικής σχέσης των ψυχρών υπόπυκνων μαζών και συναφών υψηλών φορτίων ΑΣΥ κοντά στην εκβολή του Σπερχειού με τις υψηλές αφθονίες του είδους *Ampelisca* sp., και των εδραίων ιζηματοφάγων *Melinna palmata* και *Clymenura* sp. στο σταθμό 8, κυρίως. Από την άλλη μεριά, είδη όπως τα είδη *A. claudia* και *T. flexuosa*, που ενώ αυξάνονται σημαντικά το Μάιο δεν εμφανίζουν συγκεκριμένο χωρικό πρότυπο, συνδέονται με υψηλότερες τιμές Θερμοκρασίας και Χλωροφύλλης *α*. Ενδεχομένως, καλή κάθετη ανάμιξη των υδάτων και μεταφορά θερμικής ενέργειας από την επιφάνεια προς τον πυθμένα υποδεικνύει συνθήκες έντονου υδροδυναμισμού και επαναιώρησης, στις οποίες μπορούν να αντεπεξέλθουν τα είδη αυτά ως υποεπιφανειακοί ιζηματοφάγοι.

Πίνακας 3.1.16. Συσχετίσεις των ειδών ($|\mathbf{R}| > 0.5$) με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους στήλης και ιζήματος το Φεβρουάριο. Σε παρένθεση ο λειτουργικός τύπος που ανήκει κάθε είδος (sensu Aller & Stupakoff 1996). Π: Παμφάγοι, Θ:Θηρευτές, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΠΥΙ: Πλάνητες Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι

Αφθονίες ειδών	KA ₀ 1	ΚΑσ2	Παράμετροι Στήλης	KA ₀ 1	ΚΑσ2
Amphiura chiajei (ПҮІ)	-0.955	-			
Aspidosiphon muelleri	-0.963	-			
Diplocirrus glaucus (ΠΕΙ)	-	0.798	ΑΣΥ	-0.365	-0.254

<i>Eudorella nana</i> (ПҮІ)	-0.902	-	Χλωροφύλλη α	-0.026	-0.206
Lanice conchilega (EEI)	-0.966	-	Φαιοχρωστικές	-0.154	-0.736
Lumbrineris latreilli (П)	-	0.664	CPE/AΣOY	0.821	-0.212
Melinna palmata (EEI)	-0.840	-	Θερμοκρασία	-0.392	0.035
Nephtys hystricis	-	0.53			
Onchnesoma steenstrupi	-	0.906	Αλατότητα	-0.050	-0.282
Processa sp. (ПЕІ)	-0.922	-	Θολερότητα	0.084	-0.438
Spiochaetopterus costarum	-0.909	-	Βάθος	0.061	0.405
Spiophanes bombyx (ПЕІ)	-0.969	-			
Sternaspis scutata (ПYI)	0.50	-			
<i>Tubulanus</i> sp. (Θ)	-0.791	-			
	IZA 01	17 4 0 2	 <u> </u>	17 4 0 1	IZ A 0.2
Αφθονιες ειδων	КАРІ	КАР2	Παραμετροι Ιζηματος	КАрт	КАβ2
Amphiura chiajei (IIEI)	0.975	-			
Aspidosiphon muelleri	0.980	-			
Cossura soyeri (ПҮІ)	0.947	-			
<i>Eudorella nana</i> (ПҮІ)	0.928	-	Διάμετρος κόκκων	-0.544	0.002
Lanice conchilega (EEI)	0.983	-	Συντελεστής	-0.086	-0.947
Melinna palmata (EEI)	0.849	-	Συντελεστής λοξότητας	-0.375	0.184
Mysidacea (ПЕІ)	-	0.847	Ποσοστό Ιλύος-Αργίλου	-0.188	-0.112
Nephtys hystricis	-	0.54	C-Chl a/TOC%	0.634	0.002
Onchnesoma steenstrupi	-	0.843	Ολικός Οργανικός	0.340	-0.099
Processa sp. (ПЕІ)	0.946	-	CPE	-0.004	-0.034
Spiochaetopterus costarum	0.936	-	Chula/CPE	-0.436	0.093
Spiophanes bombyx (ПЕІ)	0.977	-			
Sternaspis scutata (IIYI)	0.50	-			
<i>Tubulanus</i> sp. (Θ)	0.713	-			

Πίνακας 3.1.17. Συσχετίσεις των ειδών ((|R| > 0.5) με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους στήλης και ιζήματος το Μάιο. Σε παρένθεση ο λειτουργικός τύπος που ανήκει κάθε είδος (sensu Aller & Stupakoff 1996). Π: Παμφάγοι, Θ:Θηρευτές, ΠΕΙ: Πλάνητες Επιφανειακοί Ιζηματοφάγοι, ΠΥΙ: Πλάνητες Υποεπιφανειακοί Ιζηματοφάγοι.

Αφθονίες ειδών	KAσ1	ΚΑσ2	Παράμετροι Στήλης	KA ₀ 1	ΚΑσ2
Ampelisca sp. (ПҮІ)	-	0.848			
Aricidea claudia (ПҮІ)	-	-0.624			
Clymenura sp. (EYI)	-	0.696	ΑΣΥ	0.437	0.157
Paralacydonia paradoxa	-0.952	-	Χλωροφύλλη α	0.276	-0.591
Lumbrineris emandibulata	-0.949	-	Φαιοχρωστικές	0.543	-0.269
Lumbrineris latreilli (П)	-0.771	-	CPE/AΣOY	0.043	-0.288
Melinna palmata (EEI)	-	0.702	Θερμοκρασία	-0.524	-0.610
Micronephtys mariae (Θ)	-0.687	-	Αλατότητα	0.047	0.052
Onchnesoma steenstrupi	-0.968	-	Θολερότητα	0.393	-0.175
Sternaspis scutata (ПYI)	0.622	-	Βάθος	-0.396	0.171
Thyasira flexuosa (EYI)	-	-0.718			
Tubulanus sp. (Θ)	-0.936	-			
Αφθονίες ειδών	ΚΑβ1	ΚΑβ2	Παράμετροι Ιζήματος	ΚΑβ1	ΚΑβ2
Ampelisca sp. (ПҮІ)	-	0.871			
Clymenura sp. (EYI)	-	0.834			
Paralacydonia paradoxa	0.926	-	Διάμετρος κόκκων	-0.156	0.011
Lumbrineris emandibulata	0.921	-	Συντελεστής	-0.123	-0.449
Lumbrineris latreilli (П)	0.802	-	Συντελεστής λοξότητας	-0.725	-0.453
Melinna palmata (EEI)	-	0.747	Ποσοστό Ιλύος-Αργίλου	0.606	-0.681
Micronephtys mariae (Θ)	0.670	-	C-Chula/TOC%	-0.224	-0.068
Onchnesoma steenstrupi	0.948	-	Ολικός Οργανικός	0.047	0.038
Sigambra tentaculata (Θ)	0.629	-	СРЕ	-0.056	-0.241
Sternaspis scutata (ПYI)	-0.663	-	Chula/CPE	-0.247	0.414
Tauberia gracilis (ПҮІ)	-0.904	0.720			
Tubulanus sp. (Θ)	0.904	-			

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κανονικών Συσχετίσεων ως προς τις παραμέτρους ιζήματος, το Μάιο τα είδη που εμφανίζουν θετική συσχέτιση με τον ΚΑβ 1 συνδέονται με υψηλά ποσοστά ιλύος-αργίλου και χαμηλές τιμές του συντελεστή λοξότητας δηλαδή με περιβάλλοντα όπου υπάρχει ταυτόχρονα υψηλό καθεστώς ιζηματαπόθεσης και έκθεσης σε υδροδυναμισμό (Πίνακας 3.1.17, Εικόνα 3.1.45). Οι συνθήκες αυτές επικρατούν στους σταθμούς 1, 2 και 3 κυρίως (Πίνακας 3.1.3). Από την άλλη μεριά, η διευθέτηση των σταθμών ως προς τον ΚΑβ 2 υποδηλώνει έντονη χωρική διαφοροποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που συσχετίζονται με τη κατανομή των ειδών στους σταθμούς. Η κατάσταση αυτή έχει ήδη διαπιστωθεί από τα αποτελέσματα της ανάλυσης CAP, κατά την οποία είδη όπως αυτά του Πίνακα 3.1.17, συνευρίσκονται μόνον σε έναν ή δύο σταθμούς ή σε σταθμούς με τελείως διαφορετικές συνθήκες υποστρώματος (Πίνακας 3.1.11, Εικόνα 3.1.38). Τα είδη που εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με τον ΚΑβ 1 και ταυτόχρονα θετική με τον ΚΑβ 2 ανήκουν στην πρώτη κατηγορία ειδών που προέκυψε από την ανάλυση CAP (Εικόνα 3.1.38 α) που περιλαμβάνει είδη που αυξάνονται κυρίως στο σταθμό 8. Επομένως το γεγονός ότι οι άξονες Καβ συσχετίζονται με τα ποσοστά ιλύος-αργίλου και το συντελεστή λοξότητας κυρίως, αποτελεί ένδειξη ότι η σημαντική παρουσία των ειδών αυτών στους σταθμούς 4 και 8, συνδέεται με την ικανότητα των οργανισμών αυτών να αντεπεξέρχονται στην αστάθεια και την ιζηματαπόθεση, ενδεχομένως λόγω υποεπιφανειακής διαβίωσης. Παρομοίως, η κατανομή των ειδών Paralacydonia paradoxa, Lumbrineris spp., Tubulanus sp., Sigambra tentaculata, Micronephtys mariae $\kappa. \dot{\alpha}$., $\pi o v$ εμφανίζουν θετική συσχέτιση με τον ΚΑβ 1, και χαρακτηρίζουν σύμφωνα με την ανάλυση CAP τους σταθμούς 1, 4 και 8, ή κυρίως το σταθμό 1, συνδέεται με τους ίδιους παράγοντες στο ίζημα.

Η εφαρμογή των κανονικών αναλύσεων επέδειξε ότι η δομή της βιοκοινωνίας καθορίζεται από διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας.

- τον Αύγουστο, η σύνθεση της βιοκοινωνίας στους 7 από τους 8 σταθμούς ομαδοποιείται ως προς την αύξηση της αιωρούμενης οργανικής ύλης φυτικής προέλευσης και της ομοιογένειας του μεγέθους κόκκων του ιζήματος από τον Εξωτερικό προς τον Εσωτερικό Μαλιακό. Έτσι υπό το πρίσμα της ροής φυτοθρυμμάτων από τη στήλη στο ίζημα και της κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος, κατά την ολιγοτροφική περίοδο (τέλη καλοκαιριού, Kormas et al. 1998), η μακροπανιδική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου δυτικά του άξονα Χιλιομίλι – Βελάς παρουσιάζει χωρική ομοιογένεια με γαρακτηριστικά είδη τα L. latreilli, N. hystricis, T. flexuosa και C. gibba. Επιπλέον, μέσης κλίμακας χωρικές διαφορές στο καθεστώς εναπόθεσης και την οριζόντια ανάμιξη υδάτων του κόλπου με τις θαλάσσιες μάζες από το Αιγαίο ή / και τις υπόπυκνες εισροές ποταμοχείμαρρων, δημιουργούν συνθήκες ετερογένειας που αντικατοπτρίζονται στη δομή της βιοκοινωνίας. Από την άλλη μεριά, στο σταθμό 5 (ακρωτήριο Δρέπανο) η πανιδική σύνθεση είναι τόσο διαφορετική ώστε να εξηγεί το αποτέλεσμα της ΜΑΝΟVA σύμφωνα με το οποίο τον Αύγουστο υφίσταται σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού.
- το Νοέμβριο, η δομή της βιοκοινωνίας καθορίζεται από την αύξηση των συγκεντρώσεων ΑΣΥ και Χλωροφύλλης α στη στήλη στις βόρειες ακτές του Μαλιακού αλλά και από τις διακυμάνσεις της κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος που επηρεάζονται από την εναπόθεση χερσογενούς λεπτόκοκκου υλικού και το υδροδυναμικό καθεστώς. Έτσι, υπό το πρίσμα της ροής ύλης από τη στήλη στο ίζημα και της κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος παρατηρείται ότι η μακροπανιδική βιοκοινωνία κοντά στην εκβολή του Σπερχειού διαφοροποιείται από τη βιοκοινωνία στις βόρειες ακτές του Μαλιακού και στο Χιλιομίλι με

χαρακτηριστικά είδη τα Hyala vitrea, Nephtys hystricis, Corbula gibba, Turitella communis και Nucula turgida στο μέτωπο του Δέλτα και Leptocheirus mariae και Thyasira flexuosa στις βόρειες ακτές από τη Στυλίδα έως το ακρωτήριο Βελάς και στο Χιλιομίλι. Το αποτέλεσμα αυτό παρέχει ενδείξεις ότι οι εισροές του Σπερχειού διαφοροποιούνται από τις χερσογενείς εκφορτίσεις των ποταμοχείμαρρων ως προς τις επιδράσεις τους στη μακροβενθική βιοκοινωνία. Η πανιδική σύνθεση στο σταθμό 5 αποτελεί ξεχωριστή βιοκοινοτική ενότητα με τα ίδια χαρακτηριστικά είδη που εντοπίστηκαν τον Αύγουστο. Ωστόσο το Νοέμβριο πολλά από αυτά τα είδη δεν συναντώνται αποκλειστικά και μόνον στο σταθμό 5 αλλά η εξάπλωση τους εισχωρεί στον Εσωτερικό Μαλιακό με σταδιακά μειούμενες αφθονίες προς την εκβολή του Σπερχειού (Πίνακας 3.1.8). Ενδεχομένως για το λόγο αυτό δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού ως προς τη δομή της βιοκοινωνίας το Νοέμβριο.

Το Φεβρουάριο, οι σταθμοί 1 και 5 διαφοροποιούνται μεταξύ τους και από τους υπόλοιπους, που σχηματίζουν μία ενότητα, κυρίως ως προς τη συνεισφορά της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στην αιωρούμενη οργανική ύλη και τα επίπεδα οργανικού άνθρακα μικροφυτικής προέλευσης στο ίζημα, παράμετροι οι οποίες παρουσιάζουν μεν χωρική ετερογένεια αλλά δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο. Το υδροδυναμικό καθεστώς παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο και είναι ιδιαίτερα αυξημένο στις βόρειες ακτές του Μαλιακού. Κατά την περίοδο αυτή, μερικά είδη εμφανίζουν υψηλές αφθονίες σε όλους σχεδόν τους σταθμούς και δε συσχετίζονται με τη χωρική κατανομή των περιβαλλοντικών παραμέτρων της στήλης και του ιζήματος. Από την άλλη μεριά, οι πολύχαιτοι Sternaspis scutata και Nephtys hystricis χαρακτηρίζουν τα ιζήματα των βόρειων ακτών του Μαλιακού ενώ υπάρχουν είδη που είναι χαρακτηριστικά των σταθμών 1 και 5 ή μόνο του ενός από αυτούς. Η κατανομή της πλειοψηφίας των ειδών αυτών, που δε διαφέρουν από τα είδη που εντοπίστηκαν στα αδρά ιζήματα του σταθμού 5 τον Αύγουστο και

Νοέμβριο, εξαπλώνεται προς τους σταθμούς του Εσωτερικού Μαλιακού, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εντοπιστούν σημαντικές διαφορές στη δομή της βιοκοινωνίας μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού. Ενδεχομένως η μεγαλύτερη διασπορά στην κατανομή των ειδών το Φεβρουάριο να συνδέεται με την αξιοποίηση των προϊόντων της φυτοπλαγκτονικής άνθησης στη στήλη και της μικροβενθικής πρωτογενούς παραγωγής στο ίζημα από όλα τα είδη ανεξαρτήτως τροφικού τύπου, λόγω της μεγαλύτερης βιοδιαθεσιμότητας της οργανικής ύλης. Δεν αποκλείεται θηρευτές και παμφάγοι οργανισμοί να συσχετίζονται θετικά με τη συνεισφορά των φυτοθρυμμάτων στην οργανική ύλη επειδή προσελκύονται από την αύξηση των ιζηματοφάγων οργανισμών –συμπεριλαμβανομένων της μειοπανίδας και των μικροβιακών αποικοδομητών- που χρησιμοποιούν πρωτίστως αυτήν την πηγή τροφής.

Το Μάιο, οι σταθμοί 1 και 5 διαφέρουν μεταξύ τους και από τους υπόλοιπους σταθμούς ως προς τη μακροπανιδική σύνθεση, όπως άλλωστε παρατηρήθηκε και το Φεβρουάριο αλλά και οι υπόλοιποι σταθμοί διαφέρουν μεταξύ τους. Τα γαρακτηριστικά είδη των σταθμών 1 και 5 (Πίνακας 3.1.11), που το Μάιο συσχετίζονται ισχυρά με τα αδρά ιζήματα του Εξωτερικού Μαλιακού, συσχετίζονται επίσης με χαμηλότερες τιμές Φαιοχρωστικών και ΑΣΥ. Κατά τα άλλα, η βιοκοινωνία στο μέτωπο του Δέλτα βρίσκεται στα χαμηλότερα όρια διαβάθμισης κοκκομετρικής σύστασης του ιζήματος (ποσοστά ιλύος-αργίλου, συντελεστής λοξότητας) και τιμών Θερμοκρασίας, προφανώς λόγω των ψυχρών υπόπυκνων εισροών του Σπερχειού. Διευθετείται, επίσης, στα υψηλότερα όρια διαβάθμισης τιμών Chl a / CPE με χαρακτηριστικά είδη τα Ampelisca sp., Clymenura sp., Tauberia gracilis και Melinna palmata, των οποίων η αφθονία μειώνεται προς τον Εξωτερικό Μαλιακό. Έτσι, στο άλλο άκρο της νοητής αυτής διαβάθμισης βρίσκεται ο σταθμός 7, όπου τα χαρακτηριστικά είδη είναι ο πολύχαιτος Aricidea claudia και το δίθυρο Thyasira flexuosa, των οποίων η αφθονία σταδιακά ελαττώνεται προς την εκβολή του Σπερχειού. Οι σταδιακές μεταβάσεις από υψηλές σε χαμηλές αφθονίες ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες το Μάιο, θεωρείται ότι ευθύνονται για τη στατιστικά σημαντική διαφορά στη δομή της βιοκοινωνίας μεταξύ Εσωτερικού και Εξωτερικού Μαλιακού, κατά την περίοδο αυτή.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, στους παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στη δομή της βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου περιλαμβάνονται τα υδρολογικά στοιχεία, η ποιότητα και ποσότητα της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης, το υπόστρωμα καθώς και η ποιότητα της οργανικής ύλης στο ίζημα. Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι το ίδιο σημαντικοί σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, μόνο το Φεβρουάριο η διαθεσιμότητα της τροφής παίζει σημαντικότερο ρόλο από το υπόστρωμα και τα υδρολογικά στοιχεία. Σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας τα είδη που συμβάλουν με τη χωρική κατανομή τους περισσότερο στη σχέση της δομής της βιοκοινωνίας με τους παραπάνω περιβαλλοντικούς παράγοντες ανήκουν κυρίως στους πλάνητες οργανισμούς, παμφάγους, θηρευτές ή ιζηματοφάγους. Από τους ιζηματοφάγους, αξιοσημείωτη είναι η παρουσία αιωρηματοφάγων Αμφιπόδων και Κυμωδών που διαμένουν σε σωλήνα ενώ η αυξημένη παρουσία των Δίθυρων συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με το υψηλότερο αναπαραγωγικό δυναμικό έναντι των Πολύχαιτων χάρη στο οποίο αντεπεξέρχονται στην ιζηματαπόθεση αλλά και στη θήρευση από τους πυκνούς πληθυσμούς τόσο των αιωρηματοφάγων όσο και των παμφάγων και θηρευτών. Εκτός από τη θήρευση, και άλλες μορφές βιολογικών αλληλεπιδράσεων είναι πιθανά σημαντικές στη δομή της βιοκοινωνίας καθώς η συνύπαρξη επιφανειακών και υποεπιφανειακών ειδών με μεγάλους πληθυσμούς και η ποικιλία τροφικών τύπων, υποδηλώνουν ότι ο διαχωρισμός των οικολογικών θώκων αποτελεί επιτυχή απόκριση στις συνθήκες που επικρατούν. Πρέπει να τονιστεί επιπρόσθετα ότι η υψηλή συνεισφορά παμφάγων οργανισμών και θηρευτών και ο σημαντικός ρόλος τους στην παρατηρούμενη δομή αποτελούν ένδειξη ότι η διαθέσιμη τροφή είναι πολλαπλής προέλευσης.

Παρά το γεγονός ότι όλοι οι σταθμοί της παρούσας μελέτης ήταν κοντά στις ακτές και σε πηγές εισροής υπόπυκνων εκφορτίσεων και χερσογενούς υλικού, εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στη χωρική δομή της βιοκοινωνίας σε σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η βιοκοινωνία στο μέτωπο του Δέλτα διαφέρει από τις υπόλοιπες περιοχές του Μαλιακού κυρίως το Νοέμβριο λόγω της επικράτησης υποεπιφανειακών θηρευτών και αιωρηματοφάγων δίθυρων ενώ ταυτόχρονα στις βόρειες ακτές του Μαλιακού, όπου η αύξηση της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης, χλωροφύλλης και φαιοχρωστικών είναι μεγαλύτερη, κυριαρχούν επιφανειακοί και μη υποχρεωτικοί επιφανειακοί ιζηματοφάγοι. Δεν μπορεί επομένως να αποκλειστεί η σημασία επεισοδιακών φαινομένων, που επηρεάζουν τόσο την ένταση των περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. πλημμυρικά φαινόμενα είτε από το Σπερχειό είτε από τους ποταμοχείμαρρους) όσο και βιολογικών φαινομένων όπως π.χ. η επιβίωση νεοεγκατεστημένων προνυμφών.

Συνάγεται επίσης το συμπέρασμα ότι το όριο του Μαλιακού κόλπου δηλαδή εκεί που η ένταση της ιζηματαπόθεσης είναι μικρότερη και τα ιζήματα περιέχουν μικρότερο ποσοστό ιλύοςαργίλου βρίσκεται στον άξονα Χιλιομιλίου-Βελά. Πέρα από τον άξονα αυτό η δομή της βιοκοινωνίας χαρακτηρίζεται από την αύξηση των Πολύχαιτων, και ειδικά των εδραίων αιωρηματοφάγων και ενδοψαμμικών οικογενειών (Syllidae, Hessionidae, Lacydonidae) και τη μείωση των θηρευτών, παμφάγων και αιωρηματοφάγων οργανισμών που κατασκευάζουν σωλήνες.

Η παραπάνω ανάλυση, αν και συνέβαλε στην κατανόηση της κατανομής συγκεκριμένων ειδών και λειτουργικών τύπων σε σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μετρήθηκαν, ωστόσο δεν μπορεί να αποδώσει το βαθμό στον οποίο η συνολική απόκριση της βιοκοινωνίας καθορίζεται από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Ο καλύτερος τρόπος για να εκτιμηθεί το ποσοστό της μεταβλητότητας στη δομή της βιοκοινωνίας που μπορεί να εξηγηθεί από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που μετρήθηκαν προσφέρεται από το μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυμεταβλητής πολλαπλής παλινδρόμησης και της Ανάλυσης Πλεονασμού (Redundancy Analysis). Σε κάθε περίοδο χρησιμοποιήθηκαν ταυτόχρονα οι παράμετροι στήλης (στρώση πυθμένα) και ιζήματος ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Η μέθοδος διαλογής προς τα μπρος (forward selection) υποδεικνύει ότι περισσότερο από 72 % της μεταβλητότητας στη δομή της βιοκοινωνίας μπορεί να προβλεφθεί από τις διακυμάνσεις συγκεκριμένων παραμέτρων στήλης και ιζήματος (Πίνακας 3.1.18). Οι μεταβλητές που περιέχονται στο «βέλτιστο μοντέλο» ποικίλλουν ανάλογα με την περίοδο δειγματοληψίας. Σε όλες τις περιόδους το μοντέλο περιέχει ένα συνδυασμό υδρολογικών στοιχείων, χαρακτηριστικών του υποστρώματος, και δεικτών αποτελεσμάτων του Πίνακα 3.1.18 για κάθε περίοδο δειγματοληψίας:

Τον Αύγουστο, παρόλο που, δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με τις συγκεντρώσεις ٠ χρωστικών και οργανικού άνθρακα στο ίζημα, περίπου το 85% της μεταβλητότητας της βιοκοινωνίας εξηγείται από τα διαθέσιμα στοιχεία, δηλαδή τον τύπο του υποστρώματος (μέγεθος κόκκων, % ιλύος-αργίλου), τις τιμές των υδρολογικών στοιχείων (θολερότητα, αλατότητα, θερμοκρασία), τα επίπεδα οργανικής ύλης φυτοπλαγκτονικής προέλευσης στη στρώση πυθμένα της στήλης και το βάθος. Το Νοέμβριο, οι συγκεντρώσεις άνθρακα μικροφυτικής προέλευσης στα επιφανειακά ιζήματα, οι δείκτες του καθεστώτος ιζηματαπόθεσης και υδροδυναμισμού, η θολερότητα, οι συγκεντρώσεις ΑΣΥ και Χλωροφύλλης α καθώς και ο λόγος CPE/AΣOY στη στρώση πυθμένα της στήλης, εξηγούν περισσότερο από το 75% της μεταβλητότητας της βενθικής βιοκοινωνίας. Το <u>Φεβρουάριο</u>, τα υδρολογικά στοιχεία, οι συγκεντρώσεις χρωστικών στη στήλη, το βάθος και η συγκέντρωση CPE στα επιφανειακά ιζήματα αποτελούν τις μεταβλητές που προβλέπουν το 70 % περίπου της μεταβλητότητας της βιοκοινωνίας. Τέλος το Μάιο, το ποσοστό της μεταβλητότητας της βιοκοινωνίας που προβλέπεται από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος (συντελεστής λοξότητας, μέση διάμετρος των κόκκων), το λόγο Chl a / CPE στο ίζημα, τις συγκεντρώσεις ΑΣΥ και χρωστικών, το λόγο CPE/AΣOY, τη θερμοκρασία στη στρώση πυθμένας της στήλης και το βάθος, υπερβαίνει το 80 %.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των χλωροπλαστικών χρωστικών στη στρώση πυθμένα της στήλης, προβλέπουν σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας ένα αξιόλογο ποσοστό της μεταβλητότητας της βιοκοινωνίας που ποικίλλει από 10% (Νοέμβριος) έως 20% περίπου (Αύγουστος, Φεβρουάριος). Τα υδρολογικά στοιχεία (θολερότητα, θερμοκρασία, αλατότητα) επίσης συνεισφέρουν σημαντικά στην εξήγηση της μεταβλητότητας σε ποσοστά τα οποία αν και δεν υπερβαίνουν το 8% το Μάιο, κατά τα άλλα κυμαίνονται μεταξύ 22% (Νοέμβριος) και 32% (Αύγουστος). Η κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος συμβάλει στην προβλεψιμότητα σε σχετικά μικρότερα ποσοστά τον Αύγουστο, Νοέμβριο και Μάιο ενώ το Φεβρουάριο καμία κοκκομετρική παράμετρος δε συμμετέχει στο «βέλτιστο μοντέλο». Το αποτέλεσμα αυτό συμπίπτει με τα αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης Συσχετίσεων των αφθονιών των ειδών με τις παραμέτρους ιζήματος το Φεβρουάριο, σύμφωνα με τα οποία η κατανομή των ειδών επηρεάζεται κυρίως από τη συνεισφορά της οργανικής ύλης μικροφυτικής προέλευσης κατά την περίοδο αυτή. Τέλος, η ποιοτική και ποσοτική σύσταση της οργανικής ύλης στο ίζημα συνεισφέρουν από 3.36% (Νοέμβριος) έως 11.41% (Φεβρουάριος) ενώ πολύ μεγαλύτερο ρόλο παίζουν η ποσότητα και η σύσταση της αιωρούμενης ύλης στη στρώση πυθμένα της στήλης, συνεισφέροντας στο βέλτιστο μοντέλο από 20% (Φεβρουάριος) έως περίπου 35% (Νοέμβριος, Μάιος).

Θεωρώντας τις δύο πρώτες περιβαλλοντικές παραμέτρους που συνεισφέρουν τα μεγαλύτερα ποσοστά στο «βέλτιστο μοντέλο» πρόβλεψης της δομής της βιοκοινωνίας για κάθε περίοδο δειγματοληψίας, τότε τον Αύγουστο κυριαρχούν η κοκκομετρική σύσταση και η Θολερότητα, το Νοέμβριο η Θολερότητα και το αιωρούμενο υλικό, το Φεβρουάριο η Αλατότητα και η συγκέντρωση Χλωροφύλλης α στη στήλη και τέλος το Μάιο ο συντελεστής λοξότητας και το αιωρούμενο υλικό. Μια αναδρομή στις Εικόνες 3.1.40 και 3.1.41, όπου απεικονίζονται τα PCA ευκλείδεια διαγράμματα διευθέτησης των σταθμών ως προς τις περιβαλλοντικές παραμέτρους στήλης και ιζήματος, αντίστοιχα, υποδεικνύει ότι μόνο τον Αύγουστο συμπίπτουν οι περιβαλλοντικές παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δομή της βιοκοινωνίας και

στη χωρική διαφοροποίηση του περιβάλλοντος του Μαλιακού κόλπου. Στις υπόλοιπες περιόδους, η δομή της βιοκοινωνίας, όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 3.1.18 και τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, διαμορφώνεται από παράγοντες με σχετικά μικρή χωρική ετερογένεια, εξ ου και δεν επιτυγχάνουν μεγάλη βάρη (loadings) ως προς την πρώτη Κύρια Συνιστώσα αλλά μόνο ως προς τη δεύτερη. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι μεγαλύτερες διαφορές στη δομή της βιοκοινωνίας είναι μεταξύ του σταθμού 5 ή και 1 και των υπόλοιπων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά των χαρακτηριστικών ειδών των αδρών ιζημάτων του Εξωτερικού Μαλιακού. Ενδεχομένως, σε τούτο οφείλεται το γεγονός ότι παράγοντες που δε συμβάλουν στη περιβαλλοντική διαφοροποίηση του κόλπου έχουν δηλαδή μικρή χωρική μεταβλητότητα, αποβαίνουν σημαντικοί για την ερμηνεία της χωρικής δομής της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.1.18 περιέχουν, εκτός άλλων, και την πληροφορία που εξηγεί το λόγο για τον οποίο είδη που περιορίζονται στον Εξωτερικό Μαλιακό τον Αύγουστο, εξαπλώνονται προς τον Εσωτερικό Μαλιακό κατά τις υπόλοιπες περιόδους.

Πρέπει να επισημανθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά προσφέρουν μια περιγραφή της σχέσης μεταξύ δομής της βιοκοινωνίας και περιβαλλοντικών παραμέτρων από διαφορετική οπτική γωνία από ότι η Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων. Ως εκ τούτου δε θα έπρεπε να θεωρηθεί αντιφατικό το γεγονός ότι παράμετροι που συνεισφέρουν σημαντικά στο «βέλτιστο μοντέλο» πρόβλεψης της βιοκοινωνίας, εμφανίζουν κατά την ίδια δειγματοληπτική περίοδο μικρή τιμή συσχέτισης με τους Κανονικών Σάσνες που μεγιστοποιούν τις συσχετίσεις μεταξύ αφθονιών των ειδών και των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι η υπόθεση που υπαγορεύει την εφαρμογή κάθε μεθόδου είναι διαφορετική και δίνει έμφαση σε διαφορετικές πλευρές του ίδιου ζητούμενου δηλαδή της σχέσης της δομής της βιοκοινωνίας με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Έτσι, μία παράμετρος που εμφανίζει υψηλή συσχέτιση με έναν Κανονικό Άξονα μπορεί να εξηγήσει τη σημασία του ως προς τις επιμέρους αφθονίες των

ειδών ανάλογα με το αν συσχετίζονται θετικά ή αρνητικά μεταξύ τους. Εξάλλου, από αυτή την ιδιότητα απορρέει η χρησιμότητα της Ανάλυσης Κανονικών Συσχετίσεων στην εύρεση ειδών «δεικτών» κάποιων περιβαλλοντικών συνθηκών. Η ίδια παράμετρος, όμως, μπορεί να μη σχετίζεται σημαντικά με την κατανομή των ειδών εάν αυτά κατανέμονταν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Επομένως, τα αποτελέσματα της πολυμεταβλητής πολλαπλής παλινδρόμησης αντανακλούν την απόκριση της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στο περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου ανεξάρτητα από τις όποιεσδήποτε συνευρέσεις ή ανταγωνιστικές σχέσεις μεταξύ των ειδών.

Με βάση τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων, διαπιστώνεται ότι η δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού δεν είναι απόλυτα συμβατή με την υπόθεση της οικολογικής αστάθειας σύμφωνα με την οποία οι μεταβολές του φυσικού περιβάλλοντος παίζουν το σημαντικότερο ρόλο στις μεταβολές που παρατηρούνται (βλ. Κεφάλαιο 1, Υποθέσεις Εργασίας). Όπως προέκυψε από το σύνολο των αναλύσεων που εφαρμόστηκαν, οι λεγόμενες αβιοτικές συνθήκες όπως η υψηλή ποσότητα της αιωρούμενης ύλης και ο τύπος του υποστρώματος με υψηλά ποσοστά ιλύος αργίλου, θέτουν περιορισμούς στην κατανομή συγκεκριμένων αιωρηματοφάγων και αμμόφιλων ειδών. Αντίθετα, οι λεγόμενες βιοτικές παράμετροι όπως οι συγκεντρώσεις χλωροπλαστικών χρωστικών στη στήλη και το ίζημα διαμορφώνουν ένα πλαίσιο χωρικής σύγκλισης όλων των λειτουργικών τύπων ανεξάρτητα από την προτίμηση ή αποφυγή αβιοτικών συνθηκών. Τούτο καθίσταται δυνατό χάρη στην ποικιλία τροφικών τύπων και τρόπων διαβίωσης στο ίζημα. Πράγματι, τα ιζήματα του Μαλιακού αντιπροσωπεύουν μία σχετικά πλούσια δεξαμενή ειδών που χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλότητα λειτουργικών τύπων στους οποίους περιλαμβάνονται εδραίοι και πλάνητες αιωρηματοφάγοι, μακροφάγοι και μικροφάγοι οργανισμοί, υποεπιφανειακοί ιζηματοφάγοι που ζουν σε σωλήνα και υποεπιφανειακοί που τρέφονται με σωματίδια στην επιφάνεια του ιζήματος και θηρευτές μεγαλύτερων και μικρότερων οργανισμών, όπως έχει ήδη αποδειχθεί στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Επιπλέον, οι οργανισμοί αυτοί αξιοποιούν τους διαθέσιμους τροφικούς
πόρους χρησιμοποιώντας ποικιλία τροφοληπτικών μηχανισμών. Το αποτέλεσμα είναι ότι κατά την διάρκεια της μέγιστης υποτιθέμενης όχλησης λόγω της αύξησης των χερσογενών εκφορτίσεων, των υπόπυκνων εισροών και της επαναιώρησης των ιζημάτων λόγω των καιρικών συνθηκών και της υδρογραφίας, που συμπίπτει με την περίοδο της ανοιξιάτικης φυτοπλαγκτονικής άνθησης, παρατηρούνται οι μέγιστες τιμές αφθονίας, βιομάζας και αριθμού ειδών της μακροπανίδας.

Πίνακας 3.1.18. Πολυμεταβλητή πολλαπλή παλινδρόμηση των αφθονιών των ειδών (εξαρτημένες μεταβλητές) ως προς τις παραμέτρους στήλης στη στρώση πυθμένα και ιζήματος ανεξάρτητες μεταβλητές ανά περίοδο δειγματοληψίας. Αναφέρονται μόνο οι μεταβλητές που συμβάλουν σημαντικά στην προβλεψιμότητα του μοντέλου. Για τον υπολογισμό του pseudo-F χρησιμοποιήθηκαν 999 τυχαίοι ανασυνδυασμοί.

	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ						
Παράμετρος	Pseudo-F	р	% Ποσοστό μεταβλητότητας	Αθροιστικό % ποσοστό μεταβλητότητας			
Διάμετρος κόκκων	4.161	0.001	15.910	15.910			
Θολερότητα	4.138	0.000	13.840	29.750			
Pheo (στήλη)	3.393	0.001	10.190	39.940			
Αλατότητα	3.941	0.000	10.320	50.260			
Θερμοκρασία	3.635	0.000	8.360	58.610			
Pheo (ίζημα)	4.426	0.000	8.550	67.160			
CPE: ΑΣΟΥ	3.273	0.002	5.580	72.740			
ΑΣΥ	3.756	0.001	5.460	78.200			
Βάθος	1.999	0.037	2.720	80.920			
% Ιλύς-Άργιλος	1.968	0.045	2.510	83.430			
				·			
			ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ				
Παράμετρος	Pseudo-F	р	% Ποσοστό μεταβλητότητας	Αθροιστικό % ποσοστό μεταβλητότητας			
Θολερότητα	6.183	0.0004	21.94	21.94			
ΑΣΥ	5.078	0.0002	15.20	37.14			
CPE (στήλη)	5.007	0.0001	12.59	49.72			

Chla (στήλη)	4.517	0.0003	9.66	59.38						
σl	4.095	0.0001	7.53	66.91						
sk1	3.509	0.0002	5.66	72.57						
C:Chla	1.689	0.0078	3.36	75.93						
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ									
Παράμετρος	Pseudo-F	р	% Ποσοστό μεταβλητότητας	Αθροιστικό % ποσοστό μεταβλητότητας						
Αλατότητα	3.56	0.0008	13.92	13.92						
Chla (στήλη)	3.90	0.0001	13.48	27.40						
CPE (ίζημα)	3.73	0.0001	11.41	38.81						
Θολερότητα	3.94	0.0001	10.50	49.31						
Βάθος	5.29	0.0001	11.51	60.82						
Pheo (στήλη)	3.73	0.0005	7.05	67.87						
Θερμοκρα σ ία	2.65	0.0018	4.57	72.44						
Πίνακας 3.1.18 Στ	00069910									
111/uRug 5.1.162	υνεχεια									
			ΜΑΙΟΣ							
Παράμετρος	Pseudo-F	р	% Ποσοστό μεταβλητότητας	Αθροιστικό % ποσοστό μεταβλητότητας						
sk 1	5.540	0.0002	20.11	20.11						
ΑΣΥ	5.490	0.0005	16.56	36.67						
Pheo (στήλη)	4.603	0.0002	11.85	48.52						
Chla:CPE (ίζημα)	4.584	0.0001	10.01	58.53						
Θερμοκρασία	4.004	0.0005	7.55	66.07						
Διάμετρος κόκκων	3.570	0.0014	5.89	71.96						
Chla (στήλη)	2.744	0.0072	4.11	76.07						
CPE: ΑΣΟΥ	2.583	0.0138	3.52	79.58						
Βάθος	2.700	0.0103	3.3	82.88						

Κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης, μετρήθηκαν πολύ υψηλές τιμές ΑΣΥ το Φεβρουάριο και το Μάιο γεγονός που υποδηλώνει ότι ο κίνδυνος όχλησης δεν είναι υποθετικός. Ωστόσο τα φορτία αιωρούμενου υλικού στο Μαλιακό βρίσκονται στα χαμηλότερα όρια του εύρους τιμών ΑΣΥ στην υφαλοκρηπίδα των μεγαλύτερων ποταμών (π.χ. Αμαζόνιος) (Πίνακας 3.1.19). Όπως επίσης διαπιστώνεται, η υψηλή στερεοπαροχή των μεγάλων ποταμών επιφέρει δραματική μείωση κυρίως της βιομάζας της μακροπανίδας. Αντίθετα, στις υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις μεσογειακών ποταμών, η επίδραση των εισροών, η οποία είναι φανερά θετική στα ποσοτικά χαρακτηριστικά της στήλης (ΑΣΥ, Χλωροφύλλη α) εκ πρώτης όψεως δεν είναι επιζήμια για τις μακροπανιδικές βιοκοινωνίες.

Σύμφωνα με τους Slobodkin & Sanders (1969) η δριμύτητα, η μεταβλητότητα και η προβλεψιμότητα του περιβάλλοντος είναι οι τρεις κύριοι άξονες βάσει των οποίων μπορεί να καθοριστεί η ποικιλότητα μιας βιοκοινωνίας. Θεωρούν δε ότι οι ευνοϊκές αφενός και οι προβλέψιμα μεταβαλλόμενες αφετέρου συνθήκες, συνδέονται με διατήρηση της ποικιλότητας σε υψηλά και σταθερά επίπεδα. Το περιβάλλον του Μαλιακού, παρουσιάζει ήπιας μορφής δριμύτητα, κυρίως κατά τη διάρκεια των μέγιστων χερσογενών εκφορτίσεων, εμφανίζει χωρική ετερογένεια και εμπίπτει στην κατηγορία του προβλέψιμου, αφού η ένταση της ιζηματογένεσης έχει εμφανή εποχικότητα. Υπό αυτό το πρίσμα, δεν προκαλούν εντύπωση τα επίπεδα αφθονίας, βιομάζας και αριθμού ειδών. Μετά την ελάττωση των ποτάμιων εισροών και καθώς το σύστημα οδεύει προς «ολιγοτροφικές συνθήκες», η βιοκοινωνία ανασυντάσσεται τοπικά καθώς είτε η ήπια διατάραξη δημιούργησε «χώρο» για εγκατάσταση νεαρών ατόμων από τη δεξαμενή ειδών της περιοχής είτε μέσω των ρευμάτων και της επαναιώρησης συνέβη παθητική μεταφορά συναθροίσεων ατόμων από τα γειτονικά ιζήματα. Στη συνέχεια, το σύστημα εισέρχεται σταδιακά στην κατάσταση διατάραξης λόγω ποτάμιων εκφορτίσεων. Εφόσον, η διατάραξη είναι ήπιας έντασης, η μακροπανιδική βιοκοινωνία επωφελείται από την αύξηση εισροών οργανικής ύλης, τόσο αυτόχθονης (π.χ. φυτοπλαγκτονική άνθηση) όσο και αλλόχθονης (π.χ. χερσογενές υλικό) προέλευσης. Ο εποχικός αυτός κύκλος συνεχίζεται, χωρίς ποτέ η βιοκοινωνία να καθορίζεται αποκλειστικά από τα φυσικά χαρακτηριστικά ή τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών (π.χ. θήρευση), εκτός εάν λάβουν χώρα καταστροφικά – ή απρόβλεπτα - φαινόμενα.

Η περιβαλλοντική αυτή κατάσταση, εξηγεί την ταυτόχρονη παρουσία ειδών με ευρύ και εξειδικευμένο οικολογικό θώκο. Εξηγεί επίσης το σχετικά υψηλό αριθμό ειδών αλλά και τη σταθερή παρουσία των περισσοτέρων τόσο σε όλους τους σταθμούς όσο και κατά τη διάρκεια μελετών που προηγήθηκαν. Σύμφωνα με την υπόθεση της «περιβαλλοντικής σταθερότητας» (Sanders 1968), η απόκριση της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στο περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου δεν «τοποθετείται» στα ακραία όρια διαβάθμισης με συνθήκες οικολογικού στρες και αστάθειας στο ένα άκρο και συνθήκες σταθερότητας για μεγάλο χρονικό διάστημα στο άλλο.

Επειδή είναι πρακτικά δύσκολο να μετρηθούν οι βιολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενδοπανιδικών οργανισμών, δεν είναι δυνατό να καθοριστεί ο βαθμός στον οποίο η βιοκοινωνία καθορίζεται από αυτές. Ωστόσο, σύμφωνα με την ανάλυση CAP οι συνευρέσεις μεταξύ ειδών δεν είναι χρονικά σταθερές, (βλ. απεικόνιση των χωρικών διακυμάνσεων των σημαντικών ειδών για τις διαφορές στη δομή της βιοκοινωνίας). Ως εκ τούτου, ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών (π.χ. θήρευση ή αποκλεισμός λόγω ελλείψεως χώρου ή τροφής) θεωρείται ότι υφίστανται αλλά έχουν περιορισμένη σημασία καθώς η ένταση τους διαφέρει με την περίοδο δειγματοληψίας. Όπως κατέδειξε η CAPCorr οι συνευρέσεις των ειδών συσχετίζονται με περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η Θολερότητα, το Αιωρούμενο Υλικό και η κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι η δομή της βιοκοινωνίας καθορίζεται από τη δυνατότητα των ειδών να αξιοποιήσουν τη προσφερόμενη τροφή ελαχιστοποιώντας τις απώλειες λόγω ακαταλληλότητας περιβαλλοντικών συνθηκών. Με άλλα λόγια, η διατήρηση υψηλών πληθυσμών και βιομάζας συνδέεται με την προσαρμοστικότητα της βιοκοινωνίας. Συνεπώς, η σταθερότητα της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εύρος των περιβαλλοντικών διακυμάνσεων. Με βάση τα παραπάνω θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μακροπανίδας του Μαλιακού προσδίδουν προσαρμοστικότητα (resilience) στη χωρική απόκριση της βιοκοινωνίας στις περιβαλλοντικές συνθήκες ανά εποχή. Η προσαρμοστικότητα εδώ νοείται ως το χαρακτηριστικό εκείνο της σταθερότητας μιας βιοκοινωνίας που συνδέεται θετικά με την ποικιλία των μονοπατιών ροής ενέργειας σε ένα τροφικό πλέγμα (Orians 1975). Υπό αυτή την έννοια, η σταθερότητα σχετίζεται με την ικανότητα μιας βιοκοινωνίας να απορροφήσει την όχληση εκτρέποντας τη ροή ενέργειας σε νέα ενεργειακά μονοπάτια (MacArthur 1955). Επομένως είναι η ποικιλότητα λειτουργικών τύπων που συνδέεται με τη σταθερότητα ενός συστήματος και όχι απαραίτητα η ποικιλότητα σε αριθμό ειδών.

