



**ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ
ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ**

Δημήτριος Λάσκος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ευαγγελία Κρασακοπούλου

Μυτιλήνη, Φεβρουάριος 2020

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποφοίτου του Π.Μ.Σ. «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών»

Δημήτριος Λάσκος

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**Επιπτώσεις ιχθυοκαλλιέργειας στο οργανικό περιεχόμενο
του πυθμένα και τεχνικές μετριάσμού**

Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης και Κρίσης της Εργασίας

Υπογραφές

**Ευαγγελία Κρασακοπούλου
Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**

Ιωάννης Μπατζάκας

Μαρία Βαγή

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών, του Πανεπιστημίου Αιγαίου, με τίτλο «Ολοκληρωμένη Παράκτια Διαχείριση», θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια του προγράμματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κ. Ευαγγελία Κρασακοπούλου για την στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και την κ. Μαρία Βαγή για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση στην εργαστηριακή ανάλυση. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Μπατζάκα, που με την εμπειρία του συνέβαλε στην διενέργεια του πειράματος και κατ' επέκταση στην εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς, συγγενείς και φίλους μου, που με την υπομονή τους και την κατανόηση που έδειξαν στο πρόσωπό μου, αλλά και στην δουλειά μου, βοήθησαν όσο τίποτε άλλο, στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η ταχεία ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών έχει δημιουργήσει περιβαλλοντικά προβλήματα στην παράκτια ζώνη που κυρίως οφείλονται στην απελευθέρωση οργανικής ύλης με τη μορφή περιττωμάτων των εκτρεφόμενων ιχθύων και υπολειμμάτων της χορηγούμενης τροφής. Στην παρούσα εργασία έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις επιπτώσεις των εντατικών ιχθυοκαλλιεργειών στα ιζήματα και τον εμπλουτισμό τους σε οργανικό υλικό και παράλληλα εντοπίστηκαν τεχνικές μετριασμού που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων αυτών. Επιπλέον, προσδιορίστηκε και αξιολογήθηκε το οργανικό περιεχόμενο ιζημάτων που λήφθηκαν στα πλαίσια πειράματος που υλοποιήθηκε πλησίον ιχθυοκαλλιέργειας στην περιοχή του κόλπου της Γέρας με σκοπό να μελετηθεί η δυνατότητα μείωσης του οργανικού φορτίου κάτω από ιχθυοκλωβούς με την χρήση ολοθουρίων. Τα αποτελέσματα του πειράματος, που δυστυχώς δεν ήταν ενθαρρυντικά, συγκρίθηκαν με αποτελέσματα ανάλογων πειραματικών προσπαθειών και διερευνήθηκαν τα αίτια της απόκλισης από την αναμενόμενη έκβαση.

Λέξεις κλειδιά: *ιχθυοκαλλιέργεια, υδατοκαλλιέργεια, ιζημα, οργανική ύλη, ολοθούρια*

Abstract

The rapid growth of aquaculture has created environmental problems in the coastal zone mainly due to the release of organic matter in the form of faeces of farmed fishes and feed residues. In this study, a literature review on the impact of intensive fish farming on sediments and the associated enrichment in organic matter was performed and the mitigation techniques applied to address these effects have been identified. Also, the organic content of sediments, obtained as part of an in-situ experiment near a fish farming in the Bay of Gera, was studied and evaluated. The experiment was carried out in order to study the possibility of reducing the organic load from fish farming using Holothurians. The results of the experiment, which were unfortunately not encouraging, were compared with the results of similar experiments and the causes of the deviation from the expected outcome were investigated.

Key words: *fish farming, aquaculture, sediment, organic matter, holothurians*

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract	iii
1. Εισαγωγή	1
1.1 Βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας	1
1.1.1 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα	3
1.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	6
1.3 Τεχνικές μετριάσμου	12
1.3.1 Νομοθεσία και σχέδια διαχείρισης.....	12
1.3.2 Πρακτικές τεχνικές μετριάσμου	15
1.3.3 Ολοθούρια και μετριάσμος οργανικού φορτίου ιζημάτων	17
1.3.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας.....	21
2. Μεθοδολογία	23
2.1 Σχεδιασμός πειράματος.....	23
2.2 Συλλογή – προκατεργασία δειγμάτων.....	24
2.3 Κοκκομετρική ανάλυση	25
2.4 Προσδιορισμός Οργανικού Άνθρακα	25
3. Αποτελέσματα	26
4. Συζήτηση και συμπεράσματα.....	30
5. Βιβλιογραφία.....	34
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	34
Ελληνική βιβλιογραφία	38
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	38
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	40

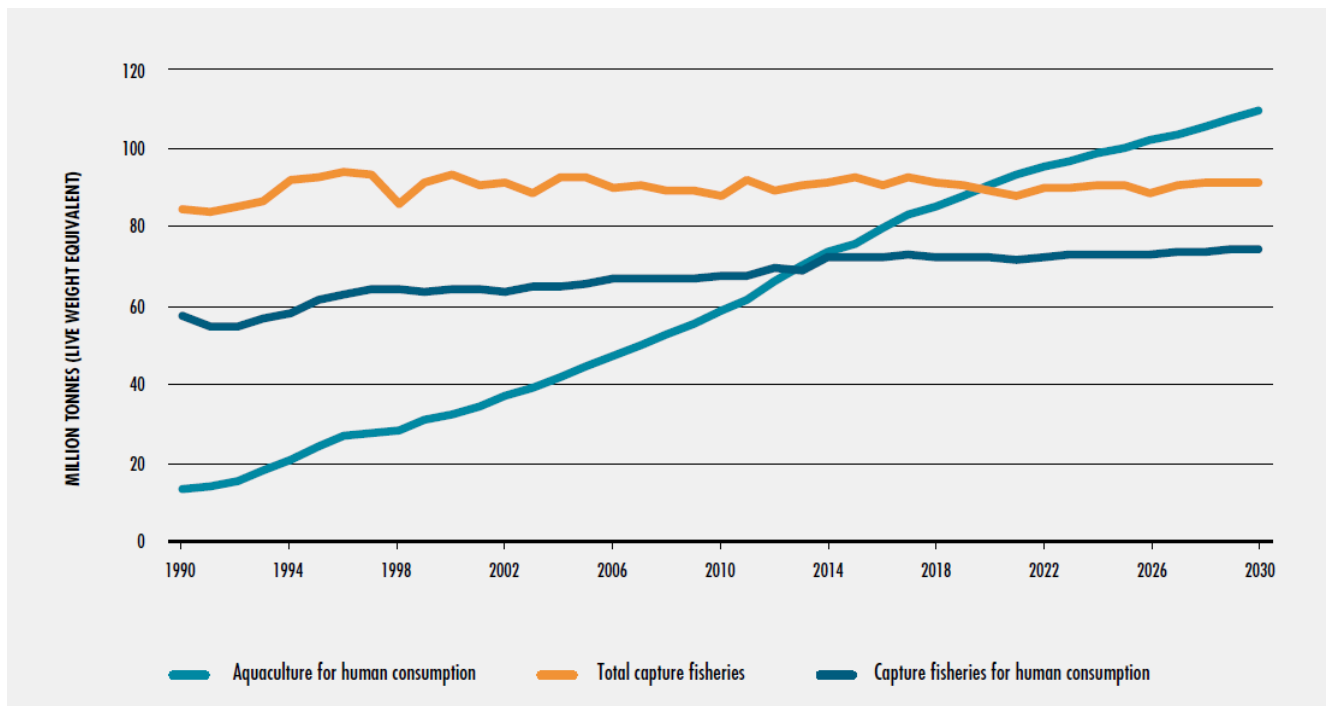
1. Εισαγωγή

1.1 Βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας

Οι άνθρωποι, είχαν θεωρήσει ότι οι ωκεανοί διαθέτουν τεράστια αποθέματα ψαριών, άποψη που ενισχυόταν από τα άφθονα αλιεύματα του παρελθόντος. Ακόμα και όταν τα αλιευόμενα ψάρια έγιναν πολύ πιο σπάνια και δυσκολότερο στο να συλληφθούν, πολλοί άνθρωποι συνέχισαν να υποθέτουν ότι υπήρχαν ακόμη άφθονα ψάρια (Kurlansky, 1997). Η εξάντληση των αποθεμάτων λόγω του αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού και της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης για ψάρια, δημιούργησε μια νέα ώθηση στην επέκταση της παραγωγής θαλασσιών ειδών μέσω της υδατοκαλλιέργειας (Dean *et al.*, 2007; Degefu *et al.*, 2011; Koçer & Sevgili, 2014; Little *et al.*, 2016; FAO, 2018; Neofitou *et al.*, 2019).

Σύμφωνα με ορισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), υδατοκαλλιέργεια είναι: *“η καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών σε ηπειρωτικές ή παράκτιες περιοχές η οποία περιλαμβάνει παρεμβάσεις στη διαδικασία της αύξησης και της εκκόλαψης προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγή και η ατομική ή συνεταιριστική ιδιοκτησία του καλλιεργούμενου αποθέματος”*. Κύριος σκοπός των υδατοκαλλιεργειών είναι η άμεση παραγωγή αλιευμάτων ευρείας κατανάλωσης. Άλλοι στόχοι των υδατοκαλλιεργειών είναι η παραγωγή υδρόβιων οργανισμών που χρησιμοποιούνται είτε ως τροφή για τα καλλιεργούμενα είδη, είτε στην παραγωγή διατροφικών και φαρμακευτικών προϊόντων ή προϊόντων βιοτεχνολογίας. Επίσης συχνά η υδατοκαλλιέργεια δραστηριοποιείται και στην παραγωγή καλλωπιστικών ειδών και στην παραγωγή γόνου με σκοπό τον εμπλουτισμό των φυσικών αποθεμάτων (Βουλτσιάδου κ.ά, 2015). Οι υδατοκαλλιέργειες σε σχέση με το περιβάλλον εγκατάστασής τους μπορεί να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες που είναι η καλλιέργεια εσωτερικών νερών και η παράκτια υδατοκαλλιέργεια. Η θαλασσοκαλλιέργεια είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την καλλιέργεια οργανισμών σε θαλασσινό νερό (από χαμηλής αλατότητας έως υψηλής αλατότητας θαλασσινό νερό).

Η αλιεία σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1990 έως τις μέρες μας, κυμαίνεται μεταξύ 80 και 90 περίπου εκατομμύρια τόνους. Το 2016 άγγιξε τους 90,6 εκατομμύρια τόνους ενώ δεν αναμένεται να αυξηθεί μέχρι και το 2030 (Εικόνα 1) (FAO, 2018; Radulescu *et al.*, 2019). Το αποτέλεσμα είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας με τους υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης στον κλάδο παραγωγής προϊόντων για ανθρώπινη κατανάλωση, ο οποίος είχε έναν μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης της τάξης του 8,8% από το 1990 έως το 2004 και πάνω από 5,8% από το 2010 μέχρι σήμερα (FAO, 2018). Έτσι η υδατοκαλλιέργεια συνεχίζει να αναπτύσσεται ταχύτερα από πολλούς άλλους σημαντικούς τομείς παραγωγής τροφίμων καθιστώντας την μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες βιομηχανίες παγκοσμίως (Radulescu *et al.*, 2019; Varol, 2019). Εκτιμάται ότι μέχρι το 2030, η παγκόσμια κατανάλωση ψαριών θα αυξηθεί κατά 20% (που ισοδυναμεί με 30 εκατομμύρια τόνους) σε σχέση με το 2016 (Radulescu *et al.*, 2019). Κατ' αναλογία η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας προβλέπεται να φθάσει το 2030 σε 109 εκατομμύρια τόνους, με ρυθμό ανάπτυξης 37% έναντι του 2016 (FAO, 2018; Radulescu *et al.*, 2019).



Εικόνα 1: Παγκόσμια αλιεία και παραγωγή υδατοκαλλιεργειών από το 1990 μέχρι 2018 (εκτίμηση μέχρι το 2030) (Πηγή:FAO, 2018).

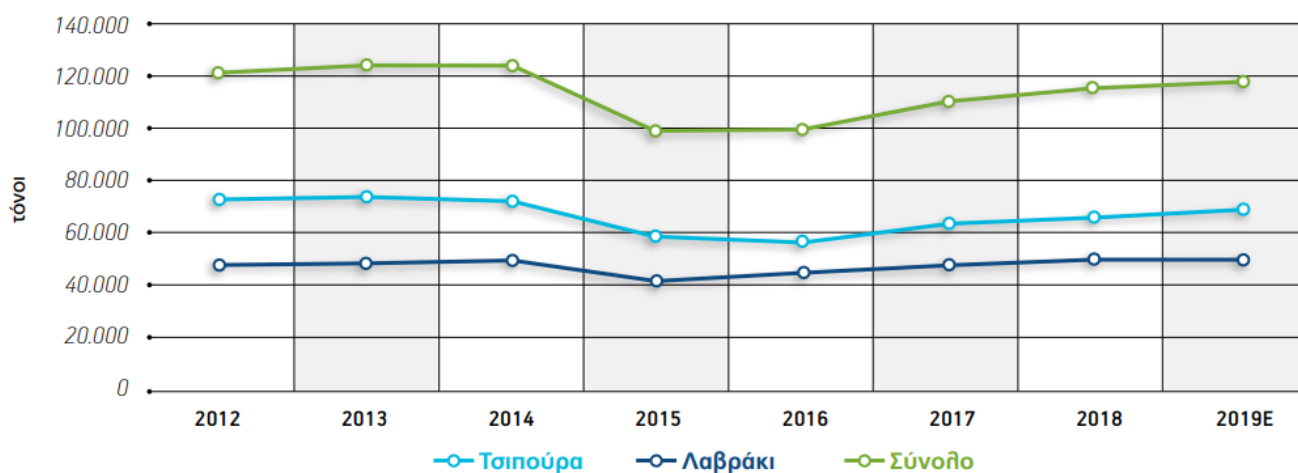
Πέραν της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης των παραγόμενων προϊόντων και την μείωσης των αποθεμάτων λόγω υπεραλίευσης, και άλλοι παράγοντες συντέλεσαν στην ραγδαία ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι βασικότεροι των οποίων συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Βασικοί παράγοντες ανάπτυξης της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Πηγή: Βουλτσιάδου κ.ά, 2015).

Παράγοντας	Αιτιολόγηση
Αγοραστική ζήτηση	Μεγάλη ζήτηση και υψηλές τιμές για επιλεγμένα είδη σε παραδοσιακές αγορές - προσφορά σημαντικών στόχων για τους παραγωγούς. Σταθερή αύξηση στις ανεπτυγμένες αγορές για τα σημαντικά είδη (η ανταγωνιστικότητα της αγοράς, κεντρικός παράγοντας στη διαμόρφωση βιώσιμων συστημάτων παραγωγής).
Περιβάλλοντα	Διαθεσιμότητα εσωτερικών υδάτων, λιμνοθαλασσών, κόλπων με την κατάλληλη ποιότητα νερού, θερμοκρασίες παραγωγής, παροχή θρεπτικών συστατικών για οστρακοειδή και τα άλλα συστήματα καλλιέργειας.
Υποδομές	Βελτίωση των μεταφορών, της ενέργειας, των επικοινωνιών, της πρόσβασης σε μεγάλες αγορές, καλό σύστημα πληροφοριών.
Τεχνική ικανότητα	Αναδυόμενες και ταχέως εφαρμόσιμες τεχνικές για την ίδρυση εκκολαπτηρίων, μονάδων τεχνητής αναπαραγωγής, τροφοδοσίας σε διάφορα συστήματα καλλιέργειας.
Επενδύσεις	Τοπικές, εθνικές και περιφερειακές, ιδιωτικές, εμπορικές και θεσμικές επενδύσεις. Κίνητρα και καθεστώτα στήριξης για την ανάπτυξη και την τεχνική έρευνα.
Ανθρώπινοι πόροι	Αρχικός πυρήνας πρωτογενών τεχνικών δεξιοτήτων, ο οποίος αναπτύχθηκε μέσα από τις πρωτοπόρες εταιρίες και τα κέντρα ανάπτυξης.
Έρευνα	Παροχή στρατηγικής χρηματοδότησης στην έρευνα και προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της βιομηχανίας. Ανάπτυξη νομικών και ρυθμιστικών συστημάτων.

1.1.1 Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα

Η βιομηχανία της παραγωγής ιχθύων στην Ελλάδα, άρχισε να αναπτύσσεται συστηματικά την δεκαετία του 1980 και τα είδη που καλλιεργούνταν ήταν κυρίως η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (ΣΕΘ, 2019). Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980 η συνολική καλλιέργεια ψαριών δεν ξεπερνούσε τους 300 τόνους, καθώς οι μονάδες που λειτουργούσαν ήταν ελάχιστες (5 μονάδες μέχρι το 1985) (ΣΕΘ, 2019). Το 1990 δόθηκαν μεγάλες χρηματοδοτήσεις από τα ταμεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην Ελλάδα γεγονός, που σε συνδυασμό με την καλή πορεία και τα υψηλά κέρδη που εμφάνιζαν οι ιχθυοκαλλιέργειες, οδήγησε στην αύξηση των μονάδων. Το 2001 οι μονάδες που δραστηριοποιούνταν στον ελληνικό χώρο ανέρχονταν στις 290, από τις οποίες οι περισσότερες ήταν οικογενειακές επιχειρήσεις, ενώ υπήρχαν και 41 ιχθυογεννητικοί σταθμοί, με παραγωγή 240 εκατομμυρίων τεμαχίων γόνου. Έτσι, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία για το 2017, ο συνολικός αριθμός των μονάδων στην Ελλάδα ανέρχεται σε 1.065, εκ των οποίων το 85% είναι σε θαλάσσια ύδατα (908 μονάδες για την παραγωγή ψαριών και μυδιών), το 8% είναι εκτροφές σε εσωτερικά ύδατα, δηλαδή χερσαίες εγκαταστάσεις, ενώ το υπόλοιπο 7% είναι εκτροφές σε υφάλμυρα νερά όπως λιμνοθάλασσες (ΣΕΘ, 2019). Πιο συγκεκριμένα, λειτουργούν 318 μονάδες θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας όπου εκτρέφονται κυρίως η τσιπούρα και το λαβράκι, 590 μονάδες οστρακοκαλλιέργειας, 85 μονάδες εσωτερικών υδάτων όπου εκτρέφονται πέστροφες, κυπρίνοι, χέλια κ.α., 72 μονάδες σε υφάλμυρα νερά και 29 ιχθυογεννητικοί σταθμοί μεσογειακών ιχθύων (τσιπούρας, λαβρακιού και λοιπών μεσογειακών ειδών) (ΣΕΘ, 2019).

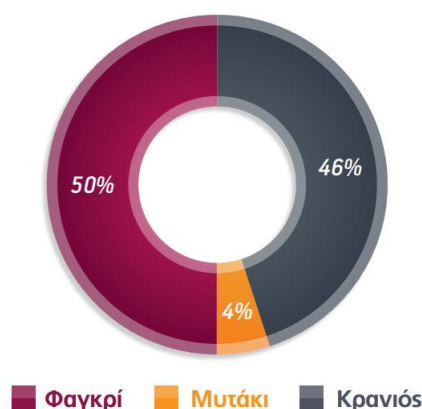


Εικόνα 2: Παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ελλάδα (Πηγή: ΣΕΘ, 2019).

Η Ελλάδα έφθασε να είναι το 2006 η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σε τσιπούρα και λαβράκι, καθώς και στον γόνο αυτών, στην περιοχή της Μεσογείου. Επιπλέον η εξαγωγική δραστηριότητα του κλάδου στην Ελλάδα είναι μεγάλη, καθώς το 2003 οι εξαγωγές ανέρχονταν στους 38.000 τόνους, δηλαδή ποσοστό 61% της ετήσιας παραγωγής. Σήμερα εκτιμάται πως το 62% της εγχώριας παραγωγής αλιευτικών προϊόντων προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια και το 38% από την αλιεία (ΣΕΘ, 2019). Η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού το 2018 ανήλθε σε 117.000 τόνους (Εικόνα 2) παρουσιάζοντας αύξηση κατά 7% σε σχέση με το προηγούμενο έτος (ΣΕΘ, 2019). Η

τσιπούρα αντιστοιχεί στο 57% του όγκου παραγωγής και το λαβράκι στο 43%. Ο όγκος πωλήσεων, δηλαδή το τελικό προϊόν μετά από οποιαδήποτε μεταποίηση, ανήλθε σε 106.500 τόνους (61.000 τόνοι τσιπούρας και 41.500 τόνοι λαβρακιού) συνολικής αξίας 502,465 εκατομμυρίων ευρώ. Η αύξηση της παραγωγής συνοδεύτηκε από οριακή αύξηση της αξίας πωλήσεων, σχεδόν 1%, λόγω της μειωμένης τιμής και για τα δύο είδη (ΣΕΘ, 2019).

Τα τελευταία χρόνια εκτρέφονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες, εκτός από την τσιπούρα και το λαβράκι, και άλλα είδη όπως ο κρانيός (ή αλλιώς μυλοκόπι) (*Argyrosomus regius*), το φαγκρί (*Pagrus pagrus*) και το μυτάκι (*Diplodus puntazzo*) (ΣΕΘ, 2019). Αν και αντιπροσωπεύουν μόλις το 3% του όγκου παραγωγής της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας, η παραγωγή τους αυξάνεται ετησίως αφενός λόγω της αυξανόμενης ζήτησής τους στην εγχώρια αγορά, αλλά και στις ευρωπαϊκές αγορές, και αφετέρου, λόγω της συστηματικής προσπάθειας διεύρυνσης των ειδών που είναι διαθέσιμα.

