



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
“ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΦΑΛΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΓΕΝΗ ΥΛΙΚΑ”



ΓΑΒΡΙΗΛ ΕΛΕΝΗ
ΒΙΟΛΟΓΟΣ
Θεσσαλονίκη, 2022



ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
DEPARTMENT OF BIOLOGY, GEOLOGY, CIVIL ENGINEERING

INTERDISCIPLINARY POSTGRADUATE MASTER PROGRAM
«INTEGRATED MANAGEMENT OF RIVER BASINS AND COASTAL AREAS»

MASTER THESIS

***“EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL REEFS FROM BIOGENIC
MATERIALS”***

GAVRIEL ELENI

BIOLOGIST

Thessaloniki, 2022

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέποντες: Χαρίτων Χιντήρογλου, Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας, Τομέας Ζωολογίας, Α.Π.Θ & Χρυσάνθη Αντωνιάδου, Δρ., ΕΔΙΠ, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Ζωολογίας, Α.Π.Θ.

Μέλος: Θεοφάνης Καραμπάς, Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής, Α.Π.Θ

*Στην οικογένεια μου,
που είναι πάντα δίπλα μου.....*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ολοκληρωμένη διαχείριση Λεκανών απορροής και Παράκτιων περιοχών», των Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας και Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., στο εργαστήριο Θαλάσσιας και Χερσαίας Ζωικής Ποικιλότητας του τμήματος Βιολογίας, το Ακαδημαϊκό έτος 2020-2021.

Η υλοποίηση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την πολύτιμη βοήθεια και συμμετοχή κάποιων ανθρώπων. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Χρυσάνθη Αντωνιάδου και τον κ. Χαρίτων Σαρλ Χιντήρογλου, που πίστεψαν σε μένα και δέχτηκαν να υλοποιηθεί η παρούσα μελέτη με το συγκεκριμένο θέμα. Θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα Δρ. Χρυσάνθη Αντωνιάδου για το αμείωτο ενδιαφέρον, τη βοήθεια και τις συμβουλές που μου προσέφερε, ακόμα και σε αυτές τις δύσκολες συνθήκες που παρουσιάστηκαν την χρονιά που μας πέρασε. Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέπον Καθηγητή Χαρίτων Χιντήρογλου για τις γνώσεις που μου παρείχε με προθυμία, καθώς και τις αμέτρητες συμβουλές, καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στο πεδίο. Αισθάνομαι τυχερή που μου δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστώ και με τους δύο αυτούς ανθρώπους, γιατί είναι και οι δύο τους πολύ αξιόλογοι αλλά και πολύ καλοί επιστήμονες. Τους ευχαριστώ, ειλικρινά, γιατί η συμβολή τους στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου ήταν καθοριστική.

Ευχαριστώ θερμά, επίσης, και τον υποψήφιο διδάκτορα Κωσταντίνο Φρυγανιώτη, ο οποίος με βοήθησε στην πειραματική διαδικασία κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στο πεδίο. Είμαι ευγνώμων για τον χρόνο που διέθεσε με προθυμία αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια και πρακτική γνώση πεδίου που μου προσέφερε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, και ιδιαίτερα στον κύριο Νικόλαο Τσούλη, που με χαρά μου παρείχαν χώρο της εγκατάστασης τους για να πραγματοποιήσω το πείραμα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές τους Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφεραν τα 2 αυτά χρόνια και την συνεργασία που είχαμε με τον κάθε ένα ξεχωριστά, παρόλες τις δύσκολες συνθήκες της πανδημίας και της φετινής χρονιάς.

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, τον αγαπημένο μου Σπύρο και τους φίλους μου, που με υποστήριξαν και μου συμπαραστάθηκαν ο κάθε ένας με τον τρόπο του και είναι κοντά μου όποτε τους χρειαστώ, στα εύκολα και στα δύσκολα.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ και ευγνωμοσύνη το οφείλω στην οικογένεια μου, στους αγαπημένους μου γονείς Νίκη και Λάκη, και στις μικρές μου αδερφές Ζωή και Άννα, για όλη την στήριξη, υπομονή, εμπιστοσύνη και αγάπη που μου έδειξαν. Κυρίως όμως τους ευχαριστώ γιατί είναι πάντα δίπλα μου κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
1. Εισαγωγή	9
1.1 Γενικά στοιχεία	9
1.2 Τεχνητοί ύφαλοι.....	11
1.2.1 Ορισμός και γενικές πληροφορίες.....	11
1.2.2 Εφαρμογές τεχνητών υφάλων.....	13
1.2.3 Τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων	17
1.2.4 Αρνητικές επιπτώσεις της τεχνολογίας κατασκευής τεχνητών υφάλων	20
1.2.5 Τεχνητοί ύφαλοι από βιογενή υλικά.....	21
1.3 Οικολογική διαδοχή και αποίκηση των τεχνητών υφάλων	22
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	24
2. Μεθοδολογία.....	25
2.1 Περιοχή μελέτης.....	25
2.2 Κατασκευή πρότυπης μονάδας τεχνητών υφάλων.....	26
2.3 Πειραματική ανάπτυξη των μονάδων τεχνητών υφάλων	28
2.4 Δειγματοληπτικό πρωτόκολλο: Ανακομιδή πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων και μετρήσεις πεδίου	30
2.5 Εργαστηριακή επεξεργασία πειραματικών μονάδων	30
2.6 Επεξεργασία φωτογραφιών.....	32
2.7 Ανάλυση δεδομένων.....	33
2.7.1 Αβιοτικές παράμετροι.....	33
2.7.2 Βιοποικιλότητα, αφθονία και ποσοστιαία κάλυψη	33
2.7.3 Σύνθεση ζωοβένθους.....	34
3. Αποτελέσματα.....	35
3.1 Αβιοτικές παράμετροι.....	35
3.2 Βιοποικιλότητα, αφθονία και ποσοστιαία κάλυψη βενθικών οργανισμών στις πειραματικές μονάδων τεχνητών υφάλων	37
3.2.1 Συγκεντρικά στοιχεία.....	37
3.2.2 Ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα	40
3.2.3 Εδραία και προσκολλημένη πανίδα	44
3.3 Σύνθεση ζωοβένθους/φυτοβένθους: επιμέρους στάδια οικολογικής διαδοχής ...	55
3.3.1 Ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα.....	55
3.3.2 Εδραία και προσκολλημένη πανίδα	58
3.3.3 Κάλυψη βενθικών οργανισμών	61

3.4	Συγκριτική αποτίμηση των δύο υλικών δοκιμής: ομοιότητα των βενθικών βιοκοινοτήτων στις επιφάνειες των δύο υλικών των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων.....	64
4.	Συζήτηση.....	69
4.1	Αβιοτικές παράμετροι.....	69
4.2	Σύνθεση βενθικής βιοκοινότητας και στάδια οικολογικής διαδοχής.....	69
4.3	Σύγκριση των δύο υλικών δοκιμής ως υποστρώματα αποίκησης και εντοπισμός διαφορών στα στάδια διαδοχής.....	74
5.	Συμπεράσματα	77
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	80
	ABSTRACT	82
	Παράρτημα.....	84
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Η προστασία του περιβάλλοντος έχει καθοριστική σημασία για την ποιότητα ζωής όλων των οργανισμών του πλανήτη μας. Σημαντική πρόκληση αποτελεί ο συνδυασμός περιβαλλοντικής διατήρησης και οικονομικής ανάπτυξης σε μακροπρόθεσμη βάση. Είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται πολιτικές που θα παρέχουν περιβαλλοντικά αειφόρο, οικονομικά δίκαιη, κοινωνικά υπεύθυνη και πολιτιστικά ευαίσθητη διαχείριση. Η διατήρηση της βιοποικιλότητας των θαλασσών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα της εποχής που διανύουμε.

Τα θαλάσσια οικοσυστήματα μπορούν να υποβαθμιστούν με πάρα πολλούς τρόπους. Για παράδειγμα, από ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η ρύπανση των παράκτιων περιοχών και από δραστηριότητες οικονομικού χαρακτήρα, όπως οι καταστρεπτικές αλιευτικές πρακτικές. Για την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων θαλάσσιων περιοχών είναι αναγκαία η εφαρμογή τεχνητών παρεμβάσεων. Όσον αφορά στο θέμα αυτό έχουν υπάρξει πολλές και διαφορετικές προσεγγίσεις κατά καιρούς, με σκοπό τόσο τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, την προστασία των βιολογικών πόρων και την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων, όσο και την οικονομική πρόοδο. Ωστόσο η ισορροπία ανάμεσα στους δύο αυτούς πόλους είναι συχνά προβληματική με κάποιες προσεγγίσεις να στοχεύουν αποκλειστικά στην αειφόρο διαχείριση και με κάποιες άλλες στην οικονομική ανάπτυξη. Η κατασκευή και τοποθέτηση τεχνητών ύφαλων αποτελεί, σε παγκόσμια κλίμακα τις τελευταίες δεκαετίες, ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και δημοφιλή διαχειριστικό εργαλείο του θαλάσσιου περιβάλλοντος και ειδικότερα των παράκτιων οικοσυστημάτων.

Στο θαλάσσιο περιβάλλον οποιαδήποτε σκληρή επιφάνεια αποικείται άμεσα καθώς η διαθεσιμότητα του σκληρού υποστρώματος είναι περιορισμένη ως φυσικός πόρος. Σκληρά υποστρώματα προσφέρουν καταφύγιο σε πολλούς οργανισμούς, επιβενθικούς και ενδολιθικούς και έτσι συμβάλλουν στην αύξηση της βιοποικιλότητας. Τα βράχια και οι ύφαλοι παρέχουν κατάλληλο ενδιαίτημα για μακροφύκη, αλλά και για μια πληθώρα από ασπόνδυλα που ζουν προσκολλημένα, εδραία ή μετακινούνται ελεύθερα. Τα βραχώδη υποστρώματα αποτελούν επίσης το ενδιαίτημα διαβίωσης πολλών παραβενθικών, υφαλόφιλων ψαριών, όπως ροφοί, σκορπιοί, σαργοί, πέρκες, σάλπες και σκάρροι, που βρίσκουν καταφύγιο ή τροφή στους υφάλους (Bombace 1989). Επομένως, οποιαδήποτε επέκταση των σκληρών αυτών επιφανειών αναμένεται να αυξήσει την ποσότητα των θαλάσσιων βιολογικών πόρων. Στην αρχή αυτή στηρίζεται η τεχνολογία κατασκευής - με αντικειμενικό στόχο τη βέλτιστη προσομοίωση των φυσικών υφάλων-, ανάπτυξης και διαχείρισης των τεχνητών υφάλων.

Οι τεχνητοί ύφαλοι αποτελούν ένα από τα σύγχρονα διαχειριστικά μέτρα για την προστασία παράκτιου περιβάλλοντος ή ευαίσθητων και υποβαθμισμένων βιοτόπων. Η ανάπτυξη τους έχει πολλαπλές εφαρμογές στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τις περισσότερες φορές εφαρμόζονται ως εργαλεία αλιευτικής διαχείρισης με διττό στόχο: την αύξηση και εκμετάλλευση των ιχθυαποθεμάτων ή και την προστασία θαλάσσιων οικοτόπων (π.χ λειμώνες φανερογάμων) από καταστρεπτικά αλιευτικά εργαλεία όπως οι τράτες βυθού (Ντούνας 1997). Τεχνητοί ύφαλοι τοποθετούνται, ακόμα, ως εργαλεία αποκατάστασης οικοτόπων, με στόχο την παροχή κατάλληλου βιότοπου σε διάφορα θαλάσσια ζώα και φυτά, μιμούμενοι δομικά τα χαρακτηριστικά των φυσικών υφάλων (Kenchington 1988, Pratt 1994, Rilov & Benayahu 2000). Τεχνητές δομές χρησιμοποιούνται, επίσης, για την προστασία παράκτιων περιοχών και τη μείωση της διάβρωσης λόγω κυματικής δράσης στην παράκτια ζώνη. Επιπλέον, λόγω του πλούσιου υποθαλάσσιου περιβάλλοντος που επιτυγχάνουν, έχουν ως αποτέλεσμα την ενδυνάμωση του τουρισμού (καταδύσεις αναψυχής).

Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και της βιωσιμότητας περιλαμβάνει την ελεγχόμενη χρήση των φυσικών πόρων, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων, και γενικότερα τη μείωση της ατμοσφαιρικής και υδατικής ρύπανσης. Όσον αφορά στην κατασκευή τεχνητών υφάλων πολλές φορές χρησιμοποιούνται υλικά και τεχνικές που δεν στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων αλλά προβλέπουν μόνο το οικονομικό κέρδος πριν και μετά την εφαρμογή τους. Θα έπρεπε, ωστόσο, να υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές υλικών, πριν επιτραπεί η χρήση τους στην κατασκευή τεχνητών υφάλων (Carral 2018).

Οι τεχνητοί ύφαλοι αποτελούν διαδεδομένο και αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης της παράκτιας ζώνης. Επομένως η εφαρμογή τους θα πρέπει να είναι βιώσιμη με γνώμονα όχι μόνο την οικονομική ανάπτυξη μιας περιοχής αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος και των θαλάσσιων οργανισμών. Η χρήση τους είναι εκτεταμένη και εμπεριστατωμένη κι έτσι, με το σωστό σχεδιασμό και με την εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης μπορούν να εξασφαλιστούν οι βασικές προϋποθέσεις για την ένταξη τους σε προγράμματα αειφόρου διαχείρισης.

1.2 Τεχνητοί ύφαλοι

1.2.1 Ορισμός και γενικές πληροφορίες

Οι τεχνητοί ύφαλοι (AR) είναι υποβρύχιες κατασκευές είτε από τυχαία αντικείμενα τα οποία έχουν πάψει να χρησιμοποιούνται ή από ειδικά σχεδιασμένες δομές για την προστασία και την ενίσχυση των θαλάσσιων πόρων, αλλά και την προστασία και αποκατάσταση οικοτόπων που έχουν διαταραχθεί από ανθρωπογενή ή φυσικά αίτια (Svane 2001, Jiang 2016, Toledo 2021). Ιστορικά, ο ορισμός των τεχνητών υφάλων διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη Σύμβαση και το Πρωτόκολλο του Λονδίνου (UNEP 2010) όπου και συμφωνήθηκε ένας κοινά αποδεκτός ορισμός. Σύμφωνα με αυτόν πρόκειται για δομές τοποθετημένες σκόπιμα στον πυθμένα της θάλασσας με σκοπό τη μίμηση της λειτουργίας ενός φυσικού υφάλου, και ως εκ τούτου την προστασία, αναγέννηση, συγκέντρωση ή ανάπτυξη των θαλάσσιων φυσικών πόρων (Ponti 2015, Fabi 2011, Herbert 2017, Noh 2017)

Η τοποθέτηση των τεχνητών υφάλων στο χώρο δεν είναι τυχαία, αλλά προηγείται σχετική μελέτη που λαμβάνει υπόψη τα οικολογικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής, τη σύνθεση του πυθμένα, το είδος των βενθικών κοινωτών και τη σύνθεση των κοινοτήτων, την παρουσία και έκταση σημαντικών οικοτόπων και ειδών αλλά και την ιχθυοπανίδα. Με λίγα λόγια πρέπει να προηγείται η μελέτη της βιοποικιλότητας της περιοχής και των βασικών περιβαλλοντικών της χαρακτηριστικών.

Στο παρελθόν, ήταν διαδεδομένη η χρήση τυχαίων παροπλισμένων αντικειμένων για την κατασκευή και δημιουργία τεχνητών υφάλων, όπως παλιά ελαστικά αυτοκινήτων, κατεστραμμένα σκάφη και οχήματα και άλλα παρόμοια αντικείμενα. Οι πρακτικές αυτές έχουν περιοριστεί στις μέρες μας, κυρίως επειδή αποτελούν πηγή ρύπανσης, αλλά δεν έχουν εγκαταλειφθεί εντελώς. Ωστόσο, επικρατούν πλέον νέες τεχνικές κατασκευής κυρίως από σκυρόδεμα χαμηλής υδατοπερατότητας που διαμορφώνεται σε διάφορες δομές και μεγέθη ανάλογα με τις ανάγκες εφαρμογής του υφάλου.

Η χρήση τεχνητών υφάλων ανάγεται στα μέσα του 17^{ου} αιώνα στην Ιαπωνία (Simard, 1996). Η μορφή τους τότε ήταν απλή. Αποτελούνταν από βράχια και πέτρες που τοποθετούνταν σκόπιμα στη θάλασσα με αποτέλεσμα να συγκεντρώνουν γύρω τους πληθυσμούς ψαριών και άλλων οργανισμών. Η κατασκευή και χρήση των τεχνητών υφάλων σε άλλες χώρες όπως Αυστραλία, Μαλαισία, Ταϊλάνδη άρχισε από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα και βασίστηκε σε ιδιωτικές και κυβερνητικές πρωτοβουλίες (Stone, 1991). Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι τεχνητοί ύφαλοι πρωτοεμφανίστηκαν το 1935 από προσπάθειες ιδιωτικών μέχρι και το 1966, οπότε και η Αμερικανική κυβέρνηση χρηματοδότησε το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα για κατασκευή τεχνητών υφάλων (Stone, 1991). Σε αντίθεση με την Ιαπωνία που βασίστηκε σε φυσικά υλικά, στις Η.Π.Α χρησιμοποιήθηκαν διάφορα άχρηστα υλικά

όπως πλοία, άρματα και αεροπλάνα με κύριο σκοπό την προσέλκυση εμπορικών ειδών για την ενίσχυση της αλιείας, αλλά και την ανάπτυξη του καταδυτικού τουρισμού (Seaman & Jensen, 2000).

Στην Ευρώπη οι τεχνητοί ύφαλοι άρχισαν να χρησιμοποιούνται γύρω στο 1960 και πιο εντατικά τα τελευταία τριάντα χρόνια. Ο αρχικός στόχος της κατασκευής τους ήταν η προστασία των λειμώνων αγγειόσπερμων από την παράνομη αλιεία με μηχανότρατα (Relini et al. 2002). Το πεδίο εφαρμογών τους σταδιακά διευρύνθηκε και τελικά, οι τεχνητοί ύφαλοι προτάθηκαν ως ένα δυναμικό εργαλείο για την αποκατάσταση των θαλάσσιων οικοτόπων και των παράκτιων οικοσυστημάτων (Kenchington 1988, Pratt 1994, Rilov & Benayahu 2000). Παρόλα αυτά, στις Μεσογειακές χώρες, η απλή εφαρμογή τους είναι γνωστή ακόμα και πριν τους παλιούς παραδοσιακούς υφάλους της Ιαπωνίας. Στην Ελλάδα η πρώτη πειραματική προσπάθεια έγινε στις ακτές του Νέου Μαρμαρά (Sinis et al. 2000), ενώ ο πρώτος εφαρμοσμένος ύφαλος ποντίστηκε το 1998, στο Βιστωνικό κόλπο του Θρακικού πελάγους, στην περιοχή Φανάρι. Η Ελλάδα, σε αντίθεση με την Ισπανία, Γαλλία και Ιταλία όπου τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει αρκετή πρόοδο στη σχεδίαση και πόντιση τεχνητών υφάλων, βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο, με μικρό αριθμό ποντισμένων υφάλων στα θαλάσσια ύδατα της.



Εικόνα 1: Αριστερά : Τεχνητοί ύφαλοι τοποθετημένοι στην Καραϊβική Θάλασσα (από www.dreamstime.com). Δεξιά: Τεχνητός ύφαλος τοποθετημένος στην Ερυθρά θάλασσα. (πηγή: www.dreamstime.com)

Figure 1: Left: Artificial reefs deployed at the Caribbean Sea (from www.dreamstime.com). Right: Artificial reef deployed at Red sea. (www.dreamstime.com)

1.2.2 Εφαρμογές τεχνητών υφάλων

Με την πάροδο των ετών, η χρήση των τεχνητών υφάλων έχει διευρυνθεί καλύπτοντας διαφορετικούς σκοπούς. Οι τεχνητοί ύφαλοι έχουν γίνει ακόμα πιο δημοφιλείς και στη συνέχεια οι στόχοι τους επεκτάθηκαν για να λάβουν υπόψη διάφορες ανάγκες, όπως αναψυχή, αποκατάσταση ή ανάπτυξη ενδιαιτημάτων, συμβολή στην απόκτηση νέων γνώσεων σχετικά με τη συμπεριφορά των ειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον ή την προστασία της παραλίας και τον έλεγχο της διάβρωσης παράκτιων περιοχών. (Perkol-Finkel & Banayahu 2005, Ponti 2015, Encarnação 2018,). Οι πρώτοι τεχνητοί ύφαλοι, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, κατασκευάστηκαν για να αυξήσουν τους πληθυσμούς ορισμένων αλιευτικών πόρων. Τα τελευταία χρόνια, τεχνητοί ύφαλοι χρησιμοποιούνται ολοένα και πιο συχνά για την αποκατάσταση ενδιαιτημάτων και έχουν χαρακτηριστεί από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους διαχείρισης θαλάσσιων περιοχών, λόγω της δυνατότητας που υπάρχει να παρακολουθούνται, να ελέγχονται και να αναθεωρούνται συνεχώς με στόχο την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού για τον εκάστοτε σκοπό που προορίζεται η εφαρμογή τους.(Komyaakona 2019, Lee 2018, Silva 2018). Παρακάτω συνοψίζονται οι πιο διαδεδομένες διαχειριστικές εφαρμογές και οι επιδιωκόμενοι λειτουργικοί στόχοι τεχνητών υφάλων.

Αύξηση αλιευτικής παραγωγής

Οι τεχνητοί ύφαλοι, των οποίων η εφαρμογή αποσκοπεί στην προσέλκυση ή αύξηση της αλιευτικής παραγωγής, είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να μιμούνται τα φυσικά χαρακτηριστικά βραχωδών υφάλων και να μεταβάλουν «έρημες» περιοχές σε παραγωγικά πεδία. Ουσιαστικά, δημιουργούν επιφάνειες αποίκισης καθώς οι τεχνητές τρισδιάστατες δομές δημιουργούν φυσικές συνθήκες για τη διαφοροποίηση βιολογικών θώκων και την εδραίωση τροφικών πλεγμάτων που στηρίζονται στους εδραίους οργανισμούς- εποικιστές (Bombace 1996). Αυτές οι πολύπλοκες μορφές υφάλων προσελκύουν διάφορα είδη ψαριών καθώς τους παρέχουν προστασία από θηρευτές, τροφή και νέες οικοθέσεις. Οι παρεχόμενες οικοθέσεις καταλαμβάνονται είτε από απογόνους ειδών που υπάρχουν στην περιοχή ή από πληθυσμούς που μεταναστεύουν στον τεχνητό ύφαλο (Bohnsack 1989, Παπακωσταντίνου 1998). Με την εφαρμογή αυτή ενισχύεται δυνητικά τόσο η βιοποικιλότητα των ειδών όσο και οι προοπτικές διατήρησής της.

Προστασία θαλάσσιων πόρων και οικοτόπων

Οι μονάδες τεχνητών υφάλων αυτού του τύπου επιδιώκουν να προστατεύσουν ευαίσθητα οικοσυστήματα (π.χ. λειμώνες φανερογάμων ή κοραλλιγενής βιοκοινότητες) ή νεαρά ιχθύδια από καταστρεπτικές και παράνομες πρακτικές αλίευσης (Εικόνα 2) συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στη διατήρηση των βιοκοινοτήτων (Bombace 1996, Pickering et al 1998, Ramos-Espla et al 2000). Τοποθετούνται συνήθως στα όρια ευαίσθητων οικοτόπων και θέτουν μηχανικά

εμπόδια στον πυθμένα αποτρέποντας την είσοδο σκαφών και τη χρήση συρόμενων αλιευτικών εργαλείων στην ισοβαθή των 50 μέτρων (Κανονισμός ΕΕ 1626/94). Η αποτροπή της αλιείας ευνοεί την ανάπτυξη και την αύξηση των νεαρών ψαριών. Η εφαρμογή αυτή των υφάλων, ως φυσικά εμπόδια, είναι πολύ σημαντική για την αποτροπή αλλοίωσης τόσο των παραγωγικών πεδίων όσο και των ευαίσθητων οικοτόπων, αφού υπάρχει, σε πολλές χώρες του πλανήτη, μεγάλη δυσκολία παρακολούθησης μεγάλων περιοχών από τις λιμενικές αρχές (Bombace, 1996).

Αυτού του τύπου οι ύφαλοι συνδυάζονται συχνά με αυτούς της προηγούμενης κατηγορίας. Ύφαλοι που στοχεύουν στην ενίσχυση της αλιευτικής παραγωγής τοποθετούνται συνήθως στον πυρήνα μιας περιοχής, ενώ περιφερειακά διασκορπίζονται μικρότερες μονάδες υφάλων ως φυσικά εμπόδια για την αποτροπή της αλιείας. Αυτή τη διάταξη έχει και ο ύφαλος που εφαρμόστηκε στο Φανάρι της Ροδόπης το 1998.



Εικόνα 2: Τεχνητός ύφαλος τοποθετημένος στο Μονακό, για προστασία λειμώνων φανερογάμων. (<https://www.sfportresilience.com/artificial-reef>)

Figure 2: Artificial reef deployed in Monaco, build for protect seagrass meadows (<https://www.sfportresilience.com/artificial-reef>)

Αποκατάσταση βιοτόπων

Οι σύγχρονες τεχνικές που εφαρμόζονται στην αλιεία έχουν αυξήσει τα προβλήματα που δημιουργούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον και έχουν καταστρέψει πολλές περιοχές του πυθμένα. Χρησιμοποιώντας λοιπόν τεχνητούς υφάλους αυξάνονται οι θαλάσσιοι πόροι, διατηρείται και ενισχύεται η βιοποικιλότητα, με αποτέλεσμα την αναγέννηση και αποκατάσταση των κατεστραμμένων βιοτόπων του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Εικόνα 3).

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα για τέτοια χρήση των τεχνητών υφάλων αποτελούν οι πιο κάτω περιπτώσεις όπου γίνεται προσπάθεια τροποποίησης της

οικολογικής δομής και λειτουργίας του βενθικού οικοσυστήματος. Οι τοποθεσίες αφορούν περιοχές στον Ειρηνικό, Ατλαντικό και Ινδικό Ωκεανό. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται πειραματικοί τύποι υφάλων με διάφορα χαρακτηριστικά υποστρώματος με σκοπό την αποκατάσταση Φαιοφυκών (*Macrocystis pyrifera*), την ανάπτυξη ενδαιτημάτων για τους ιχθυοπληθυσμούς και τις υπόλοιπες βενθικές βιοκοινωνίες (Reed et al. 2002). Στην δεύτερη περίπτωση, στην περιοχή της Φλόριντα στον Ατλαντικό ωκεανό, οι κοινότητες κοραλλιών του γένους *Oculina* έχουν υποστεί μαζική καταστροφή από τη χρήση συρόμενων αλιευτικών εργαλείων με αποτέλεσμα την μείωση των ιχθυοπληθυσμών. Για την αποκατάσταση των συγκεκριμένων οικοσυστημάτων πραγματοποιήθηκαν σταδιακές ποντίσεις κατασκευών από σκυρόδεμα και σωλήνων PVC με «μεταφυτευμένα» κοράλλια από το 1996 (Εικόνα 3)(Koenig 2001). Το τρίτο παράδειγμα αφορά μοντέλα προσομοίωσης οικοσυστήματος, αλιείας και πολιτικής. Στο Χονγκ Κονγκ, υπήρξε τεράστια μείωση της αλιευτικής παραγωγής, υψηλή θνησιμότητα οργανισμών και μεγάλη σύλληψη ειδών με μικρή οικονομική σημασία και μικρή διάρκεια ζωής, λόγω της υπεραλίευσης με καταστρεπτικά συρόμενα εργαλεία αλιείας (Pitcher et al., 2002). Έτσι, εφαρμόστηκε ένα 5ετές πρόγραμμα το οποίο περιλάμβανε απαγόρευση αλιευτικών αδειών και δημιουργία προστατευόμενων περιοχών με σκοπό την αποκατάσταση και ενίσχυση των ενδαιτημάτων. Χρησιμοποιήθηκαν τριγωνικές κατασκευές μεγάλου όγκου και δομές από βραχώδη υλικά ως εμπόδια με σκοπό την αύξηση θαλάσσιων πόρων (Pitcher et al., 2002).