Στο σημείο αυτό, υπενθυμίζεται ότι οι αναλύσεις των δεδομένων κατέδειξαν τη σημασία παραγόντων των οποίων τα όρια τιμών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό τόσο από μικρές μεταβολές στο κλιματικό καθεστώς όσο και από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως η Θολερότητα και το Αιωρούμενο Υλικό. Για παράδειγμα, μεταβολές στη ροή του ποταμού, ανεξάρτητα από την αιτία (φυσική ή τεχνητή), επιφέρει μεταβολές στο αιωρούμενο φορτίο που με τη σειρά του συνδέεται με τη δομή της βιοκοινωνίας. Είναι συνεπώς υψίστου ενδιαφέροντος να γνωρίζει κανείς όχι απλά το εύρος των διακυμάνσεων των περιβαλλοντικών παραμέτρων αλλά τα επίπεδα πέρα από τα οποία η επίδραση τους είναι επιζήμια για τη βιοκοινωνία. Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης δεν ανιχνεύθηκαν επιζήμιες επιπτώσεις στη μακροπανιδική βιοκοινωνία από κάποιον φυσικό παράγοντα. Θα είχε όμως ιδιαίτερο ενδιαφέρον να ελεγχθεί η υπόθεση της σταθερότητας της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου λόγω λειτουργικής ποικιλότητας, μετά από επεισοδιακά φαινόμενα μεγάλης όχλησης (π.χ. πλημμύρες του Σπερχειού) ώστε να διερευνηθούν τα όρια προσαρμοστικότητας. Τέλος, η συχνότητα εμφάνισης τέτοιων φαινομένων ενδεχομένως παίζει κρίσιμο ρόλο στη μακροπανιδική δυμή. Τα θέμα αυτό, συζητιέται εκτενέστερα με βάση τα αποτελέσματα του τρίτου πλάνου.

ντα	H*		
άλλο	* ى	λή.	
περιβ	ήματ	, εκβα	
30	ວກວີ ເຊິ່	เง ะทุง	
αροές	ιμέτρι	άμ ι π	
13 S3	παρο	ποτά	
ιηάτο	ວມ	EI 010	
έση π	νίδα κ	ει γίν	
εσχέ	lv πα	ση έχ	
) ac o	για τι	μέτρη	
πανίδ	νέτες	H**:	
τακρα	ί με	۵۷. *	
K01	ηθεί	μέτρ	
ιατος	κτοποι	ωv 20	
ιζήμ	οηγως	αθή τι	
։ միչդշ,	ουν π	ισοβ	
00 01	ίο έχι	στην	
μέτρο	ο οπο	¢βολή	
παρα	ος στ	triv Ek	
ίαση	*Bá0	ιαπό	
pova	EWV.)0 km	
cή πo	οθέσ :	ւօղ 2(
kputuk	ώναπ	πόστο	
Συγ	λταϊκα	025 02	
1.19.	ων δε	ι γίνει	
3.	ώσσιι	αχέ μ	
lívaki	ποθαλ	έτρησ	
Пілакаς 3.1.19.	υποθαλάσσιων δελτ	μέτρηση έχει γίνει σ	

		Στο	οιχεία εισροών	Στήλ	Στήλη Τζημα		Πανίδα						
3ιβάλλοντα ατος. **Η εβολή.	Ποτάμι, Περιοχή	Υδατοπαροχή (m³/έτος)	Στερεοπαροχή (τόνοι/m ³ νερού)	Βάθος* (m)	AΣY (mg/l)	Chla (µgʻl)	TOC	Chla	Ιλύς- Άργιλος%	Αφθονία (άτομα/m ²)	Βιομάζα	Αριθμός ειδών	Βιβλιογραφία
ροές σε πεγ ιέτρους ιζήμ	Σπερχειός, Μαλακός κόλπος	1.93X10 ⁹	2.1 (0.6X10 ⁶ τόνονέτος)	4-22	3-40	0.1-2.65	0.5-2.4%	0.5-4 (µg/g)	35-99	1000-10200	1.5-19.8 (gΞB/m ²) 0.4 - 11.7 (gΞBAΣ/m ²) 0.6-7.4 (gC/m ²)	20-74	Christou et al. 1995, Poulos et al. 1996, Kormas et al. 2002, Παρούσα μελέτη
ο ποτάμ	Αξιός, Θερμαϊκός κόλπος	1.83X10 ⁹		24-35			1.30%						Voutsinou-Taliadouri & Varnavas 1995; Poulos et al. 1996
η ποτάμ α και τι γίνει στ	Αλιάκμων, Θερμαϊκός κόλπος	2.3X10 ⁹		<42			2%						Voutsinou-Taliadouri & Varnavas 1995; Poulos et al . 1996
τε σχέσ ην πανίδ Ιση έχει	Άραχθος, Αμβρακικός κόλπος Λούρος, Αμβρακικός κόλπος	2.3X10 ⁹ 5.9X10 ⁷		0.1-40					>50	19-1548		4-97	Poulos et al. 1996, Nicolaidou et al. 1983
ινίδας c ες για τι Η μέτρη	Αλφειός, Ιόνιο Πέλαγος	2.1X10 ⁹	2.58										Poulos et al . 1996
ιακροπα 31 μελέτι 30. ***	Αχελώος, Ιόνιο Πέλαγος	3.7X10 ⁹	2.53										Poulos et al . 1996
ις και μ τοιηθεί (20 μέτρο	Πάδος, Αδριατική Θάλασσα	46.4X10 ⁹		8-18			30-75 (g/m ²)	14-190 (mg/m ²)	83-99	4400-21400	69-129 (gYB/m ²) 8.7-15.8 (gC/m ²)	24-63	Degens et al. 1991, Ambrogi et al. 2001, Moodley et al. 1998
ιζήματο αγματοπ θή των ί	Entella, Θάλασσα Λιγκουρίας	7.5X10 ⁹		30	5.27-20.3	αναλυτικό μηδέν	0.19%	0.8 (µg/g)	~5	766-2540	173-1789 (mgΞBAΣ/m ²)	18-89	Fabiano et al . 1995, Albertelli et al . 1999
τήλης, κουν πρι ν ισοβαί	Ροδανός, Κόλπος Λεόντων	60X10 ⁹	3.6X10 ⁶ τόνον/έτος	5-70			3.34%	95 (mg/m ²)	50-75	1770-3448	4.13 - 6.62 (gΞΒΑΣ/m ²)	51-63	Degens et al. 1991, Noel 1996, Barranguet 1997, Gremare et al. 1998
έτρων σ οποίο έ; ολή στη	Ποταμοχείμαρροι, Κόλπος Λεόντων		0.57X10 ⁶ τόνο/έτος										Noel 1996
παραμε Ιος στο την εκβ	Έβρο, Κόλπος El Alfacs	4X10 ⁷		6-20			≤6%		20-80	1850-37150	11 (gEB/m ²)		Palacin et al. 1991, Sarda et al. 1995
φουσίαση εων. *Βά()0 km από	Fly, Κόλπος Παπούα	0.2X10 ⁶		5-50	5-235	0.2 - 4	0.69-1.4%		>95	86-5555	0.1 - 5.8 (gΞBAΣ/m ²)		Salomons & Eagle 1990, Alongi et al. 1992, Alongi 1995, Robertson et al. 1998
εριτική πο ον αποθέσ όσταση 2(Ποταμοχείμαρροι, Κόλπος Παπούα	0.47X10 ⁶	300X10 ⁶ τόνοι/έτος										McFarlane 1980
. Συγι δελταϊκό ει σε απ	Αμαζόνιος, Ατλαντικός	6X10 ¹²	160 (1.2X10 ⁹ τόνοι/έτος)	8-50	10-25**		0.6-0.8%			200-7600	≤6.42 (gYB/m ²) 0.2 - 1.2 (gC/m ²)		Olman 1968, Meade <i>et al</i> . 1985, Aller et al 1996, Aller & Stupakoff 1996
; 3.1.19 σσιων έ έχει γίν	Μισσισιπής, Κόλπος Μεξικού	410X10 ⁹	0.142X10 ⁹ τόνον/έτος	10-20		1.5-3.6	1.70%	37 (µg/g)	>98				Degens et al. 1991, Radziejewska et al. 1996
Τίνακα ς ποθαλά ιέτρηση	Κίτρινος, Σινική Θάλασσα	80.8X10 ⁹	2.14X10 ⁹ τόνο/έτος		26-535 ***								Li et al . 1998
I a ri	Changjiang, Σινική Θάλωσσα	0.925X10 ¹²	0.2X10 ⁹ τόνοι/έτος	5-50						2148-12014	<4(øVR/m ²)		Degens et al. 1991, Rhoads et al. 1985

3.2 Δεύτερο Δειγματοληπτικού πλάνο

3.2.1 Υδρολογικά στοιχεία

Στα Υδρολογικά στοιχεία που μετρήθηκαν στα πλαίσια του δεύτερου πλάνου περιλαμβάνονται οι κάθετες διαβαθμίσεις Θερμοκρασίας, Αλατότητας και Θολερότητας, το βάθος διείσδυσης του φωτός και η συγκέντρωση του διαλυμένου Οξυγόνου. Δυστυχώς, δεν είναι διαθέσιμα τα στοιχεία αυτά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο (Ιανουάριος 2000).





Οι κάθετες διαβαθμίσεις της Θερμοκρασίας, που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.1, κυμαίνονται σε αναμενόμενα για κάθε εποχή επίπεδα ενώ αξιοσημείωτη είναι η κάθετη και οριζόντια ομοιογένεια, ειδικά τον Αύγουστο και Νοέμβριο.



Εικόνα 3.2.2. Κάθετα προφίλ της αλατότητας στη στήλη στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.

Η Αλατότητα εμφανίζει μικρές οριζόντιες και κάθετες διακυμάνσεις (Εικόνα 3.2.2). Ωστόσο οι επιφανειακές τιμές εμφανίζουν σχετικά μεγάλο εύρος διακυμάνσεων, ειδικά το Μάιο, ενδεχομένως λόγω της παρουσίας μετώπου ανάμιξης των γλυκών νερών, που εισρέουν μέχρι τα τέλη Μαΐου από το Σπερχειό, με τις θαλάσσιες μάζες.

Οι τιμές της Θολερότητας στη στήλη του μετώπου του δέλτα (Εικόνα 3.2.3), παρουσιάζουν μεγαλύτερες χωρικές διακυμάνσεις από τις υπόλοιπες υδρολογικές παραμέτρους. Σε γενικές γραμμές, η Θολερότητα είναι τρεις με τέσσερις φορές υψηλότερη στους σταθμούς που βρίσκονται σε απόσταση 1 μιλίου και ειδικά στους σταθμούς που βρίσκονται νότια της εκβολής (π.χ. σταθμός 12). Οι κατά πολύ υψηλότερες τιμές στο επιφανειακό στρώμα της στήλης το Μάιο, αποτελούν ισχυρή ένδειξη εισροής λεπτόκοκκου υλικού από το Σπερχειό. Το Νοέμβριο, όμως, αυξημένα επίπεδα Θολερότητας εμφανίζονται στη στρώση πυθμένα της στήλης, ίσως λόγω επαναιώρησης ή παγίδευσης αιωρούμενου υλικού στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα.



Εικόνα 3.2.3. Διακυμάνσεις της Θολερότητας στη στήλη στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.

Πίνακας 3.2.1. Συσχετίσεις ανάμεσα στις τιμές των υδρολογικών στοιχείων στην στρώση επιφάνειας και πυθμένα της στήλης.

Παράμετρος	Παράμετρος	R	n
επιφάνειας	πυθμένα		

επιφάνειας	πυθμένα		
Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	0.867	22
Αλατότητα	Αλατότητα	0.344	24
Θολερότητα	Θολερότητα	-0.169	24

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι επιφανειακές τιμές αλατότητας και θολερότητας των παραπάνω παραμέτρων από όλες τις εποχές και τους σταθμούς των δύο αποστάσεων, δε συσχετίζονται με τις τιμές της στρώσης πυθμένα της στήλης (Πίνακας 3.2.1). . Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι τα επίπεδα των παραμέτρων αυτών επηρεάζονται από διαφορετικές διεργασίες ανάλογα με το βάθος της στήλης ενώ αυτό δε συμβαίνει με τη θερμοκρασία.

Οι χωρικές διακυμάνσεις του βάθους διείσδυσης του φωτός (Εικόνα 3.2.4), συγκλίνουν με τα προφίλ Θολερότητας, επιδεικνύοντας μικρότερες τιμές το Μάιο. Τέλος, οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων διαλυμένου Οξυγόνου στη στρώση πυθμένα της στήλης, αντανακλούν ένα καλά οξυγονωμένο περιβάλλον (Εικόνα 3.2.5).

3.2.2 Αιωρούμενο υλικό

Στις παραμέτρους αιωρούμενης ύλης που μετρήθηκαν στα πλαίσια του δεύτερου πλάνου περιλαμβάνονται οι συγκεντρώσεις Ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ), Ολικής





Εικόνα 3.2.4. Διακυμάνσεις του βάθους διείσδυσης του φωτός στη στήλη στο μέτωπο του δέλτα.



Εικόνα 3.2.5. Διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου κοντά στον πυθμένα στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.

Στις εικόνες 3.2.6 και 3.2.7 απεικονίζονται οι χωρικές διακυμάνσεις της Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ) και του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών χρωστικών (CPE) στην επιφάνεια της στήλης και κοντά στο πυθμένα. Οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ επιφάνειας και πυθμένα σε όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους, όπως διαπιστώνεται και από την απουσία συσχέτισης μεταξύ των τιμών επιφάνειας και πυθμένα (Πίνακας 3.2.2). Οι διαφορές αυτές είναι εντονότερες τον Ιανουάριο και το Νοέμβριο. Ενδεχομένως, διαφορές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση των θαλάσσιων ρευμάτων κατά μήκος της στήλης, επιβάλλουν διαφορετικά πρότυπα κατανομής και ρυθμών καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, δεν μπορεί να αποκλειστεί ως παράγοντας διαφοροποίησης των στρώσεων επιφάνειας και πυθμένα, η συνεισφορά του επαναιωρούμενου σωματιδιακού υλικού στις συγκεντρώσεις ΑΣΥ κοντά στον πυθμένα. Πίνακας 3.2.2. Συσχετίσεις των τιμών ΑΣΥ, CPE ανάμεσα στις στρώσεις επιφάνειας και πυθμένα της στήλης καθώς και των ΑΣΥ και ΑΣΟΥ με τη Θολερότητα σε όλους τους σταθμούς και τις εποχές του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου

Παράμετρος Ι	Παράμετρος 2	R	n
ΑΣΥ επιφάνειας	ΑΣΥ πυθμένα	0.037	22
CPE επιφάνειας	CPE πυθμένα	0.216	22
ΑΣΥ επιφάνειας	Θολερότητα επιφάνειας	0.707	22
ΑΣΥ πυθμένα	Θολερότητα πυθμένα	-0.432	22
ΑΣΟΥ επιφάνειας	Θολερότητα επιφάνειας	-0.029	22
ΑΣΟΥ πυθμένα	Θολερότητα πυθμένα	-0.198	22

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, επίσης, οι χωρικές και εποχικές διακυμάνσεις του ποσοστού της οργανικής αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (ΑΣΟΥ) επί του ΑΣΥ (Εικόνα 3.2.8). Οι μέγιστες τιμές σημειώνονται τον Ιανουάριο και Νοέμβριο στο στρώμα πυθμένα. Γενικά φαίνεται ότι η συνεισφορά του ΑΣΟΥ είναι υψηλότερη κοντά στο πυθμένα στους σταθμούς που βρίσκονται σε απόσταση 2 μιλίων από την εκβολή του Σπερχειού ενώ είναι υψηλή στην επιφανειακή στρώση στους σταθμούς της μικρότερης απόστασης από την εκβολή. Κατά πάσα πιθανότητα, αυτές οι χωρικές τάσεις στην επιφάνεια και τον πυθμένα της στήλης, αντανακλούν την εξάπλωση των νεφελοειδών στρώσεων επιφάνειας και πυθμένα, αντίστοιχα, στις οποίες έχει παγιδευτεί το ΑΣΟΥ (διάμετρος πόρων <63μm) που περιέχεται στις ποτάμιες εκροές. Με βάση τις τιμές συσχέτισης ανάμεσα στο ΑΣΟΥ και τη Θολερότητα καθώς και ανάμεσα στο ΑΣΥ και τη Θολερότητα (Πίνακα 3.2.2) προκύπτει, επίσης, το συμπέρασμα ότι η συνεισφορά του λεπτόκοκκων αιωρούμενων ιζημάτων στην εκτίμηση της Θολερότητας έχει υποεκτιμηθεί, όπως αναμενόταν (βλ. Υλικά και Μέθοδοι Κεφ. 2.3.2).



Εικόνα 3.2.6. Χωρικές διακυμάνσεις του ΑΣΥ στη στρώση επιφάνειας και πυθμένα στο μέτωπο του δέλτα.



Εικόνα 3.2.7. Χωρικές διακυμάνσεις του Χλωροπλαστικού Ισοδύναμου στις στρώσεις επιφάνειας και πυθμένα στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.

Ο λόγος CPE/AΣOY χρησιμοποιείται εδώ για να εκτιμηθεί η συνεισφορά της οργανικής ύλης φυτοπλαγκτονικής προέλευσης στο AΣOY. Οι διακυμάνσεις του απεικονίζονται στην Εικόνα 3.2.9 για κάθε εποχή χωριστά. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται τον Ιανουάριο στους σταθμούς που βρίσκονται στη μικρότερη απόσταση από την εκβολή και συμπίπτουν με την περίοδο που λαμβάνει χώρα φυτοπλαγκτονική άνθηση στο μέτωπο του δέλτα, προφανώς λόγω αυξημένης εισροής θρεπτικών από το Σπερχειό. Ωστόσο, ο λόγος Χλωροφύλλης α προς το Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (Chla/CPE) είναι σταθερός καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας και ισούται με 0.2% περίπου. Αυτό αποτελεί έμμεση ένδειξη για σταθερούς ρυθμούς *in situ* παραγωγής και αποικοδόμησης της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στο μέτωπο του δέλτα.



Εικόνα 3.2.8. Διακυμάνσεις του ποσοστού ΑΣΟΥ επί του ΑΣΥ στο μέτωπο του δέλτα. Ανοιχτόχρωμοι ράβδοι: επιφάνεια. Σκουρόχρωμοι ράβδοι: πυθμένας.

<u>3.2.3 Τζημα</u>

Στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού εκτιμήθηκαν η κοκκομετρική σύσταση και οι συγκεντρώσεις Ολικού Οργανικού Άνθρακα, Χλωροφύλλης α, και Φαιοχρωστικών. Στην Εικόνα 3.2.10 παρουσιάζεται η βαθυμετρία, κατά προσέγγιση, της περιοχής μελέτης του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.



Εικόνα 3.2.9. Διακυμάνσεις του λόγου Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών χρωστικών (CPE / ΑΣΟΥ % στο μέτωπο του δέλτα. Ανοιχτόχρωμες ράβδοι: επιφάνεια. Σκουρόχρωμες: πυθμένας.



Εικόνα 3.2.10. Βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.

Τα ιζήματα στους σταθμούς δειγματοληψίας υφίστανται μεγάλες αλλαγές της κοκκομετρικής σύστασης κατά τη διάρκεια μελέτης (Εικόνα 3.2.11). Χαρακτηρίζονται ως ιλυώδη καθόλη τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας, όπως φαίνεται τόσο από τις τιμές της Μέσης Διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος όσο και από τα επίπεδα του ποσοστού Ιλύος-Αργίλου. Ο συντελεστής ταξινόμησης (σ1) του ιζήματος υποδεικνύει μέτρια έως κακή ταξινόμηση, δηλαδή σχετικά ετερογενή κατανομή του μεγέθους των κόκκων του ιζήματος. Οι τιμές του συντελεστή λοξότητας (sk1), ποικίλλουν από -0.1 (συμμετρική κατανομή) έως 0.6 περίπου (πολύ ασύμμετρη κατανομή προς λεπτόκοκκα κλάσματα) και αντανακλούν μια τάση για ισομερή κατανομή των κλασμάτων μεγέθους των κόκκων το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Οι παραπάνω συντελεστές εμφανίζουν αξιόλογη χωρική ετερογένεια και υποδηλώνουν χρονικά μεταβαλλόμενους ρυθμούς ιζηματαπόθεσης και υδροδυναμικού καθεστώτος.



Εικόνα 3.2.11. Ανάλυση ιζήματος στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου: Μέση Διάμετρος κόκκων, Συντελεστής Διαλογής (ή ταξινόμησης), Συντελεστής λοξότητας, Ποσοστό Ιλύος Αργίλου (± τυπική απόκλιση μέσου όρου από 4 επαναλήψειςσταθμούς). Ανοιχτόχρωμες ράβδοι: Απόσταση 1 μιλίου από την εκβολή. Σκουρόχρωμες ράβδοι: Απόσταση 2 μιλίων από την εκβολή.

Τα επίπεδα του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) δεν παρουσιάζουν έντονες χωρικές διακυμάνσεις τον Ιανουάριο και Αύγουστο (Εικόνα 3.2.12). Αντίθετα, το Μάιο οι τιμές είναι ελαφρώς αυξημένες στην απόσταση του 1 μιλίου και το Νοέμβριο είναι αυξημένες στην απόσταση του 1 μιλίου και το Νοέμβριο είναι αυξημένες στην απόσταση των 2 μιλίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις των χλωροπλαστικών χρωστικών (Εικόνα 3.2.13) αντιστοιχούν μόλις στο 0.15% περίπου του TOC στο επιφανειακό στρώμα ιζήματος σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας ενώ η ποσοστιαία αναλογία τους είναι ακόμη μικρότερη σε βαθύτερα στρώματα. Από αυτό συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του

οργανικού άνθρακα και της οργανικής ύλης, εν γένει, στο ίζημα δεν προέρχεται άμεσα από τη βιομάζα των πρωτογενών παραγωγών της στήλης ή του ιζήματος στο μέτωπο του δέλτα.



Εικόνα 3.2.12. Κάθετες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του Ολικού Οργανικού Άνθρακα στο μέτωπο του δέλτα (± τυπικό σφάλμα). Ανοιχτόχρωμες ράβδοι: 0-2cm βάθος ιζήματος. Γκρίζες ράβδοι: 2-4cm βάθος ιζήματος. Σκουρόχρωμες ράβδοι: 4-6cm βάθος ιζήματος.



Εικόνα 3.2.13. Κάθετες κατανομές των χλωροπλαστικών χρωστικών (± τυπική απόκλιση μέσου όρου 4 επαναλήψεων) μέσα στο ίζημα στο μέτωπο του δέλτα. Ανοιχτόχρωμες ράβδοι, απόσταση 1 μιλίου και σκουρόχρωμες ράβδοι, απόσταση 2 μιλίων από την εκβολή.

Η κάθετη κατανομή των συγκεντρώσεων των χλωροπλαστικών χρωστικών μέσα στο ίζημα, μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για την ένταση διεργασιών βιοναμόχλευσης καθώς και ιζηματαπόθεσης και ταφής της οργανικής ύλης σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος. Πράγματι, οι κάθετες κατανομές των επιπέδων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών στα ιζήματα στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, υποδηλώνουν την εναπόθεση σχετικά φρέσκου υλικού μικροφυτικής προέλευσης στο επιφανειακό στρώμα του ιζήματος (Εικόνα 3.2.13). Είναι εξίσου πιθανό, βέβαια, να συμβαίνει παράλληλα και παραγωγή φυτικής βιομάζας στην επιφάνεια του ιζήματος από βενθικά μικροφύκη. Αντίθετα, τα βαθύτερα στρώματα ιζήματος περιέχουν πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις των χρωστικών αυτών, προφανώς επειδή έχει ήδη επέλθει αποικοδόμηση των φυτοθρυμμάτων που ενταφιάστηκαν ή μεταφέρθηκαν εκεί από βενθικούς οργανισμούς (βιοαναμόχλευση). Η εικόνα αυτή μεταβάλλεται το Νοέμβριο, οπότε οι διαφορές ανάμεσα στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα είναι λιγότερο εμφανείς.

Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί η σταθερή υπεροχή των συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών στους σταθμούς της κοντινότερης απόστασης στην εκβολή έναντι των τιμών στους σταθμούς της πιο μακρινής απόστασης. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές (p<0.05). Αξιοσημείωτη είναι επίσης η σχετική χρονική ομοιογένεια των επιπέδων χρωστικών, τουλάχιστον στο επιφανειακό στρώμα, από τον Ιανουάριο έως τον Αύγουστο. Παρόλα αυτά, οι χωρικές διακυμάνσεις των χλωροπλαστικών χρωστικών στα επιφανειακά ιζήματα και στο στρώμα πυθμένα της στήλης δεν συμπίπτουν χρονικής, κυρίως δε μικροφυτικής βιομάζας, στα επιφανειακά ιζήματα στο μέτωπο του δέλτα.

Μέτρο του βαθμού αποικοδόμησης της φυτικής βιομάζας αποτελεί ο λόγος της Χλωροφύλλης α προς το Ισοδύναμο χλωροπλαστικών χρωστικών (Chl a / CPE). Στην παρούσα περίπτωση, ο λόγος αυτός μαρτυρά ότι η φυτική βιομάζα έχει υποστεί διάσπαση σε μεγαλύτερο βαθμό στα υποεπιφανειακά παρά στα επιφανειακά ιζήματα (Εικόνα 3.2.15). Αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς στην επιφάνεια του ιζήματος παράγεται ή /και εναποτίθεται φρέσκια φυτική βιομάζα που δεν έχει ακόμη αποσυντεθεί. Παρόλα αυτά, το Νοέμβριο η κάθετη κατανομή των λόγων αποκαλύπτει μικρότερες διαφορές ανάμεσα στην επιφάνεια και τα βαθύτερα στρώματα του ιζήματος. Το αποτέλεσμα αυτό συνδυάζεται με υπερδιπλάσιες τιμές του λόγου στα υποεπιφανειακά στρώματα. Εκτός από διεργασίες βιοναμόχλευσης, αυτό μπορεί να οφείλεται στη διατάραξη των λεπτόκοκκων ιζημάτων εξαιτίας ρευμάτων πυθμένα που επαναιωρούν και ομογενοποιούν τα πρώτα εκατοστά μέσα στο ίζημα. Η δεύτερη πιθανότητα συνδέεται με τις αρνητικές τιμές του συντελεστή λοξότητας κατά το Νοέμβριο, οι οποίες υποδηλώνουν διατήρηση των κόκκων του ιζήματος –προφανώς των μικρότερων μεγεθών- υπό αιώρηση (King 1972). Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται από την ισχυρή σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων (Πίνακας 3.2.3)



Εικόνα 3.2.14. Σχέση των συγκεντρώσεων των Χλωροπλαστικών χρωστικών στα επιφανειακά ιζήματα με τις συγκεντρώσεις τους στη στρώση πυθμένα της στήλης. Ρόμβοι:Χλωροφύλλη α. Τετράγωνα: Φαιοχρωστικές.





	Παράμετρος 1	Παράμετρος 2	R	n
Όλες οι	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής λοξότητας	-0.405	30
εποχές	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής	-	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής λοξότητας	-0.034	30

	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής	0.100	30
	CPE (0-2) cm / CPE (4-	Συντελεστής	-0.807	30
Ιανουάριος	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής	-0.370	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής λοξότητας	0.112	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής	-0.010	30
	CPE (0-2) cm / CPE (4-	Συντελεστής	-0.719	30
Μάιος	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής	0.392	30
5	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής λοξότητας	0.306	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής	-0.298	30
	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής λοξότητας	0.462	30
Αύνουστος	CPE (0-2) cm / CPE (4-6)	Συντελεστής	-0.370	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής λοξότητας	-0.358	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής	0.038	30
Νοάυθαιος	CPE (0-2) cm / CPE (4-	Συντελεστής	-0.710	30
	CPE (0-2) cm / CPE (4-	Συντελεστής	-0.735	30
τισεμρριος	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής λοξότητας	-0.442	30
	TOC (0-2) cm / TOC (4-	Συντελεστής	-0.034	30

Συμπερασματικά, θεωρείται ότι στα ιζήματα του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού οι ρυθμοί ταφής και αποικοδόμησης της μικροφυτικής βιομάζας αντισταθμίζονται από παραγωγή και εναπόθεση μικροφυτικής βιομάζας στα επιφανειακά ιζήματα σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του

έτους. Τόσο οι ρυθμοί αυτοί όσο και η ποσότητα της οργανικής ύλης φυτικής προέλευσης που είναι διαθέσιμη στους βενθικούς οργανισμούς, παρουσιάζουν χωρικές διακυμάνσεις οι οποίες, κατά τα φαινόμενα, συνδέονται με διακυμάνσεις στο καθεστώς ιζηματαπόθεσης στο μέτωπο του δέλτα (Πίνακας 3.2.3).

3.2.4 Πανίδα

Όπως ήδη αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2.2, οι σταθμοί κάθε απόστασης θεωρήθηκαν τυχαίες επαναληπτικές μονάδες κατά τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, αποσκοπώντας στην εξάλειψη προβλημάτων ψευδοεπαναληψιμότητας. Ωστόσο, σε κάθε σταθμό έχουν ήδη παρθεί 3 επαναλήψεις. Στην περίπτωση της περιγραφής των πανιδικών παραμέτρων (αφθονία, βιομάζα, ποικιλότητα), δίνεται ο μέσος όρος από τις επαναλήψεις σε κάθε σταθμό, προκειμένου να κριθεί η αποτελεσματικότητα του δειγματοληπτικού οργάνου.

Στις εικόνες 3.2.16 και 3.2.17 παρουσιάζονται οι ολικοί αριθμοί ατόμων / m² και η συνεισφορά κάθε μιας από τις κύριες ταξινομικές ομάδες στην ολική αφθονία, αντίστοιχα, σε όλους τους σταθμούς και τις εποχές του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. Τα μικρού εύρους τυπικά σφάλματα σε όλους τους σταθμούς καταδεικνύουν την ακρίβεια του δειγματοληπτικού εργαλείου. Το εύρος, όμως, των διακυμάνσεων ανά απόσταση και εποχή ποικίλλει και σε κάποιες περιπτώσεις είναι αρκετά μεγάλο. Παρόλα αυτά, δεν τεκμαίρονται συγκεκριμένες χωρικές και εποχικές τάσεις της ολικής αφθονίας. Οι Πολύχαιτοι τον Ιανουάριο και Μάιο, και τα Μαλάκια τον Αύγουστο και Νοέμβριο επικρατούν αριθμητικά στους σταθμούς που βρίσκονται στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού.



Εικόνα 3.2.16. Ολική αφθονία (αριθμός ατόμων / m²) (\pm τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. St, αντιστοιχεί σε Station (=Σταθμός).



Εικόνα 3.2.17. Αριθμός ατόμων / m² των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων σε όλους τους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.



Εικόνα 3.2.18. Διακυμάνσεις της Ολικής Ξηρής Βιομάζας / m^2 (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. St, αντιστοιχεί σε Station (=Σταθμός).



Εικόνα 3.2.19. Διακυμάνσεις της Ολικής Ξηρής Βιομάζας Απαλλαγμένης Στάχτης / m² (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. St, αντιστοιχεί σε Station (=Σταθμός).

Τα επίπεδα Ξηρής Βιομάζας και Ξηρής Βιομάζας Απαλλαγμένης Στάχτης (ΞΒΑΣ) αυξάνονται στους περισσότερους σταθμούς κατά τον Αύγουστο και Νοέμβριο (Εικόνες 3.2.18 και 3.2.19, αντίστοιχα). Το ελάχιστο εύρος διακυμάνσεων μεταξύ των σταθμών-επαναλήψεων της ίδιας απόστασης παρατηρείται το Μάιο. Οι Πολύχαιτοι και τα Μαλάκια επικρατούν έναντι των άλλων ταξινομικών ομάδων επί των ολικών τιμών βιομάζας (Εικόνες 3.2.20 και 3.2.21).







Εικόνα 3.2.21. Διακυμάνσεις της Συνεισφοράς της Ξηρής Βιομάζας Απαλλαγμένης Στάχτης των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων επί της Ολικής ΞΒΑΣ στο μέτωπο του δέλτα.

Όσον αφορά την ποικιλότητα, μόνο σε δυο σταθμούς (Σταθμοί 12 και 24) παρατηρούνται περισσότερα από 40 είδη ανά δείγμα (Εικόνα 3.2.21). Οι Πολύχαιτοι και τα Μαλάκια εκπροσωπούνται από τα περισσότερα είδη σε σχέση με τις υπόλοιπες ταξινομικές ομάδες (Εικόνα 3.2.22). Το μικρότερο εύρος τιμών παρατηρείται το Νοέμβριο, οπότε και σημειώνονται τα χαμηλότερα μέγιστα αριθμού ειδών. Από τα αποτελέσματα αυτά δε μπορεί να διατυπωθεί σαφής άποψη σχετικά με την επίδραση του εποχικού κύκλου ροής του Σπερχειού στον ολικό αριθμό ειδών. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει κανείς λαμβάνοντας υπόψιν και άλλους δείκτες ποικιλότητας. Για παράδειγμα, ο δείκτης ομοιομορφίας Pielou λαμβάνει τιμές πάνω από 0.8 σε όλους σχεδόν τους σταθμούς τον Ιανουάριο και το Νοέμβριο ενώ παράλληλα το εύρος τιμών του δείκτη Shannon-Wiener δε μεταβάλλεται εποχικά (Εικόνα 3.2.23). Τέλος, ο δείκτης Μargalef (d') συνοψίζει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την καταμέτρηση του αριθμού ειδών ανά δείγμα (Εικόνα 3.2.24).



Εικόνα 3.2.22. Διακυμάνσεις του Ολικού Αριθμού Ειδών / δείγμα (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. St, αντιστοιχεί σε Station (=Σταθμός).



Εικόνα 3.2.22. Διακυμάνσεις της Συνεισφοράς του Αριθμού Ειδών / δείγμα των Πολύχαιτων, Εχινοδέρμων, Μαλακίων, Καρκινοειδών και της ομάδας των Διαφόρων επί του Ολικού Αριθμού Ειδών /δείγμα στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.

Η σύγκριση των σταθμών ως προς δείκτες ποικιλότητας που δεν επηρεάζονται από το μέγεθος δείγματος οδηγεί σε ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Έτσι, οι καμπύλες του αναμενόμενου αριθμού ειδών αποκαλύπτουν έντονες χωρικές διακυμάνσεις της ποικιλότητας στο μέτωπο του δέλτα (Εικόνα 3.2.25), χωρίς όμως να διακρίνεται συγκεκριμένο χωρικό πρότυπο. Τα διαγράμματα k-dominance, από την άλλη μεριά, επίσης αναδεικνύουν την ύπαρξη μεγάλης χωρικής ετερογένειας των παραγόντων που προσδιορίζουν τα δύο καθοριστικά στοιχεία της ποικιλότητας, δηλαδή τον αριθμό ειδών και την ομοιομορφία. Οι καμπύλες k-dominance των σταθμών που βρίσκονται στο μέτωπο του δέλτα, τέμνονται μεταξύ τους σε όλες τις αποστάσεις από την εκβολή και σε όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους (Εικόνες 3.2.26). Παρόλα αυτά, οι σύνθετες καμπύλες k-dominance που προκύπτουν από το μέσο όρο κάθε

απόστασης συμπίπτουν χρονικά, υποδηλώνοντας ότι συνολικά στο μέτωπο του δέλτα η ποικιλότητα παραμένει σταθερή (Εικόνα 3.2.27), παρά την επενέργεια ποικίλλων παραγόντων.



Εικόνα 3.2.23. Διακυμάνσεις των δεικτών ομοιομορφίας Pielou (J') (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) και Shannon-Wiener (H') (± τυπικό σφάλμα) στους σταθμούς του δεύτερου



Εικόνα 3.2.24. Διακυμάνσεις του δείκτη ποικιλότητας Margalef (d') (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. St, αντιστοιχεί σε Station (=Σταθμός).



Εικόνα 3.2.25. Καμπύλες αναμενόμενου αριθμού ειδών για κάθε σταθμό και εποχή ξεχωριστά του Δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου για διάφορα μεγέθη δείγματος (n).

Σε γενικές γραμμές, οι τιμές ολικής αφθονίας, βιομάζας, ολικού αριθμού ειδών καθώς και των δεικτών ποικιλότητας Shannon και Pielou στους σταθμούς του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου, κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού
πλάνου (Πίνακας 3.2.4, Εικόνα 3.2.28). Έτσι, με ασφάλεια συμπεραίνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές των βιοτικών παραμέτρων στο Μαλιακό κόλπο, σημειώνονται κοντά στην εκβολή του Σπερχειού ποταμού. Παρόλα αυτά δεν προκύπτουν ενδείξεις για διαβάθμιση αυτών από την Εκβολή προς τον Εξωτερικό Μαλιακό, αφού τα μέγιστα αφθονίας και αριθμού ειδών παρατηρούνται στον Εσωτερικό Μαλιακό αλλά εκτός των κυρίων αποθέσεων (μέτωπο) του δέλτα.

Όσον, δε, αφορά τα κυρίαρχα είδη στο μέτωπο του δέλτα, όπως τα Lumbrineris latreilli, Nephtys hystricis, Tauberia gracilis, Anodontia fragilis, Mysella bidentata Kon Hyala vitrea, or εποχικές διακυμάνσεις που παρουσιάζουν, φαινομενικά τουλάχιστον, ακολουθούν τα εποχικά πρότυπα που ισχύουν για την Ανατολική Μεσόγειο, με αυξημένη, δηλαδή, παρουσία προς το τέλος της άνοιξης έως το καλοκαίρι. Πράγματι, συγκρίνοντας τις εποχικές διακυμάνσεις των ειδών που είναι σημαντικά στο μέτωπο του δέλτα (δεύτερο πλάνο) και τους σταθμούς του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου, διαπιστώνεται ότι, κατά κανόνα, οι μέγιστες τιμές αφθονίας σημειώνονται το Μάιο και τον Αύγουστο (Πίνακας 3.2.5). Αξίζει, ωστόσο, να επισημανθεί ότι τα μέγιστα αφθονίας των ειδών ανάμεσα στα δύο πλάνα δειγματοληψίας δεν συμπίπτουν χρονικά. Για παράδειγμα, τα είδη Lumbrineris latreilli και Ampelisca sp. κατά τη διάρκεια του πρώτου πλάνου παρουσιάζουν μέγιστη αφθονία το Μάιο ενώ κατά τη διάρκεια του δεύτερου, τον Αύγουστο. Εντύπωση προκαλούν, επίσης, οι διακυμάνσεις του Leptocheirus mariae, το οποίο στους σταθμούς του πρώτου πλάνου σημειώνει ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό ατόμων το Μάιο ενώ στο δεύτερο πλάνο το Νοέμβριο. Οι διαφορές αυτές μπορεί να έχουν απλά προκύψει από το γεγονός ότι οι δειγματοληψίες των δύο πλάνων διαφέρουν γρονικά –ο Μάιος του πρώτου πλάνου αντιστοιχεί στο Μάιο 2001 ενώ ο Μάιος του δεύτερου πλάνου στο Μάιο 2000.

Πίνακας 3.2.4. Σύγκριση μεταξύ πρώτου και δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου ως προς τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της ολικής αφθονίας, ΞΒΑΣ, του ολικού αριθμού ειδών και των δεικτών ποικιλότητας Shannon (H') και Pielou (J').. Από τη σύγκριση εξαιρέθηκαν οι σταθμοί του πρώτου πλάνου με αδρό υπόστρωμα (σταθμοί 1 και 5). Σε παρένθεση ο μήνας δειγματοληψίας.

Παράμετρος	Πρώτο Δειγματολ	ληπτικό πλάνο	Δεύτερο Δειγματοληπτικό πλάνο		
	min	max	min	max	
Ολική αφθονία	1427	8486	840	5726	
	άτομα / m ²	άτομα / m ²	άτομα / m ²	άτομα / m ²	
	(A)	(M)	(A)	(M)	
Ολική ΞΒΑΣ	0.32	3.49	0.37	1.93	
	gr / m ²	gr / m ²	gr / m ²	gr / m ²	
	(A)	(A)	(I)	(A)	
Ολικός αριθμός ειδών	18	55	16	51	
	είδη / δείγμα	είδη / δείγμα	είδη / δείγμα	είδη / δείγμα	
	(A)	(M)	(I, N)	(I)	
Δείκτης Shannon-Wiener (H')	<i>ίκτης Shannon-Wiener</i> (<i>H'</i>) 2.23 4.97 ψηφία / άτομο ψηφία / άτομο (A) (Φ)		1.86 ψηφία / άτομο (M)	2.95 ψηφία / άτομο (M)	
Δείκτης Pielou (J')	0.70	0.89	0.68	0.89	
	(Ф)	(A)	(M)	(A)	



Εικόνα 3.2.26. Καμπύλες k-dominance για κάθε σταθμό και εποχή ξεχωριστά (Δεύτερο δειγματοληπτικό πλάνο).



Εικόνα 3.2.27. Καμπύλες k-dominance για κάθε απόσταση και εποχή ξεχωριστά (Δεύτερο δειγματοληπτικό πλάνο). Η απόσταση του 1 μιλίου από την εκβολή συμβολίζεται με 1 ενώ η απόσταση 2 μιλίων από την εκβολή συμβολίζεται με 2.

Επιπλέον, η εξέταση των κατανομών συχνότητας των αφθονιών των κυρίαρχων ειδών στα δύο πρώτα δειγματοληπτικά πλάνα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι υψηλότερες τιμές αφθονίας των περισσότερων από αυτά, σημειώνονται εκτός μετώπου του δέλτα και μάλιστα στους σταθμούς του πρώτου πλάνου (Εικόνα 3.2.29). Ωστόσο, υπάρχουν είδη που επιδεικνύουν μεγαλύτερους αριθμούς ατόμων στο μέτωπο παρά σε άλλες περιοχές του κόλπου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τα δίθυρα Mysella bidentata, Anodontia fragilis και Corbula gibba (Πίνακας 3.2.5). Παρατηρείται, επίσης, ότι οι διαφορές μεταξύ των ελάχιστων και μέγιστων τιμών είναι μικρότερες στο μέτωπο του δέλτα (Πίνακας 3.2.5, Εικόνα 3.2.29). Είναι πιθανόν ότι το μικρότερο εύρος τιμών αφθονίας προκύπτει από τη δράση παραγόντων, όπως η υψηλή στερεοπαροχή και ο τρόπος διευθέτησης των ιζημάτων στον υποθαλάσσιο χώρο από τα ρεύματα, οι οποίοι ομογενοποιούν αριθμητικά τους πληθυσμούς των βενθικών ασπόνδυλων κοντά στην εκβολή του Σπερχειού περιορίζοντας τη δραματική αύξηση. Εάν αυτή η υπόθεση ισχύει τότε θα πρέπει να διευκολύνεται η συνεχής τροφοδοσία της περιοχής του υποθαλάσσιου δέλτα με προνυμφικά στάδια, ώστε να διατηρούνται οι πληθυσμοί των ειδών σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Εντούτοις, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι περισσότεροι από τους Πολύχαιτους που σημειώνουν σχετικά υψηλές αφθονίες στις κύριες αποθέσεις του μετώπου, εμφανίζουν άμεση ανάπτυξη χωρίς τη μεσολάβηση πελαγικών προνυμφικών σταδίων (Giangrande 1997). Η στρατηγική αυτή, κατά την οποία στις περισσότερες περιπτώσεις η αναπαραγωγή λαμβάνει χώρα συνεχώς, επιτρέπει τη διατήρηση του πληθυσμού σε σταθερά επίπεδα και για το λόγο αυτό ευνοείται σε περιβάλλοντα που υφίστανται κάποιας μορφής διατάραξη (Giangrande 1997). Το ίδιο ισχύει και για τα είδη Αμφιπόδων και Ανισόποδων, όπως διαπιστώθηκε από προσωπικές Από την άλλη μεριά όμως τα είδη Δίθυρων και Γαστερόποδων, που παρατηρήσεις. παρουσιάζουν τις μέγιστες αφθονίες τους στους σταθμούς του δεύτερου πλάνου, απελευθερώνουν πελαγικές, πλαγκτονοτροφικές ή λεκιθοτροφικές, προνύμφες (Rupert & Barnes 1994). Θεωρείται, δε, ότι η μακράς διάρκειας πελαγική ζωή επιτρέπει στα είδη να ανταποκριθούν σε μεγάλης κλίμακας διαταραχές ενώ μικρής διάρκειας πελαγική ζωή παραπέμπει σε ηπιότερα φαινόμενα όχλησης (Levin 1984).

