



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

Μετα-ανάλυση των επιπτώσεων θαλάσσιων
ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον σε
διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές

Ιωάννα Καλαντζή

Εξεταστική Επιτροπή: Γ. Καρακάσης (Επιβλέπων)
Ε. Γιδάρακος
Δ. Μαντζαβίνος

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2004

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ

«Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος»

ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ: ΜΕΤΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΒΕΝΘΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: Ιωάννα Καλαντζή

Εξεταστική επιτροπή:

Γ. Καρακάσης, επ. καθηγ. ΜΗΠΕΡ, ΠΚ
Ε. Γιδάρáκος, αν. καθηγ. ΜΗΠΕΡ, ΠΚ
Δ. Μαντζαβίνος, επ. καθηγ. ΜΗΠΕΡ, ΠΚ

Ευχαριστίες

Σημαντική υπήρξε η συμβολή της τριμελούς επιτροπής στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ο Γ. Καρακάσης προσέφερε την σημαντική του εμπειρία στην επεξεργασία των δεδομένων και στην εξαγωγή των συμπερασμάτων. Σημαντική υπήρξε επίσης η συμβολή του Ε. Γιδάρáκου και του Δ. Ματζαβίνου με τα εύστοχα σχόλιά τους.

Περίληψη

Η αλματώδης ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών στη Μεσόγειο και ειδικά στην Ελλάδα που αποτελεί την Μεσογειακή χώρα με την μεγαλύτερη παραγωγή έχει δημιουργήσει την ανάγκη ρύθμισης της λειτουργίας τους. Η ταχέως επεκτεινόμενη αυτή δραστηριότητα συναντά την αντίδραση άλλων χρηστών του παράκτιου περιβάλλοντος όπως ο τουρισμός και η αλιεία ενώ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών έχουν αποτελέσει σημείο τριβής μεταξύ επιστημόνων αλλά και μεταξύ τοπικών φορέων, τοπικής αυτοδιοίκησης και πολιτείας σε πολλές περιπτώσεις σε όλη την Ελλάδα.

Στόχος της εργασίας είναι η ανίχνευση σχέσεων ανάμεσα στα βιολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά για διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα και διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την αναγκαιότητα ή μη της θέσπισης διαφορετικών περιβαλλοντικών προδιαγραφών ανά περιοχή.

Η εργασία περιλαμβάνει την δημιουργία βάσεων δεδομένων για τις εργασίες που ασχολούνται με το βενθικό οικοσύστημα σε περιοχές ιχθυοτροφείων. Από κάθε εργασία αντλήθηκε η διαθέσιμη πληροφορία για κάθε περιβαλλοντική μεταβλητή από τους παρατιθέμενους πίνακες ή διαγράμματα και καταχωρήθηκαν στοιχεία για την περιοχή και την στρατηγική δειγματοληψίας.

Οι εργασίες που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από εκτρεφόμενα είδη, διάφορα βάθη εγκατάστασης των ιχθυοτροφείων, πολλούς τύπους βενθικών ενδιαιτημάτων, καθώς και διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Ακόμη οι εξεταζόμενες περιοχές διαφέρουν ως προς τις τεχνολογίες εκτροφής, το μέγεθος των ιχθυοτροφείων και τις γενικές συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον εντός του οποίου εκτελείται η ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι σχέσεις που προκύπτουν από την παρούσα εργασία έχουν γενική εφαρμογή στην εκτίμηση των επιπτώσεων καθώς δεν συνδέονται με μια ειδική περίπτωση όπως αναπόφευκτα συμβαίνει με κάθε μια από τις εξετασθείσες εργασίες που αφορούν καλλιέργεια ενός είδους σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη.

Η μετα-ανάλυση των δεδομένων έγινε με γραμμικές μεθόδους (συσχετίσεις) και πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση ώστε να προκύψουν σχέσεις ανάμεσα σε γεωχημικές και βιολογικές μεταβλητές για διάφορες ομάδες σταθμών/δειγμάτων. Έτσι έγινε ένας συνδυασμός των απλών γραμμικών μοντέλων με τα μοντέλα που προκύπτουν από την πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση τα οποία είναι πιο ικανά να συλλάβουν την μη προσθετική συμπεριφορά και να επιτρέψουν την ανίχνευση πιο γενικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών.

Με την ανάλυση της πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης ελέγχθηκε η επί μέρους συμβολή της απόστασης, του βάθους και του γεωγραφικού πλάτους στην εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων. Οι περισσότερες γεωχημικές μεταβλητές έχουν δείξει συνεπή μορφή ως προς την απόκριση στον εμπλουτισμό του βένθους (μείωση της οργανικής ύλης και της κατανάλωσης οξυγόνου, αύξηση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού και της συγκέντρωσης οξυγόνου στον πυθμένα). Οι μεταβολές με το γεωγραφικό πλάτος έχουν παρατηρηθεί ως αποτέλεσμα των τιμών υποβάθρου όπως επίσης εξαιτίας διαφορετικών χαρακτηριστικών των ειδών που καλλιεργούνται και των ταχυτήτων ιζηματοπόθεσης των αποβλήτων της καλλιέργειας. Η αύξηση του βάθους οδηγεί σε δύο διαφορετικούς τύπους συνεπειών: (α) επιτρέπει μεγαλύτερο βαθμό διασποράς (έτσι αυξάνει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, το οξυγόνο και η ποικιλότητα) και (β) περιλαμβάνει αλλαγές του μεγέθους του κόκκου του ιζήματος (αυξάνει το ποσοστό των λεπτόκοκκων σωματιδίων) το οποίο στην συνέχεια επιτρέπει υψηλότερη απορρόφηση οργανικής ύλης και χαμηλότερα επίπεδα της βιομάζας του μακροβένθους.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	5
2. Υλικά και μέθοδοι	13
2.1. Αντληση δεδομένων	13
2.2. Η μαθηματική επεξεργασία	19
2.2.1. Συσχετίσεις (Correlation)	19
2.2.2. Πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση (Multiple stepwise regression)	19
3. Αποτελέσματα	21
3.1. Συσχετίσεις (correlation)	21
3.2. Πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση (Multiple stepwise regression)	40
3.2.1. Αποτελέσματα	40
3.2.1.1. Σταδιακή παλινδρόμηση εξαιρώντας τις λίμνες και τα κελυφοειδή	40
3.2.1.2. Σταδιακή παλινδρόμηση για κάθε τύπο ιζήματος	42
4. Συζήτηση	43
5. Βιβλιογραφία	53

1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε μια αλματώδης ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών, τόσο στον ελλαδικό χώρο όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτή η απότομη ανάπτυξη επέβαλε την αναγκαιότητα λήψης μέτρων για την διαχείριση της παράκτιας ζώνης ώστε να υπάρξει αειφόρος ανάπτυξη (sustainability). Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ΟΗΕ περισσότερο από το 50% του ανθρώπινου πληθυσμού κατοικεί στην παράκτια ζώνη ενώ το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί σε περισσότερο από 75% στα επόμενα 25 χρόνια. Οι χώρες της Μεσογείου δεν αποτελούν εξαίρεση σε σχέση με τον κανόνα αυτό ενώ παρουσιάζουν επίσης το πρόσθετο πρόβλημα της σημαντικής διόγκωσης του πληθυσμού τους κατά τους θερινούς μήνες λόγω του εποχιακού τουριστικού ρεύματος που κατά τόπους πολλαπλασιάζει την πυκνότητα του πληθυσμού της παράκτιας ζώνης. Το παράκτιο περιβάλλον της Ελλάδας καθώς επίσης και άλλων περιοχών παγκοσμίως έχει επί σειρά ετών υποστεί τις συνέπειες της οικιστικής και τουριστικής ανάπτυξης ενώ κατά την τελευταία δεκαετία η χρήση του έγινε σε πολλές περιοχές αντικείμενο έντονων τοπικών πολιτικών διενέξεων λόγω της ανάπτυξης των υδατοκαλλιεργειών στη ζώνη αυτή.

Η αλματώδης ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών κατά τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα την σύγκρουση με άλλες οικονομικά σημαντικές χρήσεις της παράκτιας ζώνης όπως για παράδειγμα ο τουρισμός. Το ερώτημα εάν η υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα προκαλεί υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και αν ναι, πόσο σημαντική είναι η υποβάθμιση αυτή, έχει απασχολήσει τόσο τις αρχές σε εθνικό και τοπικό επίπεδο όσο και την επιστημονική κοινότητα.

Επί σειρά ετών η υδατοκαλλιέργεια εθεωρείτο μια φιλική προς το περιβάλλον δραστηριότητα (Findlay et al 1995) καθώς επρόκειτο κυρίως για μικρής κλίμακας παραδοσιακές επιχειρήσεις και οικογενειακές εκμεταλλεύσεις συνήθως εκτατικού τύπου (Gowen 1991). Αυτού του τύπου η δραστηριότητα επέζησε επί αιώνες στην Ασία και επί δεκαετίες σε διάφορες χώρες του κόσμου και μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα συμβατή με

την αειφόρο ανάπτυξη. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η σύζευξη της υδατοκαλλιέργειας με την σύγχρονη τεχνολογία οδήγησε σε ριζική αναδιάρθρωση του κλάδου με την εμφάνιση επιχειρήσεων που πραγματοποιούν μεγάλες επενδύσεις και αποσκοπούν σε μεγάλα κέρδη. Η νέα αυτή μορφή υδατοκαλλιέργειας επέτρεψε την αλματώδη ανάπτυξη της παραγόμενης βιομάζας και την αύξηση της παραγωγικότητας με την ολοένα ενισχυόμενη τάση για εντατικοποίηση της καλλιέργειας. Η καλλιέργεια σολομού στην Νορβηγία, στην Σκοτία, στην Ιρλανδία, στον Καναδά και στην Χιλή είναι τυπικό παράδειγμα τέτοιας ανάπτυξης: μόνο στην Νορβηγία η παραγωγή σολομού 14πλασιάστηκε μέσα σε μια 10ετία. Η έρευνα για την επίτευξη της καλλιέργειας και άλλων ειδών και η ανάπτυξη της καλλιέργειας σε χώρες που δεν έχουν μέχρι σήμερα παράδοση στην δραστηριότητα αυτή κάνουν πιθανή την επέκταση και στο μέλλον της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας (Gowen 1991), σύμφωνα δε με ορισμένες εκτιμήσεις που βασίζονται στο ρυθμό αύξησης των δύο δραστηριοτήτων (Beveridge 1996), μετά το 2020 η παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών στο σύνολο τους θα υπερβεί την ποσότητα των αλιευμάτων σε παγκόσμια κλίμακα.

Η εντατικοποίηση της υδατοκαλλιέργειας φανέρωσε προβλήματα που δεν είχαν παρατηρηθεί πριν και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου ο στρατηγικός σχεδιασμός της ανάπτυξης απουσίαζε ή ήταν ανεπαρκής (Findlay et al 1997). Προβλήματα που αφορούν το φυσικό ή και το κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον εμφανίστηκαν σε διάφορες τέτοιες περιπτώσεις έτσι ώστε να αμφισβητείται έντονα η βιωσιμότητα, από περιβαλλοντική άποψη, των σήμερα εφαρμοζόμενων πρακτικών καλλιέργειας (Folke 1988).

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν δημοσιευτεί πολλές εργασίες που αφορούν τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο περιβάλλον σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές (Gowen & Bradbury 1987, Wu 1995, Karakassis 2001, Fernandes et al 2001). Οι εργασίες αυτές αφορούν διάφορα εκτρεφόμενα είδη, σε διάφορα βάθη και σε διαφορετικού τύπου ενδιαιτήματα και περιλαμβάνουν διαφόρων τύπων γεωχημικές και βιολογικές παραμέτρους. Οι στρατηγικές δειγματοληψίας ποικίλουν επίσης περιλαμβάνοντας διάφορες αποστάσεις στο χώρο και διάφορες συχνότητες δειγματοληψίας και διάφορους τύπους δειγματοληπτών. Εν τούτοις σε ελάχιστες εργασίες η στρατηγική δειγματοληψίας

είχε σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκτιμήσει την συνεισφορά κάθε μιας από τις παραπάνω πηγές μεταβλητότητας στις τιμές των βιολογικών ή γεωχημικών μεταβλητών με εξαίρεση την απόσταση από τους κλωβούς. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα κάθε μιας μελέτης έχουν ειδικό μάλλον χαρακτήρα μη επιτρέποντας την γενίκευση ή την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων. Το αποτέλεσμα είναι να καθίσταται δυσχερής η απόλυτη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μελετών και επομένως προκύπτουν δυσκολίες στον έλεγχο των παραμέτρων μεταβλητών σε σχέση με τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον.

Η εξέταση των επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση ανάλογα με την φύση του προβλήματος και την έκταση του στον χώρο και στον χρόνο. Ο κύριος όγκος των αποβλήτων που παράγονται από τις μονάδες καλλιέργειας είναι η οργανική ύλη (αχρησιμοποίητη τροφή και περιττώματα των ψαριών) καθώς και τα προϊόντα της ανοργανοποίησης της από τα βακτήρια, καθώς και τα άλλα προϊόντα του μεταβολικού κύκλου των ψαριών που εκκρίνονται υπό διαλυτή μορφή στο θαλάσσιο περιβάλλον (Gowen & Bradbury 1987). Φυσικά τα προϊόντα αυτά δεν περιέχουν τοξικές ουσίες αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι δυνατόν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο περιβάλλον.

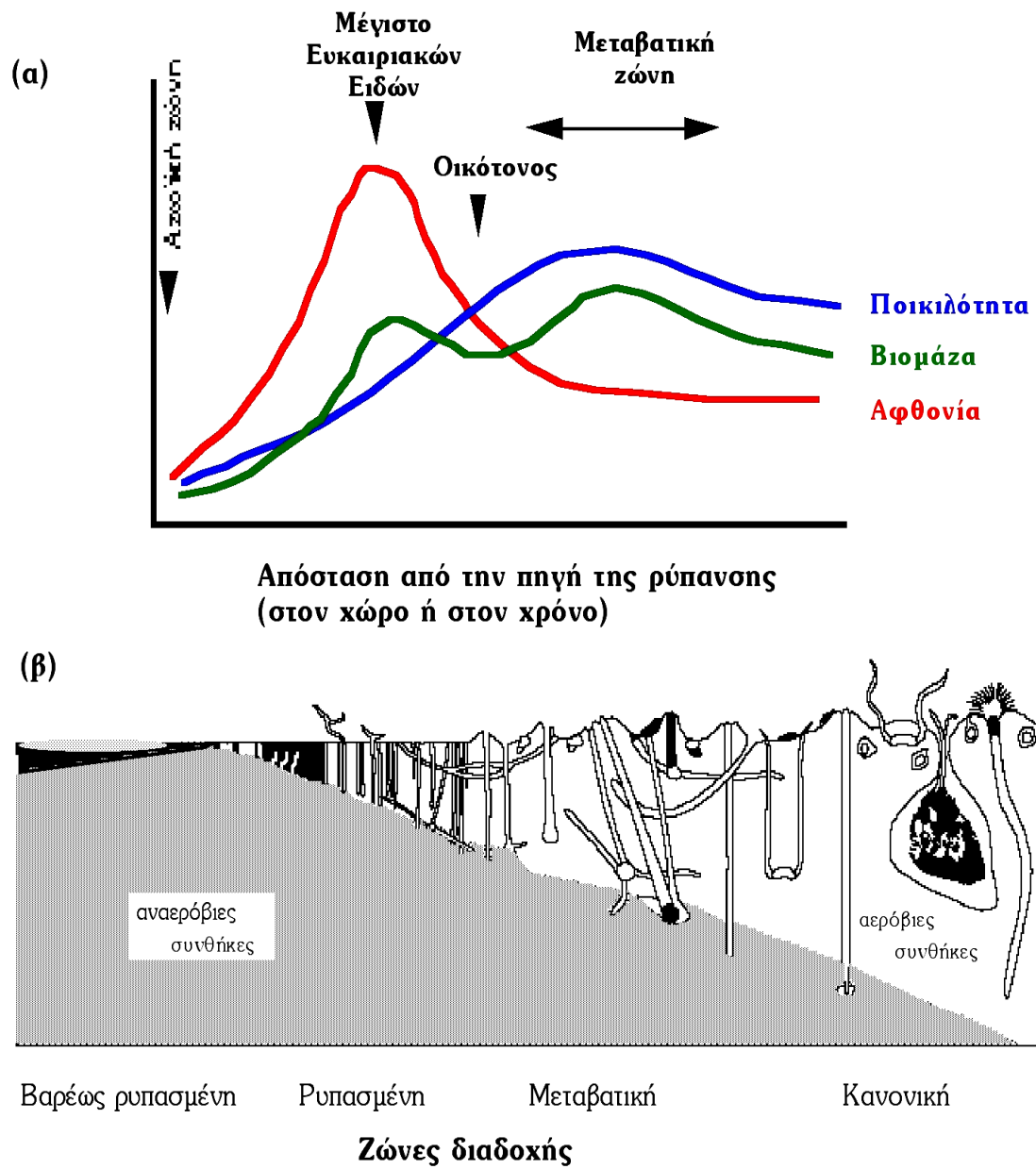
Οι επιπτώσεις στα θαλάσσια ιζήματα είναι ο κυριότερος τύπος ρύπανσης που σχετίζεται με την υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα. Η ροή της οργανικής ύλης έχει ως αποτέλεσμα την επικράτηση ανοξικών συνθηκών στο ίζημα, την μείωση του διαθέσιμου χώρου για την διαβίωση των βενθικών οργανισμών, την μείωση της ποικιλότητας και βιομάζας της μακροπανίδας και σε ακραίες περιπτώσεις την πλήρη απουσία της ενδοπανίδας και την ανάπτυξη χημειοαυτότροφων βακτηρίων στην επιφάνεια του ιζήματος. Οι επιπτώσεις είναι περισσότερο ή λιγότερο έντονες ανάλογα με τον τύπο του ιζήματος, τον υδροδυναμισμό, το βάθος, την έκταση της καλλιέργειας κλπ και αναλόγως διαφέρουν οι αποστάσεις στις οποίες η υποβάθμιση του βυθού είναι ανιχνεύσιμη. Έτσι στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί από πολύ μικρές αποστάσεις (<30m από τους κλωβούς καλλιέργειας) έως αρκετά εκτεταμένες (100m).