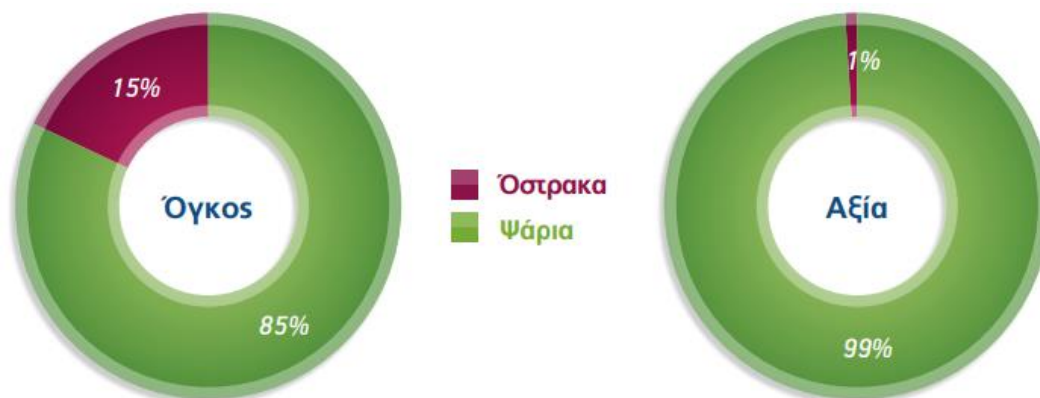


Εικόνα 3: Παραγωγή λοιπών ειδών ιχθυοκαλλιέργειας για το 2018 (Πηγή: ΣΕΘ, 2019).

Το 2018 εκτιμάται ότι παρήχθησαν συνολικά περίπου 3.450 τόνοι, σημειώνοντας αύξηση 12,3% από την προηγούμενη χρονιά. Από τα νέα είδη ο κρانيός και το φαγκρί κατέχουν τα μεγαλύτερα μερίδια παραγωγής με 46% και 50% αντίστοιχα, ενώ ακολουθεί το μυτάκι με 4% (Εικόνα 3). Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία το 2019 η παραγωγή τους αναμένεται να αυξηθεί και να ξεπεράσει τους 4.000 τόνους (+16%) (ΣΕΘ, 2019). Άλλα είδη που καλλιεργούνται στην Ελλάδα είναι ο σαργός (*Diplodus sargus*), η συναγρίδα (*Dentex dentex*), το λυθρίνι (*Pagellus erythrinus*), η κοινή γλώσσα (*Solea solea*) ακόμα και ο κυανόπτερος τόνος (*Thunnus thynnus*) ο οποίος ξεκίνησε να εκτρέφεται σε μονάδες πάχυνσης στην Ελλάδα τα τελευταία περίπου 10-15 χρόνια σε συνεργασία με επιχειρήσεις από Ισπανία και Αυστραλία (<https://fgm.com.gr/article.php?id=15>, Βουλτσιάδου κ.ά, 2015).

Ο συνολικός όγκος παραγωγής της ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας και οστρακοκαλλιέργειας το 2017 ανήλθε σε 125.772 τόνους συνολικής αξίας 534,95 εκατομμυρίων ευρώ (ΣΕΘ, 2019). Το γεγονός αυτό σε σύγκριση με το 2016, αποτελεί μία αύξηση της τάξης του 0,15% ως προς τον όγκο, αλλά και μία μείωση της τάξης του 1,27% ως προς την αξία παραγωγής. Συνυπολογίζοντας και την αξία των ιχθυδίων που παρήχθησαν από τους ιχθυογεννητικούς σταθμούς για το 2017, η συνολική αξία από όλες τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας ανέρχεται στα 624,56 εκατομμύρια ευρώ. Στην Ελληνική παραγωγή τα ψάρια αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου με

το 85% του όγκου και το 99% της αξίας, και ακολουθούν τα μύδια με 12% του όγκου και μόλις το 1% της αξίας παραγωγής (Εικόνα 4) (ΣΕΘ, 2019).



Εικόνα 4: Διάρθρωση παραγωγής ελληνικής υδατοκαλλιέργειας για το 2017 (Πηγή: ΣΕΘ, 2019).

Σήμερα, προκειμένου να δημιουργηθεί και να λειτουργεί σωστά μία νέα μονάδα παραγωγής θαλασσιών ειδών, η επιλογή του τόπου εγκατάστασης αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία της όλης διαδικασίας. Η επιλογή θα πρέπει να γίνεται με τέτοια κριτήρια έτσι ώστε να διασφαλίζεται τόσο η βιωσιμότητα της μονάδας σε σχέση με παράγοντες που μπορεί να την επηρεάσουν όπως η πρόσβαση στις αγορές, η προστασία από φυσικές καταστροφές, η διαθεσιμότητα ειδικευμένου και ανειδίκευτου εργατικού δυναμικού, η ασφάλεια, κ.λπ., όσο και η προστασία του περιβάλλοντος. Οι ιδανικές περιοχές για την εγκατάσταση θαλάσσιων καλλιεργειών είναι συνήθως παράκτιες, ρηχές περιοχές της Μεσογείου με νερό καλής ποιότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερα, σημειώνεται μία ολοένα συχνότερη επικάλυψη των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας με περιοχές οικολογικής σημασίας, συμπεριλαμβανομένων των Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών και των θαλάσσιων περιοχών που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000 (Pharos4MPAs Greek National Report, 2020).

Σχεδόν το 76,1% των μονάδων θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας, στις οποίες αντιστοιχεί το 80,61% των μισθωμένων εκτάσεων και εκτρέφεται το 80,6% της ελληνικής παραγωγής, είναι καταμεμημένο σε τρεις αποκεντρωμένες διοικήσεις, που είναι οι διοικήσεις Πελοποννήσου - Δυτικής Ελλάδας & Ιονίου, Θεσσαλίας- Στερεάς Ελλάδας και Αιγαίου (ΣΕΘ, 2019). Ο κλάδος της ιχθυοκαλλιέργειας έχει δημιουργήσει χιλιάδες θέσεις εργασίας, καθώς σε τοπικό επίπεδο έχει παρουσία στις 11 από τις συνολικά 13 Περιφερειακές Ενότητες της χώρας, οι οποίες είναι οι ακόλουθες: Εύβοιας, Δωδεκανήσου, Αιτωλοακαρνανίας, Κεφαλονιάς, Φθιώτιδας, Θεσπρωτίας, Αττικής, Αργολίδας, Κορίνθου, Πρέβεζας και Χίου (Εικόνα 5) (ΣΕΘ, 2019).

Τα τελευταία χρόνια όμως οι ιχθυοκαλλιέργειες προκαλούν μία αυξανόμενη ανησυχία λόγω των αρνητικών επιπτώσεών τους στο παράκτιο περιβάλλον (Sara *et al.*, 2004; Matijevic *et al.*, 2008; Kaya & Pulatsü, 2017; Neofitou *et al.*, 2019). Οι επιπτώσεις αυτές αφορούν πολλές περιβαλλοντικές παραμέτρους. Η αξιολόγηση και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών είναι απαραίτητη για τις εθνικές διοικητικές αρχές καθώς θα πρέπει να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τον αριθμό και το μέγεθος των ιχθυοτροφικών μονάδων που μπορούν να εγκατασταθούν σε μια περιοχή. Η γνώση αυτή είναι ζωτικής σημασίας και για τον επιχειρηματία, καθώς

σχετίζεται με την υγεία των εκτρεφόμενων οργανισμών κι επομένως και με την βιωσιμότητα και αποδοτικότητα της ιχθυοκαλλιέργειας (Mantzavrakos *et al.*, 2007).

Αποκεντρωμένη Διοίκηση	Αριθμός μονάδων	Θαλάσσια έκταση (στρέμματα)	Εγκεκριμένη Δυναμικότητα
Αιγαίου	56	1.256	15,92 %
Αττικής	27	570	7,22 %
Ηπείρου - Δυτ. Μακεδ.	41	753	9,54 %
Θεσσαλίας - Στερ. Ελλάδ.	74	2.121	26,88 %
Κρήτης	2	50	0,63 %
Μακεδονίας - Θράκης	6	158	2,00 %
Πελοποννήσου - Δυτ. Ελλάδας & Ιονίου	112	2.983	37,80 %
Γενικό άθροισμα	318	7.891	100 %



Εικόνα 5: Η κατανομή των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας στον Ελλαδικό χώρο και η έκτασή τους. (Πηγή: ΣΕΘ, 2019).

1.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι ιχθυοκαλλιέργειες κατηγορούνται συστηματικά ότι αποτελούν πιθανή πηγή σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο υδάτινο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές ποικίλουν και περιλαμβάνουν από την αισθητική αλλοίωση ενός τοπίου και την άμεση σύγκρουση με άλλες παράκτιες δραστηριότητες, όπως ο τουρισμός (όσο αυξάνεται ο αριθμός των δραστηριοτήτων που ανταγωνίζονται στην παράκτια ζώνη τόσο ενισχύεται η ανάγκη ρύθμισης των επιμέρους δραστηριοτήτων μέσω της διαχείρισης της παράκτιας ζώνης), μέχρι και σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα ρύπανσης (Mantzavrakos *et al.*, 2007).

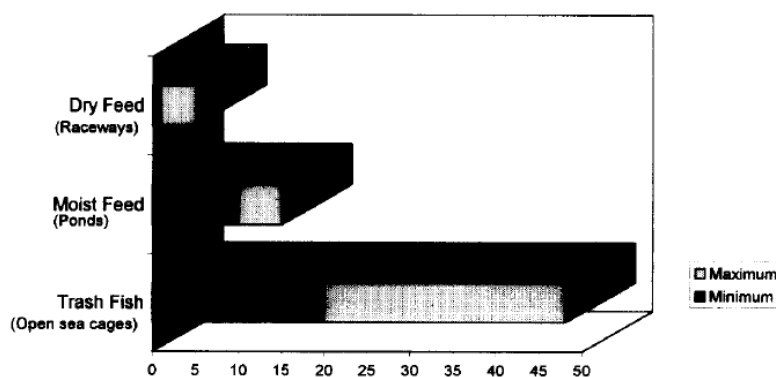
Η εξάντληση των ιχθυαποθεμάτων αποτελεί μία από τις επιπτώσεις που προκαλούν οι μονάδες ιχθυοκαλλιέργειών. Στη Μεσόγειο Θάλασσα καθώς η ιχθυοκαλλιέργεια έχει προοδευτικά μετατοπιστεί από την παραγωγή φυτοφάγων ιχθύων, όπως είναι ο κέφαλος, στην παραγωγή σαρκοβόρων ειδών, όπως είναι το λαβράκι, ένα μεγάλο απόθεμα ψαριών αλιεύεται με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως τροφή για τα εκτρεφόμενα ψάρια (Pharos4MPAs Greek National Report, 2020). Το ζήτημα αυτό, της εξάντλησης των ιχθυαποθεμάτων, είναι εξαιρετικά σημαντικό, διότι τα είδη τα οποία θεωρούνται κατάλληλα για ιχθυοτροφή, αποτελούν ήδη αντικείμενο πλήρους εκμετάλλευσης και δεν αντέχουν πλέον, περισσότερη πίεση από την αλιεία (Pharos4MPAs Greek National Report, 2020).

Ένα άλλο πολύ σημαντικό και σύννηθες φαινόμενο, το οποίο αποτελεί αρνητική επίπτωση των ιχθυοκαλλιέργειών, είναι η διαφυγή και η εισαγωγή μη αυτοχθόνων ειδών στο οικοσύστημα. Τα είδη αυτά, είναι δυνατό να διαφύγουν τυχαία στο φυσικό περιβάλλον και να έρθουν σε ανταγωνισμό με τα αυτόχθονα είδη για την τροφή και το χώρο. Επιπλέον θα μπορούσαν δυνητικά, να αποτελέσουν φορείς διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών ή ακόμη και παρασίτων (Pharos4MPAs Greek National Report, 2020).

Η κυριότερη όμως πηγή αρνητικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών είναι τα απόβλητά τους. Τα απόβλητα των καλλιεργειών μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με το είδος τους σε δύο τύπους: τα στερεά απόβλητα και τα διαλυτά. Στα στερεά απόβλητα ανήκουν ένα ποσοστό της χορηγούμενης τροφής που δεν έχει καταναλωθεί από τα εκτρεφόμενα ψάρια και τα περιττώματα των ψαριών. Στα διαλυτά απόβλητα ανήκουν η αμμωνία, τα φωσφορικά άλατα, ο διαλυτός οργανικός άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος, και τα λιπίδια από την τροφή, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τα επίπεδα των θρεπτικών, και κατά συνέπεια και την τροφική κατάσταση ιδιαίτερα σε περιοχές ρηχές και με περιορισμένη ανανέωση υδάτων, και να προκαλέσουν ευτροφισμό καθώς και εξάντληση του οξυγόνου (Pharos4MPAs Greek National Report, 2020). Επιπλέον στα υγρά απόβλητα των ιχθυοκαλλιεργειών συγκαταλέγονται διάφορες χημικές ουσίες και σκευάσματα που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση και καθαρισμό των εγκαταστάσεων, πρόληψη και αντιμετώπιση παρασιτικών και λοιμωδών νοσημάτων των ψαριών, απόθεση θηρευτών ή ακόμα και για αποφυγή και έλεγχο των βιοαποθέσεων κυρίως λόγω ανάπτυξης εδραίων θαλάσσιων οργανισμών (Grigorakis & Rigos, 2011).

Η σημαντικότερη ίσως από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων των ιχθυοκαλλιεργειών είναι η αύξηση του οργανικού υλικού του βενθικού περιβάλλοντος (Holmer & Kristensen, 1992; Wu *et al.*, 1994; Karakassis *et al.*, 2000). Τα πλούσια οργανικά συστατικά απελευθερώνονται από τις ιχθυοκαλλιέργειες, ως στερεά υπολείμματα τροφίμων και περιττώματα, και αυξάνουν το οργανικό περιεχόμενο των ιζημάτων, οδηγώντας σε μεταβολές με αρνητική επίδραση στην βιογεωχημεία του ιζήματος και τις βενθικές κοινότητες, τόσο τοπικά όσο και στη γύρω θαλάσσια περιοχή (Holmer & Kristensen, 1996; Karakassis & Hatziyanni, 2000; Pitta *et al.*, 2006; Degefu *et al.*, 2011).

Παράδειγμα αποτελεί μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον κόλπο του Αστακού (Ανατολικό Εσωτερικό Αρχιπέλαγος Ιονίου), όπου παρατηρήθηκε σε έναν από τους σταθμούς δειγματοληψίας κάτω από την ιχθυοκαλλιέργεια, συσσώρευση οργανικής ύλης πάνω από έναν επίπεδο, ιλυώδη πυθμένα. Η συσσώρευση αυτή, είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας μαύρης νεφελοειδούς στρώσης πάνω από τον πυθμένα, πάχους περίπου 70 εκατοστών. Αυτή η νεφελοειδής στρώση, από οργανικό υλικό, απελευθερώνει φυσαλίδες, με έντονη την οσμή του υδρόθειου (Belias *et al.*, 2003).



Εικόνα 6: Απώλειες ανά τύπο χορηγούμενων ιχθυοτροφών. (Πηγή: Beveridge *et al.*, 1991)

Η απώλεια των ιχθυοτροφών στο περιβάλλον κατά την χορήγηση των σιτηρεσιών είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση οργανικού υλικού στον πυθμένα (Ackefors & Enell, 1990; Hall *et al.*, 1990; Seymour & Bergheim, 1991; Mente *et al.*, 2006). Μπορεί να κυμαίνεται από 1% έως 48%, ανάλογα με τον τύπο της χορηγούμενης τροφής, τις πρακτικές τροφοδοσίας, τη μέθοδο καλλιέργειας και το καλλιεργούμενο είδος (Beveridge *et al.*, 1991; Goddard, 2012). Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για απώλειες της τάξης του 10% με 48% για τροφές παρασκευασμένες από ψάρια που δεν έχουν ιδιαίτερη εμπορική αξία, απώλειες της τάξης 5% με 15% κατά την χορήγηση υγρών σιτηρεσιών και 1% έως 5% για τη χορήγηση ξηρής τροφής (Εικόνα 6) (Goddard, 2012).

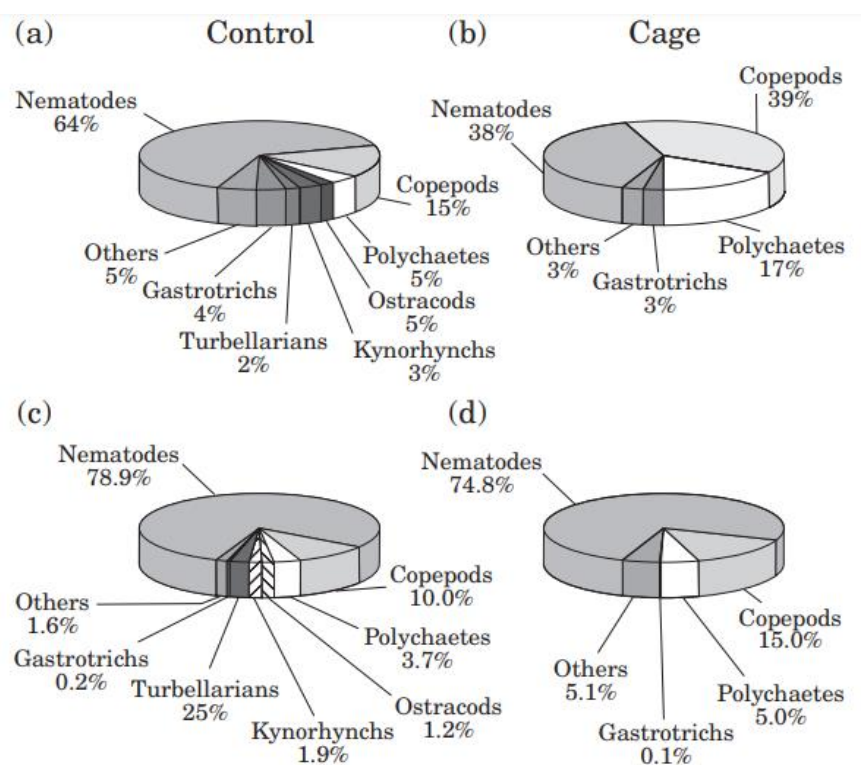
Ένα σημαντικό κλάσμα των συστατικών των χορηγούμενων τροφών όπως πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες και άλλα θρεπτικά συστατικά όπως ο φωσφόρος (P) αποβάλλεται μέσω των περιττωμάτων των ψαριών (Grigorakis & Rigos, 2011). Πιο συγκεκριμένα, οι απεκκρίσεις των ψαριών, από τα νεφρά και τα βράγχια, μπορούν να εισάγουν ορισμένες διαλυτές ενώσεις στο περιβάλλον (Grigorakis & Rigos, 2011). Έτσι η αμμωνία (NH₃) που αποτελεί το τελικό προϊόν του μεταβολισμού των πρωτεϊνών, εκκρίνεται μέσω των βραγχίων και αντιπροσωπεύει το κύριο συστατικό της απέκκρισης αζώτου (N) (Grigorakis & Rigos, 2011). Τα υπόλοιπα συστατικά όπως λίπη και λιπαρά οξέα, υδατάνθρακες και άλλα θρεπτικά, έχουν κυρίως τη μορφή ουρίας, κρεατινίνης και άλλων εκκρίσεων (Grigorakis & Rigos, 2011). Αντίθετα το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) όπου εκκρίνεται επίσης από τα βράγχια, και αντιπροσωπεύει το 50% της απώλειας άνθρακα, έχει περιορισμένο αντίκτυπο στο περιβάλλον (Dorsat, 2001).

Κατά την παρακολούθηση τεσσάρων μεσογειακών ιχθυοτροφικών εκμεταλλεύσεων που παράγουν λαβράκι και τσιπούρα, διαπιστώθηκε ότι η κυρίαρχη μορφή όλων των αποβλήτων ήταν η αμμωνία, ακολουθούμενη από το σωματιδιακό άζωτο (Holmer *et al.*, 2008). Ο φωσφόρος από την άλλη πλευρά παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό απελευθέρωσης υπό την μορφή λεπτών σωματιδίων, και λιγότερο ως διαλυμένα φωσφορικά ιόντα (Grigorakis & Rigos, 2011). Έχει υπολογιστεί ότι τα δύο προαναφερθέντα είδη (λαβράκι και τσιπούρα) απελευθερώνουν 1,5 φορές περισσότερο άζωτο και φώσφορο από τον σολομό Ατλαντικού (*Salmo salar*) (Islam, 2005; Holmer *et al.*, 2008). Αυτό υπογραμμίζει τις σοβαρές επιπτώσεις της καλλιέργειας των δύο αυτών ειδών, που κυριαρχούν στη μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια (Grigorakis & Rigos, 2011). Οι Karakassis *et al.* (2005), σε μια προγενέστερη μελέτη, υπολόγισαν ότι οι συνολικές ποσότητες του αζώτου και του φωσφόρου που προέρχονται από την ιχθυοκαλλιέργεια στην Μεσόγειο αντιπροσωπεύει το 5% των συνολικών ετήσιων ανθρωπογενών εισροών στην περιοχή. Οι μακροπρόθεσμες συνέπειες μπορούν να επηρεάσουν πολύ σοβαρά τη μεσογειακή βιοποικιλότητα (Grigorakis & Rigos, 2011).

Η σωματιδιακή οργανική ύλη που κατακρημνίζεται στην υδάτινη στήλη κι εναποτίθεται στο θαλάσσιο πυθμένα μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη αναγωγικών συνθηκών στο ιζήμα και στην παραγωγή τοξικών αερίων όπως η αμμωνία, το μεθάνιο και το υδρόθειο με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στη δομή της μακροβενθικής κοινότητας και στη μείωση της βενθικής βιοποικιλότητας (Matijevic *et al.*, 2008).