Εξετάζοντας, λοιπόν τον τρόπο προνυμφικής ανάπτυξης, συμπεραίνεται ότι η βενθική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου, ειδικά στο μέτωπο του δέλτα, είναι προσαρμοσμένη σε συνθήκες έντονης μεταβλητότητας και διατάραξης, ανταποκρινόμενη στις επικρατούσες συνθήκες με άμεση ανάπτυξη και παρατεταμένη αναπαραγωγική περίοδο καθώς και με μεγάλη παραγωγή πελαγικών προνυμφών. Από την εμφανή επιτυχία των Μαλακίων στο μέτωπο του δέλτα, διαπιστώνεται ότι ο δεύτερος τύπος ανάπτυξης αποδίδει περισσότερο υπό τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αυτή.

Η κατάσταση που μόλις περιγράφηκε παρουσιάζει ομοιότητες με τη βιοκοινωνία της υφαλοκρηπίδας του Αμαζονίου, όπου τα ίδια γένη με αυτά που επικρατούν στις κύριες αποθέσεις

του Σπερχειού (Aller & Stupakoff 1996) (π.χ. Corbula, Nephtys, Phoronis, Lumbrineris, γένη της οικογένειας Paraonidae) επιτυγχάνουν μεγάλες αφθονίες παρά τη φυσική όχληση. Εκτός από λειτουργικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με τον τρόπο διατροφής και τη θέση διαβίωσης στο ίζημα (έχει ήδη γίνει αναφορά σε αυτά στο Κεφ. 3.1.4), η τροφοδοσία των διαταραγμένων περιοχών της υφαλοκρηπίδας του Αμαζονίου με προνύμφες από την ευρύτερη δεξαμενή του ΝΔ Ατλαντικού, θεωρείται υψίστης σημασίας για τη διατήρηση αυτών των πληθυσμών (Aller & Stupakoff 1996). Τηρουμένων επομένως των αναλογιών, μπορεί να θεωρηθεί ότι η κατάσταση της βιοκοινωνίας σε περιοχές του εξωτερικού και εσωτερικού Μαλιακού, εκτός μετώπου, είναι καθοριστική για τη διατήρηση των μεγάλων πληθυσμών στο μέτωπο του δέλτα. Με άλλα λόγια, η σύνθεση της μακροπανίδας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού και η δυνατότητα ανάκαμψής της υπό την επικράτεια του κόλπου.

Το μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, παρά το γεγονός ότι αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος του Μαλιακού κόλπου, αντιπροσωπεύει μια περιοχή όπου λαμβάνουν χώρα έντονες μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται εάν, πώς και κατά πόσον επηρεάζεται η δομή της βενθικής βιοκοινωνίας από τις διάφορες πηγές μεταβλητότητας και όχλησης που επενεργούν στο μέτωπο του δέλτα.







Εικόνα 3.2.28. Κατανομή κατά συχνότητες της ολικής αφθονίας, ΞΒΑΣ, αριθμού ειδών σε όλους τους σταθμούς του πρώτου και δεύτερου πλάνου.. Οι σταθμοί του πρώτου πλάνου που υποδεικνύονται με τόξο, βρίσκονται στον εσωτερικό Μαλιακό (Σταθμοί 3, 4, 6, 8).

Πίνακας 3.2.5. Σύγκριση μεταξύ πρώτου και δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου ως προς τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές αφθονίας των κυρίαρχων ειδών στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Από τη σύγκριση εξαιρέθηκαν οι αφθονίες που σημειώθηκαν στους σταθμούς 1 και 5 του πρώτου πλάνου λόγω αδρού υποστρώματος. Σε παρένθεση ο μήνας δειγματοληψίας.

	Πρώτο Δειγματ	οληπτικό πλάνο	Δεύτερο Δειγματοληπτικό πλάνο			
Είδος	min	max	min	max		
	άτομα / m^2	άτομα / m^2	άτομα / m^2	άτομα / m^2		
Lumbrineris	0	3945	28	1107		
latreilli	(A)	(M)	(N)	(A)		
Nephtys	0	1745	0	273		
hystricis	(N)	(M)	(A)	(M)		
Tauberia	0	4570	0	673		
gracilis	(A, N)	(M)	(A, N)	(M)		

Anodontia	0	653	0	1013
fragilis	(N, Φ, M)	(A)	(I, M, A, N)	(M)
Mysella	80	553	53	780
bidentata	(Φ)	(A, Φ, M)	(I, N)	(A)
Hyala vitroa	0	593	27	613
11yulu viireu	(Φ)	(N)	(I)	(A)
Corbula gibba	0	206	27	1300
Corbuia gibba	(A, M)	(M)	(A)	(M)
Thyasira	0	347	0	127
flexuosa	(A)	(M)	(I, M)	(A)
Ampalisagen	27	7050	7	287
Ampelisca sp.	(N)	(M)	(I)	(A)
Leptocheirus	0	2960	0	340
mariae	(A)	(M)	(I,A,N)	(N)
Apseudes	0	407	0	413
latreilli	(A_M)	(M)		(A)
mediterranea	(11,111)		(1, 11, 11)	



Εικόνα 3.2.29. Κατανομές των αφθονιών των κυρίαρχων ειδών του πρώτου και δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. Μαύρο: 1° Πλάνο. Διαφανές: 2° Πλάνο.

3.2.5 Δομή της Βιοκοινωνίας

Στο κεφάλαιο αυτό λαμβάνει χώρα η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν και διαμορφώνουν τη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Αρχικά ελέγχθηκε η υπόθεση του παραγοντικού μοντέλου του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου (διερευνώνται οι διαφορές μεταξύ αποστάσεων, μεταξύ εποχών και η επίδραση της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης) με την εφαρμογή μη παραμετρικής πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διακύμανσης (npMANOVA). Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα είδη που βρέθηκαν πάνω από μία φορά κατά τη διάρκεια των τεσσάρων δειγματοληπτικών επισκέψεων. Συγκεκριμένα η μήτρα δεδομένων αποτελούνταν από 110 είδη και οι αφθονίες των ειδών υποβλήθηκαν σε 9999 τυχαίους ανασυνδυασμούς.

Πίνακας 3.2.6. Αποτελέσματα της μη παραμετρικής MANOVA με βάση τα είδη και το μοντέλο του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου, σε επίπεδο σημαντικότητας p=0.05. df: Βαθμοί ελευθερίας, SS: Άθροισμα τετραγώνων, MS: Μέσα τετράγωνα, No. perm: Δυνατοί τυχαίοι ανασυνδυασμοί.

Πηγή Μοταθλητότητας	df	SS	MS	F	р	No. perm
Μεταβλητοτητάς	1	4557.4 8	4557.48	2.4515	0.0007	0.3 x 10 ⁹
Εποχή	3	7530.8 7	2510.29	1.3503	0.0406	
Απόσταση Χ Εποχή	3	9160.1 6	3053.38	1.6424	0.0018	10 ¹⁰
Σφάλμα	24	44617.	1859.04			
Σύνολο	31	65865.				

Πίνακας 3.2.7. A posteriori συγκρίσεις των δοκιμών ανά ζεύγη με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2.4 σε επίπεδο σημαντικότητας p=0.05. Με έντονα γράμματα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές. Fperm: F που έχει υπολογιστεί με βάση τους τυχαίους ανασυνδυασμούς. No. perm: Δυνατοί τυχαίοι ανασυνδυασμοί.

Σύγκριση εντός επιπέδων του	Fperm	р	No. perm

Μάιος (από	όσταση 1 vs απόσταση	1.4168	0.035	35
Αύγουσ	τος (απόσταση 1 vs	1.2999	0.030	35
Νοέμβρ	οιος (απόσταση 1 vs	1.3528	0.125	35
Σύγκρισι παοά	η εντός επιπέδων του	Fperm	р	No. perm
Απόσταση 1	. (Ιανουάριος vs Μάιος)	1.1681	0.1090	35
	(Ιανουάριος vs	1.4272	0.0290	35
Αύγουστος)		1.6057	0.0370	35
Νοάνβοιος)	(Ιανουάριος vs	1.4121	0.055	35
ποεμρριος)	(Μάιος vs Αύγουστος)	1.1868	0.2080	35
Απόσταση 2	. (Ιανουάριος vs Μάιος)	0.9044	0.6700	35
	(Ιανουάριος vs	0.9527	0.5390	35
Αύγουστος)		1.0449	0.3030	35
Νοάμβοιος)	(Ιανουάριος vs	1.1384	0.2540	35
ποεμρριος)	(Μάιος vs Αύγουστος)	1.2925	0.0530	35

Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.2.6, όπου διαπιστώνεται ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ Εποχής και Απόστασης είναι σημαντική, οπότε δεν έχει νόημα να εξεταστούν ξεχωριστά οι επιμέρους επιδράσεις των δύο παραγόντων του μοντέλου. Από τις *a posteriori* συγκρίσεις των δοκιμών ανά ζεύγη προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα (Πίνακας 3.2.7). Συγκεκριμένα, η επίδραση της Απόστασης από την εκβολή του Σπερχειού στη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας είναι σημαντική κατά το Μάιο και Αύγουστο. Από την άλλη μεριά, η επίδραση της Εποχής είναι σημαντική στην απόσταση του 1 μιλίου από την εκβολή όχι όμως και στην απόσταση των 2 μιλίων, όπου δεν ανιχνεύθηκαν σημαντικές εποχικές διακυμάνσεις. Υπενθυμίζεται, βέβαια, ότι

τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2.6 δεν έχουν διορθωθεί για πολλαπλές συγκρίσεις που αφορούν το σύνολο των ομάδων δεδομένων. Ως εκ τούτου, υπάρχει πάντα 1:20 πιθανότητα να αποβεί κάποια σύγκριση σημαντική, χωρίς στην πραγματικότητα να είναι, για επίπεδο σημαντικότητας α=0.05. Επειδή, όμως, ο στατιστικός έλεγχος είναι ακριβής, δηλαδή το σφάλμα Τύπου Ι είναι ίσο με το επίπεδο σημαντικότητας, είναι στην κρίση του ερευνητή η ερμηνεία της έκβασης των *a posteriori* ελέγχων της npMANOVA (Anderson 2001α). Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα αυτά θα αξιολογηθούν σε συνδυασμό με την CAP ανάλυση (Κανονική Ταξινομική Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων) που θα αναπτυχθεί αργότερα στο παρόν κεφάλαιο.

Επίσης, όπως ήδη αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 οι διαφορές που ανιχνεύονται από την npMANOVA δεν οφείλονται μόνο σε διαφορές των μέσων τιμών των ομάδων δεδομένων (κεντροειδή) που συγκρίνονται αλλά και σε διαφορές ως προς τη διασπορά των ομάδων αυτών στον πολυμεταβλητό χώρο (Anderson 2001α). Το διάγραμμα διευθέτησης με nMDS, επιτρέπει τη διαλεύκανση των αποτελεσμάτων της npMANOVA, καθώς αποδίδει, ως ένα βαθμό, τη διασπορά των δεδομένων. Ωστόσο, ο χάρτης των σημείων που προέκυψε με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μοιάζει με ένα συγκεχυμένο νέφος με τα δύο επίπεδα της Απόστασης και τα 4 επίπεδα της Εποχής να μη διακρίνονται εύκολα μεταξύ τους (Εικόνα 3.2.30α). Αυτό αντανακλά εποχική επικάλυψη αφενός και αφετέρου μεγάλη εξάπλωση των δεδομένων σε κάθε Απόσταση από την εκβολή. Αν και δεν είναι εύκολο να αξιολογηθεί το εύρος της διασποράς από κάθε ομάδα δεδομένων, ωστόσο είναι φανερό ότι το Μάιο η διασπορά των σημείων που ανήκουν στην Απόσταση 2 είναι πολύ μικρότερη από τη διασπορά των σημείων που ανήκουν στην Απόσταση 1. Επίσης, διακρίνονται έντονες διαφορές στη διασπορά των σημείων ανάμεσα στις δύο αποστάσεις τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο, ενώ το Νοέμβριο οι διαφορές αυτές είναι μικρότερες. Οι ομάδες, δε, που συστήνονται, αποτελούν ένα μωσαϊκό Αποστάσεων και Εποχών, όπως διαπιστώνεται και από την Ιεραρχική Ανάλυση Ομάδας (Εικόνα 3.2.30β). Ο έλεγχος της πολυμεταβλητής διασποράς, όμως, έδειξε ότι δεν υφίστανται διαφορές στη διασπορά των ειδών ως προς αυτούς τους παράγοντες (Πίνακας 3.2.8).

Χάριν ευκρίνειας, η nMDS δεν απεικονίζεται με τη μορφή Ευκλείδειου biplot. Οı διακυμάνσεις, όμως, των ειδών, που κατά κύριο λόγο συμβάλουν στη συγκεκριμένη διευθέτηση των σταθμών, έχουν δηλαδή μεγάλο άνυσμα και αφθονία μεγαλύτερη από 50 άτομα / m^2 σε όλες τις επογές παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2.31. Είναι εμφανείς οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις ανά απόσταση των ειδών αυτών, κάποια από τα οποία επιδεικνύουν τις υψηλότερες αφθονίες που σημειώνονται στο μέτωπο του δέλτα και συνεπώς επηρεάζουν τις διακυμάνσεις της ολικής αφθονίας καθώς και της βιομάζας και της ποικιλότητας εν γένει Ειδικότερα, ο Πολύχαιτος Lumbrineris latreilli, τα Δίθυρα Anodontia fragilis και Mysella bidentata και το Αμφίποδο Corrophium runcicorne, παρουσιάζουν εύρος τιμών ανά απόσταση που προσεγγίζει τα 150 άτομα / m^2 , αν και αυτό παρατηρείται μόνο μία ή δύο το πολύ φορές κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Επιπλέον, τα είδη αυτά εμφανίζουν έντονη παρουσία (>400 άτομα / m^2) τη μία επογή ενώ στην επόμενη εκπροσωπούνται από πολύ μικρούς πληθυσμούς ατόμων (<25 άτομα / m²). Τούτο το χωρικό πρότυπο των συγκεκριμένων ειδών ανά εποχή, ενδεχομένως, επηρεάζει και τις ολικές τιμές αφθονίας, βιομάζας και δεικτών ποικιλότητας. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν στατιστικοί έλεγχοι των διακυμάνσεων των αφθονιών αυτών των ειδών και των ολικών τιμών των πανιδικών δεδομένων με βάση το μοντέλο του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. Οι έλεγχοι έγιναν με παραμετρική όσο και με μη-παραμετρική (δηλαδή με τη μέθοδο των τυχαίων ανασυνδυασμών) ΑΝΟVΑ. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.2.9. Από αυτά προκύπτει ότι τόσο οι επιμέρους επιδράσεις όσο και η αλληλεπίδραση των παραγόντων του μοντέλου (Απόσταση, Επογή) δεν είναι στατιστικά σημαντικές, με εξαίρεση τις διακυμάνσεις της αφθονίας του είδους A. fragilis. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι η διασπορά των πολυμεταβλητών δεδομένων δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 3.2.8. Έλεγχος πολυμεταβλητής διασποράς με βάση το μοντέλο του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσα τετράγωνα	F- λόγος	р	Τυχαίοι ανασυνδυασμοί
Απόσταση	1	85.17	85.17	2.67	0.12	3 X 10 ⁸
Εποχή	3	280.39	93.46	2.93	0.06	>10 ¹⁰
Απόσταση Χ Εποχή	3	215.38	71.79	2.25	0.11	>10 ¹⁰
Σφάλμα	24	764.98	31.87			
Σύνολο	31	1345.93				

Πίνακας 3.2.9. Αποτελέσματα παραμετρικής και μη-παραμετρικής Ανάλυσης Διακύμανσης (τυχαίοι ανασυνδυασμοί επί των αρχικών παρατηρήσεων) των ολικών τιμών αφθονίας, αριθμού ειδών, ΞΒΑΣ καθώς και της Ομοιομορφίας (J') για κάθε σταθμό με βάση το μοντέλο του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου. Με έντονα γράμματα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές. Fperm: Στατιστικό κριτήριο με βάση τους τυχαίους ανασυνδυαμούς.

Μεταβλητή	Πηγή Μεταβλητότητας	Παραμετρική ΑΝΟVΑ		Μη-παραμετρική ANOVA	
		F	р	Fperm	р
	Απόσταση	0.02	0.8853	0.09	0.66
Lumbrineris latreilli	Εποχή	0.50	0.6852	0.37	0.91
	Απόσταση Χ Εποχή	0.33	0.8003	0.33	0.27
	Απόσταση	9.00	0.0062	0.54	0.42
Anodontia fragilis	Εποχή	2.08	0.1291	2.85	0.04
	Απόσταση Χ Εποχή	1.50	0.2390	2.40	0.06

	Απόσταση	2.88	0.1025	2.82	0.10
Mysella bidentata	Εποχή	0.48	0.7006	0.16	0.93
	Απόσταση Χ Εποχή	0.64	0.5984	1.59	0.21
a 1.	Απόσταση	0.24	0.6322	0.78	0.87
Corrophium	Εποχή	1.33	0.2873	0.90	0.88
runcicorne	Απόσταση Χ Εποχή	1.24	0.3155	1.07	0.31
	Απόσταση	0.43	0.5201	0.06	0.31
Ολική αφθονία	Εποχή	0.23	0.8779	0.08	0.99
	Απόσταση Χ Εποχή	0.47	0.7049	0.74	0.84
	Απόσταση	0.02	0.8987	1.09	0.31
Ολικός αριθμός ειδών	Εποχή	0.34	0.7946	0.02	0.99
	Απόσταση Χ Εποχή	0.23	0.8737	0.26	0.84
	Απόσταση	0.28	0.6005	3.43	0.11
Ολική ΞΒΑΣ	Εποχή	0.21	0.8891	0.86	0.49
	Απόσταση Χ Εποχή	0.12	0.9504	1.14	0.40
	Απόσταση	0.01	0.9115		
Ομοιομορφία	Εποχή	0.00	0.9999	-	-
	Απόσταση Χ Εποχή	0.01	0.9994		



А

В



Bray-Curtis Ομοιότητα

Εικόνα 3.2.30. Α. Μη-Παραμετρική Πολυδιάστατη Διαβάθμιση και Β. Ιεραρχική ομαδοποίηση με τη μέθοδο "group – average linkage" στις Αποστάσεις και Εποχές του δεύτερου πλάνου.



Εικόνα 3.2.31. Διακυμάνσεις των ειδών (± τυπική απόκλιση μέσου όρου 4 επαναλήψεων) που συμβάλλουν τα μέγιστα στη nMDS διευθέτηση των σταθμών του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το Ευκλείδειο biplot ανέδειξε είδη τα οποία, έχοντας σταθερά υψηλές αφθονίες κατά τη διάρκεια της μελέτης, συμβάλλουν στις ομοιότητες ανάμεσα στους σταθμούς και στην εποχική επικάλυψη που αντανακλά η nMDS. Στα είδη αυτά μεταξύ άλλων συγκαταλέγονται τα Monticellina dorsobranchialis, Cylichna cylindracea, Nucula turgida, Thyasira flexuosa, Corbula gibba και Ampelisca sp..

Η Κανονική Ταξινομική Ανάλυση (CAP) στο σύνολο των δεδομένων, προσφέρει τη δυνατότητα διαχωρισμού των ομάδων δεδομένων με ευκρινή τρόπο, καθώς τονίζονται οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών των ομάδων χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι διασπορές τους (Εικόνα 3.2.32). Παρόλα αυτά, το σφάλμα επανατοποθέτησης ήταν μεγαλύτερο από 50% με συνέπεια να μη θεωρείται αξιόπιστη η διάκριση μεταξύ των ομάδων. Επιπλέον τα είδη εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές συσχέτισης με τους Κανονικούς Άξονες (<0.2), με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατός ο προσδιορισμός των ειδών που συμβάλλουν σε όσες διαφορές μεταξύ Αποστάσεων και Εποχών παρατηρούνται.



Εικόνα 3.2.32 Κανονική Ταξινομική Ανάλυση Κυρίων Συντεταγμένων στους σταθμούς από όλες τις εποχές δειγματοληψίας του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου.

Ενδεχομένως, το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται με την απουσία ενός σταθερού προτύπου κατανομής των ειδών ως προς τις αποστάσεις σε όλες τις εποχές, όπως άλλωστε διαφαίνεται τόσο από τις διακυμάνσεις των ειδών (Εικόνες 3.2.30 και 3.2.35) όσο και από το αποτέλεσμα της npMANOVA που ανέδειξε τη σημαντικότητα της αλληλεπίδρασης Απόσταση x Εποχή. Επιπλέον, η CAP ανάλυση λαμβάνει υπόψιν τις συσχετίσεις μεταξύ των αφθονιών των ειδών στη μήτρα δεδομένων. Επομένως, η συσχέτιση κάθε είδους με τον CAP άξονα αναπαριστά όλο το πλέγμα των αλληλεπίδράσεων (ευνοϊκών, ανταγωνιστικών ή ουδέτερων) με τα υπόλοιπα είδη της βιοκοινωνίας και όχι του κάθε είδους μεμονωμένα. Υπό αυτό το πρίσμα, οι χαμηλές τιμές

συσχέτισης αντανακλούν μικρό ποσοστό επίδρασης των διαειδικών αλληλεπιδράσεων στη δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του Δέλτα. Σύμφωνα με την υπόθεση της Περιβαλλοντικής Σταθερότητας (Sanders 1968) και τη συζήτηση που προηγήθηκε με βάση τα αποτελέσματα του πρώτου δειγματοληπτικού πλάνου, η CAP ανάλυση προσφέρει ενδείξεις υπέρ της υπόθεσης ότι λόγω της φυσικής όχλησης η δομή της βιοκοινωνίας, ειδικά στο μέτωπο του δέλτα, οργανώνεται με βάση τις προσαρμογές των ειδών στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα εάν η μωσαϊκή κατάσταση στη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του Δέλτα, αποτελεί απόκριση στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Το PCA διάγραμμα με βάση τις μεταβλητές στήλης για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα από όλες τις εποχές, αντανακλά την ύπαρξη εποχικότητας στη στήλη (Εικόνα 3.2.33). Συγκεκριμένα, η πρώτη ΚΣ που διαχωρίζει τον Ιανουάριο (Χειμώνας) από τις υπόλοιπες εποχές, καθώς και τους σταθμούς του Ιανουαρίου μεταξύ τους, εξηγεί το 68.58% της συνολικής μεταβλητότητας του πελαγικού περιβάλλοντος στο μέτωπο του δέλτα, χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψιν τα προφίλ θερμοκρασίας, αλατότητας και θολερότητας. Στο διαχωρισμό αυτό, όπως υποδεικνύει το Ευκλείδειο διάγραμμα της Εικόνας 3.2.27, συμβάλλει πρωτίστως η συγκέντρωση του Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) στη στρώση πυθμένα της στήλης. Διαπιστώνεται, λοιπόν, ότι η φυτοπλαγκτονική άνθηση κατά το τέλος του Χειμώνα, ένα εποχικό φαινόμενο που συνδέεται άμεσα με τις ποτάμιες εισροές (Kormas et al. 1998), επηρεάζει καθοριστικά τη στήλη στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Από την άλλη μεριά, η δεύτερη ΚΣ, διαχωρίζει, ως ένα βαθμό, τους σταθμούς της Απόστασης 1 από αυτούς στην Απόσταση 2. Η μεταβλητότητα που εξηγείται από αυτόν τον άξονα, και στην οποία συμβάλλει κυρίως το βάθος, φτάνει το 15.26% της συνολικής μεταβλητότητας, γεγονός που δείχνει ότι η χωρική ετερογένεια στη στήλη του μετώπου του Δέλτα, προκαλείται και από τη βαθυμετρία της περιοχής. Εμφανής είναι, επίσης, η μεγάλη εποχική επικάλυψη ως προς τη δεύτερη ΚΣ, η οποία περιέχει επίσης τη μεταβλητότητα που οφείλεται στις συγκεντρώσεις του CPE στη στρώση επιφάνειας.



Εικόνα 3.2.33. Διευθέτηση των σταθμών του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου ως προς τις παραμέτρους στήλης με Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Το διάγραμμα παρουσιάζεται στη μορφή Ευκλείδειου biplot. CPEs και CPEb: Συγκέντρωση Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών στην στρώση επιφάνειας και πυθμένα της στήλης, αντίστοιχα. SPMs και SPMb: Συγκέντρωση Αιωρούμενης Σωματιδιακής Υλης (ΑΣΥ) στην στρώση επιφάνειας και πυθμένα της στήλης, αντίστοιχα. Secchi: Βάθος διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η διευθέτηση των σταθμών ως προς τις παραμέτρους ιζήματος, από την άλλη μεριά, παραπέμπει σε ένα βενθικό περιβάλλον κάθε άλλο παρά ομοιογενές (Εικόνα 2.3.38). Παρόλο που ο Ιανουάριος ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους μήνες δειγματοληψίας, κυρίως ως προς την πρώτη ΚΣ, παρατηρείται μεγάλη επικάλυψη μεταξύ των υπόλοιπων εποχών. Η διευθέτηση αυτή προκύπτει κυρίως από την επίδραση του συντελεστή ταξινόμησης κυρίως καθώς και του συντελεστή λοξότητας, της διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος, του ποσοστού ιλύος-αργίλου και του Ολικού Οργανικού Άνθρακα. Ωστόσο, ο πρώτος άξονας εξηγεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας (40.26%) ενώ ο δεύτερος, που διαχωρίζει τους σταθμούς της πρώτης από τη δεύτερη απόσταση κυρίως με βάση το βάθος, το 28.81%.



Εικόνα 3.2.34. Διευθέτηση των σταθμών του δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου ως προς τις παραμέτρους ιζήματος με Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Το διάγραμμα παρουσιάζεται στη μορφή Ευκλείδειου biplot. CPE: Συγκέντρωση Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών στην επιφάνεια του ιζήματος. TOC: Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού Άνθρακα στην επιφάνεια του ιζήματος. ra: Αναλογία CPE στο επιφανειακό στρώμα του ιζήματος (0-2) cm προς το στρώμα (4-6) cm μέσα στο ίζημα. ΜΔ: μέση διάμετρος κόκκων ιζήματος. sk1: συντελεστής λοξότητας. σ1: συντελεστής ταξινόμησης. Silt: Ποσοστό ιλύος-αργίλου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που τόσο το πελαγικό όσο και το βενθικό περιβάλλον στο μέτωπο του δέλτα διαφοροποιούνται τον Ιανουάριο από τις υπόλοιπες περιόδους δειγματοληψίας, η κατάσταση αυτή δεν αντικατοπτρίζεται στη δομή της βιοκοινωνίας όπως προκύπτει από τη npMANOVA και την nMDS. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε πολυμεταβλητή πολλαπλή παλινδρόμηση για διερευνηθεί πιο συγκεκριμένα η απόκριση της βιοκοινωνίας στους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Πίνακας 3.2.10). Διαπιστώνεται ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό της μακροπανιδικής δομής εξηγείται από τις διακυμάνσεις του περιβάλλοντος. Η κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος, το ΑΣΟΥ και η οργανική ύλη φυτοπλαγκτονικής προέλευσης είναι οι παράμετροι που συμβάλλουν στην πρόβλεψη της δομής της βιοκοινωνίας. Το μοντέλο αυτό δεν συμπεριλαμβάνει την επίδραση του παράγοντα Απόσταση και Εποχή καθώς και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης. Η πρόσθεση αυτών των παραγόντων, καθιστά το μοντέλο μη σημαντικό (Πίνακας 3.2.11). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιβαλλοντικές παράμετροι μεταβάλλονται συναρτήσει του παράγοντα Απόσταση ή / και Εποχή, κατάσταση που παραπέμπει σε προβλήματα αυτοσυσχέτισης. Όπως ήδη διαπιστώθηκε με την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, αυτό αληθεύει τόσο για τον παράγοντα Εποχή, αφού ο Ιανουάριος διαφέρει από τους υπόλοιπους μήνες δειγματοληψίας ως προς τις παραμέτρους στήλης, όσο και για τον παράγοντα Απόσταση. Επίσης υποδεικνύει ότι εφόσον η αλληλεπίδραση μεταξύ Απόστασης και Εποχής είναι σημαντική στον καθορισμό της δομής της βιοκοινωνίας, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η εποχική δομή της χωριστά από την χωρική. Το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται κατά πάσα πιθανότητα με το γεγονός ότι δεν υφίστανται διαφορές ως προς τη διασπορά των πολυμεταβλητών δεδομένων. Ενδεχομένως, η εποχική δειγματοληψία δεν είναι αρκετή για να αποκαλυφθεί η επίδραση του κάθε παράγοντα χωριστά, ώστε να προκύψουν σαφή συμπεράσματα για το βαθμό διατάραξης σε σχέση με τη χωρική απόσταση από την πηγή και για τη συχνότητα διατάραξης σε σχέση με τη χρονική απόσταση από τη μέγιστη ένταση της.

Ανακεφαλαιώνοντας, διαπιστώθηκε ότι τουλάχιστον κατά τη διάρκεια μελέτης οι υψηλότερες τιμές αριθμού ειδών σημειώνονται στον Εσωτερικό Μαλιακό αλλά εκτός των κυρίων αποθέσεων του Σπερχειού. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν επίσης την ύπαρξη ενός

μωσαϊκού τιμών αφθονίας των ειδών, από τα οποία τα επικρατέστερα αναπαράγονται με πελαγικές, κυρίως δε, πλαγκτονοτροφικές προνύμφες. Η δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του δέλτα, όταν θεωρείται σαν ένα σύνολο χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν η απόσταση από την εκβολή και η εποχή, μπορεί να προβλεφθεί σε ένα ποσοστό περίπου 20 % από τις διακυμάνσεις του ποσοστού Ιλύος-Αργίλου, της οργανικής ύλης στη στρώση πυθμένα της στήλης (ΑΣΟΥ και CPE) και του βάθους. Με βάση τα αποτελέσματα του δεύτερου πλάνου επομένως δε διαψεύδονται οι προβλέψεις της Δεύτερης Υπόθεσης Εργασίας, που εξηγούν τη σύνθεση σε είδη και τη δομή της βιοκοινωνίας ως αποτέλεσμα απόκρισης στη φυσική όχληση.

Πίνακας	3.2.10.	Πολυμεταβλητή	πολλαπλή	παλινδρόμηση	των	αφθονιών	των	ειδών
(εξαρτημέ	νες μεταβλ	ητές) ως προς τις	παραμέτρου	ς στήλης στη στ	ρώση	πυθμένα κα	ι επιφ	άνειας
ιζήματος ((ανεξάρτητ	ες μεταβλητές). Ι	ια τον υπολ	λογισμό του psei	udo-F	χρησιμοποι	ήθηκα	xv 999
τυχαίοι αν	νασυνδυασμ	ιοί. Οι παράμετρο	οι που δε συμ	μβάλλουν στην π	ροβλε	εψιμότητα το	ου μο	ντέλου
είναι γραμ	ιμοσκιαμέν	Ές.						

Παράμετρος	pseudo-F	р	% Ποσοστό Μεταβλητότητας	Αθροιστικό % ποσοστό μεταβλητότητας
% Ιλύς-Άργιλος	2.6579	0.0002	8.14	8.14
CPE (στήλη)	1.8334	0.0064	5.46	13.6
Βάθος	1.6056	0.0373	4.69	18.29
ΑΣΟΥ	1.5447	0.0472	4.42	22.71
sk1	1.2335	0.2124	3.5	26.21
Διάμετρος κόκκων	1.2508	0.1957	3.52	29.73

TOC	1.2611	0.1913	3.47	36.74
CPE (0-2)cm/CPE(4-	1.0938	0.3578	3	39.73
σ1	0.9593	0.509	2.63	42.36
ΑΣΥ	0.704	0.813	1.96	44.32

Πίνακας 3.2.11. Πολυμεταβλητή πολλαπλή παλινδρόμηση των αφθονιών των ειδών (εξαρτημένες μεταβλητές) ως προς τις παραμέτρους στήλης στη στρώση πυθμένα και ιζήματος ανεξάρτητες μεταβλητές ανά περίοδο δειγματοληψίας σύμφωνα με το παραγοντικό μοντέλο. Για τον υπολογισμό του pseudo-F χρησιμοποιήθηκαν 999 τυχαίοι ανασυνδυασμοί. X1: Περιβαλλοντικές παράμετροι (βλ. Πίνακας 3.2.10). X2: παράγοντας Απόσταση. X3: παράγοντας Εποχή.

1. Βιοκοινωνία vs Χ1								
Μοντέλο	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσα τετράγωνα	Pseudo-F	р			
Παλινδρόμηση	11	2.92	0.26	1.44	***			
Σφάλμα	20	3.67	0.18					
Σύνολο	31	6.59						
2. Βιοκοινωνία vs X1 & X2								
Μοντέλο	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσα τετράγωνα	Pseudo-F	р			
Απόσταση	1	0.33						
Παλινδρόμηση	11	2.84	0.26	1.44	0.22			

Σφάλμα	19	3.41	0.18						
Σύνολο	31	6.58							
3. Βιοκοινωνία vs X1 & X3									
Μοντέλο	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσα τετράγωνα	Pseudo-F	р				
Εποχή	3	1.11							
Παλινδρόμη σ η	11	2.42	0.22	1.22	0.23				
Σφάλμα	17	3.06	0.18						
Σύνολο	31	6.58							
4. Βιοκοινωνία vs X1 & X2 x X3									
Μοντέλο	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα τετραγώνων	Μέσα τετράγωνα	Pseudo-F	р				
Αλληλεπίδραση	3	0.69							
Παλινδρόμηση	11	2.81	0.26	1.41	0.13				
Σφάλμα	17	3.09	0.18						
Σύνολο	31	6.59							

3.3 Τρίτο Δειγματοληπτικό πλάνο

<u>3.3.1 Στήλη</u>

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στη στήλη στα πλαίσια του τρίτου πλάνου περιλαμβάνουν τις κάθετες κατανομές της Θερμοκρασίας, Αλατότητας και Θολερότητας, τις συγκεντρώσεις ολικής αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (ΑΣΥ), οργανικής αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (ΟΑΣΥ), Χλωροφύλλης α (Chl a) και Φαιοχρωστικών (Pheo) στις στρώσεις επιφάνειας και πυθμένα καθώς και τις συγκεντρώσεις διαλυμένου Οξυγόνου στη στρώση πυθμένα της στήλης.

Οι κάθετες κατανομές των τιμών Θερμοκρασίας στη στήλη κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα με τις τιμές στους σταθμούς του πρώτου και δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου, με τις χαμηλότερες τιμές να σημειώνονται το Φεβρουάριο (11.8 °C, σταθμός E3) και τις υψηλότερες τον Αύγουστο (26 °C, σταθμός E3). Εποχικές διακυμάνσεις είναι εμφανείς και στα επίπεδα των τιμών Αλατότητας, τα οποία επηρεάζονται από την περιοδικότητα των εισροών γλυκών νερών από το Σπερχειό, με τις χαμηλότερες τιμές να σημειώνονται το Φεβρουάριο (11.8 °C, σταθμός E3). Οι τιμές Θολερότητας κυμαίνονται από 5.2 έως 9.9 FTU στην επιφανειακή στρώση και από 1.47 έως 2.4 στη στρώση πυθμένα σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας πλην του Μαΐου 2001, οπότε καταγράφονται ιδιαίτερα υψηλές τιμές σε όλους τους σταθμούς (από 6.35 έως 35.16 FTU στους σταθμούς έΟ και Ε3 και από 114 έως 165.6 FTU στους σταθμούς Ε2 και Ε4). Παρατηρείται επομένως ότι οι υψηλές τιμές Θολερότητας το Μάιο 2001 συμπίπτουν με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές Αλατότητας στο σταθμό της εκβολής κατά την ίδια περίοδο. Με τον τρόπο αυτό διαπιστώνεται αφενός ότι οι εκφορτίσεις χερσογενούς υλικού και γλυκών νερών μεγιστοποιούνται κατά την Άνοιξη και αφετέρου ότι η επίδραση των εισροών του Σπερχειού στη στήλη είναι εμφανέστερη στο μέτωπο του Δέλτα και ειδικά στο στόμιο της εκβολής.

Οι διακυμάνσεις της ΑΣΥ και ΑΣΟΥ υποδεικνύουν ότι υπάρχει εποχικότητα στα επίπεδα του αιωρούμενου φορτίου με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται το Μάιο (Εικόνα 3.3.2).

Ωστόσο, ενώ η συνεισφορά της ΑΣΟΥ επί της ΑΣΥ κυμαίνεται μεταξύ 6 – 24% κατά το Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο, το Φεβρουάριο παρουσιάζει σημαντική αύξηση που φτάνει το 51% (σταθμός Ε3).

Οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών υποδηλώνουν ότι η περίοδος της ανοιξιάτικης φυτοπλαγκτονικής άνθησης διαρκεί μέχρι το τέλος Μαΐου κατά το έτος 2001, κατάσταση που δεν ισχύει για το έτος 2000 (Εικόνα 3.3.3). Αυτό διαπιστώνεται και από το λόγο Χλωροφύλλης α προς το Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (Chl a / CPE), μέτρο του ποσοστού αποικοδόμησης της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας, το οποίο το Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο 2000 δεν υπερβαίνει το 0.18 ενώ το Φεβρουάριο και Μάιο 2001 κυμαίνεται μεταξύ 0.87 και 0.89. Επιπλέον, από τα επίπεδα των Φαιοχρωστικών και της Χλωροφύλλης α συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι συνθήκες που επικρατούν κοντά στην εκβολή του Σπερχειού επιτρέπουν την παραγωγή φυτοπλαγκτονικής βιομάζας σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Το Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών όμως δεν συνεισφέρει περισσότερο από 1.3 % επί της ΑΣΟΥ, υποδεικνύοντας ότι η σημασία της πρωτογενούς οργανικής ύλης είναι πολύ μικρή σε σχέση με άλλες πηγές οργανικής ύλης π.χ. χερσογενούς προέλευσης σε αυτή την περιοχή του Μαλιακού κόλπου.

Εικόνα 3.3.1. Διακυμάνσεις των κάθετων κατανομών Αλατότητας στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Τέλος, οι συγκεντρώσεις διαλυμένου Οξυγόνου στη στρώση πυθμένα της στήλης είναι υψηλότερες το Μάιο (Εικόνα 3.3.4), ενδεχομένως λόγω της παραγωγής οξυγόνου από τους





Εικόνα 3.3.2. Διακυμάνσεις της ολικής Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης (ΑΣΥ) και της Αιωρούμενης Σωματιδιακής Οργανικής Ύλης (ΑΣΟΥ) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου στην επιφανειακή στρώση και τη στρώση πυθμένα της στήλης.

αυξημένους πληθυσμούς φυτοπλαγκτού στη στήλη



Εικόνα 3.3.3. Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου στη στρώση επιφάνειας και στη στρώση πυθμένα της στήλης.


Εικόνα 3.3.4. Συγκεντρώσεις διαλυμένου Οξυγόνου στη στρώση πυθμένα της στήλης στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. 2000M: Μάιος 2000 Α: Αύγουστος 2000, N:Νοέμβριος 2000, Φ: Φεβρουάριος 2001, 2001M: Μάιος 2001.

3.3.2 Ίζημα

Οι παράμετροι ιζήματος που παρουσιάζονται και συζητιούνται στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης καθώς και τις συγκεντρώσεις ολικού οργανικού άνθρακα, χλωροπλαστικών χρωστικών, ολικών πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπιδίων στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα σε γραμμάρια ανά γραμμάριο και ανά τετραγωνικό μέτρο ιζήματος. Οι τελευταίες υπολογίστηκαν μετατρέποντας τα γραμμάρια σε κυβικά εκατοστά χρησιμοποιώντας την ειδική πυκνότητα 2.6 g/cm³ για ιλυώδη ιζήματα με πορώδη υφή (porosity) μεταξύ 0.66 και 0.84 (De Haas *et a*l. 1997), θεωρώντας ότι τα ιζήματα του Μαλιακού κόλπου εμπίπτουν στην περίπτωση των ιζημάτων στην περιοχή του German Bight (εκβολές ποταμού Έλβα).



Εικόνα 3.3.5. Ανάλυση ιζήματος στους σταθμούς του τρίτου πλάνου: ποσοστά ιλύος και αργίλου, μέση διάμετρος κόκκων, συντελεστής ταξινόμησης και συντελεστής λοξότητας.

Η κοκκομετρική ανάλυση του ιζήματος υπέδειξε την ύπαρξη εποχικού κύκλου όσον αφορά τις τιμές της μέσης διαμέτρου των κόκκων του ιζήματος και του συντελεστή λοζότητας, οι οποίες μειώνονται το Νοέμβριο και Φεβρουάριο. Οι τάσεις διακυμάνσεων αυτών των δύο παραμέτρων αποτελούν μέτρο της επίδρασης του ιζηματολογικού φορτίου του Σπερχειού στα ιζήματα του μετώπου του δέλτα καθώς υποδηλώνουν ότι την περίοδο της μέγιστης ροής αυξάνει η εναπόθεση λεπτόκοκκου υλικού. Επιπλέον στους σταθμούς Ε2 και Ε3, τα ποσοστά ιλύος και αργίλου εμφανίζουν κατά την ίδια περίοδο αύξηση και μείωση, αντίστοιχα, πιθανά επειδή τα υπό αιώρηση κλάσματα αργίλου λόγω μεγέθους καθιζάνουν με περισσότερο αργούς ρυθμούς από την ιλύ και επομένως μεταφέρονται και τελικά καθιζάνουν στις προδελταϊκές περιοχές. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι μακροβενθικοί οργανισμοί πρέπει να αντεπεξέλθουν στην εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων ιλύος ειδικά κατά το χειμώνα. Αξιοσημείωτες είναι οι διακυμάνσεις της κοκκομετρικής σύστασης στο σταθμό Ε0 (εκβολή του Σπερχειού), που υποδεικνύουν μεταβολές στη στερεοπαροχή του Σπερχειού και επέκταση της ζώνης των κορυφαίων αποθέσεων (topsets), που χαρακτηρίζεται από χονδρόκοκα ιζήματα, προς τη θάλασσα.



Εικόνα 3.3.6. Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Λευκές ράβδοι: 0-2 cm Γκρι ανοιχτόχρωμες: : 2-4 cm Γκρι σκουρόχρωμες: : 4-6 cm βάθος ιζήματος.

Οι συγκεντρώσεις του Ολικού Οργανικού Άνθρακα στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα εμφανίζουν αξιοσημείωτη χωρική μεταβλητότητα (Εικόνα 3.3.6). Έτσι, οι χαμηλότερες τιμές σημειώνονται στο σταθμό Ε0 (εκβολή Σπερχειού), όπου το εύρος τιμών κυμαίνεται από 6.24 έως 9.78 mg/g και οι υψηλότερες στο σταθμό Ε3, όπου ποικίλλουν από 7.7 έως 32.2 mg/g (Φεβρουάριος), ενώ στους σταθμούς Ε2 και Ε4 δεν υπερβαίνουν τα 15 mg/g. Παρατηρείται επομένως ότι υπάρχουν τάσεις συσσώρευσης οργανικού άνθρακα καθώς αυξάνει η απόσταση από την εκβολή και το βάθος. Ωστόσο, τα επίπεδα που μετρήθηκαν στο σταθμό Ε3 το Φεβρουάριο αντιπροσωπεύουν το υψηλότερο οργανικό φορτίο που σημειώθηκε στο Μαλιακό κόλπο τόσο κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών της παρούσας διατριβής όσο και κατά τη διάρκεια προηγούμενων μελετών (Kormas *et al.* 1997). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την νότια περιοχή του μετώπου του Δέλτα ως «ζώνη εναπόθεσης» (depositional area) του οργανικού άνθρακα, που μπορεί να συνδέεται κυρίως με τις χερσογενείς εκφορτίσεις του Σπερχειού.