Εικόνα 3: Σφαιρική κατασκευή από σκυρόδεμα με ενσωματωμένο κοράλλι του γένους *Oculina*, για αποκατάσταση κοραλλιογενών βιοκοινωνιών στην Φλόριντα. (Εικόνα από Koenig 2001)

Figure 3: Concrete reefball with attached coral of the genus *Oculina*, for restoration of coral communities in Florida. (Picture from Koenig 2001)

Ενίσχυση ερασιτεχνικού και καταδυτικού τουρισμού

Οι τεχνητοί ύφαλοι, έχοντας την ιδιότητα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, να προσελκύουν ζωή τριγύρω τους και να δημιουργούν νέους βιότοπους, χρησιμοποιούνται ως τοποθεσίες αναψυχής από ερασιτέχνες ψαράδες και αυτόνομους δύτες. Η μεγαλύτερη τέτοια χρήση γίνεται στις Η.Π.Α, όπου ποντίζονται παροπλισμένα πλοία, αεροπλάνα, τσιμεντόλιθοι κ.α. στη θάλασσα για να δημιουργήσουν βιοτόπους αναψυχής. Την τελευταία δεκαετία έχουν ενταχθεί στον τομέα αυτό και διάφορα καλλιτεχνικά εκθέματα δημιουργώντας μια μορφή υποθαλάσσιων μουσείων, κάτι πολύ εντυπωσιακό για τους δύτες επισκέπτες, αλλά και πολύ ενισχυτικό για την τοπική οικονομία και τον τουρισμό. Παραδείγματα τέτοιου είδους πάρκα αναψυχής με εκθέματα υπάρχουν και στην Ελλάδα και Κύπρο (Εικόνα 4). Στην Ελλάδα το υποβρύχιο μουσείο βρίσκεται στο νησί της Αλλονήσου και αποτελείται από εκθέματα ενός ναυαγίου του 5^{ου} αιώνα. Το υποβρύχιο μουσείο στην Κύπρο βρίσκεται στην Αγία Νάπα και αποτελείται από γλυπτά του Jason de Caires Taylor. Τις τελευταίες δεκαετίες αυξάνονται όλο και περισσότερο τα καταδυτικά πάρκα, κάτι που μπορεί να μειώσει σημαντικά τις πιέσεις που δέχονται οι φυσικοί ύφαλοι από τον καταδυτικό τουρισμό.



Εικόνα 4: Αριστερά: Υποβρύχια γλυπτά στην Αγία Νάπα. – δημιουργός Jason de Caires Taylor (2021) (πηγή: <https://www.underwatersculpture.com/>) Δεξιά: Υποβρύχιο μουσείο στην Αλλονήσο. (πηγή: <http://enjoythessaly.com>)

Figure 4: Left: Underwater sculptures in Ayia Napa - creator Jason de Caires Taylor (2021) (from: <https://www.underwatersculpture.com/>) Right: Underwater Museum in Alloniso. (from: <http://enjoythessaly.com>)

Ερευνητική διάταξη πεδίου

Το γεγονός ότι ένας ύφαλος, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, μιμείται την οικολογία των φυσικών υφάλων, σε συνδυασμό με την παγκόσμια εφαρμογή τους στην διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθιστά τους τεχνητούς υφάλους ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο έρευνας για πολλούς τομείς των θαλάσσιων επιστημών. Με την εφαρμογή πειραματικών τεχνητών υφάλων μπορεί να διερευνηθεί τόσο η οικολογία μιας περιοχής όσο και η συμπεριφορά πολλών οργανισμών που μέχρι τώρα δεν είναι πλήρως γνωστή, όπως για παράδειγμα η διαδικασία της διαδοχής των βακτηριακών μεμβρανών. Στο πλαίσιο αυτό, αξίζει να σημειωθεί, πως η περισσότερη έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής έχει εστιάσει στην οικολογία και λιγότερο στη φυσική, οικονομική και λειτουργική πλευρά των τεχνητών υφάλων, καθώς και τις επιπτώσεις που έχουν οι ύφαλοι στο θαλάσσιο περιβάλλον (Seaman & Jensen 2000).

1.2.3 Τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων

Η επέκταση της εφαρμογής των τεχνητών υφάλων οδήγησε σε αυξημένη γνώση σχετικά με τα σχέδια, τα μεγέθη και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τέτοιων μονάδων. Η τεχνολογία κατασκευής των υφάλων θα πρέπει να διασφαλίζει αφενός το να μην επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον και αφετέρου το να επιτυγχάνουν κατάλληλες δομές, μορφές και διαστάσεις ώστε να εξυπηρετούν τον κύριο σκοπό χρήσης τους (Perkol-Finkel & Banayahu 2005, OSPAR Commision 2009, Fabi 2011, Ponti 2015, Herbert 2017)

Υπάρχουν διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τεχνητών υφάλων, όπως σκυρόδεμα, ξύλο, μέταλλο, βράχοι ή πέτρες, πλαστικό, πηλός, στάχτη από κάρβουνο και υαλοβάμβακας. Από τα πιο συνηθισμένα υλικά παγκοσμίως για την κατασκευή τεχνητών υφάλων είναι το σκυρόδεμα, λόγω της υψηλής σταθερότητας του, της εύκολης μορφοποίησης του σε διάφορες δομές και μεγέθη, αλλά και του υψηλού ποσοστού οργανισμών που προσελκύει σαν υπόστρωμα. Το ξύλο έχει επίσης χρησιμοποιηθεί λόγω του χαμηλού κόστους, την έλλειψη τοξικότητας και την καλή συμβατότητά του με θαλάσσια περιβάλλοντα, και χρησιμοποιείται συνήθως μαζί με σκυρόδεμα για να αυξήσει τη σταθερότητά του. (Lee M.O 2018, Molokwu 2014, Yu J. 2015)

Εκτός των παραπάνω υλικών, χρησιμοποιούνται επίσης πολλά στερεά απορρίμματα (Εικόνα 5), όπως ελαστικά, πλοία, υπολείμματα μηχανών, αμαξοστοιχίες, εγκαταλελειμμένες ερευνητικές πλατφόρμες ή και αγωγοί (Ponti 2015, Perkol-Finkel 2005). Αν και συμφέρουν οικονομικά και πραγματοποιούνται διαδικασίες καθαρισμού και μελέτη καταλληλότητας πριν την πόντιση τους, αποτελούν κατά κανόνα επιβλαβή υλικά, πολλές φορές τοξικά προς το περιβάλλον.



Εικόνα 5: Υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία και πόντιση τεχνητών υφάλων. (πηγή: www.dnr.sc.gov)

Figure 5: Materials used to build and immerse artificial reefs (from: www.dnr.sc.gov)

Οι μονάδες τεχνητών υφάλων διακρίνονται σε διάφορες μορφές, οι κυριότερες και συνηθέστερες (Εικόνα 6) είναι οι εξής:

1. Τεχνητοί ύφαλοι σε σχήμα πυραμίδας.
2. Τεχνητοί ύφαλοι σφαιρικοί με κοιλώματα και οπές (reef ball). Οι συγκεκριμένοι ευνοούν την εγκατάσταση βενθικών κυρίως οργανισμών. Μπορούν να έχουν διάφορα μεγέθη, από μερικά εκατοστά έως 2 m.
3. Τεχνητοί ύφαλοι κοραλλιογενούς τύπου (coral reef). Ευνοούν κυρίως την αποίκιση οργανισμών που προτιμούν κοραλλιογενείς περιοχές.
4. Τεχνητοί ύφαλοι οικολογικού τύπου (eco-reef). Πρόκειται για μονάδες που κατασκευάζονται αποκλειστικά από οικολογικά υλικά και «προσαρμόζονται» πολύ ευκολότερα στο φυσικό περιβάλλον.
5. Συσκευές προσέλκυσης ψαριών (FADS- Fish Attractive Devices) : Τεχνητοί ύφαλοι που κυρίως προσελκύουν πελαγικά είδη ψαριών και κατασκευάζονται από συρματόσχοινα, σχοινιά, πλαστικά, καλώδια κ.α..



Εικόνα 6: Τύποι τεχνητών υφάλων α) Reef balls, β) eco-reefs, γ) κοραλλιογενούς τύπου, δ) Τ.Υ σε σχήμα πυραμίδας (πηγές: www.sciencephoto.com, www.alamy.com, www.reefs.com, www.globalcoral.org.)

Figure 6: Types of artificial reefs a) Reef balls, b) eco-reefs, c) coral type, d) Artificial reef in the shape of pyramid (from: www.sciencephoto.com, www.alamy.com, www.reefs.com, www.globalcoral.org.)

Εκτός των μονάδων που εδραιώνονται στο βυθό, υπάρχουν και κατασκευές που εφαρμόζονται μετέωρες στην υδάτινη στήλη ή επιπλέουσες στην επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 7). Τέτοιες κατασκευές χρησιμοποιούνται πολλές φορές για την αποκατάσταση ή την καλλιέργεια οστράκων.



Εικόνα 7: Επιπλέουσα κατασκευή τεχνητού ύφαλου, στην Χρυσή Ακτή της Αυστραλίας. (πηγή: www.abc.net.au)

Figure 7: Floating artificial reef construction on the Gold Coast of Australia. (from: www.abc.net.au)

1.2.4 Αρνητικές επιπτώσεις της τεχνολογίας κατασκευής τεχνητών υφάλων

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, πολλές φορές οι τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων δεν διασφαλίζουν την αειφόρο ανάπτυξη και διαχείριση. Πολλά υλικά προκαλούν διαρροή τοξικών ουσιών στο περιβάλλον και ρυπαίνουν, γενικότερα, το περιβάλλον κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους αλλά και της πόντισης. Επίσης, αν ο σχεδιασμός των τεχνητών υφάλων δεν πραγματοποιηθεί σωστά και δεν υπολογιστεί η σταθερότητα και το βάρος μιας κατασκευής τότε μπορεί προκαλέσει καταστροφή του πυθμένα και των οικοσυστημάτων. Για παράδειγμα, μπορεί να παρασυρθεί από δυνατά ρεύματα και να μετατοπιστεί μακριά από την προβλεπόμενη θέση του, καταστρέφοντας έτσι το γύρω φυσικό περιβάλλον ή δίχτυα ψαράδων της περιοχής (Ronald & Carrie 2004).

Όσο αφορά τα υλικά, το σκυρόδεμα, για παράδειγμα, είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής τεχνητών υφάλων. Στο συγκεκριμένο υλικό τα περιβαλλοντικά ζητήματα που εγείρονται έχουν να κάνουν με τις επιπτώσεις κατά την διαδικασία παραγωγής τους. Η παραγωγή των χημικών συστατικών του απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα (Malhorta 1999), ενώ απαιτούνται και υψηλές συγκεντρώσεις από φυσικά αδρανή (άμμος, χαλίκια) υλικά. Τα αδρανή υλικά αντιπροσωπεύουν το 60%-80% του όγκου του σκυροδέματος και η κατανάλωση τους δημιουργεί τεράστια πίεση στα χερσαία οικοσυστήματα (De Brito 2013). Αντίθετα, η χρήση “άχρηστων” υλικών, όπως ο σκελετός ενός παροπλισμένου πλοίου δημιουργεί ζητήματα και κατά την παραμονή του στο πεδίο ως τεχνητός ύφαλος κυρίως μέσω της διαρροής βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών ενώσεων. Τοξικά υλικά που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε κουφάρια βυθισμένων πλοίων διαχέονται σταδιακά στο περιβάλλον και μπορούν να επιφέρουν σημαντικές βλάβες στην υγεία των θαλάσσιων οργανισμών. Ακόμα και υλικά που έχουν ελεγχθεί και καθαριστεί ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα όταν εισάγονται σε ευαίσθητα περιβάλλοντα.

Αυτά είναι ορισμένα από τα ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων στρεφόμενη σε υλικά, οικολογικά και φιλικά προς το θαλάσσιο περιβάλλον και θεσπίζοντας αυστηρές προδιαγραφές χρήσης των εγκεκριμένων υλικών. Μια τέτοια επιλογή αποτελεί και η χρήση βιογενών υλικών.

1.2.5 Τεχνητοί υφάλι από βιογενή υλικά

Η τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων δεν έχει προχωρήσει τόσο στο θέμα της ανάπτυξης οικολογικών μονάδων πέρα από τη χρήση βράχων για την προστασία των παράκτιων περιοχών από τη διάβρωση ή την περίπτωση των *eco-reefs* που βασίζονται σε φυσικά υλικά με ελάχιστη επεξεργασία, όπως η άμμος, ο πηλός κλπ. Υπάρχουν ωστόσο, πρόσφατες δημοσιεύσεις, που αναφέρονται πιο κάτω, οι οποίες δείχνουν την προσπάθεια που γίνεται για την ανάπτυξη «οικολογικών» ή «πράσινων» τεχνητών υφάλων (GREEN ARTIFICIAL REEFS). Οι σχετικές έρευνες εστιάζουν στις φυσικές, οικονομικές και λειτουργικές ιδιότητες των πράσινων υφάλων αλλά και εν γένει στην οικολογία τους και τις επιπτώσεις τους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Έτσι προτείνεται η χρήση βιοδιασπώμενων υλικών στην κατασκευή τεχνητών υφάλων με πολύ χαμηλό κόστος (Manning 2015). Ειδικότερα, δημιουργείται ένα υπόστρωμα με βάση την κυτταρίνη στο οποίο προσαρτώνται ορυκτά, ώστε όταν αποικοδομηθούν τα υλικά αυτά να δημιουργήσουν οικοθέσεις για μικρόβια, βακτήρια και βενθικά ασπόνδυλα. Άλλοι ερευνητές προτείνουν την επαναχρησιμοποίηση αδρανών στερεών υλικών που απορρίπτονται από βιομηχανικές διεργασίες που συνδέονται με τη θαλάσσια περιοχή, όπως ναυτιλιακά υλικά και όστρακα, ενσωματώνοντάς τα στη διαδικασία κατασκευής του υφάλου. Με αυτόν τον τρόπο, περιορίζεται η χρήση χωματερών (ΧΥΤΑ) και αυξάνεται η αξία των διαδικασιών. Ειδικά σε ότι αφορά στη χρήση κελυφών στην κατασκευή τεχνητών υφάλων, προτείνονται ως πρόσθετο υλικό στο κονίαμα που χρησιμοποιείται στις μονάδες κατασκευής. Έτσι, ανακυκλώνονται άχρηστα υλικά επιστρέφοντας μάλιστα στο μέρος προέλευσής τους, δηλαδή στο θαλάσσιο περιβάλλον, ως συστατικό στοιχείο μια δομής, δηλαδή ενός τεχνητού υφάλου, που συμβάλει στην αποκατάσταση και την προστασία της βιοποικιλότητας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Luis 2019).

Η διευρυμένη χρήση βιογενών υλικών στην κατασκευή υφάλων θα μπορούσε να αποτελέσει μια καλή πρώτη ύλη στην κατεύθυνση αυτή. Ειδικότερα, κάθε χρόνο σε παγκόσμιο επίπεδο παράγονται τόνοι κελυφών οστράκων από καλλιέργειες και συνδεδεμένες μεταποιητικές μονάδες (αποκελυφωτήρια), που παραμένουν κατά κύριο λόγο όχι μόνο αναξιοποίητες αλλά και λειτουργούν επιβαρυντικά ως προς το οικονομικό κόστος απόρριψής τους. Μια πρακτική που συναντάται σε αρκετές περιοχές στον πλανήτη είναι η αξιοποίηση των κελυφών οστράκων ως μέσο αποκατάστασης των φυσικών τους κοινοτήτων (Baggett 2014, Megan 2014, Fitzsimons 2019). Στην ουσία, συγκολλούν τα κελύφη των οστράκων με συμβατικά υλικά ώστε να μορφοποιηθεί μια μονάδα υποστρώματος που θα προσελκύσει την εγκατάσταση νεαρών ατόμων πάνω στα νεκρά κελύφη. Έτσι σταδιακά, δημιουργείται εκ νέου μια δομή υφάλου οστράκων (π.χ. μυδώνας). Ορισμένες φορές μάλιστα, μεταφέρονται και νεαρά άτομα μέσα στην αρχική κατασκευή για την επίσπευση της διαδικασίας ανάπτυξης του βιογενούς υφάλου. (Baggett 2014, Megan 2014, Fitzsimons 2019)

Ωστόσο, δεν φαίνεται να υπάρχουν κατασκευές εξ ολοκλήρου από βιογενή υλικά. Οι πιο διαδεδομένες οικολογικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται είναι δομές φυσικών υλικών, όπως βράχια και πέτρες, που κυρίως χρησιμοποιούνται για την προστασία παράκτιων περιοχών από το φαινόμενο της διάβρωσης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται συνδυαστικά τα φυσικά υλικά μαζί με συμβατικά, για την κατασκευή τεχνητών υφάλων. Τα eco-reefs, για παράδειγμα, είναι μια τεχνολογία που υπάρχει αρκετά χρόνια, όπου χρησιμοποιούνται στην ουσία φυσικά υλικά με ελάχιστη επεξεργασία, όπως άμμος, πηλός κλπ.

1.3 Οικολογική διαδοχή και αποίκηση των τεχνητών υφάλων

Ένα κρίσιμο ζήτημα για την επίτευξη των στόχων πόντισης ενός τεχνητού υφάλου είναι η οικολογική διαδοχή των διάφορων οργανισμών που θα τον εποικίσουν. Η κατανόηση των εμπλεκόμενων μηχανισμών αλλά και των επιδράσεων του υλικού κατασκευής του υφάλου στην όλη διαδικασία είναι σημαντική για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των τεχνητών αυτών βιοτόπων.

Οι βενθικές βιοκοινότητες δεν αποτελούν στατικά συστήματα αλλά μεταβάλλουν τη σύνθεση και τη δομή τους ανάλογα με την εποχή του χρόνου και γενικότερα με την πάροδο του χρόνου. Ο όρος «οικολογική διαδοχή» περιγράφει τη διαδικασία κατευθυνόμενων μεταβολών που με την πάροδο του χρόνου αλλάζουν τη σύνθεση, τη δομή αλλά και τη δυναμική των βιοκοινοτήτων (Putnam 1994). Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι διαδοχής: η αποικοδομητική, που αφορά στην αποσύνθεση οργανικής ύλης, η αλλογενής, όπου αβιοτικοί παράγοντες τροποποιούν τις γεωφυσικές συνθήκες και η αυτογενής, όπου βιοτικές διεργασίες τροποποιούν τις υπάρχουσες συνθήκες. Η αυτογενής διαδοχή, που είναι και ο συνηθέστερος τύπος, απαιτεί τη δημιουργία κενού χώρου για την εκκίνησή της. (Tansley 1935, Johnson 1979, Finegan 1984, Pickett et al. 1992)

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα που ερμηνεύουν την οικολογική διαδοχή και η εξέλιξη της διεργασίας εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες, όπως η τοπική δεξαμενή ειδών, ο τύπος του υποστρώματος, η εποχή, κλπ. Τα 4 επικρατέστερα μοντέλα (Finegan 1984, Stiling 1996) είναι:

- Το μοντέλο της διευκόλυνσης (Facilitation model)
- Το μοντέλο της παρεμπόδισης-αναστολής (Inhibition model)
- Το μοντέλο της ανεκτικότητας-ανοχής (Tolerance model)
- Το μοντέλο της τυχαίας αποίκησης (Random colonization model)

Το πρώτο μοντέλο, της λεγόμενης διευκόλυνσης, υποθέτει ότι κάθε είδος που εποικίζει μια περιοχή, κάνει πιο ευνοϊκό το περιβάλλον για τις αναπτυσσόμενες κοινότητες και τα είδη που θα το διαδεχθούν. Σε κάποιες περιπτώσεις διαδοχής παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της βιοκοινότητας το ποιο είδος εποικίζει

πρώτο την περιοχή. Έτσι εισάχθηκε το μοντέλο της παρεμπόδισης-αναστολής, το οποίο υποστηρίζει πως τα πρώτα είδη που αποικίζουν μια περιοχή εμποδίζουν ή διευκολύνουν τα μεταγενέστερα είδη να εγκατασταθούν ή να αντικαταστήσουν. Οι διαφορές ανάμεσα σε αυτούς τους 2 μηχανισμούς διαδοχής, έδωσαν το κίνητρο στους Joe Connell και Ralph Slatyer (1977) να εισάγουν ένα ενδιάμεσο μοντέλο διαδοχής, αυτό της ανεκτικότητας-ανοχής. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό τα είδη που φτάνουν πρώτα σε μια περιοχή δεν παρεμποδίζουν αλλά ούτε και διευκολύνουν απόλυτα την εγκατάσταση των μεταγενέστερων ειδών. Το συγκεκριμένο μοντέλο, υποστηρίζει πως κάθε είδος μπορεί να ξεκινήσει τη διαδοχή και η τελική μορφή της βιοκοινότητας επιτυγχάνεται σταδιακά. Το τελευταίο μοντέλο, εισάχθηκε από τον John Lawton το 1987 και είναι αυτό της τυχαίας αποίκησης. Σε αυτό το μοντέλο η διαδοχή εξελίσσεται τυχαία και καθορίζεται από το ποιο είδος εγκαθίσταται πρώτο και τυχαίνει να είναι παρών όταν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες.

Τα πρότυπα εγκατάστασης ειδών και των αλλαγών κυριαρχίας από το ένα είδος στο άλλο είναι ένας πολύπλοκος συνδυασμός των παραπάνω μοντέλων. Ως ένα βαθμό η σύνθεση της βιοκοινωνίας καθορίζεται από τα πρώτα είδη που εγκαθίστανται, το οποίο ουσιαστικά είναι αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων της φύσης και του αρχικού περιβάλλοντος της διαδοχής. Η κυριαρχία των ειδών αλλάζει με το καιρό λόγω του ότι επηρεάζεται εν μέρει από τα πρότυπα ανάπτυξης των ειδών, τα οποία διαφέρουν από είδος σε είδος. Μερικά είδη αναπτύσσονται γρήγορα και έχουν μικρό κύκλο ζωής ενώ κάποια άλλα το αντίθετο. (Perry 1994)

Γενικότερα η οικολογική διαδοχή περιλαμβάνει (Pedro 2010):

1. Την εσωτερική δυναμική των ειδών: διαφορετικοί τύποι αλληλεπιδράσεων ειδών και δυνατοτήτων για διευκόλυνση, αναστολή ή ανοχή άλλων ειδών, όταν ανταγωνίζονται για περιορισμένους πόρους (όπως θρεπτικά, νερό και χώρος).
2. Την τροποποίηση του περιβάλλοντος: διαμόρφωση εδάφους, μικροκλιματικές συνθήκες κ.λπ.
3. Την ύπαρξη εξωτερικών δυνάμεων ή διαταραχών, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών αλλαγών οι οποίες κάνουν τους πόρους διαθέσιμους ξανά, αλλάζουν τη δεξαμενή των ειδών μέσα στο χρόνο και αδιάκοπα δημιουργούν ξανά τις βιοκοινότητες.

Η εφαρμογή τεχνητών υφάλων σχετίζεται άμεσα με την οικολογική διαδοχή. Το πρώτο πράγμα που γίνεται μετά τη πόντιση τεχνητών υφάλων είναι η διαδικασία αποικισμού και οικολογικής διαδοχής, ξεκινώντας από μικροοργανισμούς και μικροφύκη. Στη συνέχεια εμφανίζονται διαδοχικά διάφορα άλλα βενθικά είδη προερχόμενα από γειτονικές βιοκοινότητες φυσικών υποστρωμάτων. Η διαδικασία της διαδοχής καθορίζει τη σύνθεση και διαμόρφωση των κοινοτήτων στα υποστρώματα των τεχνητών υφάλων. Παίζει, επίσης, ρόλο στη τελική διαμόρφωση της κοινότητας και στο ποια είδη θα κυριαρχήσουν στην τελική μορφή αυτής, η οποία με τη σειρά της θα καθορίσει ουσιαστικά το υπόλοιπο οικοσύστημα, δηλαδή τα είδη

ιχθύων και ασπόνδυλων οργανισμών που θα προσελκύσουν οι δομές των τεχνητών υφάλων. Ουσιαστικά η διεξοδική και πλήρης γνώση των βενθικών κοινοτήτων που αποικίζουν έναν τεχνητό ύφαλο είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της πραγματικής αποτελεσματικότητας των τεχνητών δομών για τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

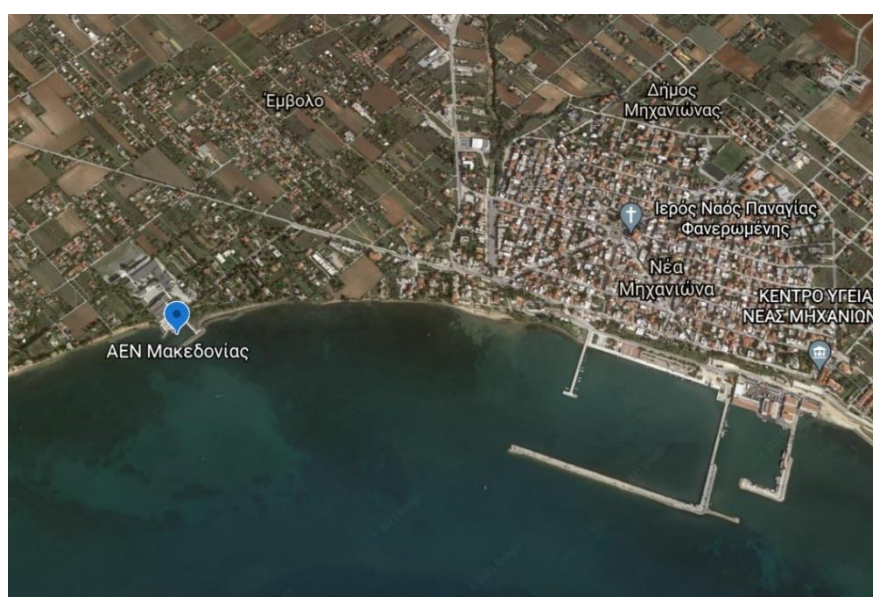
1.4 Σκοπός της εργασίας

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής του κελύφους του κοινού μεσογειακού μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, ως βιογενές υλικό, στην κατασκευή τεχνητών υφάλων. Ειδικότερα, επιχειρεί την εφαρμοσμένη δοκιμή στο πεδίο μιας πρότυπης μικρογραφικής μονάδας τεχνητού υφάλου μικτής κατασκευής από τσιμέντο και κελύφη μυδιού, με σκοπό τη συγκριτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των δύο υλικών ως υπόστρωμα ανάπτυξης βενθικών βιοκοινοτήτων μακροασπόνδυλων οργανισμών παρακολουθώντας την εποίκιση και την οικολογική διαδοχή σε μηνιαία βάση και για συνολικό χρονικό διάστημα 4 μηνών παραμονής στο πεδίο. Αναλυτικότερα, η εργασία έχει ως επιμέρους στόχους: α) την καταγραφή της βιοποικιλότητας των μακροασπόνδυλων οργανισμών, συνολικά, στην πρότυπη μονάδα δοκιμών, β) την καταγραφή της ποικιλότητας, της αφθονίας και της ποσοστιαίας κάλυψης της προσκολλημένης πανίδας στα δύο διαφορετικά υλικά δοκιμής (τσιμέντο και κελύφη) ώστε να εντοπιστεί η προτίμηση που είχαν οι οργανισμοί-εποικιστές σε σχέση με το υλικό κατασκευής και γ) την ανάλυση της σύνθεσης του ζωοβένθους στο χρόνο ώστε να εντοπιστούν τυχόν διαφορές μεταξύ των επιμέρους σταδίων της οικολογικής διαδοχής. Απώτερο σκοπό της εργασίας αυτής αποτελεί η ένταξη βιογενών υλικών, ως εναλλακτικό και περιβαλλοντικά φιλικό δομικό υλικό, στην τεχνολογία κατασκευής, ανάπτυξης και διαχείρισης των τεχνητών υφάλων.