Όσον αφορά στο μικροβιακό βένθος, έχει αποδειχθεί ότι η βακτηριακή και η ολική μικροβιακή πυκνότητα αυξάνονται σημαντικά στα φορτισμένα με οργανική ύλη ιζήματα. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται μία αύξηση της

πυκνότητας των προκαρυωτικών κυττάρων, καθώς και μία μείωση της πυκνότητας των ευκαρυωτικών κυττάρων, ενώ ο λόγος της συνολικής βακτηριακής βιομάζας προς τη μέση φαινομενική βιομάζα αυξάνεται κατά 3 με 4 φορές στις περιοχές που επηρεάζονται (Danovaro *et al.*, 2003). Γενικά, η μεγαλύτερη και σημαντικότερη επίδραση των αποβλήτων της ιχθυοκαλλιέργειας στην βενθική πανίδα είναι η μείωση του αριθμού των ειδών (Mazzola *et al.*, 2000; La Rosa *et al.*, 2001) και η διαφοροποίηση της σύνθεσης των ειδών. Από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με τη διαταραχή της βιοποικιλότητας από την ενίσχυση του οργανικού φορτίου του πυθμένα φαίνεται ότι τα κωπήποδα, τα νηματώδη (έχει παρατηρηθεί και μία αξιοσημείωτη αύξηση του μεγέθους των ατόμων για ορισμένα είδη νηματωδών) και οι πολύχαιτοι κυριαρχούν στη μειοπανίδα της επηρεαζόμενης ζώνης (Εικόνα 7) (Mazzola *et al.*, 2000; Mirto *et al.*, 2000; La Rosa *et al.*, 2001).



Εικόνα 7: Διαταραχή της βιοποικιλότητας του μειοβένθους κάτω από τους κλωβούς. (Πηγή: Mazzola *et al.*, 2000).

Η ζώνη επιρροής γύρω από μία ιχθυοκαλλιέργεια και το εύρος των επιπτώσεων της εξαρτώνται τόσο από φυσικούς όσο και τεχνικούς παράγοντες. Για να γίνει πιο κατανοητή η ζώνη επιρροής γύρω από μία ιχθυοκαλλιέργεια ο Silvert (1992), διαίρεσε την ζώνη αυτή σε τρεις μικρότερες ζώνες επιπτώσεων από τα παράγωγα των ιχθυοκαλλιεργειών (Ervik *et al.*, 1997; Karakassis *et al.*, 2005). Η πρώτη ζώνη, τοπικού αντικτύπου, είναι η περιοχή εντός της οποίας καταβυθίζονται τα περισσότερα σωματίδια της χορηγούμενης τροφής (σύμπληκτα) κυρίως κάτω από τους κλωβούς και κοντά σε αυτούς. Η δεύτερη ζώνη ενδιάμεσης επιρροής, είναι η κύρια περιοχή καθίζησης μικρότερων και ελαφρύτερων οργανικών σωματιδίων, όπως τα σωματίδια των περιττωμάτων των εκτρεφόμενων οργανισμών και η εκ νέου απόθεση επαναιωρημένης ύλης από τη ζώνη τοπικού αντικτύπου. Η τρίτη

ζώνη, περιφερειακού αντικτύπου, αποτελείται από γειτονικά υδάτινα σώματα, τα οποία επηρεάζονται κυρίως από τα θρεπτικά συστατικά της ιχθυοκαλλιέργειας (Ervik *et al.*, 1997; Karakassis *et al.*, 2005).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θαλάσσιων ιχθυοκαλλιεργειών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο καλλιέργειας, τα είδη που καλλιεργούνται, την χωρητικότητα, τον τύπο των ιχθυοτροφών, και τις πρακτικές εκτροφής (διαχείριση της τροφής) (Ervik *et al.*, 1997). Επιπλέον, ο βαθμός των επιπτώσεων εξαρτάται και από τις υδρογραφικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπως η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων, το βάθος, η θερμοκρασία, καθώς και από την φύση του υποστρώματος όπως η σύνθεση των ιζημάτων (λεπτόκοκκα ή αδρόκοκκα ιζήματα), η εποχική επαναιώρηση λόγω καταιγίδων και η παρουσία βενθικής χλωρίδας και πανίδας (Findlay & Watling, 1994; Gowen *et al.*, 1994; Silvert, 1994).

Σημαντικό ρόλο στον βαθμό των επιπτώσεων διαδραματίζει η επηρεαζόμενη βιοκοινότητα και η τοποθεσία εγκατάστασης της ιχθυοκαλλιέργειας, δηλαδή αν βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα ή σε παράκτια περιοχή (Grigorakis & Rigos, 2011). Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Μεσόγειο και ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο έχουν αποδείξει ότι η λειτουργία των ιχθυοκαλλιεργειών στις παράκτιες περιοχές, επηρεάζει το θαλάσσιο περιβάλλον, ιδιαίτερα κοντά στους ιχθυοκλωβούς, καθώς οι συγκεντρώσεις αμμωνίας, φωσφορικών αλάτων, πυριτικών αλάτων και διαλυμένου οργανικού άνθρακα αυξάνονται σε σύγκριση με τις τιμές αναφοράς που επικρατούν στην περιοχή (Belias *et al.*, 2003). Ένα τέτοιο βενθικό περιβάλλον είναι δυσμενές για την ανάπτυξη και την επιβίωση των βενθικών οργανισμών με αποτέλεσμα η πανίδα και η χλωρίδα να κινδυνεύουν να εξαφανιστούν (Karakassis & Hatziyanni, 2000).

Όσον αφορά τώρα στην εκτίμηση αυτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία, όπως χημικές αναλύσεις στο νερό και τα ιζήματα, αναλύσεις σταθερών ισωτόπων άνθρακα και αζώτου, μικροβιακών δεικτών, βιοχημικών όπως χλωροφύλλη-α ή ακόμη και διάφορα μικροβιοχημικά και μαθηματικά μοντέλα (Grigorakis & Rigos, 2011). Ένα από τα πιο μελετημένα μεσογειακά βενθικά ενδιαιτήματα που χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση του αντικτύπου της ιχθυοκαλλιέργειας είναι τα λιβάδια Ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*) (Delgado *et al.*, 1999; Holmer *et al.*, 2008; Apostolaki *et al.*, 2009). Τα λιβάδια Ποσειδωνίας έχουν επιλεγεί ως βιοδείκτης οργανικής φόρτισης των ιζημάτων επειδή η Ποσειδωνία είναι ένα ενδημικό μεσογειακό είδος θαλάσσιου φανερόγαμου φυτού το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο στις ακτές. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο παράκτιο οικοσύστημα, επειδή αποτελεί μία σημαντική πηγή τροφής για τη βενθική πανίδα, προσφέρει καταφύγιο από θηρευτές, χρησιμεύει ως χώρος αναπαραγωγής και ανάπτυξης για πολλά είδη ψαριών, έχει δομικό ρόλο που ενισχύει την πολυπλοκότητα των οικοτόπων και τροποποιεί την υφή των ιζημάτων και την υδροδυναμική της περιοχής (Duarte, 2002). Έχουν παρατηρηθεί διάφορες και σύνθετες επιδράσεις των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας σε λιβάδια Ποσειδωνίας. Η καθίζηση του οργανικού υλικού κατά κύριο λόγο επηρεάζει και αλλοιώνει τις βιογεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα ιζήματα. Έχει παρατηρηθεί επιπλέον, ότι τροποποιεί τη μικροβιακή δραστηριότητα κι επομένως και την αναγέννηση των θρεπτικών ουσιών, καθώς οδηγεί σε αύξηση των θειούχων ιζημάτων και απελευθέρωση υδροθείου, με αποτέλεσμα την μείωση της έκτασης των λιβαδιών Ποσειδωνίας. Επιπρόσθετες επιπτώσεις της ιχθυοκαλλιέργειας είναι η αύξηση των επιφύτων και σε

ορισμένες περιπτώσεις και η αύξηση των εχινοειδών που τρέφονται στα λιβάδια Ποσειδωνίας συντελώντας έτσι στην περαιτέρω υποβάθμισή τους. Ένα άλλο αρνητικό αποτέλεσμα της αποτιθέμενης οργανικής ύλης είναι η απώλεια θρεπτικών ουσιών και άνθρακα από τα λιβάδια Ποσειδωνίας και η τροποποίηση του λειτουργικού τους ρόλου στους κύκλους θρεπτικών και άνθρακα και η μετατροπή των λιβαδιών Ποσειδωνίας από 'πηγές' (sinks) σε 'πηγές' (sources) (Apostolaki *et al.*, 2009). Οι Holmer *et al.* (2008) παρατήρησαν ότι με τις τρέχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες οι βλαστοί μειώνονται κατά το ήμισυ μέσα σε 3 έως 26 μήνες και τα λιβάδια κοντά στους ιχθυοκλωβούς εξαφανίζονται μέσα σε 5 με 11 χρόνια.

Ορισμένοι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μεθόδους πολυπαραμετρικής ανάλυσης οικολογικών δεδομένων προκειμένου να εξηγήσουν τη μεταβλητότητα της βενθικής μακροπανίδας (ατομική αφθονία, πλούτος ειδών, ποικιλία, κ.λπ.) (Grigorakis & Rigos, 2011) και κατάφεραν να προσδιορίσουν τρεις ομάδες περιβαλλοντικών μεταβλητών. Η πρώτη είναι η υδρογραφία (το βάθος, η απόσταση από την μονάδα και η μέση ταχύτητα ρεύματος) η οποία δικαιολογεί το 11,5% της διακύμανσης, η δεύτερη είναι το ίζημα (το pH και τα ποσοστά λύος και ολικής οργανικής ύλης) η οποία δικαιολογεί το 5,4% της διακύμανσης και η τρίτη, οι κλωβοί της καλλιέργειας (ο συνολικός χρόνος παραγωγής και η ιχθυοφόρτιση) η οποία εξηγεί το 15,2% της συνολικής μεταβλητότητας της βενθικής μακροπανίδας. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των τριών ομάδων δικαιολογούν ένα περαιτέρω ποσοστό της μεταβλητότητας της τάξης του 21% (Grigorakis & Rigos, 2011).

Οι επιπτώσεις, όμως των ιχθυοκαλλιέργειών δεν έχουν αντίκτυπο μόνο στο περιβάλλον αλλά και στην οικονομία. Μία προφανής και πολύ σημαντική επίπτωση των ιχθυοκαλλιέργειών στην οικονομία και συνάμα στο περιβάλλον, είναι η ανάγκη για περισσότερους θαλάσσιους πόρους ως εισροές (Goldburg *et al.*, 2005). Τις τελευταίες δύο δεκαετίες περίπου 30 εκατομμύρια τόνοι ετησίως, ποσό που αντιστοιχεί σχεδόν στο ένα τρίτο των σημερινών ετήσιων παγκόσμιων αλιευμάτων, χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων για την παραγωγή ζωοτροφών (Goldburg *et al.*, 2005). Ένα αυξανόμενο ποσοστό αυτών των αλιευμάτων χρησιμοποιείται στην ιχθυοκαλλιέργεια, καθώς αυξάνεται η παραγωγή της βιομηχανίας αυτής, και τα υποπροϊόντα της βιομηχανίας παραγωγής ανθρώπινων τροφίμων από εκτρεφόμενα ζώα και πουλερικά αντικαθιστούν το ιχθυάλευρο με λιγότερο δαπανηρά συστατικά (Goldburg *et al.*, 2005). Αξίζει να αναφερθεί ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό 999/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης που προέρχονται από παραγωγικά χερσαία ζώα (με εξαίρεση τα αιματάλευρα και τα υδρολυμένα πτηνάλευρα και πτεράλευρα) απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται ως συστατικά των ιχθυοτροφών. Το 2001, περίπου 17,7 εκατομμύρια τόνοι ψαριών, θαλάσσιων και γλυκών υδάτων, τρέφονταν με ιχθυάλευρα που περιείχαν συστατικά που προέρχονταν από 17-20 εκατομμύρια τόνους άγριων ιχθύων, όπως γαύρο (*Engraulis encrasicolus*), σαρδέλα (*Sardina pilchardus*) και καπελάνο (*Mallotus villosus*) (Tacon, 2003). Άλλα είδη εκτροφής, όπως οι κυπρίνοι και τα μαλάκια που διατρέφονται με φιλτράρισμα νερού, δεν χρειάζεται να τους χορηγηθεί ιχθυοτροφή, καθώς διηθούν το θαλασσινό νερό για να πάρουν τα απαραίτητα για την επιβίωσή τους συστατικά (Goldburg *et al.*, 2005). Σήμερα είναι επιτακτική ανάγκη αντικατάστασης των ιχθυαλεύρων από εναλλακτικές φυτικές πηγές πρωτεϊνών, ωστόσο, εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνη και της έλλειψης

αμινοξέων, η χρήση τους σε βιομηχανικό επίπεδο δεν είναι η επιθυμητή. Σε επίπεδο πειραματικής εκτροφής έχει αποδειχθεί ότι τα ψάρια χαμηλότερου τροφικού επιπέδου με χορτοφαγικές διατροφικές συνήθειες και απαιτήσεις ανταποκρίνονται καλύτερα από εκείνα υψηλού τροφικού επιπέδου (Βουλτσιάδου κ.ά., 2015).

Εκτός όμως από τις επιπτώσεις λόγω της αύξησης του οργανικού περιεχομένου των ιζημάτων του πυθμένα, έχει μελετηθεί και η ικανότητα του περιβάλλοντος να ανακάμπτει μετά από την παύση της λειτουργίας των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας (Grigorakis & Rigos, 2011). Επιπλέον έχουν προταθεί κι εφαρμοστεί διάφορα μέτρα και τεχνικές μετριασμού προκειμένου να προληφθούν ή/και να αντιμετωπισθούν οι δυσμενείς αυτές επιπτώσεις στη διάρκεια της λειτουργίας των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας.

1.3 Τεχνικές μετριασμού

1.3.1 Νομοθεσία και σχέδια διαχείρισης

Η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη, υπό την προϋπόθεση όμως, ότι οι φορτίσεις ρύπανσης που παράγονται από τους ιχθυοκλωβούς διατηρούνται αρκετά κάτω από τη φέρουσα ικανότητα του υδάτινου συστήματος. Τα αρνητικά αποτελέσματα μπορούν να μειωθούν σημαντικά με την προσεκτική επιλογή της θέσης, τη διατροφή με βελτιωμένες ιχθυοτροφές και την συν-καλλιέργεια ή/και την ολοκληρωμένη πολυκαλλιέργεια (μακροφύκη/φανερόγαμα, οστρακοειδή). Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης της ρύπανσης των ιχθυοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μετριασμού.

Πιο συγκεκριμένα, το Ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, στο Άρθρο 6 της Κ.Υ.Α. περί «Έγκρισης Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις υδατοκαλλιέργειες και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού» (ΦΕΚ 2505/Β/4.11.2011), αναφέρεται ότι: «*Κατά τη λειτουργία των μονάδων είναι σκόπιμο οι ιχθυοκλωβοί να μετακινούνται ανά τακτά διαστήματα (π.χ. ανά πενταετία) εντός της μισθωμένης θαλάσσιας έκτασης για την καλύτερη διασπορά του σωματιδιακού υλικού*». Επιπλέον το Υπουργείο προτείνει ως προαιρετικά μέτρα, την χρήση καινοτόμων εφαρμογών και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους στα ελληνικά ύδατα, όπως π.χ. την καλλιέργεια φυκών σε συνδυασμό με την ιχθυοκαλλιέργεια, ως εργαλείο για τη μείωση της απελευθέρωσης των ανόργανων θρεπτικών αλάτων ή την καλλιέργεια οστρακοειδών (κυρίως μυδιών) σε συνδυασμό με την ιχθυοκαλλιέργεια, ως εργαλείο για τη μείωση του σωματιδιακού υλικού, καθώς και την χρήση αποτελεσματικότερων εγκαταστάσεων σε περιστατικά ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία συνήθως ευθύνονται για τα επεισόδια διαφυγής εκτρεφόμενων ειδών. Η μετεγκατάσταση της μονάδας θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη απόσταση από τα αρχικά όρια της προηγούμενης. Για τον λόγο αυτό η Βουλή το 2014 ψήφισε τον Νόμο 4282/ΦΕΚ Α 182/29.08.2014, όπου στο κεφάλαιο Α' στο Άρθρο 1 αναφέρει ότι, η μετακίνηση του συνόλου των πλωτών εγκαταστάσεων της μονάδας σε άλλη υδάτινη έκταση θα πρέπει να γίνεται εκτός της μισθωμένης υδάτινης έκτασης και σε απόσταση τουλάχιστον 250mέτρων από τα όρια της αρχικά μισθωμένης υδάτινης έκτασης.

Επιπλέον κανονισμούς για την ορθή λειτουργία μιας μονάδας θαλάσσιας καλλιέργειας δεν έχει ορίσει μόνο το ελληνικό δίκαιο αλλά και το ευρωπαϊκό. Στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) το ρυθμιστικό και νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των υδατοκαλλιεργειών, έχει αναπτυχθεί σε συνάρτηση με τις διεθνείς απαιτήσεις και τις εθνικές ανάγκες. Ενδεικτικά ορισμένες από τις Οδηγίες της ΕΕ που είναι σχετικές με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών είναι η Οδηγία για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (85/337/EEC & 97/11/EEC), η Οδηγία για τις επικίνδυνες ενώσεις (76/464/EEC) και η Οδηγία για την εκτίμηση περιβαλλοντικής στρατηγικής (2001/42/EC). Επιπλέον στο έγγραφο εργασίας των αρμόδιων επιτροπών της ΕΕ (SWD, 2016) περιγράφονται οι δυνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της υδατοκαλλιέργειας, του περιβάλλοντος και των 11 Παραμέτρων Ποιοτικής Περιγραφής (Descriptors, D) της Οδηγίας Πλαίσιο για τη Θάλασσα Στρατηγική (2008/56/EK, Marine Strategy Framework Directive -MSFD). Η εφαρμογή της MSFD από τα κράτη-μέλη της ΕΕ, θα αποβεί επωφελής για την υδατοκαλλιέργεια. Η μείωση των ρύπων (D8 - Συγκεντρώσεις των ρυπογόνων ουσιών), ο περιορισμός του εμπλουτισμού του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε θρεπτικά (D5 - Ευτροφισμός) και απορρίμματα (D10 - θαλάσσια απορρίμματα), θα οδηγήσουν σε βελτίωση της ποιότητας των υδάτων για την υδατοκαλλιέργεια, θα μειώσουν φαινόμενα υποβάθμισης της ποιότητας των καλλιεργούμενων ιχθύων (D9 - Ρυπογόνες ουσίες σε ψάρια και άλλα θαλασσινά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση) και τα προβλήματα που προκαλούνται από τα θαλάσσια απορρίμματα στα ψάρια και τον εξοπλισμό των μονάδων. Παράλληλα, η σωστά χωροθετημένη αιφόρος υδατοκαλλιέργεια αυτόχθονων ειδών (D2 - Ξενικά είδη) που τηρεί τους περιβαλλοντικούς όρους που έχουν οριστεί (D6 - Ακεραιότητα του θαλάσσιου βυθού), συμβάλλει στην επίτευξη της Καλής Περιβαλλοντικής Κατάστασης (Good Environmental Status, GES) στο πλαίσιο της MSFD καθώς η μεγαλύτερη παραγωγή από την υδατοκαλλιέργεια συνεπάγεται μειωμένη πίεση στα ιχθυαποθέματα, εφόσον βασίζεται σε μια οικολογικά βιώσιμη πηγή ιχθυοτροφών (D3 -Εμπορικά εκμεταλλεύσιμα αλιεύματα). Η καλλιέργεια διηθηματοφάγων οργανισμών οδηγεί σε βελτίωση της διαύγειας του νερού (D5 - Ευτροφισμός), όπως έχουν δείξει οι οστρακοκαλλιέργειες στη Βαλτική.

Επιπλέον αρκετές διεθνείς συμβάσεις που έχουν δημιουργηθεί και στοχεύουν στην προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος από φαινόμενα ρύπανσης, όπως είναι η Σύμβαση OSPAR για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος του βορειοανατολικού Ατλαντικού, η Σύμβαση του Ελσίνκι (HELCOM) για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Βαλτικής θάλασσας και η Σύμβαση της Βαρκελώνης για την προστασία της Μεσογείου από τη ρύπανση, σχετίζονται έμμεσα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υδατοκαλλιεργειών. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι οδηγίες της ΕΕ καθώς και οι διεθνείς και ευρωπαϊκές συμβάσεις βασίζονται στο ισχυρισμό του «ο ρυπαίνων πληρώνει», κατά τον οποίο τα έξοδα από τα μέτρα πρόληψης, ελέγχου και μείωσης της ρύπανσης επιβαρύνουν τον ρυπαίνοντα. Έτσι όλες αυτές οι διατάξεις και οι κανονισμοί αποσκοπούν στην αρχή της προφύλαξης του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα στην επαναφορά της αρχικής κατάστασης του φυσικού κεφαλαίου.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο της παρούσας διπλωματικής οι επιπτώσεις αυτές περιλαμβάνουν από άμεσες συγκρούσεις με άλλες παράκτιες δραστηριότητες μέχρι και σοβαρά περιβαλλοντικά

προβλήματα ρύπανσης. Για την πρόληψη και αντιμετώπιση των ανωτέρω αλλά και την διαφύλαξη της υγιούς και λειτουργικής βιομηχανίας της ιχθυοκαλλιέργειας έχουν σχεδιαστεί ορισμένες στρατηγικές (Πίνακας 2) (FAO, 1991).

Πίνακας 2: Στρατηγικές διαχείρισης (FAO, 1991).

	Στρατηγικές
Στρατηγική 1	Η σωστή χρήση της οικολογικής ικανότητας της παράκτιας ζώνης για την παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων και τη δημιουργία εισοδήματος.
Στρατηγική 2	Η ανάπτυξη μηχανισμών πολιτικής και διαχείρισης για τη μείωση των συγκρούσεων με άλλες παράκτιες δραστηριότητες.
Στρατηγική 3	Η πρόληψη ή η μείωση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παράκτιας υδατοκαλλιέργειας.
Στρατηγική 4	Η διαχείριση και ο έλεγχος των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας για να εξασφαλιστεί ότι οι επιπτώσεις τους παραμένουν εντός αποδεκτών ορίων.
Στρατηγική 5	Η μείωση των κινδύνων για την υγεία των ανθρώπων από την κατανάλωση προϊόντων υδατοκαλλιέργειας.

Προκειμένου να εφαρμοστούν αυτές οι στρατηγικές, για την ομαλή λειτουργία της παράκτιας ζώνης σε συνδυασμό με την σωστή και ασφαλή λειτουργία των υδατοκαλλιεργειών, με μειωμένες τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, έχουν προταθεί ορισμένες δράσεις για την διασφάλιση αυτού του αποτελέσματος (Πίνακας 3) (FAO, 1991).