Εικόνα 3.3.7. Συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Λευκές ράβδοι: 0-2 cm βάθος ιζήματος. Γκρίζες ράβδοι: 2-4 cm βάθος ιζήματος. Σκούρες ράβδοι: 4-6 cm βάθος ιζήματος.

Οι συγκεντρώσεις των Χλωροπλαστικών Χρωστικών, που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3.7 επιδεικνύουν σαφή μείωση με το βάθος ιζήματος. Όπως παρατηρείται οι διακυμάνσεις τους δεν ακολουθούν εμφανές εποχικό πρότυπο αν και στους σταθμούς Ε0 και Ε2, δηλαδή στους σταθμούς που είναι πιο κοντά στην εκβολή οι τιμές Χλωροφύλλης α, που κυμαίνονται από 0.38 έως 9.4 μg/g, είναι υψηλότερες το Μάιο 2001. Οι τιμές που σημειώνονται στα επιφανειακά ιζήματα κατά την περίοδο αυτή είναι οι μεγαλύτερες που έχουν καταγραφεί τόσο στο Μαλιακό

κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών της παρούσας διατριβής όσο και γενικότερα σε ιζήματα παράκτιων περιοχών της Μεσογείου που βρίσκονται όμως μακριά από τη επίδραση εισροών γλυκών νερών και θρεπτικών αλάτων (Danovaro *et al.* 1994, Danovaro & Fabiano 1995, Danovaro *et al.* 1998, Puscedu *et al.* 1999). Είναι ωστόσο χαμηλότερες από τις τιμές που έχουν καταγραφεί στην επιφάνεια των ιλυωδών ιζημάτων της περιοχής του German Bight (Boon *et al.* 1999) και των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων του ποταμού Mississippi (Radziejewska *et al.* 1996), όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α έχουν αποδοθεί στα υψηλά επίπεδα πελαγικής πρωτογενούς παραγωγής σε αυτές τις περιοχές και σε αποτελεσματική σύζευξη μεταξύ πελαγικού και βενθικού συστήματος. Στους δύο σταθμούς που βρίσκονται σε απόσταση δύο μιλίων από την εκβολή του Σπερχειού, οι συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α κυμαίνονται μεταξύ 0.17 και 3 μg/g.

Τα επίπεδα των φαιοχρωστικών παρουσιάζουν μέγιστα σε διαφορετική χρονική περίοδο σε Έτσι, στις κορυφαίες αποθέσεις του δέλτα (σταθμός Ε0), οι μέγιστες κάθε σταθμό. συγκεντρώσεις σημειώνονται το Νοέμβριο, προερχόμενες πιθανώς από τη φθινοπωρινή φυτοπλαγκτονική άνθηση στη στήλη, και στις παρυφές του μετώπου του Δέλτα (σταθμός Ε4), τα μέγιστα σημειώνονται το Φεβρουάριο, ενδεχομένως συνδεόμενα με την ανοιξιάτικη άνθηση. Αντίθετα στους σταθμούς Ε2 και Ε3 οι τιμές των φαιοχρωστικών κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα τον Αύγουστο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο και είναι χαμηλότερες το Μάιο. Οı υψηλότερες τιμές στους σταθμούς Ε0 και Ε2 όμως κατά πάσα πιθανότητα οφείλονται στην εναπόθεση χερσαίας φυτικής μάζας κοντά στην εκβολή. Γενικά οι τάσεις στην κατανομή των προϊόντων αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης α, μπορεί να συνδέονται με τις Φαιοχρωστικές που προέρχονται από την αποικοδόμηση των υπολειμμάτων μακρόφυτων που μεταφέρονται στο μέτωπο του δέλτα από άλλες περιοχές του Μαλιακού (Εικόνα 3.3.8). Εξετάζοντας εάν υπάρχει σχέση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α και Φαιοχρωστικών στα επιφανειακά ιζήματα και στη στρώση πυθμένα της στήλης, διαπιστώνεται ότι το Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο 2000 υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση (r>0.8) σε όλους τους σταθμούς. Αντίθετα το Φεβρουάριο και Μάιο 2001 δε συσχετίζονται οι τιμές των Χλωροπλαστικών χρωστικών στο βένθος και τη στήλη, αποτέλεσμα που υποστηρίζει την υπόθεση ότι φαινόμενα επαναιώρησης και αξιόλογης μικροβενθικής πρωτογενούς παραγωγή λαμβάνουν χώρα μεταξύ χειμώνα και άνοιξης. Το γεγονός ότι το μέτωπο του δέλτα αντιπροσωπεύει μια περιοχή με έντονη χωρική και χρονική μεταβλητότητα, ενδεχομένως επισκιάζει τις διεργασίες πελαγικής – βενθικής σύζευξης που λαμβάνουν χώρα ανά σταθμό.



Εικόνα 3.3.8 . Διακυμάνσεις της Ξηρής Φυτικής Μάζας Απαλλαγμένης Στάχτης (ΞΦΜΑΣ) (± τυπική απόκλιση 3 επαναλήψεων) (g/m2) στους σταθμούς του τρίτου πλάνου το Μάιο, Αύγουστο και Νοέμβριο 2000 και το Φεβρουάριο 2001.

Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα των Χλωροπλαστικών Χρωστικών υποδηλώνουν συνεχή παραγωγή ή /και ροή φυτικής βιομάζας στο βένθος στο μέτωπο και στις κορυφαίες αποθέσεις του Δέλτα του Σπερχειού. Ωστόσο, ο λόγος Χλωροφύλλης α προς Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών, που όσο πιο μικρός είναι τόσο μεγαλύτερη είναι η παλαιότητα των φυτοθρυμμάτων, αυξάνεται ραγδαία το Φεβρουάριο και Μάιο 2001 στους ρηχότερους σταθμούς του τρίτου πλάνου (E0, E2, E3), γεγονός που αποτελεί, σύμφωνα και με όσα προαναφέρθηκαν, ισχυρή ένδειξη μικροφυτοβενθικής παραγωγής (Εικόνα 3.3.9). Αξίζει να σημειωθεί επιπρόσθετα ότι αξιόλογα επίπεδα Χλωροφύλλης α καταγράφονται και στα υποεπιφανειακά ιζήματα, δηλαδή στις στρώσεις 2-4 εκατοστά και 4-6 εκατοστά βάθος ιζήματος, όπου δεν είναι δυνατό να έχουν παραχθεί. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό οφείλεται σε δραστηριότητες βιοαναμόχλευσης που έχουν σαν αποτέλεσμα την κάθετη ανάμιξη των ιζημάτων και τη μεταφορά αφενός της επιφανειακής οργανικής ύλης σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος και την επαναφορά αφετέρου



της οργανικής ύλης που έχει ενταφιαστεί ή εναποτεθεί από βιολογική δράση (π.χ. περιττώματα), στην επιφάνεια. Ενδεχομένως μικρές ποσότητες Χλωροφύλλης α έφτασαν στα υποεπιφανειακά ιζήματα μέσω εναπόθεσης περιττωμάτων, στους σωλήνες ή τις στοές, από αιωρηματοφάγους και επιφανειακούς ιζηματοφάγους βενθικούς οργανισμούς, που μερικές φορές περιέχουν άπεπτες ποσότητες φυτοπλαγκτού ή μικρόφυτων,.

Εικόνα 3.3.9. Διακυμάνσεις του λόγου Χλωροφύλλης α προς Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (Chla/CPE) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.



Εικόνα 3.3.10. Διακυμάνσεις της συγκέντρωσης (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) Ολικών Πρωτεϊνών στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα στους σταθμούς του τρίτου πλάνου. Λευκές ράβδοι: 0-2 cm βάθος ιζήματος. Γκρίζες ράβδοι: 2-4 cm βάθος ιζήματος. Σκούρες ράβδοι: 4-6 cm βάθος ιζήματος.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών Πρωτεϊνών στα ιζήματα νότια της εκβολής του Σπερχειού κυμαίνονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα (Εικόνα 3.3.10, Πίνακας 3.3.1) Η ποσότητα των πρωτεϊνών αποτελεί μια χρήσιμη εκτίμηση της παλαιότητας της οργανικής ύλης, καθώς αντανακλά το σύνολο των αμινοξέων, λιποπρωτεϊνών, γλυκοπρωτεϊνών και γενικά όλων των πρωτεϊνών που συμμετέχουν σε πολύπλοκους κυτταρικούς σχηματισμούς όπως π.χ. οι μεμβράνες του φυτοπλαγκτού και των βενθικών μικροφυκών. Πολλές από τις πρωτεϊνικές ενώσεις των νεκρών φυτοπλαγκτονικών κυττάρων απομακρύνονται στα πρώτα μόλις στάδια της αποικοδόμησης καθώς αποτελούν κατάλληλο υπόστρωμα για βενθικούς αποικοδομητές (Meyer-Reil 1983) ενώ η αύξηση της βακτηριακής δράσης συνεπάγεται επίσης αύξηση του οργανικού

αζώτου του βιοδιασπώμενου υλικού (Valiela 1995), προφανώς λόγω των πρωτεϊνών των βακτηριακών μεμβρανών. Οι τιμές στην επιφάνεια του ιζήματος στις περισσότερες των περιπτώσεων δε διαφέρουν σημαντικά από αυτές στις υποεπιφανειακές στρώσεις, παρατηρείται δηλαδή διαφορετική τάση κάθετης κατανομής μέσα στο ίζημα από ότι συμβαίνει με τις χλωροπλαστικές χρωστικές. Οι υψηλότερες τιμές στους σταθμούς Ε0, Ε2 και Ε4 παρατηρούνται το Μάιο, ενώ στο σταθμό Ε3 δεν παρατηρούνται αξιόλογες εποχικές διακυμάνσεις.



Εικόνα 3.3.11. Διακυμάνσεις της συγκέντρωσης (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) Ολικών Υδατανθράκων στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα στους σταθμούς του τρίτου πλάνου. Λευκές ράβδοι: 0-2 cm βάθος ιζήματος. Γκρίζες ράβδοι: 2-4 cm βάθος ιζήματος. Σκούρες ράβδοι: 4-6 cm βάθος ιζήματος.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών Υδατανθράκων στους σταθμούς του τρίτου πλάνου κυμαίνονται σε συγκρίσιμα επίπεδα με βόρεια εύκρατα και μεσογειακά παραλιακά συστήματα (Εικόνα 3.3.11, Πίνακας 3.3.1). Οι κάθετες κατανομές των τιμών μέσα στο ίζημα ακολουθούν αυτές των Χλωροπλαστικών Χρωστικών και ειδικά των Φαιοχρωστικών, γεγονός που ήταν

αναμενόμενο καθώς η κυριότερη πηγή υδατανθράκων είναι η φυτική βιομάζα και τα προϊόντα αποικοδόμησής της. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις ολικών υδατανθράκων δε συσχετίζονται ούτε με τις συγκεντρώσεις των Χλωροπλαστικών Χρωστικών στο ίζημα και στη στήλη ούτε με τις τιμές της ΞΦΜΑΣ (R<0.05), αν και η τελευταία κάθε άλλο παρά αξιόπιστη ποσοτική μέτρηση της σημασίας των μακρόφυτων του κόλπου αποτελεί αφού στον υπολογισμό της, στα πλαίσια του τρίτου πλάνου, αναπόφευκτα, λήφθηκαν υπ' όψιν και τα χερσαίας προέλευσης υπολείμματα, υψηλού περιεχομένου σε αδρανείς ενώσεις λιγνίνης και ημι-κυτταρινούχων ιστών (Hedges et al. 1988b), που αφθονούν στις κορυφαίες αποθέσεις και στα μετωπιαία ιζήματα. Οι παρατηρήσεις αυτές υποδηλώνουν ότι οι πηγές ολικών υδατανθράκων είναι πολλαπλής προέλευσης, δηλαδή αυτόχθονης και αλλόχθονης, χερσαίας και θαλάσσιας, πελαγικής και βενθικής, μικροφυτικής και μακροφυτικής σε άγνωστες αναλογίες, γεγονός που περιπλέκει την ερμηνεία των ποσοτικών τους διακυμάνσεων ενώ ταυτόχρονα καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη της βιοαποικοδομησιμότητας τους. Ωστόσο, μελέτες σχετικά με την προέλευση πολυσακχαριτών σε παράκτια συστήματα με χερσογενείς εισροές από ποτάμια συμπεραίνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος τους έχει θαλάσσια αυτόχθονη φυτοπλαγκτονική προέλευση (Cowie & Hedges 1984, Hedges et al. 1988b), ενδεχομένως λόγω «κατά προτίμησιν» διάσπασης αυτών από τους μικροβιακούς αποικοδομητές και ενταφιασμού σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος των σχετικά αδρανών υδατανθράκων. Πράγματι, το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις των ολικών Υδατανθράκων είναι χαμηλότερες από αυτές των ολικών Πρωτεϊνών, αποτελεί ένδειξη μικρής συγκριτικά συνεισφοράς των ενώσεων κυτταρίνης -το κύριο συστατικό των αγγειοσπέρμων- που ως αδρανείς στη βακτηριακή διάσπαση, εμφανίζουν την τάση να συσσωρεύονται στα παράκτια ιζήματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες μέσες επιφανειακές συγκεντρώσεις σημειώνονται στο σταθμό Ε3 το Νοέμβριο (4448 μ g/g) ενώ οι χαμηλότερες, που μόλις υπερβαίνουν τα 1000 μ g/g, στο σταθμό Ε0 το Μάιο 2000 και το Φεβρουάριο.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών Λιπιδίων στα ιζήματα των κορυφαίων αποθέσεων και του μετώπου του δέλτα, κυμαίνονται γενικά σε χαμηλά επίπεδα (Εικόνα 3.3.12, Πίνακας 3.3.1). Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο σύνολο των λιπιδίων στο ίζημα και περιλαμβάνουν λιπίδια

βακτηριακής προέλευσης, αποτελούμενα κυρίως από μικρές αλυσίδες κορεσμένων λιπαρών οξέων (Bobie & White 1980), θαλάσσιας φυτικής προέλευσης, αποτελούμενα κυρίως από πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Polyunsaturated Fatty Acids, Puffs) και χερσαίας φυτικής προέλευσης, αποτελούμενα κυρίως από μακριές αλυσίδες κορεσμένων λιπαρών οξέων (Kolattukudy 1976). Οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται στους σταθμούς E2 και E4 ενώ δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ επιφανειακών και υποεπιφανειακών τιμών.



Εικόνα 3.3.12. Διακυμάνσεις της συγκέντρωσης (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) Ολικών Λιπιδίων στα επιφανειακά και υποεπιφανειακά ιζήματα στους σταθμούς του τρίτου πλάνου. Λευκές ράβδοι: 0-2 cm βάθος ιζήματος. Γκρίζες ράβδοι: 2-4 cm βάθος ιζήματος. Σκούρες ράβδοι: 4-6 cm βάθος ιζήματος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται το περιεχόμενο του ιζήματος στα πρώτα 6 cm από την επιφάνεια σε Χλωροφύλλη α (Chl a), Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE), Ολικές Πρωτεΐνες (TPRT), Ολικούς Υδατάνθρακες (TCBH) και σε Ολικά Λιπίδια (TLIP) (Εικόνα 3.3.13) καθώς και σε Ισοδύναμα Άνθρακα από κάθε ομάδα βιοπολυμερών (C-Chla, C-TPRT, C-TCBH, C-TLIP) και σε Ολικό Οργανικό Άνθρακα (TOC) (3.3.14). Όπως παρατηρείται στο σταθμό E2 το Μάιο 2001 καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές Χλωροφύλλης α (45 mg/m²) στα ιζήματα του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού, οι οποίες συμπίπτουν χρονικά (Μάιος 2001) με τα μέγιστα Χλωροφύλλης α στη στήλη κατά τη διάρκεια μελέτης. Ωστόσο, οι μέγιστες συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α στο Μαλιακό είναι χαμηλές συγκρινόμενες με τις τιμές στις αποθέσεις του Πάδου (18 μέτρα βάθος, Moodley *et al.* 1998), του Ροδανού (Barranguet 1997) και στα ιλυώδη ιζήματα του German Bight και του Skagerrak στα 20 και 270 μέτρα βάθος, αντίστοιχα (Boon *et al.* 1999). Δεδομένων των υψηλών τιμών πρωτογενούς παραγωγής στην Αδριατική Θάλασσα, τη Δυτική Μεσόγειο και στη νότια Βόρεια θάλασσα (Joint & Pomroy 1993), οι ποσοτικές αυτές διαφορές θα μπορούσαν να αποδοθούν στα διαπιστωμένα χαμηλότερα επίπεδα φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στη στήλη του Μαλιακού.

Τα μέγιστα Χλωροφύλλης α κατά τη διάρκεια της μελέτης στα πλαίσια του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου, συμπίπτουν με μέγιστα στις τιμές ολικών Πρωτεϊνών (64.3 mg/m²),

ολικών Υδατανθράκων (39.11 mg/m²) και ολικών Λ ιπιδίων (4.77 mg/m²) αν και η μόνη στατιστικά σημαντική συσχέτιση (R=0.6) υφίσταται μεταξύ πρωτεϊνών και υδατανθράκων. Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η ποσοτική αύξηση των ομάδων βιοπολυμερών συνδέεται λίγο έως πολύ με την φυτοπλαγκτονική άνθηση το Μάιο 2001, που καταλήγει στο ίζημα. Μάλιστα μερικές φορές τα προϊόντα της φυτοπλαγκτονικής άνθησης καθιζάνουν αναλλοίωτα χωρίς τις επιδράσεις της βόσκησης από το ζωοπλαγκτόν (Smetacek 1980). Ανεξάρτητα από το τι ακριβώς συμβαίνει στις μετωπιαίες περιοχές του Δέλτα του Σπερχειού αναφορικά με τις διεργασίες σύζευξης της πελαγικής με τη βενθική παραγωγή και τα επίπεδα μικροφυτοβενθικής παραγωγής, η θρεπτική αξία των εισροών αυτόχθονης (δηλαδή θαλάσσιας μικροφυτικής) οργανικής ύλης στο ίζημα την άνοιξη, αναμένεται να είναι μεγαλύτερη κυρίως λόγω της πρόσφατης προέλευσης της, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον υψηλό λόγο Chla/CPE στη στήλη και στο ίζημα το Φεβρουάριο και το Μάιο. Παράλληλα, η ποσότητα των Πρωτεϊνών, βασικό συστατικό των κυτταρικών μεμβρανών, αποτελεί μια από τις πιο χρήσιμες ενδείξεις παλαιότητας και ποιότητας της διαθέσιμης οργανικής ύλης καθώς αποτελούν μαζί με τους υδατάνθρακες τις ενώσεις που απομακρύνονται πρώτα από όλες κατά τις διεργασίες βακτηριακής αποικοδόμησης.

Πίνακας 3.3.1. Συγκριτικός πίνακας των τιμών πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπιδίων σε mg/g
στα επιφανειακά ιζήματα διαφόρων περιοχών καθώς και σε βιογενή θρύμματα διαφορετικής
προέλευσης. *μέση τιμή στα 0-10 cm βάθος ιζήματος **δε διευκρινίζεται το βάθος ιζήματος ***
μέση τιμή στα 0-15 cm βάθος ιζήματος.**** περιεχόμενο στα 0-10 cm βάθος ιζήματος.

Περιοχή	Βάθος (m)	Λιπίδια (TLIP) mg/g	ίδατάνθρακε (TCBH) mg/g	Πρωτεΐνες (TPRT) mg/g	CBH/TPRT	Βιβλιογραφική πηγή
Μαλιακός κόλπος	4-22	.22 – 0.61	1.02 - 4.5	2.3 - 5.9	0.16 – 0.79	Παρούσα μελέτη
Βαλτική Θάλασσα	18	-	0.4 - 4	3.8 - 7.7	0.1 - 0.52	Meyer-Reil (1983)
Δ. Μεσόγειος (Υποθαλάσσια Σπήλαια)	10 - 20	0.01 – 0.66	0.9 - 4.2	0.5 – 2.6	1.8 - 1.62	Fichez (1991)

Θάλασσα Ρος, Ανταρκτική	36 - 223	0.2	5.3	1.9	2.8	Fabiano <i>et al.</i> (1995)
Κόλπος Γασκώνης	2100	0.22	2.44	1.85	1.32	Khripounoff <i>et al.</i> (1985)
Τυρρηνική Θάλασσα	20 - 60	0.01 - 0.02	0.3 – 1.9	0.3 – 1.7	1 – 1.12	Fabiano & Danovaro (1994)*
Θάλασσα Λιγκουρίας, (Λιβάδι Posidonia)	4	.08 – 1.07	0.28 – 3.59	0.05 - 1.62	5.6 - 2.22	Danovaro <i>et al.</i> 1994
Θάλασσα Φιλιπίννων	3	-	0.7 - 1.6 mg/ cm ³	$\frac{0.5-1.3}{\text{mg/cm}^3}$	1.4 - 1.23	Graf & Meyer-Reil (1985)**
Α. Μεσόγειος	100-2400	.05 – 0.19	1.2 – 2.4	0.07 – 0.16	17.1 - 15	Danovaro <i>et al.</i> 1993***
Κρητικό Πέλαγος	40 - 1540	0.03 – 0.69	0.25 – 7.9	0.2 – 3	1.25 – 2.63	Tselepides <i>et al.</i> 2000
Λιμνοθάλασσα Marsala, Μεσόγειος	~1	0.3 – 4.5	0.8 - 70.5	2.2 – 12.1	0.36 – 5.83	Puscedu <i>et al.</i> 1999
Κόλπος Buzard (Μασσαχουσέτη)	15	-	10.3 - 11.1	19.9 27.9	0.52 - 0.39	Johnson (1977)
Θάλασσα Bering		-	0.6 - 0.9	-	-	Tanoue & Handa (1987)
German Bight	20	$\frac{1-1.5}{\text{mg/cm}^3}$	-	-	-	Boon <i>et al.</i> (1999) ****
Balsfjorden, Νορβηγική Θάλασσα		0.13	-	-	-	Sargent <i>et al.</i> (1983)
Skagerrak	270	1-5.5 mg/cm ³	-	-	-	Boon <i>et al.</i> (1999) ****
Θαλάσσιο χιόνι					12	Aldredge & Cox (1982)
Zostera marina		-	48.5 %	5.7 %	8.5	Alber & Valiela (1994)
Έμμορφα συσσωματώματα Zostera marina		-	3.77 %	9.1 %	8.5	Alber & Valiela (1994)
Άμορφα συσσωματώματα Zostera marina		-			~0.57	Alber & Valiela (1994)

Είναι γνωστό όμως ότι η μικροβιακή αποικοδόμηση των θρυμμάτων μικρο- ή μακροφυτικής προέλευσης, συνεπάγεται αύξηση του περιεχόμενου τους σε άζωτο και πρωτεΐνες (Alber & Valiela 1994). Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις των Πρωτεϊνών στα ιζήματα του Μαλιακού αποτελούν μέτρο όχι μόνο της παλαιότητας της οργανικής ύλης -όσο μικρότερες οι συγκεντρώσεις τόσο παλαιότερη η οργανική ύλη- αλλά και της διαθεσιμότητάς της προς τους αποικοδομητές. Η τελευταία συνδέεται με την ικανότητα των αποικοδομητών να επωφεληθούν από τη διαθέσιμη οργανική ύλη γεγονός που συνεπάγεται ότι τα θρύμματα, μακροφυτικής τουλάχιστον προέλευσης, βρίσκονται μορφή στη των άμορφων συσσωματωμάτων, έχει δηλαδή προηγηθεί η διάλυση της κυτταρινικής δομής και η έκλυση διαλυμένης οργανικής ύλης (DOM), μια διεργασία που διαρκεί από μερικά λεπτά έως λίγες εβδομάδες (Bowen 1984, Valiela 1995. βλ. και Κεφάλαιο 3.1.3). Όλοι όμως οι πρωτογενείς παραγωγοί ανεξάρτητα μεγέθους και βιοτόπου (στήλη ή ίζημα) συνεισφέρουν στα αποθέματα DOM με την απόπλυση του περιεχομένου τους (Valiela 1995). Επομένως τα άμορφα συσσωματώματα μπορεί να προκύψουν χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα DOM ποικίλης προέλευσης. Όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 3.3.1 και την Εικόνα 3.3.15, ο λόγος υδατανθράκων προς πρωτεΐνες (TCBH/TPRT) στα ιζήματα του Μαλιακού και στα άμορφα συσσωματώματα κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, γεγονός που υποδηλώνει τη σημασία τόσο της βακτηριακής και γενικότερα της μικροβιακής βιοκοινωνίας στη ροή ενέργειας όσο και τη σημασία της DOM στην περιοχή μελέτης.

Οι υψηλές τιμές του λόγου TCBH/TPRT θεωρούνται ένδειξη υψηλής συνεισφοράς ενώσεων κυτταρίνης, οι οποίες μαζί με τις ημι-κυτταρίνες και τις λιγνίνες είναι αδρανείς στη μικροβιακή αποικοδόμηση (Valiela 1995). Έτσι σε λειμώνες φανερογάμων και σε λιμνοθάλασσες οι τιμές του λόγου TCBH/TPRT είναι μεγαλύτερες από 2 (Πίνακας 3.3.1). Σε ακόμη μεγαλύτερα επίπεδα κυμαίνονται οι τιμές του λόγου αυτού στα ιζήματα ολιγοτροφικών περιοχών, όπως η βαθιά θάλασσα, εξαιτίας των χαμηλών βακτηριακών πληθυσμών και της

απομάκρυνσης των βιοαποικοδομήσιμων συστατικών της οργανικής ύλης κατά την κατακρήμνισή της στη στήλη (Πίνακας 3.3.1).

Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι η διαθέσιμη οργανική ύλη στις κύριες αποθέσεις του Σπερχειού είναι υψηλής βιοαποικοδομησιμότητας και μικρής περιεκτικότητας σε δομικούς πολυσακχαρίτες. Από τις διακυμάνσεις του λόγου TCBH/TPRT συνάγεται το συμπέρασμα ότι το Νοέμβριο λαμβάνει χώρα εισροή οργανικής ύλης πλούσιας σε υδατάνθρακες ενώ το Φεβρουάριο αυξάνεται η συνεισφορά των πρωτεϊνών (Εικόνα 3.3.14). Δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα αυτά. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι αύξηση της αναλογίας των πρωτεϊνών στη σωματιδιακή ύλη και στη νεφελοειδή στρώση συνδέεται με το φαινόμενο της επαναιώρησης των ιζημάτων (Sara et al. 1995, Mayer et al. 1993), καθώς αυτό συμβάλει στην αύξηση της επιδεκτικότητας των οργανικών σωματιδίων που συσσωρεύονται στο ίζημα στη βιολογική αποικοδόμηση. Ενδεχομένως αυτό ισχύει και στο Μαλιακό κόλπο κοντά στην εκβολή του Σπερχειού: λόγω αυξημένων ρυθμών ιζηματογένεσης το «φρέσκο» υλικό που παράγεται ή εναποτίθεται στο ίζημα ενταφιάζεται στα υποεπιφανειακά στρώματα πριν υποστεί αλλοιώσεις λόγω βακτηριακής αποικοδόμησης. Με την επαναιώρηση, όμως, το υλικό αυτό επανέρχεται στην επιφάνεια όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευκολότερα από τους βακτηριακούς πληθυσμούς. Τα παραπάνω αποτελούν υποστηρικτικές ενδείξεις για την ερμηνεία της κάθετης και οριζόντιας ομοιογένειας στις κατανομές των πρωτεϊνών και την απουσία εποχικότητας στις γρονικές διακυμάνσεις τους. Υπάργουν ενδείξεις ότι η αποικοδόμηση των πρωτεϊνών καθώς και των υπολοίπων βιοπολυμερών λαμβάνει χώρα με πολύ αργούς ρυθμούς όταν η οργανική ύλη καλύπτεται ή συνδέεται με αργιλικούς ανόργανους κόκκους (Keil et al. 1994). Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο καταδεικνύουν ότι η βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη που συνδέεται με λεπτόκοκκα ιζήματα βρίσκεται στη μορφή κυστών ("blebs"), οι οποίες ενδεχομένως εμφανίζουν χαμηλή διαπερατότητα σε βακτηριακά εξωένζυμα (Ransom et al. 1997). Πρόκειται βέβαια για υποθέσεις που διατυπώθηκαν προκειμένου να ερμηνευθεί η υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα των ιζημάτων στα 270 μέτρα βάθος στην περιοχή του Skagerrak (Boon et al. 1999). Ωστόσο, είναι πιθανό να έχουν ισχύ για περιοχές με το ίδιο υψηλά ποσοστά ιλύος και ειδικά αργίλου, όπως τα συστήματα των δελταϊκών εκβολών γενικά. Ειδικά στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, αν και τα ποσοστά αργίλου δεν υπερβαίνουν το 20%, ο μηχανισμός αυτός, σε συνδυασμό με την επαναιώρηση, δεν μπορεί να αποκλειστεί ότι ευθύνεται λίγο ή πολύ για τα υψηλά επίπεδα Πρωτεϊνών. Επιπλέον, υπό αυτό το πρίσμα εξηγούνται οι γενικά υψηλές τιμές βιοπολυμερών καθ'όλη τη διάρκεια της μελέτης (Πίνακας 3.3.1).

Τελικά, οι διακυμάνσεις του λόγου TCBH/TPRT, επηρεάζονται κυρίως από τις αυξομειώσεις των υδατανθράκων, οι οποίοι αν ήταν δομικοί θα συσσωρεύονταν χωρίς να εμφανίζουν τις αξιόλογες διακυμάνσεις μεταξύ σταθμών και επογών που παρατηρούνται. Τόσο από τις συγκεντρώσεις των βιοπολυμερών όσο και από το λόγο TCBH/TPRT, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η βιοαποικοδομήσιμη στους βενθικούς οργανισμούς οργανική ύλη είναι υψηλής θρεπτικής αξίας. Αυτό διαπιστώνεται και από το περιεχόμενο ισοδύναμων άνθρακα από κάθε ομάδα βιοπολυμερών και τη Χλωροφύλλη α (Εικόνα 3.3.15), το σύνολο των οποίων φτάνει στο 30-50% του Ολικού Οργανικού Άνθρακα στους σταθμούς Ε0, Ε2 και Ε4 ενώ κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25 % στο σταθμό Ε3. Το γεγονός ότι τα ισοδύναμα άνθρακα Χλωροφύλλης α (Chla-C) στο ίζημα αποτελούν μικρό ποσοστό του συνόλου ισοδύναμων άνθρακα των βιοπολυμερών βιοαποικοδομήσιμος άνθρακας αλλιώς (Labile Carbon, L-C)- υποδηλώνει ότι η μικροβενθική πρωτογενής παραγωγή συνεισφέρει λίγο στο διαθέσιμο οργανικό άνθρακα στα ιζήματα του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού. Αξίζει να τονιστεί επιπρόσθετα ότι παρατηρείται συγκεκριμένη τάση στις χωρικές μεταβολές των ισοδύναμων άνθρακα των πρωτεϊνών (PRT-C), και των υδατανθράκων (CBH-C), με σταδιακή μείωση των πρώτων από την εκβολή (σταθμός Ε0) έως τις παρυφές του μετώπου του δέλτα (Ε4) και αύξηση των δεύτερων με την απομάκρυνση από την εκβολή. Τέλος, τα μικρότερα ποσοστά L-C προς τον Ολικό Οργανικό Άνθρακα, που σημειώνεται στο σταθμό Ε3, συμπίπτουν με τα υψηλότερα ποσοστά του ισοδύναμου άνθρακα των Υδατανθράκων.

Στη συνέχεια εξετάζεται ο συνολικός βενθικός μεταβολισμός, ως κατανάλωση οξυγόνου, και η σχέση του με την ποιοτική σύσταση της οργανικής ύλης στα ιζήματα του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού. Στην Εικόνα 3.3.16 δίνονται τα επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου από τη βενθική βιοκοινωνία, όπου διαπιστώνεται ότι υφίστανται έντονες χρονικές διακυμάνσεις. Πράγματι, εφαρμόζοντας το ιεραρχικό μοντέλο του τρίτου πλάνου, κατά το οποίο ελέγχονται οι διαφορές μεταξύ σταθμών καθώς και ανάμεσα στις δειγματοληπτικές περιόδους ανά σταθμό, συνάγεται το συμπέρασμα ότι ενώ οι διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς δεν είναι στατιστικά σημαντικές (F=0.70, df=3, p>0.05), οι χρονικές διαφορές ανά σταθμό είναι σημαντικές (F=8.02, df=16, p<0.001). Οι πολλαπλές συγκρίσεις SNK οδήγησαν σε συμπεράσματα σχετικά με την εναλλακτική υπόθεση ως προς τις διαφορές μεταξύ των περιόδων δειγματοληψίας ανά σταθμό. Έτσι, στους σταθμούς E3 και E4 τα επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου το Μάιο 2001 είναι σημαντικά υψηλότερα από τις υπόλοιπες περιόδους ενώ στο σταθμό E2 το Νοέμβριο σημειώνονται σημαντικά χαμηλότερες τιμές. Στο σταθμό E0, τέλος, οι τιμές το Μάιο 2001 είναι σημαντικά υψηλότερες από ότι τον Αύγουστο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο ενώ σημαντικές διαφορές εντοπίζονται και μεταξύ Μαΐου 2000 και Αυγούστου. Με βάση τα παραπάνω θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι οι μέγιστες τιμές βενθικής αναπνοής συνδέονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, της εισροής ΑΣΥ και ΑΣΟΥ (Εικόνα 3.3.2) και των επιπέδων Χλωροφύλλης α στη στήλη, που σημειώνονται κατά το τέλος της άνοιξης.

Η απαίτηση οξυγόνου της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, βρίσκεται σε παρόμοια επίπεδα με αυτά που έχουν εκτιμηθεί σε ιδιαίτερα εύτροφες περιοχές όπως η Βόρεια Θάλασσα, και συγκεκριμένα στο Φρισσικό μέτωπο (Frissian Front), στο German Bight και στο Skagerrak (Boon *et al.* 1999), στη Β. Αδριατική, σε περιοχές που βρίσκονται υπό την επίδραση του ποταμού Πάδου (Moodley *et al.* 1998) καθώς και στον ποταμόκολπο του San Francisco (Caffrey *et al.* 1998). Στην πρώτη περίπτωση τα υψηλά επίπεδα συνδέθηκαν με απόκριση της βενθικής βιοκοινωνίας σε εισροή φυτοθρυμμάτων κατά τη διάρκεια και μετά την ανοιξιάτικη φυτοπλαγκτονική άνθηση. Στη Βόρεια Αδριατική, όμως, επανειλημμένα έχουν μετρηθεί υψηλότερες τιμές απαίτησης οζυγόνου το φθινόπωρο (Moodley *et al.* 1998, Herndl *et al.* 1989) και κυρίως κατά τη διάρκεια ισχυρών ρευμάτων πυθμένα λόγω πλημμυρικών επεισοδίων του ποταμού Πάδου και των συνεπαγόμενων φαινομένων επαναιώρησης των επιφανειακών ιζημάτων. Τέλος, στον ποταμόκολπο του San Francisco τα μέγιστα βενθικού μεταβολισμού συμπίπτουν με την ανοιξιάτικη φυτοπλαγκτονική άνθηση και τις ποτάμιες εισροές.

Γενικά, ο αερόβιος μεταβολισμός, που βασίζεται δηλαδή στην κατανάλωση οξυγόνου, προϋποθέτει την διαθεσιμότητα βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ενώσεων. Ως εκ τούτου, η αύξηση των επιπέδων της το Μάιο 2001 στην περιοχή μελέτης θα πρέπει να συνδέεται με αύξηση του περιεχόμενου των βιοπολυμερών στο ίζημα και της συνεισφοράς του βιοαποικοδομήσιμου άνθρακα στον ολικό οργανικό άνθρακα. Τα αποτελέσματα της πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ της απαίτησης οξυγόνου (μmoles/m²/ημέρα) και των παραμέτρων που μετρήθηκαν στη στήλη και το ίζημα επιβεβαιώνουν αυτή την υπόθεση αφού το μοντέλο που προέκυψε είναι το εξής:

log(ΑΠΑΙΤΗΣΗ O₂ / HMEPA) = 2.673 - 0.72(±0.15) log(ΒΑΘΟΣ) - 0.33(±0.06) log (ΑΣΟΥ) + 0.44(±0.12) log(ΑΣΥ) + 0.69 (±0.17) log(ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ $α_{ΣΤΗΛΗ}$ / Χλωροπλαστικό Ισοδύναμο) - 1.25(±0.21) log(ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ $α_{ΙΖΗΜΑ}$ / ΛΙΠΙΔΙΑ) + 0.59(±0.22) log(ΜΔ) - 0.47 (±0.20) log(ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ) - 0.32 (±0.19) (ΛΟΞΟΤΗΤΑ) - 0.37(±0.23) log(C-LIP / TOC) + 1.08 (±0.29) log(ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ / ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ).

 R^2 =0.797, τυπικό σφάλμα εκτίμησης=0.165 F=11.414, βε=10, 29, p=0.000.

Τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια ανεξάρτητα από την προσέγγιση (forward ή backward selection) που εφαρμόστηκε για την εύρεση του βέλτιστου μοντέλου. Χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι παράμετροι που είχαν μεταξύ τους συντελεστή συσχέτισης Pearson μικρότερο από 0.5.

Η παραπάνω εξίσωση προβλέπει ότι η απαίτηση O₂ της βενθικής βιοκοινωνίας αυξάνει όσο πιο πρόσφατη είναι η προέλευση των φυτοθρυμμάτων στη στήλη, με την αύξηση του ολικού αιωρούμενου φορτίου και του μεγέθους των κόκκων του ιζήματος καθώς και με την παλαιότητα των φυτοθρυμμάτων στο ίζημα. Αντίθετα, το βάθος, το οργανικό αιωρούμενο φορτίο, η αστάθεια των υδροδυναμικών συνθηκών, το υψηλό καθεστώς εναπόθεσης ιζημάτων, το ποσοστό των λιπιδίων με πρόσφατη μικροφυτική προέλευση και το ποσοστό των ισοδύναμων άνθρακα με λιπιδική προέλευση επί του ολικού οργανικού άνθρακα έχουν αρνητική επίδραση στα επίπεδα κατανάλωσης O₂.

Σύμφωνα με το μοντέλο, η επίδραση της θερμοκρασίας στην κατανάλωση O2 δεν είναι σημαντική στο μοντέλο. Αν και οι διακυμάνσεις του βενθικού μεταβολισμού δε συνδέονται με τις θερμοκρασιακές σε Νορβηγικό φιόρδ (Wassmann 1984), το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί παράδοξο ειδικά αν λάβει κανείς υπόψιν ότι η ολική βενθική δραστηριότητα σε υποθαλάσσια δελταϊκά οικοσυστήματα και σε παρόμοια βάθη, όπως στο German Bight (Boon et al. 1999) και στις εκβολές του Πάδου (B. Αδριατική) (Moodley et al. 1998, Herndl et al. 1989), αυξάνεται το καλοκαίρι (Αύγουστο και Σεπτέμβριο, αντίστοιχα). Ωστόσο, στο Μαλιακό κόλπο οι μέγιστες θερμοκρασίες στην περιοχή μελέτης σημειώνονται τον Αύγουστο και γενικά το καλοκαίρι, κατά την περίοδο δηλαδή που, οι εισροές θρεπτικών και η φρέσκια φυτοπλαγκτονική βιομάζα κυμαίνονται σε γαμηλά επίπεδα. Επομένως, η απουσία της θερμοκρασίας από το μοντέλο, υποδεικνύει ότι τα επίπεδα προσφοράς οργανικής ύλης πρόσφατης φυτοπλαγκτονικής προέλευσης από τη στήλη ρυθμίζουν τις διακυμάνσεις του βενθικού μεταβολισμού στο Μαλιακό κόλπο. Ο δε λόγος Χλωροφύλλης α / Λιπίδια, που επίσης έχει θετική επίδραση στο βενθικό μεταβολισμό, αυξάνει σταδιακά –συγκεκριμένα τριπλασιάζεται- από το Μάιο 2000 προς το Μάιο 2001 στους σταθμούς Ε0, Ε2 και Ε3 ενώ στο σταθμό Ε4 είναι διπλάσιος το Φεβρουάριο σε σχέση με τις υπόλοιπες περιόδους δειγματοληψίας. Εάν θεωρηθεί ότι ο λόγος αυτός αντανακλά την ποσότητα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων επί του συνόλου των λιπιδίων στο ίζημα, τότε πιθανά η θετική σχέση ανάμεσα στο μεταβολισμό και το λόγο σηματοδοτεί την αύξηση της διαθεσιμότητας των λιπιδίων κατά την περίοδο της άνθησης το Μάιο 2001. Αξιοσημείωτη είναι και η χωρική διαβάθμιση του λόγου αυτού που λαμβάνει χώρα το Νοέμβριο 2000 και το Μάιο 2001, οπότε οι τιμές του υποδιπλασιάζονται από την εκβολή προς τις παρυφές του Δέλτα του Σπερχειού, υποδηλώνοντας ότι τα χωρικά πρότυπα μικροφυτοβενθικής παραγωγής επηρεάζουν σημαντικά το βενθικό μεταβολισμό.

Από την άλλη μεριά ο λόγος LIP-C / TOC, που μειώνεται σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας από την εκβολή προς τις παρυφές του δέλτα, σχετίζεται αρνητικά με την

πρόσληψη O₂. Η μείωση δε είναι εντονότερη το Μάιο (2000 και 2001), οπότε σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές βενθικού μεταβολισμού, ενώ το Μάιο 2000 αλλά κυρίως τον Αύγουστο παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές του λόγου σε όλους τους σταθμούς. Ενδεχομένως η αρνητική σχέση του λόγου LIP-C / TOC με την κατανάλωση O₂, συνδέεται αφενός με την εναπόθεση χερσογενών συμπλόκων που καθιστούν τα περιεχόμενα λιπίδια αδρανή στην αποικοδόμηση τουλάχιστον για κάποιο χρονικό διάστημα (Valiela 1995) και αφετέρου με το γεγονός ότι το Μάιο 2000 και Αύγουστο ο λόγος Χλωροφύλλη α / Λιπίδια λαμβάνει τις μικρότερες τιμές αντανακλώντας τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα των λιπιδίων κατά τη διάρκεια της μελέτης.

Η σχέση της κατανάλωσης Ο₂ με τους παράγοντες που προτείνει το μοντέλο παλινδρόμησης υποδεικνύει ότι η συνεισφορά των οργανισμών που αποκρίνονται άμεσα στην κατακρήμνιση των προϊόντων της φυτοπλαγκτονικής άνθησης, δηλαδή κυρίως των μικροβιακών πληθυσμών (Graf *et al.*1983), είναι ιδιαίτερα σημαντική. Μπορεί επίσης να σημαίνει ότι η εναπόθεση φρέσκου οργανικού υλικού στα ιζήματα συνεπάγεται την άμεση αποικοδόμηση του και την αύξηση της διαθεσιμότητας του στους βενθικούς ιζηματοφάγους, μειοπανιδικούς και μακροπανιδικούς οργανισμούς. Οι τελευταίοι επωφελούμενοι από την προσφορά οργανικής ύλης υψηλής θρεπτικής αξίας αναμένεται να εμφανίσουν αύξηση των πληθυσμών τους και συνεπώς της συνεισφοράς τους στα παρατηρούμενα υψηλά επίπεδα βενθικού μεταβολισμού το Μάιο. Πράγματι, όπως ήδη διαπιστώθηκε κατά την ανάλυση των δεδομένων από το Πρώτο και Δεύτερο Δειγματοληπτικό πλάνο, υφίσταται αύξηση της αφθονίας και βιομάζας της μακροπανίδας το Μάιο και ειδικά το Μάιο 2001 ενώ αξιόλογη, αν και δύσκολο να εκτιμηθεί, αναμένεται να είναι και η αύξηση των νεαρών σταδίων μακροπανίδας, ή αλλιώς προσωρινή μειοπανίδα, κατά την περίοδο αυτή.