2. Μεθοδολογία

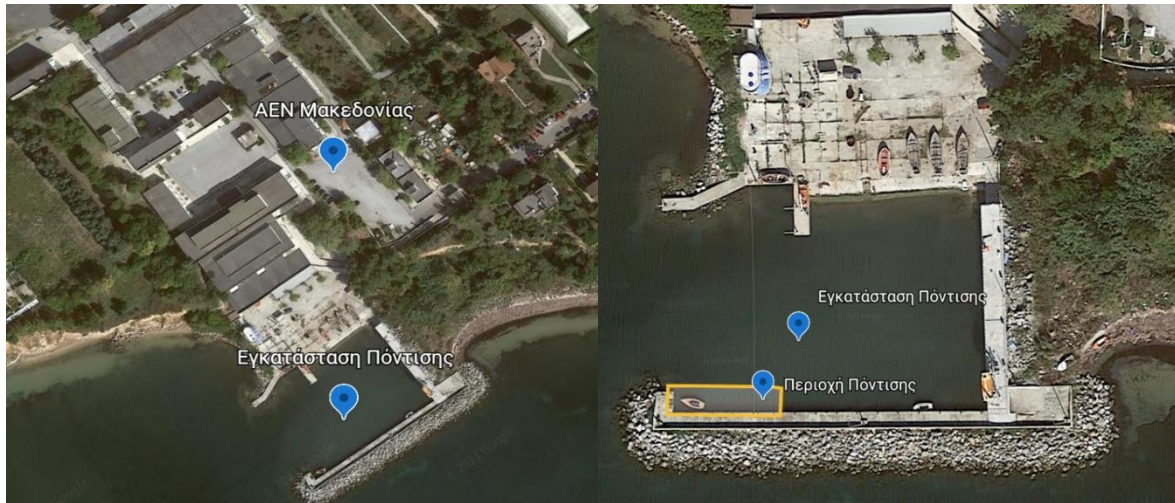
2.1 Περιοχή μελέτης

Η πόντιση των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων πραγματοποιήθηκε στον λιμενοβραχίονα της Σχολής Σωστικών και Πυροσβεστικών Μέσων (ΣΣΠΜ) της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού (ΑΕΝ) Μακεδονίας (Εικόνα 8, 9). Η ΑΕΝ Μακεδονίας ιδρύθηκε το 1969 ως Σχολή Μηχανικών και από το 1973 λειτουργεί στις σημερινές της εγκαταστάσεις σε οικόπεδο 40 στρεμμάτων με 10.000 τ.μ. στεγασμένους χώρους. Το 1975 ξεκίνησε τη λειτουργία της και η Σχολή Πλοιάρχων. Η Σχολή απέχει 32 χλμ. από την Θεσσαλονίκη και περίπου 500 μέτρα από τη Νέα Μηχανιώνα. Είναι η δεύτερη μεγαλύτερη Σχολή στην Ελλάδα μετά από αυτήν του Ασπροπύργου. Επίσης δίπλα ακριβώς στη σχολή στεγάζεται το κτήριο της Δημόσιας Σχολής Εμπορικού Ναυτικού (Δ.Σ.Ε.Ν.) Σωστικών και Πυροσβεστικών Μέσων. Από τον Σεπτέμβριο του 2019 εγκαινιάσθηκε και λειτουργεί εντός του χώρου της Ακαδημίας, το Κέντρο Επιμόρφωσης Στελεχών Εμπορικού Ναυτικού (Κ.Ε.Σ.Ε.Ν.) Πλοιάρχων & Μηχανικών Μακεδονίας.



Εικόνα 8: ΑΕΝ Μακεδονίας (Πηγή: Google Earth)
Figure 8: MNA Of Macedonia (From: Google Earth)

Ο λιμενοβραχίονας της Ακαδημίας όπου πραγματοποιήθηκε η πόντιση βρίσκεται στα ανατολικά παράλια του εσωτερικού τμήματος του Θερμαϊκού Κόλπου, πολύ κοντά στην οικιστική και παραθεριστική περιοχή της Νέας Μηχανιώνας. Η παράκτια ζώνη της γύρω περιοχής παρουσιάζει ασυνεχή αστική δόμηση και περιορισμένες εκτάσεις με φυσική βλάστηση, ενώ νοτιοανατολικά, λειτουργεί ο λιμένας Νέας Μηχανιώνας.



Εικόνα 9: Λιμενοβραχίονας Σχολής Σωστικών και Πυροσβεστικών Μέσων (Πηγή: Google Earth)
Figure 9: Jetty of the School of Rescue and Firefighting Equipment (From: Google Earth)

Στον λιμενοβραχίονας της ΣΣΠΜ επικρατούν βόρειοι (Β), βορειοδυτικοί (ΒΔ) άνεμοι τους χειμερινούς μήνες που δημιουργούν κυματισμό που φτάνει έως και το 1,5 m ύψος. Την θερινή περίοδο, όπου πραγματοποιήθηκε και το πείραμα, επικρατούν νότιοι (Ν), νοτιοανατολικοί (ΝΑ) άνεμοι και η κίνηση των υδάτινων μαζών δεν επηρεάζει το εσωτερικό του λιμενοβραχίονα.

Οι μονάδες τεχνητών υφάλων ποντίστηκαν στην εσωτερική πλευρά του βραχίονα, τον Απρίλιο του 2021, με προσανατολισμό προς το βορρά. Ο βυθός έχει μικρή κλίση και το υπόστρωμα είναι ιλυώδες με διάσπαρτα βράχια διάφορων διαστάσεων που καλύπτονται κατά τόπους από βλάστηση. Ο λιμενοβραχίονας ΣΣΠΜ επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης εξαιτίας της επικράτησης ήπιων συνθηκών υδροδυναμισμού και επομένως κατάλληλες για να λειτουργήσουν οι πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων. Επιπλέον, η μικρή κλίση του βυθού σε συνδυασμό με τον ήπιο υδροδυναμισμό περιόρισε τον κίνδυνο να παρασυρθούν ή να μετατοπιστούν στον πυθμένα διαταράσσοντας την πειραματική διάταξη.

2.2 Κατασκευή πρότυπης μονάδας τεχνητών υφάλων

Για τις ανάγκες της πειραματικής εφαρμογής κατασκευάστηκαν 15 μονάδες τεχνητών υφάλων, διαστάσεων 20 x 20 cm και ύψους 25 cm. Ως βασικό κατασκευαστικό υλικό χρησιμοποιήθηκε το τσιμέντο ως συμβατικό υλικό και τα κελύφη μυδιών ως βιογενές υλικό. Η πρότυπη μονάδα υφάλου που κατασκευάστηκε ήταν ένας τσιμεντόλιθος που επικαλύφθηκε συμμετρικά κατά το ήμισυ με καθαρισμένα κελύφη μυδιών. Έτσι, η κάθε μονάδα έφερε επιφάνειες και από τα δύο υλικά, τόσο το συμβατικό όσο και το βιογενές.

Κελύφη μυδιών συλλέχθηκαν από τις εγκαταστάσεις οστρακοκαλλιεργειών στην περιοχή Κύμινα, Θεσσαλονίκης. Τα κελύφη τοποθετήθηκαν σε λεκάνες με νερό και χλωρίνη όπου παρέμειναν ένα βράδυ. Με τον τρόπο αυτό απομακρύνθηκαν τυχόν μολυσματικοί παράγοντες, βακτήρια και οτιδήποτε άλλο θα μπορούσε να επηρεάσει την διαδικασία της εποίκισης των υφάλων. Αφού ξεπλύθηκαν (Εικόνα 10) πάρα πολύ καλά, ελέγχθηκαν ποιοτικά και τυχόν υπολείμματα απομακρύνθηκαν με απαλό τρίψιμο, με σφουγγάρι, για να μην θρυμματιστούν τα κελύφη. Παρέμειναν στο εργαστήριο, για άλλο ένα βράδυ, ώστε να στεγνώσουν καλά και να μπορούν να στερεωθούν στο συμβατικό υλικό.



Εικόνα 10: Καθαρισμός κελυφών στο εργαστήριο πριν την κατασκευή των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων.

Figure 10: Cleaning the shells in laboratory before build the artificial reefs.

Η επιφάνεια των τσιμεντόλιθων καθαρίστηκε επιμελώς ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στην συγκόλληση των 2 υλικών. Για την συγκόλληση των κελυφών στον τσιμεντόλιθο χρησιμοποιήθηκε υπέρ-ελαστικό πολυουρεθανικό υγροσκληρυνόμενο υλικό, φιλικό προς το περιβάλλον (εποξικό). Ειδικότερα, οι 2 από τις 4 πλευρές του τσιμεντόλιθου λειτούργησαν ως πειραματική διάταξη, ενώ οι άλλες δύο αποτέλεσαν τη βάση τοποθέτησης της μονάδας στον πυθμένα. Η κάθε πειραματική επιφάνεια καλύφθηκε κατά το ήμισυ με κελύφη μυδιών και η υπόλοιπη παρέμεινε ως είχε (Εικόνα 11) ώστε να συγκριθούν παράλληλα τα δύο υλικά ως υπόστρωμα αποίκησης. Οι πειραματικές διατάξεις παρέμειναν 24 ώρες στο εργαστήριο για να στεγνώσει το συγκολλητικό υλικό και την επόμενη μέρα ποντίστηκαν.



Εικόνα 11 : Ολοκληρωμένες κατασκευές τεχνητών υφάλων.

Figure 11: Finish artificial reefs.

2.3 Πειραματική ανάπτυξη των μονάδων τεχνητών υφάλων

Η πόντιση των πειραματικών κατασκευών πραγματοποιήθηκε στο λιμενοβραχίονα ΣΣΠΜ σε βάθος 1,5 - 2 μέτρων, στην ανώτερη υποπαραλιακή ζώνη. Οι μονάδες δέθηκαν με σχοινί στην μια γωνία του τσιμεντόλιθου, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται οι επιφάνειες με τα μύδια, ποντίστηκαν στον πυθμένα του λιμανιού διατηρώντας ίδιο τον προσανατολισμό τους και το ελεύθερο άκρο του σχοινιού δέθηκε στις δέστρες του λιμενοβραχίονα (Εικόνα 12, 13).

Η πόντιση πραγματοποιήθηκε στις 22.4.2021 κατά την άμπωτη και σε αίθριες καιρικές συνθήκες. Η διαδικασία τοποθέτησης των κατασκευών στον πυθμένα της θάλασσας διήρκησε 1 ώρα και 20'. Στο τέλος της διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των βασικών φυσικών και χημικών (θερμοκρασία T $^{\circ}C$, αλατότητα S psu, αγωγιμότητα C , ms/cm , pH, διαλυμένο οξυγόνο DO mg/L, θολότητα Tu , ntu) παραμέτρων της υδάτινης στήλης με το αυτογραφικό όργανο TOA-DKK WQC-24. Οι μετρήσεις έγιναν στον πυθμένα της θάλασσας, σε βάθος περίπου 1m .



Εικόνα 12: Διαδικασία πόντισης – Δέσιμο κατασκευής για την κατάδυση της στον πυθμένα.
Figure 12: Immersion process - Tying of the construction for its immersion in the bottom.



Εικόνα 13: Διαδικασία πόντισης – Δέσιμο κατασκευών στις δέστρες του λιμενοβραχίονα.
Figure 13: Immersion process - Binding of the constructions on the bollards of the jetty.

2.4 Δειγματοληπτικό πρωτόκολλο: Ανακομιδή πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων και μετρήσεις πεδίου

Η χρονική διάρκεια του πειράματος διήρκησε συνολικά 4 μήνες, από τον Απρίλιο οπότε και έγινε η πόντιση των 15 μονάδων, έως και τον Αύγουστο, όπου έγινε η ανακομιδή των τελευταίων μονάδων. Η ανακομιδή των μονάδων γινόταν σε μηνιαία βάση. Η πειραματική περίοδος εκτάθηκε στη θερμή περίοδο του έτους. Επειδή, το χρονικό διάστημα του πειράματος ήταν περιορισμένο, δόθηκε έμφαση στην παρακολούθηση των αρχικών σταδίων εποίκησης των δύο υποστρωμάτων.

Ειδικότερα, κάθε μήνα (24.5.2021, 23.6.2021, 25.7.2021, 29.8.2021) συλλέγονταν 3 τυχαίες μονάδες υφάλων από τον πυθμένα της θάλασσας. Η κάθε μονάδα μετά την ανακομιδή της από τον πυθμένα τοποθετούνταν σε ειδικές λεκάνες ώστε να μη χαθεί υλικό από τις κατασκευές και μεταφερόταν στο Εργαστήριο Θαλάσσιας και Χερσαίας Ζωικής Ποικιλότητας για περαιτέρω επεξεργασία.

Παράλληλα, σε κάθε δειγματοληψία των μονάδων μετρήθηκαν οι βασικές φυσικές και χημικές (θερμοκρασία $T\text{ }^{\circ}\text{C}$, αλατότητα $S\text{ psu}$, αγωγιμότητα C , mS/cm , pH, διαλυμένο οξυγόνο DO mg/L , θολότητα Tu , ntu) παράμετροι της υδάτινης στήλης με το αυτογραφικό όργανο TOA-DKK WQC-24. Οι μετρήσεις έγιναν στον πυθμένα της θάλασσας, σε βάθος περίπου 1m.

2.5 Εργαστηριακή επεξεργασία πειραματικών μονάδων

Αρχικά έγινε η φωτογράφιση των δύο πειραματικών επιφανειών κάθε μονάδας για την αποτύπωση των προσκολλημένων ή και εδραίων οργανισμών (Εικόνα 14). Στη συνέχεια, κάθε μονάδα ξεπλύθηκε σε λεκάνες (Εικόνα 15) και το έκλυμα διηθήθηκε σε κόσκινο με ηθμό 0,5 mm (Εικόνα 16) για τη συλλογή της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας. Στη συνέχεια η μονάδα τοποθετήθηκε σε διηθητικό χαρτί, καθαρίστηκε από τυχόν υπολείμματα και σκουπίδια και εξετάστηκε κάτω από μεγεθυντικό φακό ώστε να καταμετρηθούν τα άτομα προσκολλημένης/εδραίας πανίδας σε κάθε υλικό (τσιμέντο και κελύφη) και σε κάθε πειραματική επιφάνεια της κατασκευής και να ολοκληρωθεί έτσι η συλλογή της εδραίας πανίδας (Εικόνα 17). Όλα τα δείγματα που συλλέχθηκαν αποθηκεύτηκαν σε δοχεία και συντηρήθηκαν σε διάλυμα φορμόλης 10%.



Εικόνα 14: Αριστερά φωτογραφία των δυο επιφανειών της Κατασκευής 1 και δεξιά φωτογραφία Επιφάνειας A (μύδια) της Κατασκευής 2

Figure 14: Left photo: the tow substrates of the construction 1. Right photo: Substrate A (shells) of construction 2



Εικόνα 15: Ξέπλυμα κατασκευών σε λεκάνη.

Figure 15: Rinsing of structures.



Εικόνα 16: Κόσκινο με ηθμό 0.5mm

Figure 16: Sieve with diameter 0.5 mm



Εικόνα 17: Συλλογή εδραίας πανίδας με τη χρήση μεγεθυντικού φακού

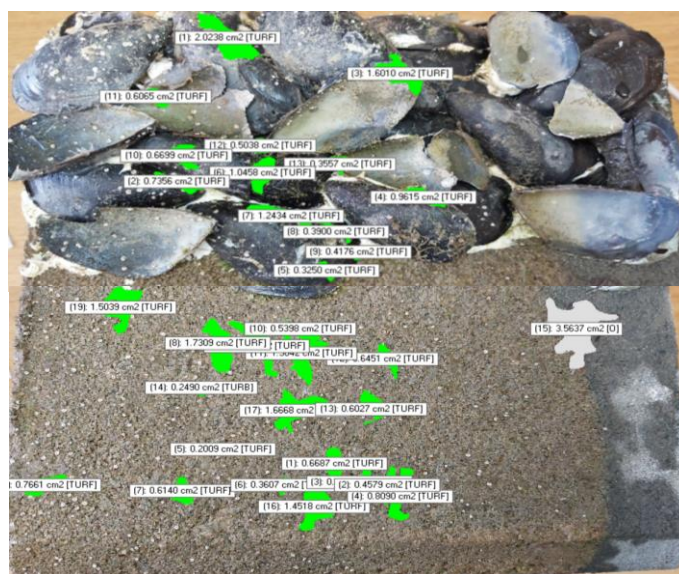
Figure 17: Collecting sessile and attached benthic fauna using magnifying glass.

Ακολούθησε η διαδικασία της διαλογής (sorting) της πανίδας σε επίπεδο ταξινομικού φύλλου με τη χρήση στερεοσκοπίου και στη συνέχεια, η ταξινόμηση των ατόμων κάθε φύλου σε επίπεδο είδους και η καταμέτρηση των ατόμων. Για την ταξινόμηση των οργανισμών χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες κλείδες για κάθε ομάδα ζωικών οργανισμών.

Σε κάποιες περιπτώσεις η ταξινόμηση έγινε σε επίπεδο οικογένειας, όπως για παράδειγμα σε κάποια είδη πολυχαίτων, ενώ τα Nematoda, Cirripedia και Bryozoa δεν ταξινομήθηκαν περαιτέρω. Τα Bryozoa ειδικά δεν καταμετρήθηκαν και η αφθονία τους εκτιμήθηκε μόνο ως ποσοστιαία κάλυψη στις επιφάνειες των πειραματικών μονάδων. Η χλωρίδα ταξινομήθηκε σε 3 μεγάλες κατηγορίες, Χλωροφύκη, Ροδοφύκη και Φαιοφύκη. Τα επιστημονικά ονόματα των ειδών ελέγχθηκαν σύμφωνα με τη βάση δεδομένων WoRMS ([WoRMS - World Register of Marine Species](http://www.marinespecies.org/woRMS)).

2.6 Επεξεργασία φωτογραφιών

Οι φωτογραφίες που πάρθηκαν από τις επιφάνειες των δύο διαφορετικών υλικών από κάθε πειραματική μονάδα επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν στο λογισμικό CPCe 4.1 (Kohler 2006), με σκοπό να αποτυπωθεί η κάλυψη των εδραίων και προσκολλημένων οργανισμών σε καθεμία επιφάνεια των τεχνητών δομών (χλωρίδα και πανίδα) (Εικόνα 18). Τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν στον εντοπισμό τυχόν προτιμήσεων των διαφορετικών οργανισμών-αποικιστών σε σχέση με το υλικό κατασκευής, αλλά και για την ανάλυση της σύνθεσης τους στο χρόνο ώστε να αποτυπωθούν τα επιμέρους στάδια της οικολογικής διαδοχής. Για την φυτική κάλυψη δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία, απόξεση ή συντήρηση των οργανισμών, η ανάλυση έγινε μέσω των φωτογραφιών και μόνο.



Εικόνα 18: Επιφάνειες 2^{ης} κατασκευής του 1^{ου} μήνα πόντισης, με καταγεγραμμένες τις επιφάνειες κάλυψης των οργανισμών στο πρόγραμμα CPCe 4.1. (πάνω: βιογενές υλικό, κάτω: συμβατικό υλικό)
Figure 18: Surfaces of 2nd construction of the 1st month of immersion, with the coverage surfaces of the organisms recorded in the CPCe 4.1 program. (top: biogenic material, bottom: conventional material)

2.7 Ανάλυση δεδομένων

2.7.1 Αβιοτικές παράμετροι

Οι μετρήσεις των αβιοτικών παραμέτρων επεξεργάστηκαν διαγραμματικά (Excel). Ο σκοπός ήταν να αποτυπωθεί το εποχικό πρότυπο κατά τη διάρκεια της παραμονής των πειραματικών μονάδων στον πυθμένα της θάλασσας.

2.7.2 Βιοποικιλότητα, αφθονία και ποσοστιαία κάλυψη

Τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν από την επεξεργασία, ταξινόμηση και καταμέτρηση των ειδών (εδραία/προσκολλημένη και ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα) οργανώθηκαν σε κατάλληλη μήτρα χρησιμοποιώντας το λογισμικό Microsoft Excel και Primer v6. Η αρχική ανάλυση των δεδομένων αυτών έγινε με περιγραφική στατιστική. Ειδικότερα, εκτιμήθηκε η αφθονία των ατόμων ως αριθμός ατόμων ανά μονάδα επιφάνειας (N) και ανά τετραγωνικό μέτρο (N/m^2), αλλά και ως ποσοστιαία κάλυψη στην περίπτωση της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας και χλωρίδας. Η ποικιλότητα των ειδών εκφράστηκε ως συνολικός αριθμός ειδών (S) και μέσω δεικτών ποικιλότητας (ομοιομορφίας και ετερογένειας). Οι δείκτες αυτοί ενσωματώνουν πληροφορίες για την αριθμητική αφθονία των ειδών, την αφθονία των ατόμων, την ομοιομορφία της κατανομής των ατόμων στα διαφορετικά είδη, την κατανομή τους στα δείγματα και την ετερογένεια των βιοκοινοτήτων. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε ο δείκτης του Margalef (d), ο δείκτης των Shannon – Wiener (H'), ο δείκτης του Simpson (1-λ) ως μέτρο κυριαρχίας και ο δείκτης ομοιομορφίας της

κατανομής Pielou's Evenness (J'). Οι δείκτες εφαρμόστηκαν μόνο για τα δεδομένα αφθονίας, τόσο για την ελεύθερα μετακινούμενη όσο και για την εδραία και προσκολλημένη πανίδα.

2.7.3 Σύνθεση ζωοβένθους

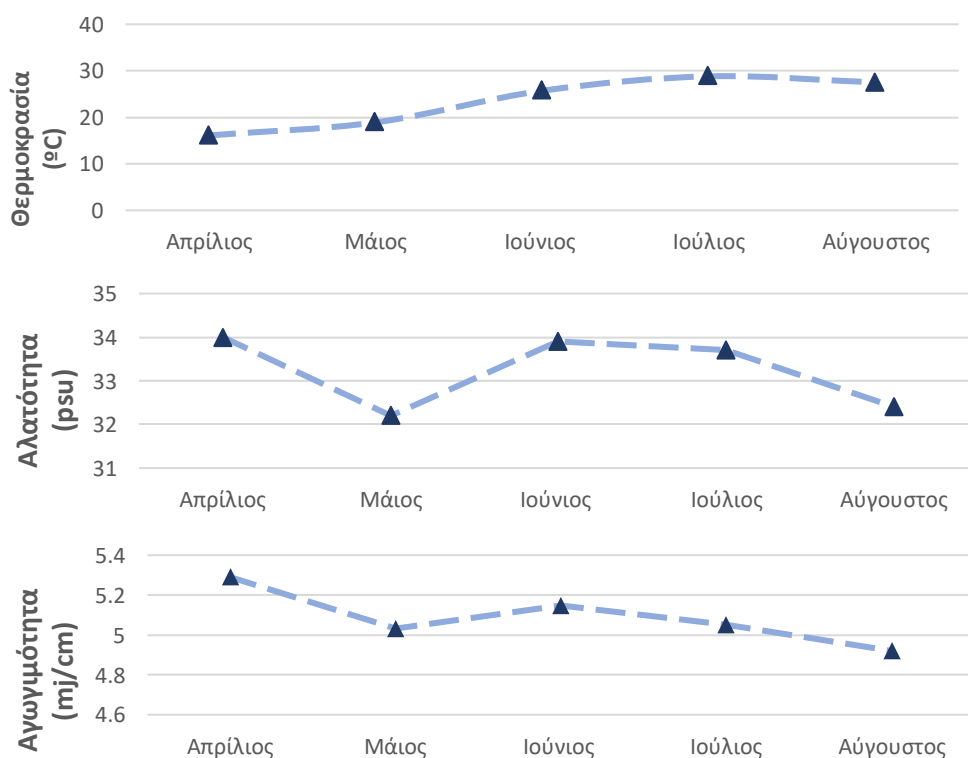
Η σύνθεση του ζωοβένθους στις πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων αναλύθηκε με την εφαρμογή πολυμεταβλητών τεχνικών στο λογισμικό PRIMER v6. Οι σχετικές αναλύσεις έγιναν σε δεδομένα αριθμητικής αφθονίας και ποσοστιαίας κάλυψης των τάξα εξετάζοντας την επίδραση της διάρκειας πόντισης των μονάδων (επιμέρους στάδια οικολογικής διαδοχής) αλλά και του υλικού-υποστρώματος (κελύφη μυδιών και τσιμέντο).

Αρχικά, εφαρμόστηκαν τεχνικές ταξινόμησης / ταξιθέτησης για να βρεθούν οι φυσικές ομαδοποιήσεις, έτσι ώστε τα δείγματα κάθε ομάδας να εμφανίζουν γενικά μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους απ' ότι με αυτά διαφορετικών ομάδων (Clarke & Warwick 1994). Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η ανάλυση ιεραρχικού δενδρογράμματος (Hierarchical Cluster Analysis) και η ανάλυση πολυδιάστατης απεικόνισης (Multi-Dimensional Scaling- MDS). Και στις δυο περιπτώσεις υπολογίστηκε ο δείκτης ομοιότητας των Bray-Curtis. Πριν τον υπολογισμό του δείκτη, τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν (τετραγωνική ρίζα) για να μειωθεί η επίδραση των πιο άφθονων ειδών και να εξισορροπηθεί η συμβολή των σπανιότερων ειδών στον καθορισμό του βαθμού ομοιότητας/ανομοιότητας (Clarke & Warwick 1994). Στη συνέχεια, προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν σημαντικές διαφορές στην ομοιότητα σύνθεσης του ζωοβένθους σε σχέση με την χρονική διάρκεια της πόντισης καθώς και με το υλικό του υποστρώματος αποίκησης των πειραματικών μονάδων, εφαρμόστηκε η ανάλυση ANOSIM. Τέλος, για τον εντοπισμό των ειδών/ taxa που ευθύνονται για τον καθορισμό της ομοιότητας εντός μιας ομάδας δειγμάτων και της ανομοιότητας μεταξύ των ομάδων δειγμάτων, εφαρμόστηκε η ανάλυση Simper (Clarke & Warwick 1994, 2001).

3. Αποτελέσματα

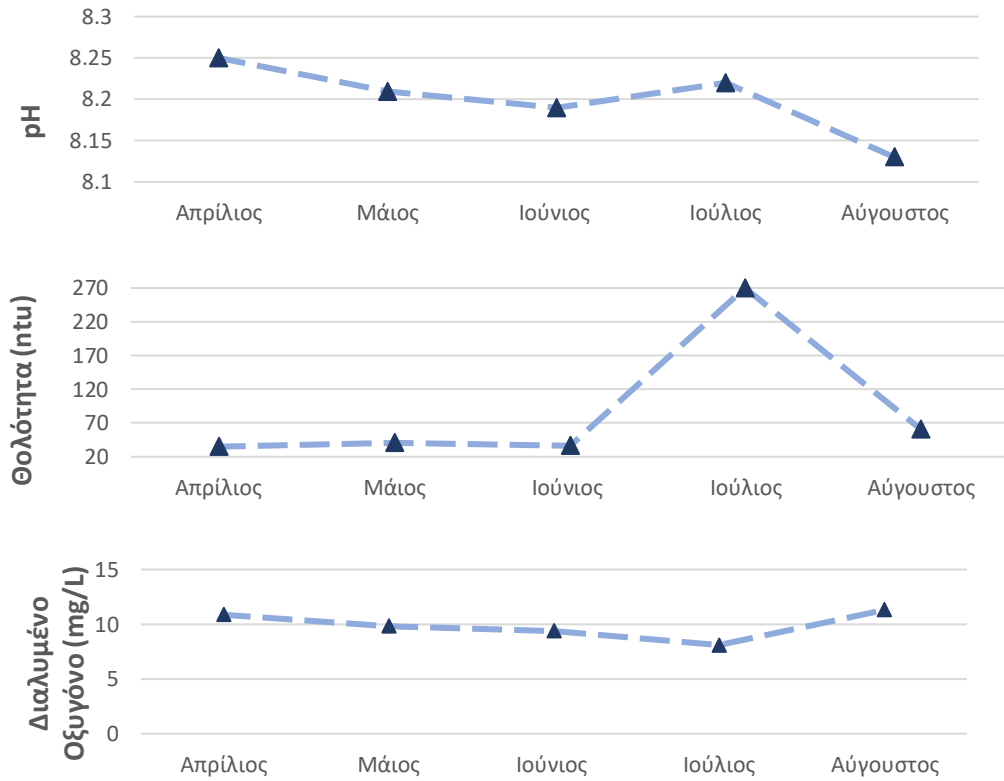
3.1 Αβιοτικές παράμετροι

Οι τιμές των αβιοτικών παραμέτρων που καταγράφηκαν σε μηνιαία βάση στη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας αποτυπώνονται διαγραμματικά (Εικόνα 19, 20). Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 16 μέχρι 29 °C με το μέγιστο (28,8 °C) να καταγράφεται τον Ιούλιο. Οι τιμές της θερμοκρασίας αυξάνονται από την άνοιξη προς το καλοκαίρι. Η αλατότητα κυμάνθηκε από 32-34 psu. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται τον Απρίλιο και η χαμηλότερη τον Μάιο. Η αγωγιμότητα ακολουθεί παρόμοιο πρότυπο μεταβολής, με εύρος τιμών από 4,92-5,29 mS/cm, με μέγιστη τιμή τον Απρίλιο και ελάχιστη τον Αύγουστο αντί για τον Μάιο. Γενικά, οι τιμές αλατότητας και αγωγιμότητας δεν εμφανίζουν κάποια έντονη μεταβολή ανάμεσα στους μήνες δειγματοληψίας. Η θολότητα κυμάνθηκε από 35-270 ntu, με τη μεγαλύτερη τιμή να καταγράφεται τον Ιούλιο, όπου και ήταν ασυνήθιστα μεγάλη, και τη μικρότερη τον μήνα Απρίλιο. Οι τιμές pH κυμάνθηκαν από 8,13-8,25 εμφανίζοντας πολύ περιορισμένη μεταβλητότητα μεταξύ των μηνιαίων μετρήσεων. Τέλος, το διαλυμένο οξυγόνο κυμάνθηκε από 8,1 μέχρι 11,3 mg/L (Εικόνα 19). Η μέγιστη τιμή παρουσιάστηκε τον Αύγουστο και η ελάχιστη τον Ιούλιο.