Η παρούσα εργασία ‘Μετα-ανάλυση των επιπτώσεων θαλάσσιων ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές’ έγινε προκειμένου να ανιχνευθούν ομοιότητες και διαφορές τόσο στην χωρική κατανομή όσο και στην ένταση των επιπτώσεων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του βενθικού ενδιαιτήματος αλλά και της γεωγραφικής περιοχής στην οποία ασκείται η δραστηριότητα των ιχθυοκαλλιεργειών.

Ο όρος «μετα-ανάλυση» έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην Ιατρική για να περιγράψει την συνδυασμένη εξέταση πολλών περιπτώσεων που ενώ κάθε μία μόνη της έχει περιορισμένη αξία στο σύνολό τους δίνουν μια ενδελεχή εικόνα ενός φαινομένου. Με την μέθοδο αυτή τα αποτελέσματα κάθε μελέτης θεωρούνται ως ένα ανεξάρτητο αντίγραφο-δείγμα (replicate) επιτρέποντας έτσι την εξέταση οικολογικών ερωτημάτων σε ευρύτερη κλίμακα από ότι θα ήταν δυνατόν αλλιώς (Collie et al 2000). Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο πλαίσιο της θαλάσσιας Οικολογίας από τους Warwick & Clarke (1993) και συνδυάστηκε με διάφορους τύπους μαθηματικών τεχνικών για τον προσδιορισμό σχέσεων ανάμεσα σε διάφορες περιβαλλοντικές και βιολογικές μεταβλητές. Τα τελευταία έτη έχει υπάρξει σημαντική πρόοδος στην κατανόηση θαλάσσιων οικολογικών φαινομένων με την χρήση μετα-ανάλυσης. Οι Collie et al (2000) εξέτασαν με τον τρόπο αυτό τις επιπτώσεις των συρόμενων αλιευτικών εργαλείων στο βενθικό οικοσύστημα, οι Rumohr & Karakassis (1999) και Karakassis et al (2002) την σχέση βενθικών δεδομένων αφθονίας με την πληροφορία που λαμβάνεται με την μέθοδο φωτογράφισης κατακόρυφης διατομής ιζήματος (sediment profiling imagery ή SPI), οι Olsgard et al (1997) την σχέση ανάμεσα σε διάφορα επίπεδα ταξινομικής διακριτότητας, οι Hyland et al (2004 in press) την σχέση ανάμεσα στον οργανικό άνθρακα και την βενθική ποικιλότητα.

Το μοντέλο των Pearson & Rosenberg (1978) για τις επιπτώσεις του οργανικού εμπλουτισμού στο βένθος σε σχέση με την αφθονία, την βιομάζα και τον αριθμό των ειδών έδωσε μια γενική εικόνα των επιπτώσεων στο βένθος εξαιτίας διαφόρων δραστηριοτήτων που παράγουν απόβλητα τα οποία διοχετεύονται στην θάλασσα (Σχημα 1.1). Όμως το μοντέλο αυτό είναι κατά βάση εμπειρικό και παρά την επιβεβαίωση των

προβλέψεων του σε πλειάδα διαφορετικών περιπτώσεων στον κόσμο απέχει πολύ από το να παρέχει ακριβής ποσοτικές προβλέψεις για την κατάσταση του βενθικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 1.1. Μοντέλο των Pearson & Rosenberg (1978)

Στόχος της εργασίας είναι η ανίχνευση σχέσεων ανάμεσα στα βιολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά για διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα και διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την αναγκαιότητα ή μη της θέσπισης διαφορετικών περιβαλλοντικών προδιαγραφών ανά περιοχή.

Η εργασία περιλαμβάνει την δημιουργία βάσεων δεδομένων για τις εργασίες που ασχολούνται με το βενθικό οικοσύστημα σε περιοχές ιχθυοτροφείων. Από κάθε εργασία αντλήθηκε η διαθέσιμη πληροφορία για κάθε περιβαλλοντική μεταβλητή από τους παρατιθέμενους πίνακες ή διαγράμματα και καταχωρήθηκαν στοιχεία για την περιοχή και την στρατηγική δειγματοληψίας.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο περιβάλλον είναι σημαντική όχι μόνο για την προστασία του περιβάλλοντος η οποία στις μέρες μας έχει αποκτήσει αυτοτελή αξία αλλά και για την προστασία της ίδιας της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας από ανεπιθύμητες αρνητικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Σε αντίθεση με άλλες δραστηριότητες που παράγουν απόβλητα χωρίς να επηρεάζονται άμεσα από αυτά (π.χ. βιομηχανία, διάθεση αστικών αποβλήτων, γεωργικά απόβλητα κλπ) η υδατοκαλλιέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με το περιβάλλον της. Οι κίνδυνοι από την μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στη στήλη είναι προφανείς όπως και εκείνοι που προκαλούνται από την άνθιση τοξικών φυτοπλαγκτονικών οργανισμών. Φαίνεται όμως ότι και η υποβάθμιση του βενθικού συστήματος μπορεί να έχει σημαντικές αρνητικές συνέπειες: σε ορισμένες περιπτώσεις έχει βρεθεί ότι η ρύπανση του βενθικού συστήματος και η εκπομπή αερίων που σχετίζονται με την αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης επιφέρει μείωση της παραγωγικότητας και προβλήματα υγείας στα καλλιεργούμενα αποθέματα ([Braaten et al 1983](#); [Rosenthal & Rangeley 1989](#)). Αρχικά υπήρχε η άποψη ότι τα προβλήματα αυτά συνδέονται με την τοξικότητα του υδρόθειου που περιέχεται σε ποσοστό περίπου 2% στις φυσαλίδες που αναβλύζουν από θαλάσσια ανοξικά ιζήματα ([Samuelsen et al 1988](#)). Ωστόσο φαίνεται ότι το φαινόμενο είναι πολύ πιο σύνθετο, και δεν έχει ακόμη δοθεί οριστική απάντηση καθώς τέτοια προβλήματα έχουν παρατηρηθεί ακόμη και σε περιοχές με αρκετά μεγάλο βάθος οπότε θα αναμενόταν ότι το υδρόθειο, που γενικά

οξειδώνεται ταχέως καθώς οι φυσαλίδες ανέρχονται στη στήλη, δεν θα μπορούσε να επηρεάσει το καλλιεργούμενο ιχθυοαπόθεμα.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Αντληση δεδομένων

Συγκεντρώθηκαν 50 εργασίες σε διεθνή περιοδικά με κριτές καθώς και ολοκληρωμένες εκθέσεις που παρείχαν πρόσβαση σε δεδομένα. Για την αναζήτηση των εργασιών χρησιμοποιήθηκαν διάφορες βάσεις δεδομένων (ASFA, ISI, ScienceDirect). Στην συνέχεια μελετήθηκε το κείμενο των εργασιών και εξαιρέθηκαν όσες δεν παρείχαν πρωτογενή στοιχεία, ή αποτελούσαν άρθρα ανασκόπησης (reviews) ή δεδομένα από μοντέλα μόνον. Στον **πίνακα 2.1** παρουσιάζονται τα στοιχεία των μελετών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και μια σύντομη περιγραφή του φυσικού περιβάλλοντος μελέτης (καλλιεργούμενος οργανισμός, αριθμός θέσεων δειγματοληψίας, βάθος και τύπος ιζήματος της περιοχής καλλιέργειας).

Τελικά η ανάλυση διεξήχθη σε 43 εργασίες οι οποίες πιστεύουμε ότι αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από το οποίο μπορούν να βγουν αξιόπιστα συμπεράσματα για την συνολική αντίδραση του συστήματος στον εμπλουτισμό με οργανικά ύλη, δηλαδή για τις επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον. Στον **πίνακα 2.2** παρουσιάζονται οι μεταβλητές που βρέθηκαν στο σύνολο των εργασιών, ο αριθμός των τιμών που έχουν αναφερθεί στο σύνολο των δεδομένων και ο αριθμός των εργασιών στις οποίες εμφανίζεται η κάθε μία. Περιλαμβάνονται επίσης τα μέγιστα και τα ελάχιστα των μεταβλητών αυτών.

Πίνακας 2.1. Στοιχεία εργασιών που εξετάστηκαν

αα	συγγραφείς	έτος	περιοχή	αριθ. θέ- σεων	καλλιεργ. οργανισμός	βάθος (m)	ίζημα
1	Molina-Dominguez et al.	2001	Atlantic, Spain	1	bream-bass	20	sand
2	Karakassis et al.	1998	Mediterranean, Greece	3	bream-bass	20-40	mud, coarse sand
3	Gowen et al.	1988	Atlantic, Scotland	2	Salmonidae	20-25	mud, coarse (gravel)
4	Wildish et al.	2003	Pacific, Australia	2	Salmonidae		mud
5	Findlay et al.	1995	Atlantic, USA	1	Salmonidae	16	silty sand
6	Kupka-Hansen et al.	1991	Atlantic, Norway	1	Salmonidae	7-20	sand
7	Kraufvelin et al.	2001	Baltic, France	2	Salmonidae	5-25	
8	Rosenthal et al.	1989	Atlantic, Canada	1	Salmonidae	9	mud
9	Lauren-Maatta et al.	1991	Baltic, Finland	4	Salmonidae	7-20	
10	Uotila	1991	Baltic, Finland	1	Salmonidae	8	
11	Nickell et al.	2003	Atlantic, Scotland	1	Salmonidae	15-22	mud
12	Pohle et al.	2001	Atlantic, USA	3	Salmonidae	13	mud
13	Cromey et al.	2002	Atlantic, Scotland	2	Salmonidae		
14	Cheshirel et al.	1996	Pacific, Australia	1	Tuna		
15	Holmer et al.	1992	Atlantic, Denmark	1	Salmonidae	5	
16	Hargrave et al.	1993	Atlantic, Canada	1	Salmonidae	13	mud
17	Pocklington et al.	1994	Atlantic, Canada	4	Salmonidae & Bivalvia		mud
18	Hatcher et al.	1994	Atlantic, Canada	1	Bivalvia	7	mud
19	Black et al.	1996	Atlantic, Scotland	2	Salmonidae	16-33	mud, sand
20	Findlay et al.	1997	Atlantic, USA	3	Salmonidae	11-15	silty sand, coarse
21	Gilbert et al.	1997	Mediterranean, France	1	Bivalvia	9	(gravel)
22	Troell et al.	1997	Lake Kariba, Zimbabwe	1	Tilapia	25	mud
23	Hargrave et al.	1997	Atlantic, Canada	1	Salmonidae	14	mud
24	Heilskov et al.	2001	Atlantic, Denmark	1	Salmonidae	5	mud
25	Wildish et al.	2001	Atlantic, Canada	1	Salmonidae		mud
26	Yokoyama	2002	Pacific, Japan	2	Bivalvia & bream-bass	14-23	silty sand
27	Kempf et al.	2002	Atlantic, France	1	Salmonidae	20	silty sand
28	Angel et al.	1995	Red Sea, Jordan	1	bream-bass	15-35	fine sand
29	La Rosa et al.	2001	Mediterranean, Italy	1	bream-bass	10	silty sand
30	Mirto et al.	2000	Mediterranean, Italy	1	bream-bass	10	silty sand
31	Morrisey et al.	2000	Pacific, New Zealand	1	Salmonidae	26	silty sand
32	Angel et al.	2002	Red Sea, Israel	1	bream-bass	20	
33	Brooks et al.	2003	Pacific, Canada	2	Salmonidae		sand
34	Hall et al.	1990	Baltic, Sweden	1	Salmonidae	20	mud
35	Hall et al.	1992	Baltic, Sweden	1	Salmonidae	20	mud
36	Holby et al.	1991	Baltic, Sweden	1	Salmonidae	20	mud
37	Holby et al.	1993	Baltic, Sweden	1	Salmonidae	20	mud
38	Ye et al.	1991	Pacific, Australia	1	Salmonidae	12	fine sand
39	Ritz et al.	1989	Pacific, Australia	1	Salmonidae		
40	Johnsen et al.	1993	Atlantic, Norway	1	Salmonidae	13-18	fine sand
41	Katavic et al.	1999	Mediterranean, Croatia	1	bream-bass	23	sand
42	Weston	1990	Pacific, USA	1	Salmonidae	16	sand
43	Belias et al.	2003	Mediterranean, Greece	3	bream-bass	9-42	rocky, mud

Πίνακας 2.2. Μεταβλητές που βρέθηκαν στο σύνολο των εργασιών, αριθμός των τιμών τους και ο αριθμός των εργασιών στις οποίες εμφανίζεται η κάθε μία

Μεταβλητή	Αρ.τιμών	Μονάδες	MAX	MIN	Αρ.εργασιών
Γενικά χαρακτηριστικά					
εργασία	1013	-	-	-	
σταθμός	997	-	77	1	42
απόσταση	932	m	3000	0	41
τοποθεσία	1001	-	-	-	42
γεωγραφικό πλάτος	1001	moirai(N)	60,83	-46,92	42
γεωγραφικό μήκος	1001	moirai(E)	168,17	-123,17	42
μεγεθος καλλιέργειας	678	tn/yr	180000	3,9	38
χρόνια παραγωγής	557	years	34	1	26
βάθος	908	m	41,5	4,5	36
εποχή	725	-	-	-	25
χρονιά μελέτης	460	-	2001	1982	23
μέγεθος κόκκων	385	μm	160	0,4	15
τύπος ιζήματος	738	-	-	-	35
ιζήματος τύπος	728	-	-	-	35
μέγεθος κοσκίνου	709	μm	1000	400	21
θερμοκρασία ιζήματος	22	C	13,9	3,3	1
θερμοκρασία νερού	483	C	28,5	-1,7	27
PH	2	-	8,54	8,03	1
αλατότητα	305	psu	40,95	17,5	19
αλκαλικότητα	4	meq/l	30	2,6	1
βάθος συσσωρ. οργ. αποβλ.	34	cm	39,3	0	2
επιφάνεια ιζήματος	34	m ² /g	10,2	3,4	1
μυρωδιά H ₂ S	105	+/-	-	-	8
βάθος επιφ. θειϊκού στρώμ.	2	cm	20	10,2	1
βάθος απορρόφησης O ₂	8	mm	4	0,1	1
Eh, 0cm	53	mV	250	-447	4
Eh, 2cm	118	mV	600	-260	6
Eh, 4cm	58	mV	350	-189	2
RPD	29	cm	20	0	3
Συγκεντρώσεις στο ίζημα					
περιεκτ. νερού%	29	%	0,89	0,1854	10
TVS%(total volatile solids)	10	%	0,36	0,03125	1
LOI%(loss on ignition)	141	%	0,4853	0,01111	13
TOC%(total organic carbon)	248	%	0,2613	0,001	15
TOCg/m ² (total organic carbon)	24	g/m ²	420	96	1
περιεκτ. άνθρακα,g/m ²	12	gr/m ²	617,5	125	1
BPC	26	μg/g	5190,5	876,8	2
C12,C13	28	-	-1,27	-24	1
δ13C	18	‰	-11,68	-22	1