Πίνακας 3: Δράσεις ολοκληρωμένης παράκτιας διαχείρισης (FAO, 1991).

	Δράσεις
Δράση 1	Διαμόρφωση των σχεδίων ανάπτυξης και διαχείρισης της παράκτιας υδατοκαλλιέργειας.
Δράση 2	Διατύπωση ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης των παράκτιων ζωνών.
Δράση 3	Εφαρμογή της διαδικασίας Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) σε όλες τις σημαντικές προτάσεις υδατοκαλλιέργειας.
Δράση 4	Επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την παράκτια υδατοκαλλιέργεια.
Δράση 5	Βελτίωση της διαχείρισης των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας.
Δράση 6	Αξιολόγηση της ικανότητας του οικοσυστήματος να διατηρεί την ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας με ελάχιστες οικολογικές μεταβολές.
Δράση 7	Καθορισμός κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με τη χρήση του μαγκρόβιου υγροβιότοπου για την παράκτια υδατοκαλλιέργεια.
Δράση 8	Καθορισμός κατευθυντήριων γραμμών για τη χρήση βιοενεργών ενώσεων στην υδατοκαλλιέργεια.
Δράση 9	Αξιολόγηση των πραγματικών συνεπειών των μεταφορών και των εισαγωγών εξωτικών οργανισμών.
Δράση 10	Ρύθμιση των απορρίψεων από χερσαία υδατοκαλλιέργεια μέσω της εφαρμογής των προτύπων εκροής.
Δράση 11	Καθορισμός μέτρων ελέγχου ποιότητας για τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας.
Δράση 12	Αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού σχετικά με τις πτυχές ασφάλειας της κατανάλωσης θαλασσιών.
Δράση 13	Εφαρμογή κινήτρων και αποτρεπτικών μέτρων για τη μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης από τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας.
Δράση 14	Παρακολούθηση για την οικολογική αλλαγή.

Η εφαρμογή αυτών των στρατηγικών και των επι μέρους δράσεων θα επιφέρει ισορροπία μεταξύ της ποιότητας του περιβάλλοντος, των συμφερόντων της υδατοκαλλιέργειας (του επιχειρηματία) και των συμφερόντων των τοπικών κοινωνιών, καθώς και της ευρύτερης αλλά και της διεθνούς κοινότητας (FAO, 1991).

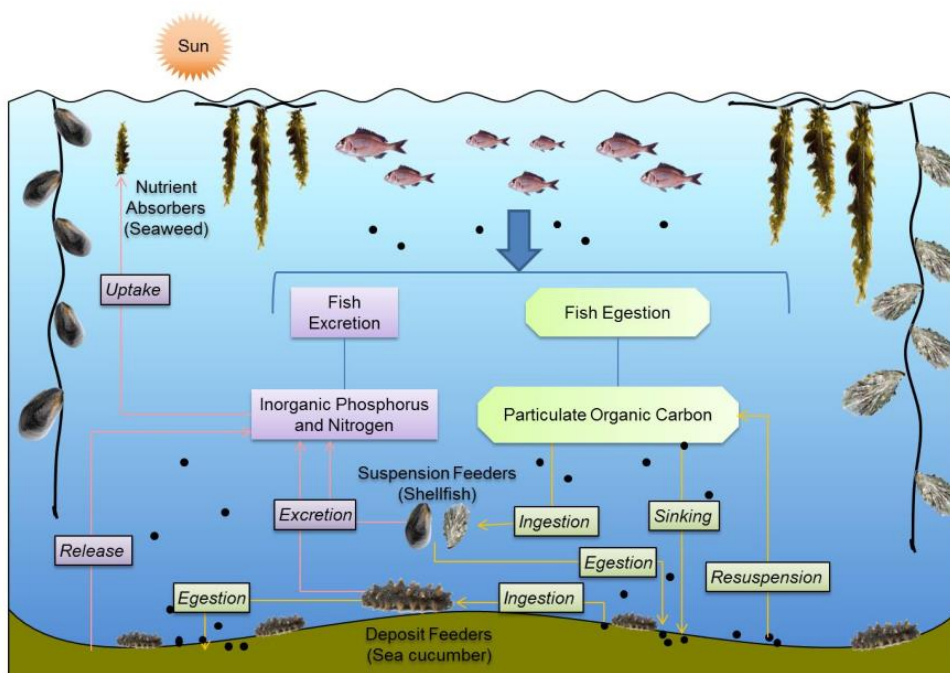
1.3.2 Πρακτικές τεχνικές μετριασμού

Κατά την τελευταία δεκαετία, οι επιστήμονες μελέτησαν διάφορους τρόπους προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγικότητα αλλά και να μειωθούν οι επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών στο γειτονικό υδάτινο περιβάλλον. Αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν διάφορες πρακτικές/τεχνικές μετριασμού προκειμένου να μειωθούν οι επιπτώσεις αυτές.

Μία τέτοια τεχνική είναι ο αερισμός, κατά τον οποίο γίνεται έγχυση κατάλληλων ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου στο νερό με συστήματα αεριστήρων. Η τεχνική αυτή έχει σκοπό την αποτελεσματική αύξηση του κορεσμού του οξυγόνου στο υδάτινο περιβάλλον και ως εκ τούτου τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της ιχθυοκαλλιέργειας (Boyd *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018). Ωστόσο η μέθοδος του αερισμού δεν αποτελεί μία οικονομικά αποδοτική λύση καθώς έχει περιορισμένες εφαρμογές (Tolon *et al.*, 2017).

Μία άλλη τεχνική μετριασμού που μελετήθηκε προκειμένου να μετριασθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών κυρίως κοντά στις παράκτιες περιοχές είναι η επιλογή της υπεράκτιας ιχθυοκαλλιέργειας (offshore aquaculture). Η τεχνική αυτή προσφέρει ένα καλύτερο περιβάλλον για την διάχυση των αποβλήτων της ιχθυοκαλλιέργειας (Van den Burg *et al.*, 2017; Lester *et al.*, 2018). Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτεί πολύ ισχυρά και ανθεκτικά συστήματα και εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειας, διότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνες λόγω των ισχυρών θαλάσσιων ρευμάτων και ανέμων και του έντονου κυματισμού (Tolon *et al.*, 2017).

Ίσως η καλύτερη τεχνική μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών, που έχει μελετηθεί και εφαρμοστεί μέχρι σήμερα είναι η συν-καλλιέργεια και πιο συγκεκριμένα η Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) ή αλλιώς Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (Εικόνα 8) (Chopin, 2012).



Εικόνα 8: Εννοιολογικό διάγραμμα του συστήματος ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (IMTA) (Πηγή: Zhang *et al.*, 2019).

Υπάρχουν αρκετές μελέτες οι οποίες εξετάζουν τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη της κοινής καλλιέργειας ψαριών, οστρακοειδών και θαλάσσιων φυτών. Οι θαλάσσιοι φυτικοί οργανισμοί (μακροφύκη και φανερόγαμα) έχουν την δυνατότητα να δεσμεύσουν τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά που παράγονται από το καλλιεργούμενο είδος ψαριού ή τα συστατικά που μπορούν να απελευθερωθούν από τα ιζήματα μέσω της ροής στη διεπιφάνεια νερού-ιζήματος (Yokoyama & Ishihi, 2010; Yokoyama, 2013). Η συν-καλλιέργεια με την χρήση φυκών του γένους *Gracilaria* καθώς και η οικονομική της αξία έχει μελετηθεί και προταθεί από τους Buschmann *et al.* (2006), καθιστώντας τα έτσι (σε όσες χώρες ευδοκίμούν) μία προφανή επιλογή για την ανάπτυξη ΙΜΤΑ.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται, μεταξύ άλλων οργανισμών που δύνανται να συν-καλλιεργηθούν σε ΙΜΤΑ, θαλάσσια μακροφύκη και φανερόγαμα που έχουν την δυνατότητα να δεσμεύουν τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά (Nutrient absorbers) που απελευθερώνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον από τη λειτουργία μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας και να ελαχιστοποιηθεί με τον τρόπο αυτό η εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων.

Πίνακας 4: Ενδεικτικοί θαλάσσιοι οργανισμοί που μπορούν να συν-καλλιεργηθούν σε ΙΜΤΑ (Πηγή: Zhang *et al.*, 2019).

Nutrient absorber (N)	Suspension feeder (S)	Deposit feeder (D)	Others (O)
<i>Alaria esculenta</i>	<i>Argopecten irradians</i>	<i>Apostichopus japonicus</i>	<i>Anthocidaris crassipina</i>
<i>Ecklonia radiata</i>	<i>Chlamys farreri</i>	<i>Australostichopus mollis</i>	<i>Femmeropenaeus chinensis</i>
<i>Gracilaria chilensis</i>	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Cucumaria frondosa</i>	<i>Haliotis discus hannai</i>
<i>Gracilariabirdiae</i>	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Holothuria pervicax</i>	<i>Pandalus platyceros</i>
<i>Gracilaria lemaneiformis</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Parastichopus californicus</i>	<i>Rhopilema esculenta</i>
<i>Gracilariaverrucosa</i>	<i>Mytilus trossulus</i>		
<i>Laminaria japonica</i>	<i>Perna canaliculus</i>		
<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Patinopecten yessoensis</i>		
<i>Porphyra umbilicalis</i>	<i>Scapharca broughtonii</i>		
<i>Saccharina latissima</i>			
<i>Ulva lactuca</i>			
<i>Ulva ohnoi</i>			
<i>Zostera marina</i>			

Ένα είδος οργανισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία ΙΜΤΑ και να καλλιεργηθούν παράλληλα με τα ψάρια, είναι οι διηθηματοφάγοι (Suspension feeders) οργανισμοί (ορισμένοι από αυτούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 4, Zhang *et al.*, 2019). Η χρήση τέτοιων οργανισμών ως «βιοφίλτρα» έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο για την απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων από τη ζώνη εκτροφής των ψαριών χωρίς να προκαλείται δευτερογενής ρύπανση. Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας που συνδυάζει τα ψάρια και τους οργανισμούς που φιλτράρουν το νερό, οι οργανισμοί αυτοί μπορούν να χρησιμοποιούν τα σωματιδιακά οργανικά απόβλητα από τους ιχθυοκλωβούς ως πηγές τροφής. Το περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά της οργανικής ύλης απορροφάται και συσσωρεύεται στους ιστούς των οργανισμών αυτών αντί να παραμένει και να εμπλουτίζει την υδάτινη στήλη ή να εναποτίθεται στον πυθμένα. Ως εκ τούτου, η ποιότητα του νερού μπορεί να βελτιωθεί.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο ένας από τους διηθηματοφάγους οργανισμούς που έχει χρησιμοποιηθεί ως βιοφίλτρο σε ένα σύστημα ΙΜΤΑ είναι τα στρείδια. Τα στρείδια καλλιεργούνται εκτεταμένα σε διάφορες περιοχές της Γαλλίας, ιδίως δε τα παραγόμενα στον κόλπο Marennes-Oléron αποτελούν προϊόντα προστατευόμενης γεωγραφικής

ένδειξης. Για να εκτιμηθεί η καταλληλότητα των στρειδιών σε συστήματα IMTA, οι Lefebvre *et al.* (2000) διερεύνησαν και διαπίστωσαν την ικανότητα του είδους *Crassostrea gigas* να χρησιμοποιεί τα στερεά απόβλητα ιχθυοκαλλιέργειας λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). Αποδείχθηκε ότι αυτός είναι ένας τρόπος ώστε οι ιχθυοκαλλιεργητές να μπορούν να ανακτήσουν τα θρύμματα και τις απώλειες οργανικής ύλης της εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας αναπτύσσοντας την παράλληλη καλλιέργεια ενός άλλου είδους με μεγάλη εμπορική αξία.

Ένας ακόμη διηθηματοφάγος οργανισμός που μελετήθηκε και προτάθηκε για χρήση σε IMTA, είναι τα μύδια. Οι Stirling & Okumus (1995) διερεύνησαν την παραγωγή μυδιών του είδους *Mytilus edulis* σε συνδυασμό με την καλλιέργεια σολομού (*Salmo salar*) σε κόλπους τις Σκωτίας. Διαπίστωσαν ότι τα μύδια που συν-καλλιεργούνταν με τον σολομό είχαν υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε σχέση με αυτά που καλλιεργούνταν ανεξάρτητα της καλλιέργειας σολομού.

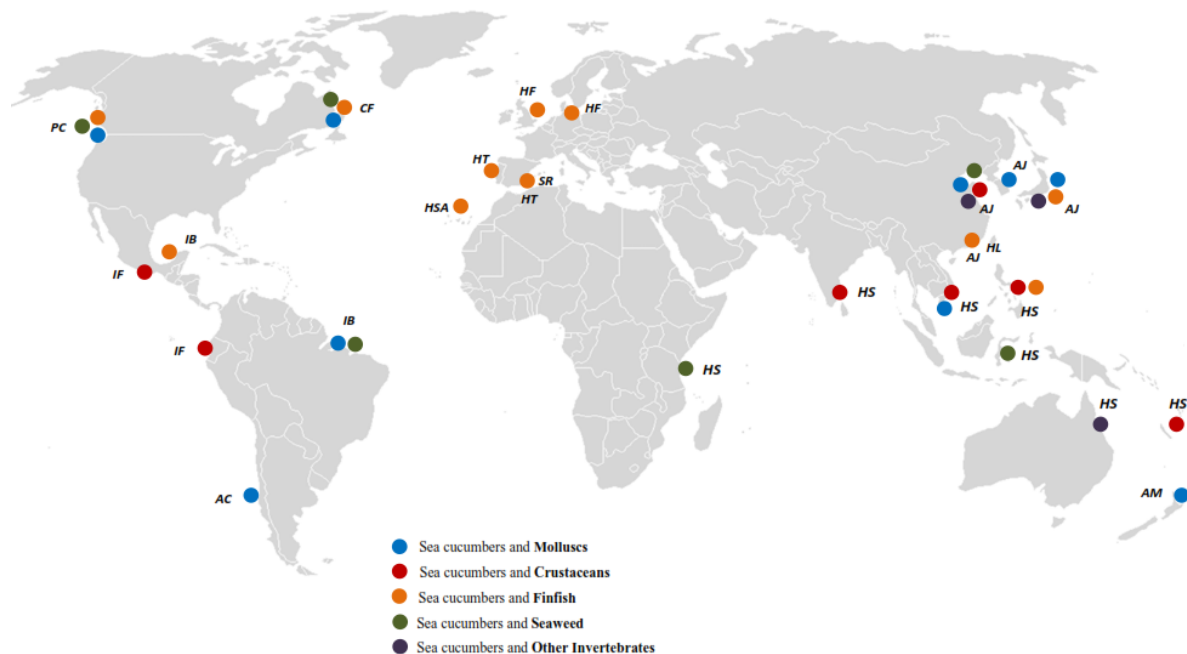
Ένα άλλο είδος οργανισμών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να μετριαστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ιχθυοκαλλιεργειών είναι τα ολοθούρια.

1.3.3 Ολοθούρια και μετριασμός οργανικού φορτίου ιζημάτων

Τα ολοθούρια, κοινώς γνωστά και ως «αγγούρια της θάλασσας» (sea cucumbers), είναι ένα θαλάσσιο προϊόν, υψηλής εμπορικής αξίας (Purcell *et al.*, 2012). Τα ολοθούρια είναι βενθικοί ιζηματοφάγοι οργανισμοί που τρέφονται με διάτομα, βακτήρια, ιχνοστοιχεία και υλικά με χαμηλό οργανικό περιεχόμενο περνώντας μία μεγάλη ποσότητα ιζήματος μέσω του γαστρεντερικού τους συστήματος (π.χ. Bruckner *et al.*, 2003). Η αλιεία των ολοθουρίων υπάρχει εδώ και πολλούς αιώνες καθώς συλλέγονται για πάνω από 1.000 χρόνια, σε ολόκληρο τον δυτικό Ειρηνικό και τον Ινδικό ωκεανό για να προμηθεύσουν τις αγορές της Ασίας, κυρίως της Κίνας, με ολοθούρια των οικογενειών Holothuriidae και Stichorodidae (Conand & Byrne, 1993; Conand, 2004). Από τα περίπου 1.400 είδη παγκοσμίως, περισσότερα από 65 είδη εκμεταλλεύονται εμπορικά (Purcell *et al.*, 2012). Έχει παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση του αριθμού των ειδών που τυγχάνουν εμπορικής εκμετάλλευσης, γεγονός που αντικατοπτρίζει το πρόβλημα της εξάντλησης ειδών υψηλής αξίας που μοιραία οδηγεί στην εκμετάλλευση νέων ειδών και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας επιλεγμένων ειδών. Η μεγάλη ζήτηση αντικατοπτρίζεται και στην αύξηση της παραγωγής τους καθώς το παγκόσμιο αλίευμα ολοθουρίων αυξήθηκε από τους 4.900 τόνους το 1950, στους 23.400 τόνους το 2000 με αξία εξαγωγών περίπου 130 εκατομμυρίων δολαρίων (Zamora *et al.*, 2016). Στη Μεσόγειο Θάλασσα ζουν και αναπαράγονται 47 είδη ολοθουρίων, μερικά από τα οποία παρουσιάζουν και μεγάλο εμπορικό ενδιαφέρον (Sicuro & Levine, 2011), όπως το *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (Gmelin, 1791), το *Holothuria (Roweothuria) poli* (Delle Chiaje, 1824), το *Holothuria (Holothuria) mammata* (Grube, 1840), το *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823) και το *Parastichopus regalis* (Cuvier, 1817).

Η θέση τους στην τροφική αλυσίδα και η ικανότητά τους να επεξεργάζονται ιζήματα επηρεασμένα από την ιχθυοκαλλιέργεια και εμπλουτισμένα σε οργανική ύλη, σε συνδυασμό με τη μεγάλη τους ζήτηση έχουν οδηγήσει σε ένα έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση τους σε συν-καλλιέργειες και σε IMTA παγκοσμίως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9 που ακολουθεί. Τα ολοθούρια θεωρούνται ιδανικό είδος για τις πολυτροφικές καλλιέργειες λόγω της ικανότητάς

τους να τρέφονται από τα σωματιδιακά απόβλητα που παράγονται από τα καλλιεργούμενα είδη ψαριών (Zamora *et al.*, 2016). Επιπλέον, ο τρόπος με τον οποίο διατρέφονται έχει ως αποτέλεσμα την οριζόντια ανακατανομή των ιζημάτων και την αναμόχλευσή τους που συντελεί στην καλύτερη οξυγόνωση ενώ παράλληλα επηρεάζει την ανακύκλωση των θρεπτικών στο ίζημα. Το σενάριο της χρήσης τους σε συν-καλλιέργειες ΙΜΤΑ έχει ενισχυθεί από αρκετές εμπειρικές παρατηρήσεις που συσχετίζουν την παρουσία των ολοθουρίων, με περιοχές υψηλής απόθεσης ή έντονα ευτροφικές περιοχές (Ahlgren, 1998; Slater *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2014).



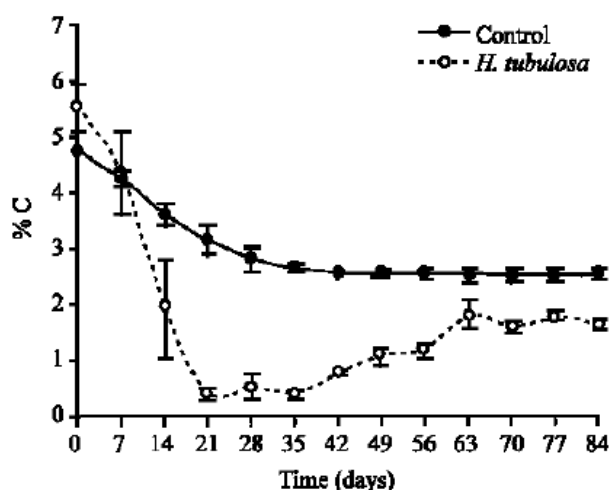
Εικόνα 9: Παγκόσμια κατανομή των ΙΜΤΑ με ολοθούρια (κυρίως πειραματικά σε χερσαία και παράκτια συστήματα). AC, *Athyonidium chilensis*; AJ, *Apostichopus japonicus*; AM, *Australostichopus mollis*; CF, *Cucumaria frondosa*; HF, *Holothuria forskali*; HL, *Holothuria leucospilota*; HSA, *Holothuria sanctori*; HS, *Holothuria scabra*; HT, *Holothuria tubulosa*; IB, *Isostichopus badionatus*; IF, *Isostichopus fuscus*; PC, *Parastichopus californicus*; SR, *Stichopus regalis* (Πηγή: Zamora *et al.*, 2016).

Όσον αφορά στην καταλληλότητα των ολοθουρίων για χρήση σε ΙΜΤΑ καλλιέργειες οι Isgoren-Emiroglou & Gunay (2007a) έκαναν μία πειραματική μελέτη σε εργαστηριακές συνθήκες προκειμένου να ελέγξουν την ικανότητα των ολοθουρίων να καταναλώνουν το οργανικό υλικό των ιζημάτων σε ολιγοτροφικά και υπερευτροφικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι ο ρυθμός ανάπτυξης των ολοθουρίων του είδους *Holothuria tubulosa* αυξήθηκε καθώς τράφηκαν με το ίζημα και αφομοίωσαν περιττώματα, βακτήρια και ιχθυοτροφές που δεν είχαν καταναλωθεί. Επιπλέον παρατήρησαν αύξηση του pH, του διαλυμένου οξυγόνου και της χλωροφύλλης-α στα συστήματα με τα ολοθούρια καθώς και μείωση της κατανάλωσης διαλυμένου οξυγόνου στα συστήματα ελέγχου.