Με βάση τους παραπάνω συλλογισμούς τίθεται το ερώτημα εάν η παροχή οργανικού άνθρακα πρωτογενούς προέλευσης στην περιοχή καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Η απάντηση σε ένα τέτοιο ερώτημα απαιτεί τη μέτρηση του ρυθμού εναπόθεσης του οργανικού άνθρακα που παράγεται από πρωτογενείς παραγωγούς στη στήλη και τη σύγκριση του με τους ρυθμούς πρόσληψης οργανικού άνθρακα από τη βενθική βιοκοινωνία. Η εκτίμηση των ρυθμών ιζηματαπόθεσης γίνεται με την πόντιση ειδικών συλλεκτών αιωρούμενης ύλης, που ονομάζονται ιζηματοπαγίδες και δεν έλαβε χώρα στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Ωστόσο, μετρήσεις των ημερήσιων ρυθμών εναπόθεσης Χλωροφύλλης *α* και αιωρούμενου φορτίου έλαβαν χώρα στην περιοχή του μετώπου του δέλτα κατά το Φεβρουάριο και Ιούλιο 1999 (Hall 2001). Επιπλέον αν θεωρηθεί το περιεχόμενο των Ισοδύναμων Άνθρακα της Χλωροφύλλης *α* ως μέτρο της ποσότητας του πρωτογενούς άνθρακα στο ίζημα και χρησιμοποιηθεί ο ρυθμός αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης *α*, τότε μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η ροή οργανικού άνθρακα πρωτογενούς προέλευσης στο ίζημα. Τέλος, η πρόσληψη άνθρακα από τους βενθικούς οργανισμούς μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση Ο₂ με το αναπνευστικό πηλίκο. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των ρυθμών προσφοράς άνθρακα από τα δεδομένα της ιζηματοπαγίδας και του περιεχόμενου Χλωροφύλλης *α* από την επιφάνεια έως τα 6 εκατοστά βάθος ιζήματος αφενός, με το ρυθμό πρόσληψη άνθρακα από τα δεδομένα κατανάλωσης Ο₂ αφετέρου, δίνονται στην Εικόνα 3.3.17.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτούς η ροή άνθρακα από τη στήλη στα ιζήματα του μετώπου του δέλτα κυμαίνεται γενικά το Φεβρουάριο και τον Αύγουστο μεταξύ 10 και 45% της πρόσληψης άνθρακα από τη βενθική βιοκοινωνία, ποσό πολύ μικρό για να στηρίξει τα παρατηρούμενα επίπεδα βενθικού μεταβολισμού. Ωστόσο στους σταθμούς E3 και E4 το Φεβρουάριο η πρόσληψη άνθρακα φτάνει στο 50% της προσφοράς άνθρακα από τη στήλη, γεγονός που υποδηλώνει ότι η υποστήριξη του βενθικού μεταβολισμού από τον άνθρακα που δεσμεύεται από πρωτογενείς παραγωγούς είναι κυμαινόμενη. Παρόλο που οι τιμές ροής πρωτογενούς άνθρακα προέρχονται από εκτιμήσεις κατά τη διάρκεια του 1999, θεωρείται ότι το σφάλμα που υπεισέρχεται στις εκτιμήσεις είναι μικρό καθώς από τις συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης α που είναι διαθέσιμες εδώ και μια δεκαετία περίπου, διαπιστώνεται ότι δεν υφίστανται αξιόλογες διαχρονικές διακυμάνσεις της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας στο Μαλιακό κόλπο (βλ. Κεφ. 2.1). Πηγή σφαλμάτων ενδεχομένως αποτελεί η χρησιμοποίηση του

συγκεκριμένου αναπνευστικού πηλίκου το οποίο εάν υποτιμά τα επίπεδα νιτροποίησης στο ίζημα τότε οδηγεί σε μικρή υπερεκτίμηση των επιπέδων αερόβιας πρόσληψης άνθρακα από τη βιοκοινωνία. Επιπλέον, ο συντελεστής μετατροπής της Χλωροφύλλης α σε Ισοδύναμα άνθρακα (=40) μπορεί να είναι μεγαλύτερος, ωστόσο χρησιμοποιείται ευρύτατα και επομένως προσφέρει το πλεονέκτημα της σύγκρισης με άλλες μελέτες. Χαμηλά είναι και τα ποσοστά προσφοράς άνθρακα επί του ρυθμού πρόσληψης άνθρακα, που υπολογίζεται από το περιεχόμενο Ο ρυθμός αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης α που Χλωροφύλλης α στο ίζημα. χρησιμοποιήθηκε, αφορά ιζήματα με θερμοκρασίες που δεν υπερβαίνουν τους 20°C (0.03 / ημέρα, Sun et al. 1993) και μπορεί να είναι πράγματι μεγαλύτερος λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που σημειώνονται στα ιζήματα του Μαλιακού κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Ωστόσο, σε μέση θερμοκρασία ιζήματος ίση με 10°C, όπως συμβαίνει το χειμώνα στην περιοχή μελέτης, ο ρυθμός αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης α εκτιμήθηκε ότι είναι 0.02 / ημέρα (Sun et al. 1993), δηλαδή ακόμη μικρότερος. Παρά το γεγονός, όμως, ότι λόγω της χρήσης συντελεστών και όχι πραγματικών μετρήσεων υπεισέρχονται σφάλματα στις εκτιμήσεις των ημερήσιων ρυθμών παροχής και πρόσληψης άνθρακα, οι διαφορές μεταξύ τους είναι τόσο μεγάλες που υποδεικνύουν ότι για να καλύψουν οι βενθικοί οργανισμοί τις ενεργειακές τους ανάγκες χρησιμοποιούν οργανική ύλη που δεν έχει άμεση πρωτογενή προέλευση.

Θεωρώντας ότι η ημερήσια κατανάλωση οξυγόνου από κάθε περίοδο δειγματοληψίας είναι ίδια για κάθε ημέρα της αντίστοιχης εποχής και πολλαπλασιάζοντας με αναπνευστικό πηλίκο ίσο με 0.85, υπολογίστηκε η ετήσια πρόσληψη άνθρακα από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας σε κάθε σταθμό (Εικόνα 3.3.18). Οι τιμές αυτές είναι κατά πολύ χαμηλότερες συγκρινόμενες με περιοχές της Βόρειας Θάλασσας (Boon *et al.* 1999) είναι όμως στα ίδια επίπεδα με περιοχές της Β. Αδριατικής κοντά στις εκβολές του Πάδου (Moodley *et al.* 1998). Αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη βαθυμετρικής διαβάθμισης του ρυθμού πρόσληψης άνθρακα. Ενδεχομένως, η διαβάθμιση αυτή υποδηλώνει την ύπαρξη τροφικής διαβάθμισης με υψηλότερα επίπεδα προσφοράς βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης ανά έτος κοντά στην εκβολή.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι ο ρυθμός προσφοράς ολικού οργανικού άνθρακα στα ιζήματα της περιοχής μελέτης θα πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το ρυθμό πρόσληψης, δεδομένου ότι η ροή ολικού άνθρακα στο ίζημα μπορεί να εκτιμηθεί από το άθροισμα του ρυθμού ενταφιασμού, δηλαδή του ρυθμού με τον οποίο ο οργανικός άνθρακας συσσωρεύεται αχρησιμοποίητος σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος και του ρυθμού αναπνοής, δηλαδή του ρυθμού με τον οποίο ο οργανικός άνθρακας οξειδώνεται από τους ζωντανούς οργανισμούς (Middelburg et al. 1993). Αν και δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με το ρυθμό συσσώρευσης των ιζημάτων στο Μαλιακό κόλπο, έχουν ωστόσο εκτιμηθεί οι ρυθμοί ιζηματογένεσης και εναπόθεσης οργανικού άνθρακα με τη χρησιμοποίηση ιζηματοπαγίδας (Hall 2001), όπως ήδη αναφέρθηκε. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, εναποτίθενται 74 (±11) g σωματιδιακού οργανικού άνθρακα / m^2 / έτος στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, εκτίμηση που αποτελεί τη μέση τιμή ροής οργανικού άνθρακα από το χειμώνα και το καλοκαίρι του 1999 σε βάθος 12 μέτρα περίπου. Η περιοχή αυτή με βάση το γεωγραφικό στίγμα βρίσκεται πολύ κοντά στο σταθμό Ε3 και ενδεχομένως αποτελεί υποεκτίμηση της ροής άνθρακα για τους σταθμούς Ε0 και Ε2 που βρίσκονται πιο κοντά στην εκβολή του ποταμού. Επειδή δεν υπάρχουν ενδείξεις που να υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών μεταβολών του καθεστώτος ιζηματογένεσης κατά την περίοδο 1999-2001, για παράδειγμα δε σημειώθηκαν πλημμυρικές παροχές σε αυτό το διάστημα, η χρήση αυτών των ετήσιων ρυθμών εναπόθεσης οργανικού άνθρακα στα πλαίσια της παρούσας μελέτης θεωρείται ότι δεν επιφέρει σημαντικά σφάλματα στους υπολογισμούς. Έτσι, αν θεωρήσουμε ότι η χωρική μέση τιμή εισροών οργανικού άνθρακα στο μέτωπο του Δέλτα αντιστοιχεί στα 74 g / m^2 / έτος ενώ η χωρική μέση τιμή πρόσληψης άνθρακα φτάνει στα 51.12 (±13) g / m² / έτος, τότε συνάγεται το συμπέρασμα ότι το 31% του οργανικού άνθρακα που εναποτίθεται στο βένθος του υποθαλάσσιου Δέλτα του Σπερχειού είτε συσσωρεύεται αχρησιμοποίητο σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος ή απομακρύνεται από το μέτωπο του δέλτα προς τις προδελταϊκές περιοχές του Μαλιακού κόλπου είτε χρησιμοποιείται από υπερβενθικούς πληθυσμούς, βενθοπελαγικά ψάρια ή και από το ζωοπλαγκτόν, συμπεριλαμβανομένων των νεαρών προνυμφικών σταδίων βενθικών και πελαγικών οργανισμών.

Το πιθανότερο είναι ότι όλα αυτά συμβαίνουν ταυτόχρονα, σε αναλογίες που είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν.

Δεδομένων των ομοιοτήτων τόσο στις συγκεντρώσεις Ολικού Οργανικού Άνθρακα και χλωροφυλλούχων χρωστικών όσο και στους ρυθμούς βενθικού μεταβολισμού σε περιοχές της Αδριατικής υπό την επίδραση των εκφορτίσεων του Πάδου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ρυθμός συσσώρευσης ιζημάτων (6 mm / έτος, Frignani *et al.* 1996) που έχει εκτιμηθεί για μια περιοχή 60 περίπου γιλιόμετρα νότια του Δέλτα του Πάδου στα 18 μέτρα βάθος. Έτσι, εφαρμόζοντας την εξίσωση Ρυθμός εισροής Οργανικού Άνθρακα=Ρυθμός συσσώρευσης στο ίζημα + Ρυθμός οξείδωσης (αναπνοή) (Middelburg et al. 1993) και πολλαπλασιάζοντας το ρυθμό συσσώρευσης με το περιεχόμενο Ολικού Οργανικού Άνθρακα, εκτιμάται ότι ο ρυθμός ενταφιασμού του οργανικού άνθρακα ανέρχεται στα 13, 17, 30 και 16 g / m^2 / έτος στους σταθμούς E0, E2, E3 και E4 αντίστοιχα με χωρική μέση τιμή 19 (\pm 7) g / m² / έτος. Αν προσθέσουμε τους ρυθμούς αυτούς στους ρυθμούς πρόσληψης άνθρακα – που προέκυψαν κατά την παρούσα μελέτη- τότε οι ρυθμοί εισροής οργανικού άνθρακα είναι 79, 75, 71 και 55 g / m^2 / έτος στους σταθμούς E0, E2, E3 και E4, αντίστοιγα, ενώ η χωρική μέση τιμή, που είναι ίση με 70 (±11) g / m^2 / έτος, είναι κοντά στη μέση τιμή που υπολογίστηκε με βάση το ρυθμό εναπόθεσης οργανικού άνθρακα στην περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με όλες τις έμμεσες και άμεσες εκτιμήσεις συνάγεται το συμπέρασμα ότι υφίσταται βαθυμετρική διαβάθμιση των εισροών οργανικού άνθρακα, η οποία βαίνει μειούμενη με την αύξηση της απόστασης και του βάθους από την εκβολή του Σπερχειού.

Ασφαλώς, η 'εξίσωση' των Middelburg *et al.* (1993) υποτιμά τα επίπεδα οργανικού άνθρακα που παραμένοντας στη νεφελοειδή στρώση πυθμένα είτε χρησιμοποιούνται από υπερβενθικούς και βενθοπελαγικούς οργανισμούς είτε εξάγονται προς βαθύτερες περιοχές του Μαλιακού. Επιπλέον, η ελλιπής εκτίμηση της εισροής φυτοπλαγκτονικού άνθρακα στο σύστημα, λόγω έλλειψης στοιχείων πρωτογενούς παραγωγής, δημιουργούν ερωτήματα ως προς το ποια είναι η κυριότερη πηγή οργανικού άνθρακα που στηρίζει το βενθικό μεταβολισμό σε κάθε εποχή. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η βιβλιογραφική προσέγγιση των άγνωστων μελών εξισώσεων που περιγράφουν το ισοζύγιο οργανικού άνθρακα είναι κάτι συνηθισμένο στα πλαίσια κατασκευής θεωρητικών μοντέλων (π.χ. Wassmann 1984, Moodley *et al.* 1998, Boon *et al.* 1999). Στην παρούσα μελέτη η χρησιμοποίηση στοιχείων από μελέτες σε παρόμοια οικοσυστήματα με αυτό του Μαλιακού πραγματοποιήθηκαν με κάθε προσοχή και επιφύλαξη με σκοπό να φωτίσουν άγνωστες πλευρές του οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου που θα πρέπει να διερευνηθούν διεξοδικά στο προσεχές μέλλον.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται η δομή της βιοκοινωνίας κατά κλάσεις βιομάζας, υπό το πρίσμα των αποτελεσμάτων που περιγράφηκαν σε αυτό το κεφάλαιο.

Εικόνα 3.3.13 (απέναντι). Περιεχόμενο του ιζήματος σε Χλωροφύλλη α (C-Chla), Ολικές Πρωτεΐνες (C-TPRT), Ολικούς Υδατάνθρακες (C-TCBH) και Ολικά Λιπίδια (C-TLIP) από την επιφάνεια έως τα 6 cm βάθος ιζήματος στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Οι τιμές είναι σε g/m^2 (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων).





Εικόνα 3.3.14. Διακυμάνσεις του λόγου των συγκεντρώσεων Ολικών Υδατανθράκων προς ολικές πρωτεΐνες (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) (TCBH/TPRT) στα (0-6) cm βάθος ιζήματος.

3.3.3 Πανίδα - Κλάσεις Βιομάζας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τιμές αφθονίας, βιομάζας και αριθμού ειδών της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στους σταθμούς του Τρίτου Δειγματοληπτικού πλάνου. Κατά την περιγραφή των αποτελεσμάτων δίνεται έμφαση στη δομή της βιοκοινωνίας κατά μεγέθη.

Οι τιμές ολικής αφθονίας της βενθικής μακροπανίδας στους σταθμούς του Τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου κυμαίνονται από 2040 (σταθμός AE3) έως 10746 άτομα / m² (σταθμός 2001ME4) (Εικόνα 3.3.19α). Γενικά, όλοι οι σταθμοί εκτός από τον Ε0 εμφανίζουν μεγαλύτερη από δύο φορές αύξηση των επιπέδων αφθονίας το Μάιο ή τον Αύγουστο. Αντίθετα στο σταθμό Ε0 το Φεβρουάριο και Μάιο 2001 σημειώνονται σημαντικά χαμηλότερες αφθονίες (p>0.05).

Τέλος, η συνεισφορά των κύριων ταξινομικών ομάδων στην ολική αφθονία εξαρτάται τόσο από το σταθμό όσο και από την εποχή (Εικόνα 3.3.20α). Έτσι, στο σταθμό Ε0 κυριαρχούν οι Πολύχαιτοι το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάιο 2001 ενώ το Μάιο και Αύγουστο 2000 κυριαρχούν τα Μαλάκια. Στους υπόλοιπους σταθμούς παρατηρείται αύξηση της συνεισφοράς των Μαλακίων τον Αύγουστο και το Νοέμβριο ενώ ειδικά στο σταθμό Ε4 κυριαρχούν αριθμητικά τα Καρκινοειδή το Φεβρουάριο και Μάιο 2001.



Εικόνα 3.3.15. Ολικός Οργανικός Άνθρακας (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) και Ισοδύναμα Άνθρακα της Χλωροφύλλης α (C-Chla), των Ολικών Πρωτεϊνών (C-TPRT), των Ολικών Υδατανθράκων (C-TCBH) και των Ολικών Λιπιδίων (C-TLIP) από την επιφάνεια έως τα 6 cm βάθος ιζήμθτος στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Οι τιμές είναι σεg/m².





Εικόνα 3.3.16. Ωριαίοι ρυθμοί κατανάλωσης οξυγόνου (±τυπικό σφάλμα 2 επαναλήψεων) από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Εικόνα 3.3.17. Ημερήσιοι ρυθμοί παροχής Άνθρακα υπολογισμένοι από το περιεχόμενο Χλωροφύλλης *α* έως τα 6 cm βάθος ιζήματος¹ και πρόσληψης Άνθρακα από τους ρυθμούς κατανάλωσης Οξυγόνου².

1. Υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ως ρυθμό αποικοδόμησης της Χλωροφύλλης α στο ίζημα το 0.03 / ημέρα (Sun *et al.* 1993).

2. Υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας αναπνευστικό πηλίκο RQ=0.85 (Smith *et al.* 1974, Smith 1978).

*Περιεχόμενο Ιζηματοπαγίδας που ποντίστηκε το Φεβρουάριο 1999 (μέση τιμή 3 ημερών) και τον Ιούλιο 1999 (μέση τιμή δύο ημερών) (Hall 2001).



Εικόνα 3.3.18. Ετήσιοι ρυθμοί πρόσληψης άνθρακα (± τυπικό σφάλμα 2 επαναλήψεων) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Οι τιμές ολικής ξηρής βιομάζας απαλλαγμένης κελύφους παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3.19β. Παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις στο χώρο και στο χρόνο οι οποίες όμως δεν μπορούν να αποδοθούν σε κάποια συγκεκριμένη επίδραση. Οι υψηλές τιμές που σημειώνονται στο σταθμό Ε0 τον Αύγουστο οφείλονται στους μεγάλους πληθυσμούς (> 180 άτομα / m²) νεαρών ατόμων του είδους *Echinocardium cordatum*, που συγκαταλέγεται ανάμεσα στα κυρίαρχα είδη του σταθμού αυτού. Τα Μαλάκια συνεισφέρουν περισσότερο από τις άλλες ταξινομικές ομάδες στις τιμές ξηρής βιομάζας απαλλαγμένης κελύφους στους σταθμούς Ε0, Ε3 και Ε4 (Εικόνα 3.3.20β). Στο σταθμό Ε2 λίγα άτομα *Amphiura chiajei* καθιστούν τη συμμετοχή των Εχινοδέρμων μεγαλύτερη χωρίς όμως να επηρεάζουν την ολική αφθονία.

Οι τιμές του ολικού αριθμού ειδών ανά δείγμα εμφανίζουν παρόμοιο πρότυπο μεταβολών με αυτές της ολικής αφθονίας (Εικόνα 3.319γ), υποδηλώνοντας ότι το Μάιο η αύξηση της αφθονίας στο μέτωπο του Δέλτα νότια της εκβολής του Σπερχειού συμπίπτει με αύξηση του αριθμού ειδών. Παρατηρείται ότι στο σταθμό Ε2 εμφανίζονται γενικά τα περισσότερα είδη σε

όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους εκτός από το Νοέμβριο, οπότε ο υψηλότερος αριθμός ειδών ανά δείγμα σημειώνεται στο σταθμό Ε0. Οι Πολύχαιτοι συμμετέχουν με τα περισσότερα είδη ακολουθούμενοι από τα Μαλάκια (σταθμοί Ε0, Ε2, Ε3) ή από τα Καρκινοειδή και τα Μαλάκια (σταθμός Ε4) (Εικόνα 3.3.20γ).



Εικόνα 3.3.19. Διακυμάνσεις (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) α. της ολικής αφθονίας / m² β. της ολικής ξηρής βιομάζας απαλλαγμένης στάχτης / m² και γ του ολικού αριθμού ειδών ανά δείγμα στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.


Εικόνα 3.3.20. Εκατοστιαία συνεισφορά κάθε κύριας ταξινομικής ομάδας α. στην ολική αφθονία, β. στην ολική ξηρή βιομάζα απαλλαγμένης στάχτης και γ. στον ολικό αριθμό ειδών στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Στη συνέχεια αναλύεται η σύνθεση της ολικής αφθονίας, ξηρής βιομάζας και αριθμού ειδών σε κλάσεις διαμέτρου σώματος (Εικόνα 3.3.17) και συγκεκριμένα στις εξής κλάσεις:

- Κλάση Ι: 0.5 1 mm,
- Κλάση ΙΙ: 1 2 mm,
- Κλάση III: 2 4 mm,
- Κλάση ΙV: 4 -8 mm και
- Κλάση V: > 8 mm

Παρατηρείται ότι οι αριθμοί ατόμων και ειδών βαίνουν μειούμενοι όσο αυξάνεται η διάμετρος των οργανισμών. Τα υψηλότερα επίπεδα αφθονίας και αριθμού ειδών σημειώνονται σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας και σε όλους τους σταθμούς στην Κλάση Ι, γεγονός που υποδεικνύει την αριθμητική επικράτηση των μικρών μακροπανιδικών οργανισμών (Εικόνα 3.3.21). Αντίθετα, στις κλάσεις ΙV και V, που περιέχουν άτομα μεγάλου μεγέθους, αντιστοιχούν συνήθως ελάχιστα άτομα σε όλους τους σταθμούς και λίγα είδη ανά σταθμό. Ωστόσο, στις κλάσεις αυτές αναλογούν πολλά είδη, όπως τα Εχινόδερμα Echinocardium cordatum, Amphiura chiajei, Asterina sp., ο Νημερτίνος Cerebratulus fuscus, τα μαλάκια Nucula spp., Axinulus croulinensis, Thyasira flexuosa, Abra prismatica, Tellina spp, Turitella communis, Timoclea ονατα, Corbula gibba, οι Πολύχαιτοι Nepthys hystricis και Glycera rouxii, και τα Δεκάποδα Brachynotus gemmelari, και Processa sp.. Ειδικά όμως το Μάιο και Αύγουστο το είδος E. cordatum εμφανίζει υψηλούς πληθυσμούς (>180 άτομα / m²) στους σταθμούς Ε0 και Ε2 ενώ απουσιάζει από το βαθύτερο σταθμό (Ε4). Ως εκ τούτου, η βιομάζα δεν ακολουθεί τις τάσεις του αριθμού ατόμων και ειδών (Εικόνα 3.3.22).

Με βάση τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από τη συγκριτική παρουσίαση της σύνθεσης των κλάσεων διαμέτρου σώματος ως προς την αφθονία, βιομάζα και αριθμό ειδών, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το βάρος σώματος (βιομάζα), περιέχει διαφορετική πληροφορία από την ταξινομική σύνθεση της βιοκοινωνίας και την ποικιλότητα γενικότερα. Αυτό απεικονίζεται ευκρινέστερα στις εκατοστιαίες αναλογίες της αφθονίας, ξηρής βιομάζας και αριθμού ειδών επί των αντίστοιχων ολικών τιμών σε κάθε κλάση διαμέτρου σώματος (Εικόνα 3.3.21), όπου τα ποσοστά βιομάζας όχι μόνο δεν μειώνονται προς τις μεγαλύτερες κλάσεις μεγέθους αλλά παρουσιάζουν διαφορετικά πρότυπα διακυμάνσεων ανάλογα με το σταθμό και την περίοδο δειγματοληψίας. Αυτό σημαίνει ότι η διάμετρος σώματος δεν αποτελεί αξιόπιστο μέτρο της κατανομής της βιομάζας ανάλογα με το μέγεθος του οργανισμού. Για το λόγο αυτό διερευνάται στη συνέχεια η κατανομή της ξηρής βιομάζας σε κλάσεις βάρους σώματος (βιομάζας), έτσι ώστε να γίνει κατανοητό πώς οι οργανισμοί ανάλογα με το μέγεθος τους συνεισφέρουν στην ολική βιομάζα κάθε σταθμού.







Εικόνα 3.3.21. Εκατοστιαίες αναλογίες της αφθονίας, ξηρής βιομάζας και αριθμού ειδών επί των αντίστοιχων ολικών τιμών σε κάθε κλάση μεγέθους



Εικόνα 3.3.22. Αφθονία, Ξηρή Βιομάζα και Αριθμός ειδών της μακροπανίδας (± τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) σε 5 κλάσεις διαμέτρου σώματος (0.5 - 1 mm, 1 - 2 mm, 2 - 4 mm, 4 -8 mm και > 8 mm) στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Η κατανομή της βιομάζας σε κλάσεις δι-λογαριθμισμένων (log 2) τιμών ξηρής βιομάζας, δηλαδή Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας, στους σταθμούς του τρίτου πλάνου, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.3.23. Η μεγαλύτερη τιμή ξηρής βιομάζας (g) των κλάσεων που χρησιμοποιήθηκαν και ο αντίστοιχος λογάριθμος με βάση το 2 δίνονται παρακάτω: $Log_2(0.0039)$ =-8, $Log_2(0.0080)$ =-7, $Log_2(0.0150)$ =-6, $Log_2(0.0320)$ =-5, $Log_2(0.0625)$ =-4, $Log_2(0.12)$ =-3, $Log_2(0.25)$ =-2, $Log_2(0.5)$ =-1, $Log_2(1)$ =0, $Log_2(2)$ =1, $Log_2(4)$ =2, $Log_2(8)$ =3, $Log_2(16)$ =4, $Log_2(32)$ =5, $Log_2(64)$ =6, $Log_2(128)$ =7, $Log_2(256)$ =8.



Εικόνα 3.3.23. Φάσμα Μεγεθών Ξηρής Βιομάζας στους σταθμούς του τρίτου πλάνου. Οι τιμές Ξηρής Βιομάζας αντιστοιχούν σε μέσους όρους από όλες τις δειγματοληπτικές περιόδους.

Το ΦΚΒ έχει διαφορετική μορφή και εύρος σε κάθε σταθμό, υποδηλώνοντας έντονη μεταβλητότητα ως προς την κατά κλάσεις βιομάζας δομή της μακροβενθικής βιοκοινωνίας. Έτσι, στο σταθμό Ε0 το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας προέρχεται από τις μεγάλες κλάσεις βιομάζας [>2g] ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς οι ενδιάμεσες κλάσεις (0.0625 g - 2 g) συσσωρεύουν τα μεγαλύτερα ποσά ξηρής βιομάζας. Επιπλέον, οι σταθμοί Ε0 και Ε4 εμφανίζουν μονομορφικό (unimodal) ΦΚΒ. Συγκεκριμένα, ο σταθμός Ε0 εμφανίζει ένα μέγιστο στην κλάση 128 - 256 g, το οποίο διαμορφώνεται από την αυξημένη παρουσία ατόμων μεγάλου μεγέθους, κυρίως των ειδών Echinocardium cordatum και Amphiura chiajei αλλά και των Πολύχαιτων *Glycera rouxii* και *Nephtys hystricis*, ενώ ο σταθμός E4 εμφανίζει μέγιστο στην κλάση 0.5 - 1 g, η οποία διαμορφώνεται κυρίως από τη βιομάζα των κυρίαρχων ειδών και κυρίως των ειδών Mysella bidentata, Hyala vitrea και Terebellides stroemi. Αντίθετα, οι σταθμοί Ε2 και Ε3 εμφανίζουν διμορφικό (bimodal) ΦΚΒ. Συγκεκριμένα ο σταθμός Ε2 παρουσιάζει τοπικά μέγιστα στις κλάσεις 0.5 – 1 g, κυρίως λόγω της παρουσίας των ειδών Mysella bidentata, Phoronis cf psamophila, Apseudes latreilli mediterranea, Ampelisca sp., Corbula gibba και Nephtys hystricis και 8 - 16 g, χάρη σε άτομα των ειδών E. cordatum, Cerebratulus fuscus και Asterina sp. Τέλος ο σταθμός E3 παρουσιάζει μέγιστα αφενός στην κλάση 0.25 – 0.5 g, που διαμορφώνεται κυρίως από την επικράτηση μικρών Πολύχαιτων (Jasmineira elegans, Clymenura sp., Aricidea claudia, Tauberia gracilis, Polycirrus tenuisetis, Monticellina dorsobranchialis, Pseudoleiocapitella fauveli) καθώς και από μικρά Δίθυρα και Γαστερόποδα (Mysella bidentata, Tellina tenuis, Hyala vitrea, Cylichna cylindracea) και τους μεγάλους αριθμούς των μικρότερων μεγεθών από τα είδη Ampelisca sp., Leptocheirus mariae, Apseudes latreilli mediterranea, και αφετέρου στην κλάση 2 – 4 g, που χαρακτηρίζεται από τα μεγαλύτερα μεγέθη των παραπάνω ειδών αλλά κυρίως από τα είδη Sternaspis scutata, Nepthys hystricis, Terebellides stroemi, Corbula gibba και Nucula turgida. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στο σταθμό Ε3, όπου

επιδεικνύονται οι υψηλότερες τιμές, εξαιτίας της εγκατάστασης νεαρών ατόμων το Μάιο 2001, το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας αντικατοπτρίζει αυτή την κατάσταση με δύο μέγιστα αποτελούμενα από τα μικρά και τα μεγάλα άτομα των ίδιων ειδών.

Ιεραρχώντας τους σταθμούς ως προς την κλάση που εμφανίζουν μέγιστα, διαπιστώνεται ότι υπάρχει τάση συσσώρευσης της βιομάζας στις μεγαλύτερες κλάσεις (> 2 g) προς τα μικρότερα βάθη και προς την εκβολή. Η τάση αυτή συμπίπτει με την τάση στην αφθονία του είδους *E. cordatum*, το οποίο ενώ απουσιάζει από το σταθμό Ε4, σχηματίζει μεγάλους πληθυσμούς στο σταθμό Ε0. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι, αντίθετα από ότι είχε υποτεθεί και αναμενόταν, αυτή η διαβάθμιση υποδεικνύει ότι οι συνθήκες όχλησης στο στόμιο της εκβολής δεν επιφέρουν μείωση του βάρους σώματος.

Το ίδιο συμπέρασμα συνάγεται και από τις κλίσεις του Κανονικοποιημένου Φάσματος Κλάσεων Βιομάζας από κάθε σταθμό (Εικόνα 3.3.24). Εκτός από το σταθμό Ε0, οι ευθείες δεν έχουν σημαντική προσαρμογή στα δεδομένα (p>0.05), ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μεγάλη διασπορά των σφαλμάτων, ενδεχομένως λόγω έντονων εποχικών διακυμάνσεων ως προς την κατανομή της βιομάζας σε κλάσεις στους σταθμούς Ε2, Ε3 και Ε4. Οι σταθμοί Ε2 και Ε3 εμφανίζουν τιμή κλίσης μικρότερη από -1 ενώ οι σταθμοί Ε3 και Ε4 μεγαλύτερη από -1. Αυτό σημαίνει ότι ως προς το Κανονικοποιημένο ΦΚΒ διακρίνονται δύο καταστάσεις: τάση συσσώρευσης της βιομάζας σε μεγάλες κλάσεις στους ρηχούς σταθμούς (4-7.5 μέτρα βάθος) που αντιστοιχεί σε τιμές κλίσης <-1 και τάση συσσώρευσης της βιομάζας στις μικρές κλάσεις στους βαθύτερους σταθμούς (12.5 -22 μέτρα βάθος) που αντιστοιχεί σε τιμές κλίσης >-1, όπως διαπιστώνεται και από τα διαγράμματα της Εικόνας 3.3.19.

Ο σταθμός Ε0, που λόγω θέσης (στόμιο εκβολής) υποτίθεται ότι δέχεται τη μεγαλύτερη διατάραξη λόγω ιζηματαπόθεσης, εμφανίζει κλίση -2.36, δηλαδή εμφανή τάση συσσώρευσης της βιομάζας στις μεγάλες κλάσεις. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κατάσταση που είχε προβλεφθεί για πελαγικές βιοκοινωνίες. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Sprules & Munawar (1986) τιμές κλίσης μικρότερες από -1 – τάση συσσώρευσης της βιομάζας στις

μεγάλες κλάσεις - αντιστοιχούν σε συνθήκες υψηλής παραγωγικότητας και χαμηλών επιπέδων διατάραξης καθώς υπό αυτές τις συνθήκες η ενέργεια μεταφέρεται γρήγορα από τα μικρά μεγέθη οργανισμών προς τα μεγάλα, όπου συσσωρεύεται ως βιομάζα. Αν και υπάρχουν παραδείγματα από βενθικές βιοκοινωνίες που εμπίπτουν σε αυτή τη συνθήκη, για παράδειγμα οι βιοκοινωνίες στην υφαλοκρηπίδα της Ανταρκτικής (Saiz-Salinas & Ramos 1999), ο Rasmussen (1993) επεσήμανε αποκλίσεις όσον αφορά αυτή την τάση, βρίσκοντας συσσώρευση βιομάζας σε μικρές κλάσεις σε βενθικές βιοκοινωνίες λιμνών με υψηλή παραγωγικότητα και συσσώρευση της βιομάζας σε μεγάλες κλάσεις με αυξανόμενη έκθεση σε κυματισμό. Προφανώς, ο σταθμός Ε0 αντιπροσωπεύει μια περιοχή που όχι μόνο η έκθεση σε συνθήκες έντονου υδροδυναμισμού είναι δεδομένη λόγω μικρού βάθους αλλά και των ρευμάτων πυθμένα που επάγονται από τις ποτάμιες εκφορτίσεις, αλλά και οι εισροές οργανικού άνθρακα και βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ενώσεων είναι οι υψηλότερες στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, όπως διαπιστώθηκε στο Κεφάλαιο 3.3.2.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι η βαθυμετρική διαβάθμιση που παρατηρείται ως προς το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας, η οποία χαρακτηρίζεται από επικράτηση των μεγάλων κλάσεων στην εκβολή και από επικράτηση των μικρών κλάσεων στις παρυφές του μετώπου του Δέλτα του Σπερχειού, συμπίπτει με τη διαβάθμιση 1. της συνεισφοράς του βιοαποικοδομήσιμου άνθρακα στον Ολικό Οργανικό Άνθρακα, η οποία αυξάνεται με την απομάκρυνση από την εκβολή και την αύξηση του βάθους, 2. των ισοδύναμων άνθρακα των Πρωτεϊνών που μειώνονται από την εκβολή προς τις παρυφές του μετώπου, 3. της εποχιακής μέσης τιμής του συντελεστή ταξινόμησης, που μειώνεται με το βάθος και 4. του βενθικού μεταβολισμού, που μειώνεται από την εκβολή προς τα βαθύτερα σημεία του μετώπου.



Εικόνα 3.3.24. Κανονικοποιημένο Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας και απεικόνιση της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης και του συντελεστή παλινδρόμησης (τρίτο δειγματοληπτικό πλάνο).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις είναι πολύ σημαντικές καθώς το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας έχει χαρακτηριστική μορφή ανάλογα με το οικοσύστημα και τις βιοκοινωνίες που εξετάζονται (Sheldon *et al.* 1972, 1973, Dickie *et al.* 1987, Sprules *et al.* 1983, Rodriguez & Mullin 1986). Έτσι, έχει επίπεδη μορφή στις πλαγκτονικές βιοκοινωνίες των υποτροπικών και τροπικών περιοχών ενώ παρουσιάζει τοπικά μέγιστα σε διάφορες κλάσεις στις βιοκοινωνίες των εύκρατων περιοχών και των λιμνών. Οι βενθικές βιοκοινωνίες γενικά ομοιάζουν στις εύκρατες πλαγκτονικές ως προς το ΦΚΒ (Schwinghamer 1981, Warwick 1984, Gerlach *et al.* 1985, Rasmussen 1993, Morin *et al.* 2001) και η παρούσα μελέτη προσφέρει ισχυρές ενδείξεις υπέρ

αυτής της τάσης. Επιπλέον όταν η κλίση του κανονικοποιημένου ΦΚΒ είναι κοντά στο 0, επικρατεί απόλυτα η συνεισφορά των μικρών κλάσεων στην ολική βιομάζα της βιοκοινωνίας κατάσταση που προφανώς υφίσταται στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού και συγκεκριμένα στους σταθμούς Ε3 και Ε4. Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς αυτούς, αφού στο μεν σταθμό Ε4 το μέγεθος των ειδών είναι σταθερό στη διάρκεια της μελέτης ενώ στο σταθμό Ε3 λαμβάνει χώρα μετατόπιση της κατά κλάσεις σύνθεσης της βιομάζας ανάλογα με την εγκατάσταση νεαρών –μικρού μεγέθους δηλαδή- ατόμων. Δεδομένου ότι οι διαφορές αυτός λαμβάνουν χώρα σε μια σχετικά μικρή έκταση, προσφέρουν μια ακόμη ένδειξη της υψηλής μεταβλητότητας της περιοχής μελέτης και της εξάρτησης της δομής της βιοκοινωνίας από

Καθώς οι μικρότερου μεγέθους οργανισμοί έχουν υψηλότερο ρυθμό παραγωγής ανά μονάδα βάρους σώματος, ένα Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας με επικράτηση των μικρών κλάσεων θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει μια κατάσταση στην οποία η παραγωγή του συστήματος αυξάνει προς τους μικρότερους οργανισμούς. Όπως διαπιστώνεται από την Εικόνα 3.3.25, όπου παρουσιάζεται η παραγωγή ξηρής βιομάζας και των αντίστοιχων ισοδύναμων άνθρακα σε κάθε κλάση βιομάζας, στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, σε γενικές γραμμές, η παραγωγή αυξάνεται με την κλάση. Οι υψηλότερες τιμές μακροβενθικής δευτερογενούς παραγωγής υπολογίζονται στο σταθμό Ε0, στην κλάση (256-500)g/m². Ακολουθεί ο σταθμός Ε3 και μετά ο Ε2, που παρουσιάζουν μέγιστα στις κλάσεις. $(4-8)g/m^2$ και $(1-2)g/m^2$, αντίστοιχα, ενώ ο σταθμός Ε4 επίσης παρουσιάζει μέγιστο στην κλάση (1-2)g/m². Ως εκ τούτου, οι σταθμοί Ε2 και Ε4 εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης της Παραγωγής με τις διλογαριθμισμένες κλάσεις βιομάζας. Η, δε, ολική μακροζωοβενθική παραγωγή Ξηρής Βιομάζας και των αντίστοιχων ισοδύναμων άνθρακα, που υπολογίστηκε από το άθροισμα των τιμών παραγωγής από κάθε κλάση (Εικόνα 3.3.26), ακολουθεί παράλληλη διαβάθμιση με το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας και το Βενθικό Μεταβολισμό, δηλαδή μειώνεται με το βάθος και την απομάκρυνση από την εκβολή.

Στην Εικόνα 3.3.26 απεικονίζονται ταυτόχρονα με την παραγωγή, οι τάσεις του λόγου Παραγωγής προς Βιομάζα (P/B), ο οποίος αυξάνει με την απομάκρυνση από την εκβολή. Ο λόγος αυτός, όταν υπολογίζεται σε ετήσιο επίπεδο, αποτελεί μέτρο της διάρκειας ζωής των οργανισμών που απαρτίζουν μια βιοκοινωνία (sensu Barnes & Mann 1982). Αυτή η ιδιότητα του λόγου προκύπτει από το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα και ευνοϊκές συνθήκες για την οικοδόμηση μεγάλου βάρους σώματος (βιομάζας). Οι μεγάλου μεγέθους οργανισμοί, επομένως, χαρακτηρίζονται από αργή ανάπτυξη, μεγάλη διάρκεια ζωής. Παράλληλα, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που προσλαμβάνεται με την αναπνοή χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της -μεγάλης- βιομάζας τους. Ως εκ τούτου, αυτοί οι οργανισμοί και οι βιοκοινωνίες στις οποίες αφθονούν έχουν χαμηλό ετήσιο P/B, και ανάλογα χαμηλό αριθμό γενεών ανά έτος. Από την άλλη μεριά, σε περιβάλλοντα που δεν ευνοούν αυτόν τον τύπο κύκλου ζωής (life history), ευδοκιμεί ένας άλλος τύπος οργανισμών, που χαρακτηρίζονται από γρήγορη ανάπτυξη, υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό και μικρή διάρκεια ζωής. Οι οργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν την ενέργεια που προσλαμβάνουν για να αναπτυχθούν και αναπαραχθούν όταν το επιτρέψουν οι συνθήκες και σε πολύ μικρό βαθμό για να διατηρήσουν τη –σχετικά μικρή- βιομάζα τους. Ω_{ζ} εκ τούτου, οι οργανισμοί αυτοί και οι βιοκοινωνίες τις οποίες συνθέτουν έχουν υψηλό ετήσιο P/B και ανάλογα υψηλό αριθμό γενεών ανά έτος. Πρόκειται για τις γνωστές στρατηγικές Κ και r, αντίστοιχα. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, συνάγεται το συμπέρασμα ότι στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού υφίσταται διαβάθμιση στρατηγικών κύκλου ζωής με τους Κ-οργανισμούς, που επικρατούν στις κορυφαίες αποθέσεις στο στόμιο της εκβολής, να αντικαθίστανται σταδιακά από ευκαιριακά είδη με κύκλο ζωής τύπου r. Αυτή η διαβάθμιση υποδηλώνει την ύπαρξη διαβάθμισης οικολογικών συνθηκών με πιο σταθερές συνθήκες κοντά στην εκβολή παρά στις παρυφές του μετώπου του δέλτα. Αυτό το συμπέρασμα είναι εκ διαμέτρου αντίθετο με την Τρίτη Υπόθεση περί σταδιακής επικράτησης μικρού μεγέθους ευκαιριακών οργανισμών με την προσέγγιση κοντά στις πηγές εκφορτίσεων φερτών υλών από το Σπερχειό και ποταμοχείμαρρους στο Μαλιακό κόλπο. Βρίσκεται δε στον αντίποδα των αποτελεσμάτων από μελέτες των βενθικών βιοκοινωνιών στις υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις του Αμαζονίου και του ποταμού

Yangtze, που υπέδειξαν την επικράτηση των μικρών μεγεθών ως απόκριση στην όχληση λόγω έντονης ιζηματογένεσης κοντά στις εκβολές (Aller & Stupakoff 1996, Rhoads *et al.* 1985). Τέλος, αντιβαίνει το γενικό κανόνα που ισχύει για διαταραγμένα – υποβαθμισμένα από την άποψη της παραγωγικότητας περιβάλλοντα, σύμφωνα με τον οποίο η δομή των βιοκοινωνιών σε αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζεται από την επικράτηση ευκαιριακών ειδών και μικρού μεγέθους οργανισμών (Sanders 1968, Pearson & Rosenberg 1978, Odum 1985), κατάσταση που συνδέεται με μειωμένη ικανότητα μετατροπής της προσλαμβανόμενης ενέργειας σε βιομάζα.

Η παραγωγή θεωρείται σπουδαιότερο και πιο αξιόπιστο μέτρο των οικολογικών συνθηκών και του τρόπου που αυτές επηρεάζουν τη ροή ενέργειας από τη βιομάζα και τη σχετική αφθονία των ειδών (McLusky 1989, Clarke & Warwick 1994). Ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο απόκρισης των βιοκοινωνιών σε συγκεκριμένο πλέγμα περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι Wolf & de Wolf (1977) επισημαίνουν ότι η ετήσια μακροζωοβενθική παραγωγή τείνει να είναι υψηλότερη σε ρηχές παράκτιες περιοχές και ακόμη υψηλότερη σε υφάλμυρα νερά ενώ οι Kalejta & Hockey (1991) διαπίστωσαν θετική συσχέτιση της παραγωγής και των λόγων Παραγωγής προς Βιομάζα (P/B) των μακροπανιδικών βιοκοινωνιών σε ποταμόκολπους και λιμνοθάλασσες με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και αρνητική με την απόσταση από τον Ισημερινό. Επιπλέον, οι Warwick et al. (1978) συγκρίνοντας τιμές παραγωγής και λόγων Ρ/Β μεταξύ χαρακτηριστικών βιοκοινωνιών της Βόρειας Θάλασσας, όπως οι βιοκοινωνίες, Macoma, Abra, Venus, Brissopsis lyrifera/Amphiura chiajei, συμπεραίνουν ότι οι δύο τελευταίες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές παραγωγής (P/B<1), η βιοκοινωνία Macoma από ενδιάμεσες (1 < P/B < 2) και η Abra από υψηλότερες (P/B > 2). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3.2, οι μικρότερες τιμές του εύρους τιμών του λόγου Ρ/Β στο Μαλιακό κόλπο αντιστοιχούν σε ποταμόκολπους και παράκτια οικοσυστήματα βόρειων εύκρατων περιοχών με υψηλή πρωτογενή παραγωγή (<2) ενώ οι μεγαλύτερες (>4) σε περιοχές της τροπικής και υποτροπικής ζώνης καθώς και σε υποβαθμισμένους ή ρυπασμένους ποταμόκολπους και γενικότερα σε συνθήκες όχλησης ή/και χαμηλής παραγωγικότητας.