πίνακας 2.2 (συνέχεια)

άζωτο	23	mg/g	21,07	0,0594	2
TON%(total organic nitrogen)	186	%	0,0363	0,0002	9
TONmg/m2(total organic nitrogen)	24	mg/m2	0,0546	0,0098	1
NO3-(sed)	12	μM	3	0,35	2
NO2-(sed)	12	μM	1,3	0,09	2
NH4+(0cm)	19	μM	625	2	5
NH4+(4cm)	12	μM	1875	60	2
C/N(πυρήνα και παγίδας)	34	-	10,2	6	1
C/N(πυρήνα)	32	-	13,71	3,27	4
COD / TOD	32	-	1	0,1125	1
ολικός φώσφορος	35	mg/g	15,77	0,0778	3
C/Porg	4	-	365,8	79	1
SO4--(0cm)	6	mM	20	15	2
S--mM	20	mM	382,35	0,733	2
S--μg/g	13	μg/g	38,3	0,54	1
σωματιδιακό βιογενές πυρίτιο	1	mmol/gr	0,277	0,277	1
Zn	39	ppm	679	18	4
Cu	38	ppm	250	7,6	3
Fe	21	ppm	26350	1677	2
χλωροφύλλη μg/g	112	μg/g	54	0,1	4
χλωροφύλλη μg/cm2	6	μg/cm2	71,4	7,225	2
φαιοχρωστικές	106	μg/g	194,21	1	2
ATP	60	μg/g	48	0,5	1
αφομοίωσιμη πρωτεΐνη	34	mg/g	7,6	1,2	1
Cholesterol	28	μg/g	445,5	0,91	1
Campesterol	24	μg/g	29,2	0,08	1
Brassicasterol	28	μg/g	11,905	0,48	1
Συγκεντρώσεις στο μεσοδιαστηματικό νερό του ιζήματος					
CH4(μεσοδιαστηματικό νερό)	2	μM	1,611	1,611	1
NH4+(νερού βυθού)	10	μM	7,7	0,1786	2
NH4+(μεσοδιαστηματικό νερό)	7	mmol/l	0,967	0,0575	1
ολικός P(μεσοδιαστηματικό νερό)	7	μmol/l	144,706	8,824	1
θειικά (μεσοδιαστηματικό νερό)	16	μM	32000	0,01	2
AVS-S	42	mg/g	1,85	0,03	1
υδατοδιαλυτά θειικά	5	mg/g	0,0285	0,0051	1
H2S(νερού βυθού)	18	mmol/l	2	0	2
DO(νερού βυθού)	94	mg/l	10,7	0,46875	4
DO(επιφανειακού νερού)	4	mg/l	9	6,2	3
Βενθική ροή					
άνθρακα	5	gr/m2/d	69	0,22	2
DOC(dissolved organic carbon)	6	mmol/m2/d	112,4	2,04	1
CO2	29	mmol/m2/d	610	23	3
CH4	8	mmol/m2/d	5,4485	0,003	1
αζώτου	44	mmol/m2/d	122,27	-2,679	4

N2O	4	mmol/m2/d	0,0263	0,00055	1
πίνακας 2.2 (συνέχεια)					
DON(dissolved organic nitrogen)	25	mmol/m2/d	25,86	-10,5	2
TDN(total dissolved nitrogen)	12	mmol/m2/d	11,59	-3,46	1
αμμωνίας	97	mmol/m2/d	976,76	-4,412	8
ουρίας	8	mmol/m2/d	1,86	-0,611	1
φωσφόρου	42	mmol/m2/d	14,51	-4,546	5
SRR	8	μmol/cm3/d	7	0,0525	1
θείου	5	g/m2/d	3,39	0	1
πυριτίου	20	mmol/m2/d	7,87	-0,05	3
κατανάλωση O2	105	mmol/m2/d	581,76	-1,5625	9
αερίων	4	ml/m2/h	58,333	3,889	1
Ρυθμοί ιζηματοπόθεσης					
συνολική ιζηματοπόθεση	64	gr/m2/d	263,52	0,55	8
POM(particulate organic matter)	21	g/m2/d	127	0,366	3
άνθρακα	41	gr/m2/d	77,808	0,03036	5
αζώτου	19	mmol/m2/d	309,7	1,9167	3
φωσφόρου	22	mmol/m2/d	46,2	0,039	2
πυριτίου	11	mmol/m2/d	41,5	3,17	1
Βιολογικά δεδομένα					
Shannon	233	bits	5,6	0	12
Evenness	147	-	21	0	7
Simpson	6	-	6,875	3,125	1
Hill's Ratio	6	-	0,771	0,5	1
Margalef αφθονία ειδών	2	-	3,9	0,3	1
αφθονία	256	ind/m2	500000	0	8
Capitela	100	%	1	0	7
Polydora	48	%	0,83	0	3
βάκτηρια/g	26	(10)8 cells/g	2,9	0,3	2
βακτήρια/ml	17	(10)9 cells/ml	3,2	0,3	1
αφθονία μειοπανίδα	26	ind/cm2	29500	8330	2
ολική αφθονία νηματωδών	26	ind/cm2	25100	2840	2
βιομάζα	214	gr/m2	3065,22	0	10
βιομάζα(υγρή)	172	gr/m2	3065,22	0	7
βιομάζα(ξηρή)	42	gr/m2	50	1	3
μικροβιακή βιομάζα	4	gr/m2	65,77	0,962	1
βιομάζα μικροφυτοβένθος	2	μgC/g	598,3	329	1
βιομάζα βακτηρίων	2	μgC/g	27,39	7,98	1
βιομάζα μειοπανίδα	2	μgC/cm2	6180	766,9	1
βιομάζα νηματωδών	2	μgC/cm2	1427	695	1
βιομάζα ατόμου νηματωδών	2	μgC/ind	0,28	0,18	1
μέσο μέγεθος ατόμου	4	g	0,0038	0,00005	1
αριθμός ειδών	188	-	128	0	8
αριθμ. επικρατέστερων ειδών	26	-	15	1	2
αριθμ. ταξονομικών ομάδων	14	-	66	4	2
ολικά είδη μακροπανίδα	12	-	43	10	2

Από κάθε εργασία εξήχθησαν τα πρωτογενή δεδομένα από τους πίνακες και τα διαγράμματα και αποθηκεύτηκαν σε βάση δεδομένων. Τελικά κατασκευάστηκε ένας πίνακας στο Excel με 124 στήλες και 1013 γραμμές. Οπότε από τις 43 εργασίες βρέθηκαν 123 μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της σχέσης τους με τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον.

Οι μονάδες μετατράπηκαν σε ενιαία μορφή ώστε να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη. Όπου δεν ήταν δυνατό να γίνει αυτή η μετατροπή, δημιουργήθηκε καινούργια στήλη στον πίνακα με την ίδια μεταβλητή με διαφορετικές μονάδες. Οι τιμές Shannon εκφράστηκαν όλες σε bits (\log_2) και χρησιμοποιήθηκε η αλλαγή βάσης λογαρίθμου όπου χρειάστηκε.

Ταξινομήσαμε τις εποχές μελέτης (season) σε καλοκαίρι, χειμώνα, φθινόπωρο και άνοιξη και ανάλογα με το ημισφαίριο αλλάξαμε το χειμώνα με καλοκαίρι. Ο τύπος του ιζήματος στην περιοχή μελέτης (sediment) ταξινομήθηκε σε αμμώδες, αδρό και ιλυώδες. Κάθε κατηγορία φυσικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει διάφορα μεγέθη ιζήματος.

Ένα σύνηθες χαρακτηριστικό στις περισσότερες μετα-αναλύσεις είναι ότι οι μετρήσεις του μεγέθους των επιπτώσεων σταθμίζονται με την μεταβλητότητα μέσα στις μελέτες, έτσι δίνεται περισσότερο βάρος στα αποτελέσματα των εργασιών τα οποία είναι πιο έμπιστα. Δυστυχώς, μεταβλητότητα δειγμάτων δεν αναφέρονται συχνά στις εργασίες που εξετάσαμε, κάνοντας αδύνατο για μας να χρησιμοποιήσουμε τέτοια στάθμιση. Αυτό έχει ως συνέπεια να αναγκαστούμε να χειριστούμε τον πειραματικό σχεδιασμό και την ακρίβεια των εκτιμήσεων για όλες τις μελέτες ως ισοδύναμα. Παρόλο που η μετα-ανάλυση έγινε με την απουσία εκτιμήσεων μεταβλητότητας μέσα στις μελέτες, τα αποτελέσματα είναι πολύ χρήσιμα, όπως σχολιάζουν οι [Gurevitch](#) και [Hedges \(1999\)](#) «όπου δεν υπάρχει εναλλακτική, η μετα-ανάλυση μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες εκεί όπου αλλιώς δεν θα υπήρχε καμιά διαθέσιμη».

2.2. Η μαθηματική επεξεργασία

2.2.1. Συσχετίσεις (Correlation)

Για την μελέτη των επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον εξετάσαμε το αποτέλεσμα κάθε μεταβλητής στις παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση των βενθικών οργανισμών με ένα γενικευμένο γραμμικό μοντέλο. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε να γίνει συσχέτιση (correlation) όλων των δεδομένων με όλα με την κατασκευή ενός τριγωνικού πίνακα. Στην συνέχεια από τον πίνακα αυτό εξαιρούνται οι μεταβλητές που έχουν απόλυτες τιμές μικρότερες του 0,5, δηλαδή παραμένουν στον πίνακα οι μεταβλητές με $\text{abs}(r) > 0,5$. Ενώ το πρόσημο του r , δηλαδή του συντελεστή συσχέτισης, μας δείχνει αν αυξάνεται ($r > 0$) ή μειώνεται ($r < 0$) μια μεταβλητή σε σχέση με την άλλη. Κάνουμε ξανά τον τριγωνικό πίνακα με καταχωρήσεις αυτή τη φορά τον αριθμό των ζευγών των μεταβλητών ανά δύο (DF). Τέλος από το r και το $DF+2$ βρίσκουμε με στατιστικές μεθόδους το P και κατασκευάζουμε έναν τελευταίο πίνακα με τις τιμές του P , δηλαδή της πιθανότητας να υπάρχει μεγάλη σχέση μεταξύ δύο παραμέτρων, η οποία είναι σημαντική όταν $P < 0,05$. Μετά βρίσκουμε τον αριθμό των εργασιών που υπάρχουν τα ζεύγη με $P < 0,05$ και κρατάμε ως σημαντικά αυτά που εμφανίζονται σε περισσότερες από τρεις εργασίες. Έτσι βρέθηκε η σχέση μεταξύ των γεωχημικών και βιολογικών μεταβλητών με την διαδοχική διαδικασία προσαρμογής στο μοντέλο.

2.2.2. Πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση (Multiple stepwise regression)

Εκτός από την στατιστική μοντελοποίηση που περιγράφηκε παραπάνω, εφαρμόσαμε την πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση. Αυτή η προσέγγιση έχει γίνει αρκετά δημοφιλής ως μέσο για την πρόβλεψη και συνοψία μεγάλων βάσεων δεδομένων με πολλές μεταβλητές έτσι ώστε μερικές φορές δίνει περισσότερες πληροφορίες από ότι τα απλά γραμμικά μοντέλα. Χρησιμοποιήσαμε αυτήν την μέθοδο γιατί φαίνεται να είναι αρκετά κατάλληλη για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον. Σε σύγκριση με τα απλά γραμμικά μοντέλα, τα μοντέλα που προκύπτουν από την πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση είναι πιο ικανά να συλλάβουν την μη προσθετική συμπεριφορά

και να επιτρέψουν την ανίχνευση πιο γενικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών.

Για την πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση εισάγουμε την βάση δεδομένων στο Systat και την εφαρμόζουμε χρησιμοποιώντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές τον λογάριθμο της απόστασης ($\ln[\text{distance}+1]$), το γεωγραφικό πλάτος και το βάθος και ως εξαρτημένες τις γεωχημικές και τις βιολογικές μεταβλητές από τον πίνακα. Έτσι προκύπτουν μοντέλα με την μορφή $y=a+bx+cz+dw$, όπου y είναι κάποια γεωχημική ή βιολογική μεταβλητή, a είναι η σταθερά και x,z,w οι ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για να αποφευχθεί ο επηρεασμός από ακραίες τιμές χρησιμοποιήσαμε το $\ln[\text{distance}+1]$ και \log_{abund} , \log_{biom} , δηλαδή τους λογαρίθμους της απόστασης, της αφθονίας και της βιομάζας αντίστοιχα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε σε δύο περιπτώσεις: (α) εξαιρώντας τις λίμνες και τα μαλάκια και (β) για κάθε τύπο ιζήματος. Στα αποτελέσματα που παίρνουμε δίνεται το ποσοστό εξήγησης κάθε εξαρτημένης μεταβλητής από το μοντέλο που προκύπτει, επίσης έχουμε και την πιθανότητα να υπάρχει μεγάλη σχέση της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής με τις εξαρτημένες, η οποία είναι σημαντική όταν $P<0,05$. Έτσι κατασκευάσαμε αρκετά μοντέλα για τις επιλεγμένες εξαρτημένες μεταβλητές ώστε να μπορούν να προβλεφθούν κατά ένα μεγάλο μέρος οι επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον.

3. Αποτελέσματα

Από την μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων με την εφαρμογή των συσχετίσεων και της πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

3.1. Συσχετίσεις (correlation)

Από τις συσχετίσεις (correlation) προκύπτουν οι τριγωνικοί **πίνακες 3.1.1** και **3.1.2** που φαίνονται παρακάτω (αντίστοιχα για το r και το P). Στους πίνακες αυτούς δίνονται το E_h το οποίο είναι το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, το LOI (loss on ignition) το οποίο είναι η απώλεια μέσω καύσης, το TOC (total organic carbon) είναι ο ολικός άνθρακας, το TON (total organic nitrogen) είναι το ολικό οργανικό άζωτο, το tot-P είναι ο ολικός φώσφορος, το DO είναι το διαλυμένο οξυγόνο, το H' είναι ο συντελεστής Shannon και το E είναι ο συντελεστής Evenness.