Σε μία άλλη μελέτη ο Higgins (2000) παρατήρησε ότι τα ολοθούρια αποτελούν βασικούς οργανισμούς των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να ανακτούν έως και το 90% της βιομάζας στο θαλάσσιο πυθμένα μέσω της διατροφής τους. Σε μελέτες πολυκαλλιέργειας με γαρίδες, σολομό και οστρακοειδή, τα ολοθούρια με την κατανάλωση των οργανικών αποβλήτων βελτίωσαν σημαντικά την ποιότητα των υδάτων, γεγονός που προκάλεσε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των καλλιεργούμενων ειδών (Ahlgren, 1998; Morgan, 2000; James *et al.*, 2003). Έτσι χάρη στις διάφορες μελέτες που έχουν κατά καιρούς διεξαχθεί σχετικά με την χρήση ολοθουρίων

σε καλλιέργειες IMTA τόσο στην περιοχή της Μεσογείου όσο και σε άλλες περιοχές του κόσμου, συμπεραίνεται ότι τα ολοθούρια έχουν την ικανότητα, έμμεσα, να αυξήσουν το οξυγόνο στο εσωτερικό του ιζήματος, λόγω της κατανάλωσης της οργανικής ύλης και της βιοαναμόχλευσης και με αυτόν τον τρόπο να παρεμποδίσουν την ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών (Moriarty, 1982; Nixon, 1995; Uthicke, 2001).

Σύμφωνα με τους Coulon & Jangoux (1993) ένα μεγάλο σε μέγεθος άτομο του είδους *Holothuria tubulosa*, μπορεί να καταναλώνει μέχρι και 17kg ξηρού βάρους (dry weight – dw) ιζήματος ανά τετραγωνικό μέτρο ανά έτος. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Neofitou *et al.* (2019) διαπιστώθηκε ότι η μέση κατανάλωση από το είδος *Holothuria tubulosa* ήταν 7,58kg dw/m²/yr, ενώ το μέγιστο ήταν 15,25kg dw/m²/yr. Επιπλέον οι Costa *et al.* (2014), πρόσθεσαν ότι αναλόγως του αριθμού των οργανισμών που είναι παρόντες, το *Holothuria tubulosa* είναι ικανό να απορροφήσει από το 30 έως και το 100% των βιογενών θρυμμάτων που παράγονται σε λιβάδια Ποσειδωνίας. Οι Isgoren-Emiroglou & Gunay (2007b), ανέφεραν ότι σε πειραματική μελέτη με ιζήμα και ολοθούρια του είδους *Holothuria tubulosa* που πραγματοποίησαν σε ενυδρεία, ο οργανικός άνθρακας του ιζήματος μειώθηκε από 5,52% σε λιγότερο από 0,5% ενώ ο οργανικός άνθρακας στα ενυδρεία αναφοράς (control) μειώθηκε από 4,74% σε 2,51% (Εικόνα 10).

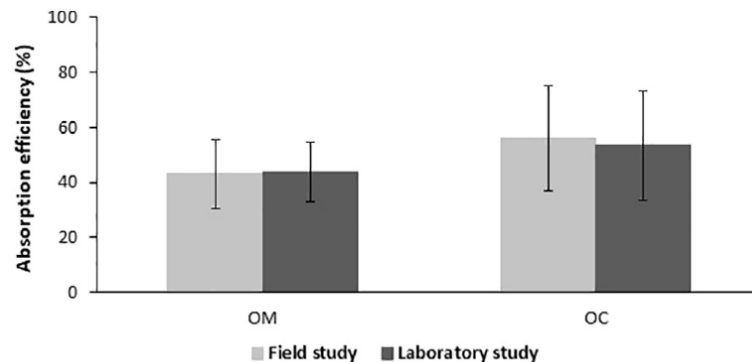


Εικόνα 10: Μεταβολές στις τιμές οργανικού άνθρακα σε πείραμα 84 ημερών με το είδος *Holothuria tubulosa*. (Πηγή: Isgoren-Emiroglou & Gunay, 2007b).

Σύμφωνα με την μελέτη που πραγματοποίησαν οι Neofitou *et al.* (2019), η μηνιαία κατανάλωση οργανικής ύλης και οργανικού άνθρακα ανά 1kg *Holothuria tubulosa* (υγρό βάρος) ήταν 1,32 και 0,01 g/m², αντίστοιχα. Επιπλέον παρατηρήθηκε μέση μείωση της οργανικής ύλης και του οργανικού άνθρακα κατά 30,73% και 58,58%, αντίστοιχα, με τις διαφορές μεταξύ των παρατηρήσεων σε ενυδρεία στο εργαστήριο και αυτών in-situ να είναι αμελητέες (Εικόνα 11). Παράλληλα, η μέση αποτελεσματικότητα απορρόφησης οργανικής ύλης και οργανικού άνθρακα κατά τη διέλευση του ιζήματος από το γαστρεντερικό σύστημα του *H. tubulosa* ήταν 43,40% και 54,65%, αντίστοιχα.

Οι Isgoren-Emiroglou & Gunay (2007a, 2007b), συμπέραναν ότι το *Holothuria tubulosa* μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη βελτίωση των παράκτιων περιοχών, ειδικά στις περιοχές με ιχθυοκαλλιέργειες.

Σύμφωνα με τους Tolon *et al.* (2017), στα συστήματα IMTA και στις συν-καλλιέργειες, ο συνδυασμός καλλιέργειας ψαριών και ολοθουριών του είδους *Holothuria tubulosa* κάτω από τους κλωβούς, παρέχει επιπλέον προϊόντα οικονομικού ενδιαφέροντος, χωρίς πρόσθετο κόστος διατροφής.



Εικόνα 11: Η αποτελεσματικότητα των ολοθουριών *H. tubulosa* στην μείωση του οργανικού υλικού (OM) και του οργανικού άνθρακα (OC). (Πηγή: Neofitou *et al.*, 2019).

Εκτός από το είδος *Holothuria tubulosa*, έχει μελετηθεί είτε με εργαστηριακά είτε με in-situ πειράματα, η απόδοση και αρκετών άλλων ειδών ολοθουριών, για ορισμένα από αυτά αναφέρονται στη συνέχεια ενδεικτικά στοιχεία. Συγκεκριμένα οι Zhou *et al.* (2006), ανέφεραν ότι η αποτελεσματικότητα απορρόφησης οργανικής ύλης κατά τη διέλευση των βιοαποθέσεων από το γαστρεντερικό σύστημα του *Stichopus japonicus*, ήταν 17,2%, ενώ οι Nelson *et al.* (2012) εκτίμησαν ότι η απορρόφηση οργανικής ύλης του *Cucumaria frondosa* ήταν 70% με διατροφή στο φυσικό περιβάλλον, καθώς υπάρχει η δυνατότητα αύξησης αυτής της αποτελεσματικότητας όταν τα άτομα εκτίθενται σε υλικά υψηλότερης ποιότητας. Οι Mercier *et al.* (1999), ανέφεραν ότι η αποτελεσματικότητα απορρόφησης του *Holothuria scabra* ήταν 50%. Οι Slater & Carton (2009) ανέφεραν ότι η βόσκηση του *Australostichopus mollis* κάτω από οστρακοκαλλιέργειες μειώνει σημαντικά το επίπεδο του οργανικού άνθρακα, ενώ και το *Holothuria atra* έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την βακτηριακή παραγωγή, καταναλώνοντας σε ημερήσια βάση το 10-40% του βακτηριακού άνθρακα που παράγεται στα ιζήματα (Moriarty *et al.*, 1985). Επίσης μια σειρά από σχετικά πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι τα ολοθούρια *P. californicus*, *H. forskali*, *H. Leucospilota* και *A. Japonicus* μπορούν να περιορίσουν τις επιπτώσεις των στερεών οργανικών αποβλήτων της ιχθυοκαλλιέργειας μειώνοντας τον περιεχόμενο οργανικό άνθρακα και άζωτο κατά 60% (Ahlgren, 1998; Yu *et al.*, 2012, 2014; Hannah *et al.*, 2013; MacDonald *et al.*, 2013).

Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι οι διατροφικές συνήθειες του *Holothuria tubulosa* καθώς και άλλων ειδών, μειώνουν τη συγκέντρωση της ολικής οργανικής ύλης και του οργανικού άνθρακα των στερεών βιοαποθέσεων των ιχθυοκαλλιεργειών, υποδεικνύοντας ότι παίζουν σημαντικότατο ρόλο στη μείωση του οργανικού φορτίου. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να γίνουν περαιτέρω μελέτες για να εξαχθούν ισχυρά συμπεράσματα σχετικά με την εγκατάσταση αυτών των ειδών στα συστήματα IMTA. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ικανότητα των ολοθουριών να μειώνουν την οργανική φόρτιση των ιζημάτων που προκαλείται από τις ιχθυοκαλλιέργειες, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη φυσιολογία των διαφόρων ειδών, που ειδικά σε είδη εύκρατων περιοχών είναι συνάρτηση των εποχικών

μεταβολών των περιβαλλοντικών συνθηκών. Σε είδη όπως τα ολοθούρια *A. japonicus* και *Australostichopus mollis* η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί δραματική μείωση της διατροφικής δραστηριότητας, ενώ αντίθετα το *P. californicus* παρουσιάζει αντίστοιχη συμπεριφορά με τη μείωση της θερμοκρασίας στη διάρκεια του χειμώνα (Zamora *et al.*, 2016). Επομένως για την επιλογή του καταλληλότερου είδους για χρήση σε IMTA θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αξιολογείται η εποχική μεταβλητότητα της ικανότητάς του για βιοεξυγίανση και μετριασμό των επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών. Επίσης κατά την επιλογή του κατάλληλου υποψηφίου οργανισμού για χρήση σε IMTA προτεραιότητα θα πρέπει να δίνεται σε αυτόχθονα είδη με υψηλή εμπορική αξία.

Παρόλα αυτά, λόγω των σύνθετων διεργασιών που εμπλέκονται στις συν-καλλιέργειες IMTA, είναι αμφίβολο κατά πόσο μπορεί να επιτευχθεί μια σχετικά ακριβής εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων αυτών (IMTA) (Troell *et al.*, 2009). Τα αριθμητικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί και επικυρωθεί, με βάση τα πειράματα μικρής κλίμακας που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα, αποτελούν μια χρήσιμη προσέγγιση για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος IMTA (Zhang *et al.*, 2019). Για να εκτιμηθεί όμως το συνολικό αποτέλεσμα βιοαποδόμησης που βασίζεται στην πειραματική προσέγγιση, απαιτείται ένα βέλτιστο σχεδιασμένο πείραμα μεγάλης κλίμακας IMTA, στο οποίο να λαμβάνεται επαρκώς υπόψη ο αρχικός λόγος της βιομάζας των ειδών που χρησιμοποιούνται για τη μείωση του οργανικού φορτίου προς τη βιομάζα του βασικού καλλιεργούμενου είδους και της θέσης της συν-καλλιέργειας. Επιπλέον, για να αναπτυχθεί μια αποτελεσματική στρατηγική για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τα στερεά οργανικά απόβλητα της υδατοκαλλιέργειας, θα πρέπει να βελτιωθεί περαιτέρω το μοντέλο IMTA πλήρους κλίμακας με τη δημιουργία αρχικά ενός βασικού μοντέλου που θα λαμβάνει υπόψη τις φυσικές βιογεωχημικές ροές εντός του συστήματος IMTA και μεταξύ του IMTA και του γειτονικού θαλάσσιου περιβάλλοντος καθώς και μια βάση δεδομένων με υποψήφιους οργανισμούς-μοντέλα για χρήση σε συστήματα IMTA (Zhang *et al.*, 2019).

Ωστόσο, η μελέτη των Tolon *et al.* (2017) επισημαίνει και κάποια προβλήματα όσον αφορά την χρήση ολοθουρίων σε ένα σύστημα IMTA. Πιο συγκεκριμένα αναφέρουν ότι η συγκομιδή των ολοθουρίων σε IMTA στη θάλασσα, απαιτεί υπερβολική εργασία μέσω καταδύσεων για τη χειρωνακτική συλλογή των ολοθουρίων σε βάθη της τάξης των 18 με 20 m. Επιπλέον επειδή χρησιμοποιήθηκαν ειδικά πλαίσια κατασκευασμένα από δίχτυ χωρίς σκέπαστρο και πυθμένα, τα ολοθούρια μπορούσαν εύκολα να δραπετεύσουν από τα πλαίσια είτε σκαρφαλώνοντας το δίχτυ, είτε σκάβοντας κάτω από αυτό. Η καλύτερη λύση για τα προβλήματα αυτά θα ήταν να τοποθετηθούν στον θαλάσσιο πυθμένα κάτω από τους ιχθυοκλωβούς μεταλλικοί αρθρωτοί κλωβοί (modular box cages) που μεταφέρονται εύκολα, διατηρούν τα ολοθούρια ασφαλή κι επιτρέπουν τη συσσώρευση των οργανικών αποθέσεων στο εσωτερικό τους (Tolon *et al.*, 2017).

1.3.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Παρά την έντονη ανάπτυξη του κλάδου της ιχθυοκαλλιέργειας στην Ελλάδα, μια μόνο ερευνητική απόπειρα διερεύνησης της ένταξης μεσογειακών ειδών ολοθουρίων σε συν-καλλιέργεια ή σε IMTA έχει πραγματοποιηθεί (Neofitou *et al.*, 2019). Η μελέτη αυτή, που περιλάμβανε πειράματα τόσο σε ενυδρεία στο εργαστήριο, όσο και in-

situ, εξασφάλισε πληροφορία υποβάθρου σε σχέση με την συμβολή του ολοθούριου *H. tubulosa* στη μείωση του οργανικού φορτίου ιχθυοκαλλιέργειών που δραστηριοποιούνται στα ελληνικά νερά.

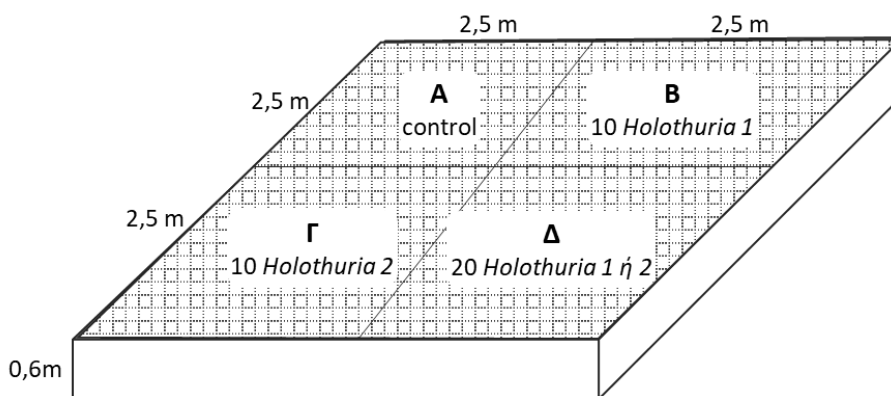
Έχοντας ως επιπλέον δεδομένα ότι στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου δραστηριοποιούνται συνολικά 16 ιχθυοκαλλιέργειες (και 1 οστρακοκαλλιέργεια), με συνολική ετήσια παραγωγή 5.487,5 τόνους σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία των Τμημάτων Αλιείας Λέσβου, Σάμου και Χίου (Pharos4MPAs Regional Report, 2020) και ότι οι επιπτώσεις της συσσώρευσης οργανικής ύλης κάτω από τους κλωβούς των εκτρεφόμενων ιχθύων εγκυμονεί κινδύνους για το θαλάσσιο περιβάλλον, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε το 2019 από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου σε συνεργασία με μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας, στην Λέσβο, πείραμα με κλωβούς ολοθουρίων. Η πειραματική προσπάθεια χρηματοδοτήθηκε από το Περιφερειακό Ταμείο Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου στα πλαίσια του προγράμματος INTERREG-MED 2014-2020-PHAROS4MPAs. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του πειράματος που είχε σκοπό να μελετηθεί και να διαπιστωθεί η δυνατότητα μείωσης του οργανικού φορτίου κάτω από ιχθυοκλωβούς με την χρήση ολοθουρίων (*Holothuria tubulosa* και *Holothuria poli*), και αν αυτή επηρεάζεται από τον αριθμό των ατόμων και το είδος των ολοθουρίων.

2. Μεθοδολογία

2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε με χρηματοδότηση του Περιφερειακού Ταμείου Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου στα πλαίσια του προγράμματος INTERREG-MED 2014-2020-PHAROS4MPAs, υλοποιήθηκε στην περιοχή που βρίσκεται εγκατεστημένη μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας της εταιρείας Selonda στην περιοχή Παλαιόλουτρο, στην είσοδο του κόλπου της Γέρας (νήσος Λέσβος). Ο κόλπος της Γέρας, βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νησιού και μέσω ενός διαύλου μήκους 6,5Km (χιλιομέτρων) (Manoutsoglou *et al.*, 2015) επικοινωνεί με την ανοιχτή θάλασσα του βορείου Αιγαίου. Ο κόλπος της Γέρας είναι ενταγμένος στο πρόγραμμα προστασίας Natura 2000 και ανήκει στην κατηγορία ΖΕΠ, με κωδικό GR4110013, μαζί με τα έλη Ντίπι και την Χαραμίδα, και με συνολική έκταση 5.104,87 εκτάρια, με βάση τον Αναθεωρημένο Εθνικό Κατάλογο Περιοχών Natura 2000 σύμφωνα με την ΚΥΑ 50743 (ΦΕΚ Β' 4432/2017). Αποτελεί ένα ημικυκλικό υδατικό σύστημα με μέσο βάθος 10m και συνολικό όγκο 900.000.000m³. Αυτό το ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον επηρεάζεται από το περιβάλλον έδαφος που καλλιεργείται εντατικά κυρίως με ελαιόδεντρα και κατοικείται από περίπου 7.000 μόνιμους κατοίκους.

Για να πραγματοποιηθεί το πείραμα δημιουργήθηκαν 4 τετράγωνα μεταλλικά πλαίσια με διαστάσεις 2,5m x 2,5m x 0,6m και εμβαδόν 6,25 m² το καθένα. Οι κλωβοί αυτοί εφάπτονται μεταξύ τους και σχηματίζουν έναν ενιαίο κλωβό 5m x 5m x 0,6m χωρισμένο, ουσιαστικά σε 4 τμήματα (Εικόνα 12). Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε πιθανή διαφυγή των οργανισμών δια μέσου του ιζήματος οι κλωβοί εισχώρησαν κατά 0,2m στο ίζημα. Οι πλευρές των κλωβών αποτελούνται από λαμαρίνα για να εισχωρήσει στο ίζημα και η οποία στο τμήμα πάνω από το υπόστρωμα είναι διάτρητη ώστε να επιτρέπεται η κατά το δυνατόν ανεμπόδιση διέλευση του νερού. Η άνω πλευρά του κλωβού φέρει πλέγμα από σκληρό πλαστικό υλικό με διάμετρο ματιού 0,5cm έως 1cm.



Εικόνα 12: Σχέδιο μεταλλικών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

Στους τρεις από τους 4 κλωβούς τοποθετήθηκαν, με τη συνδρομή επαγγελματιών δυτών, συνολικά 40 ολοθούρια του είδους *Holothuria tubulosa* και *Holothuria poli*. Στον πρώτο κλωβό (A) δεν τοποθετήθηκε κανένα ολοθούριο ώστε να χρησιμοποιηθεί ως «μάρτυρας» (control) για τη λήψη δειγμάτων αναφοράς από το ίζημα, στον δεύτερο (B) τοποθετήθηκαν 10 άτομα του είδους *Holothuria tubulosa*, στον τρίτο (Γ) 20 άτομα του είδους *Holothuria tubulosa* και στον τέταρτο (Δ) 10 άτομα του είδους *Holothuria poli*. Τα ολοθούρια συλλέχθηκαν κατά τους μήνες

Μάρτιο, Απρίλιο και Ιούνιο του 2019 με ελεύθερη κατάδυση σε βάθη από 0 έως 5m από την περιοχή Χριστός στον Κόλπο Γέρας, λόγω της αυξημένης εμφάνισης των δύο ειδών ολοθουρίων που απαιτούνταν για το πείραμα. Σε κάθε δειγματοληπτική προσπάθεια συλλέχθηκαν 40 άτομα και των δύο ειδών, με τα 30 να αντιστοιχούν στο είδος *Holothuria tubulosa* και τα 10 στο είδος *Holothuria poli*, ενώ στην τελευταία δειγματοληψία συλλέχθηκαν 30 άτομα του είδους *Holothuria poli* και 10 του είδους *Holothuria tubulosa*. Τα ολοθούρια ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας και η μάζα κάθε ατόμου παρουσιάζεται στον Πίνακα Ι (Παράρτημα).

Πρέπει να αναφερθεί ότι αρχικά επιλέχθηκε η τοποθέτηση του μεταλλικού πλαισίου στον πυθμένα να γίνει ουσιαστικά κάτω από τους ιχθυοκλωβούς της μονάδας που όμως, όπως έδειξε η έκβαση του πειράματος, δεν ήταν η βέλτιστη. Η μη επιβίωση των ολοθουρίων, το υψηλό περιεχόμενο σε οργανικό άνθρακα (παρουσιάζεται στη συνέχεια) και οι πολύ χαμηλές συνθήκες ορατότητας στην αρχική τοποθεσία που δυσχέραιναν τη δειγματοληψία και την παρακολούθηση των πλαισίων ακόμα και από επαγγελματίες δύτες, οδήγησαν στην εκ νέου εκτέλεση του πειράματος σε απόσταση 50m μέτρων από την προηγούμενη θέση. Επίσης κατά την επανεκτέλεση του πειράματος τοποθετήθηκαν 20 άτομα *Holothuria (Roweothuria) poli* στο πλαίσιο Γ αντί για 20 άτομα *Holothuria (Holothuria) tubulosa* που περιλάμβανε ο αρχικός σχεδιασμός για δύο λόγους: α) απαντώνται σε μεγαλύτερους αριθμούς στην ευρύτερη περιοχή και β) σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, είναι πιο ανθεκτικό είδος στις δυσμενείς συνθήκες για επιβίωση που παρατηρούνται σε περιοχές με μεγάλο οργανικό φορτίο.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε έλεγχος και παρακολούθηση των αβιοτικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, θολερότητα, και pH) στα σημεία που τοποθετήθηκε το πειραματικό μεταλλικό πλαίσιο με τα ολοθούρια με τη χρήση πολυοργάνου CTD (Conductivity-Temperature-Depth).