Εικόνα 19: Τιμές μηνιαίων μετρήσεων αβιοτικών παραμέτρων (Θερμοκρασία, Αλατότητα, Αγωγιμότητα) πλησίον του πυθμένα στην περιοχή πόντισης των πειραματικών μονάδων του λιμενοβραχίονα ΣΣΠΜ, για την περίοδο Απρίλιος 2021-Αύγουστος 2021.

Figure 19: Monthly measurements of abiotic parameters (Temperature, Salinity,) , at the immersion area, for the period between April 2021-August 2021.



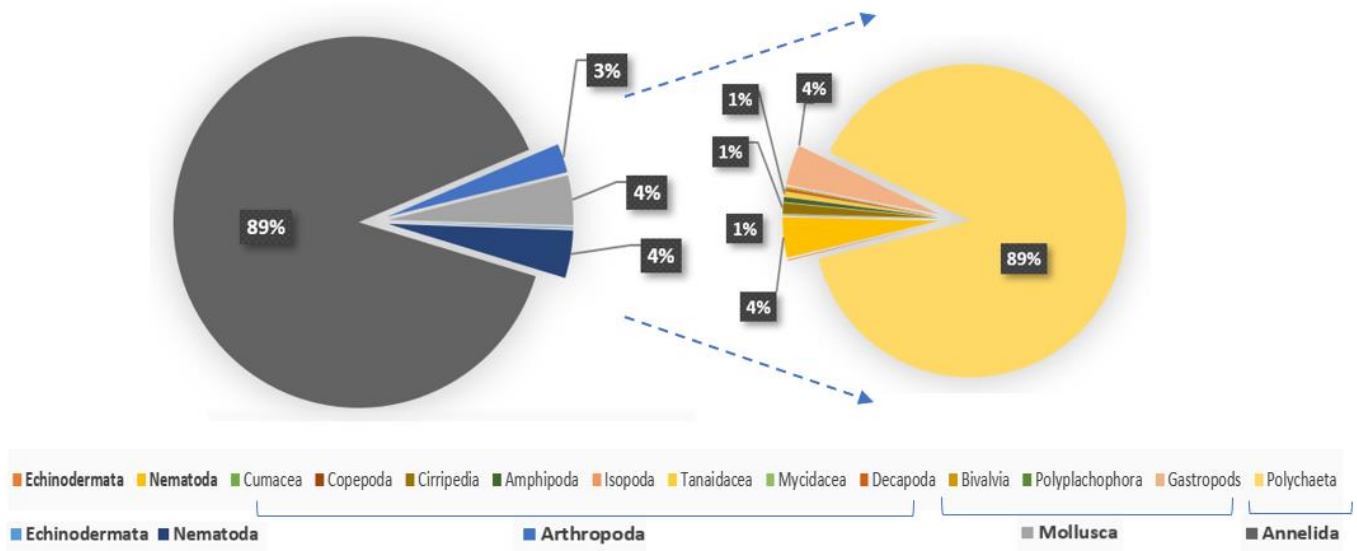
Εικόνα 20: Τιμές μηνιαίων μετρήσεων αβιοτικών παραμέτρων (pH, Θολότητα, Διαλυμένο οξυγόνο) πλησίον του πυθμένα στην περιοχή πόντισης των πειραματικών μονάδων του λιμενοβραχίονα ΣΣΠΜ, για την περίοδο Απρίλιος 2021-Αύγουστος 2021.

Figure 20: Monthly measurements of abiotic parameters (pH, Turbidity, Oxygen), at the immersion area, for the period between April 2021-August 2021.

3.2 Βιοποικιλότητα, αφθονία και ποσοστιαία κάλυψη βενθικών οργανισμών στις πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων

3.2.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία

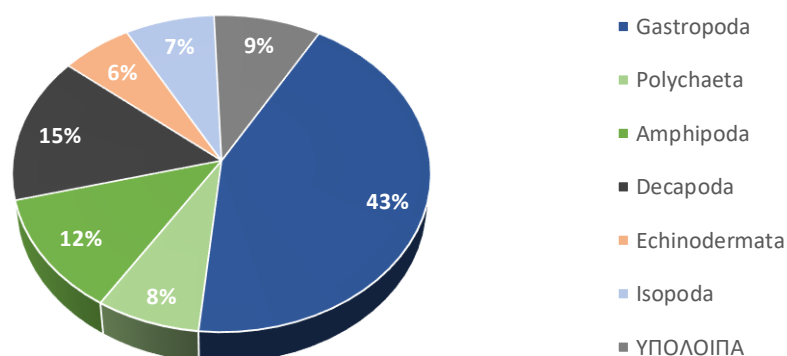
Συνολικά, από τις 12 πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων, συλλέχθηκαν 41.519 άτομα βενθικών μακροασπόνδυλων που ταξινομήθηκαν σε 57 είδη 14 ανώτερων ταξινομικών ομάδων (Πίνακας 3.2.1.1- Παράρτημα Ι). Σημειώνεται ωστόσο, ότι αρκετές ομάδες δεν στάθηκε εφικτό να ταξινομηθούν σε επίπεδο είδους. Ειδικότερα, τα Cirripedia, Cumacea, Mysidacea, Isopoda και Nematoda δεν ταξινομήθηκαν περαιτέρω, ενώ τα Polychaeta ταξινομήθηκαν σε 4 οικογένειες με εξαίρεση ορισμένα άτομα της οικογένειας Opheliidae που ταξινομήθηκαν σε επίπεδο είδους. Βρέθηκαν, επίσης, γόννοι ιχθύων, νεαρά άτομα αχινών και νεαρά άτομα μυδιών (Mytilidae) και πεταλίδων (Patella) που δεν ταξινομήθηκαν περαιτέρω.



Εικόνα 21: Ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στη συνολική αφθονία ατόμων εδραίας, προσκολλημένης και ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021. Αριστερά : κύριο γράφημα, διάκριση οργανισμών σε 5 Φύλα, Δεξιά: δευτερεύον γράφημα , διάκριση οργανισμών στις επιμέρους ταξινομικές ομάδες.

Figure 21: Percentages of taxa in the total abundance of sessile, attached, and motile benthic fauna of the 12 experimental units that were immersed in the SRFE jetty in May 2021. Left: main graph, classification of organisms into 5 Phylum, right: secondary graph, classification of organisms into further taxonomic groups.

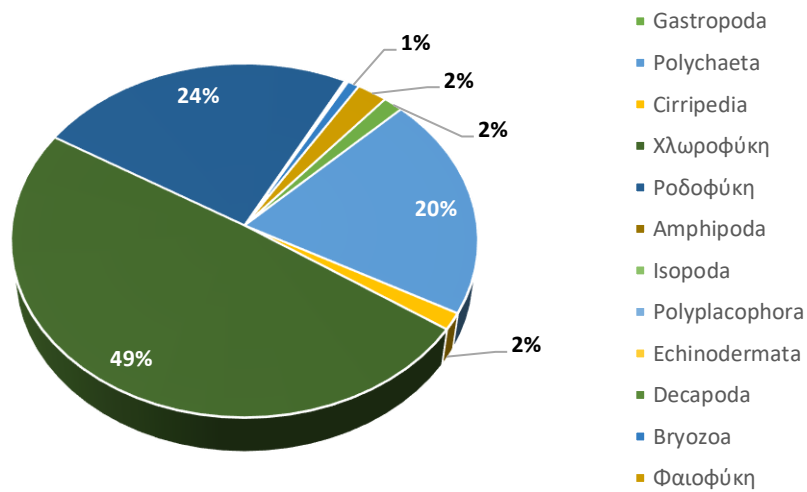
Οι ταξινομικές ομάδες που κυριάρχησαν σε αφθονία στις πειραματικές μονάδες των τεχνητών υφάλων ήταν το φύλο Anellida με 89% και έπειτα τα φύλο Nematoda και Mollusca (Εικόνα 21). Όσο αφορά στην ποικιλότητα των ειδών τα γαστερόποδα αποτέλεσαν την κυρίαρχη ομάδα. Τα δεκάποδα και τα αμφίποδα είχαν επίσης σημαντική συμβολή (Εικόνα 22).



Εικόνα 22 : Ποσοστιαία κατανομή της ποικιλότητας των taxa εδραίας, προσκολλημένης και ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της εγκατάστασης ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021. Στα “ΥΠΟΛΟΙΠΑ” περιλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Polyplacophora, Bivalvia και Tanaidacea.

Figure 22: Percentage distribution of diversity of the sessile, attached, and motile benthic fauna's taxa, for all the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021. Various ΥΠΟΛΟΙΠΑ include taxonomic groups Polyplacophora, Bivalvia and Tanaidacea.

Η ποσοστιαία κάλυψη των εδραίων/προσκολλημένων οργανισμών υπολογίστηκε, όπως αναφέρθηκε στις μεθόδους, με το λογισμικό πρόγραμμα CPSe, και τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 23. Την μεγαλύτερη κάλυψη (cm²) στις επιφάνειες των 12 πειραματικών μονάδων είχαν τα χλωροφύκη (49%) και ακολουθούσαν τα ροδοφύκη (24%) και οι πολύχτατοι (20%). Οι υπόλοιπες ταξινομικές ομάδες καταλάμβαναν ελάχιστη επιφάνεια στις πειραματικές δομές.

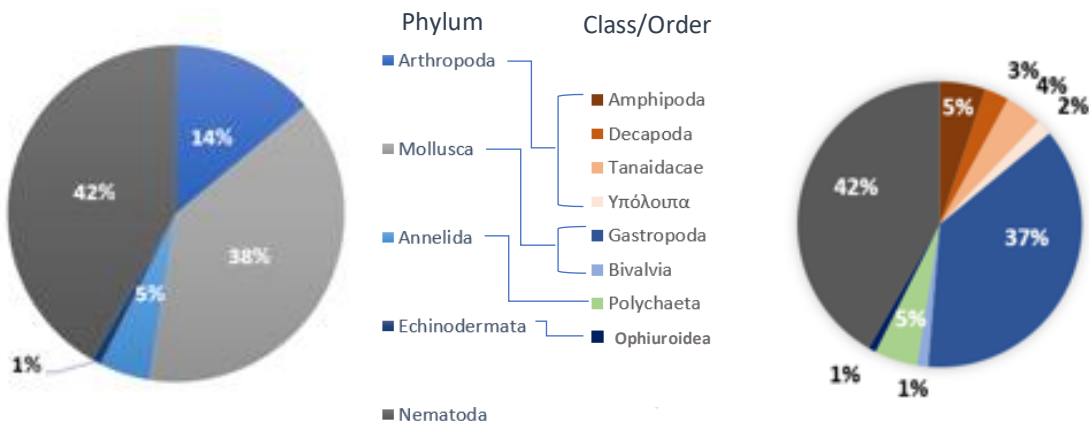


Εικόνα 23: Ποσοστιαία κάλυψη των taxa της εδραίας/ προσκολλημένης πανίδας στα 2 υποστρώματα των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων, που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021.

Figure 23: Percentage coverage of sessile and attached benthic fauna's taxa, on the biogenic substrate of the 12 structures of artificial reefs, that were immersed in the SRFE jetty in May 2021.

3.2.2 Ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα

Συνολικά, καταμετρήθηκαν 4.141 άτομα ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας που ταξινομήθηκαν σε 12 ταξινομικές ομάδες, Gastropoda, Polychaeta, Amphipoda, Nematoda, Decapoda, Echinodermata, Bivalvia, Isopoda, Copepoda, Cumacea, Mysidacea και Tanaididae (Πίνακας 3.2.2.1-Παράρτημα Ι). Οι νηματώδεις (1.724 άτομα) και τα γαστερόποδα (1.544 άτομα) ήταν οι κυρίαρχες σε αφθονία ομάδες με τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής στη συνολική αφθονία ατόμων της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας (Εικόνα 24).

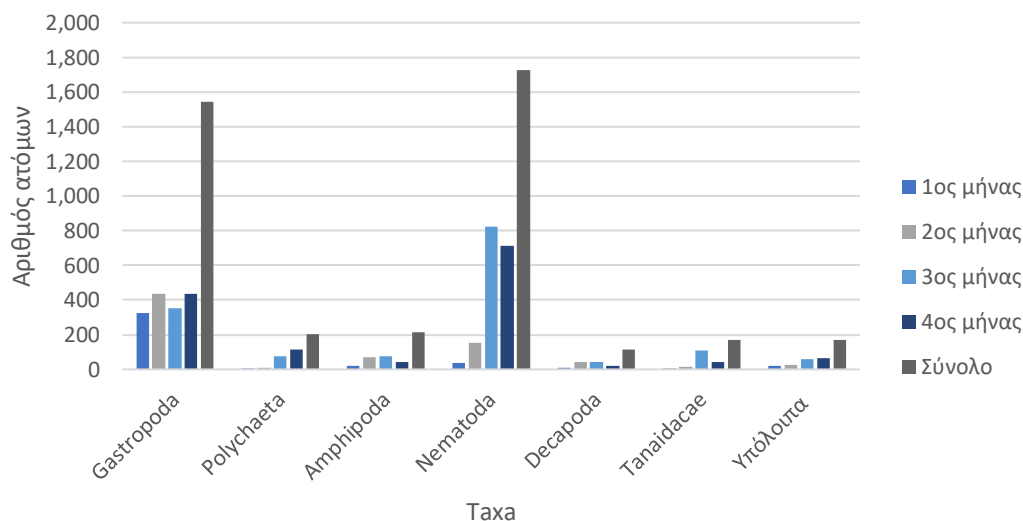


Εικόνα 24: Ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στη συνολική αφθονία ατόμων της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας από τις 12 πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ το Μάιο του 2021. Αριστερά : κύριο γράφημα, διάκριση οργανισμών σε 5 Φύλα, Δεξιά: δευτερεύον γράφημα , διάκριση οργανισμών στις επιμέρους ταξινομικές ομάδες(κλάσεις και τάξεις). Στα "ΥΠΟΛΟΙΠΑ" περιλαμβάνονται ταξινομικές ομάδες αρθροπόδων, τα Isopoda, Mysidacea, Cumacea και Copepoda.

Figure 24: Percentages of taxa in the total abundance of motile benthic fauna from the 12 experimental artificial reef units that were immersed on the jetty of SRFE in May 2021. Left: main chart, subdivision of organisms into 5 Phyla, right: secondary graph, classification of organisms in further taxonomic groups (classes and orders). The various "Υπόλοιπα" includes taxonomic groups of arthropods, Isopoda, Mysidacea, Cumacea and Copepoda.

Από τα γραφήματα της αριθμητικής αφθονίας των κυριότερων ταξινομικών ομάδων ανα μήνα δειγματοληψίας (Εικόνα 25) διαπιστώνεται πως τα Nematoda και τα Gastropoda αποτελούν τις κυρίαρχες ομάδες σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η ομάδα Nematoda εμφανίζει εξαιρετικά μεγάλες αφθονίες ατόμων μετά τον 2 μήνα πόντισης, με μέγιστο πλήθος ατόμων τον 3^ο μήνα πόντισης. Το ίδιο πρότυπο ακολουθούν και οι πολύχαιτοι, οι οποίοι τον πρώτο μήνα δεν παρουσίασαν κανένα άτομο στις συννευρέσεις των Τ.Υ. Τα Decapoda εμφανίζονται σε όλα τα επαναληπτικά δείγματα, αλλά με μικρές αφθονίες. Οι ομάδες Amphipoda και Decapoda παρουσίασαν μια αύξηση του πλήθους των ατόμων τους τον 2^ο και 3^ο μήνα πόντισης. Τέλος, το αντιπροσωπευτικό είδος της ομάδας Tanaididae ήταν το *Leptochelia*

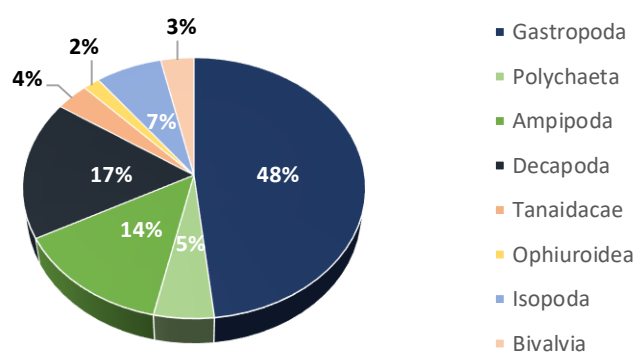
savignyi, το οποίο φαίνεται να έκανε την εμφάνιση του από τον πρώτο μήνα πόντισης και παρουσίασε μεγάλη αύξηση του πλήθους των ατόμων του στους 3 μήνες πόντισης.



Εικόνα 25: Συνολική αριθμητική αφθονία ατόμων των taxa της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας από τις 12 πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων, ανα μήνα δειγματοληψίας (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος} και 4^{ος} μήνας) και συνολικά για όλους τους μήνες (Σύνολο). Στα “ΥΠΟΛΟΙΠΑ” περιλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Isopoda, Mycidacea, Echinodermata, Ophiuroidea, Bivalvia, Cumacea και Copepoda.

Figure 25: Total abundance of motile benthic fauna’s taxa, for the 12 structures of artificial reefs, per sampling month (1st, 2nd, 3rd and 4th month) and total for all months (Σύνολο). Various ΥΠΟΛΟΙΠΑ include taxonomic groups Isopoda, Mycidacea, Echinodermata, Ophiuroidea, Bivalvia, Cumacea and Copepoda.

Όσο αφορά τη ποικιλότητα (Εικόνα 26) της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας τα γαστερόποδα αποτέλεσαν την κυρίαρχη ομάδα με ποσοστό συμμετοχής 48% και στη συνέχεια τα δεκάποδα και αμφίποδα με ποσοστό συμμετοχής πάνω από 10%. Η τάξη Isopoda (7%) είχαν επίσης σημαντική συμβολή στη σύνθεση της ποικιλότητας.



Εικόνα 26: Ποσοστιαία κατανομή της ποικιλότητας των taxa της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της εγκατάστασης ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021.

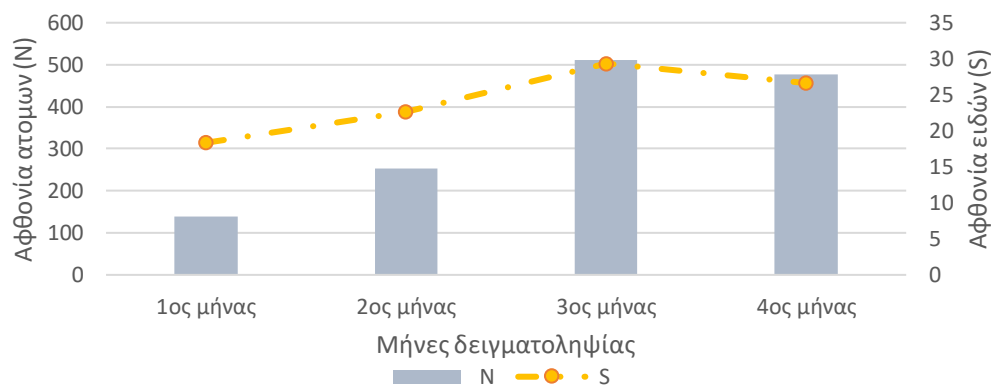
Figure 26: Percentage distribution of diversity of the motile benthic fauna's taxa, for all the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021.

Για την διερεύνηση της ποικιλότητας των συνευρέσεων χρησιμοποιήθηκαν, όπως αναφέρθηκε και στις μεθόδους, οικολογικοί δείκτες (Shannon-Wiener, Margalef, Pielou's Evenness, Species richness). Οι τιμές των δεικτών ποικιλότητας δίνονται στον Πίνακα 3.2.2.2. Η μεγαλύτερη αφθονία ατόμων (N) καταγράφηκε τον 3^ο μήνα πόντισης και αποδίδεται κυρίως στην σημαντική αφθονία του φύλου Nematoda (βλ. Εικόνα 24, Πίνακας 3.2.2.1-Παράρτημα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν τους πρώτους δύο μήνες. Η αφθονία ειδών (S) δείχνει να μη σχετίζεται απόλυτα με την αφθονία ατόμων. Για τους πρώτους δυο μήνες όπου η αφθονίες ατόμων ήταν μικρότερες παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές μεγάλες αφθονίες ειδών σε σχέση με τον 3^ο και 4^ο μήνα δειγματοληψίας. Συγκρίνοντας τις τιμές αφθονίας ειδών (S) (Εικόνα 27) με αυτές των δεικτών ποικιλότητας (Εικόνα 28) διαπιστώνεται πως οι μεταβολές του δείκτη Margalef (d) ακολουθούν τις μεταβολές της αφθονίας των ειδών. Ωστόσο, οι τιμές του δείκτη Shannon (H') εμφανίζουν αντίθετες αποτιμήσεις της ποικιλότητας στις περιπτώσεις του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα δειγματοληψίας. Για τον δείκτη ομοιομορφίας της κατανομής J' φαίνεται πως οι τιμές πλησιάζουν την μονάδα για τον 1^ο και 2^ο μήνα, ενώ οι 2 τελευταίοι μήνες οι τιμές εμφανίζονται κοντά στο 0,5. Συνεπώς, στους πρώτους δύο μήνες παρατηρείται ισοκατανομή της ποικιλότητας στα διάφορα είδη ενώ στους τελευταίους μήνες ανισοκατανομή. Τέλος, ο δείκτης Simpson (1-λ), εμφάνισε σχετικά μεγάλες τιμές, κοντά στη μονάδα, κάτι το οποίο υποδηλώνει υψηλή ποικιλότητα στα επαναληπτικά δείγματα των 4^{ων} μηνών πόντισης. Τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη Simpson (1-λ') κατέγραψε ο 2^{ος} μήνας πόντισης.

Πίνακας 3.2.2.2 : Δείκτες ποικιλότητας για την ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα που απομονώθηκε από τις πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων ανα μήνα δειγματοληψίας.

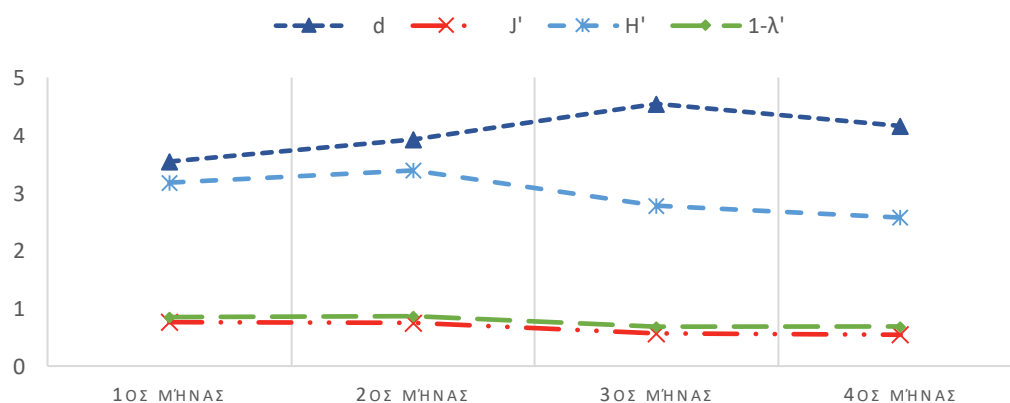
Table 3.2.2.2: Diversity indices for the motile benthic fauna, per month of sampling.

Μήνας	S	N	d	J'	H'(log _e)	H'(log ₂)	1-λ'
1ος μήνας	18.333	139.333	3.5443	0.7613	2.204	3.179	0.845
2ος μήνας	22.667	252	3.925	0.7535	2.35	3.390	0.865
3ος μήνας	29.333	512.333	4.545	0.5721	1.932	2.788	0.691
4ος μήνας	26.667	476.667	4.162	0.5431	1.783	2.573	0.687



Εικόνα 27: Μεταβολή της αφθονίας ατόμων (N) και αφθονίας ειδών (S) της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας, ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 27: Variation of the total number of individuals (N) and of species (S) of motile fauna, per sampling month.

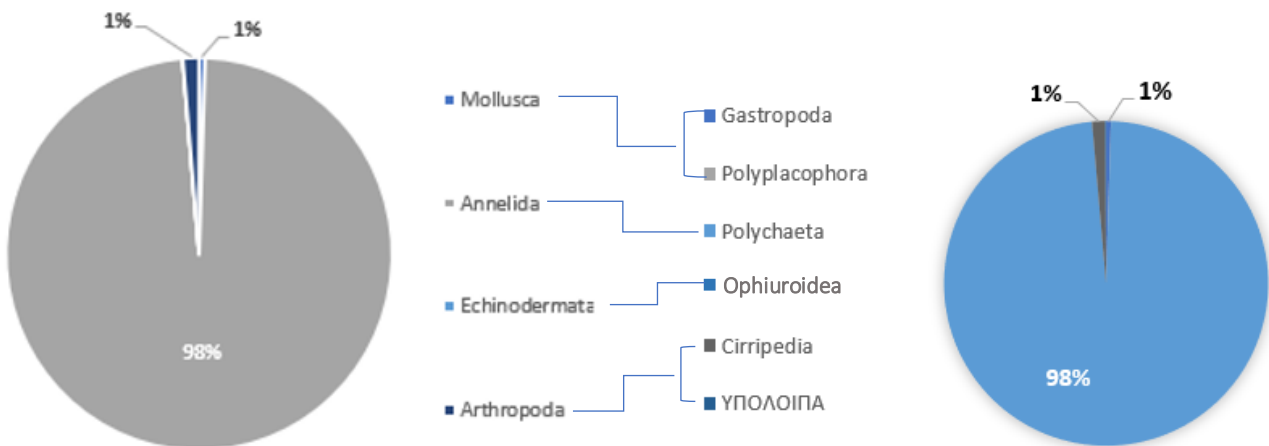


Εικόνα 28: Μεταβολή των δεικτών ποικιλότητας Margalef (d), Shannon-Wiener (H'), ομοιομορφίας της κατανομής Pielou Evenness (J') και ετερογένειας Simpson (1-λ') ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 28: Variation of Margalef's (d) and Shannon-Wiener's (H') diversity indices, of Pielou's evenness (J') and of Simpson (1-λ') heterogeneity indice, per sampling month.

3.2.3 Εδραία και προσκολλημένη πανίδα

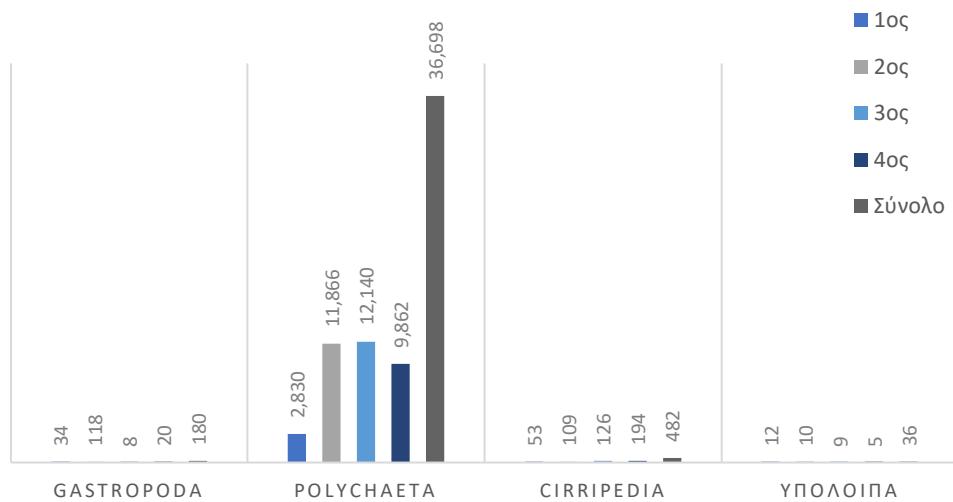
Συνολικά, στις πειραματικές μονάδες των τεχνητών υφάλων, βρέθηκαν 37.396 άτομα εδραίας και προσκολλημένης πανίδας και στα 2 υλικά (τσιμέντο και κελύφη)(Πίνακας 3.2.3.1-Παράρτημα Ι) Το μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολική αφθονία προσκολλημένης πανίδας και στα 2 υλικά δοκιμής το είχε η ομάδα των πολυχαίτων με 98% συμμετοχή (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στη συνολική αφθονία ατόμων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας από τις 12 πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ το Μάιο του 2021. Αριστερά : κύριο γράφημα, διάκριση οργανισμών σε 4 Φύλα, Δεξιά: δευτερεύον γράφημα , διάκριση οργανισμών στις επιμέρους ταξινομικές ομάδες(κλάσεις και τάξεις). Στα ‘ΥΠΟΛΟΙΠΑ’ περιλαμβάνονται ταξινομικές ομάδες αρθροπόδων, τα Isopoda,Decapoda, Amphipoda.