Εικόνα 3.3.25. Ετήσιοι ρυθμοί παραγωγής ξηρής μακροπανιδικής βιομάζας και των αντίστοιχων ισοδύναμων άνθρακα ανά τετραγωνικό μέτρο σε κάθε κλάση βιομάζας στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου. Για την εκτίμηση της παραγωγής χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση των Tumbiolo & Downing (1994),η οποία είναι μια τροποποίηση της εξίσωσης του Brey (1990) λαμβάνοντας όμως υπόψιν την επίδραση της θερμοκρασίας και του βάθους.



Εικόνα 3.3.26. Ετήσια ολική μακροζωοβενθική παραγωγή Ξηρής Βιομάζας και των αντίστοιχων ισοδύναμων άνθρακα ανά τετραγωνικό μέτρο στους σταθμούς του τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου.

Οι Macpherson & Gordoa (1996) και οι McManus & Pauly (1990) θεωρούν ότι τα Φάσματα Κλάσεων Βιομάζας με τάση συσσώρευσης της βιομάζας στις μεγαλύτερες κλάσεις, δηλαδή στις κλάσεις με μικρότερη παραγωγή ανά μονάδα βάρους, αντιστοιχούν σε υψηλότερα επίπεδα βιοποικιλότητας και περιβαλλοντικής σταθερότητας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, εκ πρώτης όψεως, κάθε άλλο παρά προσφέρουν ενδείξεις υπέρ αυτής της υπόθεσης. Στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να θεωρηθεί ότι ο λόγος για τον οποίο οι κορυφαίες αποθέσεις με βάθος μικρότερο από 4 μέτρα και κυμαινόμενο ποσοστό ιλύος αργίλου ανάλογα με το ιζηματολογικό φορτίο του Σπερχειού, αποτελούν ένα πιο σταθερό περιβάλλον για τη μακροπανίδα από τις παρυφές του μετώπου του δέλτα. Εκεί το βάθος φτάνει τα 22 μέτρα και όπως διαπιστώνεται από τους συντελεστές ταξινόμησης και λοξότητας χαρακτηρίζεται από χαμηλό υδροδυναμισμό και μικρής έντασης επαναιώρηση, κατά τη διάρκεια της μελέτης τουλάχιστον.

Μια προσεχτική ματιά στα δεδομένα αποκαλύπτει ότι η κατανομή του είδους Echinocardium cordatum έχει τον καθοριστικό ρόλο στην παρατηρούμενη διαβάθμιση ως προς το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας, την Παραγωγή και το λόγο Ρ/Β. Αρκετά βασικά στοιχεία είναι γνωστά για το είδος αυτό και ακόμη περισσότερες πληροφορίες προσφέρονται σε ειδικές ιστοσελίδες –δίκτυα πληροφοριών για τη φυσική ιστορία των θαλάσσιων ειδών, τη συστηματική τους κατάταξη καθώς και τις αποκρίσεις τους σε ανθρωπογενείς και φυσικές επιδράσεις. Αναφέρεται ενδεικτικά το Δίκτυο για τη Θαλάσσια Ζωή στα Βρετανικά Νησιά (www.marlin.ac.uk, The Marine Biological Association), από το οποίο συλλέχθηκαν και οι περισσότερες πληροφορίες για το Echinocardium cordatum. Αυτό το εγινοειδές έχει σχήμα καρδιάς και η μεγαλύτερη διάμετρος σώματος φτάνει συνήθως τα 6 cm και ενίοτε τα 9 cm. Ζει μέσα σε μόνιμες στοές που διανοίγει το ίδιο. Βρίσκεται θαμμένο συνήθως στα 10 εκατοστά μέσα στο ίζημα αν και μπορεί να το συναντήσει κανείς ακόμη βαθύτερα. Είναι επιφανειακός ιζηματοφάγος οργανισμός και συναντάται μέχρι τα 200 μέτρα βάθος σε αμμώδη υποστρώματα και αμμώδεις λάσπες με ευρύαλη (18-40 psu) και κοσμοπολιτική εξάπλωση. Τα θηλυκά εξαπολύουν 1 εκατομμύριο αυγά περίπου κατά την περίοδο αναπαραγωγής, που διαρκεί από την άνοιξη έως το καλοκαίρι, τα οποία εξελίσσονται σε πλαγκτονοτροφικές προνύμφες (Kashen 1994). Στη Βόρεια Θάλασσα αναφέρεται ότι μπορεί να ζει από επτά έως δέκα χρόνια (Buchanan 1966, Hayward et al. 1996) ωριμάζοντας αναπαραγωγικά στο δεύτερο με τρίτο έτος. Ωστόσο, στη Μεσόγειο αναφέρεται ότι η διάρκεια ζωής δεν υπερβαίνει τα τρία έτη (Guillou 1985), ενώ σπάνια τα άτομα ζουν μετά την ενηλικίωση. Οι Warwick et al. (1978), επιγειρώντας να εκτιμήσουν την παραγωγή του Echinocardium cordatum σε περιοχή της Βόρειας Θάλασσας που χαρακτηρίζεται από τη βιοκοινωνία Venus, κατέληξαν στην εκτίμηση αρνητικής παραγωγής για εκείνη την περίοδο λόγω έντονης θνησιμότητας του πληθυσμού. Διαπίστωσαν ωστόσο υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και υψηλούς λόγους P/B σε μικρότερες κοόρτες και το αντίθετο σε μεγάλες κοόρτες. Οι de Ridder *et al.* (1991) επίσης αναφέρουν κυμαινόμενους ρυθμούς αύξησης, με τους γρήγορους ρυθμούς την άνοιξη να εναλλάσσονται με αργούς ρυθμούς το χειμώνα ενώ εκτιμάται ότι το μέγεθος τους αυξάνει με ρυθμό 1-2 cm ανά έτος.

Το E. cordatum παρουσιάζει υψηλή θνησιμότητα όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες επιφέρουν απώλεια κατάλληλου υποστρώματος και διατάραξη (www.marlin.ac.uk.). Ωστόσο, η θολερότητα, το υψηλό αιωρούμενο φορτίο, και η μετατόπιση λόγω αστάθειας υποστρώματος, επηρεάζουν λίγο έως καθόλου τη θνησιμότητα. Παραμένοντας στους φυσικούς παράγοντες, ακατάλληλες θερμοκρασίες και αύξηση της έκθεσης σε υψηλό υδροδυναμισμό και ειδικά σε έντονο κυματισμό, επιφέρουν επίσης ασήμαντες απώλειες στους πληθυσμούς του ενώ ακραίες τιμές θρεπτικών, αλατότητας και διαλυμένου οξυγόνου έχουν περισσότερο σημαντική επίδραση. Παρουσιάζει όμως υψηλή ευαισθησία σε διάφορους χημικούς παράγοντες (υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα, οργανοχλωριομένες ενώσεις). Είναι αξιοσημείωτη ωστόσο η ικανότητα του είδους να ανακάμπτει με σχετικά γρήγορους ρυθμούς, που κυμαίνονται από μερικούς μήνες έως λιγότερο από πέντε χρόνια μετά από την επίδραση όλων των παραπάνω παραγόντων. Τέλος, το Echinocardium cordatum δε θεωρείται λεία κάποιου οργανισμού και οι μόνες διαειδικές αλληλεπιδράσεις του αφορούν σε σχέση συμβίωσης με το μικρό δίθυρο Montacuta ferruginosa (Fish & Fish 1996) και το αμφίποδο Urothoe marina (Hayward & Ryland 1995). Τα νεαρά άτομα του πρώτου ζουν προσαρτημένα στις άκανθες του E. cordatum ενώ τα ενήλικα άτομα ζουν μέσα στις στοές. Πρακτικά δηλαδή οι απώλειες και οι πληθυσμιακές διακυμάνσεις του είδους θα πρέπει να αναζητούνται στους φυσικούς παράγοντες και τη χημική επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Οι παραπάνω πληροφορίες είναι αρκετά χρήσιμες για να κατανοηθεί η πληθυσμιακή επιτυχία του *E. cordatum* στην περιοχή των κορυφαίων αποθέσεων του Σπερχειού. Η διαβίωση του σε στοές και σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος, προφανώς, προστατεύουν το είδος από τις άμεσες συνέπειες του ενταφιασμού, δηλαδή τη μαζική θνησιμότητα, τόσο κατά τα διαστήματα έντονης στερεοπαροχής όσο και κατά τη διάρκεια πλημμυρικών-καταστροφικών επεισοδίων.

Ενδεχομένως στα πλαίσια της παρούσας μελέτης έχει υποεκτιμηθεί η αφθονία του εχινοειδούς αφού η αρπάγη Ponar που χρησιμοποιήθηκε, διείσδυσε στο υπόστρωμα μέχρι τα 12 περίπου εκατοστά. Ακόμη όμως και οι περίοδοι έντονης ιζηματογένεσης – φυσικής όχλησης, που διαρκεί από το τέλος του χειμώνα έως το τέλος της άνοιξης, συμπίπτουν με την περίοδο των γρήγορων ρυθμών αύξησης και της αναπαραγωγής, οπότε πολλαπλασιάζονται οι δυνατότητες γρήγορης ανάκαμψης. Ο τρόπος διατροφής του, επίσης, που εξασφαλίζει την αξιοποίηση οργανικής ύλης που εναποτίθεται στην επιφάνεια, δηλαδή είναι πιο πρόσφατη και συνεπώς μεγαλύτερης βιοαποικοδομησιμότητας, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι προτιμά ιλυοαμμώδη υποστρώματα, εξηγούν ικανοποιητικά την ευμεγέθη πληθυσμιακή παρουσία του E. cordatum στην περιοχή του στομίου της εκβολής του Σπερχειού. Επιπλέον η απουσία θηρευτών και η σχετικά μεγάλη αντοχή και υψηλή δυνατότητα ανάκαμψης σε πολλούς φυσικούς παράγοντες, όπως ήδη αναφέρθηκε, συμβάλλουν επίσης στις μεγάλες αφθονίες που σχηματίζει περί της εκβολής του Σπερχειού. Υπό αυτό το πρίσμα, η παρουσία του είδους αυτού σε μια περιοχή προφανούς φυσικής διατάραξης δεν αντιβαίνει τις θεωρίες που συνδέουν τα μικρά μεγέθη και τον υψηλό ενδογενή ρυθμό αύξησης r με συνθήκες όχλησης καθώς το είδος παρουσιάζει διφασική (bimodal) στρατηγική επιβίωσης: τα νεαρά άτομα έχουν γρήγορο ρυθμό αύξησης και μικρή βιομάζα ενώ τα ενήλικα έχουν αργό ρυθμό αύξησης και μεγάλη βιομάζα. Αξίζει να σημειωθεί ότι από διάφορες μελέτες σχετικά με την κατάσταση των πληθυσμών του είδους αυτού στη Βόρεια Θάλασσα (Buchanan 1966, Warwick et al. 1978), προκύπτει ότι οι παράγοντες όχλησης πλήττουν τα μεγάλα άτομα επειδή αυτά διαθέτουν μικρότερη ικανότητα να ανακάμψουν μετά από όχληση. Εάν αυτό ισχύει, η συσσώρευση βιομάζας στην ενδέκατη κλάση (>256g/m2) αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι έχει μεσολαβήσει από το τελευταίο φαινόμενο έντονης διατάραξης χρονικό διάστημα αρκετό για να επιτρέψει την ανάπτυξη των ατόμων σε τόσο μεγάλα μεγέθη. Επομένως, οι μεγάλοι πληθυσμοί Echinocardium cordatum που βρέθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης σε συνδυασμό με την παρουσία αρκετών ατόμων των οποίων η διάμετρος υπερβαίνει κατά πολύ τα 4 cm, μπορεί να αποτελούν μέτρο της χρονικής απόστασης από

καταστροφικές υδατοπαροχές, αφού χρειάζονται περίπου τρία χρόνια ή και περισσότερο για να φτάσουν σε αυτό το μέγεθος (Guillou 1985).

Μπορεί, όμως, ταυτόχρονα η συσσώρευση της βιομάζας κοντά στην εκβολή να αντανακλά μεταβολές στη ροή του Σπερχειού από τη μία χρονιά στην άλλη λόγω εγγειοβελτιωτικών έργων και μικρής έκτασης εκτροπών ροής για αρδευτικούς λόγους. Όπως διαπιστώνεται στον Πίνακα 3.3.2, τα περισσότερα μεγάλα άτομα κατά τη διάρκεια της μελέτης συναντώνται στο σταθμό Ε0 το Μάιο και τον Αύγουστο 2000. Το Φεβρουάριο παρατηρείται μεγάλος αριθμός νεαρών ατόμων, ένδειξη μαζικής εγκατάστασης. Το Μάιο 2001 όμως ελάχιστα μεγάλα άτομα έχουν απομείνει. Μια ερμηνεία για το τι προκάλεσε τη ραγδαία μείωση των μεγάλων ατόμων, μπορεί να δοθεί αν παρατηρήσει κανείς ότι το Φεβρουάριο και Μάιο 2001 σημειώθηκε δραματική αλλαγή του ποσοστού ιλύος αργίλου στο υπόστρωμα ενώ το καθεστώς ιζηματαπόθεσης αυξήθηκε στο σταθμό Ε0 (Εικόνα 3.3.5). Προφανώς, οι μεταβολές αυτές που συνδέονται άμεσα με αύξηση των εκφορτίσεων του Σπερχειού, επηρέασαν τον πληθυσμό και κυρίως την κατά μέγεθος δομή του πληθυσμού του *Ε. cordatum* στο σταθμό Ε0 ενώ πολύ λιγότερο φαίνεται να έχει επηρεαστεί ο πληθυσμός στο σταθμό Ε2.

Πίνακας 3.3.2. Συγκριτική παρουσίαση τιμών βιομάζας, παραγωγής και λόγων P/B του μακροζωοβένθους. Το εύρος τιμών βιομάζας που αναφέρεται για το Μαλιακό κόλπο αφορά σε ελάχιστες και μέγιστες τιμές που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης ενώ οι τιμές παραγωγής και ο λόγος P/B υπολογίστηκαν με βάση τη μέση τιμή βιομάζας από όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. ΞΒ: Ξηρή Βιομάζα, ΞΒΑΣ: Ξηρή Βιομάζα Απαλλαγμενη Στάχτης, IA: Ισοδύναμα Άνθρακα. ΠΛ:Παραλιακή ιλύς (mudflats).

	Περιοχή	Βάθος	Ιλύς- Άργιλος	Κυρίαρχη ταξινομική	Μακροζωοβενθική Παραγωγή	Μακροζωοβενθική Βιομάζα	P/B	Βιβλιογραφία
--	---------	-------	------------------	------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----	--------------

			%	ομάδα	(g/m²/έτος)	(g/m^2)		
Δελταϊκές Αποθέσεις	Μέτωπο Δέλτα Πάδου, Β. Αδριατική, Ιταλία	18	>80	Μαλάκια	10.9-19 (IA)	8.7-15.8 (IA)	~1.2	Moodley <i>et al.</i> 1998
	Μέτωπο Δέλτα Σπερχειού, Μαλιακός κόλπος, Ελλάδα	4-22	>50	Μαλάκια, Πολύχαιτοι, Αμφίποδα	13.4 -43.4 (ΞΒ) 11.68-37.76 (ΞΒΑΣ) 9.76-31.53 (ΙΑ)	0.911-24.5 (ΞB) 0.59-15.99 (ΞΒΑΣ) 0.34-9.19 (IA)	1-5.37 (ΞΒ) 1.36-7.2 (ΞΒΑΣ) 1.98-10.4 (ΙΑ)	Παρούσα Διατριβή
Υφαλοκρηπίδα	Θάλασσα Wadden, Ολλανδία			Δίθυρα, Πολύχαιτοι	30 (ΞΒΑΣ)	27 (ΞΒΑΣ)	1.10	Beukema 1981
	Νήσος Livingston, Ανταρκτική	32-200			326-485 (YB)	680-2130 (YB)	0.48-0.54	Saiz-Salinas & Ramos 1999
	Κόλπος Carmarthen, Ουαλία	~17	4%	Δίθυρα, Πολύχαιτοι	25.815 (ΞΒΑΣ)	45.793 (EB)	0.56	Warwick et al. 1978
Ποταμόκολποι - Υφάλμυρα ύδατα	Ακτές Σουηδίας	0-1	>80%	Δίθυρα, Πολύχαιτοι, Αμφίποδα	9-273 (ΞΒΑΣ)	2-70 (ΞΒΑΣ)	2.5-11	Rosenberg <i>et</i> <i>al.</i> 1985
	Ποταμόκολπος Grevenlingen, Ολλανδία	~7	Λεπτή άμμος	Μαλάκια	50.3-57.4 (ΞΒΑΣ)	6.953-74.528 (ΞΒΑΣ)	<1.6	Wolf & de Wolf 1977
	Ποταμόκολπος Berg, N. Αφρική	ПІ	<5	Γαστερόποδα, Πολύχαιτοι	66.7-146.9 (E B)	23.34-49.93 (EB)	4.52	Kalejta & Hockey 1991,
	Ποταμόκολπος Forth, Σκοτία			Ολιγόχαιτοι, Δίθυρα	12.9 (E B)	10.50 (EB)	1.23	McLusky 1987
	Ποταμόκολπος Bilbao, Ισπανία			Μεγάλα Πολύχαιτα δίθυρα – Μικρά πολύχαιτα, νηματώδεις	0.007-219.6 (EB)	0.002-133.6 (EB)	1.64-11.8	Gonzalez- Oreja & Saiz- Salinas 1999
	Ποταμόκολπος Humber, Αγγλία			Δίθυρα	27 (EB)	24 (E B)	1.12	McLusky 1989
	Ποταμόκολπος Lynther, Αγγλία	ПІ	13%	Macoma baltica	13.31 (Ξ B)	13.24 (EB)	1.01	Warwick & Price 1975
	Ποταμόκολπος San Francisco, ΗΠΑ	ПІ	>80%	Δίθυρα	174.93 (ΞΒΑΣ)	16.64 (ΞΒΑΣ)	4.50	Nichols 1977

Μέγεθος	Αφθονία του <i>Ε. cordatum</i> στο σταθμό Ε0								
E. cordatum (mm)	2000M	А	N	Ф	2001M				
1.0									
2.0	33 ± 2			93 ± 49					
4.0	487 ± 59		7 ± 7	13 ± 13					
8.0	160 ± 73	173 ± 49			20 ± 20				
Μέγεθος	Αφθονία του <i>Ε. cordatum</i> στο σταθμό Ε2								
(mm)	2000M	Α	Ν	Φ	2001M				
0.5									
1.0			7 ± 7						
2.0					13 ± 13				
4.0					20 ± 20				
8.0	67 ± 27		20 ± 12		47 ± 37				

Πίνακας 3.3.3. Αριθμός ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο (\pm τυπικό σφάλμα 3 επαναλήψεων) του είδους *E. cordatum* σε κάθε κλάση διαμέτρου στους σταθμούς Ε0 και Ε2.

Στα πλαίσια του Τρίτου δειγματοληπτικού πλάνου επιχειρείται μια σχηματοποιημένη ανασύσταση της ροής ενέργειας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Συνεπώς, είναι απαραίτητος ο καταμερισμός της αναπνοής στις επιμέρους βενθικές βιοκοινωνίες, δηλαδή τη μικροβιακή, τη μειοπανιδική και τη μακροπανιδική, ενδο- και επι-πανιδική. Και τούτο διότι οι εκτιμήσεις του βενθικού μεταβολισμού πραγματοποιήθηκαν με βάση την κατανάλωση οξυγόνου από οργανισμούς από το σύνολο αυτών των κατηγοριών. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι παραπάνω κατηγορίες έχουν συσταθεί κυρίως με βάση τις κατανομές μεγεθών των βενθικών οργανισμών και όχι με βάση κάποιο άλλο κριτήριο (Warwick 1984, Warwick & Clarke 1996). Σύμφωνα με το γενικό κανόνα που συνδέει την αναπνοή με το μέγεθος σώματος, ο ολικός ρυθμός αναπνοής της βιοκοινωνίας αυξάνει με το μέγεθος των οργανισμών που την απαρτίζουν αλλά οι κατ'άτομο ρυθμοί, που επίσης εξαρτώνται από το μέγεθος του σώματος, είναι υψηλότεροι σε μικρά μεγέθους άτομα (sensu Valiela 1995). Η σχέση αυτή μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση (Banse 1976):

Aναπνοή = α Βάρος σώματος^{0.75},

όπου ο συντελεστής α εξαρτάται από το είδος.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εκτιμήθηκε ο ρυθμός αναπνοής (μl O2 / ώρα στους 20°C) σε κάθε κλάση βιομάζας της μακροπανίδας χρησιμοποιώντας το συντελεστή 1.29 (συντελεστής ποικιλόθερμων οργανισμών, Πίνακας 1, Banse 1982). Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση ενός συντελεστή για όλα τα είδη της μακροπανίδας δεν ανταποκρίνεται απόλυτα στην πραγματικότητα. Ο συντελεστής αυτός, εξάλλου, υπολογίστηκε με βάση ευθείες παλινδρόμησης συμπεριλαμβάνοντας μόνο μερικά θαλάσσια μακροβενθικά είδη στην πειραματική διαδικασία μέτρησης των ρυθμών κατανάλωσης οζυγόνου, με την πλειοψηφία των ειδών να είναι χερσαία αρθρόποδα. Είναι γεγονός επίσης ότι ο συντελεστής αυτός δεν μπορεί να είναι ίδιος ανάμεσα σε είδη που ζουν στην επιφάνεια του ιζήματος, είναι θηρευτές και εμφανίζουν έντονη κινητικότητα και σε είδη που είναι εδραίοι ιζηματοφάγοι ή αιωρηματοφάγοι. Ωστόσο, επειδή η μακροπανίδα του Μαλιακού κόλπου, όπως ήδη επισημάνθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, παρουσιάζει αρκετά

μεγάλη ποικιλότητα ως προς τη θέση διαβίωσης μέσα στο ίζημα, την κινητικότητα και τους τροφοληπτικούς μηχανισμούς, και επειδή δεν υπάρχουν ενδείξεις ύπαρξης παρατεταμένων περιόδων ανοξίας στο ίζημα, θεωρείται ότι ο συντελεστής αυτός μπορεί να καλύψει σε ικανοποιητικό βαθμό το μέσο όρο των μεταβολικών δραστηριοτήτων της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας υπό καλά οξυγονωμένες συνθήκες. Στη συνέχεια, από το άθροισμα των ρυθμών αναπνοής από κάθε κλάση εκτιμήθηκε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αναπνοής και ο μέσος ετήσιος ρυθμός πρόσληψης άνθρακα της μακροπανίδας σε κάθε σταθμό.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Εικόνα 3.3.27, όπου γίνεται φανερό ότι ο μακροπανιδικός μεταβολισμός ακολουθεί παράλληλη διαβάθμιση με τον ολικό βενθικό μεταβολισμό, δηλαδή μειώνεται από την εκβολή του Σπερχειού προς τις παρυφές του μετώπου. Στην πραγματικότητα, τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι στους σταθμούς Ε0 και Ε2 αφενός, και Ε3 και Ε4 αφετέρου, περίπου 15% και 9% της οργανικής ύλης που καταναλώνεται από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας αντίστοιχα, προσλαμβάνεται από τους μακροβενθικούς οργανισμούς στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Επεκτείνοντας το συλλογισμό αυτό και χρησιμοποιώντας τις τιμές εισροής οργανικού άνθρακα που υπολογίστηκαν με βάση τη ροή οργανικής ύλης μέσω ιζηματοπαγίδας (βλ. Κεφ. 3.3.2) υπολογίζεται ότι η μακροπανίδα ευθύνεται για το 14, 12, 5 και 6 % της ετήσιας διάσπασης της διαθέσιμης οργανικής ύλης στα ιζήματα μέχρι τα 6 εκατοστά βάθος στους σταθμούς Ε0, Ε2, Ε3 και Ε4, αντίστοιχα. Στα ίδια περίπου ποσοστά καταλήγει κανείς λαμβάνοντας υπόψιν τις εισροές οργανικής ύλης από τη στήλη. Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι στο μέτωπο του δέλτα 9 ± 5 % της διαθέσιμης οργανικής ύλης στο βένθος διασπάται από το μακροζωοβένθος ετησίως. Το ποσοστό αυτό θεωρείται μικρό ειδικά εάν ληφθεί υπόψιν ότι ο ετήσιος ρυθμός ενταφιασμού του οργανικού άνθρακα στα ιζήματα του μετώπου (13-30 g/m²), ο οποίος είναι μεγαλύτερος από τον ετήσιο ρυθμό πρόσληψης οργανικού άνθρακα από τη μακροπανίδα (3-11 g/m²). Ενδεχομένως, αυτό προκύπτει επειδή ο υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης στην περιοχή αυτή υπερβαίνει τη δυνατότητα της μακροπανίδας να αξιοποιήσει τη διαθέσιμη οργανική ύλη και να τη μετατρέψει σε βιομάζα. Παρά το γεγονός ότι η απόλυτη αξιοπιστία των υπολογισμών αυτών είναι αμφισβητήσιμη, ωστόσο επειδή ένα μεγάλο μέρος των εκτιμήσεων έχει βασιστεί σε πραγματικές μετρήσεις στο πεδίο, θεωρείται ότι είναι σε ικανοποιητικό βαθμό ενδεικτικές της στοιχειομετρίας του άνθρακα στην περιοχή μελέτης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι στους σταθμούς Ε0 και Ε2 η βενθική δραστηριότητα κορυφώνεται μεν στις μεγάλες κλάσεις βιομάζας, παρατηρούνται δε τοπικά μέγιστα σε μικρότερες κλάσεις. Συγκεκριμένα, στο σταθμό Ε0, τον υψηλότερο μεταβολισμό εμφανίζει η κλάση (1-2) mg /m² ΞΒΑΣ στην οποία το μέσο ατομικό σωματικό βάρος είναι 14.93 μ g / m² ΞΒΑΣ, ενώ στο σταθμό Ε2 αυτό συμβαίνει στην έκτη κλάση (62.5-120) μ g / m² ΞΒΑΣ. όπου το μέσο ατομικό σωματικό βάρος είναι 46.7 μg / $m^2 \Xi BA\Sigma$. Στους σταθμούς E3 και E4, όμως, η μεταβολική δραστηριότητα είναι σταδιακά αυξανόμενη μέχρι την έκτη κλάση οπότε διατηρείται στα ίδια επίπεδα έως την ένατη κλάση -δηλαδή καλύπτει εύρος βιομάζας από 62.5 μ g / m² ΞΒΑΣ έως 1 mg / m² ΞΒΑΣ - και στη συνέγεια υφίσταται σταδιακή μείωση προς τις μεγαλύτερες κλάσεις. Στο σταθμό Ε3, το μέσο ατομικό σωματικό βάρος στις κλάσεις που εμφανίζουν τη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ποικίλλει μεταξύ 6.97 και 9.66 μg / $m^2 \Xi BA\Sigma$ ενώ στο σταθμό Ε4 ποικίλλει μεταξύ 4 και 10.62 μg / $m^2 \Xi BA\Sigma$. Από τα παραπάνω εκτιμάται ότι τα υψηλότερα επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου κατά κλάσεις βιομάζας σημειώνονται σε κλάσεις ενδιάμεσων τιμών βιομάζας, δηλαδή από την έκτη έως τη δέκατη κλάση, εξαιρουμένης όμως της παρουσίας των μεγάλων ατόμων E. cordatum. Επιπλέον, στους σταθμούς E0 και E2, οι ρυθμοί μεταβολισμού είναι υψηλότεροι από ότι στους σταθμούς Ε3 και Ε4.

Παρατηρείται, επιπλέον, ότι στην κατά είδος σύνθεση των μικρών κλάσεων περιλαμβάνονται είδη από όλες τις λειτουργικές κατηγορίες (sensu Aller & Stupakoff 1996, βλ. Κεφ. 3.1.4). Συγκεκριμένα, στο σταθμό Ε0, είδη όπως τα Sternaspis scutata, Pseudoleiocapitella fauveli, Glycera rouxii, Melinna palmata, Nephtys hystricis, Spiochaetopterus costarum, Terebellides stroemi, Cerebratulus fuscus, Tubulanus polymorphous, Phoronis psamophila, Abra prismatica, Gouldia minima, Turitella communis, Dentalium inaequicostatum, Corbula gibba, Thyasira flexuosa, Ampelisca sp., Leptocheirus mariae, Apseudes latreilli, Corrophium runcicorne, Processa parva, και άλλα, των οποίων η διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 1 χιλιοστό, είναι τα χαρακτηριστικά είδη της δέκατης κλάσης, που παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, εξαιρουμένων των μεγάλων εχινοειδών. Στο σταθμό Ε2, η έκτη κλάση, που εμφανίζει την υψηλότερη κατανάλωση O₂, απαρτίζεται από άτομα με διάμετρο σώματος συνήθως μεταξύ 1 και 2 χιλιοστών, δηλαδή από τα μεγαλύτερα άτομα των παρακάτω ειδών: *Tauberia gracilis, Hyala vitrea, Mysella bidentata, Abra prismatica, Lumbrineris latreilli, Heteromastus filiformis* και Φορονοειδή. Στους σταθμούς Ε3 και Ε4, στα είδη που περιέχονται από την έκτη έως την ένατη κλάση, περιλαμβάνονται τα *Nephtys hystricis, Tauberia gracilis, Hyala vitrea, Lumbrineris latreilli, Sthenolepis yhleni, Mysella bidentata, Anodontia fragilis, Nucula turgida, Ampelisca sp., Leptocheirus mariae, Apseudes latreilli, ενώ ειδικά στο σταθμό Ε3 στις κλάσεις που παρουσιάζουν τα υψηλότερα επίπεδα μεταβολισμού συγκαταλέγονται τα είδη <i>Melinna palmata, Spiochaetopterus costarum, Harmothoe lunulata, Harmothoe antilopis, Cylichna cylindracea, Phtisica marina, Amphiura chiajei, Micronephtys mariae, Corrophium runcicorne και Μυσιδώδη. Τέλος, τα καρκινοειδή <i>Harpinia crenulata, Eudorella nana* και *Maera schmidti,* συγκαταλέγονται στα χαρακτηριστικά είδη του σταθμού Ε4 από την έκτη έως την ένατη κλάση.

Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί από τα αποτελέσματα του Πρώτου και Δεύτερου δειγματοληπτικού πλάνου, οι οικολογικές συνθήκες στο Μαλιακό κόλπο ευνοούν την επικράτηση ειδών με έντονη κινητικότητα ή ικανότητα κατασκευής σωλήνων ή στοών και πελαγική προνυμφική ανάπτυξη. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, ο συνδυασμός των δύο διαβαθμίσεων, τροφής και όχλησης, που έχουν φορά αύξησης προς την εκβολή, συμβάλλει στην επικράτηση ατόμων σχετικά μεγαλύτερου μεγέθους στο σταθμό Ε0. Εκεί το υψηλό κόστος διατήρησης λόγω όχλησης αντισταθμίζεται από προσφορά υψηλής ποσότητας και ποιότητας τροφής. Εξετάζοντας πιο προσεχτικά, όμως, τις διαφορές κατανάλωσης οξυγόνου μεταξύ των κλάσεων παρατηρείται ότι και στους τέσσερις σταθμούς τα υψηλότερα ποσοστά επί του ολικού μακροζωοβενθικού μεταβολισμού, λαμβάνουν χώρα από την έκτη έως τη δέκατη κλάση. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το εύρος τιμών βιομάζας από 15 μg έως 2 mg / m² ΞΒΑΣ ή 8.6 μg έως 1.2 mg / m² ισοδύναμα άνθρακα ή 23 μg έως 6.6 mg / m² ξηρής βιομάζας, αντιπροσωπεύει

τη μερίδα της μακροπανίδας που συνεισφέρει περισσότερο στη ροή ενέργειας στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Αυτό σημαίνει ότι τα ενδιάμεσου μεγέθους άτομα των ειδών εμφανίζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς διάσπασης της οργανικής ύλης που είναι διαθέσιμη στη μακροπανίδα.



Εικόνα 3.3.27. Εκτίμηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (μl/ώρα) με βάση την εξίσωση Αναπνοή = 1.29 Χ Βάρος σώματος^{0.75} (Banse 1982) ανά κλάση βιομάζας και ανά σταθμό, και συνεισφορά του μεταβολισμού (ρυθμός πρόσληψης άνθρακα) της μακροπανίδας επί του ολικού μεταβολισμού της βενθικής βιοκοινωνίας σε κάθε σταθμό.

Οι Gerlach et al. (1985) υπολόγισαν το ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου ανά κλάση βιομάζας της μειοπανίδας και της μακροπανίδας στη βιοκοινωνία Echinocardium cordatum-Amphiura filiformis στο Kiel Bight, εφαρμόζοντας την εξίσωση Banse (1982) και κατέληξαν σε πολύ χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης συγκριτικά με την παρούσα μελέτη. Διαπίστωσαν όμως ισόποσα επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου, άρα και πρόσληψης οργανικού άνθρακα, από όλες τις κλάσεις μεγέθους της μακροπανίδας. Διαπίστωσαν επίσης ότι σε ιλυώδεις άμμους ο ρυθμός μεταβολισμού της μακροπανίδας είναι τέσσερις φορές μικρότερος από αυτόν της μειοπανίδας, βελτιώνοντας την ακρίβεια προβλέψεων αυτής της σχέσης από προηγούμενες μελέτες (Gerlach 1971,1978). Προφανώς στην περιοχή μελέτης, δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η σχέση κυρίως λόγω του διαφορετικού ρόλου και σύνθεσης της μειοπανίδας μεταξύ αμμωδών και ιλυοαργιλλωδών ιζημάτων.

Σε παρόμοια, ωστόσο, αναλογία για τη σχέση μειοπανίδας-μακροπανίδας κατέληξαν οι Schwinghamer *et al.* (1986), που υπολόγισαν τη συνεισφορά της μειοπανίδας και της μακροπανίδας καθώς και της μικροβιακής βιοκοινωνίας στην ολική κατανάλωση οξυγόνου στην υπερπαλιρροϊκή ζώνη της Νέας Σκοτίας, ακολουθώντας όμως διαφορετική μεθοδολογία. Χρησιμοποίησαν, αρχικά, την εξίσωση P/B=a X (Μέσο Βάρος Σώματος)^b των Banse & Mosher (1980) -εφαρμόζοντας ειδικό συντελεστή και εκθέτη για τα βακτήρια, τη μειοπανίδα και τη μακροπανίδα – για να υπολογίσουν την Παραγωγή. Στη συνέχεια, προχώρησαν σε εκτιμήσεις του ολικού βενθικού μεταβολισμού με βάση την εξίσωση Αναπνοή=0.367 Χ Παραγωγή^{0.993} (McNeil & Lawton 1970, Humphreys 1979, Banse & Mosher 1980), η οποία προέκυψε από επεξεργασία μετρήσεων σε ασπόνδυλα, εξαιρουμένων των αρθροπόδων. Η τελευταία εξίσωση υποδεικνύει ότι η ροή ενέργειας δια μέσου της βενθικής βιοκοινωνίας είναι ανεξάρτητη του μεγέθους των οργανισμών που την απαρτίζουν. Ως εκ τούτου, μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις κατηγορίες μεγέθους των βενθικών οργανισμών, από τα βακτήρια έως τη μακροπανίδα. Θα είχε επομένως ενδιαφέρον να εφαρμοστεί η εξίσωση αυτή στις μετρήσεις κατανάλωσης οξυγόνου που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, προκειμένου να εκτιμηθεί η ολική παραγωγή ισοδύναμων άνθρακα από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας. Τα επίπεδα ολικής παραγωγής που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού κυμαίνονται μεταξύ 218 και 275 g άνθρακα /m²/ έτος στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού. Συνεπώς, η ετήσια αύξηση ισοδύναμων άνθρακα στην περιοχή μελέτης.

Προφανώς, παραμένει αναπάντητο το ερώτημα εάν στο Μαλιακό κόλπο η οργανική ύλη είναι το ίδιο διαθέσιμη στη μειοπανίδα και τη μακροπανίδα και ποια στοιχεία της μικροβιακής βιοκοινωνίας είναι σημαντικότερα από την άποψη της βιομάζας, της παραγωγής και του μεταβολισμού. Λόγω του τρόπου που μετρήθηκε ο βενθικός μεταβολισμός στα πλαίσια του Τρίτου πλάνου, δεν είναι δυνατό να διακριθεί ο ρόλος των ετερότροφων βακτηρίων και πρωτοζώων από την αυτότροφη μικροχλωρίδα. Ωστόσο, γίνεται φανερό ότι λαμβάνοντας υπόψιν το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας τότε στην ετήσια παραγωγή και πρόσληψη άνθρακα συνεισφέρουν κατά πολύ περισσότερο οι κατηγορίες μεγέθους που είναι μικρότερες από τη μακροπανίδα. Υπό αυτό το πρίσμα, η βιοκοινωνία στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, παρουσιάζει ομοιότητες με τις βενθικές βιοκοινωνίες στις υποθαλάσσιες δελταϊκές αποθέσεις του Αμαζονίου (Aller & Stupakoff 1996) και του Yangtze (Rhoads *et al.* 1985), όπου, υφίσταται επικράτηση των μικρών οργανισμών από την άποψη τη βιομάζας.

Με βάση όλα τα αποτελέσματα του Τρίτου πλάνου υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις διαβάθμισης των εισροών οργανικής ύλης γενικά και της βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης ειδικότερα, με υψηλότερα επίπεδα κοντά στην εκβολή του Σπερχειού και χαμηλότερα στις

παρυφές του δέλτα. Αυτή η τροφική διαβάθμιση παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της κατά κλάσεις βιομάζας δομής της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας και ως εκ τούτου, των ρυθμών μεταβολισμού, παραγωγής και κύκλων ζωής. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει το πλέγμα περιβαλλοντικών παραγόντων στην περιοχή και κυρίως η στερεοπαροχή και υδατοπαροχή του Σπερχειού, των οποίων η περιοδικότητα και η ένταση επηρεάζει καθοριστικά τη ροή ενέργειας ειδικά στις κορυφαίες αποθέσεις του δέλτα. Θεωρώντας ετήσιους ρυθμούς συσσώρευσης ιζημάτων τα 6 mm (βλ. Κεφ. 3.3.2), προκύπτει ότι ο ετήσιος ρυθμός πρόσληψης άνθρακα από τη μακροπανίδα είναι μικρότερος από τον ετήσιο ρυθμό ενταφιασμού του επιφανειακού υλικού σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος. Ενδεχομένως, οι υψηλοί ρυθμοί ιζηματογένεσης συμβάλλουν στον περιορισμό του ρόλου της μακροπανίδας, καθώς το κόστος διατήρησης αυξάνεται με το μέγεθος των οργανισμών. Ο βαθμός στον οποίο η βιοδιαθέσιμη οργανική ύλη οξειδώνεται, δηλαδή χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς, ή ενταφιάζεται σε βαθύτερα στρώματα του ιζήματος, εξαρτάται από τη σχέση του ρυθμού ιζηματαπόθεσης προς το ρυθμό μεταβολισμού (Valiela 1995). Θεωρείται ότι η ποικιλία λειτουργικών τύπων, η οποία τροφοδοτείται διαρκώς από την «κοίτη» ειδών των προδελταϊκών περιοχών του Μαλιακού κόλπου και γενικότερα των γειτονικών θαλασσών, σχετίζεται θετικά με τη συνεισφορά της μακροπανίδας στον ολικό βενθικό μεταβολισμό. Και τούτο διότι όσο πιο γρήγορα επανέρχεται μετά από κάποια όχληση τόσο περισσότερη οργανική ύλη θα δεσμευτεί στη μορφή της μακροπανιδικής βιομάζας στα επιφανειακά εκατοστά του ιζήματος και δε θα ενταφιαστεί σε βαθύτερα στρώματα στη μορφή θρυμμάτων και μικροβιακών βιοκοινωνιών. Τέλος, το γεγονός ότι οι σχετικά υψηλοί ρυθμοί βενθικού μεταβολισμού δεν μπορεί να υποστηρίζονται από τις χαμηλές εισροές οργανικής ύλης φυτοπλαγκτονικής και μικροφυτοβενθικής προέλευσης, καθιστά βέβαιη την υψηλή σημασία των βιογενών θρυμμάτων, αλλόχθονης, χερσογενούς και θαλάσσιας, προέλευσης, που εναποτίθενται στα ιζήματα της περιοχής. Ως εκ τούτου, αυξημένος αναμένεται να είναι και ο ρόλος των Πράγματι, οι υψηλές ποσότητες Πρωτεϊνών στα ιζήματα του βενθικών αποικοδομητών. μετώπου του δέλτα υποδηλώνουν ότι η μικροβιακή βιοκοινωνία γενικά αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της δίαιτας της ιζηματοφάγου μακροπανίδας (βλ. Κεφ. 3.3.2).

3.3.4 Ποτάμι

Πριν την ολοκλήρωση του Κεφαλαίου 3, αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά στα προκαταρκτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος διατομής από την κοίτη του Σπερχειού λίγο πριν την εκβολή έως τις κύριες αποθέσεις του Σπερχειού σε βάθος 20 μέτρα περίπου. Τα αποτελέσματα θεωρούνται προκαταρκτικά επειδή τα δείγματα ελήφθησαν μόνο δύο φορές, τον Ιανουάριο 2000 και το Φεβρουάριο 2001. Ο λόγος που υπαγόρευσε τη δειγματοληψία μέσα στο ποτάμι συνδέεται με τη διερεύνηση της προέλευσης των υψηλών ποσοτήτων βιοπολυμερών στο μέτωπο του δέλτα.

Στην Εικόνα 3.2.28 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις ΑΣΟΥ και Ισοδύναμου Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE), όπου διαπιστώνεται διαβάθμιση των τιμών ΑΣΥ με τις υψηλότερες τιμές στο Ποτάμι. Από τη σύγκριση των χωρικών διακυμάνσεων ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας δεν μπορούν ωστόσο να συναχθούν απόλυτα συμπεράσματα σχετικά με τις ποσότητες οργανικού φορτίου και CPE που εκβάλλονται από το Σπερχειό. Είναι επομένως ιδιαίτερα ενδιαφέρον να διερευνηθούν οι λόγοι για τους οποίους ειδικά το ποτάμιο ΑΣΟΥ μπορεί να παρουσιάζει τόσο μεγάλο εύρος διακυμάνσεων.

Εμφανής είναι η διαβάθμιση που παρατηρείται στις τιμές του περιεχόμενου του ιζήματος σε Ισοδύναμα Άνθρακα από κάθε ομάδα βιοπολυμερών (Εικόνα 3.3.29). Η αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας της οργανικής ύλης από το Ποτάμι προς το μέτωπο του δέλτα είναι δύσκολο να ερμηνευθεί βάσει της παραγωγικότητας της στήλης. Το πιθανότερο είναι ότι το ποτάμιο βενθικό περιβάλλον αντιπροσωπεύει μια περιοχή φυσικής όχλησης λόγω της υψηλής ταχύτητας ροής του ποταμού. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι το ίζημα στο Ποτάμι περιέχει λιγότερο από 35% ιλύ και άργιλο. Επομένως, ακόμη και αν η αιωρούμενη οργανική ύλη στο Ποτάμι περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βιοπολυμερών, τα σωματίδια δεν εναποτίθενται στα ιζήματα του Σπεριχειού αλλά στο μέτωπο του δέλτα όπου οι υδροδυναμικές συνθήκες το επιτρέπουν.

Επομένως δεν μπορεί να αποκλειστεί ότι τα υψηλά επίπεδα βιοπολυμερών στις κορυφαίες και κύριες αποθέσεις του Σπερχειού οφείλονται, λίγο ή πολύ, στην εναπόθεση χερσογενούς-ποτάμιας οργανικής ύλης.



Εικόνα 3.3.28. Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ολική και Οργανική Ύλη (ΑΣΥ και ΑΣΟΥ, αντίστοιχα) και Ισοδύναμο Χλωροπλαστικών Χρωστικών (CPE) στη διατομή Ποτάμι-Εκβολή-Μέτωπο δέλτα.

Μεγάλες διακυμάνσεις παρουσιάζει η αφθονία των ειδών της βενθικής βιοκοινωνίας του Ποταμιού μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας (Εικόνα 3.3.30). Εκτός από τα Chironomidae των οποίων η παρουσία ήταν αναμενόμενη λόγω της φύσης του υγροβιότοπου, παρατηρήθηκαν είδη χαρακτηριστικά υφάλμυρων βιοτόπων της Μεσογείου όπως τα Corrophium orientale και Streblospio shrubsoli καθώς και οι Ολιγόχαιτοι. Σημαντική ήταν και η παρουσία του Hediste diversicolor, του οποίου η παρουσία σε ποταμόκολπους είναι χαρακτηριστική.