2.2 Συλλογή – προκατεργασία δειγμάτων

Από κάθε ειδικό κλωβό με και χωρίς ολοθούρια (μάρτυρας) συλλέχθηκαν με τη βοήθεια επαγγελματιών δυτών επιφανειακά ιζήματα. Από την αρχικά επιλεγείσα θέση εκτέλεσης του πειράματος η συλλογή των δειγμάτων έγινε στις 14/5/2019 πριν την τοποθέτηση των ολοθουρίων. Στη νέα θέση εκτέλεσης του πειράματος η συλλογή των δειγμάτων έγινε στις 12/6/2019 πριν την τοποθέτηση των ολοθουρίων και στις 17/7/2019 κατά τη λήξη του πειράματος. Ειδικότερα, σε κάθε δειγματοληψία από καθέναν από τους 4 ειδικούς κλωβούς (3 με ολοθούρια –Β, Γ, Δ και 1 μάρτυρα -Α) συλλέχθηκαν έξι δείγματα (δηλαδή από έξι διαφορετικά σημεία εντός του ειδικού κλωβού), δηλαδή συνολικά συλλέγονταν 24 δείγματα ιζήματος ανά δειγματοληψία.

Τα δείγματα ιζήματος, μετά τη συλλογή τους από το πεδίο, καταψύχθηκαν στους -20°C μέχρι την ανάλυσή τους στο Εργαστήριο Χημείας του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Μετά την απόψυξη των ιζημάτων έγινε μακροσκοπική εξέταση και απομάκρυνση με τη βοήθεια λαβίδας των μεγάλου μεγέθους οργανικών και ανόργανων σωματιδίων (π.χ. κελύφη δίθυρων, υπολείμματα χερσαίας και θαλάσσιας βλάστησης κ.α.), αφαιρέθηκε από την επιφάνεια του κάθε δείγματος, με προσοχή με τη βοήθεια πιπέτας, ποσότητα νερού που ήταν συσσωρευμένο και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 40°C προκειμένου να ξεραθούν.

2.3 Κοκκομετρική ανάλυση

Στην συνέχεια έλαβε χώρα η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων προκειμένου να διαχωριστούν το λεπτόκοκκο υλικό, όπως η ιλύς και η άργιλος από το πιο αδρόκοκκο υλικό όπως η άμμος. Γνωστή μάζα από το ίζημα τοποθετείται στο κόσκινο και με τη βοήθεια άφθονου αποσταγμένου νερού γίνεται απομάκρυνση του λεπτόκοκκου κλάσματος. Τέλος το αδρόκοκκο κλάσμα που παραμένει στο κόσκινο μεταφέρεται προσεκτικά σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσης, τοποθετείται σε κλίβανο στους 105°C και μετά την ξήρανση ζυγίζεται με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό της περιεκτικότητας του ιζήματος όσον αφορά αυτή την κοκκομετρική κλάση (>63μm). Η κοκκομετρική κλάση <63μm υπολογίζεται εκ της διαφοράς μάζας της κοκκομετρικής κλάσης >63μm και της αρχικής γνωστής μάζας του ιζήματος.

2.4 Προσδιορισμός Οργανικού Άνθρακα

Για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα στο ίζημα εφαρμόστηκε η μέθοδος της υγρής οξείδωσης του συνόλου της περιεχόμενης οργανικής ύλης (δηλαδή όλων των περιεχόμενων οργανικών ενώσεων) με περίσσεια διχρωμικού καλίου σε όξινο περιβάλλον (παρουσία θειικού οξέος). Στη συνέχεια, μέσω οπισθογομέτρησης της περίσσειας του οξειδωτικού αντιδραστηρίου (διχρωμικό κάλιο) με διάλυμα εναμμόνιου θειικού σιδήρου και δείκτη διφαινυλαμίνη (Gaudette *et al.*, 1974), υπολογίζεται η ποσότητα αυτού που καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών του δείγματος. Υπενθυμίζεται ότι από κάθε πλαίσιο λήφθηκαν δείγματα ιζήματος από 6 διαφορετικά σημεία, ενώ η ανάλυση για κάθε δείγμα έγινε εις διπλούν, δηλαδή N=12.

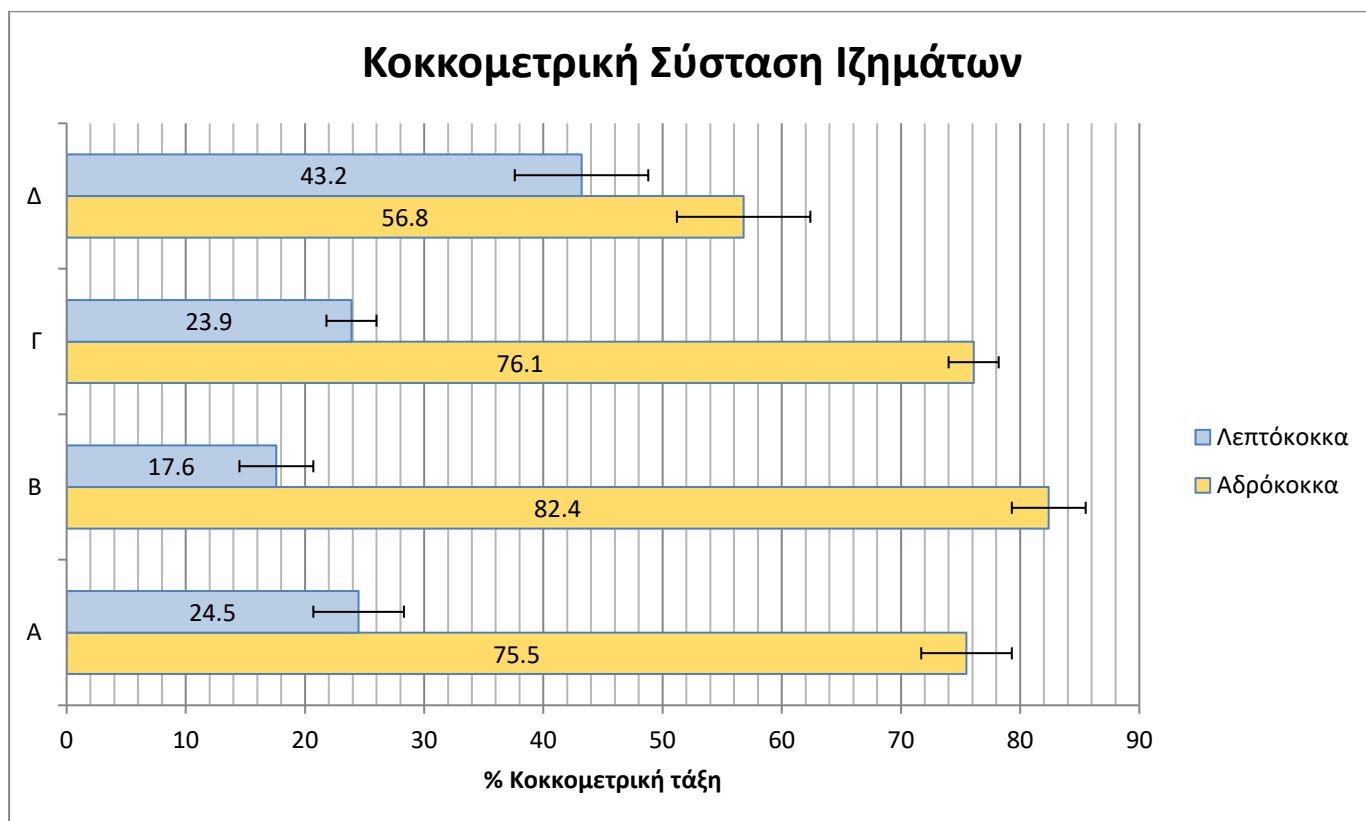
Ο υπολογισμός του ποσοστού της περιεχόμενης οργανικής ύλης στο ίζημα πραγματοποιήθηκε με βάση το στοιχειομετρικό μοντέλο Redfield $[(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4]$; Redfield *et al.*, 1963] κάνοντας την παραδοχή ότι η οργανική ύλη είναι θαλάσσιας βιογενούς προέλευσης.

Σημειώνεται ότι έγινε προσδιορισμός της υπολειπόμενης υγρασίας και τα αποτελέσματα που προέκυψαν διορθώθηκαν και η % περιεκτικότητα του ιζήματος σε οργανικό άνθρακα εκφράζεται σε σταθερό ξηρό βάρος (dw, dry weight) ιζήματος (Πίνακας III, Παράρτημα). Ο προσδιορισμός της υπολειπόμενης υγρασίας περιλαμβάνει ξήρανση γνωστής ποσότητας ιζήματος σε κλίβανο στους 105°C για 24 ώρες, εκ νέου ζύγιση σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας και υπολογισμό της εκ της διαφοράς μάζας.

3. Αποτελέσματα

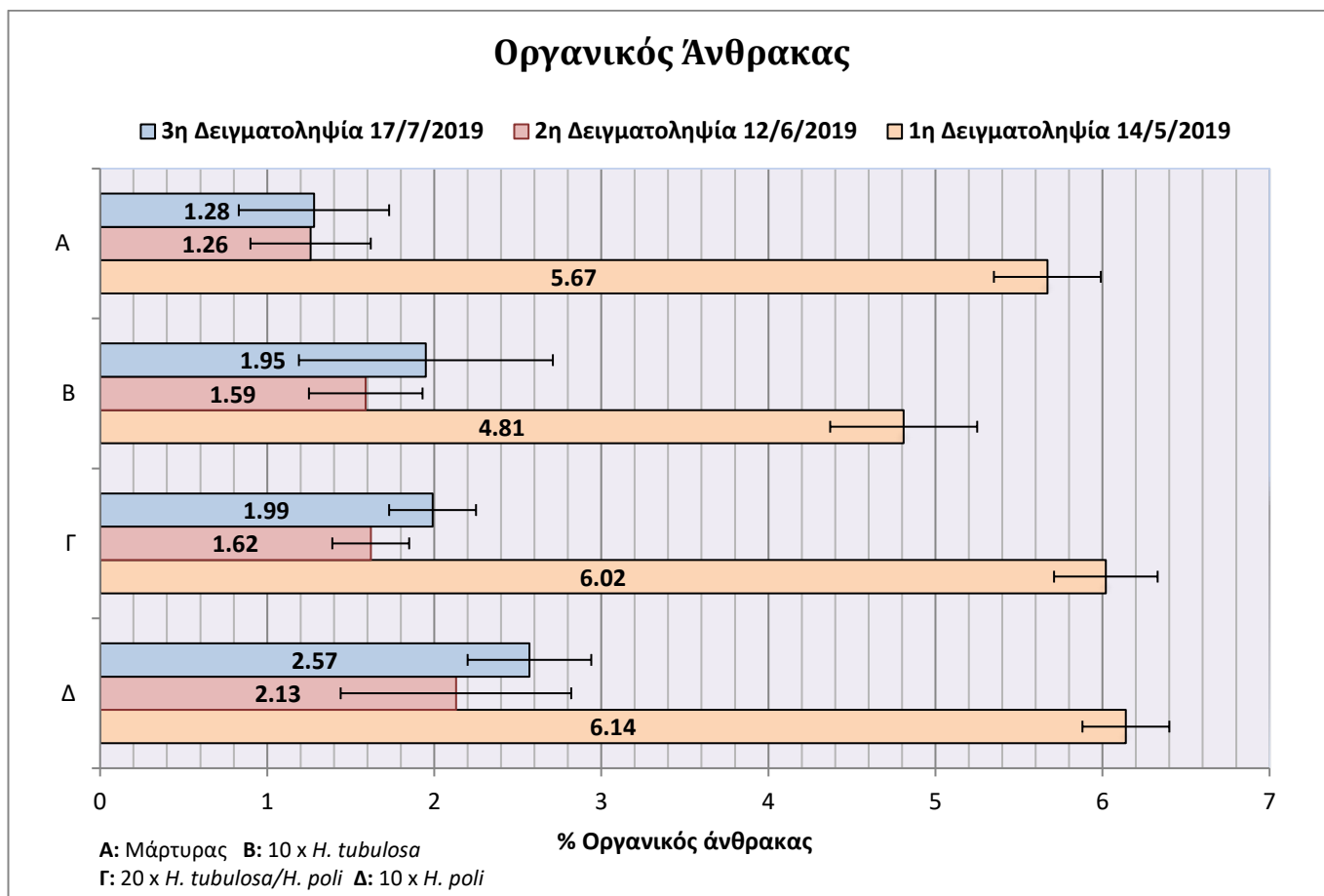
Στη συνέχεια παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα και τον υπολογισμό της οργανικής ύλης στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν στη διάρκεια των πειραμάτων.

Στον Πίνακα II (Παράρτημα) παρουσιάζεται η επί τοις εκατό (%) κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών κατά τη δειγματοληψία στις 12/6/2019, ενώ στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Πίνακα II οπτικοποιημένα. Στο ραβδόγραμμα παρατηρείται ότι το επικρατέστερο κλάσμα είναι τα αδρόκοκκα υλικά ($\varnothing > 63 \mu\text{m}$) στα οποία ανήκει η άμμος. Οι τιμές τους ξεκινούν από 56,8% με τυπική απόκλιση $\pm 5,6$ στον κλωβό Δ και αγγίζουν τιμές μέχρι και 82,4% ($\pm 3,1$) στον κλωβό Β. Επιπλέον το δείγμα του κλωβού Α, το οποίο είναι ο μάρτυρας, μοιάζει αρκετά στην σύνθεσή του με το δείγμα Γ με τα αδρόκοκκα να ανέρχονται σε ποσοστό 75,5% ($\pm 3,8$) και τα λεπτόκοκκα σε 24,5% ενώ στο Γ 76,1% ($\pm 2,1$) και 23,9% αντίστοιχα. Αντίθετα το δείγμα Δ είναι τελείως διαφορετικό, με τα ποσοστά να εξισορροπούνται ανάμεσα σε 56,8% και 43,2%, στα αδρά και λεπτόκοκκα αντίστοιχα.



Διάγραμμα 1: Ραβδόγραμμα της κοκκομετρικής σύστασης (% μέση τιμή και τυπική απόκλιση) των ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών (Α, Β, Γ, Δ). Οι γραμμές στις ράβδους αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση.

Στον Πίνακα III (Παράρτημα) παρουσιάζονται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του ποσοστού του οργανικού άνθρακα και του ποσοστού της οργανικής ύλης, των δειγμάτων και των τεσσάρων κλωβών και για τις τρεις δειγματοληψίες στις 14/5/2019, στις 12/6/2019 και στις 17/7/2019, αντίστοιχα, ενώ στα Διαγράμματα 2 και 3 παρουσιάζονται οπτικοποιημένα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα III.



Διάγραμμα 2: Ραβδόγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της % περιεκτικότητας σε οργανικό άνθρακα των ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών (A, B, Γ, Δ) για τις τρεις δειγματοληψίες. Οι γραμμές στο τέλος κάθε ράβδου αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση.

Στο ραβδόγραμμα του Διαγράμματος 2 παρατηρείται μία μεγάλη διαφορά στο περιεχόμενο των ιζημάτων σε οργανικό άνθρακα ανάμεσα στην 1^η δειγματοληψία στις 14 Μαΐου που έγινε στην αρχική θέση και στις υπόλοιπες δύο, 12 Ιουνίου και 17 Ιουλίου αντίστοιχα, που έγιναν στη νέα θέση που επιλέχθηκε για την εκτέλεση του πειράματος.

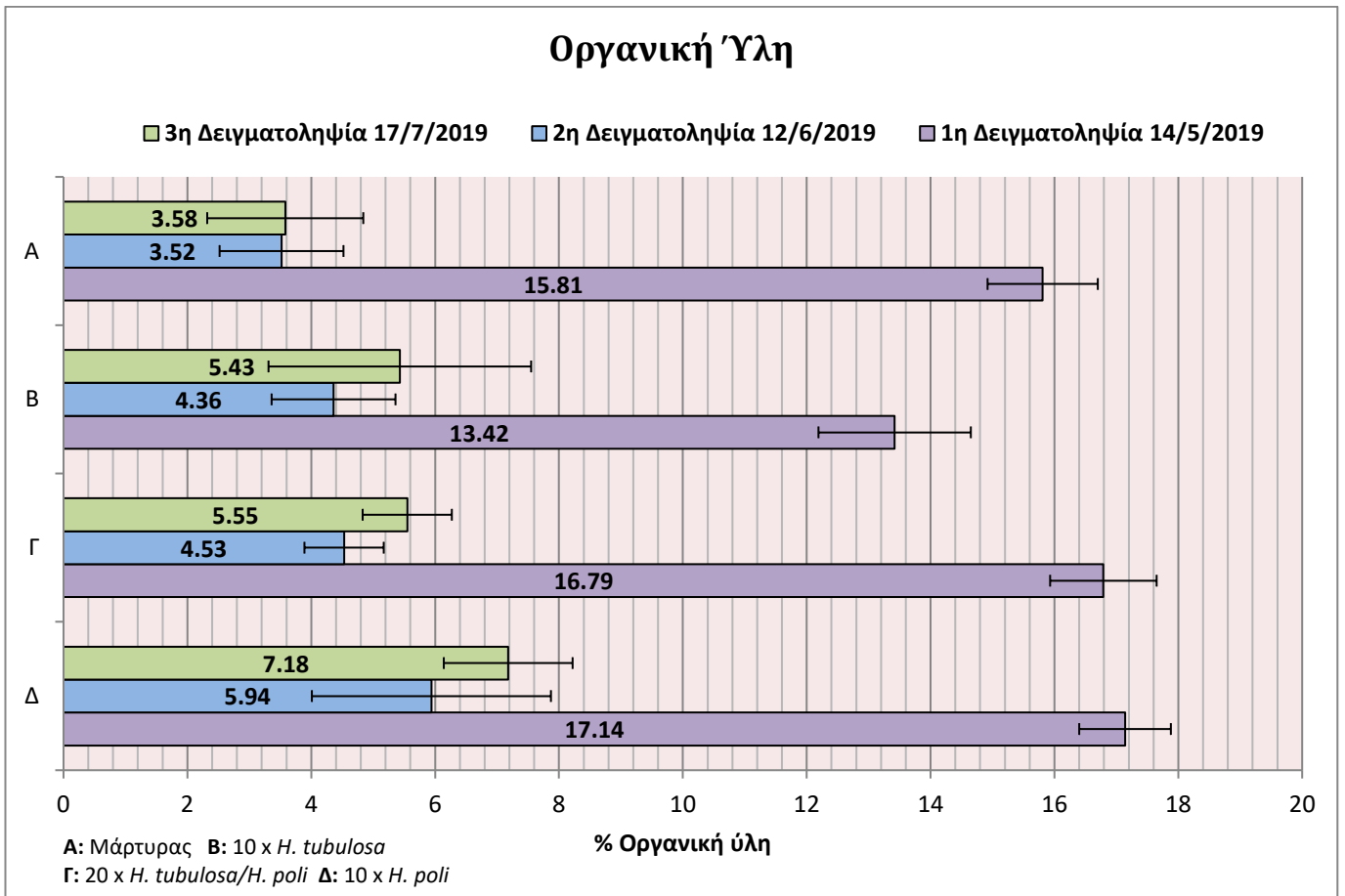
Από τα Διαγράμματα 2 και 3 και τον Πίνακα III (Παράρτημα) φαίνεται ότι οι τιμές της περιεκτικότητας των ιζημάτων σε οργανικό άνθρακα και οργανική ύλη στους ειδικούς κλωβούς με τα ολοθούρια Γ και Δ στην αρχικά επιλεγείσα θέση (1η δειγματοληψία, 14 Μαΐου) ήταν παρόμοιες με αυτές στον μάρτυρα (κλωβός A), ενώ το ιζημα του ειδικού κλωβού B χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες τιμές. Γενικά διαπιστώνεται ότι στην περιοχή που επηρεάζεται άμεσα από την ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα το περιεχόμενο των ιζημάτων σε οργανικό άνθρακα είναι σχετικά υψηλό. Ανάλογες παρατηρήσεις έχουν γίνει σε διάφορες ιχθυοκαλλιέργειες του ελληνικού χώρου όπως ενδεικτικά φαίνεται στον Πίνακα 5 όπου για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται και δεδομένα από ιζήματα λιμνοθαλασσών που εφαρμόζεται εκτατική ιχθυοκαλλιέργεια σε αυτά τα φυσικά εύτροφα συστήματα.

Πίνακας 5: Περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα ιζημάτων σε περιοχές με ιχθυοκαλλιεργητικές μονάδες και λιμνοθάλασσες του ελληνικού χώρου.