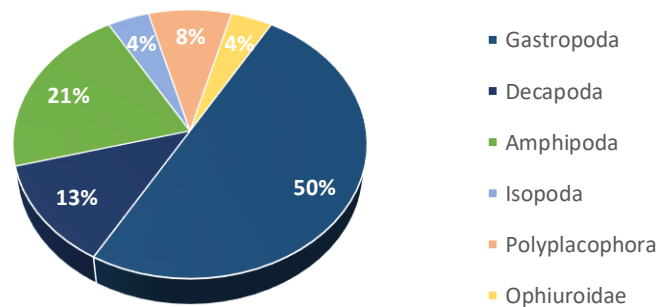
Figure 29: Percentages of taxa in the total abundance of sessile and attached benthic fauna from the 12 experimental artificial reef units that were immersed on the jetty of SRFE in May 2021. Left: main chart, subdivision of organisms into 4 Phyla, right: secondary graph, classification of organisms in further taxonomic groups (classes and orders). The various "Υπόλοιπα" includes taxonomic groups of arthropods, Isopoda, Decapoda, Amphipoda.

Συνολικά, και για τα 2 υλικά, οι αφθονίες των οργανισμών ανάμεσα στους διαδοχικούς μήνες παρουσίασαν αυξομειώσεις, οι οποίες φαίνονται στο πιο κάτω γράφημα (Εικόνα 30). Ωστόσο , η ομάδα των πολυχαίτων παρουσίασε μια σχετική σταθερότητα στις αριθμητικές αφθονίες των ατόμων της στους διαδοχικούς μήνες πόντισης, με το μεγαλύτερο αριθμό ατόμων να εμφανίζεται το 3^ο μήνα δειγματοληψίας (12.140 άτομα). Το μεγαλύτερο ποσοστό ποικιλότητας στην εδραία και προσκολλημένη πανίδα συνολικά στις 12 πειραματικές μονάδες είχε η ομάδα των γαστερόποδων (50%) και έπειτα τα αμφίποδα, δεκάποδα με ποσοστό συμμετοχής μεγαλύτερο από 10% (Εικόνα 31).



Εικόνα 30: Συνολική αριθμητική αφθονία ατόμων των taxa της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας από τις 12 πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων, ανα μήνα δειγματοληψίας (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος} και 4^{ος} μήνας) και συνολικά για όλους τους μήνες. Στα ‘ΥΠΟΛΟΙΠΑ’ περιλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Isopoda, Mycidaea, Echinodermata, Ophiuroidea, Bivalvia, Cumacea και Copepoda. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον αριθμό ατόμων για κάθε μήνα δειγματοληψίας.

Figure 30: Total abundance of motile benthic fauna’s taxa, for the 12 structures of artificial reefs, per month of sampling (1st, 2nd, 3rd and 4th month) and total of all sampling months. Various ΥΠΟΛΟΙΠΑ include taxonomic groups Isopoda, Mycidaea, Echinodermata, Ophiuroidea, Bivalvia, Cumacea and Copepoda. The numbers are representing the number of individuals for every sampling month.

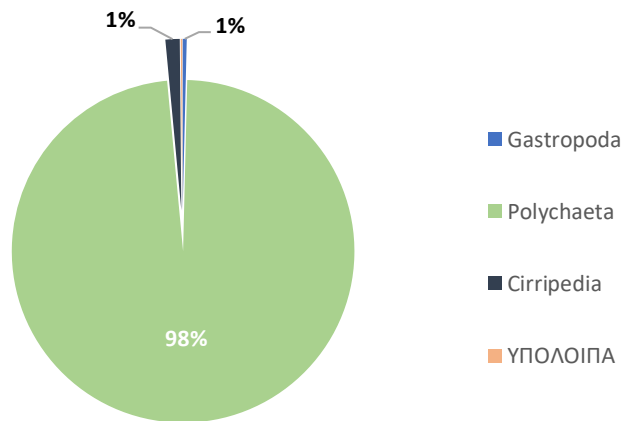


Εικόνα 31: Ποσοστιαία κατανομή της ποικιλότητας των taxa της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της εγκατάστασης ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021.

Figure 31: Percentage distribution of diversity of the sessile/attached benthic fauna’s taxa, for all the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021.

3.2.3.1 Βιογενές υλικό

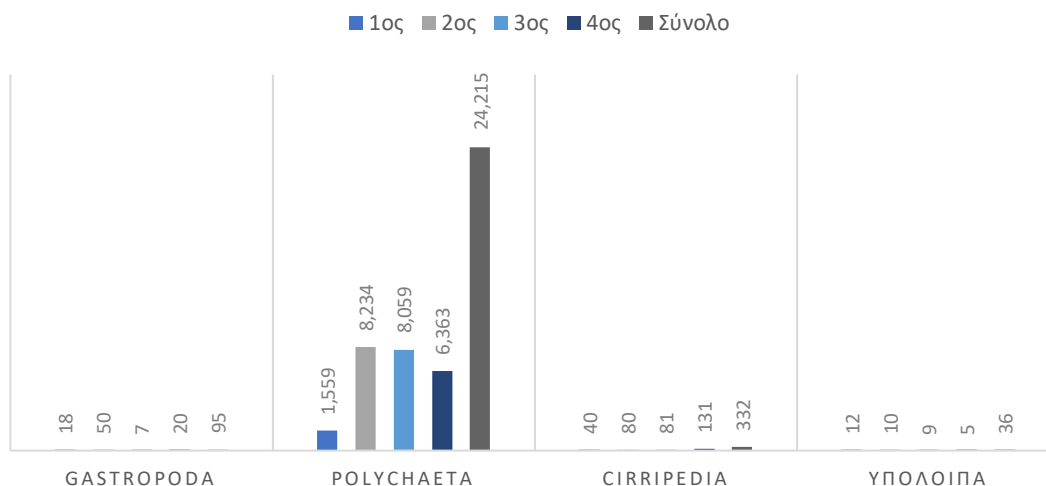
Ο συνολικός αριθμός ατόμων που καταγράφηκε στο βιογενές υλικό ήταν 24.678 άτομα εδραίας και προσκολλημένης βενθικής πανίδας (Πίνακας 3.2.3.2- Παράρτημα I). Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 32), τη μέγιστη αφθονία είχαν οι Πολύχαιτοι (24.215 άτομα) με ποσοστό συμμετοχής 98% στην συνολική αφθονία. Αμέσως μετά ήταν η ομάδα των Θυσανόποδων (Cirripedia με 332 άτομα) και των Γαστερόποδων (95 άτομα), με πολύ μικρό ποσοστό συμμετοχής (1%).



Εικόνα 32: Ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στη συνολική αφθονία ατόμων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο βιογενές υπόστρωμα των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ το Μάιο του 2021. Στα ‘ΥΠΟΛΟΙΠΑ’ περιλαμβάνονται ταξινομικές ομάδες Isopoda, Echinodermata, Ophiuroidea, Decapoda, Amphipoda και Polyplacophora.

Figure 32: Percentages of taxa in the total abundance of sessile and attached benthic fauna found on biogenic substrate of the 12 experimental artificial reef units that were immersed on the jetty of SRFE in May 2021. The various "Υπόλοιπα" includes taxonomic groups Isopoda, Echinodermata, Ophiuroidea, Decapoda, Amphipoda and Polyplacophora.

Τα αποτελέσματα της συνολικής αριθμητικής αφθονίας ατόμων ανά μήνα δειγματοληψίας φαίνονται στην Εικόνα 33. Είναι εμφανές η κυριαρχία των πολυχαίτων, με τη μεγαλύτερη αφθονία να παρουσιάζεται τον δεύτερο μήνα πόντισης με 8.234 άτομα. Τα γαστερόποδα έκαναν την εμφάνιση τους από τον 1^ο μήνα και έλαβαν μέρος στις συννευρέσεις όλους τους μήνες πόντισης, ενώ η αφθονία τους φαίνεται να μειώνεται τον 3^ο μήνα πόντισης. Αντιθέτως, για την ομάδα των θυσανόποδων, το πλήθος των ατόμων τους αυξανόταν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι ομάδες Isopoda, Echinodermata, Decapoda, Amphipoda και Polyplacophora είχαν πολύ μικρές αφθονίες, ενώ άρχισε να μειώνεται το πλήθος των ατόμων τους μετά τον 2^ο μήνα δειγματοληψίας.

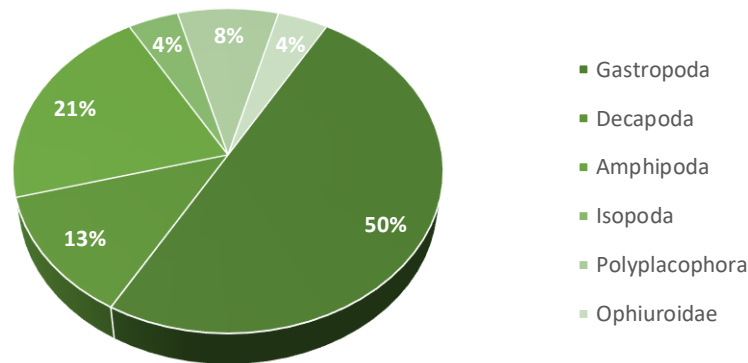


Εικόνα 33: Συνολική αριθμητική αφθονία ατόμων των taxa της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο βιογενές υλικό των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων, ανα μήνα δειγματοληψίας (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος} και 4^{ος} μήνας) και συνολικά για όλους τους μήνες. Στα “ΥΠΟΛΟΙΠΑ” περιλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Isopoda, Echinodermata, Ophiuroidea, Polyplacophora, Amphipoda, Decapoda. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον αριθμό ατόμων για κάθε μήνα δειγματοληψίας.

Figure 33: Total abundance of sessile/attached benthic fauna’s taxa that found on biogenic substrate of the 12 structures of artificial reefs, per month of sampling (1st, 2nd, 3rd and 4th month) and total of all sampling months. Various ΥΠΟΛΟΙΠΑ include taxonomic groups Isopoda, Echinodermata, Ophiuroidea, Polyplacophora, Amphipoda, Decapoda. The numbers are representing the number of individuals for every sampling month.

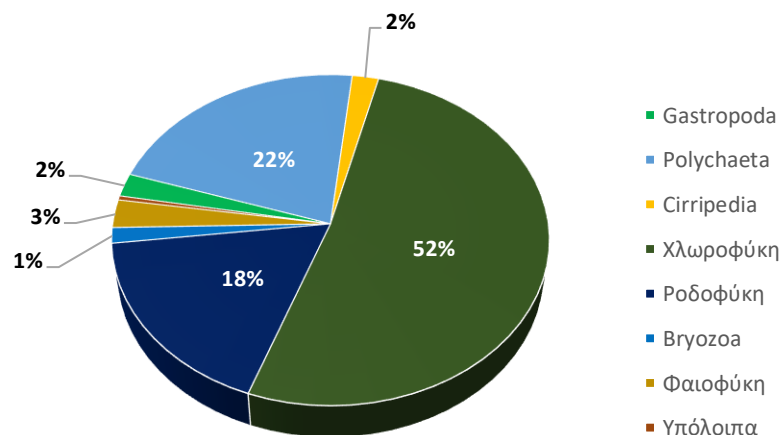
Τα Γαστερόποδα, ενώ είχαν μικρό ποσοστό συμμετοχής στην συνολική αφθονία της προσκολλημένης πανίδας, είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό (50%) στην συνολική κατανομή της ποικιλότητας της προσκολλημένης πανίδας (συνολικά εμφανίστηκαν 12 είδη)(Εικόνα 34). Ακολούθησαν τα αμφίποδα (21%), τα οποία είχαν πολύ μικρή συμμετοχή στη συνολική αριθμητική αφθονία και στη συνέχεια οι πολύχαιτοι και τα δεκάποδα (13%).

Τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κάλυψης (Εικόνα 35), μετά την επεξεργασία των φωτογραφικών καταγραφών των δειγματοληπτικών επιφανειών, έδειξαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής είχαν τα χλωροφύκη (52%) και έπειτα οι πολύχαιτοι (22%) και τα ροδοφύκη (18%).



Εικόνα 34: Ποσοστιαία κατανομή της ποικιλότητας των taxa της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο βιογενές υλικό, των 12 πειραματικών μονάδων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της εγκατάστασης ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021.

Figure 34: Percentage distribution of diversity of the sessile/attached benthic fauna's taxa that found on biogenic substrate, of the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021.



Εικόνα 35: Ποσοστιαία κάλυψη των taxa της εδραίας/ προσκολλημένης πανίδας και χλωρίδας που βρέθηκαν στο βιογενές υλικό, των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021. Στα "ΥΠΟΛΟΙΠΑ" περιλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Isopoda, Echinodermata, Polyplacophora, Amphipoda, Decapoda.

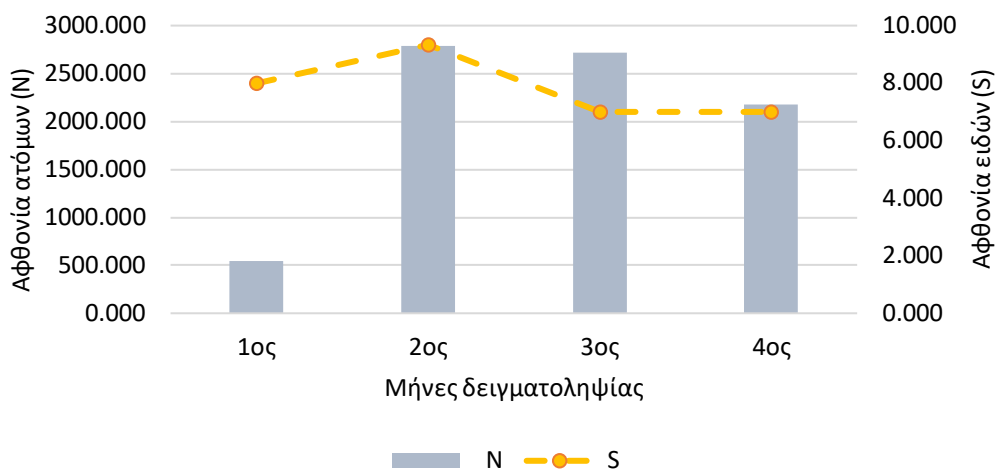
Figure 35: Percentage coverage of sessile and attached benthic fauna's and flora 's taxa, on the biogenic substrate, of the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021. Various ΥΠΟΛΟΙΠΑ include taxonomic groups Isopoda, Echinodermata, Polyplacophora, Amphipoda, Decapoda.

Με την εφαρμογή των μονομεταβλητών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης για την διερεύνηση της ποικιλότητας των συνευρέσεων, υπολογίστηκαν οι οικολογικοί δείκτες (Shannon-Wiener, Margalef, Pielou's Evenness, Species richness), των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 3.2.3.2. Η μεγαλύτερη αφθονία ατόμων (N) καταγράφηκε τον 2^ο μήνα πόντισης και αποδίδεται κυρίως στην σημαντική αφθονία της οικογένειας πολυχαίτων Spirobridae (βλ. Εικόνα 33, Πίνακας 3.2.2.1-Παράρτημα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν τον 1^ο μήνα μετά την πόντιση. Η αφθονία ειδών (S) δείχνει να μη σχετίζεται απόλυτα με την αφθονία ατόμων (Εικόνα 36). Ο πρώτος μήνας πόντισης, ενώ είχε την μικρότερη αφθονία ατόμων παρουσιάζει μεγάλες αφθονίες ειδών και μεγαλύτερες από τους 2 τελευταίους μήνες, στους οποίους φαίνεται να καταγράφηκαν μεγαλύτερες αφθονίες ατόμων. Συγκρίνοντας τις τιμές αφθονίας ειδών (S) (Εικόνα 36) με αυτές των δεικτών ποικιλότητας (Εικόνα 37) διαπιστώνεται πως οι μεταβολές του δείκτη Margalef (d) ακολουθούν τις μεταβολές της αφθονίας των ειδών, αλλά όχι απόλυτα. Το δεύτερο μήνα, ενώ η αφθονία ειδών ήταν μεγαλύτερη από τον 1^ο μήνα, η τιμή του δείκτη Margalef (d) είναι χαμηλότερη. Επιπλέον, οι τιμές του δείκτη Shannon (H') εμφανίζουν αντίθετες αποτιμήσεις της ποικιλότητας στη περίπτωση του 2^{ου} μήνα δειγματοληψίας. Για τον δείκτη ομοιομορφίας της κατανομής J' φαίνεται πως οι τιμές είναι πολύ χαμηλές, κάτι που υποδηλώνει πως η κατανομή της αφθονίας και ποικιλότητας κατανέμονται ανισομερώς. Ωστόσο, στον 1^ο και 4^ο μήνα οι δείκτες ποικιλότητας και ομοιομορφίας της της κατανομής των ειδών έχουν τις υψηλότερες τιμές από τους υπόλοιπους μήνες. Τέλος, ο δείκτης Simpson (1-λ), εμφάνισε πολύ μικρές τιμές κοντά στο μηδέν, κάτι το οποίο υποδηλώνει χαμηλή ποικιλότητα στα επαναληπτικά δείγματα των 4^{ων} μηνών πόντισης. Ωστόσο, τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη 1-λ' εμφάνισε ο πρώτος μήνας, ο οποίος φαίνεται να είχε τη μεγαλύτερη ποικιλότητα αλλά και ομοιομορφία της κατανομής της στα διάφορα είδη.

Πίνακας 3.2.3.2: Δείκτες ποικιλότητας για την προσκολλημένη και εδραία βενθική πανίδα στο βιογενές υλικό των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων ανα μήνα δειγματοληψίας.

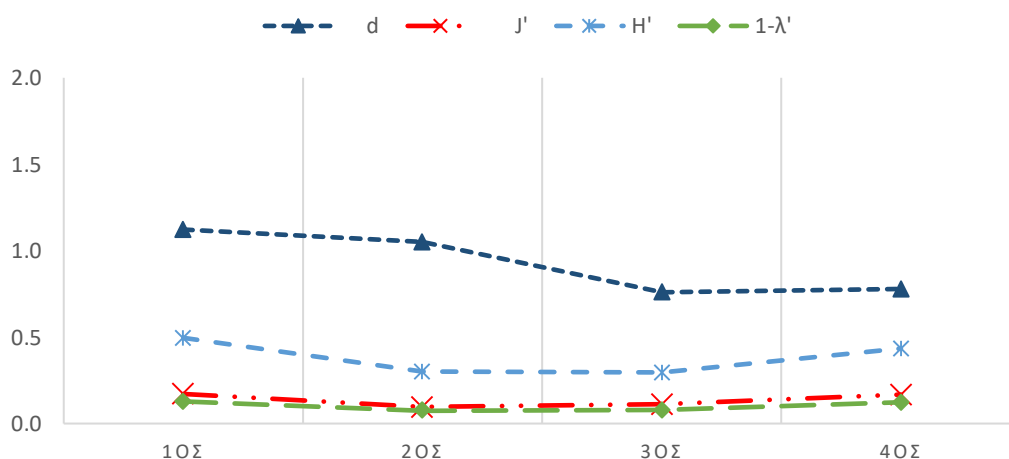
Table 3.2.3.2: Diversity indices for sessile and attached benthic fauna on the biogenic substrate of the artificial reefs per month of sampling.

Μήνας	S	N	d	J'	H'(log _e)	H'(log ₂)	1-λ'
1ος	8	543	1.122133	0.171167	0.3436	0.495733	0.127947
2ος	9.333333	2791.333	1.0518	0.096533	0.2082	0.3004	0.073687
3ος	7	2718.667	0.7592	0.10959	0.205067	0.295833	0.080437
4ος	7	2173	0.7788	0.165967	0.299167	0.4316	0.125913



Εικόνα 36: Μεταβολή της αφθονίας ατόμων (N) και αφθονίας ειδών (S) της εδραίας και προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο βιογενές υλικό, ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 36: Variation of the total number of individuals (N) and of species (S) of sessile and attached fauna that found on biogenic material, per sampling month.

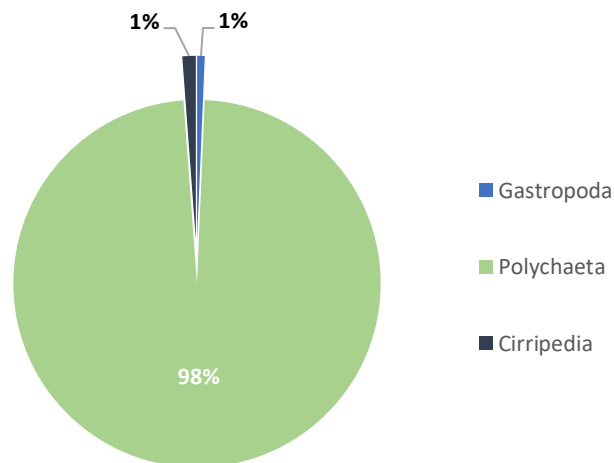


Εικόνα 37: Μεταβολή των δεικτών ποικιλότητας Margalef (d), Shannon-Wiener (H'), ομοιομορφίας της κατανομής Pielou Evenness (J') και ετερογένειας Simpson (1-λ') ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 37: Variation of Margalef's (d) and Shannon-Wiener's (H') diversity indices, of Pielou's evenness (J') and of Simpson (1-λ') heterogeneity indice, per sampling month.

3.2.3.2 Συμβατικό υλικό

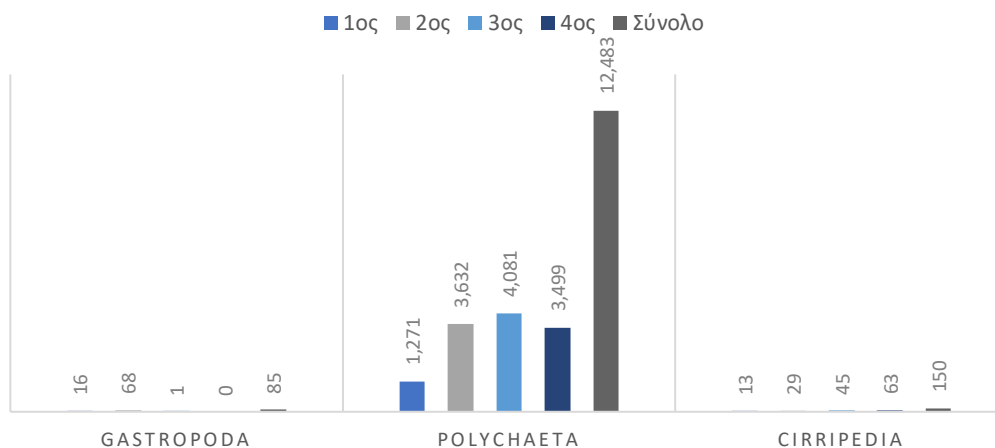
Στο συμβατικό υλικό, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα, καταγράφηκαν συνολικά 12.718 άτομα εδραίας και προσκολλημένης βενθικής πανίδας (Πίνακας 3.2.3.3-Παράρτημα Ι). Η ομάδα των πολυχαίτων κυριάρχησε στην συνολική αφθονία με ποσοστό 98%, ακριβώς σαν το βιογενές υλικό. Γαστερόποδα και θυσανόποδα ήταν οι άλλες 2 ομάδες που συμμετείχαν στις συνευρέσεις του συμβατικού υλικού με 1% .



Εικόνα 38: Ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στη συνολική αφθονία ατόμων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο συμβατικό υπόστρωμα των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ το Μάιο του 2021. Στα "ΥΠΟΛΟΙΠΑ" περιλαμβάνονται ταξινομικές ομάδες αρθροπόδων, τα Isopoda, Decapoda, Amphipoda.

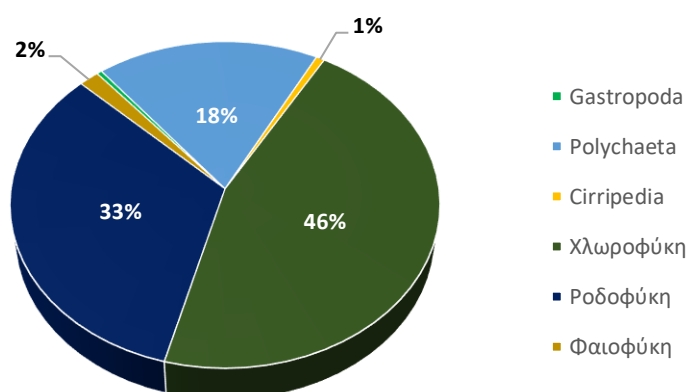
Figure 38: Percentages of taxa in the total abundance of sessile and attached benthic fauna found on conventional substrate of the 12 experimental artificial reef units that were immersed on the jetty of SRFE in May 2021. The various "Υπόλοιπα" includes taxonomic groups of arthropods, Isopoda, Decapoda, Amphipoda.

Τα αποτελέσματα της συνολικής αριθμητικής αφθονίας ατόμων ανά μήνα δειγματοληψίας φαίνονται στην Εικόνα 39. Είναι εμφανής η κυριαρχία των πολυχαίτων και στο συμβατικό υλικό, καθ' όλη τη διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων, με τη μεγαλύτερη αφθονία να παρουσιάζεται τον 3^ο μήνα πόντισης με 4.081 άτομα. Τα γαστερόποδα έκαναν την εμφάνισή τους από τον 1^ο μήνα πόντισης και φαίνεται να εξαφανίστηκαν από τις συνευρέσεις του συμβατικού υποστρώματος μετά τον 2^ο μήνα πόντισης των μονάδων. Αντιθέτως, για την ομάδα των θυσανόποδων η αφθονία αυξανόταν κάθε μήνα παραμονής των μονάδων.



Εικόνα 39: Συνολική αριθμητική αφθονία ατόμων των taxa της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο συμβατικό υλικό των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων, ανα μήνα δειγματοληψίας (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος} και 4^{ος} μήνας) και συνολικά για όλους τους μήνες. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον αριθμό ατόμων για κάθε μήνα δειγματοληψίας.

Figure 39: Total abundance of sessile/attached benthic fauna's taxa that found on conventional substrate of the 12 structures of artificial reefs, per month of sampling (1st, 2nd, 3rd and 4th month) and total of all sampling months. The numbers are representing the number of individuals for every sampling month.



Εικόνα 40: Ποσοστιαία κάλυψη των taxa της εδραίας/ προσκολλημένης πανίδας και χλωρίδας που βρέθηκαν στο συμβατικό υλικό, των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων που ποντίστηκαν στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΠΜ τον Μάιο του 2021.

Figure 40: Percentage coverage of sessile and attached benthic fauna's and flora 's taxa, on the conventional substrate, of the 12 structures of artificial reefs that were immersed in the SRFE jetty in May 2021.

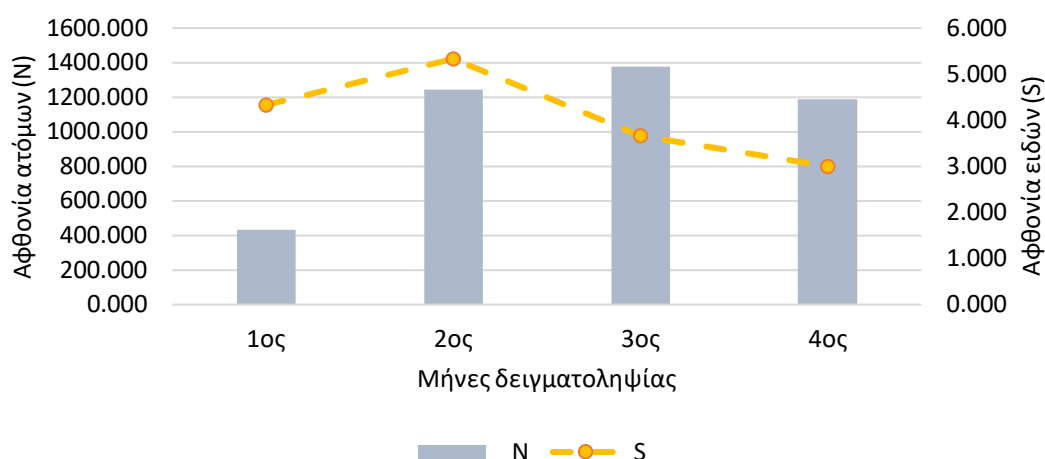
Όσο αφορά την ποσοστιαία συμμετοχή των taxa στην ποικιλότητα των συνευρέσεων του συμβατικού υπόστρωμα, η μόνη ταξινομική ομάδα που αναγνωρίστηκε σε επίπεδο είδους ήταν αυτή των γαστερόποδων και καταγράφηκαν συνολικά 3 είδη.

Τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας κάλυψης (Εικόνα 40), μετά την επεξεργασία των φωτογραφικών καταγραφών των δειγματοληπτικών επιφανειών στο λογισμικό πρόγραμμα CPSe, έδειξαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής είχαν τα χλωροφύκη (46%), έπειτα τα ροδοφύκη (33%) και τέλος οι πολύχαιτοι (18%).