Εικόνα 3.3.29. Συνεισφορά Ισοδύναμων Άνθρακα Πρωτεϊνών (PRT), Υδατανθράκων (CBH), Λιπιδίων (LIP) επί του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC).



της εκβολής.

Τελειώνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι η μακροπανιδική σύνθεση στο Ποτάμι υποδηλώνει την ύπαρξη όχι απόλυτα συνθηκών γλυκών νερών. Κατά διαστήματα θα πρέπει να επικρατούν υφάλμυρες συνθήκες, καθώς οι Πολύχαιτοι και το Αμφίποδο που βρέθηκαν εκεί δεν επιβιώνουν σε τιμές αλατότητας μονίμως μικρότερες από 4 psu. Ενδεχομένως, χρειάζεται ένα οργανωμένο δειγματοληπτικό σχέδιο που να συμπεριλάβει περιοχές εντός του Σπερχειού, προκειμένου να διαλευκανθεί η κατάσταση του οικοσυστήματος στη χερσαία πλευρά του υγροβιότοπου του Δέλτα του Σπερχειού. Η ερώτηση εάν οι θαλάσσιες μάζες κατά καιρούς εισχωρούν μέσα στο ποτάμι και εάν το Δέλτα, ως εκ τούτου, περιορίζεται, είναι θεμελιώδους σημασίας και παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον. Θα ήταν, επομένως, χρήσιμο, να διερευνηθεί η χρησιμότητα των μακροβενθικών οργανισμών που συλλέχθηκαν στη εκβολή και στα ιζήματα εντός του Σπερχειού, ως δείκτες για τέτοια φαινόμενα.

4. Συμπεράσματα

4.1 Επιτεύχθηκαν οι στόχοι της μελέτης;

Ένας από τους κυριότερους στόχους της μελέτης ήταν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη χωρική και εποχική δομή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου. Στα πλαίσια των δειγματοληπτικών πλάνων που διενεργήθηκαν διαπιστώθηκε έντονη χωρική ετερογένεια στη δομή της βιοκοινωνίας. Οι κατανομές των ειδών και οι αφθονίες τους εξαρτώνται κυρίως από περιβαλλοντικούς παράγοντες τόσο στο ίζημα όσο και στη στήλη, οι οποίοι όμως διαφέρουν από τη μία εποχή στην άλλη. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης, τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του αιωρούμενου φορτίου επηρεάζουν καθοριστικά τη δομή της μακροπανίδας του Μαλιακού κόλπου και μάλιστα περισσότερο από τη κοκκομετρική σύσταση του υποστρώματος και τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της οργανικής ύλης στο ίζημα. Η μακροπανιδική βιοκοινωνία περιέχει σχετικά μεγάλο αριθμό ειδών με επίπεδα επικράτησης περίπου 20% και υψηλή ποικιλότητα λειτουργικών τύπων ως προς τη θέση διαβίωσης στο ίζημα, τον τρόπο διατροφής, το μέγεθος της δίαιτας, την κινητικότητα, την προνυμφική ανάπτυξη, τον αριθμό γενεών, τη διάρκεια ζωής και το μέγεθος των οργανισμών. Θεωρείται ότι αυτά τα χαρακτηριστικά προσδίδουν ευελιξία στη χωρική και εποχική δομή της βιοκοινωνίας, με αποτέλεσμα να εμφανίζει υψηλές τιμές αφθονίας και βιομάζας παρά την ήπιας έντασης διατάραξη και την έντονη μεταβλητότητα του φυσικού περιβάλλοντος.

Στόχος της μελέτης υπήρξε επίσης η διερεύνηση των πηγών μεταβλητότητας των φυσικών συνθηκών. Η μελέτη καταδεικνύει ότι το περιβάλλον του Μαλιακού κόλπου επηρεάζεται συνολικά από τις εκφορτίσεις του Σπερχειού και ποταμοχείμαρρων. Οι επιδράσεις είναι εμφανείς στη στήλη, όπου παρατηρείται αύξηση του αιωρούμενου φορτίου από το τέλος του χειμώνα έως το τέλος της άνοιξης, και στο ίζημα όπου η κοκκομετρική σύσταση επίσης επηρεάζεται έντονα κατά την ίδια χρονική περίοδο. Ειδικά, στις κορυφαίες αποθέσεις του δέλτα παρατηρούνται αξιόλογες μεταβολές της αλατότητας την άνοιξη. Παρόλα αυτά, η δριμύτητα της φυσικής όχλησης λόγω ιζηματαπόθεσης ακολουθεί προβλέψιμο εποχικό κύκλο.

Το ερώτημα που τέθηκε για την ύπαρξη πελαγικής – βενθικής σύζευξης είναι δύσκολο να διερευνηθεί. Η έντονη χωρική ετερογένεια επισκιάζει τη σύζευξη μεταξύ βενθικού και πελαγικού περιβάλλοντος. Τυρβώδης ροή και επαναιώρηση των ιζημάτων περιπλέκουν τη ροή ύλης και ενέργειας. Ωστόσο, το βένθος του Μαλιακού κόλπου αποτελεί ζώνη εναπόθεσης οργανικής ύλης τόσο από τη στήλη όσο και από άλλα σημεία του κόλπου, από γειτονικές θάλασσες αλλά και από τη χέρσο μέσω των ποτάμιων εισροών. Επιπλέον, σύμφωνα με ενδείξεις που συλλέχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης υφίσταται αξιόλογη μικροβενθική πρωτογενής παραγωγή στα ιζήματα του κόλπου. Θεωρείται ότι η βιοαποικοδομησιμότητα της οργανικής ύλης στο ίζημα επηρεάζεται θετικά από όλες τις προαναφερθείσες πηγές εισροών ενώ η υψηλή ποσότητα θρυμμάτων ενεργοποιεί τη μικροβιακή βιοκοινωνία των ιζημάτων του κόλπου με αποτέλεσμα περαιτέρω αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας της διαθέσιμης οργανικής ύλης από τη μακροπανίδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι διαπιστώθηκε επιπρόσθετα η σημασία του φυσικού βενθικού περιβάλλοντος (κοκκομετρική σύσταση, βάθος) στην ένταση του βενθικού μεταβολισμού. Αυτό το γεγονός αποτελεί έμμεση πλην σαφή ένδειξη της επίδρασης της όχλησης λόγω ιζηματαπόθεσης, αστάθειας υποστρώματος και εγγενούς ετερογένειας του φυσικού περιβάλλοντος στη διάσπαση της οργανικής ύλης από το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας.

Ο ρόλος της μακροπανίδας στα οικοσυστήματα των δελταϊκών εκβολών ήταν επίσης ένα από τα ζητούμενα της παρούσας μελέτης. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, ο ρόλος της μακροπανίδας στη διάσπαση της οργανικής ύλης είναι μικρός σε σχέση με το σύνολο της βενθικής βιοκοινωνίας στο μέτωπο του δέλτα. Ειδικότερα, τα ενδιάμεσου μεγέθους άτομα των ειδών συνεισφέρουν περισσότερο στη διεργασία αυτή. Θεωρείται ότι το μέγεθος αυτό αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη βιοενεργητική λύση σε προβλήματα κόστους διατήρησης λόγω φυσικής διατάραξης αφενός και στην αξιοποίηση υψηλών ποσοτήτων βιοδιαθέσιμης οργανικής ύλης. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της μελέτης ήταν η ανίχνευση ειδών που αποτελούν δείκτες των ιδιαίτερων περιβαλλοντικών συνθηκών των δελταϊκών εκβολών. Παρατηρήθηκε ότι τουλάχιστον σε επίπεδο γένους, η μακροπανιδική βιοκοινωνία του Μαλιακού κόλπου, παρουσιάζει έντονες ομοιότητες με βιοκοινωνίες της υφαλοκρηπίδας του Πάδου, του Αμαζονίου και του Yangtze, παρά το γεγονός ότι στις δελταϊκές αποθέσεις αυτών και στην ίδια κλίμακα αποστάσεων από την εκβολή που πάρθηκαν τα δείγματα της παρούσας μελέτης, η διατάραξη είναι υπερπολλαπλάσιας έντασης. Πρόκειται για είδη που διαθέτουν τις προσαρμογές για διαβίωση υπό συνθήκες έντονης ιζηματογένεσης όπως έντονη κινητικότητα, υποεπιφανειακή διαβίωση, αντοχή σε ενταφιασμό, κατασκευή στοάς. Ωστόσο, θεωρείται ότι, ειδικά στο μέτωπο του Δέλτα του Σπερχειού, η κατά μέγεθος δομή των πληθυσμών του είδους *Echinocardium cordatum* αποτελεί τον πιο αξιόπιστο δείκτη της έντασης και της συχνότητας διατάραξης λόγω ιζηματογένεσης αλλά και χημικής επιβάρυνσης του Σπερχειού. Και τούτο διότι τα μεγάλου μεγέθους άτομα του είδους αυτού επηρεάζονται αρνητικά από την όχληση, με αποτέλεσμα την επικράτηση των μικρών ατόμων.

Τέλος, στα ερωτήματα ποια είναι η κατάσταση του οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου και εάν η μελέτη της βενθικής βιοκοινωνίας μπορεί να χρησιμεύσει στην διάγνωση συνθηκών υποβάθμισης ενός παρόμοιου οικοσυστήματος, οι απαντήσεις πρέπει να δοθούν με ιδιαίτερη προσοχή. Ο Μαλιακός κόλπος επί του παρόντος, δεν παρουσιάζει ενδείξεις υποβάθμισης λόγω όχλησης. Αντίθετα, η μελέτη καταδεικνύει ότι προηγήθηκε περίοδος σχετικά ήπιων συνθηκών ιζηματογένεσης που επέτρεψαν υψηλούς αριθμούς ατόμων μακροπανίδας. Ωστόσο, κατά το τέλος της μελέτης διαπιστώθηκε αύξηση της έντασης της διατάραξης από το Σπερχειό. Χρήζει επομένως προσοχής και ενδιαφέροντος η επεισοδιακή φύση γεγονότων διατάραξης από το ποτάμι. Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι ποταμοχείμμαροι επηρεάζουν σημαντικά την κατάσταση του οικοσυστήματος. Θεωρείται γενικά ότι η παρούσα μελέτη έθεσε τις βάσεις για τη χρησιμοποίηση της μακροπανίδας σε μελέτες παρακολούθησης τέτοιων συστημάτων στις κλιματικές και τροφοδυναμικές συνθήκες της Μεσογείου καθώς έριξε φως στη χωρική και εποχική δομή τέτοιων βιοκοινωνιών, στους φυσικούς παράγοντες που την επηρεάζουν και στους περιοριστικούς παράγοντες που επιδρούν σε αυτήν.

4.2 Διαψεύσθηκαν οι Υποθέσεις Εργασίας;

Οι στόχοι της μελέτης διερευνήθηκαν με τη βοήθεια τριών Υποθέσεων Εργασίας. Οι Υποθέσεις αυτές καταλήγουν σε συμπληρωματικές μεταξύ τους προβλέψεις για τα χαρακτηριστικά της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας στην περιοχή μελέτης. Η πρόβλεψη σύμφωνα με την οποία η δομή της μακροπανίδας καθορίζεται από τις διακυμάνσεις του φυσικού περιβάλλοντος ανάλογα με την ένταση τους (Πρώτη Υπόθεση Εργασίας), δεν έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, στο μέτωπο του δέλτα, όπου η περιβαλλοντική ετερογένεια και διατάραξη είναι εντονότερες, οι βιολογικές αλληλεπιδράσεις παίζουν λιγότερο σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη της δομής της βιοκοινωνίας. Η δε δομή της βιοκοινωνίας στις κύριες αποθέσεις του Σπεργειού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μωσαϊκό αφθονιών των αφθονιών των ειδών που προκύπτει από την τροφοδοσία των διαταραγμένων σημείων σε είδη από την «κοίτη» ειδών της ευρύτερης περιοχής. Επιπλέον, η επικράτηση δίθυρων και γαστεροπόδων μαλακίων που είναι σε θέση να αξιοποιήσουν επί μακρά διαστήματα την επάρκεια σωματιδιακής ύλης στη στήλη κατά τη διάρκεια της προνυμφικής τους ανάπτυξης, καθώς και ανισόποδων με συνεχή άμεση βενθική ανάπτυξη, συμβάλουν στη διαρκή ανανέωση των πληθυσμών των ειδών στο μέτωπο, όπως προβλέπεται από τη Δεύτερη Υπόθεση Εργασίας. Τέλος, οι εκτιμήσεις της συνεισφοράς της μακροπανίδας στον ολικό βενθικό μεταβολισμό, υποδεικνύουν ότι επικρατούν οργανισμοί μικρότεροι των μακροπανιδικών δηλαδή οι μειοπανιδικοί και μικροβιακοί, κατάσταση που είναι σύμφωνη με τις προβλέψεις της Τρίτης Υπόθεσης Εργασίας.
Συμπερασματικά, οι Υποθέσεις Εργασίας, βάσει των οποίων σχεδιάστηκε η παρούσα μελέτη, δεν διαψεύσθηκαν από το σύνολο των αποτελεσμάτων.

4.3 Προέκυψαν νέα ερωτήματα;

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής έγινε μια διεξοδική καταγραφή της μακροπανιδικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου καθώς και του βενθικού περιβάλλοντος σε σχέση με διεργασίες της στήλης. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία νέων υποθέσεων καθώς και στην επαναδιατύπωση ερωτημάτων που έχουν ήδη τεθεί μετά από μελέτες σε παρόμοια οικοσυστήματα.

Ξεκινώντας από την τελευταία κατηγορία ερωτημάτων, η παρούσα μελέτη κατέδειξε την αναγκαιότητα μελέτης της προέλευσης της οργανικής ύλης με τη βοήθεια ενώσεων δεικτών, γνωστών ως βιοδείκτες. Έτσι, θα γίνει δυνατή η διαλεύκανση της αναλογίας χερσογενών προς θαλάσσιων οργανικών ενώσεων στο ίζημα και τη στήλη, γεγονός που θα βοηθήσει στην κατανόηση των ρυθμών βενθικού μεταβολισμού και στην εκτίμηση της συνεισφοράς χερσογενών ενώσεων στη βιοαποικοδομησιμότητα της οργανικής ύλης. Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις για υψηλή μικροβενθική πρωτογενή παραγωγή γεγονός που θα πρέπει να διερευνηθεί, υπό το φως μελετών που επιβεβαιώνουν ότι η δέσμευση άνθρακα από το μικροφυτοβένθος αποτελεί σημαντική πηγή οργανικής ύλης. Σε αυτό το πλαίσιο επιβάλλεται και η μελέτη των διαγενετικών διεργασιών στα ιζήματα δελταϊκών εκβολών, στις οποίες περιλαμβάνεται η μελέτη του κύκλου του άνθρακα, πυριτίου, σιδήρου και θείου κυρίως, καθώς επηρεάζουν τόσο τη ροή οξυγόνου προς το ίζημα όσο και την ανταλλαγή θρεπτικών μεταξύ βένθους και στήλης. Τέλος, η εκτίμηση του ρυθμών μετατροπής της οργανικής ύλης ειδικά σε τέτοια συστήματα που αποτελούν ζώνες εναπόθεσης ύλης.

Η παρούσα διατριβή έθεσε επίσης συγκεκριμένα ερωτήματα που ίσως αποτελέσουν αφετηρία για μελλοντικές μελέτες στην περιοχή του Μαλιακού ή ακόμη και σε άλλα συστήματα δελταϊκών αποθέσεων. Έτσι, η παρακολούθηση της κατά μεγέθη δομής της μακροπανίδας θα μπορούσε να αναδείζει τη σημασία κάποιων ειδών ευαίσθητων στις διακυμάνσεις της ροής του ποταμού ή μεγαλύτερης κλίμακας αλλαγών που επηρεάζουν τις συνθήκες στην εκβολή και στο θαλάσσιο σύστημα των δελταϊκών αποθέσεων, όπως προτείνεται ότι αποτελεί το είδος *Echinocardium cordatum* στην εκβολή του Σπερχειού. Επιπλέον, οι βενθικές βιοκοινωνίες στα κατάντη των ποταμών, όπως ονομάζονται οι περιοχές λίγο πριν και μέχρι την εκβολή, ενδεχομένως περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τέτοιες αλλαγές και γενικότερα με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις σε αυτό το κομμάτι των δελταϊκών υγροβιότοπων. Προτείνεται ως εκ τούτου να μελετηθούν κατά μήκος διατομών παράλληλα με μετρήσεις αλατότητας και αιωρούμενου φορτίου. Σύμφωνα με τις ενδείζεις που προέρχονται από τη βιβλιογραφική αναζήτηση, οι περιοχές αυτές αποτελούν terra incognita στο πεδίο της Βενθικής Οικολογίας στην Ελλάδα και γενικότερα στις Μεσογειακές ακτές, διότι έχει υποτιμηθεί ο ρόλος τους ως κομμάτι των εκβολικών συστημάτων.

<u>Εν συντομία, τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της</u> <u>βενθικής βιοκοινωνίας του Μαλιακού κόλπου είναι τα εξής:</u>

1. Η μακροβενθική βιοκοινωνία χαρακτηρίζεται από υψηλή λειτουργική ποικιλότητα που της προσδίδει ευελιξία στη χωρική και εποχική δομή με αποτέλεσμα υψηλούς αριθμούς ατόμων και ειδών παρά την όχληση και την περιβαλλοντική μεταβλητότητα.

2. <u>Υφίσταται εντονότερη περιβαλλοντική ετερογένεια και όχληση στο μέτωπο του</u> δέλτα στα οποία η μακροπανίδα αντεπεξέρχεται χάρη στη συνεχή τροφοδοσία σε είδη από την «κοίτη ειδών» του Μαλιακού κόλπου και της ευρύτερης περιοχής. Προκύπτει ένα μωσαϊκό αφθονιών ειδών στο χώρο και το χρόνο που καθορίζεται από το ποσοστό ιλύοςαργίλου στο ίζημα, το σύνολο των φυτοθρυμμάτων και της οργανικής ύλης στη στήλη και το βάθος 3. Στο μέτωπο του δέλτα επικρατούν ενδιάμεσου μεγέθους οργανισμοί παρά την όχληση και το υψηλό κόστος διατήρησης κυρίως χάρη στην υψηλή βιοδιαθεσιμότητα της οργανικής ύλης. Το Φάσμα Κλάσεων Βιομάζας υποδεικνύει ότι εφόσον στην εκβολή επικρατούν ήπιες συνθήκες όχλησης ευνοείται η συσσώρευση της βιομάζας σε μεγάλου μεγέθους άτομα ευαίσθητων ειδών και γι αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρακολούθησης των επιπτώσεων της στερεοπαροχής του ποταμού στο βενθικό σύστημα.

4. <u>Υπό τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της μελέτης εκτιμάται ότι ο</u> ρυθμός ενταφιασμού του οργανικού άνθρακα υπερβαίνει το ρυθμό πρόσληψης από τη μακροπανίδα, γεγονός που αποτελεί έμμεση ένδειξη της όχλησης λόγω ιζηματογένεσης.

5. <u>Ο ολικός βενθικός μεταβολισμός εμφανίζει αύξηση την άνοιξη με την άνοδο της</u> μικροφυτικής βιομάζας στη στήλη και το ίζημα και από τα ιλυώδη ιζήματα στις παρυφές του δέλτα προς τις ρηχές ιλυοαμμώδεις αποθέσεις στην εκβολής του Σπερχειού. Επηρεάζεται, δε, αρνητικά από τη συγκέντρωση της λεπτόκοκκης οργανικής φάσης της αιωρούμενης ύλης στη στήλη και από τη συνεισφορά των λιπιδίων στην οργανική ύλη στο ίζημα, ενδεχομένως λόγω της απόφραξης διηθητικών τροφοληπτικών εξαρτημάτων ασπόνδυλων και της συνάφειας τους με αδρανή χερσογενή σύμπλοκα, αντίστοιχα.

6. <u>Το μακροζωοβενθικό σύστημα του Μαλιακού κόλπου δε μαρτυρά συνθήκες</u> υποβάθμισης λόγω οργανικής ρύπανσης και ευτροφισμού. Υποδεικνύει, όμως, συνθήκες όχλησης λόγω ιζηματογένεσης. Η κατάσταση αυτή συνδέεται άμεσα με το κλιματικό – γεωλογικό καθεστώς της περιοχής (εναλλαγή περιόδου έντονων βροχοπτώσεων με ξηρή θερινή περίοδο, υποθαλάσσιο δελταϊκό περιβάλλον, ημίκλειστος – ρηχός κόλπος) και έμμεσα με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού και γενικά του υδρολογικού δικτύου που εκβάλλει στον κόλπο (π.χ. εγγειοβελτιωτικά έργα, εκτροπή τμημάτων κοίτης ποταμού) και με χρήσεις του κόλπου (π.χ. εκβαθύνσεις λιμανιών, απόρριψη ιζημάτων κατά την κατασκευή έργων υποδομής στις ακτές, επεμβάσεις στην ακτογραμμή). Η παρούσα διατριβή αποτελεί την πρώτη εμπεριστατωμένη μελέτη της δομής των βενθικών βιοκοινωνιών των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων στην Ελλάδα. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, των συμπερασμάτων και των προβληματισμών που προέκυψαν από τη μελέτη της μακροβενθικής βιοκοινωνίας στις δελταϊκές αποθέσεις του π. Σπερχειού στο Μαλιακό κόλπο, κλείνει με την φιλοδοξία ότι αναδείχθηκαν επιστημονικά ερωτήματα αλλά και πρακτικά ζητήματα για την ορθολογική παρέμβαση στη μεσογειακή παράκτις ζώνη με δελταϊκές εκβολές.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Albanakis K, Psilivikos A, Margoni S, Styllas M (2001) Some recent observations on the Nestos river sediment outflow and dispersion in the deltaic region. In: *INTERREG Meeting North Aegean System Functioning and Inter-Regional Pollution Kavala* 28th-30th May 2001.
- Albanis TA, Danis TG, Hela DG (1995) Transportation of pesticides in estuaries of Louros and Arachthos rivers (Amvrakikos Gulf N.W. Greece). *Sci. Total Environ.* 171 (1-327): 85-93.
- Albanis TA, Danis TG, Kourgia MK (1994) Transportation of pesticides in estuaries of Axios Loudias and Aliakmon rivers (Thermaikos gulf). *Sci. Total Environ.* 156: 11-22.
- Alber M, Valiela I (1994) Biochemical composition of organic aggregates produced from marine macrophyte-derived dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 39(3): 717-723.
- Albertelli G, Covazzi-Harriague A, Danovaro R, Fabiano M, Fraschetti S, Puscedu A (1999) Differential responses of bacteria meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea NW Mediterranean): role of food availability. *J. Sea Res.* 42:11-26.
- Aldredge AL, Cox JL (1982) Primary production and chemical composition of marine snow in surface waters, Southern California Bight. J. Mar. Res. 40: 517–527.
- Aller JY, Aller RC (1986) General characteristics of benthic faunas on the Amazon inner continental shelf with comparison to the shelf off the Changjiang River East China Sea. *Cont. Shelf Res.* 6: 291-310.
- Aller JY, Stupakoff I (1996) The distribution and seasonal characteristics of benthic communities on the Amazon shelf as indicators of physical processes. *Cont. Shelf Res.* 16 (5/6): 717-751.
- Aller RC, Blair NE, Xia Q, Rude PD (1996) Remineralization rates recycling and storage of carbon in Amazon shelf sediments. *Cont. Shelf Res.* 16(5/6): 753-786.
- Alongi DM (1995) Decomposition and recycling of organic matter in muds of the Gulf of Papua northern Coral Sea. *Cont. Shelf Res.* 15(11/12): 1319-1337.

- Alongi DM, Kristofferson P, Tirendi F, Robertson AL (1992) The influence of freshwater of freshwater and material export on sedimentary facies and benthic processes within the Fly Delta and adjacent Gulf of Papua (Papua New Guinea). *Cont. Shelf Res.* 12: 287-326.
- Ambrogi R, Fontana P, Sala I (2001) Long term series (1979-93) of macrobenthos data on the soft bottom in front of the Po River Delta. *Archo. Oceanogr. Limnol.* 22: 167-174.
- Anagnostou C, Caberi H (1995) An environmental quality approach of the sediments of Maliakos gulf (Central Greece) based on heavy metal levels. In: Wrobel and Latinopoulos (eds) *Water Pollution III Modelling Measuring and Prediction* Computational mechanics publications pp 423- 430.
- Anagnostou C, Kranis H, Kapsimalis V, Papageorgiou A, Kambouri G (2000) Seasonal variation of Particulate Matter. Distribution in a semi-enclosed marine area: Maliakos Gulf, Central Greece. In: 6th Hellenic symposium of Fisheries and Oceanography, Chios, Greece. Vol. I: 492-496.
- Αναγνώστου Χ, Παπαθανασίου Ε (1994) 1. Το οικοσύστημα του Μαλιακού κόλπου 2. Νέα στοιχεία για την κατάσταση του θαλασσίου οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου : 2.1. Η παράκτια ζώνη - περιγραφή - χρήση – προβλήματα. Μελέτη εντοπισμού ρύπανσης του Μαλιακού κόλπου σε συνδυασμό με τις ιχθυοπαραγωγικές και αλιευτικές δυνατότητες ανάπτυξης του / Χ. Αναγνώστου & Ε. Παπαθανασίου (υπεύθυνοι). Τεχνική Έκθεση 152.
- Αναγνώστου Χ, Τζιαβός Χ (1992) Οι γεωλογικές διεργασίες στον σχηματισμό του Μαλιακού κόλπου και η σημερινή δυναμική του. – Πρακτικά Ημερίδας με θέμα « Περιβαλλοντικά προβλήματα Μαλιακού κόλπου και δυνατότητες ανάπτυξης της περιοχής (Μάιος 1992)» σ. 27-36, Λαμία.
- Anderson MJ (2001a) Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 58: 626-639.
- Anderson MJ (2001b) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26: 32-46.
- Anderson MJ (2003a) NPMANOVA: a FORTRAN computer program for non-parametric multivariate analysis of variance (for any two-factor ANOVA design) using permutation tests. Department of Statistics University of Auckland New Zealand.
- Anderson MJ (2003b) NP-DISP: A programme for non-parametric tests of multivariate dispersion. Department of Statistics University of Auckland New Zealand.

- Anderson MJ (2003c) CAP: a FORTRAN computer program for canonical analysis of principal coordinates. Department of Statistics University of Auckland New Zealand.
- Anderson MJ (2003d) DISTLM forward: a Fortran computer programm to calculate a distancebased multivariate analysis for a linear model using forward selection. Department of Statistics University of Auckland New Zealand.
- Anderson MJ, ter Braak CJF (2003) Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. J. Statist. Comput. Sim. 73: 85-113.
- Anderson MJ, Willis T (2003) Canonical analysis of Principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology* 84:511-525.
- Angelidis MO, Aloupi M (2000) Geochemical Study of Coastal Sediments Influenced By River-Transported Pollution: Southern Evoikos Gulf, Greece. *Mar. Poll. Bull.* 40(1): 77-82
- Arar EJ (1994) Evaluation of a new fluorometric technique that uses highly selective interference filters for measuring chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. USEPA Summary Report.
- Ayukai T, Wolanski E (1997) Importance of biologically mediated removal of fine sediments from the Fly River plume, Papua New Guinea. *Estuar. Cost. Shelf Sci.* 44: 629-639.
- Banse K (1976) Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae as related to cell size: a review. *J. Phycol.* 12: 135-140.
- Banse K (1982) Mass scaled rates of respiration and intrinsic growth in various invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9: 281-297.
- Banse K, Mosher S (1980) Adult body mass and annual production/ biomass relationships of field populations. *Ecol. Monog.* 50(3): 355-379.
- Barnes R, Mann KH (1982) *Fundamentals of Aquatic Ecosystems*. Barnes and Mann (eds). Blackwell Scientific Publications 2nd Edition.
- Barranguet C (1997) The role of Microphytobenthic Primary Production in a Mediterranean Mussel Culture Area. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 44: 753-765.
- Baumgartner A, Reichel E (1975) *The World Water Balance*. R. Oldenbourg Munchen Wien 179 pp.

- Bellan G, Bellan-Santini D (1972) Influence de la pollution sur les peuplements marins de la region de Marseille (Mediterranee nord-orientale). In: *Pollution and sea life*, A Ruivo (ed.). Surrey: W Byfleet, Fishing news Ltd. 396-401.
- Berner RA (1982) Burial of organic carbon and pyrite sulphur in the modern ocean: its geochemical and environmental significance. *Amer. J. Sci.* 282: 451-473.
- Beukema JJ (1981) Quantitative data on the benthos of the Wadden Sea proper. In: *Invertebrates of the Wadden Sea*, Final Report of the section 'Marine Zoology' of the Wadden Sea Working Group: N. Dankers, H. Kühl, W.J. Wolff, 4/134 4/142 (Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden [Netherlands]).
- Bianchi TS, Bauer JE, Druffel ERM, Lambert C (1998) Pyrophaeophorbide-*a* as a tracer of suspended particulate organic matter from the Eastern North Pacific continental margin. *Deep Sea Res.* 45: 715-73.
- Bianchi TS, Findlay S, Dawson R (1993) Organic matter sources in the water column and sediments of the Hudson River estuary: the use of plant pigments as tracers. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 36: 359-376.
- Bianchi TS, Findlay S, Fontvieille D (1991) Experimental degradation of plant materials in Hudson River sediments I. Heterotrophic transformations of plant pigments. *Biogeochem*. 12: 171-187.
- Black KP, Rosenberg MA (1994) Suspended sand measurements in a turbulent environment: field comparison of optical and pump sampling technique. *Coast. Engineer.* 24: 137-150.
- Bligh EG, Dyer W (1959) A rapid method for total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37:911-917.
- Bobbie RJ, White DC (1980) Characterization of benthic microbial community structure by high-resolution gas chromatography of fatty acid methyl esters. *Appl. Environ. Microbiol.* 39:1212-1222.
- Boon AR, Duineveld GCA, Kok A (1999) Benthic Organic Matter Supply and Metabolism at Depositional and non-depositional areas in the North Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 49: 747-761.
- Borgman U (1987) Models on the slope of, and the biomass flow up: the biomass size spectrum. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44(Suppl. 2). 136-140.

- Bowen SH (1984) Evidence of detritus food chain based on consumption of organic precipitates. *Bull. Mar. Sci.* 35: 440-448.
- Bowles ND, Paerl HW, Tucker J (1985) Effective solvents and extraction periods employed in phytoplankton carotenoid and chlorophyll determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1127-1131.
- Bray JR, Curtis JT (1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wiskonsin. *Ecol. Monogr.* 27: 320-349.
- Brey T (1990) Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and individual weight. *Helgol. Meeresforsch.* 32: 329-343.
- Broenkow WW, Cline JD (1969) Colorimetric determination of dissolved oxygen at low concentration. *Limnol. Oceanog.* 14: 450-454.
- Brotas V, Plante-Cunny MR (1998) Spatial and temporal patterns of microphytobenthic taxa of estuarine tidal flats in the Tagus Estuary (Portugal) using pigment analysis by HPLC. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 171:43-57.
- Buchanan JB (1966) The biology of *Echinocardium cordatum* (Echinodermata: Spatangoidea) from different habitats. *J. Mar. Biol. Ass. UK* **46**: 97-114.
- Buchanan JB (1984) Sediment analysis. In: Holme N.A. and McIntyre (Eds) *Methods for the study of benthos*. IBP Handbook 16 Blackwell Scientific Publications Oxford.
- Buchsbaum R, Valiela I, Swain T, Dzierzeski M, Allen S (1991) Available and refractory nitrogen in detritus of coastal vascular plants and macroalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72:131-143.
- Buffan-Dubau E, Carman KR (2000) Extraction of benthic microalgal pigments for HPLC analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 204: 293-297.
- Cadee GC 1984. Particulate and dissolved organic carbon and chlorophyll a in the Zaire river, estuary and plume. *Neth. J. Sea Res.* 17: 426-440.
- Caffrey JM, Cloern JE, Grenz C (1998) Changes in production and respiration during a spring phytoplankton bloom in San Francisco Bay, California, USA: Implications for net ecosystem metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 172: 1-12.

- Canfield DE, Jorgensen BB, Fossing H, Glud R, Gundersen J, Ramsing NB, Thamdrup B, Hansen JW, Nielsen LP, Hall POJ (1993) Pathways of organic carbon oxidation in three continental margin sediments. *Mar. Geol.* 113: 27-40.
- Carpenter JH (1965a) The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen. *Limnol. Oceanog.* 10:135-140.
- Carpenter JH (1965b) The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanog.* 10:141-143.
- Carpenter JH (1966) New measurements of oxygen solubility in pure and natural waters. *Limnol. Oceanog.* 11: 264-277.
- Carritt DE, Carpenter JH (1966) Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater, a NASCO report. *J. Mar. Res.* 24: 286-318.
- Charpy-Roubaud C, Sournia A (1990) The comparative estimation of phytoplanktonic, microphytobenthic and macrophytobenthic primary production in the oceans.- *Mar. Microb. Food Webs* 4:31-57.
- Christou ED, Pagou K, Christianidis S, Papathanasiou E (1995) Temporal and spatial variability of plankton communities in a shallow embayment of the Eastern Mediterranean. In: A. Eleftheriou AD Ansell and CJ Smith (eds): *Biology and Ecology of shallow coastal waters*. Olsen and Olsen pp 3-10.
- Chryssovergis F, Panayotidis P (1995) Evolution des peuplements macrophytobenthiques le long d'un gradient d'eutrophisation (Golfe de Maliakos Mer Egee Grece). *Oceanol. Acta* 18(6): 649-658.
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Austral J. Ecol.* 18: 117-143.
- Clarke KR, Green RH (1988) Statistical design and analysis for a "biological effects" study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 46: 213-226.
- Clarke KR, Warwick R (1994) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Natural Environment Research Council* UK 144pp.
- Clifford HT, Stephenson W (1975) An Introduction to Numerical Classification. Academic Press.

Cohran WG (1951) Testing a linear relation among variances. Biometrics 7: 17-32.

- Colijn F (1983) Carbon flux in the Ems-Dollard estuary: the importance of primary production as the trophic basis of the estuarine ecosystem. *In*: Colijn F (1983). *Primary production in the Ems-Dollards estuary*. pp. 100-117.
- Coner CS, De Visser AM (1990) A laboratory investigation of particle size effects on an optical back-scatterance sensor. *Mar. Geol.* 108: 151-159.
- Cowie GL, Hedges JI (1984) Carbohydrate sources in a coastal marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 2075-2087.
- Danovaro R, Della Croce N, Fabiano M (1998) Biochemical composition of particulate organic matter and bacterial dynamics at the sediment –water interface in a Mediterranean seagrass system. *Hydrobiol*. 363: 241-251.
- Danovaro R, Fabiano M (1995) Seasonal and inter-annual variation of bacteria in a seagrass bed of the Mediterranean Sea: relationship with labile organic compounds and other environmental factors. *Aquat. Microb. Ecol.* 9: 17-26.
- Danovaro R, Fabiano M, Boyer M (1994) Seasonal changes of benthic bacteria in a seagrass bed (*Posidonia oceanic*) of the Ligurian Sea in relation to origin composition and fate of the sediment organic matter. *Mar. Biol.* 119: 489-500.
- Danovaro R, Fabiano M, Della Croce N (1993) Labile organic matter and microbial biomass in deep-sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep-Sea Res.* 40: 953–965.
- de Haas H, Boer W, van Weering TCE (1997) Recent sedimentation and organic carbon burial in a shelf sea: the North Sea. *Mar. Geol.* 144: 131-146.
- de Jonge VN (1980) Fluctuations in the Organic Carbon to Chlorophyll a Ratios for Estuarine Benthic Diatom Populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2: 345-353.
- De Master DJ, Knapp GB, Nittrouer CA (1983) Biological uptake and accumulation of silica on the continental shelf. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47:1713-1723.
- De Master DJ, Nittrouer CA (1983) Uptake dissolution and accumulation of silica near the mouth of the Changjiang River. In: *Sedimentation on the continental Shelf With Special Reference to the East China Sea* Vol. I China Ocean Press: 235-240.

- De Master DJ, RH Pope (1996) Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. Cont. Shelf Res. 16(3):263-289
- de Ridder C, David B, Laurin B, & Gall le P (1991) Population dynamics of the spatangoid echinoid Echinocardium cordatum (Pennant) in the Bay of Seine, Normandy. In: Proceedings of the Seventh International Echinoderm Conference Atami, 9 - 14 September 1991: Biology of Echinodermata, (ed. Yanagisawa, T., Yasumasu, I., Oguro, C., Suzuki, N. & Motokawa, T.), 153-158. Balkema, Rotterdam
- Degens ET, Kempe S, Herrera R (1985) Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers. Pt 3. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg SCOPE/UNEP Sonderbd 58 pp.
- Degens ET, Kempe S, Richey J (1991) Summary: Biogeochemistry of Major World Rivers. In: Degens ET, Kempe S and Richey (Eds) *Biogeochemistry of Major World Rivers*. Scope Report 42 John Willet & Sons Chichester.
- Degens ET, Mopper K (1976) Factors controlling the distribution and early diagenesis of organic material in marine sediments. In: Riley JP and Chester R (eds), *Chemical Oceanography*, 2nd ed., vol. VI, 59-113. Academic Press, London, New York, San Francisco.
- Desbruyeres D, Guille A, Ramos J (1972) Bionomie benthique du plateau continental de la cote catalane Espagnole. *Vie Milleau* 23(fasc 2 ser B): 335-363.
- Dickie LM, Kerr SR, Boudreau PR (1987) Size-dependent processes underlying regularities in ecosystem structure. *Ecol. Monogr.* **57**: 233-250.
- Dubois MK, Gilles A, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356.
- Echevarria F, Rodriguez J (1994) The size structure of plankton during a deep bloom in a stratified reservoir. *Hydrobiol*. 284: 113-124.
- Edgington ES (1995) Randomization Tests, 3rd ed. Marcel Dekker, New York.
- Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (1994) Μελέτη εντοπισμού ρύπανσης του Μαλιακού κόλπου σε συνδυασμό με τις ιχθυοπαραγωγικές και αλιευτικές δυνατότητες ανάπτυξης του / Χ. Αναγνώστου & Ε. Παπαθανασίου (υπεύθυνοι). Τεχνική Έκθεση 152.
- Eleftheriou A, Basford DJ (1989) The macrobenthic infaunas of the offshore northern North Sea. *J. mar. biol. Ass. UK.* 69: 123-143.

- Eleftheriou A, Holme NA (1984) Macrobenthos. In: In: Holme N.A. and McIntyre (Eds) *Methods for the study of benthos*. 2nd edition. pp:140-216.
- Esser G, Kohlmaier G (1991) Modelling terrestrial sources of Nitrogen Phosphorous Sulphur and Organic Carbon to Rivers. In: Degens ET Kempe S and Richey J (Eds) *Biogeochemistry* of Major World Rivers. Scope Report 42 John Willet & Sons Chichester pp: 297-322.
- Everitt BS (1978) Graphical techniques for multivariate data. Heinemann Educational Books,
- Fabiano M, Crisafi E, Danovaro R, La Ferla R, Povero P, Acosta-Pomar L (1995). Particulate matter composition and microbial distribution in Terra Nova Bay (Antarctica) during summer 1989-90. *Polar Biol.* 15(6): 393-400.
- Fabiano M, Danovaro R (1994) Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationship with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiol.* **277:**71-84.
- Fabiano M, Puscedu A (1998) Total and hydrolysable particulate organic matter (carbohydrates, proteins and lipids) at a coastal station in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Polar Biol*. 19:125-132.
- Faganeli J, Pedzic J, Ogorolec B, Misic M, Naialek M (1992) The origin of sedimentary organic matter in the Adriatic. *Cont. Shelf Res.* 14: 365-384.
- Faith DP, Minchin PR, Belbin L (1987) Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio* 69: 57-68.
- FAO/UNEP (1986) The effects of pollution on marine ecosystems. FIRI/R352.
- Fauchald K, Jumars PA (1979) The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds.— Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 17:193-284.
- Fichez R (1991) Suspended particulate organic matter in a Mediterranean submarine cave. *Mar. Biol.* 10: 167-174.
- Field JG, Clarke KR, Warwick RM (1982) A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8: 37-52.

- Fischer J, Doerffer R, Grassl H (1991) Remote sensing of water substances in rivers estuarine and coastal waters. In: Degens ET Kempe S and Ritchy (Eds) *Biogeochemistry of Major World Rivers*. Scope Report 42 John Willet & Sons Chichester pp: 25-55.
- Fish JD, Fish S (1996) A student's guide to the seashore. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fisher RA (1935) Design of Experiments. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Fisher RA, Corbet AS, Williams CB (1943) The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Anim. Ecol.* 12: 42-58.
- Flannagan JF (1970) Efficiencies of various grabs and corers in sampling freshwater benthos. J. *Fish. Res. Bd Can.* 27: 1691-1700.
- Folk RL (1974) Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Austin Texas pp. 1-182.
- Frignani M, Langone L, Beks J, Alvisi F (1996) Sediment accumulation rates from cores collected in the central and southern Adriatic Sea. In: Price NB (Ed) *Transfer pathways and fluxes of Organic Matter and Related elements in Water and Sediments of the Northern Adriatic Sea*. Final Report EU MAST II EUROMARGE-AS project Brussels pp.148-156.
- Friligos N (1978) Preliminary observations on the chemistry of Maliakos Gulf (October 1976). *Ives J. Etud. Poll.*, Antalya CIESM, pp 227-230.
- Friligos N, Kondylakis JC, Psyllidou-Giouranovits R (1997) Eutrofication and phytoplankton abundance in the Thermaikos Gulf Greece. *Fres. Environ. Bull.* 6 27-31.
- Froelich PN, Bender ML, Luedtke NA, Heath GR, de Vries T (1982) The marine phosphorous cycle. Am. J. of Sci. 282: 474-511.
- Frost IC (1962) Evaluation of the use of dichromate to estimate the organic carbon content of rocks, U.S. Geol. Surv. P. P. 424-C, C376-377.
- Galloway WE (1975) Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional system. In: Broussard ML (ed) *Deltas*. Houston Geol Soc Houston pp. 87-98
- Gaston KJ, McArdle BH (1994) The temporal variability of animal abundances: measures, methods and patterns. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* 345: 335-358.

- Gauch HG Jr (1982) *Multivariate Analysis and Community Structure*. Cambridge University Press Cambridge.
- Gerchakov SM, Hatcher PG (1972) Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments. *Limnol. Oceanogr.* 17:938-943.
- Gerlach SA (1971) On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia* (Berl.) 6: 176-190.
- Gerlach SA (1978) Food-chain relationships in subtidal silty and sand marine sediments and the role of meiofauna in stimulating bacterial productivity. *Oecologia* 33: 55-69.
- Gerlach SA, Hahn AE, Schrage M (1985) Size spectra of benthic biomass and metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 26: 161-173.
- Giangrande A (1997) Polychaete reproductive patterns, life cycles and life histories: an overview. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 35:323-386.
- Gittins R (1985) Canonical analysis: a review with applications in ecology. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Godshalk GL, Wetzel RG (1978) Decomposition of aquatic angiosperms. I. Dissolved components. *Aquat. Bot.* 5: 281-300.
- Gonzalez-Oreja JA, Saiz-Salinas JI (1999) Loss of Heterotrophic Biomass Structure in an Extreme Estuarine Environment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 48: 391-399.
- Good PI (2000) *Permutation Tests: A practical Guide to Resampling Methods for Testing Hypotheses*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
- Gower JC (1966) Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrica* 53: 325-338.
- Graf G, Meyer-Reil LA (1985) Remineralization of organic substances on benthic surfaces in the intertidal reef area off Mactan, Cebu, Philippines. *Philipp. Scient.* 22: 42-46.
- Graf G, Schulz R, Peinert R, Meyer-Reil LA (1983) Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow-water station in the Western Kiel Bight. I. Analysis of processe on a community level. *Mar. Biol.* 235-246.