Πίνακας 3.1.1 Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ παραμέτρων

r	Eh, 0cm	Eh, 2cm	Eh, 4cm	περικτ. νερού	LOI	TOC	TON	tot-P	χλωροφύλλη	φαικοχρωστικές	NH4+ (νερού βυθού)	DO (νερού βυθού)	DO (επιφανειακού νερού)	βενθική ροή αζώτου	βενθική ροή αμμωνίας	βενθική ροή φωσφόρου	βενθική ροή τυρτίου	βενθική κατανάλωση O2	ρυθμοί ιζηματοδόσης	ρυθμός ιζηματοδόσης POM	ρυθμός ιζηματοδόσης άνθρακα	ρυθμός ιζηματοδόσης αζώτου	ρυθμός ιζηματοδόσης φωσφόρου	ρυθμός ιζηματοδόσης τυρτίου	H'	E (Evenness index)	αφθονία	βιομάζα (υγρή)	βιομάζα (ξηρή)	αριθμός ειδών	
Eh, 0cm	1	0,596511				-0,99889	-0,99788	-0,9169353												-1		-1									
Eh, 2cm		1				-0,74348	-0,78724	-0,9998503		-0,666087192	-0,659946146									-1		-1									0,560712
Eh, 4cm			1	-0,51841663		-0,62821	-0,84211																								0,978905
περικτ. νερού				1	0,9476903	0,769324	0,904588		1					0,6173717	0,755933	0,536678	0,860544	0,89595	0,851051								-0,512958			-0,58427	
LOI					1	0,989177	0,990153								0,7089456	0,76734	0,691819	0,911353		0,671872							0,532892	-0,8549			
TOC						1	0,834523	0,98950551		0,677838274						0,521609		0,572805	0,997869	0,707681	0,728652	0,988354			-0,621028					-0,71177	
TON							1	0,83394264		0,664649221			0,95614399	0,8870769	-0,525476		0,789103	0,62238	0,999195		0,691156	0,630289		-0,708406	-0,60191					-0,68856	
tot-P								1										0,826553		0,802825	0,782025	0,996084									
χλωροφύλλη									1	0,735071095				0,52729754	0,6867482	0,681523		0,654418													
φαικοχρωστικές										1																					
NH4+ (νερού βυθού)											1																				
DO (νερού βυθού)												1	-0,643274																		
DO (επιφανειακού νερού)													1																		
βενθική ροή αζώτου														1		0,878388				0,601011	0,995506						0,978109				
βενθική ροή αμμωνίας															1	0,545145			0,871768		1	1	1				0,999712		0,573288		
βενθική ροή φωσφόρου																	1	0,723622		0,629307							0,999486		0,593412		
βενθική ροή τυρτίου																		1		0,531166							0,769085		0,793081		
βενθική κατανάλωση O2																			1	0,983281	0,988489		1	1			0,999049		0,57503		
ρυθμοί ιζηματοδόσης																				1	0,682228	0,69174	0,966432	0,986432							
ρυθμός ιζηματοδόσης POM																					1										
ρυθμός ιζηματοδόσης άνθρακα																						1	0,962021	0,717936	0,624458						
ρυθμός ιζηματοδόσης αζώτου																							1	0,771614	0,646885						
ρυθμός ιζηματοδόσης φωσφόρου																								1	0,553633						
ρυθμός ιζηματοδόσης τυρτίου																									1						
H'																										1				0,858184	
E (Evenness index)																											1				
αφθονία																												1		0,691122	
βιομάζα (υγρή)																													1		
βιομάζα (ξηρή)																														1	
αριθμός ειδών																															

Πίνακας 3.1.2 Επίπεδο σημαντικότητας συσχετίσεων μεταξύ παραμέτρων

P	Eh, 0cm	Eh, 2cm	Eh, 4cm	περιεκτ. νερού	LOI	TOC	TON	tot-P	χλωροφύλλη	φαικοχρωστικές	NH4+ (νερού βυθού)	DO(νερού βυθού)	DO(επιφανειακού νερού)	βενθική ροή αζώτου	βενθική ροή αμμωνίας	βενθική ροή φωσφόρου	βενθική ροή πυριτίου	βενθική κατανάλωση O2	ρυθμοί ιζηματογένεσης	ρυθμός ιζηματογένεσης POM	ρυθμός ιζηματογένεσης άνθρακα	ρυθμός ιζηματογένεσης αζώτου	ρυθμός ιζηματογένεσης φωσφόρου	ρυθμός ιζηματογένεσης πυριτίου	H ⁺	E (Evenness index)	αφθονία	βιομάζα (υγρή)	βιομάζα (ξηρή)	αριθμός ειδών		
Eh, 0cm		0,0527			0,394	0,0299	0,0414	0,2613			0,8539				0,7935	0,8382		0,9516														
Eh, 2cm					0,8666	0,0001	0,0001	0,011	0,0693	0,0001	0,0749				0,2877	0,8895		0,1738							0,0244		0,3172	0,7564		0,0006		
Eh, 4cm				0,4816		0,0001	0,1579					0,0007																0,0319	0,0208		0,0211	
περιεκτ. νερού					0,0001	0,0154	0,0349								0,1029	0,03	0,0371	0,0061	0,0397	0,0674								0,3768	0,4718		0,3009	
LOI						0,0001	0,0001	0,5123			0,303				0,0001	0,0262	0,0573	0,0001	0,6216	0,0475					0,0676		0,3551	0,0649		0,5849		
TOC							0,0001	0,0001	0,0133	0,0001		0,0145		0,9802	0,2389	0,347	0,4784	0,6945	0,0018	0,0021	0,0068	0,0072	0,0001		0,0001	0,0937	0,339	0,3173	0,2294	0,0001		
TON								0,0007	0,0017	0,0001				0,011	0,0033	0,3632		0,0199	0,0076	0,0008	0,1574	0,0185	0,0376		0,0001	0,0106	0,934	0,2001	0,1293	0,0001		
tot-P															0,759	0,9005		0,6974	0,0017		0,0017	0,0027	0,0001									
χλωροφύλλη										0,0001				0,4727	0,3133	0,3185	0,8239	0,3456							0,3769		0,607	0,8921	0,92	0,1418		
φαικοχρωστικές																									0,2408		0,339	0,6519		0,0069		
NH4+ (νερού βυθού)																																
DO(νερού βυθού)													0,5552													0,1263	0,5112	0,0191	0,2079		0,9292	
DO(επιφανειακού νερού)																																
βενθική ροή αζώτου															0,9562	0,9313	0,0093	0,2773	0,6701		0,5895	0,0604					0,0219		0,8732			
βενθική ροή αμμωνίας																0,0002	0,1366	0,2445	0,7232	0,054							0,0003		0,0066			
βενθική ροή φωσφόρου																	0,0002	0,0232	0,8168	0,2553							0,0005		0,0046			
βενθική ροή πυριτίου																		0,8875	0,4433	0,357							0,2309		0,2069			
βενθική κατανάλωση O2																			0,3196	0,0026	0,0001						0,001		0,0064			
ρυθμοί ιζηματογένεσης																				0,0623	0,0061	0,0001	0,0001						0,4001			
ρυθμός ιζηματογένεσης POM																																
ρυθμός ιζηματογένεσης άνθρακα																						0,0001	0,0002	0,04								
ρυθμός ιζηματογένεσης αζώτου																							0,0005	0,2381								
ρυθμός ιζηματογένεσης φωσφόρου																								0,0772								
ρυθμός ιζηματογένεσης πυριτίου																																
H ⁺																										0,1958	0,1349	0,0001	0,6765		0,0001	
E (Evenness index)																											0,1021	0,0004	0,8177		0,003	
αφθονία																												0,0345	0,0001		0,0325	
βιομάζα (υγρή)																															0,1828	
βιομάζα (ξηρή)																															0,0278	
αριθμός ειδών																																

Από τις συσχετίσεις (correlation) βγάζουμε τα παρακάτω συμπεράσματα που προκύπτουν από τους παραπάνω τριγωνικούς πίνακες 3.1.1 και 3.1.2 (αντίστοιχα για το r και το P).

Σημαντική σχέση εμφανίζουν οι παράμετροι για $P < 0,05$, δηλαδή όταν η πιθανότητα να υπάρχει μεγάλη σχέση μεταξύ δύο παραμέτρων είναι σημαντική.

TOC

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 0, 2, 4 cm εφόσον το TOC σχετίζεται με το οργανικό φορτίο που υπάρχει στο ίζημα και αυτό με την σειρά του με το Redox. Επίσης με την αύξηση του βάθους στο ίζημα αυξάνει η σχέση του Redox με το TOC. Έτσι για το Redox σε κάθε βάθος έχουμε αρνητικό r. Δηλαδή η αύξηση του TOC οδηγεί σε μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού αφού έχουμε βακτηριακή αποικοδόμηση οργανικής ύλης η οποία δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες. Ενώ για το Redox στα 2 και 4 cm το P είναι μεγαλύτερο από ότι στα 0 cm. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 0 cm με το TOC προέρχονται μόνο από την εργασία 22, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με το **LOI** εφόσον αφορά το οργανικό φορτίο του ιζήματος και η αύξηση του προκαλεί αύξηση στον οργανικό άνθρακα του ιζήματος δηλαδή το r είναι θετικό.
- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι όταν αυξάνει το νερό στο ίζημα αυξάνει ο οργανικός άνθρακας σε αυτό, δηλαδή το r είναι θετικό.
- με το **TON** και τον **ολικό P** εφόσον στην τροφή περιέχονται τα θρεπτικά συστατικά N, P, C. Έτσι έχουμε θετικό r στην σχέση του TOC με το TON και τον ολικό P,

δηλαδή όσο αυξάνει ο οργανικός άνθρακας του ιζήματος τόσο αυξάνει και το οργανικό άζωτο και ο φώσφορος που περιέχεται σε αυτό.

- με το **συνολικό ρυθμό ιζηματοπόθεσης** και με το **ρυθμό ιζηματοπόθεσης σωματιδιακού οργανικού υλικού (POM)** εφόσον ο οργανικός άνθρακας του ιζήματος προκύπτει από καθίζηση οργανικού υλικού που αιωρείται στο υπερκείμενο ύδωρ. Έτσι με αύξηση του ρυθμού αυξάνει και ο οργανικός άνθρακας στο ίζημα, δηλαδή έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση του TOC με το ρυθμό ιζηματοπόθεσης POM προέρχονται μόνο από την 27 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **ιζηματοπόθεση του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και η παρουσία τους στο ίζημα καθορίζει την περιεκτικότητά του σε οργανικό άνθρακα. Έτσι με την αύξηση της ιζηματοπόθεσης του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου έχουμε αύξηση του TOC στο ίζημα δηλαδή το r είναι θετικό.
- με την **χλωροφύλλη** εφόσον τα φυτικά κύτταρα περιέχουν άνθρακα οπότε με την αύξηση της χλωροφύλλης αυξάνεται το TOC, δηλαδή έχουμε θετικό r .
- με το **διαλελυμένο οξυγόνο του νερού στο βυθό** εφόσον απαιτείται κατανάλωση οξυγόνου για την ανοργανοποίηση και τις υπόλοιπες διαδικασίες που λαμβάνουν μέρος στον βυθό. Έτσι με την αύξηση του TOC έχουμε μείωση του διαλελυμένου οξυγόνου του νερού στο βυθό, δηλαδή το r βγαίνει αρνητικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση του TOC με το διαλελυμένο οξυγόνο του νερού στο βυθό προέρχονται μόνο από την 3 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

- με τον **αριθμό των ειδών** εφόσον με την αύξηση του οργανικού άνθρακα μειώνεται ο αριθμός των ειδών σύμφωνα με το μοντέλο Pearson-Rosenberg. Έτσι το r βγαίνει αρνητικό.
- με το **συντελεστή Shannon-Wiener (H')** λόγω των παραπάνω και λόγω της αύξησης των ευκαιριακών ειδών που μειώνουν την ετερογένεια του ιζήματος και οδηγούν σε μείωση του H' . Έτσι σε ένα ίζημα με την αύξηση του οργανικού άνθρακα μειώνεται το H' , δηλαδή το r είναι αρνητικό.

LOI

- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι όταν αυξάνει το νερό στο ίζημα αυξάνει η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη σε αυτό, δηλαδή το r είναι θετικό.
- με το **TOC** και το **TON** εφόσον στην τροφή περιέχονται τα θρεπτικά συστατικά N, C. Έτσι έχουμε θετικό r στην σχέση του LOI με το TOC και το TON, δηλαδή όσο αυξάνει το οργανικό φορτίο του ιζήματος τόσο αυξάνει ο οργανικός άνθρακας και το οργανικό άζωτο που περιέχεται σε αυτό δηλαδή το r είναι θετικό.
- με την **βενθική ροή της αμμωνίας και του φωσφόρου** εφόσον στον βυθό υπάρχουν οργανισμοί που παράγουν αμμωνία και φωσφορικά ιόντα. Έτσι με την αύξηση του LOI στο ίζημα αυξάνει η ροή της αμμωνίας και του φωσφόρου και το r που προκύπτει είναι θετικό για αυτές τις μεταβλητές. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση του LOI με την βενθική ροή του φωσφόρου προέρχονται μόνο από την 6 εργασία οπότε δεν μπορεί να θεωρηθεί το αποτέλεσμα αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **βενθική κατανάλωση οξυγόνου** εφόσον με την αύξηση του οργανικού φορτίου αυξάνει η βακτηριακή αποικοδόμηση και η κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι με την αύξηση του LOI αυξάνεται η κατανάλωση οξυγόνου δηλαδή προκύπτει r θετικό.

TON που είναι βασικό συστατικό των πρωτεϊνών οπότε

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 0, 2 cm εφόσον το TON σχετίζεται με το οργανικό φορτίο που υπάρχει στο ίζημα και αυτό με την σειρά του με το Redox. Επίσης με την αύξηση του βάθους στο ίζημα αυξάνει η σχέση του Redox με το TON. Έτσι για το Redox σε κάθε βάθος έχουμε αρνητικό r, δηλαδή με αύξηση του TON έχουμε μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού. Ενώ για το Redox στα 2 cm το P είναι μεγαλύτερο από ότι στα 0 cm. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 0 cm με το TON προέρχονται μόνο από την εργασία 22, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδονημάτων.
- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι όταν αυξάνει το νερό στο ίζημα αυξάνει το οργανικό άζωτο σε αυτό, δηλαδή το r είναι θετικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό με το TON προέρχονται από την 42 εργασία μόνο οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδονημάτων.
- με το **TOC** και τον **ολικό P** εφόσον στην τροφή περιέχονται τα θρεπτικά συστατικά N, P, C. Έτσι έχουμε θετικό r στην σχέση του TON με το TOC και τον ολικό P, δηλαδή όσο αυξάνει το οργανικό άζωτο του ιζήματος τόσο αυξάνει και ο οργανικός άνθρακας και ο φώσφορος που περιέχεται σε αυτό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του ολικού P με το TON προέρχονται μόνο από την 22 εργασία οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδονημάτων.
- με το **LOI** εφόσον αφορά το οργανικό φορτίο του ιζήματος και η αύξηση του προκαλεί αύξηση στο οργανικό άζωτο του ιζήματος δηλαδή το r είναι θετικό.

- με την **βενθική ροή της αμμωνίας και των νιτρικών** εφόσον στον βυθό υπάρχουν οργανισμοί που παράγουν αμμωνία και νιτρικά ιόντα. Έτσι με την αύξηση του TON στο ίζημα αυξάνει η ροή της αμμωνίας και των νιτρικών και το r που προκύπτει είναι θετικό για αυτές τις μεταβλητές.
- με την **βενθική κατανάλωση οξυγόνου** εφόσον με την αύξηση του οργανικού φορτίου αυξάνει η βακτηριακή αποικοδόμηση και η κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι με την αύξηση του οργανικού αζώτου αυξάνεται η κατανάλωση οξυγόνου στο βυθό δηλαδή το r είναι θετικό.
- με το **συνολικό ρυθμό ιζηματοπόθεσης** και με το **ρυθμό ιζηματοπόθεσης POM** εφόσον το οργανικό άζωτο του ιζήματος προκύπτει από καθίζηση οργανικού υλικού που αιωρείται στο υπερκείμενο ύδωρ. Έτσι με αύξηση του ρυθμού αυξάνει και το οργανικό άζωτο στο ίζημα, δηλαδή έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του TON με το ρυθμό ιζηματοπόθεσης POM προέρχονται μόνο από την 27 εργασία οπότε το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **ιζηματοπόθεση του αζώτου και του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και η παρουσία τους στο ίζημα καθορίζει την περιεκτικότητά του σε οργανικό άζωτο και φώσφορο. Έτσι με την αύξηση της ιζηματοπόθεσης του αζώτου και του φωσφόρου έχουμε αύξηση του TON στο ίζημα δηλαδή το r είναι θετικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του TON με το ρυθμό ιζηματοπόθεσης του αζώτου και του φωσφόρου προέρχονται μόνο από την 22 εργασία οπότε το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **χλωροφύλλη** εφόσον τα φυτικά κύτταρα περιέχουν άζωτο οπότε με την αύξηση του TON αυξάνεται η χλωροφύλλη, δηλαδή έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση του TON με τη χλωροφύλλη

προέρχονται μόνο από την 2 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

- με τον **αριθμό των ειδών** εφόσον με την αύξηση του οργανικού αζώτου μειώνεται ο αριθμός των ειδών σύμφωνα με το μοντέλο Pearson-Rosenberg. Έτσι το r βγαίνει αρνητικό.
- με το **συντελεστή Shannon-Wiener** και το **συντελεστή Evenness** εφόσον αυτοί καθορίζουν την ετερογένεια μέσα στο είδος, δηλαδή την αβεβαιότητα για το που ανήκει ένα είδος. Γι' αυτό λόγω των παραπάνω και λόγω της αύξησης των ευκαιριακών ειδών που μειώνουν την ετερογένεια του ιζήματος και οδηγούν σε μείωση του H' και του E . Έτσι σε ένα ίζημα με την αύξηση του οργανικού αζώτου μειώνεται το H' και το E , δηλαδή το r είναι αρνητικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του TON με το συντελεστή Evenness προέρχονται μόνο από την 27 εργασία οπότε το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

Ολικός φώσφορος

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 2 cm εφόσον ο ολικός φώσφορος σχετίζεται με το οργανικό φορτίο που υπάρχει στο ίζημα και αυτό με την σειρά του με το Redox. Έτσι για το Redox στα 2 cm έχουμε αρνητικό r , δηλαδή με αύξηση του ολικού P έχουμε μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 2 cm με τον ολικό P προέρχονται μόνο από την εργασία 22, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με το **TOC** και το **TON** εφόσον στην τροφή περιέχονται τα θρεπτικά συστατικά N, P, C. Έτσι έχουμε θετικό r στην σχέση του ολικού P με το TOC και το TON, δηλαδή όσο αυξάνει ο φώσφορος του ιζήματος τόσο αυξάνει και ο οργανικός άνθρακας και το οργανικό άζωτο που περιέχεται σε αυτό.