Για την διερεύνηση της ποικιλότητας των συνευρέσεων χρησιμοποιήθηκαν, όπως αναφέρθηκε και στις μεθόδους, οικολογικοί δείκτες (Shannon-Wiener, Margalef, Pielou's Evenness, Species richness). Οι τιμές των δεικτών ποικιλότητας δίνονται στον Πίνακα 3.2.3.3. Η μεγαλύτερη αφθονία ατόμων (N) καταγράφηκε τον 3^ο μήνα πόντισης και αποδίδεται κυρίως στην σημαντική αφθονία της οικογένειας πολυχαίτων Spirobridae (βλ. Εικόνα 39, Πίνακας 3.2.2.1-Παράρτημα), ενώ, όπως ήταν αναμενόμενο, οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν τον 1^ο μήνα μετά την πόντιση. Η αφθονία ειδών (S) δείχνει να μη σχετίζεται απόλυτα με την αφθονία ατόμων (Εικόνα 41). Ο πρώτος μήνας πόντισης, ενώ είχε την μικρότερη αφθονία ατόμων παρουσιάζει μεγάλες αφθονίες ειδών και μεγαλύτερες από αυτές του 2^ο και 3^ο μήνα, στους οποίους φαίνεται να καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες αφθονίες ατόμων. Συγκρίνοντας τις τιμές αφθονίας ειδών (S) (Εικόνα 41) με αυτές των δεικτών ποικιλότητας (Εικόνα 42) διαπιστώνεται πως οι μεταβολές του δείκτη Margalef (d) ακολουθούν απόλυτα τις μεταβολές της αφθονίας των ειδών. Ωστόσο, οι τιμές του δείκτη Shannon (H') εμφανίζουν αντίθετες αποτιμήσεις της ποικιλότητας στην περίπτωση του 2^{ου} και 4^{ου}. Για τον δείκτη ομοιομορφίας της κατανομής J' φαίνεται πως οι τιμές είναι πολύ χαμηλές, κάτι που υποδηλώνει πως η κατανομή της αφθονίας και ποικιλότητας κατανέμονται ανισομερώς στα διάφορα είδη. Ωστόσο, στον 1^ο και 4^ο μήνα οι δείκτες ποικιλότητας και ομοιομορφίας της της κατανομής των ειδών έχουν τις υψηλότερες τιμές από τους υπόλοιπους μήνες πόντισης. Τέλος, ο δείκτης Simpson (1-λ), εμφάνισε πολύ μικρές τιμές κοντά στο μηδέν, κάτι το οποίο υποδηλώνει χαμηλή ποικιλότητα στα επαναληπτικά δείγματα των 4^{ων} μηνών πόντισης. Την μεγαλύτερη τιμή, τόσο για τον δείκτη 1-λ' όσο και για τον δείκτη ποικιλότητας και ομοιομορφίας (Shannon-Wiener, Pielou's), εμφάνισε ο 4^{ος} μήνας πόντισης.

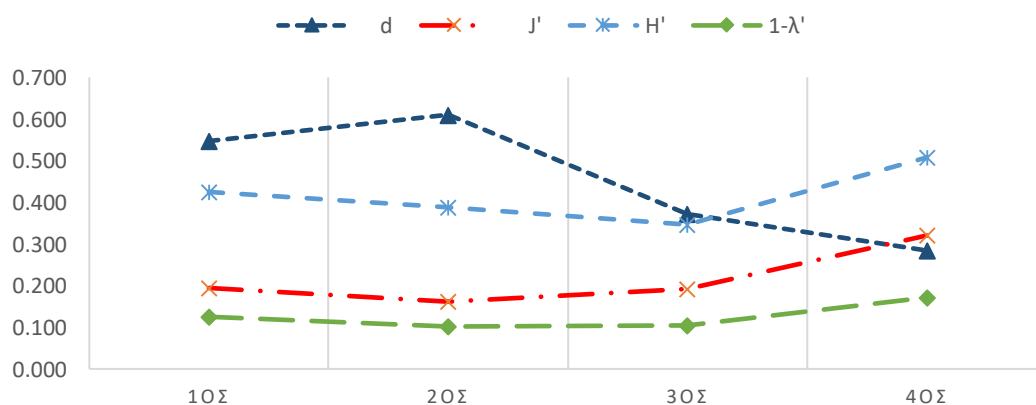
Πίνακας 3.2.3.3: Δείκτες ποικιλότητας για την προσκολλημένη και εδραία βενθική πανίδα στο συμβατικό υλικό των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων ανα μήνα δειγματοληψίας.
Table 3.2.3.3: Diversity indices for sessile and attached benthic fauna on the conventional substrate of the artificial reefs per month of sampling.

Μήνας	S	N	d	J'	H'(log _e)	H'(log ₂)	1-λ'
1 ^{ος}	4.333	433.333	0.547533	0.194533	0.294933	0.425533	0.124197
2 ^{ος}	5.333	1243	0.6102	0.161367	0.269567	0.3889	0.101733
3 ^{ος}	3.667	1375.667	0.370633	0.191367	0.2401	0.346367	0.104747
4 ^{ος}	3	1187.333	0.284167	0.320267	0.351867	0.507633	0.171367



Εικόνα 41: Μεταβολή της αφθονίας ατόμων (N) και αφθονίας ειδών (S) της εδραίας και προσκολλημένης πανίδας που βρέθηκε στο βιογενές υλικό, ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 41: Variation of the total number of individuals (N) and of species (S) of sessile and attached fauna that found on biogenic material, per sampling month.



Εικόνα 42: Μεταβολή των δεικτών ποικιλότητας Margalef (d), Shannon-Wiener (H'), ομοιομορφίας της κατανομής Pielou Evenness (J') και ετερογένειας Simpson (1-λ') ανα μήνα δειγματοληψίας.

Figure 42: Variation of Margalef's (d) and Shannon-Wiener's (H') diversity indices, of Pielou's evenness (J') and of Simpson (1-λ') heterogeneity indice, per sampling month.

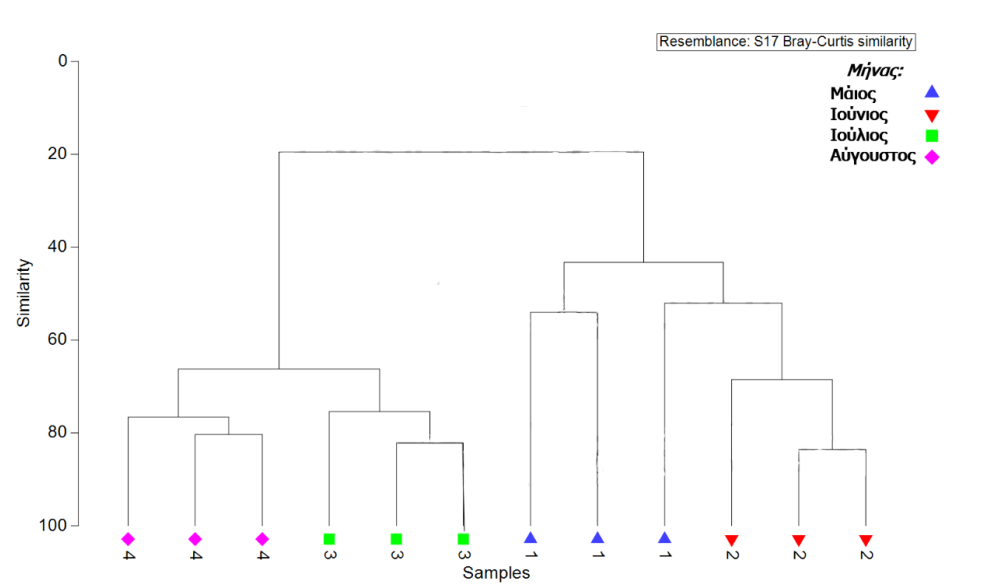
3.3 Σύνθεση ζωοβένθους/φυτοβένθους: επιμέρους στάδια οικολογικής διαδοχής

Οι πολυμεταβλητές αναλύσεις για τη διερεύνηση της σύνθεσης του ζωοβένθους κατά τη διάρκεια της πειραματικής πόντισης των μονάδων τεχνητών υφάλων πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά σε δεδομένα αφθονίας της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας και σε δεδομένα αφθονίας και κάλυψης της εδραίας και προσκολλημένης πανίδας και χλωρίδας.

3.3.1 Ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα

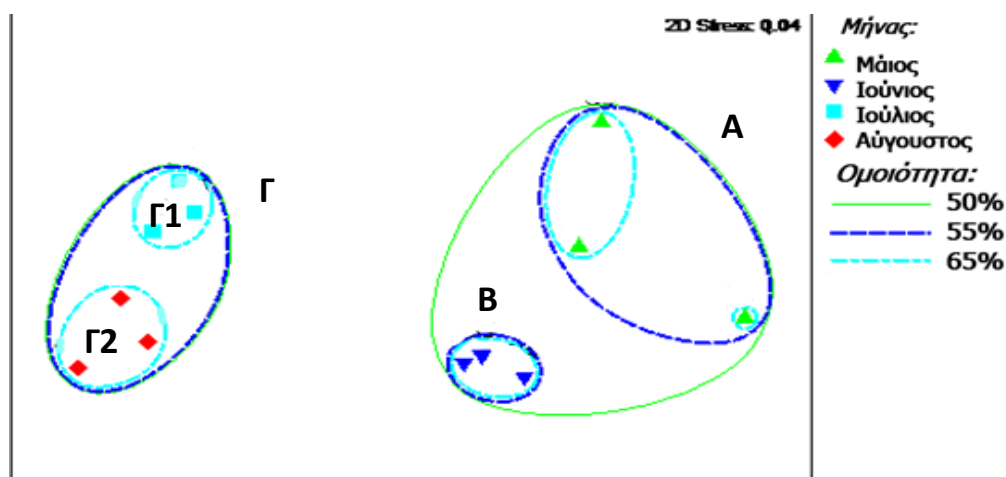
Από την ανάλυση της σύνθεσης του ζωοβένθους προέκυψε το ιεραρχικό δενδρόγραμμα κατάταξης των πειραματικών μονάδων και η δισδιάστατη απεικόνιση των σχέσεων τους στο χώρο (Εικόνα 43, 44). Από το δενδρόγραμμα, οι συνευρέσεις των πειραματικών μονάδων φαίνεται να διαφοροποιούνται σε σχέση με το χρονικό διάστημα παραμονής τους στο πεδίο. Διακρίνονται δύο κύριες ομάδες, σε επίπεδο ομοιότητα της τάξης του 20% (Εικόνα 43). Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα δείγματα που παρέμειναν στο πεδίο 1 και 2 μήνες και η δεύτερη τα αντίστοιχα δείγματα που παρέμειναν σε πόντιση 3 και 4 μήνες. Επιπλέον, η ομοιότητα των δειγμάτων του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα των αρχικών μηνών πόντισης (1^{ος} και 2^{ος} μήνας).

Αντίστοιχο είναι και το πρότυπο διευθέτησης των δειγμάτων από την εφαρμογή της πολυδιάστατης απεικόνισης. Η διάκριση των 2 κύριων ομάδων σε αυτή τη περίπτωση γίνεται στο 50% της ομοιότητας, ενώ και πάλι τα δείγματα που παρέμειναν σε πόντιση για μεγαλύτερο διάστημα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομογένεια στη σύνθεση τους (Εικόνα 44). Η τιμή του συντελεστή συμπίεσης είναι 0,04 και επομένως το γράφημα της εικόνας αντικατοπτρίζει με επιτυχία τις σχέσεις ομοιότητας των δειγμάτων. Διαπιστώνεται, επίσης, ο περαιτέρω σχηματισμός τριών ομάδων σε σχετικά υψηλό επίπεδο ομοιότητας (55%). Η πρώτη ομάδα (Α) περιλαμβάνει τα δείγματα του μήνα Μάιου, η δεύτερη ομάδα (Β) τα δείγματα του μήνα Ιουνίου και η τρίτη ομάδα τα δείγματα του μήνα Ιουλίου και Αυγούστου. Εντός της πρώτης ομάδας παρατηρείται η τάση ενός δείγματος να διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα σε επίπεδο ομοιότητας 65%. Τέλος, τρίτη ομάδα (Γ), φαίνεται να περιλαμβάνει 2 διακριτές υποομάδες, αυτή που ομαδοποιεί τα δείγματα του μήνα Ιουλίου (Γ1) και αυτή που ομαδοποιεί τα δείγματα του Αυγούστου (Γ2), σε επίπεδο ομοιότητας 65%.



Εικόνα 43: Ιεραρχική ομαδοποίηση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis, σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος 2021) πόντισής τους στον λιμενοβραχίονα ΣΣΠΠ.

Figure 43: Hierarchical cluster analysis of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances of motile benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at the SRFE jetty.



Εικόνα 44: Δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος – Αύγουστος) πόντισής τους στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΕΠ. Συντελεστής συμπίεσης 0.04.

Figure 44: Non-metric MDS of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances, of motile benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at SRFE jetty. Stress value is 0.04.

Η χρονική διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων φάνηκε να έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη σύνθεση του ζωοβένθους (αποτελέσματα ANOSIM R=0,914 και $p < 0,01$). Η εφαρμογή της ίδιας δοκιμασίας ανά ζεύγη ανέδειξε την διαφοροποίηση της σύνθεσης του ζωοβένθους στα δείγματα κάθε μήνα σε σχέση με τα υπόλοιπα (τιμές R κυμάνθηκαν από 0,7-1 $p = 0,01$), με τη μικρότερη διαφοροποίηση να εμφανίζεται στα δείγματα των δύο πρώτων μηνών (1^{ος} και 2^{ος} μήνας) πόντισης των μονάδων (R=0,704 $p = 0,01$).

Η εφαρμογή της ανάλυσης SIMPER έδειξε ότι στην ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά κυρίως 18 taxa, 10 στον 1^ο μήνα, 8 στον 2^ο, 7 στον 3^ο και 6 στον 4^ο μήνα (Πίνακας 3.3.1.1). Αντίστοιχα, στην ανομοιότητα μεταξύ των 4 μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά 29 taxa. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανομοιότητας (89,76%) καταγράφηκε μεταξύ του 1^{ου} και 4^{ου} μήνα πόντισης γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αφθονία των Nematoda και του γαστερόποδου *Bittium latreilli*. Το μικρότερο ποσοστό (33,76%) ανομοιότητας ήταν μεταξύ του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα και στηρίζεται και πάλι στην συνεισφορά των δύο προηγούμενων taxa (Nematoda και *Bittium latreilli*).

Πίνακας 3.3.1.1: Ποσοστιαία συνεισφορά της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας στην μέση ομοιότητα/ανομοιότητα του ζωοβένθους στα δείγματα των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος}, 4^{ος}) των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER

Table 3.3.1.1: Percentage contribution of the motile fauna to the mean similarity / dissimilarity of the zoobenthos in the samples of the 4 consecutive months of immersion (1st, 2nd, 3rd, 4th) of the experimental artificial reef units according to the results to SIMPER analysis

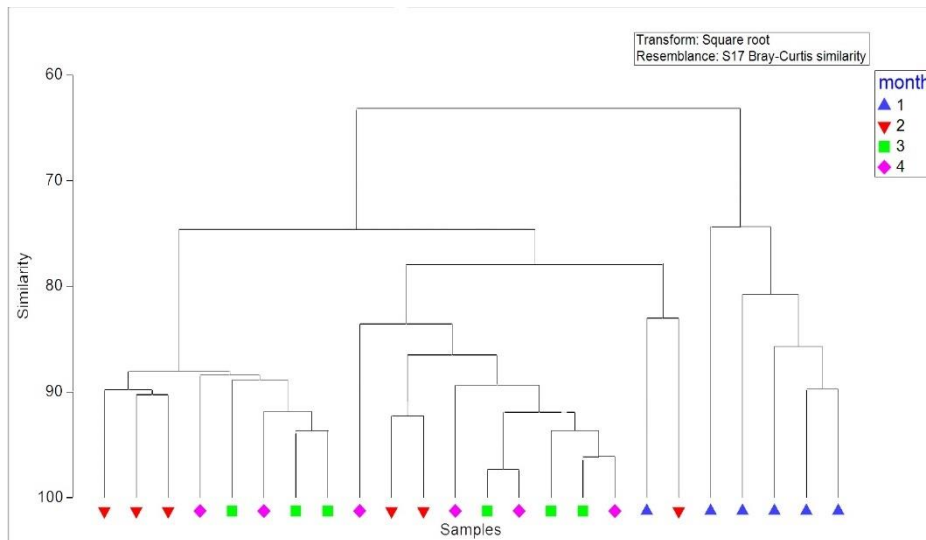
Είδη	Συνεισφορά των taxa (%)									
	Ομοιότητα				Ανομοιότητα					
	1ος Μήνας 47.77%	2ος Μήνας 73.52%	3ος Μήνας 77.67%	4ος Μήνας 77.82%	1ος & 2ος μήνας 54.10%	1ος & 3ος μήνας 86.80%	2ος & 3ος μήνας 71.24%	1ος & 4ος μήνας 89.76%	2ος & 4ος 74.10%	3ος & 4ος μήνας 33.76%
<i>Rissoa splendida</i>	23.37									
<i>Bittium reticulatum</i>	23.28	27.64			12.28	7.24	7.24	6.41	9.8	4.16
Nematoda	16.46	24.59	63.12	56.58	18.08	41.06	41.06	40.78	34.61	14.12
<i>Gibula adriatica</i>	8.49				7.62			3.03		
<i>Pusillina radiata</i>	6.19				6.37			2.42		
<i>Pusillina marginata</i>	3.48				1.56					
Κατεστραμμένα αμφίποδα	3.07	4.73	2.11	1.43	4.22					1.16
<i>Alvania discors</i>	2.81	2.92	3.17		2.45	1.96	1.96	1.15	1.07	3.5
<i>Bittium latreilli</i>	2.81			21.52	2.71	2.57	2.57	18.69	18.75	27.36
<i>Dexamine spinosa</i>	2.1	2.33			1.55	0.92	0.92		0.98	
<i>Rissoa splendida</i>		18.93			10.41	7.89	7.89	4.33	8.08	
<i>Rissoa sp.1</i>		6.92			10.02	4.38	4.38		3.61	1.33
<i>Pisidia longimana</i>		2.22			2.76	1.33	1.33		1.2	
<i>Alvania lineata</i>			7.96			6.21	6.21	1.36	1.4	7.82

<i>Leptochelia savignyi</i>			5.98	3.41	2.22	5.8	5.8	2.61	1.91	6.51
Polychaeta			5.49	3.13	1.75	3.98	3.98	2.69	2.08	3.13
<i>Alvania lanciae</i>			2.7			2.68	2.68			3.46
<i>Polyophthalmus pictus</i>				5.13				3.98	4.06	6.47
<i>Osilinus turbinatus</i>					2.36	0.89	0.89		0.89	
<i>Microdeutopus anomalus</i>					1.48					
<i>Pilumnus hirtelus</i>					1.46					
Γόνοι αχιρών					1.42					0.84
<i>Chrysallida incerta</i>						2.31	2.31	0.96	0.97	2.91
<i>Corophium acutum</i>						1.33	1.33			2.17
Νεαρό Mytilus								1.05		
Cumacea								0.97	0.99	1.13
Mysidacea										1.33
<i>Hexaplex trunculus</i>										1.07
<i>Athanas nitescens</i>										1.02
Copepoda										0.92
Συνολική συνεισφορά taxa (%)	92.06	90.28	90.53	91.2	90.72	90.55	90.55	90.43	90.4	90.41

3.3.2 Εδραία και προσκολλημένη πανίδα

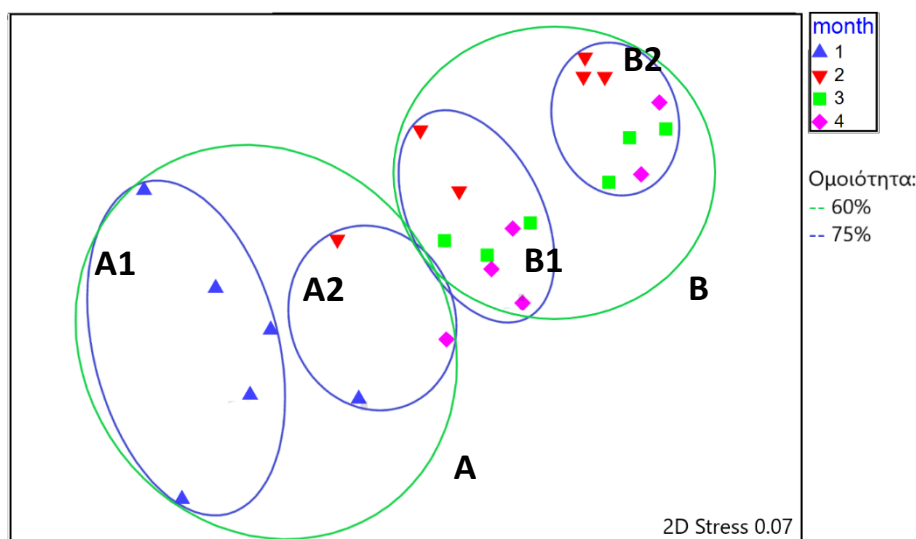
Από τις πολυμεταβλητές αναλύσεις προέκυψε το ιεραρχικό δενδρόγραμμα κατάταξης των πειραματικών μονάδων και η δισδιάστατη απεικόνιση των σχέσεων τους στο χώρο (Εικόνα 45, 46). Από το δενδρόγραμμα, οι συνευρέσεις των πειραματικών μονάδων φαίνεται να διαφοροποιούνται σε σχέση με το χρονικό διάστημα παραμονής τους στο πεδίο. Διακρίνονται 2 κύριες ομάδες, σε επίπεδο ομοιότητα > 60% (Εικόνα 45). Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει όλα τα δείγματα που παρέμειναν στο πεδίο 1 μήνα, από τα οποία διαχωρίζεται μόνο ένα δείγμα βιογενούς υποστρώματος. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα δείγματα των τριών υπόλοιπων μηνών.

Σχεδόν αντίστοιχο είναι και το πρότυπο διευθέτησης των δειγμάτων από την εφαρμογή της πολυδιάστατης απεικόνισης. Οι δυο κύριες ομάδες που δημιουργούνται σε επίπεδο ομοιότητας ~65% (A και B), στη περίπτωση αυτή, φαίνεται να διακρίνονται σε 4 υποομάδες σε επίπεδο ομοιότητας 75% (Εικόνα 46). Η πρώτη υποομάδα (A1) περιέχει τα δείγματα του πρώτου μήνα παραμονής στο πεδίο, στη δεύτερη (A2) περιλαμβάνονται 1 δείγμα του 1^{ου} μήνα παραμονής, ένα δείγμα το 2^{ου} και ένα δείγμα του 4^{ου} μήνα παραμονής. Στην τρίτη ομάδα (B1) περιλαμβάνονται δείγματα του 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} μήνα παραμονής και στην τελευταία ομάδα (B2) δείγματα των τριών τελευταίων μηνών. Η τιμή του συντελεστή συμπίεσης είναι 0,07 και επομένως το γράφημα της εικόνας αντικατοπτρίζει αρκετά καλά τις σχέσεις ομοιότητας των δειγμάτων.



Εικόνα 45: Ιεραρχική ομαδοποίηση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis, σε μετασηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος 2021) πόντισής τους στον λιμενοβραχίονα ΣΣΠΠ.

Figure 45: Hierarchical cluster analysis of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at the SRFE jetty.



Εικόνα 46: Δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis σε μετασηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος) πόντισής τους στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΕΠ. Συντελεστής συμπίεσης 0.07.

Figure 46: Non-metric MDS of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances, of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at SRFE jetty. Stress value is 0.07.

Η χρονική διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων φάνηκε να έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη σύνθεση του ζωοβένθους (αποτελέσματα ANOSIM R=0.503 και p=0,01) Η εφαρμογή της ίδιας δοκιμασίας ανά ζεύγη ανέδειξε την διαφοροποίηση της σύνθεσης του ζωοβένθους στα δείγματα κάθε μήνα σε σχέση με τα υπόλοιπα (τιμές R κυμάνθηκαν από 0,46-0,98 p=0,01), με τη μικρότερη διαφοροποίηση να εμφανίζεται στα δείγματα των δύο τελευταίων μηνών (3^{ος} και 4^{ος} μήνας) πόντισης των μονάδων (R =-0,111 p=0,82).

Η εφαρμογή της ανάλυσης SIMPER έδειξε ότι στην ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά κυρίως 3 taxa, 3 στον 1^ο, 2^ο και 3^ο μήνα και 2 στον 4^ο μήνα (Πίνακας 3.3.1.2). Αντίστοιχα, στην ανομοιότητα μεταξύ των 4 μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά 17 taxa. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανομοιότητας (36.83%) καταγράφηκε μεταξύ του 1^{ου} και 3^{ου} μήνα πόντισης γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αφθονία των Spirorbidae και Serpulidae. Το μικρότερο ποσοστό (11.67%) ανομοιότητας ήταν μεταξύ του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα και στηρίζεται και πάλι στην συνεισφορά των δύο προηγούμενων taxa (Spirorbidae και Serpulidae) και της ομάδας Cirripedia

Πίνακας 3.3.2.1: Ποσοστιαία συνεισφορά της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας στην μέση ομοιότητα/ανομοιότητα του ζωοβένθους στα δείγματα των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης (1^{ος},2^{ος},3^{ος},4^{ος}) των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER

Table 3.3.1.2: Percentage contribution of the motile fauna to the mean similarity / dissimilarity of the zoobenthos in the samples of the 4 consecutive months of immersion (1st, 2nd, 3rd, 4th) of the experimental artificial reef units according to the results to SIMPER analysis

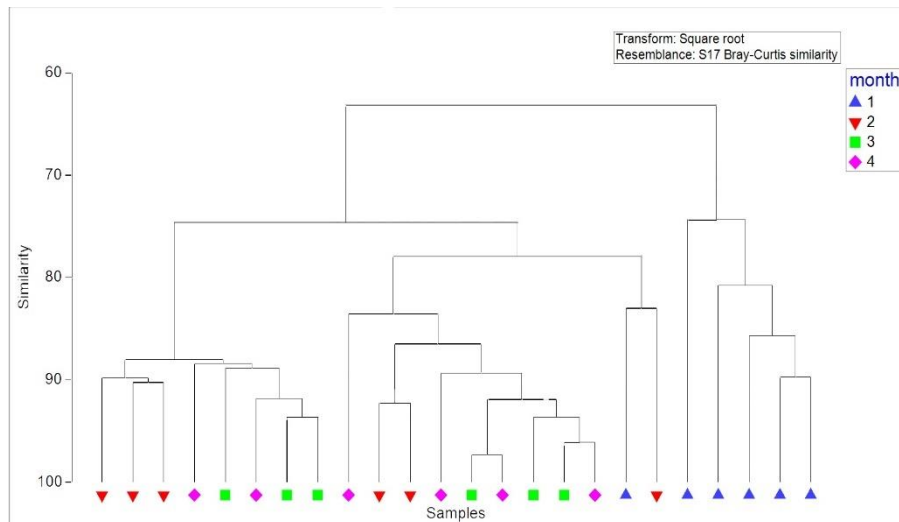
Είδη	Συνεισφορά των taxa (%)									
	Ομοιότητα				Ανομοιότητα					
	1 ^{ος} Μήνας 79.30%	2 ^{ος} Μήνας 88.68%	3 ^{ος} Μήνας 90.82%	4 ^{ος} Μήνας 84.24%	1 ^{ος} & 2 ^{ος} μήνας 36.04%	1 ^{ος} & 3 ^{ος} μήνας 36.83%	2 ^{ος} & 3 ^{ος} μήνας 13%	1 ^{ος} & 4 ^{ος} μήνας 34.63%	2 ^{ος} & 4 ^{ος} Μήνας 17.63%	3 ^{ος} & 4 ^{ος} μήνας 11.67%
<i>Alvania cimex</i>							2.43		1.54	
<i>Bittium latreilli</i>					2.36		4.78	1.38	4.45	2.57
<i>Bittium reticulatum</i>					3.97	3.63	14.85	4.11	11.92	3.69
Cirripedia	8.85	6.87		9.85	3.97	5.25	4.03	9.21	7.76	10.32
<i>Gibula adriatica</i>					1.39	1.3		1.59		
Hexaplex trunculus									1.9	2.71
Patella(γόνοι)								1.21	1.69	2.65
<i>Pilumnus hirtelus</i>							2.35		1.41	2.59
Polychaeta						1.05	2.25		1.24	3.91
<i>Pusillina radiata</i>					0.96					
<i>Rissoa sp1.</i>							1.27			

<i>Rissoa splendida</i>					7.28	1.51	18.8	1.65	14.23	
Serpulidae	11.38	10.74	13.62	18.26	8.5	13.22	13.64	16.74	12.46	11.47
Spirorbidae	76.82	73.91	78.18	71.31	61.7	65.06	22.85	54.62	32.48	49.42
<i>Stenosemus dolii</i>							1.75			2.2
Γόνοι αχιρών							1.54			
Συνολική συνεισφορά taxa (%)	97.05	91.52	91.8	99.42	90.13	91.02	90.54	90.51	91.08	91.53

3.3.3 Κάλυψη βενθικών οργανισμών

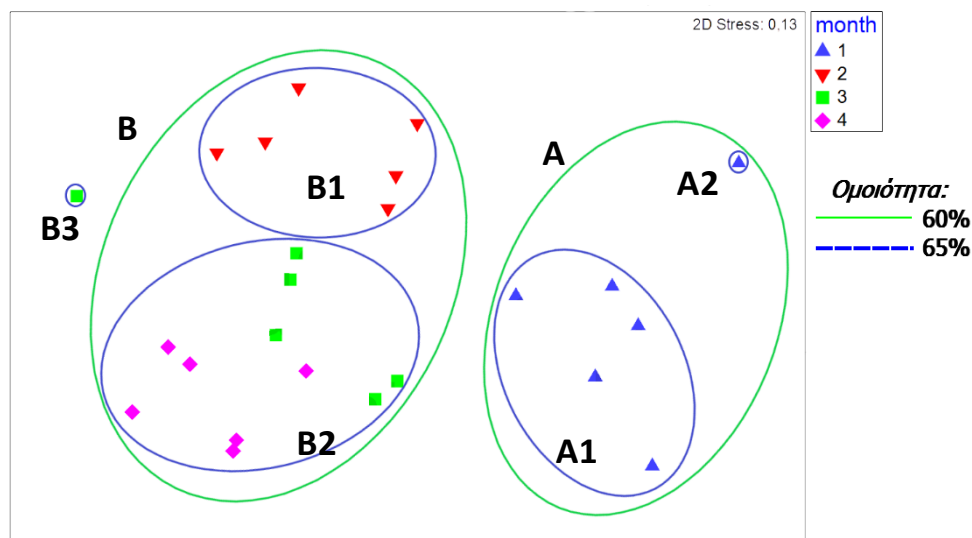
Απο την ανάλυση της κάλυψης του ζωοβένθους προέκυψε το ιεραρχικό δενδρόγραμμα κατάταξης των πειραματικών μονάδων και η δισδιάστατη απεικόνιση των σχέσεων τους στο χώρο (Εικόνα 47, 48). Από το δενδρόγραμμα, οι συνευρέσεις των πειραματικών μονάδων φαίνεται να διαφοροποιούνται κυρίως σε σχέση με το χρονικό διάστημα παραμονής τους στο πεδίο. Διακρίνονται 2 κύριες ομάδες, σε επίπεδο ομοιότητα της τάξης του 60% (Εικόνα 47). Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα δείγματα που παρέμειναν στο πεδίο 1 μήνα, η δεύτερη τα αντίστοιχα δείγματα που παρέμειναν σε πόντιση 2, 3 και 4 μήνες.