- Gremare A, Amouroux JM, Vetion G (1998) Long-term comparison of macrobenthos within the soft bottoms of the Bay of Banyuls-sur-mer (northwestern Mediterranean Sea). *J. Sea Res.* 40: 281-302.
- Guillou J (1985) Population dynamics of *Echinocardium cordatum* (Pennant) in the bay of Douarnenez (Brittany). In *Proceedings of the Fifth International Echinocardium Conference / Galway / 24-29 September 1984* (ed. BF Keegan & BDS O'Conner), pp: 275-280. Rotterdam: Balkema.
- Hall T (2001) *The influence of sedimenting organic matter on the benthic constituents of an Eastern Mediterranean coastal system.* Final Report Contract no. MAS3-CT97-5045 pp:131.
- Han BP, Straskraba M (1998) Size dependence of Biomass Spectra and Population Density I. The Effects of Size Scales and Size Intervals. *J. Theor. Biol.* 191: 259-265.
- Hanson JM 1990. Macroinvertebrate size distributions of two contrasting fresh water macrophyte communities. *Freshwater Biol.* 24: 481-491.
- Hartree EF (1972) Determination of proteins: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.* 48:422-427.
- Hayward P, Nelson-Smith T, Shields C (1996) Collins pocket guide. Sea shore of Britain and northern Europe. London: HarperCollins.
- Hayward PJ, Ryland JS (ed.) (1995) Handbook of the marine fauna of North-West Europe. Oxford: Oxford University Press.
- Hedges JI, Clark WA, Cowie GL (1988a) Organic matter sources to the water column and surficial sediments of a marine bay. *Limnol. Oceanogr.* 33(5):1116-1136.
- Hedges JI, Clark WA, Cowie GL (1988b) Fluxes and reactivities of organic matter in a coastal marine bay. *Limnol. Oceanogr.* 33(5): 1137-1152.
- Hedges JI, Keil RG (1995) Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.* 49: 81-115.
- Hedges JI, Stern JH (1984) Carbon and Nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.* 29(3): 657-663.

- Herndl GL, Peduzzi P, Fanuko N (1989) Benthic community metabolism and microbial dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 53: 169-178.
- Hudson PL (1970) Quantitative sampling with three benthic dredges. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 99: 603-607.
- Humphreys WF (1979) Production and Respiration in Animal populations. J. Anim. Ecol. 48: 427-453.
- Hurlbert SJ (1971) The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Hurlbert SJ (1984) Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monog.* 54: 187-211.
- Ittekkot V (1988) Global trends in the nature of organic matter in suspensions. *Nature* 332: 436-438.
- Ittekkot V, Arain R (1986) Nature of particulate organic matter in the river Indus Pakistan. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50: 1643-1653.
- Ittekkot V, Laane RWPM (1991) Fate of Riverine Particulate Organic Matter. In: Degens ET Kempe S and Richeyj (Eds) *Biogeochemistry of Major World Rivers*. Scope Report 42 John Willet & Sons Chichester pp: 233-243.
- Ittekkot V, Safiullah S, Mycke B, Seifert R (1985) Organic Matter in the river Ganges Bangladesh: seasonal variability and geochemical significance. Nature 317: 800-803.
- Jensen JJ (1990) Increased abundance and growth of the suspension feeding bivalve Corbula gibba in a shallow part of the eutrophic Limfjord, Denmark. *Neth. J. Sea Res.* 27: 101-108.
- Johnson RG (1977) Vertical variation in particulate organic matter in the upper twenty centimeters of marine sediments. *J. mar. Res.* 35: 272-282.
- Joint I, Pomroy A (1993) Phytoplankton biomass and production in the southern North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **99**: 169-182.
- Κακαβάς N (1984) Το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού. Διδακτορική Διατριβή, IΓΜΕ, 230σελ.

- Kalejta B, Hockey PAR (1991) Distribution, Abundance and Productivity of Benthic invertebrates at the Berg River Estuary, South Africa. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 33: 175-191.
- Karageorgis ABL, Anagnostou CL (2001) Particulate matter spatial-temporal distribution and associated surface sediment properties: Thermaikos Gulf and Sporades basin, NW Aegean Sea. *Cont. Shelf Res.* 21: 2141-2153.
- Kashenko SD (1994) Larval development of the heart urchin *Echinocardium cordatum* feeding on different macroalgae. *Biologiya Morya*, **20**(5): 385-389.
- Keil RG, Montlucon DB, Prahl FP, Hedges JI (1994) Sorptive preservation of labile organic matter in marine sediments. *Nature* 370: 549-552.
- Kenkel N, Orloci L (1986) Applying metric and non- metric multidimensional scaling to ecological studies: some new results. *Ecology* 24, 919-28.
- Kennish MJ (1990) *Ecology of Estuaries*. Volume II: Biological aspects. CRC Press Boston MA 391pp.
- Kerr SR (1974) Theory of size distribution in ecological communities. J. Fish. Res. Board. Can. 31: 1859-1862.
- Keuls M (1952) The use of studentized range in connection with an analysis of variance. *Euphytica* 1: 112-122.
- Khripounoff A, Crassous P, Desbryueres D, Le Cox JR (1985) Le flux organique particulaire et ses transformations a l'intreface eau-sediment. In: Laubier L Monniot C (eds) *Peuplements profonds du Golfe de Gascogne*. IFREMER Publications Brest France, pp101-118.
- Κιλικίδης Σ, Καμαριανός Α, Φώτης Γ, Μπάτζιος Χ, Καραμανλής Ξ, Κουσουρής Θ, Καρτέρης Μ, Ακριώτης Τ, Βογιατζής Μ, Γιαννάκου Ο, Γύτας Ι (1993) Υγροβιότοπος Δέλτα Σπερχειού (Ν. Φθιώτιδας) : Αξιολόγηση και διερεύνηση της δυνατότητας ένταξής του στο κοινοτικό δίκτυο των ιδιαίτερα προστατευομένων. 30 Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σεπτέμβριος, Μόλυβος, Λέσβος.
- King CAM (1972) Beaches and coasts. 2nd ed. 570 pp. Edward Arnold, London.
- Kisseleva MI (1968) Le development du benthos dans les mers du basin mediterranee. *Rapp. Proc.-Verb. Reun. Comm. Int. Sci. Mer Medit.* 19: 103-105.

- Kolattukudy PE (1976) *Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes*. Elsevier, Amsterdam, pp 459.
- Kormas K, Thessalou-Legaki M, Nicolaidou A (1997) Is water column productivity in an Aegean embayment reflected to its benthic assemblages? In: Hawkins LE Hutchinson S Jensen AC Sheader M William JA (Eds) *The responses of marine organisms to their environments* Proceedings of the 30th European Marine Biological Symposium University of Southampton September 1995 p143-151.
- Kormas KA (1999) Nutrients, chlorophyll a and suspended matter of the river Sperchios, Hellas. *Fres. Environ. Bull.* 8: 18-23.
- Kormas KA, Garametsi V, Nicolaidou A (2002.) Size-fractionated phytoplankton chlorophyll in an Eastern Mediterranean coastal system (Maliakos Gulf, Greece). *Helg. Mar. Res.* 56: 125-133.
- Kormas KA, Kapiris K, Thessalou-Legaki M, Nicolaidou A (1998) Quantitative relationships between phytoplankton bacteria and protists in an Aegean semi-enclosed embayment (Maliakos Gulf Greece). *Aquat. Microb. Ecol.* 15:255-264.
- Κουτσογιάννης Δ, Τσακαλίας Γ, Μαμάσης Ν, Κουκουβίνος Α (1995) Ολοκληρωμένη Διαχείριση Λεκάνης Σπερχειού, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων ΕΜΠ, Παράρτημα ΕΥΠ Ιούλιος 1995. 15 σελ.
- Krestenitis (2000) Transport and dispersion of dredged material in Maliakos Bay. Chios 6th Hellenic Symposium of Fisheries and Oceanography Vol. I: 502-506.
- Kruskal J. B. (1964) Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a non-metric hypothesis. *Psychometrika* **24**, 1-27.
- Kruskal JB, Wish M (1978) Multidimensional Scaling. Sage Pubns Newbury Park CA.
- Κωτούλας Δ (1987) Έρευνα του χαρακτήρα των χειμμαρικών ρευμάτων στην Ελλάδα ως παράγοντα υποβάθμισης ορεινών λεκανών και πλημμυρογένεσης. Μέρος Ι, Λεκάνη απορροής ποταμού Σπερχειού. Έκθεση Αποτελεσμάτων, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη.
- Lachenbruch PA, Mickey MR (1968) Estimation of error rates in discriminant analysis. *Technometrics* 10: 1-11.

- Lambshead PJD, Platt HM, Shaw KM (1983) Detection of differences among assemblages of benthic species based on an assessment of dominance and diversity. J. Nat. Hist. London 17: 859-874.
- Legendre P, Anderson MJ (1999) Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecol. Monogr.* 69(1): 1-24.
- Legendre P, Gallagher ED (2001) Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129: 271–280.
- Legendre P, Legendre L (1998) Numerical Ecology 2nd English Edition. Elsevier Amsterdam.
- Levin LA (1984) Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology* 65: 1185-1200.
- Levin LA, Boesch DF, Covich A, Dahm C, Erseus C, Ewel KC, Kneib RT, Moldenke A, Palmer MA, Snelgrove P, Strauer D, Weslawski JM (2001) The Function of Marine Critical Transition Zones and the Importance of Sediment Biodiversity. *Ecosystems* 4: 430-451.
- Levin SA, Paine RT (1974) Disturbance, patch formation, and community structure. *Proc. Nati. Ac. Sci. USA* 71: 2744-2747.
- Levinton JS (1982) Marine Ecology. E.W. Caughey (Ed). Prentice hall Inc.
- Li G, Wei H, Yue S, Cheng Y, Han Y (1998) Sedimentation in the Yellow River delta part II : suspended sediment dispersal and deposition on the subaqueous delta. *Mar. Geol.* 149: 113-131.
- Lohrenz SE, Dagg MJ, Whitledge TE (1990) Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. *Cont. Shelf Res.* 10:639–664.
- Lykoussis V, Chronis G (1989) Mechanisms of sediment transport and deposition: sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos Plateau the continental slope and basin (Sporades basin) northwestern Aegean Sea Greece. In: Maoris J (Ed) Geological Aspects and Tectonic Evolution of Mediterranean Seas. *Mar. Geol.* 87: 15-26.
- MacArthur RH (1955) Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology* 36: 533–536.

- MacFarlane JW (1980) Surface and bottom currents in the Gulf of Papua and western Coral Sea. Department of Primary Industries Research Bulletin No 27, Papua New Guinea, 128pp.
- MacIntyre HL, Geider RJ, Miller DG (1996) Microphytobenthos: the ecological role of the "secret garden" of unvegetated, shallow water marine habitats. I Distribution, abundance and primary production. *Estuaries* 19: 186-201.
- Macpherson E, Gordoa A (1996) Biomass spectra in benthic fish assemblages in the Benguela system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 138: 27-32.
- Magurran A (1988) *Ecological Diversity and its measurement*. University Press Cambridge. 1st Edition.
- Manly BFJ (1997) *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*, 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- Mann KH (1988) Production and use of detritus in various freshwater, estuarine, and coastal ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33:910-930.
- Mantoura RFC, Llewellyn CA (1983) The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse phase high-performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta*, 151, 297-314.
- Margalef R (1958) Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36-71.
- Margalef R (1972) Homage to Evelyn Hutchinson or why is there an upper limit to diversity. *Trans. Connect. Acad. Arts Sci.* 44: 211-235.
- Marsh JB, Weinstein WJ (1966) A simple charring method for determination of lipids. J. Lipid Res. 7:574-576.
- Mayer LM, Jumars PA, Taghon GL, Macko SA, Trumbore S (1993) Low density particles as potential nitrogenous foods for benthos. *J. Mar. Res.* 51: 373-389.
- McArdle BH, Anderson MJ (2001) Fitting Multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology* 82(1): 290-297.
- McLusky D (1987) Intertidal habitats and benthic macrofauna of the Forth Estuary, Scotland. Proc. Royal Soc. Edinburgh 93B: 389-399.

McLusky D (1989) The estuarine ecosystem. 2nd edition. Chapman and Hall New York.

- McManus JW, Pauly D 1990. Measuring ecological stress: variations on a theme by R.M. Warwick. *Mar. Biol.* 106, 305-308.
- McNeil S, Lawton JH (1970) Annual production and Respiration in Animal Populations. *Nature*. 225: 472-474.
- Meade RH, Dunne T, Rickey JE, Santos UM, Salati E (1985) Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science* 228: 488–490.
- Meybeck M (1982) Carbon nitrogen and phosphorus transport by world rivers. Am. J. Sci. 282:401-450.
- Meyer-Reil LA (1983) Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow water station in the Western Kiel Bight. II. Analysis of benthic bacterial populations. *Mar. Biol.* 77: 247-256.
- Middelburg JJ, Vugt T, Nat FJWA (1993) Organic Carbon mineralization in marine systems. *Global Planet Change* 8: 47-58.
- Milliman JD, Boyle E (1975) Biological uptake of dissolved silica in the Amazon River estuary. *Science* 189:995-997.
- Milliman JD, Syvitski PM 1992. Geomorphic / Tectonic Control of sediment discharge to the ocean: the Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.* 100: 525-544.
- Moodley L, Heip CHR, Middelburg JJ (1998) Benthic activity in sediments of the north-western Adriatic Sea: sediment oxygen consumption macro- and meiofauna dynamics. *J. Sea Res.* 40: 263-280.
- Mook WG, Hoskin. CM (1982) Organic determinations by ignition: caution advised. *Estuar*. *Coast. Shelf Sci.* 15: 697-699.
- Mook WG, Tan FC (1991) Stable carbon Isotopes in rivers and estuaries. In: Degens ET Kempe S and Richeyj (Eds) *Biogeochemistry of Major World Rivers*. Scope Report 42 John Willet & Sons Chichester pp:245-264.

Moove GT, Asquith DO (1971) DELTA: Term and Concept. Geol. Am. Bull. 82: 2563-2568.

- Morgan JP (1970) Deltaic sedimentation modern and ancient. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 15.
- Morin A, Bourassa N, Cattaneo A (2001) Use of size spectra and empirical models to evaluate trophic relationships in streams. *Limnol. Oceanogr.* 46(4): 935-940.
- Morrisey DJ, Underwood AJ, Howitt L, Stark JS (1992) Temporal variation in soft-sediment benthos. J. Exp. Mar.Biol. Ecol. 164: 233-245.
- Mortenson JL, Himes FL (1964) Soil organic matter, pp. 206-241, in F. E. Bear, ed., *Chemistry* of the soil, 2nd ed., Reinhold, 515 pp.
- Μπόγδανος (1983) Παρατήρηση του μακροζωοβένθους μαλακού υποστρώματος της παραλιακής περιοχής Αγίας Μαρίνας Στυλίδας. Πρακτικά 5^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών, Πάτρα 1983. Σελ. 115-116.
- Murray CN, Riley JP (1969) The solubility of gases in distilled water and sea water II. Oxygen. *Deep Sea Res.* 16: 311-320.
- Nalepa TF, Quigley MA, Ziegler RW (1988) Sampling efficiency of the Ponar Grab in two different benthic environments. J. Great Lakes Res. 14(1): 89-93.
- Nelson DM (1992) Biological removal of dissolved silica in the plume of the Amazon River: Spatial constraints set by nutrient limitation an turbidity. *EOS* (Abstract) 73: 277.
- Newman D (1939) The distribution of the range of samples from a normal population expressed in terms of an independent estimate of standard deviation. Biometrica 31: 20-30.
- Nichols D. (1969) Echinoderms (4th ed.). London: Hutchinson & Co.
- Nicolaidou A, Moraitou-Apostolopoulou M, Ignatiades L (1983) A survey of estuarine benthic zooplanktonic and phytoplanktonic communities of Amvrakikos Gulf Ionian Sea. *PSZNI: Mar. Ecol.* 4(3): 197-209.
- Nixon S (1987) Chesapeake Bay nutrient budgets. A reassessment. Biogeochem. 4: 77-90.
- Noel MH (1996) Le plutonium comme traceur du transfert de l'accumulation des apports particulaires du Rhone en Mediterrane Nord Occidentale. These Doctorat, Universite Paris XII-Val de Marne, 256pp.

Odum EP (1985) Trends expected in stressed ecosystems. *Bioscience* 35: 419-422.

- Oltman R (1967) Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon, In: *Atlas do Simp. sobre Biota Amazônica*, Rio de Janeiro, CNPQ, Vol. 3, pp. 163-185.
- Orians G (1975) Diversity, stability and maturity in natural ecosystems. In: WH Van Dobben & RH Lowe-McConnell, eds. *Unifying Concepts in Ecology*, Dr. W. Junk, The Hague.
- Otsuki A, Hanya T (1972) Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. I Aerobic microbial decomposition. *Limnol. Ocanogr.* 17: 248-257.
- Paine R, Levin S (1981) Intertidal landscapes: disturbance and the dynamics of pattern. *Ecol. Monogr.* 51: 145-178.
- Palacin C, Martin D, Gilli GM (1991) Features of spatial distribution of benthic infauna in a Mediterranean shallow-water bay. *Mar. Biol.* 110: 315-321.
- Pavlidou A (2000) Influence of Nestos River (North Greece). 6th Hellenic Symposium of Fisheries and Oceanography Chios pp: 549-551.
- Pearson TH, Rosenberg R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 229-311.
- Peet RK (1974) The measurement of species diversity. Ann. Rev. Ecol. System. 5: 285-307.
- Peres JM, Picard J (1958) Recherches sur les peuplements benthiques de la Mediterranée Nord-Orientale. *Ann. Inst. Oceanogr.* 34, 213–281.
- Peters RH (1983) The ecological implications of body size. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pielou EC (1969) An Introduction to mathematical Ecology, Wiley, New York.
- Pillai KCS (1955) Some new test criteria in multivariate analysis. Ann. Math. Stat. 26: 117-121.
- Plante R, Plante-Cunny MR, Ryes JP (1986) Photosynthetic pigments of sandy sediments on the north Mediterranean coast: their spatial distribution and its effect on sampling strategies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 34: 133-141.

- Plante-Cuny MR, Bodoy A (1987) Biomasse et production primaire du phytoplankton et du microphytobenthos de deux biotopes sableux (Golfe de Fos, France). *Oceanol. Acta* 10: 223-237.
- Platt HM, Shaw KM, Lambshead PJD (1984) Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environmental perturbations. *Hydrobiol*. 118: 59-66.
- Pocklington P, Wells PG (1992) Polychaetes- Key taxa for marine environmental quality monitoring. *Mar. Poll. Bull.* 24: 593-598.
- Pomeroy LR 1982. Detritus and its role as a food source, p. 84-102. *In* R. SK Barnes, KH Mann (ed.), *Fundamentals of aquatic ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, 2nd ed., Oxford, United Kingdom.
- Poulos S, Collins MB, Leontaris S (1998) Hydrological and dynamical characteristics of the River Louros plume western Greece. *Bollettino di Geofisica teorica ed applicata*. 39(2): 125-143.
- Poulos S, Papadopoulos A, Collins MB (1994) Deltaic progradation in Thermaikos Bay Northern Greece and its socio-economical implications. *Ocean Coast. manag.* 22 229-247.
- Poulos SE, Chronis G (1997) The importance of the river systems in the evolution of the Greek coastline. In: Briand F, Maldonado A. (Eds) *Transformations and Evolution of the Mediterranean Coastline*. Bulletin de l'Institute Oceanographique Monaco CIESM Science Series no. 3 Vol. 18 pp. 75-96.
- Poulos SE, Chronis GT, Collins MB, Lykoussis V (2000) Thermaikos Gulf Coastal System NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. *J. Mar. Syst.* 25: 47-76.
- Poulos SE, Collins MB (1994) Effluent Diffusion and Sediment Dispersion at Microtidal River Mouths Predicted Using Mathematical Models. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 38: 189-206.
- Poulos SE, Collins MB, Shaw HF (1996) Deltaic sedimentation including clay mineral deposition patterns associated with small mountainous rivers and shallow marine embayments of Greece (SE Alpine Europe). J. Coast. Res. 12(4): 940-952.
- Powers CF, Robertson A (1967) *Design and evaluation of an all-purpose benthos sampler*. Great Lakes Research Division, Special Report, 30: 126-131.

Primer 5.1.2 for Windows 2000. Primer - E Ltd.

- Pritchard DW (1967) What is an estuary: a physical viewpoint In: Lauff GH (ed) *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science Publication No 83: 3-5.
- Psyllidou-Giouranovits R, Voutsinou-Taliadouri F, Nakopoulou C, Georgakopoulou-Gregoriadou E (1997) River Discharge effects on the distribution of Nutrients and Heavy Metals of Maliakos Gulf Hellas. *Fres. Environ. Bull.* 6: 72-77.
- Puscedu A, Sara G, Armeni M, Fabiano M, Mazzola A (1999) Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiol.* 397: 59-70.
- Παπαθανασίου Ε (επιστημονικός υπεύθυνος) (1992) Περιβαλλοντική μελέτη του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου : τελική έκθεση / Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών. Τεχνική Έκθεση 129. σελ. 1-243.
- Πούλος Σ (1997) Το ιζηματολογικό δυναμικό των ελληνικών ποταμών. 5ο Πανελλήνιο συμπόσιο Ωκ/φίας και Αλιείας. 1ος τόμος. Καβάλα Απρίλης 1997. ΕΚΘΕ.
- R 1.6.2 version (2003) The R development core team. University of Auckland.
- Radziejewska T, Fleeter JW, Rabalais NN, Carman K (1996) Meiofauna and sediment chloroplastic pigments on the continental shelf off Louisiana USA. *Cont. Shelf Res.* 16(13): 1699-1723.
- Ransom B, Bennett RH, Baerwald R, Hulbert MH, Burkett PJ (1997) In situ conditions and interactions between microbes and minerals in fine-grained marine sediments: A TEM microfabric perspective. Am. Mineral. 84: 183–192, 1999
- Rasmussen JB (1993) Patterns in the size structure of littoral zone macroinvertebrate communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2192-2207.
- Readman J, Albanis T, Barcelo D, Galassi S, Tronczynski J, Gabrielides GP (1993) Herbicide contamination of Mediterranean estuarine waters: results from MEDPOL pilot survey. *Mar. Poll. Bull.* 26: 613-619.
- Rees HL, Heip C, Vincx M, Parker MM (1991) *Benthic communities: use in monitoring point-source discharges.* ICES Techniques in Marine Environmental Sciences No 16, 70pp.

- Reiss MJ (1989) *The allometry of growth and reproduction*. Cambridge University Press Cambridge.
- Rhoads DC, Boesch DF, Zhican T, Fengshan X, Liqiang H, Nilsen KJ (1985) Macrobenthos and sedimentary facies on the Changjiang delta platform and adjacent continental shelf, East China Sea. Cont. Shelf Res. 4: 189-213.
- Rhoads DC, McCall PL, Yingst JY (1978) Disturbance and production on the estuarine seafloor. Am. Sci. 66: 577-586.
- Ricciardi A, Bourget E (1998) Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 163: 245-251.
- Rice DL (1982) The detritus nitrogen problem: new observations and perspectives from organic geochemistry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9:153-162.
- Ρίζος Δ (1994) Ιδιαιτερότητες του οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου. Μελέτη εντοπισμού ρύπανσης του Μαλιακού κόλπου σε συνδυασμό με τις ιχθυοπαραγωγικές και αλιευτικές δυνατότητες ανάπτυζης του / Χ. Αναγνώστου & Ε. Παπαθανασίου (υπεύθυνοι). Τεχνική Έκθεση 152.
- Rizzo WM (1990) Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries* 13(3): 219-226
- Robertson AI, Dixon P, Alongi DM (1998) The Influence of Fluvial Discharge on Pelagic Production in the Gulf of Papua Northern Coral Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 46: 319-331.
- Rodriguez J, Mullin MM (1986) Relation between biomass and body weight of plankton in a steady state oceanic ecosystem. *Limnol. Oceanogr.* 31: 361-370.
- Rosenberg R (1977) Benthic macrofaunal dynamics, production and dispersion in an oxygendeficient estuary of west Sweden. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 26: 107-133.
- Rosenberg R (1995) Benthic marine fauna structured by hydrodynamic processes and food availability. *Neth. J. Sea Res.* 34: 303-317.
- Rosenberg R, Möller P, Olafsson EB, Persson LE, Pihl L, Thorman S, Wiederholm AM, Müller K, Hansson S (1985) Fish and bottom fauna around the Swedish coast –a brief comparison and biological assessment (In Swedish, English Summary). Swedish Environm. Protection Bd, Stockholm, PM 1911: 341-372.

Rowe GT (1983) Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. In: *Deep Sea Biology* vol. 8 GT Rowe editor Wiley New York pp. 97-122.

Rozenweig ML (1997) Species Diversity in space and time. Cambridge University Press pp 423.

Rupert E, Barnes R (1994) Invertebrate Zoology. Sanders College Publishing 6th Edition.

- Rygg B (1985) Effect of sediment copper on benthic fauna. Mar. Ecol. Prog. Ser. 25: 83-89.
- Saiz-Salinas JI Ramos A (1999) Biomass size-spectra of macrobenthic assemblages along water depth in Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 178: 221-227.
- Salomons W, Eagle AM (1990) Hydrology, sedimentology and the fate and distribution of copper in mine-related discharges in the Fly River system, Papua New Guinea. *Sci. Tot. Environ.* 97/98: 315–334.

Sanders H (1968) Marine benthic diversity: a comparative study. Am. Nat. 102: 243-282.

- Sara G, Puscedu A, Mazzola A, Fabiano M (1995) Variazioni della composizione biochimica del materiale organico particellato nello Stagnone di Marsala (Sicilia occidentale): osservazioni preliminary. *Biol. Mar. Medit.* 2: 127-129.
- Sarda R, Martin D, Pinedo S, Dueso A, Cardell MJ (1995) Seasonal dynamics of shallow –water benthic communities in Western Mediterranean. In: A. Eleftheriou AD Ansell and CJ Smith (Eds): *Biology and Ecology of shallow coastal waters*. Olsen and Olsen pp: 191-198.
- Sargent JR, Hopkins CCE, Seiring JV, Youngson A (1983) Partial characterization of organic material in surface sediments from Balsfjorden, northern Norway, in relation to its origin and nutritional value for sediment-ingesting animals. *Mar. Biol.* 76: 87-94.
- Schmidt-Nielsen K (1984) Scaling: Why is animal size so important? Cambridge University Press.
- Schwinghamer P (1981) Characteristic size distributions of integral benthic communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1255-1263.
- Schwinghamer P (1988) Influence of pollution along a natural gradient and in a mesocosm experiment on biomass-size spectra of benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 46: 199-206.

- Schwinghamer P, Hargrave B, Peer D, Hawkins CM (1986) Partitioning of production and respiration among size groups of organisms in an intertidal benthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 31: 131-142.
- Seibold E, Berger WH (1982) The Sea Floor An introduction to marine geology. Springer-Verlag pp.288.
- Shannon CE, Weaver N (1949) *The mathematical theory of communication*. Univ of Illinois Press Urbana.
- Sheldon RW, Parsons TR (1967) A continuous size spectrum from particulate matter in the sea. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 24: 909-915.
- Sheldon RW, Prakash A, Sutcliffe WH (1972) The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* 17: 327-340.
- Sheldon RW, Sutcliffe WH, Prakash A (1973) The production of particles in the surface waters of the ocean with particular reference to the Sargasso Sea. *Limnol. Oceanogr.* 18: 719-733.
- Shepard F (1954) Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J. Sediment. Petrol. 24:151-158.
- Shepard RN (1962) The analysis proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function, I *Psychometrika* 27: 125-140.
- Showers WJ, Angle DG (1986) Stable isotopic characterization of organic carbon accumulation on the Amazon continental shelf. *Cont. Shelf Res.* 6: 227-244.
- Sibly RM, Calow P (1986.) *Physiological Ecology of Animals: An evolutionary approach*. Blackwell Scientific Publications.
- Slobodkin LB, Sanders HL (1969) On the contribution of environmental predictability to species diversity. Brookhaven Symposia in Biology. 22: 82-95.
- Smetacek V (1980) Annual cycle of sedimentation in relation to plankton ecology in western Kiel Bight. *Ophelia* (Supp.) 1: 65-76.
- Smil V (1997) *Cycles of Life: Civilization and the Biosphere*. Scientific American Library, New York, x + 221 pp.

- Smith KLJR (1978) Benthic community respiration in the NW Atlantic Ocean: in situ measurements from 40 to 5200m. *Mar Biol.* 47: 337-347.
- Smith KLJR, Rowe GT, Clifford CH (1974) Sediment oxygen demand in an outwelling and upwelling area. *Tethys* 6:223-230.
- Southwood TRE (1978) Ecological Models. Chapman and Hall London.
- Sprules WG, Casselman JM, Shuter BJ (1983) Size-distribution of pelagic particles in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1761-1769.
- Sprules WG, Munawar M (1986) Plankton size spectra in relation to system productivity, size and perturbation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1789-1794.
- Stergiou KI, Christou ED, Georgopoulos D, Zenetos A, Souvermezoglou C (1997) The Hellenic Seas. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 35: 415-538.
- Stournaras G (1999) Assessment of morphometric parameters of Greek Rhone-type deltas. Hydrogeological and environmental aspects. *Environ. Geol.* 38(1): 53-58.
- Strayer DL (1991) Perspectives on the size structure of lacustrine zoobenthos, its causes, and its consequences. J. N. Am. Benthol. Soc. 10: 210-221.
- Strickland JDH (1960) Measuring the production of marine phytoplankton. *Fish. Res. Bd Can. Bull.* 122, 172 pp.
- Strickland JDH, Parsons TR (1965) A manual of Sea water Analysis, 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 125, 203pp.
- Sun MY, Lee C, Aller RC (1993) Laboratory studies of oxic and anoxic degradation of Chlorophyll a in Long Island Sound sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57: 147-157.
- Sun S, Dong Y (1985) Ecological control of polychaete distributions in the Changjiang estuary and adjacent waters. Cont. Shelf Res. 4(1/2): 215-225.

Systat 5.02 for Windows 1992. Systat Inc.

Tahey TM, Duineveld CA, Berghuis EM, Helder W (1994) Relation between sediment-water fluxes of oxygen and silicate and faunal abundance at continental, shelf, slope and deeper water in the northwest Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 104: 119-130.

- Tanoue E, Handa N (1987) Monosaccharide composition of phytoplankton, suspended particles, sinking particles and bottom sediments from the Bering Sea and northern North Pacific. *Oceanol. Acta* 10(1): 91-99.
- Teal JM (1980) Primary production of benthic and fringing plant communities. In: *Fundamentals* of Aquatic Ecosystems. (Eds.) Barnes, R.S.K., Mann, K.H.
- ter Braak CJF (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167-79.
- ter Braak CJF (1995). Multidimensional scaling and regression. Statist. Applic. 4(4): 577-586.
- ter Braak CJF 1990. Update notes: CANOCO version 3.10. Agricultural Mathematics Group, Wageningen, The Netherlands.
- Torgerson W. (1958) Theory and Methods of Scaling (Wiley, New York).
- Tselepides A, Polychronaki T, Marale D, Akoumianaki I, Dell'Ano A, Puscedu A, Danovaro R (2000) Organic matter composition of the continental shelf and bathyal sediments of the Cretan Sea. *Prog. Oceanogr.* 46: 311-344.
- Tumbiolo ML, Downing JA (1994) An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 114:165-174.
- Turner RE, Rabalais NN, Zhang. ZN (1990) Phytoplankton biomass, production and growth limitations on the Huanghe (Yellow River) continental shelf. *Cont. Shelf Res.* 10:545-571.
- Tziavos CC (1979) Distribution of recent ostracoda from the Sperchios River Delta and Maliakos Gulf Greece. VII International Symposium on Ostracodes Beograd. 219-222.
- Underwood AJ (1981) Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Ann. Rev. Oceanogr. Mar. Biol.* 19: 513-605.
- Underwood AJ (1997) *Experiments in Ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance.* University Press Cambridge.
- Underwood AJ, Chapman MG (1998) GMAV5 for Windows An analysis of variance programme. Institute of Marine Ecology Marine Ecology Laboratories Old Geology Building, A11. University of Sydney NSW 2006.

Valiela I (1995) Marine Ecological Processes. 2nd edition Springer-Verlag New York Inc.

- Valiela I, Teal JM, Allan SD, Van Etten R, Goehungel D, Volman S (1985) Decomposition in salt marsh ecosystems: The phase and major factors affecting disappearance of above-ground organic matter. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 89: 29-54.
- Varela M, Penas E (1985) Primary production of benthic nicroalgae in an intertidal sand flat of the Ria de Arosa, NW Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 111-119.
- Voutsinou-Taliadouri F, Varnavas SP (1995) Geochemical and sedimentological patterns in the Thermaikos Gulf North-west Aegean Sea formed from a multisource of elements. *Estuar*. *Coast. Shelf Sci.* 40: 295-320.
- Walkley A, Black IA (1934) An examination of Degtjareff method for the determination of soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37: 29-37.
- Warwick R (1984) Species size distributions in marine benthic communities. *Oecologia* 61: 32-41.
- Warwick R, Price R (1975) Macrofauna production in an estuarine mud flat. J. mar. Biol. Ass. UK 55: 1-18.
- Warwick RM, Clarke KR (1996) Relationships between body-size, species, abundance and diversity in marine assemblages: facts and artifacts? J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 202: 63-71.
- Warwick RM, George CL, Davies JR (1978) Annual macrofauna production in a Venus community. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 7: 215-241.
- Wassmann P (1984) Sedimentation and benthic mineralization of organic detritus in a Norwegian fjord. *Mar. Biol.* 83: 83-94.
- Weber CI, Fay LA, Collins GB, Rathke DE, Tobin J (1986) *A review of methods for the analysis of chlorophyll in periphyton and plankton of marine and freshwater systems*. Ohio State University Sea Grant Program Tech Bull. OHSU-TB-15.
- Williams CB (1964) Patterns in the Balance of Nature and Related Problems in Quantitative *Ecology*, Academic Press London.

- Winkler LS (1888) The determination of dissolved oxygen. Ber. Dtsche. Chem. Ges., 21:2843-2855.
- Wolf WJ, de Wolf L (1977) Biomass and production of zoobenthos in the Grevellingen Estuary, The Netherlands. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 5: 1-24.
- Xiuren N, Vaulot D, Zhensheng L, Zilin L (1988) Standing stock and production of phytoplankton in the estuary of the Changjiang (Yangtze River) and the adjacent East China Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 49, 141–150.
- Χριστιανίδης Σ (1992) Προβλήματα ανανέωσης νερών του Μαλιακού κόλπου, θαλάσσια ρεύματα. Πρακτικά Ημερίδας με θέμα «Περιβαλλοντικά προβλήματα Μαλιακού κόλπου και δυνατότητες ανάπτυξης της περιοχής» (Μάιος 1992) σ. 14-19, Λαμία.
- Χρόνης ΓΘ 1997. Εισαγωγή στην Παράκτια Γεωλογία. Εχγειρίδιο για το Γ΄εξάμηνο του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου του Αιγαίου.
- Yentsch CS, Menzel DW (1963) A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* 10: 221-231.
- Zenetos A, Bei F, Nicolaidou A (1991) Erratic occurrence of benthic fauna in a shallow Mediterranean area: an indirect effect of manmade disturbance. *Mar. Poll. Bull.* 22(12): 618-622.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: : Κατάλογος ειδών βενθικής μακροπανίδας Μαλιακού κόλπου και εκβολών Σπερχειού

ΠΟΛΥΧΑΙΤΟΙ Ampharete acutifrons Grube, 1860 Melinna palmata Grube, 1870 Capitelethus dispar Ehlers, 1907 Capitella giardi Mesnil, 1897 Dasybranchus caducus Grube, 1846 Decamastus gracilis Hartman, 1963 Heteromastus filiformis Claparede, 1864 Leiocapitella sp. Leiocapitellides analis Hartman-Schroder 1960 Leiochrus alutaceus Ehlers, 1908 Mastobranchus trinchesii Eisig, 1887 Mediomastus fragilis Rasmussen, 1973 Neoheteromastus lineus Hartman, 1960 Notomastus latericeus M. Sars, 1851 Paraleiocapitella sp. Pseudoleiocapitella fauveli Harmelin, 1964 Spiochaetopterus costarum Claparede, 1868 Chrysopetalum debile Grube, 1855 Aphelochaeta sp. Caulleriella bioculata Keferstein, 1862 Chaetozone setosa Malmgren, 1867 Cirratulus filiformis Keferstein, 1862 Monticellina dorsobranchialis Kirkegaard, 1959 Tharyx (Aphelochaeta) multibtranchis Grube, 1863 Cossura soyeri Laubier, 1979 Protodorvilea kefersteini McIntosh, 1879 Schistomeringos neglecta Fauvel, 1923 Schistomeringos rudolphii Delle chiaje, 1828 Eunice pennata O.F. Muller 1776

Marphysa belli Audouin & Milne-Edwards, 1833 Diplocirrus glaucus Malmgren, 1867 Glycera rouxi Audouin & Milne Edwards, 1833 Kefersteinia cirrata Keferstein, 1863 Paralacydonia paradoxa Fauvel, 1913 Lumbrineriopsis paradoxa Saint-Joseph, 1888 Lumbrineris emandibulata Ramos, 1976 Lumbrineris funchalensis Kinberg, 1865 Lumbrineris impatiens Claparede 1868 Lumbrineris latreilli Audouin & Milne-Edwards, 1834 Magelona minuta Eliason, 1962 *Clymenura* sp. Euclymene oerstedi Claparede, 1863 *Leiochone* sp. Maldane sarsi Malmgren, 1865 Rhodine loveni Tauber, 1879 Micronephtys maryae San Martin, 1982 Hediste diversicolor O.F. Muller, 1776 *Neanthes* sp. *Nereis* sp. Platynereis dumerilii Audouin & Milne-Edwards, 1834 Hyalinoecia brementi Fauvel, 1916 Ophelina acuminata Orsted, 1843 Polyophthalmus pictus Dujardin, 1839 Leitoscoloplos kerguelensis McIntosh, 1885 Galathowenia (Myriochele) oculata Zaks, 1922 Owenia fusiformis Delle Chiaje, 1841 Palymridae sp. Indet. Aricidea claudiae Laubier & Ramos, 1974 Aricidea suesica meridionalis Laubier & Ramos, 1974 Cirrophorus branchiatus Ehlers, 1908 Cirrophorus furcatus Hartman, 1957 Paradoneis lyra Southern, 1914 Tauberia (Levinsenia) gracilis Tauber, 1879 Pectinaria koreni Malmgren, 1865

Eulalia punctifera Grube, 1860 Mysta picta Quatrefages, 1865 Pilargis verrucosa Saint-Joseph, 1899 Sigambra tentaculata Treadwell, 1941 Poecilochaetus serpens Allen, 1904 Harmothoe antilopes McIntosh, 1876 Harmothoe lunulata delle Chiaje, 1841 Jasmineira elegans Saint-Joseph, 1884 Ditrupa arietina O.F. Muller, 1776 Salmacina incrustans Clapared, 1868 Sthenelais sp. Sthenolepis yhleni Malmgren, 1867 Aonides paucibranchiata Southern, 1914 Laonice cirrata M. Sars, 1851 Malacoceros girardii Quatrefages, 1843 Paraprionospio pinnata Ehlers, 1901 Polydora quadrilobata Jaccobi, 1883 Prionospio cirrifera Wiren, 1883 Prionospio malmgreni Claparede, 1870 Prionospio steenstrupi Malmgren, 1867 Pseudopolydora antennata Claparede, 1870 Pygospio elegans Claparede, 1863 Scolelepis cantabra Rioja, 1918 Spio decoratus Bobretzky, 1870 Spiophanes bombyx Claparede, 1870 Streblospio shrubsoli Buchanan, 1890 Spirorbidae sp. Indet. Sternaspis scutata Renier, 1807 Exogone verugera Claparede, 1868 Syllis cornuta Rathke, 1843 Lanice conchilega Pallas, 1766 Pista cristata Muller, 1776 Polycirrus tenuisetis Langerhans, 1880 Terebellides stroemi Sars, 1835
ΜΑΛΑΚΙΑ ΔΙΘΥΡΑ Abra alba Wood, 1802 Abra prismatica Montagu, 1808 Anodontia fragilis Philippi,1836 Arca sp. Axinulus croulinensis Jeffreys, 1847 *Cardium* sp. Corbula gibba Olivi, 1792 Ensis ensis Linné,1758 Gastrochaena dubia Pennant, 1777 Gouldia minima Montagu, 1803 Hiatella arctica Linneo, 1767 Loripes lacteus Linneo, 1758 Montacuta ferruginosa Montagu, 1808 Musculus laevigatus Gray, 1825 Myrthea spinifera Montagu, 1803 Mysella bidentata Montagu, 1803 Mytilus galloprovincialis juv. Lamarck, 1819 Nucula nucleus Linneo, 1758 Nucula sulcata Brown, 1831 Nucula tenuis Montagu, 1808 Nucula turgida Leckenby & Marshall, 1875 Saxicavella jeffreysi Winckworth, 1930 Solemya togata Poli, 1795 Tellina compressa Brocchi, 1814 Tellina donacina Linneo, 1758 Tellina pulchella Lamarck, 1818 Tellina tenuis Da costa, 1778 Thracia pubescens Pulteney, 1799 Thyasira flexuosa Montagu, 1803 Timoclea ovata Pennant, 1777 Venerupis sp.

ΓΑΣΤΕΡΟΠΟΔΑ

Actaeon tornatilis Linné, 1758 Atys jeffreysi Weinkauff, 1866 Bela fuscata Deshayes, 1835 Bittium latreilli Payraudeau, 1826) Bulla striata Bruguière, 1792 Chryssalida sp. Cylichna cylindracea Pennant, 1777 Eulima polita Linné, 1758 Fusinus sp. Hyala vitrea Montagu, 1803 Mangelia nebula Risso, 1826 Murex longispinosus brandaris Linneo, 1758 Nassarius incrassatus Stroem, 1768 *Naticarius* sp. Odostomia conoidea Brocchi, 1814 Philine scabra Muller, 1776 *Raphitoma* sp. *Ringicula* sp. *Rissoa* sp. Turbonilla acuta Donovan, 1804 *Turbonilla* sp. Turitella communis Risso, 1826

ΣΚΑΦΟΠΟΔΑ Dentalium inaequicostatum Dautzenberg, 1891

KAPKINOEIΔH AMΦΙΠΟΔA Ampelisca sp. Corophium acherusicum Costa, 1857 Corophium orientale Schellenberg, 1928 Corophium runcicorne Della Valle, 1893 Guernea coalita Norman, 1868 Harpinia crenulata Boeck, 1871 Leptocheirus maryae Karaman, 1973 Leucothoe incisa Robertson, 1892 Maera schmidti Stephensen, 1915 Metafoxus fultoni Scott, 1890 Microdeutopus gryllotalpa Costa, 1853 Perioculodes longimanus Bate & Westwood, 1868 Phtisica marina Slabber, 1769 Socarnes filicornis Heller, 1866 Synchelidium maculatum Stebbing, 1906 Westwoodilla vectirostris Della Valle, 1893

 $MY\Sigma I\Delta\Omega\Delta H$ Mysidacea sp. Indet

ΔΕΚΑΠΟΔΑ Anapagurus laevis Bell, 1845 Brachynotus gemmelari Rizza, 1839 Processa parva Holthuis, 1951

OΣTPAK $\Omega\Delta H$ Ostracoda sp. Indet.

ANIΣΟΠΟΔΑ Apseudes latreilli H. Milne Edwards, 1828 Leptochelia savignyi Masunari, 1976

> IΣΟΠΟΔΑ Cirolana cranchii Leach, 1818 Gnathia sp.

ΚΥΜΩΔΗ

Diastylis rugosa Sars, 1865 Eudorella nana Sars, 1879 Iphinoe serrata Norman, 1867

 $Θ Y \Sigma \Sigma A N O Π O \Delta A$

Cirripedia sp. Indet.

EXINO∆EPMA Amphiura chiajei Forbes, 1843 Amphiura sp. Juv. Asterina sp. Asterina sp.juv. Echinocardium cordatum Pennant, 1777 Echinoidea sp. Juv. Labidoplax buski McIntosh, 1866 Trachythyone elongata

$AN\Theta OZ\Omega A$

Anthozoa sp. Indet. *Edwarsia* sp.

AΣKIΔIA Ascidia sp. Indet. 1 Ascidia sp.indet.2

$\Sigma\Omega\Lambda HNOEI\Delta H$

Aspidosiphon muelleri Diesing, 1851 Onchnesoma steestrupi Koren & Danielssen, 1875

NHMEPTINOI

Baseodiscus sp. Cephalothrix sp. Cerebratulus fuscus McIntosh, 1873/74 Lineus lacteus Montagu. Lineus sp. Micrura purpurea Dalyell, 1853 Micrura rockaliensis Dollfus, 1924 Micrura sp. Nemertea sp. Indet.1 Nemertea sp. Indet.1 Nemertea sp. Indet.3 *Tetrastemma* sp. *Tubulanus polymorphus* Renier, 1804 *Tubulanus* sp.

ΠΛΑΤΥΕΛΜΙΝΘΕΣ Convoluta convoluta Abildgaard, 1806 Turbellaria sp. Indet.

ΦΟΡΟΝΟΕΙΔΗ Phoronis psammophila Cori, 1889

> ΠΡΙΑΠΟΥΛΟΕΙΔΗ Priapulida sp. Inet.

ΠΥΚΝΟΓΟΝΙΔΙΑ Pycnogonida sp. Indet.

ΔΙΠΤΕΡΑ Chironomidae sp. Juv.

OAIΓOXAITOI Oligochaeta sp. Indet (marine) Oligochaeta sp 2 (brackish)