- με το **συνολικό ρυθμό ιζηματοπόθεσης** εφόσον ο φώσφορος του ιζήματος προκύπτει από καθίζηση υλικού που αιωρείται στο υπερκείμενο ύδωρ. Έτσι με αύξηση του ρυθμού αυξάνει και ο φώσφορος στο ίζημα, δηλαδή έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του ολικού P με το συνολικό ρυθμό ιζηματοπόθεσης προέρχονται μόνο από την 22 εργασία οπότε το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **ιζηματοπόθεση του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και η παρουσία τους στο ίζημα καθορίζει την περιεκτικότητα του σε φώσφορο. Έτσι με την αύξηση της ιζηματοπόθεσης του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου έχουμε αύξηση του φωσφόρου στο ίζημα δηλαδή το r είναι θετικό.

Χλωροφύλλη

- με τις **φαιοχρωστικές** εφόσον είναι υποβαθμισμένη μορφή χλωροφύλλης που προκύπτει από τους θηρευτές. Έτσι με την αύξηση της χλωροφύλλης του ιζήματος αυξάνονται και οι φαιοχρωστικές, δηλαδή το r είναι θετικό.

Φαιοχρωστικές

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 2 cm. Κοντά στους κλωβούς έχουμε μεγάλη ανάπτυξη φυτοβενθικών οργανισμών και καθίζηση φυτοπλαγκτονικών κυττάρων άμεση ή μέσω βιοαπόθεσης. Έτσι με αύξηση των φαιοχρωστικών αυξάνει η φυτική υποβαθμισμένη βιομάζα και εν συνεχεία αυξάνει η αποικοδόμηση και μειώνεται το οξειδοαναγωγικό δυναμικό. Έτσι για το Redox στα 2 cm έχουμε αρνητικό r . Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 2 cm με τις φαιοχρωστικές προέρχονται μόνο από την εργασία 2, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με το **TOC** και το **TON** εφόσον τα φυτικά κύτταρα περιέχουν άζωτο και άνθρακα οπότε με την αύξηση του TOC και του TON αυξάνονται οι φαιοχρωστικές, δηλαδή

έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση του TOC και του TON με τις φαιοχρωστικές προέρχονται μόνο από την 2 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδαιτημάτων.

- με τη **χλωροφύλλη** για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

διαλελυμένο οξυγόνο του νερού του βυθού

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 4 cm εφόσον όσο αυξάνει το διαλελυμένο οξυγόνο του νερού στο βυθό τόσο αυξάνονται οι οξειδωτικές συνθήκες και τόσο μειώνεται το οξειδοαναγωγικό δυναμικό. Από την άλλη μεριά με την αύξηση του Redox έχουμε αύξηση της οργανικής ύλης στο βυθό που οδηγεί σε αύξηση της αποικοδόμησης οργανικού υλικού με την ταυτόχρονη κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι για το Redox στα 4 cm έχουμε θετικό r . Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 4 cm με το διαλελυμένο οξυγόνο του νερού στο βυθό προέρχονται μόνο από την εργασία 3, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδαιτημάτων.

βενθική ροή νιτρικών

- με τη **βενθική ροή πυριτίου** εφόσον η ροή των νιτρικών προέρχεται από την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου και αυξάνεται με την ανοργανοποίηση της φυτικής βιομάζας που έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε διάτομα και σχετίζεται με βενθικά διάτομα τα οποία αξιοποιούν διάφορες πηγές θρεπτικών που αφθονούν κάτω από τους κλωβούς καθώς επίσης και από την καθίζηση πλαγκτονικών διατόμων ενδεχομένως με την μεσολάβηση της βιοαπόθεσης. Έτσι το r που προκύπτει είναι θετικό, δηλαδή με την αύξηση της βενθικής ροής του πυριτίου αυξάνει η βενθική ροή των νιτρικών.
- με την **αφθονία** εφόσον η αφθονία, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων αυξάνει με την αύξηση των ευκαιριακών ειδών το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μεταβολισμού. Άλλωστε τα νιτρικά προέρχονται κυρίως από

ανοργανοποίηση που προκαλεί η *Capitela capitata*. Έτσι το r βγαίνει θετικό δηλαδή η αφθονία αυξάνει με την αύξηση της βενθικής ροής των νιτρικών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδονημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από την εργασία 11.

βενθική ροή αμμωνίας

- με τη **βενθική ροή του φωσφόρου** εφόσον η προστιθέμενη τροφή περιέχει τα θρεπτικά αυτά συστατικά. Έτσι με την αύξηση της βενθικής ροής της αμμωνίας αυξάνεται και η βενθική ροή του φωσφόρου, όπως προκύπτει και από το θετικό r .
- με την **αφθονία** εφόσον η αφθονία, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων αυξάνει με την αύξηση των ευκαιριακών ειδών το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μεταβολισμού. Έτσι το r βγαίνει θετικό δηλαδή η αφθονία αυξάνει με την αύξηση της βενθικής ροής των αμμωνίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδονημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από την εργασία 11.
- με τη **βιομάζα(ξηρή)** εφόσον όσο περισσότερα ζώα υπάρχουν στον βυθό τόσο περισσότερη αμμωνία ελευθερώνεται από το ίζημα ως προϊόν του μεταβολισμού της μακροπανίδας. Έτσι προκύπτει θετικό r , δηλαδή η βιομάζα αυξάνει με την αύξηση της βενθικής ροής της αμμωνίας.

βενθική ροή φωσφόρου

- με τη **βενθική ροή του πυριτίου** εφόσον η ροή του φωσφόρου προέρχεται από την ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου και αυξάνεται με την ανοργανοποίηση της φυτικής βιομάζας που έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε διάτομα και σχετίζεται με βενθικά διάτομα τα οποία αξιοποιούν διάφορες πηγές θρεπτικών που αφθονούν κάτω από τους κλωβούς καθώς επίσης και από την καθίζηση πλαγκτονικών διατόμων ενδεχομένως με την μεσολάβηση της βιοαπόθεσης. Έτσι το r που προκύπτει είναι θετικό, δηλαδή με την αύξηση της βενθικής ροής του φωσφόρου αυξάνει η βενθική ροή του πυριτίου.

- με την **βενθική κατανάλωση οξυγόνου** εφόσον με την αύξηση του οργανικού φορτίου αυξάνει η αποικοδόμηση των βακτηρίων, των μικροβίων και των μακροοργανισμών καθώς επίσης και η κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι με την αύξηση της βενθικής ροής του φωσφόρου αυξάνεται η κατανάλωση οξυγόνου στο βυθό δηλαδή το r είναι θετικό.
- με την **αφθονία** εφόσον η αφθονία, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων αυξάνει με την αύξηση των ευκαιριακών ειδών το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μεταβολισμού. Έτσι η αφθονία αυξάνεται με την αύξηση της βενθικής ροής του φωσφόρου όπως φαίνεται και από το θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από την εργασία 11.
- με τη **βιομάζα(ξηρή)** εφόσον όσο περισσότερα ζώα υπάρχουν στον βυθό τόσο περισσότερος ο φώσφορος που ελευθερώνεται από το ίζημα ως προϊόν του μεταβολισμού της μακροπανίδας. Προκύπτει θετικό r , δηλαδή η βιομάζα αυξάνει με την αύξηση της βενθικής ροής του φωσφόρου.
- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι η ανοργανοποίηση υλικού συνδέεται με το υδαρές πρόσφατο στρώμα. Οπότε το r βγαίνει θετικό δηλαδή η βενθική ροή του φωσφόρου αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό. Αλλά οι τιμές που συγκρίθηκαν προέρχονται από την ίδια εργασία 6. Έτσι το συμπέρασμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

βενθική ροή πυριτίου

- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι η ανοργανοποίηση υλικού συνδέεται με το υδαρές πρόσφατο στρώμα. Οπότε το r βγαίνει θετικό δηλαδή η βενθική ροή του πυριτίου αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό. Αλλά οι τιμές που συγκρίθηκαν προέρχονται από την ίδια εργασία 6. Έτσι το συμπέρασμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το βιογενές πυρίτιο μέσω διατόμων βρέθηκαν αντίστοιχα αποτελέσματα στην εργασία των Hall και Holby.

βενθική κατανάλωση οξυγόνου

- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο νερό υπάρχει σε αυτό. Έτσι όσο πιο πρόσφατη η απόθεση υλικού τόσο περισσότερο οξυγόνο χρειάζεται για την αποικοδόμηση και τις άλλες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στον βυθό. Έτσι η κατανάλωση οξυγόνου στο βένθος αυξάνεται με την αύξηση του νερού στο ίζημα δηλαδή το r είναι θετικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για την σύγκριση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό με την βενθική κατανάλωση οξυγόνου προέρχονται μόνο από την 6 εργασία οπότε το αποτέλεσμα δεν θεωρείται αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με το **ρυθμό ιζηματοπόθεσης του POM** και με την **ιζηματοπόθεση του άνθρακα** εφόσον η κατανάλωση οξυγόνου από το βένθος επηρεάζεται από την καθίζηση οργανικού υλικού που αιωρείται στην υπερκείμενη στήλη νερού. Έτσι η κατανάλωση οξυγόνου από το βένθος αυξάνει με την αύξηση του ρυθμού ιζηματοπόθεσης POM και του άνθρακα, δηλαδή έχουμε θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση της βενθικής κατανάλωσης οξυγόνου με το ρυθμό ιζηματοπόθεσης

POM προέρχονται μόνο από την 6 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

- με την **αφθονία** εφόσον το οξυγόνο που καταναλώνεται από το βένθος αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των ατόμων του, αφού όσο περισσότερα άτομα υπάρχουν τόσο περισσότερο οξυγόνο χρειάζονται για να ζήσουν. Επίσης στην περίπτωση που αυξάνει η αφθονία έχουμε επιτάχυνση του μικροβιακού μεταβολισμού που χρησιμοποιεί οξυγόνο. Έτσι με την αύξηση της αφθονίας αυξάνεται και η κατανάλωση οξυγόνου όπως φαίνεται και από το θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από την εργασία 11.
- με τη **βιομάζα(ξηρή)** εφόσον η κατανάλωση οξυγόνου θα είναι μεγαλύτερη όσο περισσότερα είναι τα ζώα. Έτσι με την αύξηση της βιομάζας αυξάνεται και η κατανάλωση οξυγόνου όπως φαίνεται και από το θετικό r .

συνολικός ρυθμός ιζηματοπόθεσης

- με την **περιεκτικότητα του ιζήματος σε νερό** εφόσον το φρέσκο υλικό που αποτίθεται είναι υδαρές και περιέχει πολύ οργανικό υλικό με νερό. Οπότε όσο πιο πρόσφατη η απόθεση σωματιδιακού υλικού από τις ιχθυοκαλλιέργειες τόσο περισσότερο οργανικό υλικό υπάρχει σε αυτό. Έτσι η ανοργανοποίηση υλικού συνδέεται με το υδαρές πρόσφατο στρώμα. Οπότε το r βγαίνει θετικό δηλαδή ο συνολικός ρυθμός ιζηματοπόθεσης αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση της περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό με το συνολικό ρυθμό ιζηματοπόθεσης προέρχονται μόνο από την 6 εργασία. οπότε το συμπέρασμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.
- με την **ιζηματοπόθεση του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και είναι αυτά τα οποία καθορίζουν την ιζηματοπόθεση αφού αυτά είναι που καθιζάνουν. Έτσι με την αύξηση της

ιζηματαπόθεσης του άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου έχουμε αύξηση του ρυθμού ιζηματαπόθεσης όπως φαίνεται και από το θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του συνολικού ρυθμού ιζηματαπόθεσης με το ρυθμό ιζηματαπόθεσης του φωσφόρου προέρχονται μόνο από την 22 εργασία οπότε δεν μπορεί το αποτέλεσμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

ρυθμός ιζηματαπόθεσης του άνθρακα

- με την **ιζηματαπόθεση του αζώτου και του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και είναι αυτά τα οποία καθορίζουν την ιζηματαπόθεση και το καθένα ξεχωριστά επηρεάζει την ιζηματαπόθεση του άλλου. Έτσι με την αύξηση της ιζηματαπόθεσης του αζώτου και του φωσφόρου έχουμε αύξηση του ρυθμού ιζηματαπόθεσης του άνθρακα όπως φαίνεται και από το θετικό r .
- με την **ιζηματαπόθεση του πυριτίου** εφόσον στον ίδιο χώρο λαμβάνουν μέρος ρήψη τροφής και καθίζηση πλαγκτονικών διατόμων λόγω αξιοποίησης του πυριτίου από αυτά. Έτσι με την αύξηση της ιζηματαπόθεσης του πυριτίου έχουμε αύξηση του ρυθμού ιζηματαπόθεσης του άνθρακα όπως φαίνεται και από το θετικό r .

ρυθμός ιζηματαπόθεσης του αζώτου

- με την **ιζηματαπόθεση του φωσφόρου** εφόσον τα θρεπτικά αυτά προστίθενται με την τροφή και είναι αυτά τα οποία καθορίζουν την ιζηματαπόθεση και το καθένα ξεχωριστά επηρεάζει την ιζηματαπόθεση του άλλου. Έτσι με την αύξηση της ιζηματαπόθεσης του φωσφόρου έχουμε αύξηση του ρυθμού ιζηματαπόθεσης του αζώτου όπως φαίνεται και από το θετικό r .

συντελεστής Shannon-Wiener (H')

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 2 cm. Κοντά στους κλωβούς έχουμε πιο αναγωγικές συνθήκες δηλαδή χαμηλό Redox και μηδενικό ή ελάχιστο αριθμό ειδών δηλαδή μικρό H' . Ενώ όσο αυξάνει η απόσταση έχουμε μείωση του οργανικού υλικού

που αποτίθεται στον βυθό και πιο φυσιολογική βιοκοινότητα με περισσότερα είδη και μεγαλύτερο H' . Έτσι με την αύξηση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού αυξάνει το H' και για το Redox στα 2 cm έχουμε θετικό r . Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα από την σύγκριση του Redox στα 2 cm με το H' προέρχονται μόνο από την εργασία 2, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

- με τον **αριθμό των ειδών** εφόσον η ετερογένεια μέσα στην κοινότητα καθορίζεται εν μέρει και από τον αριθμό των ειδών που υπάρχουν. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα των ειδών τόσο αυξάνει ο συντελεστής H' όπως προκύπτει άλλωστε και από το θετικό r .

αφθονία

- με τη **βιομάζα(ξηρή)** και τη **βιομάζα(υγρή)** εφόσον η βιομάζα θα αυξάνεται με την αύξηση των ατόμων που υπάρχουν αυτό άλλωστε φαίνεται και από το θετικό r .
- με **αριθμό των ειδών** εφόσον η αφθονία, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων αυξάνει με την αύξηση των ευκαιριακών ειδών, δηλαδή των ειδών που υπάρχουν. Αυτό άλλωστε φαίνεται και από το θετικό r .
- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 4 cm εφόσον όσο μεγαλύτερο το Redox τόσο επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες οπότε υπάρχουν περισσότερα είδη και αυξάνει η αφθονία. Έτσι το r προκύπτει θετικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από 4 μετρήσεις οι οποίες είναι από την εργασία 42.
- με το **διαλελυμένο οξυγόνο του νερού στο βυθό** εφόσον η αφθονία, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων μειώνεται κοντά στην πηγή εμπλουτισμού διότι παρατηρείται μεγάλη κατανάλωση οξυγόνου για την ανοργανοποίηση του οργανικού υλικού που αποτίθεται κάτω και κοντά στους κλωβούς. Έτσι η αφθονία αυξάνεται με την αύξηση του διαλελυμένου οξυγόνου στον βυθό όπως φαίνεται και από το θετικό r . Πρέπει να

σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από την εργασία 26, η οποία περιέχει 42 ζεύγη.

Βιομάζα (υγρή)

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 4 cm εφόσον όσο μεγαλύτερο το Redox τόσο επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες οπότε υπάρχουν περισσότερα είδη μεγάλου μεγέθους και αυξάνει η βιομάζα. Έτσι προκύπτει θετικό r . Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από 4 μετρήσεις οι οποίες είναι από την εργασία 42.
- με το **συντελεστή Shannon-Wiener** και το **συντελεστή Evenness** εφόσον αυτοί εκφράζουν την ετερογένεια μέσα στην βενθική κοινότητα, δηλαδή την αβεβαιότητα για το που ανήκει ένα άτομο. Έτσι σε μια κοινότητα με την αύξηση της βιομάζας μειώνεται το H' και το E , δηλαδή το r είναι αρνητικό. Αυτό όμως μεταβάλλεται αναλόγως με την περιοχή και αναλόγως με το εύρος της διαβάθμισης που έχει μελετηθεί σε κάθε μια από τις εργασίες.