Αντίστοιχο είναι και το πρότυπο διευθέτησης των δειγμάτων από την εφαρμογή της πολυδιάστατης απεικόνισης. Στην περίπτωση αυτή οι δυο ομάδες που δημιουργούνται σε επίπεδο ομοιότητας 60% διακρίνονται σε 5 επιμέρους υποομάδων στο 65% της ομοιότητας (Εικόνα 48). Στην πρώτη υποομάδα (A1) περιλαμβάνονται τα δείγματα του πρώτου μήνα, εκτός από ένα βιογενούς υποστρώματος το οποίο διαφοροποιείται σε μια δεύτερη υποομάδα (A2). Στη τρίτη υποομάδα (B1) ομαδοποιούνται τα δείγματα που παρέμειναν 2 μήνες στο πεδίο, στην τέταρτη υποομάδα (B2) τα δείγματα που παρέμειναν 3 και 4 μήνες στο πεδίο και στη 5^η υποομάδα ένα δείγμα του 3^{ου} μήνα το οποίο διαφοροποιείται από όλα τα υπόλοιπα. Φαίνεται, ακόμη, πως η ομοιότητα των δειγμάτων του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα των αρχικών μηνών πόντισης (1^{ος} και 2^{ος} μήνας). Η τιμή του συντελεστή συμπίεσης είναι 0,13, άρα η διευθέτηση των δειγμάτων στο γράφημα είναι χρήσιμη, αλλά ο διαχωρισμός θα μπορούσε να διασταυρωθεί και με άλλες μεθόδους.



Εικόνα 47: Ιεραρχική ομαδοποίηση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis, σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος 2021) πόντισης τους στον λιμενοβραχίονα ΣΣΠΠ.

Figure 47: Hierarchical cluster analysis of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at the SRFE jetty



Εικόνα 48: Δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος) πόντισης τους στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΕΠ. Συντελεστής συμπίεσης 0.13.

Figure 48: Non-metric MDS of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances, of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at SRFE jetty. Stress value is 0.13.

Η χρονική διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων φάνηκε να έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη σύνθεση του ζωοβένθους (αποτελέσματα ANOSIM $R=0,833$ και $p=0,019$). Η εφαρμογή της ίδιας δοκιμασίας ανά ζεύγη ανέδειξε την διαφοροποίηση της σύνθεσης του ζωοβένθους στα δείγματα κάθε μήνα σε σχέση με τα υπόλοιπα (τιμές R κυμάνθηκαν από 0,5-1 $p=0,019$), με τη μικρότερη διαφοροποίηση να εμφανίζεται στα δείγματα των δύο τελευταίων μηνών πόντισης των μονάδων ($R=0,5$ $p=0,6$) και ανάμεσα στα δείγματα του 2^{ου} και 3^{ου} μήνα πόντισης ($R=0,5$ $p=0,3$).

Η εφαρμογή της ανάλυσης SIMPER έδειξε ότι στην ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά κυρίως 7 taxa, 4 στον 1^ο μήνα, 7 στον 2^ο, 5 στον 3^ο και 4 στον 4^ο μήνα (Πίνακας 3.3.3.1). Αντίστοιχα, στην ανομοιότητα μεταξύ των 4 μηνών πόντισης συνέβαλαν συνολικά 12 taxa. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανομοιότητας (52.80%) καταγράφηκε μεταξύ του 1^{ου} και 4^{ου} μήνα πόντισης γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ποσοστιαία κάλυψη των νηματοειδή ροδοφύκη. Το μικρότερο ποσοστό (29.56%) ανομοιότητας ήταν μεταξύ του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα και στηρίζεται στην συνεισφορά των νηματοειδή χλωροφύκη και ροδοφύκη.

Πίνακας 3.3.3.1: Ποσοστιαία συνεισφορά εδραίων/προσκολλημένων οργανισμών στην μέση ομοιότητα/ανομοιότητα του ζωοβένθους στα δείγματα των 4 διαδοχικών μηνών πόντισης (1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος}, 4^{ος}) των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER για τα δεδομένα κάλυψης

Table 3.3.3.1: Percentage contribution of sessile/attached organisms to the mean similarity / dissimilarity of the zoobenthos in the samples of the 4 consecutive months of immersion (1st, 2nd, 3rd, 4th) of the experimental artificial reef units according to the results to SIMPER analysis using coverage data

Είδη	Συνεισφορά των taxa (%)									
	Ομοιότητα στους μήνες				Ανομοιότητα στους μήνες					
	1 ^{ος} 68.76%	2 ^{ος} 80.49%	3 ^{ος} 72.50%	4 ^{ος} 83.55%	1 ^{ος} & 2 ^{ος} 47.45 %	1 ^{ος} & 3 ^{ος} 44.81 %	2 ^{ος} & 3 ^{ος} 34.56 %	1 ^{ος} & 4 ^{ος} 52.80 %	2 ^{ος} & 4 ^{ος} 39.17 %	3 ^{ος} & 4 ^{ος} 29.56 %
Νηματώδη χλωροφύκη	46.87	33.54	30.48	29.61	21.68	27.98	26.62	17.69	7.41	25.63
Spirorbidae	27.38	22.86	28.39	15.67	14.83	17.51	2.4	9.71	3.51	4.91
Serpulidae	10.17	7.84	12.66	10.83	6.26	12.85	7.56	9.17	5.24	6.48
Cirripedia	9.47	5.33	6.98		1.97	2.73			2.11	2.52
Νηματώδη ροδοφύκη		5.55	18.06	35.83	8.31	18.14	14.65	43.97	40.75	43.11
Φυλλοειδής Χλωροφύκη		3.6			10.2	3.2	9.45		7.45	
Κυστοειδής φαιοφύκη		12.88			18.51		18.46		15.03	
Βρυόζωα					3.47	2.49	1.82			
<i>Rissoa splendida</i>					3.26		4.03		3.11	

<i>Bittium reticulatum</i>					2.05	2.03	3.45		2.93	
<i>Hexaplex trunculus</i>						2.58		4.18	4.39	5.57
<i>Polychaeta</i>						2.29	2.08			2.35
Συνολική συνεισφορά taxa (%)	93.89	91.6	96.57	91.94	90.54	91.8	90.52	84.72	91.93	90.57

3.4 Συγκριτική αποτίμηση των δύο υλικών δοκιμής: ομοιότητα των βενθικών βιοκοινοτήτων στις επιφάνειες των δύο υλικών των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων

Λόγω τους σχεδιασμού και της κατασκευής των πειραματικών μονάδων δεν ήταν εφικτή η εκτίμηση της προτίμησης των οργανισμών ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας. Συνεπώς, για την διερεύνηση της επίδρασης τους υλικού στη σύνθεση των βιοκοινοτήτων και τον εντοπισμό τυχόν διαφορών στα στάδια διαδοχής ως αποτέλεσμα του υλικού υποστρώματος, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα εδραίας και προσκολλημένης πανίδας, και συγκεκριμένα τα δεδομένα αφθονίας και κάλυψης των οργανισμών.

Στον Πίνακα 3.4.1 δίνονται η μέση τιμή αφθονίας ειδών (S), αφθονίας ατόμων (N) καθώς και η συνολική κάλυψη επιφάνειας από τα άτομα ανά cm² στα 2 υποστρώματα των πειραματικών μονάδων, για κάθε μήνα πόντισης. Οι διαφορές ανάμεσα στα 2 υλικά δοκιμής διακρίνονται τόσο στην αφθονία των ειδών όσο και στην αφθονία και κάλυψη των ατόμων. Το βιογενές υπόστρωμα είχε σχεδόν διπλάσια αφθονία ειδών και αφθονία ατόμων σε όλη τη διάρκεια πόντισης. Όσο αφορά την κάλυψη των 2 υλικών από οργανισμούς, κατά τη διάρκεια της παραμονής των μονάδων στο πεδίο, παρουσιάζεται και πάλι σχεδόν 2 φορές μεγαλύτερη στο βιογενές υλικό, εκτός από τον τελευταίο μήνα όπου το συμβατικό υπόστρωμα παρουσίασε αρκετά υψηλή κάλυψη, κυρίως χλωρίδας, στις επιφάνειες του.

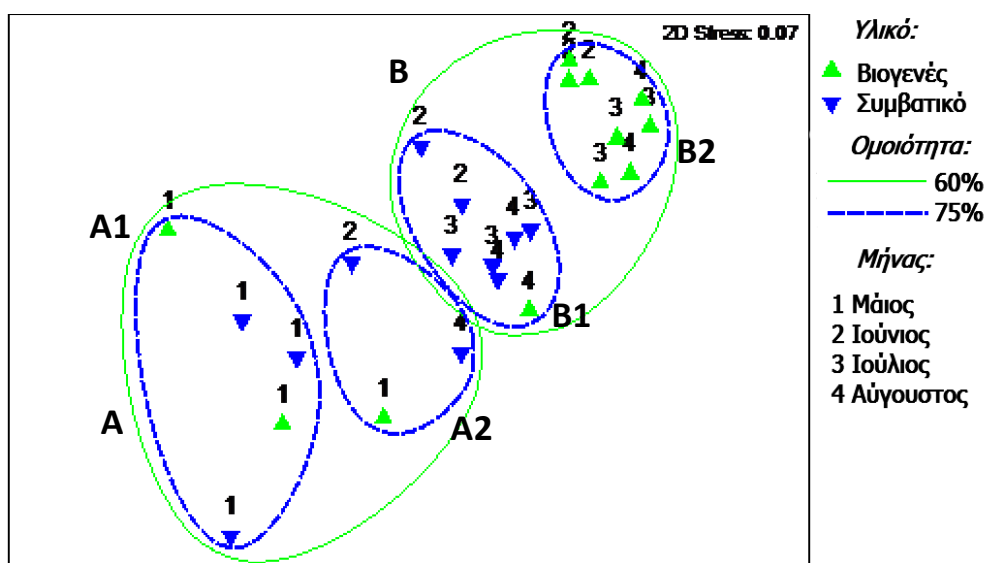
Πίνακας 3.4.1: Μέση τιμή αφθονίας ειδών (S), μέση τιμή αφθονίας ατόμων (N) και συνολική κάλυψη των ατόμων στις επιφάνειες ανα cm² στα 2 υλικά δοκιμής των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων ανα μήνα παραμονής στο πεδίο

Table 3.4.1: Average value of species abundance (S), average value of abundance of individuals (N) and total coverage of individuals at the surfaces per cm² on the tow materials of the experimental artificial reef units per month of immersion

Μήνας	Βιογενές			Συμβατικό		
	Αφθονία ειδών (S)	Αφθονία ατόμων (N)	Κάλυψη επιφάνειας (cm ²)	Αφθονία ειδών (S)	Αφθονία ατόμων (N)	Κάλυψη επιφάνειας (cm ²)
1ος	8	543	86.12940	4.33	433.33	78.9032
2ος	9.33	2,791.33	421.44747	5.33	1,243	275.3503
3ος	7	2,718.67	639.81240	3.67	1,375.67	310.6290
4ος	7	2,173	647.11650	3	1,187.33	570.1975

Αφθονία εδραίας/ προσκολλημένης πανίδας στα 2 υλικά δοκιμής:

Για την εδραία/προσκολλημένη πανίδα, η επίδραση του υλικού ήταν στατιστικά σημαντική στη σύνθεση του ζωοβένθους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ANOSIM έδωσαν ολικό $R=0,528$, σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0,01$. Η τιμή ήταν μεγαλύτερη από αυτή του μήνα (ANOSIM για τον μήνα: $R=0,503$ και $p=0,01$). Σύμφωνα με την δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων παρουσιάστηκε εντονότερη η διάκριση με βάση το υλικό, σε επίπεδο ομοιότητας 75%. Συνολικά δημιουργήθηκαν 2 κύριες ομάδες (A,B) σε επίπεδο ομοιότητας 60% και 4 υποομάδες σε επίπεδο ομοιότητας 75% (Εικόνα 49). Η πρώτη υποομάδα περιλαμβάνει τα δείγματα του πρώτου μήνα ανεξάρτητα με το υλικό του υποστρώματος. Η δεύτερη υποομάδα περιλαμβάνει ένα δείγμα του 1^{ου} μήνα από βιογενές υλικό, ένα δείγμα του 2^{ου} και 4^{ου} μήνα από συμβατικό υλικό. Η τρίτη υποομάδα περιέχει δείγματα συμβατικού υλικού από τους τρεις τελευταίους μήνες (2^ο, 3^ο, 4^ο) μαζί με ένα δείγμα βιογενούς υλικού του 4^{ου} μήνα το οποίο διαφοροποιήθηκε από τα υπολοίπα. Τέλος, η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει δείγματα του βιογενούς υλικού από τους τρεις τελευταίους μήνες πόντισης (2^ο, 3^ο, 4^ο).



Εικόνα 49: Δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος–Αύγουστος) πόντισης τους στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΕΠ. Συντελεστής συμπίεσης 0.07.

Figure 49: Non-metric MDS of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances, of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at SRFE jetty. Stress value is 0.07.

Για τον καθορισμό της ομοιότητας στα δεδομένα αφθονίας της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας, σε σχέση με το υλικό του υποστρώματος επιείκισης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση SIMPER. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην ομοιότητα της πανίδας στα δείγματα τόσο του βιογενούς υλικού όσο και του συμβατικού υλικού συνέβαλαν 4 taxa, η ταξινομική ομάδα Spirorbidae, Serpulidae, Cirripedia και το είδος *Bittium reticulatum*. (Πίνακας 3.4.2) Τα δύο υλικά είχαν περίπου ίδιο ποσοστό ομοιότητας ανάμεσα στα δείγματα τους, 83,93% το βιογενές και 87,59% το συμβατικό. Ως προς την ανομοιότητα μεταξύ των 2 υποστρωμάτων συνέβαλαν συνολικά 14 taxa. Το ποσοστό ανομοιότητας των δύο υποστρωμάτων δεν ήταν πολύ μεγάλο (21,07%), αλλά ήταν ένα σημαντικό ποσοστό το οποίο καθορίστηκε κυρίως από την συνεισφορά της ταξινομικής ομάδας Spirorbidae. (Πίνακας 3.4.2)

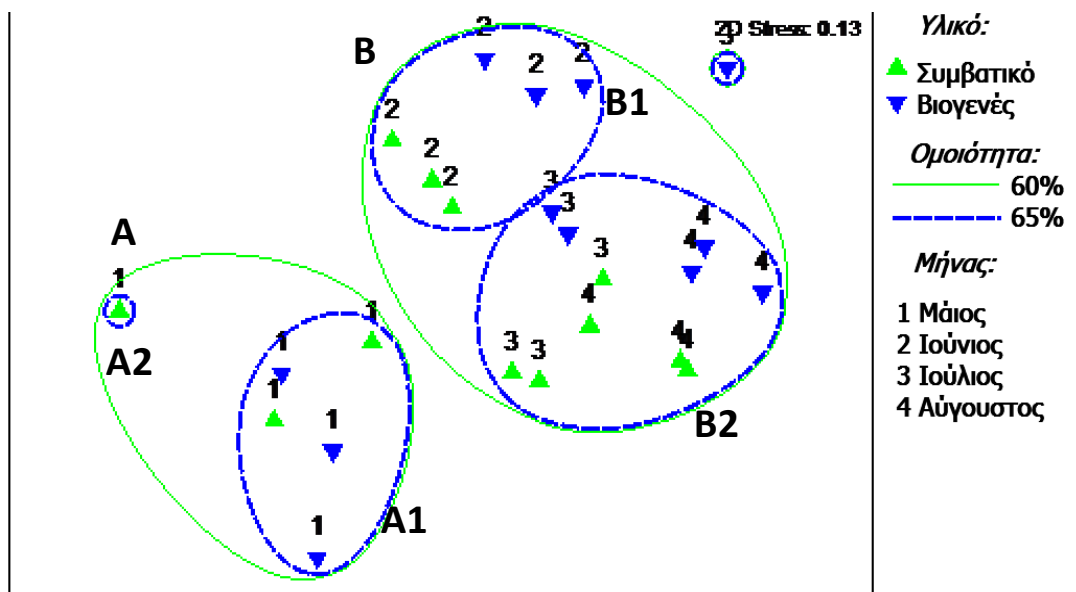
Πίνακας 3.4.2: Συνεισφορά εδραίων/προσκολλημένων οργανισμών στην μέση ομοιότητα/ανομοιότητα των δύο υλικών δοκιμής σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER

Table 3.4.2: Contribution of sessile and attached benthic fauna on the mean similarity/ dissimilarity of the groups of the two testing materials, according to SIMPER analysis results

Είδη	ΣΥΣΕΙΣΦΟΡΑ TAXA %		
	Ομοιότητα		Ανομοιότητα
	Βιογενές υλικό 83,93%	Συμβατικό υλικό 87,59%	Βιογενές & Συμβατικό 21,07%
Spirorbidae	75,72	74,46	51,66
Serpulidae	12,06	14,88	7,85
Cirripedia	9,14	7,45	8,66
<i>Bittium reticulatum</i>	8,85	6,87	3,24
<i>Rissoa splendida</i>			3,14
<i>Bitium latreilli</i>			2,61
<i>Gibula adriatica</i>			2,35
<i>Pisidia longimana</i>			2,25
<i>Hexaplex trunculus</i>			1,87
<i>Pilumnus hirtelus</i>			1,78
<i>Stenosemus dolii</i>			1,67
<i>Alvania cimex</i>			1,21
Echinodermata			1,19
Polychaeta			1,09
Συνολική συνεισφορά taxa (%)	102,55	103,66	90,57

Κάλυψη εδραίας/προσκολλημένης πανίδας στα 2 υλικά δοκιμής

Για τα δεδομένα κάλυψης εδραίας/προσκολλημένης πανίδας κα χλωρίδας, η επίδραση του υλικού ήταν στατιστικά λιγότερο σημαντική από αυτή του μήνα αλλά εξίσου σημαντική. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ANOSIM έδωσαν ολικό $R=0,472$, σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,005$. Η δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων στο χώρο παρουσίασε μικρή διάκριση των δειγμάτων με βάση το υλικό (Εικόνα 50). Δημιουργήθηκαν 2 κύριες ομάδες με βάση τον μήνα παραμονής στο πεδίο, σε επίπεδο ομοιότητας 65%, και εντός των ομάδων αυτών διαχωρίστηκαν τα δείγματα σε υποομάδες (επίπεδο ομοιότητας 75%) ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της παραμονής τους στο πεδίο αλλά και το υλικό προέλευσης. Όπως και στην περίπτωση της αφθονίας των εδραίων/προσκολλημένων οργανισμών έτσι και εδώ, η διαφοροποίηση με βάση το υλικό ξεκίνησε μετά τον 1^ο μήνα παραμονής των πειραματικών μονάδων στο πεδίο, με την πρώτη υποομάδα (A1) να περιέχει τα δείγματα που παρέμειναν 1 μήνα στο πεδίο εκτός από ένα το οποίο διαφοροποιήθηκε σε μια δεύτερη υποομάδα (A2) σε επίπεδο ομοιότητας 75%. Η τρίτη υποομάδα (B1) περιλαμβάνει τα δείγματα του 2^{ου} μήνα πόντισης και εντός της ομάδας διακρίνεται διαφοροποίηση των δειγμάτων με βάση το υλικό προέλευσης. Με τον ίδιο τρόπο διαμορφώθηκε και η τέταρτη υποομάδα (B2) που περιλαμβάνει τα δείγματα του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα πόντισης.



Εικόνα 50: Δισδιάστατη απεικόνιση των δειγμάτων, με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis σε μετασχηματισμένα δεδομένα αριθμητικής αφθονίας των βενθικών μακροασπόνδυλων της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας των 12 πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων κατά τη διάρκεια των 4 μηνών (Απρίλιος-Αύγουστος) πόντισης τους στο λιμενοβραχίονα της ΣΣΕΠ. Συντελεστής συμπίεσης 0.13.

Figure 50: Non-metric MDS of the samples based on Bray-Curtis similarity index calculated from taxa's root-transformed numerical abundances, of sessile/attached benthic fauna, from the 12 artificial reefs during the 4 months (April-August) of their immersion at SRFE jetty. Stress value is 0.13.

Πραγματοποιήθηκε, επίσης, ανάλυση SIMPER, για τον καθορισμό της ομοιότητας στα δεδομένα κάλυψης εδραίας/προσκολλημένης πανίδας, σε σχέση με το υλικό προέλευσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην ομοιότητα της πανίδας ανάμεσα στα δείγματα κάθε υλικού συνέβαλαν συνολικά κυρίως 6 taxa. Για τα δείγματα του βιογενούς υλικού καθοριστικό ρόλο έπαιξαν 5 taxa, ενώ για αυτά του συμβατικού υλικού συνέβαλαν 6 taxa. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.4.3, τα κυριώτερα taxa ανήκαν στις ομάδες Spirorbidae και Χλωροφύκη. Τα δύο υλικά είχαν, και πάλι, περίπου ίδιο ποσοστό ομοιότητας ανάμεσα στα δείγματα τους, 77,89% το βιογενές και 74,75% το συμβατικό. Όσο αφορά την ανομοιότητα των 2 υποστρωμάτων συνέβαλαν συνολικά 13 taxa. Το ποσοστό ανομοιότητας των δύο υποστρωμάτων ήταν ένα σημαντικό ποσοστό, 30,37%, το οποίο καθορίστηκε κυρίως από την συνεισφορά των Χλωροφυκών, Ροδοφυκών και Spirorbidae.

Πίνακας 3.4.3: Συνεισφορά κάλυψης εδραίων/προσκολλημένων οργανισμών στην μέση ομοιότητα των δύο υλικών δοκιμής σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER

Table 3.4.3: Contribution of sessile and attached benthic fauna's coverage on the mean similarity/dissimilarity of the groups of the two testing materials, according to SIMPER analysis results

Είδη	ΣΥΣΕΙΣΦΟΡΑ TAXA %		
	Ομοιότητα		Ανομοιότητα
	Βιογενές υλικό 77,89%	Συμβατικό υλικό 74,75%	Βιογενές & Συμβατικό 30,37%
Νηματώδη χλωροφύκη	37,2	32,17	18,62
Spirorbidae	22,28	24,21	10,62
Νηματώδη ροδοφύκη	17,9	14,09	13,74
Serpulidae	11,91	8,69	7,16
Cirripedia	4,83	8,61	7,17
Βρυόζωα		4,35	9,66
Hexaplex trunculus			6,48
Φυλλωειδής χλωροφύκη			6,13
Κυστοειδής Φαιοφύκη			2,95
Bittium reticulatum			2,3
Gibula adriatica			1,71
Stenosemus dolii			1,68
Pilumnus hirtelus			1,63
Pisidia longimana			1,61
Συνολική συνεισφορά taxa (%)	89,62	92,12	91,46

4. Συζήτηση

Η παρακολούθηση των βενθικών κοινοτήτων που αποικίζουν έναν τεχνητό υφαλο είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τεχνητών δομών στην ενίσχυση ορισμένων οικολογικών διεργασιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως η προστασία των βιοκοινοτήτων και η αύξηση των θαλάσσιων πόρων, επομένως και την αύξηση της βιοποικιλότητας (Charbonnel et al., 2011). Η βιοποικιλότητα ενός τεχνητού υφάλου σχετίζεται με διαφορετικούς περιβαλλοντικούς και δομικούς παράγοντες, όπως το βάθος, τη θερμοκρασία, τη θολότητα, τη συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών κατά μήκος της στήλης του νερού, τη μορφολογική πολυπλοκότητα του υφάλου, το υλικό, την τραχύτητα των επιφανειών, το σχήμα και τον προσανατολισμό των μονάδων. Η ανάπτυξη διαφορετικών τύπων δομών μπορεί να αυξήσει αυτή τη βιοποικιλότητα. (Charbonnel et al., 2011).

4.1 Αβιοτικές παράμετροι

Οι τιμές τις θερμοκρασίες, αγωγιμότητας, αλατότητας, pH και διαλυμένου οξυγόνου που καταγράφηκαν ήταν φυσιολογικές σύμφωνα με την εποχή και το βάθος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Η διακυμάνσεις και μεταβολές ακολουθούν ένα αναμενόμενο εποχικό πρότυπο. Ωστόσο, οι τιμές της θολότητας και για τους 5 μήνες ήταν υψηλές, με μια ακραία υψηλή τιμή να καταγράφεται τον μήνα Ιούλιο. Οι καιρικές συνθήκες τον μήνα Ιούλιο το 2021 πριν την πραγματοποίηση των μετρήσεων ήταν αίθριες. Συνεπώς η υψηλές τιμές θολότητας, ενδεχομένως οφείλονται σε σφάλμα της δειγματοληπτικής προσέγγισης αλλά και στην τοποθεσία που πραγματοποιήθηκε η πόντιση και οι μετρήσεις. Λόγω της ιλυώδης και αμμώδης σύνθεσης του πυθμένα, η παραμικρή διαταραχή δημιουργούσε αναδιάταξη του υλικού και την ύπαρξη αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού στη στήλη του νερού. Συνεπώς οι μετρήσεις θα ήταν καλύτερα να προηγηθούν της πόντισης και ανακομιδής των πειραματικών μονάδων.

4.2 Σύνθεση βενθικής βιοκοινότητας και στάδια οικολογικής διαδοχής

Τα περισσότερα μακροασπόνδυλα που βρέθηκαν στις πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων έχουν αναφερθεί σε παλαιότερες μελέτες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε τεχνητά σκληρά υποστρώματα στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου (Baxevanis & Chintiroglou 2000, Damianidis & Chintiroglou 2000, Karalis et al. 2003, Chintiroglou et al., 2004, Antoniadou et al., 2011). Οι βιοκοινότητες που χαρακτηρίζουν τη περιοχή του Θερμαϊκού αποτελούνται από είδη ανθεκτικά στη ρύπανση και η δομή των βιοκοινοτήτων φαίνεται να εξαρτάται από τις διαφορετικές βιοτικές αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ειδών στο χώρο και τον χρόνο (Karalis et al., 2003). Στην παρούσα μελέτη οι κυρίαρχες ομάδες οργανισμών ήταν οι πολύχαιτοι, νηματώδεις, γαστερόποδα, θυσανόποδα και αμφίποδα. Βρέθηκαν επίσης άτομα από τις ομάδες Decapoda, Isopoda, Polyplacophora,

Mysidacea, Copepoda, Cumacea, Bivalvia, Echinodermata και Tanaidacea, οι οποίες κατέγραψαν πολύ μικρές αφθονίες στα επαναληπτικά δείγματα.