Περιοχή	Οργανικός άνθρακας (%)	Πηγή
Ιχθυοκαλλιέργειες		
Κόλπος Αστακού	0,82–7,24	Belias <i>et al.</i> (2003)
Αργολικός Κόλπος	<0,8	Mantzavrakos <i>et al.</i> (2007)
Παγασητικός κόλπος	0,57–4,21	Neofitou <i>et al.</i> (2010)
Λιμνοθάλασσες		
Λιμνοθάλασσα Μεσολογγίου - Αιτωλικού	1,32–5,95	Karageorgis <i>et al.</i> (2012)
Πάπας (Άραξος)	2,9 –5,6	Reizopoulou & Nicolaidou (2004)
Τσουκαλιό	1,3 –5,1	Reizopoulou & Nicolaidou (2004)

Από τα δεδομένα του ραβδογράμματος του Διαγράμματος 2 παρατηρείται ότι στην 1η δειγματοληψία, το ποσοστό του οργανικού είναι ιδιαίτερα αυξημένο και για τον λόγο αυτό έγινε η αλλαγή της τοποθεσίας για τις άλλες δύο δειγματοληψίες. Όσον αφορά στην 3η δειγματοληψία παρατηρείται μία αύξηση στο ποσοστό του οργανικού άνθρακα σε σχέση με την 2η ενώ παρατηρείται και μία διαφοροποίηση όσον αφορά στο είδος των ολοθουρίων. Πιο συγκεκριμένα τα 10 άτομα του είδους *Holothuria tubulosa* που βρίσκονται στο πλαίσιο του κλωβού Β ήταν πιο αποτελεσματικά από τα 10 άτομα *Holothuria roli* του κλωβού Δ, καθώς στην 2η δειγματοληψία το ποσοστό του οργανικού άνθρακα στο Β είναι 1,59 ενώ στο Δ είναι 2,13 με μία διαφορά της τάξης του 0,54 ανάμεσα στα δύο είδη. Η διαφορά αυτή αυξάνεται στην 3η δειγματοληψία με τιμή 0,62 καθώς στον Β είχαμε 1,95 ενώ στον Δ με τα 10 άτομα *H. roli*, είχαμε 2,57. Αντίστοιχα στον κλωβό Γ, στον οποίο είχε τοποθετηθεί διπλάσιος αριθμός ολοθουρίων (x20) του είδους *H. roli* (για την 2η και 3η δειγματοληψία μόνο) από τον Δ, παρατηρείται μία πτώση του οργανικού άνθρακα καθώς οι τιμές στην 2η δειγματοληψία είναι 1,62 για τα 20 άτομα του κλωβού Γ σε σχέση με το 2,13 του κλωβού Δ, ενώ στην 3η δειγματοληψία έχουμε 1,99 στον κλωβό Γ και 2,57 στον Β, αντίστοιχα. Επιπλέον φαίνεται ότι τα 10 άτομα του είδους *Holothuria tubulosa* είναι πιο αποτελεσματικά από τα 10 άτομα του είδους *Holothuria roli* και πιο αποτελεσματικά, τουλάχιστον τον πρώτο μήνα, από τα 20 του ίδιου είδους.

Στο ραβδόγραμμα του Διαγράμματος 3όπου παρουσιάζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της % περιεκτικότητας σε οργανική ύλη των ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών για τις τρεις δειγματοληψίες παρατηρείται όπως και στην περίπτωση του οργανικού άνθρακα μία μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην 1η δειγματοληψία (14 Μαΐου) που έγινε στην αρχική θέση και στις υπόλοιπες δύο, 12 Ιουνίου και 17 Ιουλίου αντίστοιχα, που έγιναν στη νέα θέση που επιλέχθηκε για την εκτέλεση του πειράματος. Οι διαφορές ανάμεσα στην 2η και την 3η δειγματοληψία είναι ανάλογες του οργανικού άνθρακα, με την 3η να εμφανίζει αύξηση σε σχέση με την 2η και τα 10 άτομα του είδους *H. tubulosa* του κλωβού Β, να είναι πιο αποτελεσματικά σε σχέση με τα 10 άτομα *H. roli* του κλωβού Δ, τα 20 άτομα *H. roli* του κλωβού Γ, αλλά και τα 20 *H. tubulosa* της 1ης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε στην αρχική θέση.



Διάγραμμα 3: Ραβδόγραμμα με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της % περιεκτικότητας σε οργανική ύλη των ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών (A, B, Γ, Δ) για τις τρεις δειγματοληψίες. Οι γραμμές στο τέλος κάθε ράβδου αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση.

4. Συζήτηση και συμπεράσματα

Το πείραμα σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε προκειμένου να εξεταστεί αν όντως η συν-καλλιέργεια με την χρήση ολοθουρίων μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στην μείωση της οργανικής ύλης και του οργανικού άνθρακα, στα ιζήματα που βρίσκονται κάτω από τους κλωβούς ιχθυοκαλλιέργειας.

Η μη επιβίωση των ολοθουρίων του είδους *Holothuria tubulosa* και *Holothuria poli* στην αρχικά επιλεγείσα τοποθεσία για τη διενέργεια του πειράματος έπειτα από την πάροδο 2 μηνών, οδήγησε στον επανασχεδιασμό και την επανεκτέλεση του πειράματος. Το νέο πείραμα υλοποιήθηκε σε απόσταση 50m περίπου από την αρχική θέση όπου το υπόστρωμα δεν έχει τόσο μεγάλο οργανικό φορτίο και το ποσοστό της άμμου είναι μεγαλύτερο, ενώ τοποθετήθηκαν 20 άτομα *Holothuria (Roweothuria) poli* στο πλαίσιο Γ αντί για 20 άτομα *Holothuria (Holothuria) tubulosa* καθώς απαντώνται σε μεγαλύτερους αριθμούς στην ευρύτερη περιοχή και είναι πιο ανθεκτικό είδος στις δυσμενείς συνθήκες για επιβίωση που παρατηρούνται σε περιοχές με μεγάλο οργανικό φορτίο. Παρ' όλα αυτά, και στη νέα τοποθεσία μετά την πάροδο 2 μηνών, δεν εντοπίστηκαν ζωντανοί ή νεκροί οργανισμοί εντός των πλαισίων. Είναι πιθανό ότι, είτε ορισμένα από τα ολοθούρια δεν επιβίωσαν και στη συνέχεια επήλθε αποσύνθεση των νεκρών ατόμων, είτε ότι οι οργανισμοί «δραπέτευσαν» από τα πλαίσια σκάβοντας κάτω από αυτά. Αντίστοιχη συμπεριφορά των ολοθουρίων εντοπίστηκε και σε άλλες παρόμοιες ερευνητικές προσπάθειες. Οι Tolon *et al.* (2017), που χρησιμοποίησαν ειδικά πλαίσια κατασκευασμένα από δίχτυ χωρίς σκέπαστρο και πυθμένα, αναφέρουν ότι τα ολοθούρια μπορούσαν εύκολα να δραπέτευσουν από την περιοχή εγκλεισμού τους είτε σκαρφαλώνοντας το δίχτυ, είτε σκάβοντας κάτω από αυτό. Παρόμοια και οι Neofitou *et al.* (2019) παρατήρησαν μία προσπάθεια διαφυγής ορισμένων ατόμων κατά τη διάρκεια των πειραμάτων που εκτέλεσαν (αναρρίχηση στα πλευρικά τμήματα του ειδικού μεταλλικού κλωβού και στις εσωτερικές γυάλινες επιφάνειες των ενυδρείων ή κάτω από το σκέπαστρο και το οριζόντιο πλαστικό πλέγμα), που αποδόθηκε στην υψηλή πυκνότητα του πληθυσμού και στον ανταγωνισμό των ατόμων για την τροφή και τον χώρο.

Οι τιμές του οργανικού άνθρακα που καταγράφηκαν κατά την 2η δειγματοληψία (12/6/2019) και παρουσιάζονται στον Πίνακα III (Παράρτημα) είναι παραπλήσιες με αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για τον Κόλπο της Γέρας, με εξαίρεση το ίζημα του πειραματικού κλωβού Δ που εμφανίζει υψηλότερη τιμή. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια μελέτης που υλοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2006, η ποσοστιαία αναλογία του οργανικού άνθρακα στον Κόλπο της Γέρας κυμαίνεται μεταξύ 0,26 και 1,58% (Ρουμελιώτη, 2007). Ωστόσο συγκρίνοντας τις τιμές της παρούσας μελέτης με αυτές που αναφέρονται στην μελέτη του 2006 για την ευρύτερη περιοχή που έχουν τοποθετηθεί οι πειραματικοί κλωβοί (0,50-0,80%), φαίνεται ότι στα χρόνια που μεσολάβησαν έχει επέλθει αξιοσημείωτη αύξηση του οργανικού άνθρακα.

Η ποσοστιαία αναλογία του οργανικού άνθρακα και της οργανικής ύλης σε κάθε ένα από τα 4 ειδικά πλαίσια κατά τις δύο περιόδους δειγματοληψίας (Πίνακας III) (Παράρτημα) κυμαίνεται σε σχετικά μεγάλο εύρος τιμών. Αυτό προφανώς οφείλεται στην ανομοιογενή απόθεση και αποδόμηση οργανικού υλικού, αυτόχθονου και σχετιζόμενου με την παρακείμενη ιχθυοκαλλιεργητική μονάδα, στον πυθμένα. Η ανομοιογένεια αυτή σχετίζεται με την ποικιλία του μεγέθους και της σύστασης που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια που επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης, τη

διαδρομή που ακολουθούν έως ότου αποθεθούν, παρασυρόμενα από τα οριζόντια ρεύματα και το ρυθμό αποδόμησής τους.

Η σχετικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα του ιζήματος του μεταλλικού πλαισίου Δ σχετίζεται με την αρκετά ισχυρή παρουσία του λεπτόκοκκου κλάσματος. Είναι σύνηθες η συγκέντρωση της οργανικής ύλης ή του οργανικού άνθρακα να εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το μειούμενο μέγεθος και την αυξανόμενη επιφάνεια των κόκκων του ιζήματος (Horowitz, 1991; Salomons & Förstner, 1984). Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι συχνά αυτή η απλή εικόνα περιπλέκεται από το γεγονός ότι η οργανική ύλη βρίσκεται στα ιζήματα σε δύο μορφές: επιφανειακές επιστρώσεις που τείνουν να συγκεντρώνονται στο λεπτόκοκκο κλάσμα και ξεχωριστά σωματίδια που τείνουν να συγκεντρώνονται σε μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα που με τις υπάρχουσες αναλυτικές τεχνικές δεν είναι δυνατή η διάκρισή τους.

Από τον Πίνακα III (Παράρτημα) και το Διάγραμμα 1 προκύπτει ότι μεταξύ της 2ης (12/6/2019) και της 3ης δειγματοληψίας (17/7/2019) στο ιζήμα του κλωβού μάρτυρα ουσιαστικά δεν υπήρξε μεταβολή της περιεκτικότητας του σε οργανικό άνθρακα, ενώ σε κανένα από τα μεταλλικά πλαίσια που είχαν τοποθετηθεί ολοθούρια δεν καταγράφηκε μείωση στο ποσοστό του οργανικού άνθρακα και της οργανικής ύλης, αντίθετα παρατηρήθηκε μικρή αύξηση. Αυτό οφείλεται στις απώλειες των ολοθουρίων στη διάρκεια του χρόνου που μεσολάβησε, αφού η θνησιμότητά τους είναι πιθανό να έφτασε στο 100%, αν και δεν ήταν δυνατή η εκτίμηση του αριθμού των ατόμων που επιβίωσαν και αυτών που διέφυγαν. Είναι προφανές ότι η αποσύνθεση των νεκρών ατόμων εμπλούτισε περαιτέρω το ιζήμα σε οργανικό υλικό, καθώς τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου που καταγράφηκαν κοντά στον πυθμένα δεν ευνόησαν την πλήρη αποδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι σε ανάλογα πειράματα που εκτελέστηκαν σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και στα οποία δεν παρατηρήθηκε αυξημένη θνησιμότητα των ολοθουρίων, τα αποτελέσματα σε σχέση με το οργανικό περιεχόμενο του ιζήματος μετά την πάροδο ενός μήνα είναι αντιφατικά. Ειδικότερα, ενώ οι Neofitou *et al.* (2019) αναφέρουν μείωση του οργανικού άνθρακα του ιζήματος κατά 58,58%, οι Tolon *et al.* (2017) κατέγραψαν αύξηση του οργανικού άνθρακα του ιζήματος με παράλληλη αύξηση του βάρους και του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης των ολοθουρίων.

Είναι πιθανόν ο τύπος του ιζήματος να επηρεάζει την βιωσιμότητα των ειδών των ολοθουρίων που μελετήθηκαν και συνεπώς και την μείωση ή όχι του οργανικού άνθρακα στο ιζήμα. Βέβαια στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η κοκκομετρική ανάλυση του πεπτικού σωλήνα των *Holothuria tubulosa* και *Holothuria poli* που έγινε από τους Mezali & Soualili (2013) έδειξε ότι τα δύο αυτά είδη επιλέγουν να τρέφονται τόσο με χονδρόκοκκα ιζήματα με μέγεθος κόκκων 600-2.000μm, όσο και με πιο λεπτόκοκκα με μέγεθος κόκκων 200-60μm. Επιπλέον οι Mezali & Soualili (2013) έδειξαν ότι τρέφονται επιλεκτικά και είναι σε θέση να διακρίνουν μεταξύ των πλούσιων και των φτωχών σωματιδίων σε θρεπτικά στοιχεία επιλέγοντας τα πιο πλούσια. Μάλιστα, σύμφωνα με τους Massin & Jangoux (1976), το *Holothuria tubulosa* είναι σε θέση να αναγνωρίζει σωματίδια που καλύπτονται από οργανική ύλη. Με βάση τα ανωτέρω και παρά το γεγονός ότι δεν έγινε λεπτομερής ανάλυση των ιζημάτων σε διάφορες κοκκομετρικές κλάσεις, δεν φαίνεται πολύ πιθανό να επηρεάστηκε αρνητικά η βιωσιμότητα των οργανισμών από τον τύπο των ιζημάτων της δεύτερης επιλεγείσας θέσης. Βέβαια δεν μπορεί να αποκλειστεί το γεγονός της σε

περιορισμένη κλίμακα έλλειψης οξυγόνου στο ίζημα, αν και η υπερκείμενη του ιζήματος υδάτινη στήλη είναι καλά οξυγονωμένη καθώς η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου που μετρήθηκε κοντά στον πυθμένα είναι $>4,5$ mg/L (Κρασακοπούλου κ.ά., 2019). Το πλούσιο σε οργανικό άνθρακα σωματιδιακό υλικό που προέρχεται από την ιχθυοκαλλιέργεια και αποτίθεται στον πυθμένα, περιστασιακά είναι πιθανό να καταναλώνει το διαθέσιμο οξυγόνο προκειμένου να αποδομηθεί. Στη συνέχεια, επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και αφού καταναλωθούν και τα επόμενα οξειδωτικά μέσα (NO_3^- , Fe^{3+}), συμβαίνουν οι διεργασίες της αναγωγής των θειικών και της μεθανογένεσης κατά τις οποίες εκλύονται τοπικά τα τοξικά για τους οργανισμούς αέρια υδρόθειο και μεθάνιο. Οι εν λόγω διεργασίες όμως δεν μπορεί να συμβαίνουν σε μεγάλη χωρική και χρονική κλίμακα καθώς η καλά οξυγονωμένη υδάτινη στήλη θα τροφοδοτεί συνεχώς με οξυγόνο το ίζημα αναπληρώνοντας τις ποσότητες που έχουν καταναλωθεί. Να σημειωθεί ότι η αναγωγή των θειικών και η μεθανογένεση αποτελούν συνήθεις διεργασίες που λαβαίνουν χώρα στα επιβαρυμένα από οργανική ύλη ιζήματα που βρίσκονται στην άμεση γειτονία ιχθυοκαλλιεργειών (Holmer & Kristensen, 1992; 1996). Ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να έχει αρνητική επίπτωση στην επιβίωση των ολοθουρίων είναι η πυκνότητα των ατόμων σε κάθε μεταλλικό πλαίσιο. Στο συγκεκριμένο πείραμα ο αριθμός των ατόμων σε κάθε μεταλλικό πλαίσιο κυμαινόταν μεταξύ 1,6 και 3,2 άτομα/ m^2 , πυκνότητα σχετικά μικρή σε σύγκριση με ανάλογο πείραμα κατά το οποίο ο αριθμός ατόμων *Holothuria tubulosa*/ m^2 ήταν 10 και η μέση επιβίωση ανήλθε στο 80,83% και κυμάνθηκε μεταξύ 40 και 100% (Neofitou *et al.*, 2019). Δεδομένου ότι η επανεκτέλεση του πειράματος έγινε κατά τη θερμή περίοδο του χρόνου, εξετάστηκε και το ενδεχόμενο η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών να επηρέασαν αρνητικά την επιβίωση των οργανισμών. Έχει αναφερθεί ότι χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες (24°C) προκαλούν πολλαπλασιασμό παθογόνων μικροοργανισμών που μπορούν να επιφέρουν μαζικούς θανάτους του είδους *Holothuria poli* (Mezali *et al.*, 2006). Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού που μετρήθηκε κοντά στον πυθμένα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο 2019 ήταν $\sim 20^\circ\text{C}$ και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις του οξυγόνου ήταν σχετικά υψηλές (Κρασακοπούλου κ.ά., 2019), και επομένως δεν συνηγορούν σε αυξημένη θνησιμότητα του είδους *Holothuria poli*. Αντίστοιχα, για το είδος *Holothuria tubulosa* αποτελέσματα πειράματος διάρκειας 45 ημερών έχουν δείξει ότι σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 25°C επιδεικνύει τους μέγιστους ρυθμούς ανάπτυξης και μηδενική θνησιμότητα (Günay *et al.*, 2015).

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω φαίνεται ότι τα ολοθούρια δεν εκτέθηκαν σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες για την επιβίωσή τους, επομένως το πιο πιθανό σενάριο περιλαμβάνει, μη επιβίωση των πιο αδύναμων οργανισμών είτε λόγω κακής φυσικής κατάστασης είτε λόγω ηλικίας, και διαφυγή των υγιών οργανισμών από τα μεταλλικά πλαίσια σκάβοντας κάτω από αυτά. Φαίνεται το αδύναμο σημείο στο σχεδιασμό του πειράματος να είναι το γεγονός ότι οι μεταλλικοί κλωβοί είχαν εισχωρήσει μέσα στο ίζημα μόνο κατά 0,2m σε αντίθεση με το αντίστοιχο πείραμα των Tolon *et al.* (2017) όπου οι κλωβοί είχαν εισχωρήσει μέσα στο ίζημα κατά 0,5m.

Η καλύτερη λύση για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος θα ήταν, οι μεταλλικοί κλωβοί που τοποθετούνται στον θαλάσσιο πυθμένα, να είναι σφραγισμένοι από κάτω και να περικλείουν το ίζημα όπου ζουν και τρέφονται τα ολοθούρια έτσι ώστε, ακόμη και να σκάψουν κάτω από αυτό, να μην μπορούν να δραπετεύσουν.

Βέβαια η λύση αυτή προϋποθέτει την πλήρωση των μεταλλικών κλωβών με επαρκή ποσότητα ιζήματος, που απαιτεί υπερβολική χειρωνακτική εργασία μέσω καταδύσεων και στη συνέχεια την παραμονή του ιζήματος σε ηρεμία για εύλογο χρονικό διάστημα πριν την τοποθέτηση των ολοθουρίων. Επομένως αν και η λύση αυτή φαίνεται να πλεονεκτεί καθώς εξασφαλίζει τον εγκλεισμό των ολοθουρίων στους μεταλλικούς κλωβούς, στην πραγματικότητα ο χρόνος και οι ανθρώπινοι πόροι που απαιτούνται ειδικά στην αρχική φάση, καθιστούν την υλοποίηση της λύσης αυτής ουσιαστικά ανέφικτη.

Παρά την μη επιτυχή έκβαση του συγκεκριμένου πειράματος, τα αποτελέσματα άλλων παρομοίων πειραμάτων είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά όσον αφορά στη δυνατότητα συν-καλλιέργειας ολοθουρίων προκειμένου να μειωθούν οι ποσότητες οργανικής ύλης που προκύπτουν από τις ιχθυοκαλλιέργειες και που τροφοδοτούν τα ιζήματα του πυθμένα. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών συνηγορούν ότι θα μπορούσε η συν-καλλιέργεια ολοθουρίων να χρησιμοποιηθεί ως ένα φυσικό διαχειριστικό μέσο για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων στο υπόστρωμα.

5. Βιβλιογραφία

Ξενογλώσση βιβλιογραφία

- Ackefors, H., Enell, M., 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio* 19, 28-35.
- Ahlgren, M.O., 1998. Consumption and assimilation of salmon net pen fouling debris by the red sea cucumber *Parastichopus californicus*: implications for polyculture. *J. World Aqua.Soc* 29, 133-139.
- Apostolaki, E.T., Marba, N., Holmer, M., Karakassis, I., 2009. Fish farming enhances biomass and nutrient loss in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81, 390-400.
- Belias, C.V., Bikas, V.G., Dassenakis, M.J., Scoullou, M.J., 2003. Environmental Impacts of Coastal Aquaculture in Eastern Mediterranean Bays: The Case of Astakos Gulf, Greece. *Environ Sci & Pollut Res* 10, 287-295.
- Beveridge, M.C.M., Phillips, M. J., Clarke, R.M., 1991. A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. In: *Aquaculture and Water Quality* (D. E. Brune & J. R. Tomasso, eds), The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA., pp. 506-533.
- Boyd, C.E., Torrans, E.L., Tucker, C.S., 2018. Dissolved oxygen and aeration in ictalurid catfish aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society* 49, 7-70.
- Bruckner, A., Johnson, K., Field, J., 2003. Conservation strategies for sea cucumbers: Can a CITES Appendix II listing promote sustainable international trade. *SPC Beche-de-mer in formation Bulletin* 18, 24-33.
- Buschmann, A.H., Riquelme, V.A., Hernández-González, M.C., Varela, D., Jiménez, J.E., Henríquez, L.A., Vergara, P.A., Guíñez, R., Filón, L., 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 63, 1338-1345.
- Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., Moore, C., 2012. Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 4, 209-220.
- Conand, C., 2004. Present status of world sea cucumber resources and utilization: An international overview. In: Lovatelli, A., Conand, C., Purcell, S.W., Uthicke, S., Hamel, J.F., Mercier, A. (Eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO Fisheries Technical Paper No. 463, Rome, pp. 13-24.
- Conand, C., Byrne, M., 1993. A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries. *Marine Fisheries Review* 55, 1-13.
- Costa, V., Mazzola, A., Vizzini, S., 2014. *Holothuria tubulosa* Gmelin 1791 (Holothuroidea, Echinodermata) enhances organic matter recycling in *Posidonia oceanica* meadows. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 461, 226-232.
- Coulon, P., Jangoux, M., 1993. Feeding rate and sediment reworking by the holothuroid *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in a Mediterranean seagrass bed off Ischia Island, Italy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92, 201-204.
- Danovaro, R., Corinaldesi, C., La Rosa, T., Luna, G.M., Mazzola, A., Mirto, S., Vezzulli, L., Fabiano, M., 2003. Aquaculture impact on benthic microbes and organic matter cycling in coastal Mediterranean sediments: a synthesis. *Chem. Ecol.* 19, 59-65.
- Dean, R.J., Shimmield, T.M., Black, K.D., 2007. Copper, zinc and cadmium in marine cage fish farm sediments: an extensive survey. *Environ. Pollut.* 145, 84-95.
- Degefu, F., Mengistu, S., Schagerl, M., 2011. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: a case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture* 316, 129-135.
- Delgado, O., Ruiz, J., Perez, M., Romero, J., Ballesteros, E., 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanologica Acta* 22, 109-117.
- Dorsat, A., 2001. Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: nutritional and feeding aspects. *Cah. Opt. Méd.* 55, 23-36.
- Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environ. Conserv.* 29, 192-206.
- Enell, M., 1987. Environmental Impact of Cage Fish Farming with Special Reference to Phosphorous and Nitrogen Loadings. *ICES1987/F44*.
- Ervik, A., Hansen, P.K., Aure, J., Stigebrandt, J., Johannessen, P., Jahnsen, T., 1997. Regulating the local environmental impact of extensive marine fish farming I. The concept of MOM (Modelling- Ongrowing fish farms-Monitoring). *Aquaculture* 158, 85-94.