Αριθμός ειδών

- με το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** στα 2 και 4 cm εφόσον όσο μεγαλύτερο το Redox τόσο επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες οπότε υπάρχουν περισσότερα είδη. Έτσι για το Redox σε κάθε βάθος έχουμε θετικό r , δηλαδή με αύξηση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού έχουμε αύξηση του αριθμού των ειδών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα από την σύγκριση του Redox στα 4 cm με τον αριθμό των ειδών δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των βενθικών ενδαιτημάτων εφόσον προέρχεται μόνο από μια εργασία, την 42.
- με το **συντελεστή Evenness (E)** η ετερογένεια μέσα στην κοινότητα καθορίζεται εν μέρει και από τον αριθμό των ειδών που υπάρχουν. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η

ποικιλότητα των ειδών τόσο αυξάνει ο συντελεστής E όπως προκύπτει άλλωστε και από το θετικό r.

- με τη **βιομάζα(ξηρή)** εφόσον η βιομάζα θα αυξάνεται με την αύξηση των ατόμων που υπάρχουν αυτό άλλωστε φαίνεται και από το θετικό r.
- με τις **φαιοχρωστικές** εφόσον κοντά στους κλωβούς έχουμε μεγάλη ανάπτυξη φυτοβενθικών οργανισμών και καθίζηση φυτοπλαγκτονικών κυττάρων άμεση ή μέσω βιοαπόθεσης. Έτσι με αύξηση των φαιοχρωστικών αυξάνει η φυτική υποβαθμισμένη βιομάζα και εν συνεχεία αυξάνει η αποικοδόμηση και μειώνεται ο αριθμός των ειδών ενώ αυξάνει ο αριθμός των ευκαιριακών ειδών. Έτσι έχουμε αρνητικό r. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα προέρχονται μόνο από την εργασία 2, οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για το σύνολο των βενθικών ενδιαιτημάτων.

3.2. Πολλαπλή σταδιακή παλινδρόμηση (Multiple stepwise regression)

3.2.1. Αποτελέσματα

3.2.1.1. Σταδιακή παλινδρόμηση εξαιρώντας τις λίμνες και τα κελυφοειδή

Η εφαρμογή της πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης (Multiple stepwise regression) (πίνακας 3.1.) έδειξε ότι οι περισσότερες βιολογικές και γεωχημικές μεταβλητές προσδιορίζονται από το συνδυασμό της απόστασης από την υδατοκαλλιέργεια (Indist), το βάθος του κόλπου και /ή το γεωγραφικό πλάτος. Στον πίνακα αυτό δίνονται το TOC (total organic carbon) το οποίο είναι ο ολικός άνθρακας, το LOI (loss on ignition) το οποίο είναι η απώλεια μέσω καύσης, το TON (total organic nitrogen) είναι το ολικό οργανικό άζωτο και το Eh είναι το οξειδοαναγωγικό δυναμικό.

Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης εξαιρώντας λίμνες και μαλάκια
(όπου * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,005$)

μεταβλητή	Σταθερά	LNDIST	Βάθος	Γεωγρ Πλάτος	Αριθμός	%
	συντελ. <i>p</i>	συντελ. <i>p</i>	συντελ. <i>p</i>	συντελ. <i>p</i>	δειγμάτων διασποράς	
TOC	-0,086 ***	-0,006 ***	0,00044 -	0,003 ***	218	36,1
LOI	-0,023 -	-0,014 ***		0,004 ***	109	43,5
TON	-0,017 ***	-0,001 ***	0,00015 ***	0,00043 ***	172	25,8
EH2,4CM	118,100 -	24,226 ***	3,876 *	-3,816 *	161	22,5
βενθ.καταναλ.Ο ₂	-30,674 -	-15,749 ***		3,295 -	79	9,5
διαλ.Ο ₂ βυθού	-18,506 *	0,439 ***	0,475 *	0,238 ***	50	26,2
SHANNON	3,314 ***	0,233 ***	0,076 ***	-0,068 ***	161	68,6
EVENNESS	15,171 ***		-0,163 ***	-0,216 ***	109	26
αριθμός ειδών	75,602 ***		0,950 ***	-1,339 ***	180	51,2
LN(αφθονίας)	13,078 ***		-0,067 ***	-0,074 ***	214	6,4
LN(βιομάζας)	4,412 ***	0,175 ***	-0,060 ***		123	20

Όλες οι μεταβλητές που περιγράφουν τον εμπλουτισμό του βένθους με οργανική ύλη όπως **TOC**, **TON** και **LOI**, παρουσίασαν μείωση με την αύξηση του λογαρίθμου της απόστασης από την άκρη της υδατοκαλλιέργειας ($\ln[\text{distance}+1]$), ενώ εμφάνισαν αύξηση με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Η επίδραση της βαθυμετρίας είναι ασθενέστερη (μη σημαντική στην περίπτωση του TOC ή του LOI) και διακριτή αλλά με μικρή συνεισφορά στην περίπτωση του TON. Υπάρχουν και άλλες γεωχημικές μεταβλητές οι οποίες είναι στενά συνδεδεμένες με την συνολική αντίδραση του συστήματος στον εμπλουτισμό με οργανική ύλη, όπως το **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** το οποίο εμφάνισε αύξηση με την αύξηση του $\ln[\text{distance}+1]$ και του βάθους και μείωση με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Η **βενθική κατανάλωση οξυγόνου** μειώνεται με την απόσταση ακολουθώντας την ελάττωση της τροφοδοσίας σε οργανική ύλη, αλλά το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από το μοντέλο είναι χαμηλό (<10%), έτσι γίνεται φανερό ότι η κατανάλωση οξυγόνου ακολουθεί μια πιο πολύπλοκη διαδικασία από αυτήν που περιγράφεται από το μοντέλο. Από την άλλη, η **συγκέντρωση του διαλελυμένου οξυγόνου του νερού στον βυθό** βρέθηκε να αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης, του βάθους και του γεωγραφικού πλάτους.

Ο λογάριθμος της **βιομάζας** του μακροβένθους εμφάνισε αύξηση με την αύξηση της απόστασης από την καλλιέργεια και μείωση με την αύξηση του βάθους. Ο λογάριθμος της **αφθονίας** του μακροβένθους εμφάνισε μείωση με την αύξηση του βάθους και του γεωγραφικού πλάτους, αλλά το μοντέλο περιέγραφε μόνο ένα μικρό ποσοστό της διακύμανσης. Ο **αριθμός των ειδών** βρέθηκε να μειώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους και του βάθους, αλλά δεν υπήρξε καμιά μεταβολή με την απόσταση από την υδατοκαλλιέργεια.

Μεταξύ των μεταβλητών που μελετήθηκαν με την σταδιακή παλινδρόμηση (πίνακας 3.1.) αυτή, η οποία περιγράφεται καλύτερα από τις επιλεγμένες ανεξάρτητες μεταβλητές, είναι ο δείκτης ποικιλότητας **Shannon-Wiener** όπου η απόσταση, το βάθος και το γεωγραφικό πλάτος εξηγούν το 68.6% της διακύμανσης.

3.2.1.2. Σταδιακή παλινδρόμηση για κάθε τύπο ιζήματος

Για την εξάλειψη των επιπτώσεων από τις αλλαγές του είδους του ιζήματος στις διαφορετικές περιοχές, περιφέρειες και βάθη, επαναλάβαμε την σταδιακή παλινδρόμηση για κάθε τύπο ιζήματος ξεχωριστά (ιλύς, αμμώδη, αδρόκοκκο) και πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον **πίνακα 3.2**. Στον πίνακα αυτό δίνονται το TOC (total organic carbon) το οποίο είναι ο ολικός άνθρακας και το TON (total organic nitrogen) το οποίο είναι το ολικό οργανικό άζωτο και το Indist είναι ο λογάριθμος της απόστασης του σταθμού μέτρησης από την υδατοκαλλιέργεια.

Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης ανά τύπο ιζήματος
(όπου * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,005$)

Ιλύς μεταβλητή	Σταθερά συντελ.	<i>p</i>	LNDIST συντελ.	<i>p</i>	Βάθος συντελ.	<i>p</i>	Γεωγρ Πλάτος συντελ.	<i>p</i>	Αριθμός δειγμάτων	% διασποράς
TOC	0,050	**	-0,006	***	-0,001	-	0,001	***	90	27,6
TON	0,010	***			-0,00022	***	-0,0004	*	42	55,1
SHANNON	-0,021	-	0,314	***	0,088	***			65	77,9
αριθμός ειδών	20,054	***	5,514	***					22	37,2
LOG(αφθονίας)	11,200	***			-0,119	-			22	12,1
LOG(βιομάζας)	3,172	-	0,185	-	-0,149	**	0,078	*	20	65,8

Άμμος μεταβλητή	Σταθερά συντελ.	<i>p</i>	LNDIST συντελ.	<i>p</i>	Βάθος συντελ.	<i>p</i>	Γεωγρ Πλάτος συντελ.	<i>p</i>	Αριθμός δειγμάτων	% διασποράς
TOC	-0,125	***	-0,004	*	0,010	***			84	58,7
TON	0,032	***	-0,001	***	0,002	***	-0,001	***	81	58,8
SHANNON	4,464	***	0,386	***			-0,078	***	67	49,1
αριθμός ειδών	205,105	***	6,314	**	-11,222	***			28	54,6
LOG(αφθονίας)	2,604	-	0,287	***			0,131	***	77	21,5
LOG(βιομάζας)	-3,311	*	0,763	***	-0,287	***	0,221	***	41	67,3

Αδρόκοκκα μεταβλητή	Σταθερά συντελ.	<i>p</i>	LNDIST συντελ.	<i>p</i>	Βάθος συντελ.	<i>p</i>	Γεωγρ Πλάτος συντελ.	<i>p</i>	Αριθμός δειγμάτων	% διασποράς
TOC	-0,055	***	-0,002	***			0,002	***	63	78,9
TON	-0,042	***	-0,00019	***	0,0004	*	0,001	***	55	44,2
SHANNON	86,015	**	0,391	***			-2,186	*	24	46
αριθμός ειδών	52,135	***	4,922	-					24	10,4
LOG(αφθονίας)	-33,543	-	-0,501	***	0,055	-	1,110	-	24	71,4
LOG(βιομάζας)	-42,622	*	-0,463	***	0,041	-	1,205	*	24	73,6

4. Συζήτηση

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων μεταβλητών που έχουν ελεγχθεί σε σχέση με τις επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό περιβάλλον. Από τις 43 εργασίες που αναλύθηκαν βρέθηκαν 123 μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό.

Οι εργασίες αυτές καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από εκτρεφόμενα είδη, διάφορα βάθη εγκατάστασης των ιχθυοτροφείων, πολλούς τύπους βενθικών ενδιαιτημάτων, καθώς και διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Ακόμη οι εξεταζόμενες περιοχές διαφέρουν ως προς τις τεχνολογίες εκτροφής, το μέγεθος των ιχθυοτροφείων και τις γενικές συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον εντός του οποίου εκτελείται η ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι σχέσεις που προκύπτουν από την παρούσα εργασία έχουν γενική εφαρμογή στην εκτίμηση των επιπτώσεων καθώς δεν συνδέεται με μια ειδική περίπτωση όπως αναπόφευκτα συμβαίνει με κάθε μια από τις εξετασθήσες εργασίες που αφορούν καλλιέργεια ενός είδους σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη.

Εκτός από τις παραπάνω μορφές μεταβλητότητας στις εργασίες που εξετάστηκαν παρατηρούνται και (μη επιθυμητές) διαφορές ως προς τα πρωτόκολλα εργασίας και ανάλυσης μεταξύ ερευνητών για τον προσδιορισμό της ίδιας μεταβλητής (π.χ. loss of ignition, διαφορετικοί χρόνοι και θερμοκρασίες) αλλά και ως προς τον τρόπο δειγματοληψίας (χρήση δυτών ή δειγματοληπτών τύπου αρπάγης) ή ακόμη και ως προς τις μονάδες που δίνονται τα αποτελέσματα (π.χ. % κ.β. ιζήματος ή g/m²). Ιδιαίτερα στην τελευταία περίπτωση υπάρχει δυσκολία στην πραγματοποίηση συγκρίσεων καθώς δεν είναι διαθέσιμη η πληροφορία για αναγωγή των τιμών σε ενιαία κλίμακα.

Επίσης διαφορετικό ήταν το πλαίσιο μέσα στο οποίο διεξήχθησαν ορισμένες μελέτες καθώς και η επιλογή των σταθμών δειγματοληψίας π.χ. ως προς τις αποστάσεις από τους κλωβούς καλλιέργειας (π.χ. ανάκαμψη, διαφορετικές περιοχές, χωρικές ή χρονικές μεταβολές κλπ).

Πολλές από τις μεταβλητές αυτές αλληλοσυσχετίζονται και επομένως είναι δυνατόν να υποκαταστήσουν η μια την άλλη καθώς εκφράζουν το ίδιο βασικά φαινόμενο. Εν τούτοις η αλληλοσυσχέτιση δεν είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μετατροπή των μονάδων ή των τιμών ώστε να συμπληρωθούν τα κενά που παρουσιάζονται σε μερικές εργασίες.

Οι περισσότερες συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων που ανιχνεύθηκαν στην παρούσα εργασία έχουν εντοπιστεί σε διάφορες περιπτώσεις οργανικού εμπλουτισμού του βενθικού οικοσυστήματος. Αξίζει όμως να σχολιάσουμε μερικές από αυτές που παρουσιάζουν ειδικό ενδιαφέρον είτε σε σχέση με τις ιχθυοκαλλιέργειες είτε γενικότερα ως προς το ζήτημα του οργανικού εμπλουτισμού του βενθικού οικοσυστήματος.

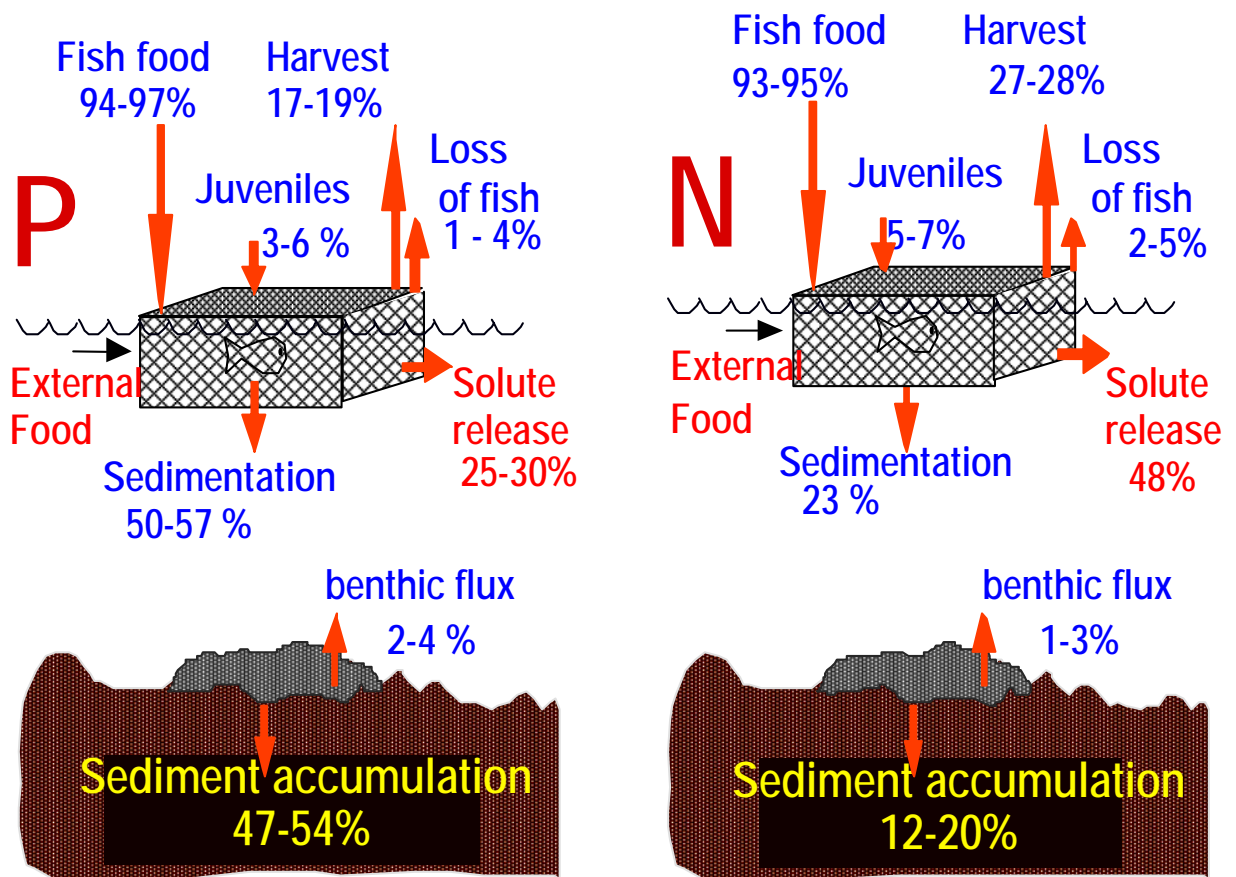
Η σχέση ανάμεσα στο **TOC**, στην **ποικιλότητα** και στον **αριθμό των ειδών** έχει πρόσφατα τεκμηριωθεί από τους [Hyland et al \(2004\)](#), δείχνοντας ότι η συγκέντρωση ολικού οργανικού άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος-δείκτης (indicator) της κατάστασης του βενθικού οικοσυστήματος καθώς συσχετίζεται με την ποικιλότητα του βένθους. Οι [Hyland et al \(2004\)](#) έδειξαν ότι σε μεγάλες συγκεντρώσεις TOC ο αριθμός των ειδών και η ποικιλότητα Shannon μειώνεται σημαντικά καθώς το αποξυγονωτικό αποτέλεσμα του οργανικού υλικού που συσσωρεύεται στον πυθμένα επιφέρει θνησιμότητα των μακροπανιδικών οργανισμών. Εν τούτοις σε μικρές συγκεντρώσεις οι παραπάνω συγγραφείς έδειξαν ότι ο αριθμός των ειδών και η ποικιλότητα είναι λιγότερο προβλέψιμη καθώς στα συστήματα αυτά μπορεί να επιδρούν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν τα παραπάνω συμπεράσματα για ένα ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων.