- FAO (Food and Agriculture Organization), 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. 227 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 1991. Reducing environmental impacts of coastal aquaculture. GESAMP reports and studies 47. Rome. 45 p.
- Findlay, R.H., Watling, L., 1994. Toward a process level model to predict the effects of salmon net-pen aquaculture on the benthos. In: *Hargrave, B.T. (Ed.), Modeling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1949*, 47-77.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., Folger, D.W., 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J Sediment Res* 44, 249-253.
- Goddard, S., 2012. Feed Management in Intensive Aquaculture. *Fisheries and marine institute memorial University New Foundland, Canada*.
- Goldburg, R., Naylor, R., 2005. Future seascapes, fishing, and fish farming. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1, 21-28.
- Gowen, R.J., Bradbury, N.B., 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 25, 563-575.
- Gowen, R.J., Smyth, D., Silvert, W., 1994. Modelling the spatial distribution and loading of organic fish farm waste to the seabed. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19-30.
- Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M.F.L., 2016. Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? - A review. *Reviews in Aquaculture* 8, 283-300.
- Grigorakis, K., Rigos, G., 2011. Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere* 855, 899-919.
- Günay, D., Emiroğlu, D., Tolon, T., Özden, O., Saygi, H., 2015. Growth and Survival Rate of Juvenile Sea Cucumbers (*Holothuria tubulosa*, Gmelin, 1788) at Various Temperatures. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 533-541.
- Handy, R.D., Poxton, M.G., 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish.* Vol. 3, 205-241.
- Hansen, P.K., Pitman, K., Ervik, A., 1990. Effects of Organic Waste from Marine Fish Farms on the Sea Bottom Beneath the Cages. *Copenhagen-Denmark ICES*, 1-14.
- 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. *Marine Ecology Progress Series* 61, 61-73.
- Hall, P. O. J., Holby, O, Kollberg, S. & Samuelson, M. O., 1992. Chemical flux and mass balances in a marine fish cage farm. 4. Nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 89, 81-91.
- Hannah, L., Pearce, C.M., Cross, S.F., 2013. Growth and survival of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus*) cultivated with sablefish (*Anoplopoma fimbria*) at an integrated multi-trophic aquaculture site. *Aquaculture* 406–407, 34–42
- Higgins, M., 2000. Sea cucumbers in a deep pickle, *Environmental news network*.
- Holby, O., Hall, P. O. J., 1991. Chemical flux and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 70, 263-272.
- Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Diaz-Almela, E., Duarte, C.M., Frederiksen, M., Grau, A., Karakassis, I., Marba, N., Mirto, S., Perez, M., Pusceddu, A., Tsapakis, M., 2008. Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: synthesis and provision of monitoring and management tools. *Mar. Pollut. Bull.* 56, 1618-1629.
- Holmer, M., Kristensen, E., 1996. Seasonality of sulfate reduction and pore water solutes in a marine fish farm sediment: the importance of temperature and sedimentary organic matter. *Biogeochemistry* 32, 15-39.
- Holmer, M., Kristensen, E., 1992. Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine Ecology Progress Series* 80, 191-201.
- Isgoren-Emiroglu, D., Gunay, D., 2007a. The effect of sea cucumber *Holothuria tubulosa* (G. 1788) on nutrient and organic matter contents of bottom sediment of oligotrophic and hypereutrophic shores. *Fresenius Environ. Bull.* 16, 290-294.
- Isgoren-Emiroglu, D., Gunay, D., 2007b. The Effect of Sea Cucumber *Holothuria tubulosa* (G. 1788) on Nutrient and Sediment of Aegean Sea Shores. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10, 586-589.

- Islam, M.S., 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 48-61.
- James, D.B., Asha P.S., Mohan, M.K., Jargenesh, P., 2003. Culture of sea cucumbers in prawn farms- A take off in technology. *SPC Bech-De-Mer Bul* 18, 40-41.
- Karageorgis, A.P., Sioulas, A., Krasakopoulou, E., Anagnostou, C.L., Hatiris, G., Kyriakidou, H., Vasilopoulos, K., 2012. Geochemistry of surface sediments and heavy metal contamination assessment: Messolonghi lagoon complex, Greece. *Environmental Earth Sciences* 65, 1619-1629. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1136-3>
- Karakassis, I., Hatziyanni, E., 2000. Benthic disturbance due to fish farming analyzed under different levels of taxonomic resolution. *Marine Ecology Progress Series* 203, 247-253.
- Karakassis, I., Pitta, P., Krom, M.D., 2005. Contribution of fish farming to the nutrient loading of the Mediterranean. *Scientia Marina* 69, 313-321.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.N., Plaiti, W., 2000. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 1462-1471.
- Kaya, D., Pulatsü, S., 2017. Sediment-focused environmental impact of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage farms: Almus Reservoir (Tokat). *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 17, 345-352.
- Koçer, M.A.T., Sevgili, H., 2014. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. *Ecol. Indicat.* 36, 672-681.
- Kurlansky M. 1997. Cod: biography of the fish that changed the world. *New York: Penguin Books.*
- 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.
- Lefebvre, S., Barillé, L., Clerc, M. 2000. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture* 187, 185-198.
- Lester, S.E., Stevens, J.M., Gentry, R.R., Kappel, C.V., Bell, T.W., Costello, C.J., Gaines, S.D., Kiefer, D.A., Maue, C.C., Rensel, J.E., Simons, R.D., Washburn, L., White, C., 2018. Marine spatial planning makes room for offshore aquaculture in crowded coastal waters. *Nature Communications* 9, 1-13.
- Little, D.C., Newton, R.W., Beveridge, M.C.M., 2016. Aquaculture: a rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proc. Nutr. Soc.* 75, 274-286.
- Manoutsoglou, E., Hasiotis, T., Velegrakis, A., Hatzilias, N., 2015. Acoustic observation of the soft substrate of Gera Gulf, Lesbos island. *11th Panhellenic Symposium on Oceanography and Fisheries*, 1021-1024.
- Mantzavarakos, E., Kornaros, M., Lyberatos, G., Kaspiris, P., 2007. Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. *Desalination* 210, 110-124.
- Massin C., Jangoux M. 1976. Observations écologiques sur *Holothuria tubulosa*, *H. polii* et *H. forskali* et comportement alimentaire de *Holothuria tubulosa*. *Cahier de Biologie Marine France* 17, 45-59.
- Matijevic, S., Kuspilic, G., Kljakovic-Gaspic, Z., Bogner, D., 2008. Impact of fish farming on the distribution of phosphorus in sediments in the middle Adriatic area. *Mar. Pollut. Bull.* 56, 535-548.
- Mazzola, A., Mirto, S., La Rosa, T., Fabiano, M., Danovaro, R., 2000. Fish-farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal recovery. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 1454-1461.
- MacDonald, C.L.E., Stead, S.M., Slater, M.J., 2013. Consumption and remediation of European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) waste by the sea cucumber *Holothuria forskali*. *Aquaculture International* 21, 1279-1290.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B., Neofitou, C., 2006. Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult Int* 14, 499-522.
- Mercier, A., Battaglione, S.C., Hamel, J.F., 1999. Daily burrowing cycle and feeding activity of juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra* in response to environmental factors. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 239, 125-156.
- Mezali, K., Zupo, V., Francour, P. 2006. Population dynamics of *Holothuria* (*Holothuria*) *tubulosa* and *Holothuria* (*Lessonothuria*) *polii* of an Algerian *Posidonia oceanica* meadow. *Biol. Mar. Medit.*,13(4), 158-161.
- Mezali, K., Soualili, D.L., 2013. The ability of holothurians to select sediment particles and organic matter. *SPC Beche-de-mer information Bulletin* 33, 38-43.

- Michio K., Kengoa K., Yasunoria K. *et al.*, 2003. Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal bloom and organic matter contents of bottom sediments of the enclosed sea. *Mar. Pollut. Bull.* 47, 118–125
- 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, 244-252.
- Morgan, A., 2000. New Zealand collaborates with Japan on sea cucumber farming. *SPC Beche-De-Mer Information* 13,31-32.
- Moriarty, D.J.W., 1982. Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the GBR. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 33, 255-263.
- Moriarty, D.J.W., Pollard, P.C., Hunt, W.G. *et al.*, 1985. Productivity of bacteria and microalgae and the effect of grazing by holothurians in sediments on a coral reef flat. *Mar. Biol.* 85(3), 293–300.
- Naylor, R.L., Goldberg, G.R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J.F., Olke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017-1024.
- Nelson, E.J., MacDonald, B.A., Robinson, S.M.C., 2012. The absorption efficiency of the suspension-feeding sea cucumber, *Cucumaria frondosa*, and its potential as an extractive integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) species. *Aquaculture* 370-371, 19-25.
- Neofitou, N., Papadimitriou, K., Domenikiotis, C., Tziantziou, L., Panagiotaki, P., 2019. GIS in environmental monitoring and assessment of fish farming impacts on nutrients of Pagasitikos Gulf, Eastern Mediterranean. *Aquaculture* 501, 62-75.
- Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41, 199-219.
- Pitta, P., Apostolaki, E.T., Tsagaraki, T., Tsoyakis, M., Karakassis, I., 2006. Fish farming effects on chemical and microbial variables of the water column: a spatiotemporal study along the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 563, 99-108.
- Purcell, S.W., Samyn, Y., Conand, C., 2012. Commercially important sea cucumbers of the world. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 6. Rome, FAO, 150 pp.
- Radulescu, C.Z., Radulescu, M., 2019. AQUAM—A Decision Support Software for Fish Farm Management. *Journal of Fisheries Science* 1, 1-6.
- Reizopoulou, S. & A. Nicolaidou, 2004. Benthic diversity of coastal brackish-water lagoons in Western Greece. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 14, S93–S102.
- Sara, G., Scilipoti, D., Mazzolla, A., Modica, A., 2004. Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study ($d^{13}C$ and $d^{15}N$). *Aquaculture* 234, 199-213.
- Seymour, E.A., Bergheim, A., 1991. Towards a reduction of pollution from intensive aquaculture with reference to the farming of salmonids in Norway. *Aquacultural Engineering* 10, 73-88.
- Sicuro, B. & Levine, J., 2011. Sea Cucumber in the Mediterranean: A Potential Species for Aquaculture in the Mediterranean. *Reviews in Fisheries Science*, 19(3), pp.299-304.
- Silvert, W., 1994. Modelling the benthic impacts of organic matter loading. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 1949, 1-18.
- Silvert, W., 1992. Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters. *Aquaculture* 107, 67-79.
- Slater, M.J., Carton, A.G., 2009. Effect of sea cucumber (*Australostichopus mollis*) grazing on coastal sediments impacted by mussel farm deposition. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1123–1129
- Slater, M.J., Jeffs, A.G., Carton, A.G., 2009. The use of the waste from green-lipped mussels as a food source for juvenile sea cucumber, *Australostichopus mollis*. *Aquaculture* 292, 219-224.
- Stirling, H.P., Okumuç, I., 1995. Growth and production of mussels (*Mytilus edulis* L.) suspended at salmon cages and shellfish farms in two Scottish sea lochs. *Aquaculture* 134, 193-210.
- Tacon, A., 2003. Sustainable aquaculture feeds: an overview and global perspective. Abstracts on a workshop on a EU 5th framework research project (SEAfeeds). University of Stirling, Stirling.
- Tolon, M.T., Emiroglu, D., Gunay, D., Ozgul, A., 2017. Sea cucumber (*Holothuria tubulosa* Gmelin 1790) culture under marine fish net cages for potential use in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 46, 749-756.

- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009. Ecological engineering in aquaculture-Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 287, 1-9.
- Uthicke S., 2001. Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurian. *Journal of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* 265, 153-170.
- Van den Burg, S.W.K., Kamermans, P., Blanch, M., Pletsas, D., Poelman, M., Soma, K., Dalton, G., 2017. Business case for mussel aquaculture in offshore wind farms in the North Sea. *Marine Policy* 85, 1-7.
- Varol, M., 2019. Impacts of cage fish farms in a large reservoir on water and sediment chemistry. *Environmental Pollution* 252, 1448-1454.
- Wang, C., Wu, Y., Bai, L., Wang, C., Jiang, H., Wei, Z., Wei, X., Yuan, Z., Liu, X., 2018. Intermittent aeration incubation of drinking water treatment residuals for recycling in aquatic environment remediation. *Journal of Cleaner Production* 183, 220-230.
- Wu, R.S.S., Lam, K.S., MacKay, D.W., Lau, T.C., Yam, V., 1994. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case study in the sub-tropical environment. *Mar. Environ. Res.* 38, 115-145.
- Yokoyama, H., 2013. Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages-potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture* 372, 28-38.
- Yu, Z., Hu, C., Zhou, Y., Li, H., Peng, P., 2012. Survival and growth of the sea cucumber *Holothuria leucospilota* Brandt: a comparison between suspended and bottom cultures in a subtropical fish farm during summer. *Aquaculture Research* 44, 114-124.
- Yu, Z., Zhou, Y., Yang, H., Ma, Y., Hu, C., 2014. Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China. *Aquaculture* 426-427, 238-248.
- Yokoyama, H., Ishihi, Y., 2010. Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm-potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture* 310, 74-83.
- Zamora, L.N., Yuan, X., Carton, A.G., Slater, M.J., 2016. Role of deposit feeding sea cucumbers in integrated multitrophic aquaculture: progress, problems, potential and future challenges. *Rev. Aquac.* 0, 1-18.
- Zhang, L., Gao, Y., Zhang, T., Yang, H., Xu, Q., Sun, L., Yang, H., Xu, Q., Sun, L., Yu, Z., 2014. A new system for bottom co-culture of the scallop, *Patinopecten yessoensis*, with the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, and the sea urchin, *Anthocardia crassispina*, in shallow water in China. *Aquac. Int.* 22, 1403-1415.
- Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S., Shen, Y., 2019. Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: practice, assessment, and challenges. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47, 212-223.
- Zhou, Y., Yang, H., Liu, S., Yuan, X., Mao, Y., Liu, Y., Xu, X., Zhang, F., 2006. Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets. *Aquaculture* 256, 510-520.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Κρασακοπούλου, Ε., Βαγή, Μ., Καμπούρης, Θ.Ε. και Μπατζάκας, Ι.Ε. 2019. INTERREG-MED 2014-2020-PHAROS4MPAs - Διερεύνηση της δυνατότητας μείωσης οργανικού φορτίου από το ίζημα κάτω από κλωβούς υδατοκαλλιεργειών με χρήση ολοθουρίων. Τελική Τεχνική Έκθεση. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσιών Βιοεπιστημών. Μυτιλήνη, Λέσβος
- Αναθεωρημένος Εθνικός Κατάλογος Περιοχών Natura 2000 σύμφωνα με την ΚΥΑ 50743 (ΦΕΚ Β' 4432/2017) στις 15 Δεκεμβρίου 2017
- Ρουμελιώτη, Ν., 2007. Κατανομή οργανικού άνθρακα και ιζημάτων στον κόλπο της Γέρας και το λιμένα Μυτιλήνης. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 98 σελ

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- Βουλτσιάδου, Ε., Αμπατζόπουλος, Θ., Αντωνοπούλου, Ε., Γκάνιας, Κ., Γκέλης, Σ., Στάικου, Α., Τριανταφυλλίδης, Α. 2015. Υδατοκαλλιεργείες. Οργανισμοί, συστήματα παραγωγής, προοπτικές. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. <http://hdl.handle.net/11419/5083>

- ΣΕΘ (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιέργειών), 2019. Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2019. Ετήσια Εκθεση, 33 σελ. [https://fgm.com.gr/uploads/file/FGM_19_GR_WEB_Spreads\(4\).pdf](https://fgm.com.gr/uploads/file/FGM_19_GR_WEB_Spreads(4).pdf)
- Pharos4MPAsGreek NationalReport, 2020. Προωθώντας τη συνύπαρξη των Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών και των θαλάσσιων δραστηριοτήτων στην Ελλάδα: Προτάσεις από το πρόγραμμα INTERREG MED-PHAROS4MPAs. Εθνική Αναφορά 2019. 94 σελ. <https://pharos4mpas.interreg-med.eu/what-we-achieve/deliverables-database/>
- Pharos4MPAsRegionalReport, 2020. Προωθώντας τη συνύπαρξη των Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών και των θαλάσσιων δραστηριοτήτων στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου: Προτάσεις από το πρόγραμμα INTERREG MED-PHAROS4MPAs. Περιφερειακή Αναφορά 2019. 94 σελ. <https://pharos4mpas.interreg-med.eu/what-we-achieve/deliverables-database/>
- SWD, 2016. Guidance document on the application of the Water Framework Directive (WFD) and the Marine Strategy Framework Directive (MSFD) in relation to aquaculture. 36 σελ. https://ec.europa.eu/fisheries/sites/fisheries/files/docs/body/swd-2016-178_en.pdf

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας I: Αρχικά βάρη ανά πειραματική πλαίσιο και ανά δειγματοληψία (Κρασακοπούλου κ.ά., 2019).

Κλωβός	Ημερομηνία	Είδος	Βάρος (g)	Αριθμός Ατόμων
A	14/3/2019	Πλαίσιο ελέγχου (control)	0	0
B	14/3/2019	<i>Holothuria tubulosa</i>	1.868	10
Γ	14/3/2019	<i>Holothuria tubulosa</i>	3.942	20
Δ	14/3/2019	<i>Holothuria poli</i>	550	10
A	14/5/2019	Πλαίσιο ελέγχου (control)	0	0
B	14/5/2019	<i>Holothuria tubulosa</i>	1.695	10
Γ	14/5/2019	<i>Holothuria tubulosa</i>	3.320	20
Δ	14/5/2019	<i>Holothuria poli</i>	682	10
A	12/6/2019	Πλαίσιο ελέγχου (control)	0	0
B	12/6/2019	<i>Holothuria tubulosa</i>	2.398	10
Γ	12/6/2019	<i>Holothuria poli</i>	1.142	10
Δ	12/6/2019	<i>Holothuria poli</i>	2.156	20

Πίνακας II: Αποτελέσματα κοκκομετρικής σύστασης ιζημάτων των τεσσάρων κλωβών (Κρασακοπούλου κ.ά., 2019).

Κοκκομετρική Ανάλυση	Κλωβοί	A (μάρτυρας)	B	Γ	Δ
% Κλάσμα Μέση τιμή	Αδρόκοκκα $\geq 63\mu\text{m}$	75,5 \pm 3,8	82,4 \pm 3,1	76,1 \pm 2,1	56,8 \pm 5,6
	Λεπτόκοκκα $\leq 63\mu\text{m}$	24,5 \pm 3,8	17,6 \pm 3,1	23,9 \pm 2,1	43,2 \pm 5,6

Πίνακας III: Εύρος, μέση τιμή (M.T.) & τυπική απόκλιση (\pm stddev) του ποσοστού του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των τεσσάρων ειδικών πλαισίων για την 1^η δειγματοληψία (14/5/2019), την 2^η δειγματοληψία (12/6/2019) και την 3^η δειγματοληψία (17/7/2019) με αριθμό επαναλήψεων N=12 για κάθε πλαίσιο (Κρασακοπούλου κ.ά., 2019).

Ποσοστό οργανικού άνθρακα και οργανικής ύλης					
1. 14/5/2019					
	Κλωβοί	A (μάρτυρας)	B	Γ	Δ
οργανικός άνθρακας (% dw)	Εύρος	5,27 – 6,14	4,30 – 5,63	5,50 – 6,36	5,91 – 6,52
	M.T. \pm stddev	5,67 \pm 0,32	4,81 \pm 0,44	6,02 \pm 0,31	6,14 \pm 0,26
οργανική ύλη (% dw)	Εύρος	14,70 – 17,14	11,99 – 15,71	15,34 – 17,76	16,50 – 18,19
	M.T. \pm stddev	15,81 \pm 0,89	13,42 \pm 1,23	16,79 \pm 0,86	17,14 \pm 0,74
2. 12/6/2019					
	Κλωβοί	A (μάρτυρας)	B	Γ	Δ
οργανικός άνθρακας (% dw)	Εύρος	0,82 – 1,82	1,13 – 2,25	1,28 – 1,96	1,36 – 3,10
	M.T. \pm stddev	1,26 \pm 0,36	1,59 \pm 0,34	1,62 \pm 0,23	2,13 \pm 0,69
οργανική ύλη (% dw)	Εύρος	2,29 – 5,08	4,16 – 6,28	3,57–5,48	3,80 – 8,64
	M.T. \pm stddev	3,52 \pm 1,00	4,36 \pm 1,00	4,53 \pm 0,64	5,94 \pm 1,93
3. 17/7/2019					
	Κλωβοί	A (μάρτυρας)	B	Γ	Δ
οργανικός άνθρακας (% dw)	Εύρος	0,77 – 1,90	1,16 – 2,69	1,76 – 2,32	1,99 – 2,94
	M.T. \pm stddev	1,28 \pm 0,45	1,95 \pm 0,76	1,99 \pm 0,26	2,57 \pm 0,37
οργανική ύλη (% dw)	Εύρος	2,15–5,30	3,24 – 7,51	4,91–6,47	5,56 – 8,21
	M.T. \pm stddev	3,58 \pm 1,26	5,43 \pm 2,12	5,55 \pm 0,72	7,18 \pm 1,04