Η σχέση **οργανικού υλικού** (με την μορφή του LOI ή του TOC) και της **περιεκτικότητας του ιζήματος σε νερό** που εντοπίστηκε στην παρούσα εργασία είναι ένα χαρακτηριστικό που σχετίζεται με την υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα καθώς το ίζημα καλλιέργειας ([Holmer 1991](#)) έχει συνήθως υδαρή υφή κατά την πρώτη περίοδο μετά την απόθεσή του στο βυθό. Πολλοί συγγραφείς από τις εργασίες που εξετάστηκαν έχουν επισημάνει την σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών σημειώνοντας ότι η περιεκτικότητα σε νερό αποτελεί ενδεχομένως και μια σχετικά φθηνή και εύχρηστη

μέθοδο για την μελέτη της χωρικής κατανομής των επιπτώσεων στο βένθος (Karakassis et al 1998).

Η θετική συσχέτιση που εντοπίστηκε μεταξύ **χλωροφύλλης** και **TOC** είναι επίσης ενδιαφέρουσα καθώς υποδηλώνει την παρουσία φαινομένων ευτροφισμού, δηλαδή αύξηση της παραγωγής οργανικού υλικού κατά τον Nixon (1995). Ενώ τέτοια φαινόμενα δεν έχουν παρατηρηθεί στην στήλη του νερού σε διάφορες περιοχές υδατοκαλλιεργειών (Beveridge 1996, Pitta et al 1999) φαίνεται ότι σε μικρό έστω βαθμό επικρατούν στο ίζημα είτε μέσω της καταβύθισης φυτοπλαγκτονικών κυττάρων είτε λόγω της ανάπτυξης βενθικών φυκών (Karakassis et al 1999).

Οι **ρυθμοί ιζηματοπόθεσης** (ολικός, C, N, P) σχετίζονται με την πλειάδα χημικών παραμέτρων του ιζήματος (**TOC, TON, P**) όπως θα αναμενόταν. Οι ρυθμοί ιζηματοπόθεσης έχουν το πλεονέκτημα ότι σχετίζονται άμεσα με την ιχθυοκαλλιεργητική δραστηριότητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση των οικολογικών επιπτώσεων. Εν τούτοις δεν υπάρχει επαρκής αριθμός δειγμάτων για την εκτίμηση της συσχέτισης με τις βιολογικές παραμέτρους του ιζήματος, που θα ήταν δυνατόν να επιτρέψει την χρήση της ιζηματοπόθεσης ως παραμέτρου πρόβλεψης των επιπτώσεων στο βενθικό οικοσύστημα.



Σχήμα 4.1. Μοντέλα ισορροπίας μάζας για πεστροφοκαλλιέργεια στην Σουηδία
(Holby & Hall 1991, Hall et al. 1992)

Η μελέτη επικεντρώθηκε στις μεταβλητές που έχουν χρησιμοποιηθεί από ικανό αριθμό εργασιών έτσι ώστε να μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο για την ανάλυση της μεταβλητότητας των μακροσκοπικών παραμέτρων στην ολική χωρική κατανομή των περιβαλλοντικών μεταβλητών. Έτσι με την ανάλυση της πολλαπλής σταδιακής παλινδρόμησης ελέγχθηκε η επί μέρους συμβολή της απόστασης, του βάθους και του γεωγραφικού πλάτους στην εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων.

Οι παραπάνω μεταβλητές είναι σημαντικές από την άποψη της διαχείρισης καθώς:

A. Η απόσταση παίζει ρόλο για τον καθορισμό της AZE (allowable zone of Effect) δηλαδή της ζώνης εντός της οποίας είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτό ένα ορισμένο επίπεδο υποβάθμισης του περιβάλλοντος ως αποτέλεσμα της άσκησης μιας παραγωγικής δραστηριότητας

B. Το βάθος συνιστά ένα σημαντικό παράγοντα που αντικατοπτρίζει το πόσο «παράκτια» είναι η θέση στην οποία ασκείται η δραστηριότητα των ιχθυοκαλλιεργειών, άρα και για το πόσο αυτή μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα του περιβάλλοντος της. Τα τελευταία έτη υπάρχει πίεση για μετακίνηση σε offshore συστήματα.

Γ. Σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος εμφανίζονται διαφοροποιήσεις μεταξύ βορείων εύκρατων και θερμών-υποτροπικών περιοχών. Στις μεσογειακές και τροπικές περιοχές επικρατεί ολιγοτροφισμός, δηλαδή υπάρχουν μικρές ποσότητες θρεπτικών και έτσι η φυσική ιζηματοπόθεση είναι μειωμένη. Επίσης υπάρχει διαφορά στην ταχύτητα καθίζησης απεκκριμάτων εφόσον στις διάφορες περιοχές καλλιεργούνται διαφορετικού μεγέθους ψάρια (τσιπούρα, λαβράκι, σολομός). Για παράδειγμα στις βόρειες περιοχές (Σκοτία, Νορβηγία) όπου καλλιεργείται ο σολομός, ο οποίος είναι μεγάλου μεγέθους ψάρι, η τροφή που χρησιμοποιείται είναι μεγάλου μεγέθους και έτσι καθιζάνει με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με αυτήν που χρησιμοποιείται στην εκτροφή των μικρότερων ψαριών.

Από το σύνολο των δεδομένων φαίνεται ότι υπάρχει ένα κοινό πρότυπο μείωσης των επιπτώσεων με τον λογάριθμο της απόστασης (Βλέπε μοντέλο [Gowen 1992](#))

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις το απλό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης έδειχνε να περιγράφει μεγαλύτερο ποσοστό από την μεταβλητότητα των βιολογικών παραμέτρων παρά από εκείνη των καθαρά χημικών. Η διαπίστωση αυτή ασφαλώς σχετίζεται με την δυνατότητα των βιολογικών κοινοτήτων να αποκρίνονται σε μακρότερες χρονικές κλίμακες στην περιβαλλοντική αλλαγή ενσωματώνοντας έτσι στο πρότυπο χωρικής τους κατανομής τις επιπτώσεις σε όλη την χρονική περίοδο που προηγήθηκε της δειγματοληψίας, ενώ ορισμένες χημικές μεταβλητές είναι δυνατόν να αντικατοπτρίζουν πρόσφατα επεισόδια καθίζησης οργανικού υλικού που έχουν παροδική επίδραση στο βενθικό οικοσύστημα. Επίσης τα πρωτόκολλα ανάλυσης για την μακροπανίδα είναι σχετικά ομοιόμορφα σε όλες τις εργασίες που εξετάστηκαν (με εξαίρεση το μέγεθος του κόσκινου διαλογής) ενώ οι χημικές αναλύσεις σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. LOI) διέφεραν σημαντικά από εργασία σε εργασία. Η σχέση μεταξύ συγκεντρώσεων χημικών ενώσεων και κατανάλωσης οξυγόνου σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την βιοδιαθεσιμότητα των ενώσεων η οποία υπόκειται σε πολλούς διαφορετικούς παράγοντες και επομένως η χρήση τους ως δεικτών της περιβαλλοντικής κατάστασης μπορεί να γίνεται με ορισμένες προϋποθέσεις και περιορισμούς. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι τα προγράμματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε πολλές χώρες του κόσμου περιλαμβάνουν την ανάλυση μακροπανίδας σε τακτική βάση παρά το μεγάλο κόστος της σε σχέση με απλούστερες, φθηνότερες και ταχύτερες μεθόδους όπως η ανάλυση οργανικού υλικού με την μέθοδο LOI.

Η μεταβολή των συγκεντρώσεων του **TOC**, του **TON** και του **LOI** με την αύξηση της απόστασης από την υδατοκαλλιέργεια έχει αναφερθεί σε πολλές επιστημονικές εργασίες ([Gowen et al 1988](#), [Karakassis et al 1998](#), [Findlay et al 1995](#), [Nickell et al 2003](#), [Hatcher et al 1994](#), [Holmer & Kristensen 1992](#), [Hargrave et al 1993 & 1997](#), [Kempf et al 2002](#), [Ye et al 1991](#), [Jonhsen et al 1993](#), [Weston 1990](#)). Τα αποτελέσματα μας έδειξαν ότι υπάρχει τρόπος να ληφθεί μια γενική εικόνα αυτής της μείωσης λαμβάνοντας υπόψη και άλλες μεταβλητές όπως το βάθος και το γεωγραφικό πλάτος. Οι μεταβολές των τιμών

των δεικτών της οργανικής ύλης με το γεωγραφικό πλάτος πιθανόν αποδίδονται σε κάποιο υπόβαθρο αυξημένης παραγωγικότητας και έτσι στην ιζηματοπόθεση οργανικής ύλης στον πυθμένα της θάλασσας, καθώς επίσης αποδίδονται στους αυξημένους ρυθμούς ιζηματοπόθεσης τροφής και περιττωμάτων ψαριών από την καλλιέργεια σολομού συγκριτικά με τους πιο αργούς ρυθμούς του λαβρακίου και της τσιπούρας ([C. Cromey Dunstafnage Marine Lab. Oban personal communication](#)). Οι βαθυμετρικές αλλαγές αποδίδονται στην διαφορετική σύσταση του πυθμένα, δηλαδή αυτές που βρίσκονται βαθύτερα περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες ιζημάτων με ίλη και λάσπη και έτσι περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα οργανικής ύλης ([Karakassis & Eleftheriou 1998](#)).

Οι μεταβολές στο **οξειδοαναγωγικό δυναμικό** δείχνουν την ολική κατάσταση του ιζήματος του πυθμένα συνδυάζοντας τόσο τα χημικά φορτία όσο και την βιολογική απόκριση των βενθικών συνιστωσών. Τα αποτελέσματα μας έδειξαν ότι το οξειδοαναγωγικό δυναμικό αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης από την υδατοκαλλιέργεια (εξαιτίας της μείωσης του εμπλουτισμού του βένθους) επίσης αυξάνεται με την αύξηση του βάθους εφόσον όσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταξύ των κλωβών από τον πυθμένα τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός διασποράς των αποβλήτων όπως έχει διαπιστωθεί σε πολλά μοντέλα ([Gowen & Bradbury 1987](#), [Silvert 1994](#), [Cromey et al 2002](#)). Η τάση για μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους συμβαδίζει με την παρατηρούμενη αύξηση της οργανικής ύλης στην περίπτωση αυτή.

Η **βιομάζα** αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης από την υδατοκαλλιέργεια ακολουθώντας την συνολική τάση που περιγράφεται από τους [Pearson & Rosenberg \(1978\)](#) και ελαττώνεται ελάχιστα με την αύξηση του βάθους, πιθανόν εξαιτίας της αλλαγής του μεγέθους των κόκκων του ιζήματος. Το σχήμα της καμπύλης της **αφθονίας** ως προς τον εμπλουτισμό σε οργανικό υλικό, η οποία περιγράφεται από τους [Pearson & Rosenberg \(1978\)](#), εμφανίζει ένα εμφανή μέγιστο στα ενδιάμεσα επίπεδα του εμπλουτισμού σε οργανική ύλη και έτσι είναι αναμενόμενο ότι η απόσταση από την υδατοκαλλιέργεια δεν μπορεί να περιγραφεί από το γραμμικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στην σταδιακή παλινδρόμηση.

Η μεταβλητότητα του συντελεστή ποικιλότητας **Shannon** εξηγείται κατά 68,6% από το μοντέλο ενσωματώνοντας την απόσταση, το βάθος και το γεωγραφικό πλάτος. Είναι αξιοσημείωτο ότι ένα βιολογικό μέτρο, το οποίο υπόκειται σε πολλές διαφορετικές πηγές μεταβλητότητας, είναι πολύ δυνατός δείκτης της κατάστασης του βένθους, υπερβαίνοντας όλες τις άλλες χημικές και βιολογικές μεταβλητές. Σε αντίθεση με το συντελεστή Shannon ο οποίος τυποποιήθηκε στο μέγεθος του δείγματος, ο **αριθμός των ειδών** που δόθηκε από διαφορετικούς συγγραφείς ποικίλει ανάλογα του μεγέθους του δείγματος και την περιοχή δειγματοληψίας, έτσι το συνολικό σήμα είναι κάπως ασθενές και ακόμη περισσότερο η ενδιάμεση κορυφή της αφθονίας των ειδών στην μεταβατική ζώνη (Pearson & Rosenberg, 1978) κάνει το μέτρο αυτό ακατάλληλο για άμεση εκτίμηση των βενθικών καταστάσεων.

Μέρος από τους παραπάνω περιορισμούς αφαιρέθηκαν κατά την σταδιακή παλινδρόμηση που έγινε για τους διαφορετικούς τύπους ιζήματος (αμμώδη, αδρά, ιλυώδη). Αυτό γίνεται κατά ένα μέρος εξαιτίας του γεγονότος ότι τα είδη ιζήματος αντανακλούν τις δυναμικές διαδικασίες της στήλης του νερού, το οποίο είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τον προσδιορισμό του αναμενόμενου αποτελέσματος των αποβλήτων.

Ο τύπος του ιζήματος επιδρά σημαντικά στις γεωχημικές και βιολογικές παραμέτρους του βενθικού συστήματος (Karakassis & Eleftheriou 1997, 1998) ενώ έχει επίσης δειχτεί ότι σε διαφορετικούς τύπους ιζημάτων διαφορετικοί παράγοντες καθορίζουν την σύσταση των βιολογικών κοινοτήτων (Karakassis & Eleftheriou 1997). Για να απαλειφθεί η επίδραση του τύπου του ιζήματος στα μοντέλα που εξετάστηκαν, επαναλάβαμε την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης χωρίζοντας τα δεδομένα με βάση τον τύπο του ιζήματος σε τρεις κατηγορίες (ιλύς, άμμος, αδρόκοκκα) και μελετήσαμε τις διαφοροποιήσεις στο μοντέλο.

Ο συντελεστής του **TOC** για την απόσταση δείχνει μείωση από τα αδρόκοκκα προς τα ιλυώδη ιζήματα υποδηλώνοντας μείωση της έκτασης της ζώνης επηρεασμού στα πιο λεπτόκοκκα ιζήματα. Το ποσοστό της μεταβλητότητας του TOC που ερμηνεύεται από το

μοντέλο αυξάνει στα πλέον αδρόκοκκα ιζήματα φθάνοντας το 79% ενώ στα λεπτόκοκκα δεν υπερβαίνει το 28%. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα λεπτόκοκκα ιζήματα περιέχουν ούτως ή άλλως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα λόγω προσρόφησης από τα ιλυώδη υποστρώματα και οι διεργασίες που καθορίζουν την εξέλιξή τους στο χρόνο είναι αρκετά πιο πολύπλοκες από τις αντίστοιχες στα αδρά ιζήματα που κατά κανόνα υφίστανται εντονότερα την επίδραση του υδροδυναμισμού με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των λεπτότερων και μικρού ειδικού βάρους μεριδίων.

Γενικά το $\ln(\text{αφθονίας})$ ακολουθεί ίδιες τάσεις με το $\ln(\text{βιομάζας})$ αν και το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύεται είναι σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερο από το αντίστοιχο της βιομάζας καθώς η αφθονία επηρεάζεται σημαντικά από τις μεγάλες πυκνότητες των ευκαιριακών ειδών τα οποία μπορεί να αυξάνουν την πυκνότητα της μακροπανίδας κατά μερικές τάξεις μεγέθους σε ενδιάμεσα στάδια της διαδοχής.

Η μεταβλητότητα της **βιομάζας** (για την ακρίβεια του λογαρίθμου της) ερμηνεύεται από τα μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης σε ποσοστά από 66-74% που υπερβαίνουν κατά πολύ το ποσοστό στον συνολικό πίνακα που περιλαμβάνει όλους τους τύπους ιζήματος. Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στις διαφοροποιήσεις που υφίστανται μεταξύ των βενθικών κοινοτήτων ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος με αποτέλεσμα η ολική σύγκριση να περιλαμβάνει διαφοροποιήσεις που δεν καλύπτονται επαρκώς από τις ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου. Επίσης καλό είναι να ληφθεί υπόψιν ότι η γενική εικόνα της διαδοχής της μακροπανιδικής βιομάζας σε σχέση με τον οργανικό εμπλουτισμό παρουσιάζει μέγιστο στα ενδιάμεσα στάδια και όχι στα άκρα της διαβάθμισης.

Ο **αριθμός των ειδών** αυξάνει γενικά σε όλες τις κατηγορίες ιζημάτων με τον λογάριθμο της απόστασης και ο δείκτης ποικιλότητας του **Shannon** αυξάνεται με την απόσταση από τους κλωβούς και μάλιστα εντονότερα (με υψηλότερο συντελεστή) στην περίπτωση των αδρόκοκκων ιζημάτων παρουσιάζοντας μια εικόνα αντίστοιχη με εκείνη του TOC.

Το **βάθος** παίζει σημαντικό ρόλο στα λεπτότερα ιζήματα οδηγώντας γενικά σε μείωση των επιπτώσεων (μείωση TOC και TON, αύξηση Shannon) ενώ ο ρόλος του περιορίζεται στα αδρά και αμμώδη ιζήματα όπου ο υδροδυναμισμός και η επαναιώρηση των ιζημάτων παίζουν σημαντικότερο ρόλο από την απλή διασπορά λόγω βάθους όπως αυτή περιγράφεται από το μοντέλο των [Gowen & Brudburry \(1987\)](#).

Το **γεωγραφικό πλάτος** παίζει μεγαλύτερο ρόλο στα αδρά ιζήματα επιδρώντας τόσο στην συγκέντρωση του οργανικού υλικού όσο και στις βιολογικές μεταβλητές. Γενικά η βιομάζα αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος σε όλες τις κατηγορίες ιζημάτων, ενώ η ποικιλότητα μειώνεται.

Έτσι καταλήγουμε στα παρακάτω γενικά συμπεράσματα από την εφαρμογή της σταδιακής παλινδρόμησης:

- Οι περισσότερες γεωχημικές μεταβλητές έχουν δείξει συνεπή μορφή στον εμπλουτισμό του βένθους (μείωση της οργανικής ύλης και της κατανάλωσης οξυγόνου, αύξηση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού και της συγκέντρωσης οξυγόνου στον πυθμένα)
- Οι μεταβολές με το γεωγραφικό πλάτος έχουν παρατηρηθεί ως αποτέλεσμα των δύο τιμών υποβάθρου όπως επίσης εξαιτίας διαφορετικών χαρακτηριστικών των ειδών που καλλιεργούνται και των ταχυτήτων ιζηματοπόθεσης των αποβλήτων της καλλιέργειας
- Η αύξηση του βάθους οδηγεί σε δύο διαφορετικούς τύπους συνεπειών: (α) επιτρέπει μεγαλύτερο βαθμό διασποράς (έτσι αυξάνει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, το οξυγόνο και η ποικιλότητα) και (β) περιλαμβάνει αλλαγές του μεγέθους του κόκκου του ιζήματος (αυξάνει το ποσοστό των λεπτόκοκκων σωματιδίων) το οποίο στην συνέχεια επιτρέπει υψηλότερη απορρόφηση οργανικής ύλης και χαμηλότερα επίπεδα της βιομάζας του μακροβένθους.

5. Βιβλιογραφία

Angel D.L., Krost P., Gordin, H. (1995) Benthic implications of the net cage aquaculture in the oligotrophic Gulf of Aqada. *Eur Aquacult Soc Spec Publ* 25: 129-173

Angel D.L., Spanier E. (2002) An application of artificial reefs to reduce organic enrichment caused by net-cage fish farming: preliminary results. *ICES Journal of Marine Science* 59: S324-S329

Belias C.V., Bikas V.G., Dassenakis M.J., Scoullos M.J. (2003) Environmental impacts of Coastal Aquaculture in Eastern Mediterranean Bays. The case of Astakos Gulf, Greece. *ESPR - Environ Sci & Pollut Res (OnlineFirst)*: 1-9

Beveridge M. (1996) Cage aquaculture. *Fishing News Books*, 346 pp

Black K.D., Kierner M.C.B., Ezzi I.A. (1996) The relationships between hydrodynamics, the concentration of hydrogen sulphide produced by polluted sediments and fish health at several marine cage farms in Scotland and Ireland. *J. Appl Ichthyol* 12: 15-20

Braaten B., Aure J., Ervik A., Boge E. (1983) Pollution problems in Nerwegian fish farming. *ICES CM 1983/F: 26. Mariculture Committee*. 11p

Brooks K.M., Stierns A.R., Mahneken C.V.W., Blackburn D.B. (2003) Chemical and biological remediation of the benthos near Atlantic salmon farms. *Aquaculture* 219: 355-377

Cheshirel A., Westphalen G., Smart A., Smart S. (1996) Investigating the environmental effects of sea-cage tuna farming. II. The effect of sea-cages. *FRDC and Tuna Boat Owners Association*

Collie J.S., Hall S.J., Kaiser M.J., Poiner I.R. (2000) A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. *Journal of Animal Ecology*, 69: 785-798

Cromey C.J., Nickell T.D., Black K.D. (2002) DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214: 211-239

Fernandes T.F., Eleftheriou A., Ackefors H., Eleftheriou M., Ervik A., Sanchez-Mata A., Scanlon T., White P., Cochrane S., Pearson T.H., Read P.A. (2001) The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. *J Appl Ichthyol* 17:181-193

Findlay R.H., Watling L. (1997) Prediction of benthic impact for salmon net-pens based on the balance of benthic oxygen supply and demand. *Mar Ecol Prog Ser* 155: 147-157

Findlay R.H., Watling L., Mayer L.M. (1995) Environmental Impact of salmon net-pet culture on marine benthic communities in Maine: A Case Study. *Estuaries* 18 (No. 1A): 145-179

Folke C. (1988) Energy economy of salmon aquaculture in the Baltic Sea. *Environmental Management*, 12: 525-537

Gilbert F., Souchu P., Bianchi M., Bonin P. (1997) Influence of shellfish farming activities on nitrification, nitrate reduction to ammonium and denitrification at the water-sediment interface of the Thau lagoon, France. *Mar Ecol Prog Ser* 151: 143-153

Gowen R.J. (1991) Aquaculture and the environment. In: De Pauw N., Joyce J. (eds.) *Aquaculture and the environment. European Aquaculture Society Spec. Publ. No 16.* Gent, Belgium, p. 23-48

Gowen R.J., Bradbury N.B. (1987) The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr Mar biol Annu Rev* 25: 563-575

Gowen R., Brown J., Bradbury N., McLusky D.S. (1988) Investigations into benthic enrichment, hypernitrification and eutrophication associated with mariculture in Scottish coastal waters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 109: 39-51

Hall P.O.J., Anderson L.G., Holby O., Kollberg S., Samuelsson M.O. (1990) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar Ecol Prog Ser* 61: 61-73

Hall P.O.J., Holby O., Kollberg S., Samuelsson M.O. (1992) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar Ecol Prog Ser* 89: 81-91

Hargrave B.T., Duplisea D.E., Pfeiffer E., Wildish D.J. (1993) Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar Ecol Prog Ser* 96: 249-257

Hargrave B.T., Phillips G.A., Doucette L.I., White M.J., Milligan T.G., Wildish D.J., Cranston R.E. (1997) Assessing benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Water, Air and Soil Pollution* 99: 641-650

Hatcher A., Grant J., Schofield B. (1994) Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Mar Ecol Prog Ser* 115: 219-235

Heilskov A.C., Holmer M. (2001) Effects of benthic fauna on organic matter mineralization in fish-farm sediments: importance of size and abundance. *ICES Journal of Marine Science* 58: 427-434; International Council for the Exploration of the sea

Holby O., Hall P.O.J. (1991) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar Ecol Prog Ser* 70: 263-272

Holby O., Hall P.O.J. (1993) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. III.Silicon. *Aquaculture* 120: 305-318

Holmer M (1991) Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. *In Aquaculture and the environment*, De Pauw N, Joyce J (eds) Eur Aquacult Soc Spec Publ 16:155-175

Holmer M., Kristensen E. (1992) Impacts of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Mar Ecol Prog Ser* 80: 191-201

Hyland J., Balthis L., Karakassis I., Magni P., Petrov A., Shine J., Vestergaard O. (2004) Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. *Mar Ecol Prog Ser* (in press)

Johnsen R.I., Grahl-Nielsen O., Lunestad B.T. (1993) Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture* 118: 229-244

Karakassis I., Eleftheriou A. (1997) The continental shelf of Crete: structure of macrobenthic communities. *Mar Ecol Prog Ser* 160: 185-196

Karakassis I., Tsapakis E., Pitta P., Dracopoulos P., Chatzigiannou E. (1998) Αλληλεπίδραση υδατοκαλλιεργειών και θαλάσσιου περιβάλλοντος. *Τεχνική έκθεση - ΕΠΕΤ II - Υποπρόγραμμα I του ΙΘΑΒΙΚ*

Karakassis I., Eleftheriou A. (1998) The continental shelf of Crete: the benthic environment. *PSZNI: Mar Ecol* 19: 263-277

Karakassis I., Tsapakis M., Hatziyanni E. (1998) Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser* 162: 243-252

Karakassis I., Hatziyanni E., Tsapakis M., Plaiti W. (1999) Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Mar Ecol Prog Ser* 184: 205-218

Karakassis I. (2001) Ecological effects of fish farming in the Mediterranean. *Cah Options Méditer* 55: 15-22

Karakassis I., Tsapakis M., Smith C.J., Rumohr H. (2002) Fish farming impacts in the Mediterranean studied through sediment profiling imagery. *Mar Ecol Prog Ser*, 227: 125-133.

Katavic I., Antolic B. (1999) On the impact of a sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) cage farm on water quality and macrobenthic communities. *Acta Adriatica* 40(2): 19-32

Kempf M., Merceron M., Cadour G., Jeanneret H., Mear Y., Miramand P. (2002) Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site: II. Biosedimentology. *J Appl Ichthyol* 18: 51-60

Kraufvelin P., Sinisalo B., Leppaekoski E., Mattila J., Bonsdorff E. (2001) Changes in zoobenthic community structure after pollution abatement from fish farms in the Archipelago Sea (N. Baltic Sea). *Mar Environ Res* 51 (no. 3): 229-245

Kupka-Hansen P., Pittman K., Ervik A. (1991) Organic waste from marine fish farms - Effects on the seabed. *Mar Aquac and Environ* 22: 105-120; International Council for the Exploration of the Sea, Mariculture Committee

La Rosa T., Mirto S., Mazzola A., Danovaro R. (2001) Differential responses of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal sediments. *Environ Pollut* 112: 427-434

- Lauren-Maatta C., Granlid M., Henriksson H., Koivisto V. (1991) Effects of fish farming on the macrobenthos of different bottom types. *Mar Aquac and Environ* 22: 57-84
- Mirto S., La Rosa T., Danovaro R., Mazzola A. (2000) Microbial and Meiofaunal Response to Intensive Mussel-Farm Biodeposition in Coastal Sediments of the Western Mediterranean. *Mar Pollut Bull* 40 (No.3): 244-252
- Molina-Dominguez L., Lopez-Calero G., Vergara-Martin J.M., Robaina-Robaina L. (2001) A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture* 192 (no. 2-4): 225-231
- Morrissey D.J., Gibbs M.M., Pickmere S.E., Cole R.G. (2000) Predicting impacts and recovery of marine-farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay-Watling model. *Aquaculture* 185: 257-271
- Nickell L.A., Black K.D., Hughes D.J., Overnell J., Brand T., Nickell T.D., Breuer E., Harvey S.M. (2003) Bioturbation, sediment fluxes and benthic community structure around a salmon cage farm in Loch Creran, Scotland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285-286: 221-23
- Nixon SW (1995) Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41:199–220
- Olsgard F., Somerfield P.J. Carr M.R. (1997) Relationships between taxonomic resolution and data transformations in analyses of a macrobenthic community along an established pollution gradient. *Mar Ecol Prog Ser* 149: 173-181
- Pearson T.H., Rosenberg R. (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311

Pitta P., Karakassis I., Tsapakis M., Zivanovic S. (1999) Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 391: 181-194

Pocklington P., Scott D.B., Schafer C.T. (1994) Polychaete response to different aquaculture activities. *Mem Mus Natn Hist Nat* 162: 511-520 ; Actes de la 4eme Conference internationale des Polychetes

Pohle G., Frost B., Findlay R. (2001) Assessment of regional benthic impact of salmon mariculture within the Letang Inlet, Bay of Fundy. *ICES Journal of Marine Science* 58: 417-426; International Council for the Exploration of the sea

Ritz D.A., Lewis M.E., Shen M. (1989) Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Marine Biology* 103: 211-214

Rosenthal H., Rangeley R.W. (1989) The effect of a salmon cage culture on the Benthic Community in a largely enclosed Bay (Dark Harbour, Grand Manan Island, N.B., Canada). *ICES 1989/F 23*: 1-17

Rumohr H., Karakassis I. (1999) Comparison of multivariate patterns: different taxonomic levels in macrofaunal analysis vs. sediment profiling imagery (SPI). *Mar Ecol Prog Ser*, 190: 125-132

Samuelsen O., Ervik A., Solheim E. (1988) A qualitative and quantitative analysis of the sediment gas and diethylether extract of the sediment from salmon farms. *Aquaculture*, 74: 277-285

Silvert W. (1994) Modelling Benthic Deposition and Impacts of Organic Matter Loading. In: Hargrave BT (Ed.) Modelling benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 1949:1-18

Troell M., Berg H. (1997) Cage fish farming in the tropical Lake Kariba, Zimbabwe: impact and biogeochemical changes in sediment. *Aquaculture Research* 28: 527-544

Uotila J. (1991) Metal contents and spread of fish farming sludge in Southwestern Finland. *Mar Aquac and Environ* 22: 121-126

Warwick R.M., Clarke K.R. (1993) Comparing the severity of disturbance – A metaanalysis of marine macrobenthic community data. *Mar Ecol Prog Ser* 92: 221-231

Weston D.P. (1990) Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar Ecol Prog Ser* 61: 233-244

Wildish D.J., Hargrave B.T., MacLeod C., Crawford C. (2003) Detection of organic enrichment near finfish net-pens by sediment profile imaging at SCUBA-accessible depths. *Journal of experimental marine biology and ecology* 285-286: 403-413

Wildish D.J., Hargrave B.T., Pohle G. (2001) Cost-effective monitoring of organic enrichment resulting from salmon mariculture. *ICES Journal of Marine Science* 58: 469-476

Wu R.S.S. (1995) The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar Pollut Bull* 31:159-166

Ye L., Ritz D.A., Fenton G.E., Lewis M.E. (1991) Tracing the influence on sediments of organic waste from a salmonid farm using stable isotope analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 145: 161-174

Yokoyama H. (2002) Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. *Fisheries Science* 68: 258-268