Η διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων τεχνητών υφάλων ήταν μικρή, λόγω του περιορισμένου χρόνου εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας. Παρόλα αυτά η πειραματική διαδικασία που εφαρμόστηκε οδήγησε σε κάποια προκαταρκτικά συμπεράσματα. Φαίνεται λοιπόν να υπάρχει ένα πρότυπο διαδοχής οργανισμών που οδηγεί στη διάκριση πρότερων (1^{ος} ή και 2^{ος} μήνας πόντισης) και ύστερων (3^{ος} και 4^{ος} μήνας) σταδίων. Από τα πρότερα στάδια διακρίνεται σαφώς ο 1^{ος} μήνας πόντισης, που διαμορφώνει ένα ξεχωριστό αρχικό στάδιο. Τα πρότερα στάδια διαδοχής έδειξαν μεγαλύτερη ενδογενή ανομοιότητα, σε συμφωνία με την γενική παραδοχή ότι τα πρώτα στάδια διαδοχής είναι περισσότερο τυχαία, ενώ τα μεταγενέστερα πιο αυτοοργανωμένα (Menge, 1975, Dean & Connell 1987a, Anderson & Underwood 1994). Πιο συγκεκριμένα, στη διαφοροποίηση των σταδίων διαδοχής, συνέβαλαν τα διαφορετικά πρότυπα διαδοχής των διάφορων ειδών και παρουσιάστηκε σταδιακή μείωση της αφθονίας κατά τη διάρκεια της διαδοχής και μεγαλύτερη ποικιλότητα στις συνευρέσεις των υποστρωμάτων, στην αρχή και το τέλος του πειράματος.

Ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα:

Στην ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα, για την οποία δεν προσδιορίστηκε το υλικό προέλευσης των taxa, οι νηματώδεις και τα γαστερόποδα κυριάρχησαν στις συνευρέσεις με πολύ μεγάλες αφθονίες. Τα γαστερόποδα, σύμφωνα με τη ποσοτική ανάλυση, ήταν η πιο ποικιλόμορφη ομάδα στις συνευρέσεις της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας. Όσο αφορά τα γαστερόποδα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Levinton 1995, Geiger 2006, Leonora 2009), συνηθίζουν να εποικίζουν τόσο σκληρά όσο και μαλακά αμμώδη υποστρώματα και τρέφονται κυρίως με φυτικούς οργανισμούς. Τα είδη που απομονώθηκαν από τις πειραματικές μονάδες ήταν κυρίως είδη που τρέφονται με φυτικούς οργανισμούς (π.χ *Bittium latreilli*, *Bittium reticulatum*, *Rissoa splendida* (Gambi et al., 1992)) και εποικίζουν τόσο βραχώδη, σκληρά υποστρώματα όσο και μαλακά υποστρώματα. Επομένως, η μεγάλες αφθονίες, η ποικιλομορφία και συνεχής παρουσία της συγκεκριμένης ταξινομικής ομάδας δικαιολογείται τόσο από τα γειτονικά φυσικά υποστρώματα, από τη φύση και δομή των υλικών δοκιμής (σκληρά υποστρώματα) όσο και από τη φυτική κάλυψη που παρουσίασαν οι μονάδες τεχνητών υφάλων. Από την άλλη, τα νηματώδη συνήθως εποικίζουν μαλακά υποστρώματα και τρέφονται με βακτήρια, φύκη ή με άλλους οργανισμούς όπως πολύχαιτους, νηματώδη κ.α. (Heip 1985, Moens 2013). Συνεπώς, η συνεχής παρουσία και κυριαρχία τους στα επαναληπτικά δείγματα των διαδοχικών μηνών δικαιολογείται τόσο από τον ιλυώδη πυθμένα όσο και από τη φυτική κάλυψη των πειραματικών μονάδων.

Κατά τη διάρκεια των 4 μηνών παραμονής των πειραματικών μονάδων στον πυθμένα, παρατηρήθηκαν διαφορετικές τάσεις της αφθονίας των ατόμων της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας, καθώς και διαφοροποιήσεις στην κατανομή

τους, ανάλογα με το χρονικό στάδιο διαδοχής και την ταξινομική ομάδα. Τα γαστερόποδα κυριαρχούσαν στα αρχικά στάδια διαδοχής και είχαν σταθερή συμμετοχή στην αφθονία, με παρόμοιο αριθμό ατόμων στους διαδοχικούς μήνες. Αντίθετα, οι νηματώδεις ενώ δεν κυριαρχούσαν σε αφθονία στα αρχικά στάδια διαδοχής, παρουσίασαν συνεχή αυξητική τάση κατά τη διάρκεια των 4 μηνών και κυριάρχησαν στα ύστερα στάδια διαδοχής (3^ο και 4^ο μήνα). Οι πολύχαιτοι, εμφανίζονται με αυξητική τάση καταγράφοντας μάλιστα τη μεγαλύτερη αφθονία ατόμων τον τελευταίο μήνα παραμονής των τεχνητών υποστρωμάτων στην θάλασσα. Τα Amphipoda, Decapoda και Tanaidacea παρουσίασαν αύξηση τον 2^ο και 3^ο μήνα, ενώ τον 4^ο μήνα μειώθηκαν και πάλι.

Οι παραπάνω μεταβολές της αφθονίας επηρέασαν και τις τιμές των δεικτών ποικιλότητας. Η αύξηση της αφθονίας τον 4^ο μήνα πόντισης είχε ως αποτέλεσμα την καταγραφή μειωμένων τιμών σε όλους τους δείκτες, εκτός του Margalef (d), ο οποίος εκφράζει τον πλούτο των ειδών για δεδομένο αριθμό ατόμων. Ο δείκτης Shannon-Wiener (H') είχε μεγαλύτερες τιμές τα πρότερα στάδια διαδοχή (>2) σε σχέση με τα ύστερα στάδια, γεγονός που δείχνει την γρήγορη εποίκιση των τεχνητών υποστρωμάτων από διαφορετικά είδη. Ο δείκτης Pielou (J') έδειξε την ομοιόμορφη κατανομή των ατόμων στα είδη κατά τους 2 πρώτους μήνες (τιμές κοντά στο 1), ενώ στη συνέχεια καταγράφεται η αριθμητική κυριαρχία λίγων μόνο ειδών (τιμές <0,6). Ο δείκτης Simpson (1-λ) έδειξε μεγαλύτερη ετερογένεια τον 2^ο μήνα πόντισης και μικρότερη τον 4^ο μήνα. Βέβαια, τα παραπάνω θα πρέπει να θεωρούνται ενδεικτικά καθώς δεν ταξινομήθηκαν όλες οι ομάδες σε επίπεδο είδους.

Συνεπώς, η σύνθεση της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας διαφοροποιείται σύμφωνα με τη χρονική διάρκεια πόντισης των πειραματικών μονάδων. Παρατηρήθηκε πως η σύνθεση του ζωβένθους ήταν περισσότερο διαφοροποιημένη στα αρχικά στάδια εποίκισης (2 πρώτοι μήνες), ενώ μετά τον τρίτο μήνα πόντισής τους παρατηρείται αυξημένη ομοιότητα. Μεγαλύτερη συνεισφορά στη μέση ανομοιότητα (ανάλυση SIMPER) ανάμεσα στα στάδια διαδοχής είχαν τα γαστερόποδα *Bittium reticulatum*, *Bittium latreilli*, *Rissoa splendida* και η ομάδα των νηματώδη, λόγω των πρότυπων διαδοχής τους. Τα ύστερα στάδια (3^ος και 4^ος μήνας) σημείωσαν μεγαλύτερες αφθονίες τα Nematoda σε σχέση με τους πρώτους 2 μήνες και το γεγονός αυτό διαφοροποίησε τα στάδια διαδοχής. Επίσης, αφθονίες των *Bittium reticulatum* και *Rissoda splendida* ήταν μεγαλύτερες στα αρχικά στάδια εποίκισης (2 πρώτοι μήνες) σε σχέση με τα ύστερα στάδια (3^ος, 4^ος μήνας). Αντίθετα, τον 4^ο μήνα αυξήθηκε πάρα πολύ η αφθονία ατόμων του είδους *Bittium latreilli* ενώ τα άλλα 2 είδη σημείωσαν μείωση της αφθονίας τους.

Εδραία/προσκολλημένη πανίδα

Στην περίπτωση της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας παρατηρήθηκε αποίκιση από ευκαιριακά είδη και τάξα που είναι τυπικά σε σκληρά υποστρώματα, από το πρώτο στάδιο διαδοχής (Θυσανοποδα, πολύχαιτοι). Από τη καταγραφή εδραίων ατόμων παρατηρήθηκε η συντριπτική επικράτηση της ομάδας των πολυχαιτών.

Οι πολύχαιτοι ήταν από τους πρώτους αποικιστές και παρουσίασαν μια σταθερή αποίκηση στις επιφάνειες των πειραματικών μονάδων. Εκπροσωπήθηκαν κυρίως από μέλη της οικογένειας Spirorbidae, τόσο στο συμβατικό όσο και στο βιογενές υπόστρωμα. Η οικογένεια Spirorbidae φαίνεται να κυριαρχεί σε αφθονία σε όλη τη διάρκεια παραμονής των πειραματικών μονάδων στο πεδίο, με πολύ μεγάλο αριθμό αφθονίας, ειδικότερα μετά το 1^ο μήνα πόντισης. Γενικά, οι πολύχαιτοι συγκαταλέγονται στους αρχικούς αποικιστές, όντας από τους πρώτους οργανισμούς που εγκαθίσταται σε τεχνητά υποστρώματα μετά την ανάπτυξη της βακτηριακής μεμβράνης (Bougis 1979). Σε μια μελέτη που έγινε σε συμβατικούς τεχνητούς υφάλους στη Σικελία παρατηρήθηκε, επίσης, ισχυρή επικράτηση των πολυχαιτών 6 μήνες μετά την πόντιση τους (Riggio 1986). Αν και η περίοδος πόντισης στην παρούσα μελέτη ήταν μικρότερη, καταγράφεται παρόμοιο πρότυπο αποίκησης με εντεινόμενη την επικράτηση των πολυχαιτών. Φαίνεται πως οι πρώτοι αποικιστές, κυρίως οι εδραίοι, αλληλοεπιδρούν και τροποποιούν το υπόστρωμα μέσω της διαδικασίας της βιολογικής προετοιμασίας (Jacobi & Langevin 1996, Hata & Nishihira 2002). Η συγκεκριμένη οικογένεια πολυχαιτών (Spirorbidae) κατέχει δομικό ρόλο, αφού δημιουργεί μικρούς περιελιγμένους ασβεστιτικούς σωλήνες, αυξάνοντας έτσι την ετερογένεια του υποστρώματος (Limpeny et al. 2010, Reise 2002).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκε συνεχής τροποποίηση της σύνθεσης του βένθους με την προσθήκη νέων ειδών και την εξαφάνιση κάποιων άλλων. Κάποιες τροποποιήσεις της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας φαίνεται να συμπίπτουν χρονικά με αυτές της ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας. Για παράδειγμα, το πρότυπο αποίκησης των γαστερόποδων ήταν παρόμοιο. Καταγράφηκε σημαντική αύξηση γαστερόποδων στα πρότερα στάδια διαδοχής και στη συνέχεια, στα ύστερα στάδια (3^{ος}, 4^{ος} μήνας), μια ελάττωση η οποία συμπίπτει χρονικά με την ελάττωση των γαστερόποδων στην ελεύθερα μετακινούμενη πανίδα. Από την άλλη το πρότυπο διαδοχής της οικογένειας Spirorbidae, έδειξε μια συνεχόμενη αύξηση κατά τους πρώτους 3 μήνες πόντισης, και ελάχιστη μείωση τον τελευταίο μήνα και στα δύο υλικά δοκιμής. Η ελάττωση αυτή της αφθονίας, πολυχαιτών και γαστερόποδων μπορεί να οφείλεται στο ότι οι πειραματικές μονάδες είχαν βυθιστεί στο ιλυώδες υπόστρωμα του πυθμένα, σε μεγαλύτερο βαθμό κατά τους 2 τελευταίους μήνες του πειράματος συγκριτικά με τους πρώτους, με αποτέλεσμα μικρότερη επιφάνεια αποίκησης. Εναλλακτικά, μπορεί να προκύπτει από ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις. Τα πρότυπα διαδοχής των ειδών *Bittium reticulatum*, *Rissoa splendida* και *Bittium latreilli* υποδεικνύουν ανταγωνισμό

ανάμεσα στα είδη, τα οποία ανταγωνίζονται για τροφή (Gambi et al., 1992) στην αναπτυσσόμενη κοινότητα η οποία κυριαρχείται από νηματώδη ροδοφύκη και χλωροφύκη. Ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις ενδεχομένως επικρατούν και στους 2 τελευταίους μήνες εποίκησης, όπου η μείωση της αφθονίας των γαστερόποδων συμπίπτει με την αύξηση της αφθονίας των πολυχαίτων. Τόσο στο βιογενές όσο και στο συμβατικό υλικό παρουσιάστηκε, επίσης, μια αύξηση των θυσανόποδων (Cirripedia) για κάθε μήνα παραμονής των μονάδων. Αξίζει να σημειωθεί πως, οι υπόλοιπες ομάδες εδραίας/προσκολλημένης πανίδας, δηλαδή τα Isopoda, Polyplacophora, Decapoda, Amphipoda και Echinodermata, εντοπίστηκαν σε μικρή αφθονία και μόνο στο βιογενές υλικό. Επίσης, οι ομάδες αυτές παρουσίασαν μείωση των ατόμων τους στην πάροδο του χρόνου, με την εξαίρεση ορισμένων πολυπλακοφόρων και καβουριών.

Σε ότι αφορά στην ποικιλότητα της εδραίας και προσκολλημένης πανίδας επικρατούν τα Γαστερόποδα (50%) και τα Αμφίποδα (21%), όμως, υπενθυμίζεται ότι η επικρατέστερη σε αφθονία ομάδα, των Polychaeta, ταξινομήθηκε κυρίως σε επίπεδο οικογένειας. Οι διαφοροποιήσεις των αφθονιών ανάμεσα στα στάδια διαδοχής επηρέασε και την κατανομή της ποικιλότητας, η οποία παρουσίασε επίσης διαφορές στους διαδοχικούς μήνες πόντισης. Η ποικιλότητα ήταν γενικά χαμηλή για όλους τους μήνες. Αυτό προφανώς οφείλεται στην εξαιρετικά μεγάλη αφθονία των πολυχαίτων των οικογενειών Serpulidae και Spirorbidae, που καθόρισε ουσιαστικά την ποικιλότητα των κοινοτήτων ρίχνοντας τον μέσο όρο των τιμών. Οι δείκτες ομοιογένειας (J') και ποικιλότητας (H') είχαν την μεγαλύτερη τιμή τον 4^ο και 1^ο μήνα όπου οι τιμές αφθονίας των Spirorbidae ήταν μικρότερες από τους 2 ενδιάμεσους μήνες πόντισης. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως προκειμένου να διαπιστωθεί το επίπεδο αλλοίωσης των δεδομένων από την κυρίαρχη οικογένεια των Spirorbidae, θα ήταν καλύτερα να υπολογιστούν οι δείκτες ποικιλότητας χωρίς το συνυπολογισμό των Spirorbidae. Παρόλα αυτά οι αφθονίες των υπόλοιπων ομάδων ήταν πολύ μικρές και το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα ήταν οι δείκτες να δείξουν πολύ μεγάλη ποικιλότητα.

Στις πειραματικές μονάδες των υφάλων εντοπίστηκαν και διάφορα μακροφύκη. Ειδικότερα, εντοπίστηκαν νηματοειδή χλωροφύκη και ροδοφύκη, φαιοφύκη σε μορφή κύστεων και φυλλώδη χλωροφύκη που είναι πολύ πιθανόν να ανήκουν στο είδος *Ulva lactuca*. Γενικά, σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής πόντισης τα χλωροφύκη είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης. Οι μορφές αυτές χλωροφυκών είναι γενικά ανθεκτικές σε περιβαλλοντικές πιέσεις που σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να αναπαράγονται αγενώς επιτρέπει την γρήγορη εξάπλωση των πληθυσμών τους (Connell & Slatyer 1977, Rindi & Cinelli 2000). Τα ροδοφύκη αύξησαν την ποσοστιαία τους κάλυψη κατά τον τελευταίο μήνα πόντισης, ενώ τα φαιοφύκη αποίκισαν τις πειραματικές μονάδες τον δεύτερο μήνα πόντισης και εξαφανίστηκαν μετά τον 3^ο μήνα.

Η σύνθεση της εδραίας/προσκολλημένης πανίδας και χλωρίδας διαφοροποιείται κυρίως κατά τον 1^ο μήνα πόντισης και ελάχιστα τον 4^ο μήνα σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις. Στην διάκριση της σύνθεσης του ζωοβένθους και φυτοβένθους μεταξύ των διαφορετικών χρονικών διαστημάτων πόντισης των πειραματικών μονάδων συνέβαλε κυρίως η αφθονία των πολυχαίτων Serpulidae, Spiroboridae αλλά και κάποιων ειδών γαστερόποδων, όπως το *Bittium reticulatum* και *Rissoa splendida*. Επίσης στην ανομοιότητα ανάμεσα στα στάδια διαδοχής συνέβαλαν και τα νηματώδη χλωροφύκη, ροδοφύκη των οποίων τα πρότυπα διαδοχής διέφεραν αρκετά ανάμεσα στους μήνες, καθώς και τα κυστοειδής μορφής φαιοφύκη, τα οποία εμφανίστηκαν κυρίως το δεύτερο μήνα.

Κλείνοντας, η σύνθεση της πανίδας και της χλωρίδας διαφοροποιήθηκε τόσο σε σχέση με την χρονική διάρκεια πόντισης όσο και με το υλικό υποστρώματος. Ωστόσο, το υλικό κατασκευής των μονάδων είχε σημαντικότερη επίδραση στη σύνθεση του ζωοβένθους σε σχέση με το χρονικό διάστημα της αποίκησης. Τα δείγματα του πρώτου μήνα πόντισης διαφοροποιούνται από αυτά των επόμενων μηνών και ομαδοποιούνται ανεξαρτήτως υλικού δοκιμής. Αντίθετα, τα δείγματα των επόμενων διαστημάτων πόντισης διαφοροποιούνται ανάλογα με το υλικό υποστρώματος. Τα δείγματα των ύστερων σταδίων διαδοχής εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα στη σύνθεση τους, ιδιαίτερα κατά τους 2 τελευταίους μήνες του πειράματος, γεγονός που δείχνει αυξημένη σταθερότητα στο περιβάλλον την συγκεκριμένη περίοδο.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπως αναφέρθηκε, παρατηρήθηκε συνεχής τροποποίηση της δομής του βένθους με την προσθήκη νέων ειδών και την εξαφάνιση κάποιων άλλων. Παρά τις όποιες μεταβολές, περισσότερα από τα μισά καταγεγραμμένα taxa, ανά στάδιο δειγματοληψίας, ήταν συνεχώς παρόντα σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η επίδραση των ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων ήταν πιθανώς μικρής σημασίας στα υποστρώματα που μελετήθηκαν, ειδικά κατά το αρχικό στάδιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, υπήρχε πάντα ελεύθερος χώρος στις επιφάνειες των πειραματικών μονάδων. Έτσι, η βενθική πανίδα ενδεχομένως να δομήθηκε σύμφωνα με την μεταβαλλόμενη δομή της εδραίας πανίδας κατά τη διαδοχή και τον τρόπο που ανταποκρινόταν στη συνεχή αναδιαμόρφωση και πολυπλοκότητα της βιοκοινότητας (Dean & Connell 1987c).

4.3 Σύγκριση των δύο υλικών δοκιμής ως υποστρώματα αποίκησης και εντοπισμός διαφορών στα στάδια διαδοχής

Η σύνθεση του ζωοβένθους φάνηκε να διαφέρει στα 2 υλικά δοκιμής τόσο ανάλογα με το στάδιο οικολογικής διαδοχής όσο και ανεξάρτητα από αυτό. Η φύση και η δομή του υποστρώματος επηρεάζουν τον αποικισμό καθώς και τη δομή της εδραίας πανίδας (Dean & Hurd 1980, Anderson & Underwood 1994, Bulleri 2005, Field et al., 2007).

Αρχικά, όσον αφορά τις αφθονίες των ταξινομικών ομάδων, το βιογενές υλικό είχε σχεδόν τις διπλάσιες σε όλα τα taxa εκτός από τα γαστερόποδα τα οποία είχαν σχεδόν ίδιο αριθμό ατόμων στα 2 υλικά δοκιμής. Η κάλυψη της επιφάνειας των βιογενών υποστρωμάτων από πανίδα και χλωρίδα ήταν επίσης διπλάσια από αυτή του συμβατικού υλικού. Η ποικιλότητα ανάμεσα στα 2 υλικά δεν μπορεί να σχολιαστεί με ακρίβεια γιατί οι ομάδες που βρέθηκαν στο συμβατικό υλικό δεν ταξινομήθηκαν σε επίπεδο είδους. Ωστόσο, στο βιογενές υλικό εμφανίστηκαν άτομα από τις ομάδες Isopoda, Polyplacophora, Decapoda, Amphipoda, Ophiuroidea και άλλα Echinodermata που δεν ταξινομήθηκαν περαιτέρω, οι οποίες δεν εμφανίστηκαν στο συμβατικό υλικό.

Όπως προαναφέρθηκε, και στα δυο υλικά η αποίκηση έγινε από τάξα που προτιμούν συνήθως σκληρά υποστρώματα, ενώ οι πρώτοι αποικιστές ήταν ευκαιρικά είδη (θυσανόποδα, πολύχαιτοι). Ωστόσο, στο βιογενές υλικό δοκιμής εμφανίστηκαν taxa που αποικίζουν και κινητά υποστρώματα όπως άτομα της κλάσης Ophiuroidea, το είδος *Alvania cimex*, *Alvania lineata* και άλλα γαστερόποδα που δεν βρέθηκαν στο συμβατικό υλικό (Gofas 2009, Stöhr 2012). Επίσης η ομάδα των γαστερόποδων ενώ είχε σχεδόν τον ίδιο αριθμό ατόμων στα δύο υλικά δοκιμής, στο βιογενές υπόστρωμα έκαναν την εμφάνιση τους 12 είδη ενώ στο συμβατικό υλικό μόνο 4. Εκτός από την ποικιλότητα των γαστερόποδων διέφερε και η ποσοστιαία κάλυψη αυτής της ταξινομικής ομάδας στα 2 υποστρώματα, η οποία ήταν μεγαλύτερη στο βιογενές υλικό, προφανώς λόγω της εγκατάστασης διαφορετικών και πιο μεγαλόσωμων ειδών. Αντίθετα, ενώ συνολικά είχε μικρότερη φυτική κάλυψη, η ποσοστιαία κάλυψη των ροδοφυκών ήταν σχεδόν διπλάσια στο συμβατικό υλικό. Το γεγονός αυτό, ενδεχομένως οφείλεται στη μεγαλύτερη ελεύθερη από οργανισμούς επιφάνεια που υπήρχε στο συμβατικό υλικό σε σχέση με το βιογενές. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η οικογένεια Spirobridae ήταν κυρίαρχη και στα 2 υλικά. Παρόλα αυτά το βιογενές υλικό είχε διπλάσιες αφθονίες και κάλυψη από τη συγκεκριμένη οικογένεια. Το γεγονός αυτό, ενδεχομένως, συνέβαλε στην μεγαλύτερη ποικιλομορφία των συνευρέσεων του βιογενούς υλικού, δεδομένου του δομικού ρόλου που έπαιξε η οικογένεια αυτή, αυξάνοντας την ετερογένεια του υποστρώματος.

Οι διαφορές που παρουσιάστηκαν στα δυο υλικά δοκιμής θα μπορούσαν να αποδοθούν στη διαφορετική σύστασή τους, αλλά και στη διαφορετική τους μορφή. Εκτός από την χημική σύσταση του υποστρώματος, η οποία μπορεί να είναι αποτρεπτική για κάποιους οργανισμούς, η τραχύτητα, η μορφολογία και δομή του είναι επίσης βασικές ιδιότητες που μπορούν να επιταχύνουν τις διαδικασίες διαδοχής και να αυξήσουν το ποσοστό αποίκησης των υποστρωμάτων. Ειδικότερα αν η μίμηση της πολυπλοκότητας του φυσικού υποστρώματος γίνει με μεγαλύτερη επιτυχία τότε τόσο περισσότεροι οργανισμοί θα αποικίσουν το υπόστρωμα (Lewis et al., 1989, Jacobi & Langevin 1996, Wiczorek & Todd 1997). Η δομή του βιογενούς υποστρώματος φαίνεται να ευνοεί την εναπόθεση και τον εγκλωβισμό λεπτόκοκκου ιζήματος στα διάκενα μεταξύ των κελυφών. Το ίζημα μπορεί πολύ εύκολα να

αναδευτεί από την κυματική δράση και τα θαλάσσια ρεύματα, με επακόλουθο κάποιους εδραίοι οργανισμοί να παρασυρθούν και να μην καταφέρουν να εποικήσουν περαιτέρω την επιφάνεια. Από την άλλη όμως δημιουργεί ένα μικροενδιαίτημα κατάλληλο για είδη που διαβιούν σε ιλυώδες/αμμώδες υπόστρωμα, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ποικιλότητα της βενθικής συνεύρεσης. Οι πειραματικές μονάδες τοποθετήθηκαν σε ιλυώδη πυθμένα, οπότε πολλοί οργανισμοί μετανάστευσαν από το φυσικό περιβάλλον στα βιογενή υποστρώματα των πειραματικών μονάδων. Γενικότερα, η τρισδιάστατη διαμόρφωση του βιογενούς υποστρώματος είχε την ικανότητα να δημιουργεί πολλαπλές οικοθέσεις για τους οργανισμούς με αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας των συνευρέσεων.

Τα δυο υποστρώματα εποίκησης είχαν διαφορές στη σύνθεση των συνευρέσεων τους ανάλογα και με τη χρονική διάρκεια παραμονής των πειραματικών μονάδων στο πεδίο. Τα πρότυπα διαδοχής κάποιων ταχα διέφεραν ανάμεσα στα 2 υλικά. Για παράδειγμα, στο συμβατικό υλικό, τα είδη *Bittium reticulatum* και *Rissoa splendida* εμφανίστηκαν τον πρώτο μήνα και εξαφανίστηκαν μετά τον δεύτερο μήνα πόντισης, ενώ τα *B. latreilli* εμφανίστηκε τον 2^ο μήνα και στη συνέχεια χάθηκε. Το *R. splendida* συμπεριφέρθηκε κατά παρόμοιο τρόπο και στο βιογενές υλικό, ενώ, το *B. reticulatum* και *B. latreilli*, σε αντίθεση με το συμβατικό υπόστρωμα, είχαν σταθερή εμφάνιση όλους τους μήνες πόντισης. Επίσης πολλά διαφορετικά είδη γαστερόποδων αποίκισαν το βιογενές υλικό από τον δεύτερο μήνα πόντισης, ενώ νεαρές πεταλίδες εντοπίστηκαν τον 4^ο μήνα. Διαφορετικά πρότυπα διαδοχής είχαν επίσης και οι φυτικοί αποικιστές στα 2 υλικά δοκιμής. Τα φαιοφύκη έκαναν την εμφάνιση τους και στα 2 υποστρώματα τον δεύτερο μήνα αλλά από το συμβατικό υλικό εξαφανίστηκαν τον επόμενο αμέσως μήνα. Τέλος, στο συμβατικό υλικό τα ροδοφύκη είχαν μια ακραία αύξηση της επιφάνειας κάλυψης τους μετά τον δεύτερο μήνα πόντισης, ενώ στο βιογενές υλικό το πρότυπο διαδοχής ήταν πιο σταθερό. Στη διαφοροποίηση των σταδίων διαδοχής έπαιξε ρόλο και το σφάλμα στις πειραματικές μονάδες, οι οποίες βυθίστηκαν στον πυθμένα της περιοχής τους 2 τελευταίους μήνες. Το σφάλμα αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ελεύθερης επιφάνειας αποίκησης, συνεπώς την μείωση των αποικιστών. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε πως από το γεγονός αυτό επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό το συμβατικό υπόστρωμα σε σχέση με το βιογενές.

Οι διαφορές στα πρότυπα διαδοχής και στα πρότυπα αφθονίας ανάμεσα στους διαδοχικούς μήνες συνέβαλαν και στις διαφορές στην ποικιλότητα και ισοκατανομή των οργανισμών των συνευρέσεων των 2 υλικών. Γενικότερα οι τεχνητοί ύφαλοι φτάνουν σε ισορροπία μετά από 2-3 χρόνια και χρειάζεται μακροχρόνια παρακολούθηση για την κατανόηση τους (Bombace , 1987). Στην παρούσα μελέτη προφανώς δεν μπορεί να σχολιαστεί η ισορροπία και σταθερότητα των βιοκοινοτήτων, ειδικότερα αφού δεν έχει ταξινομηθεί η σημαντικότερη ομάδα σε αφθονία. Ωστόσο, παρατηρήθηκε πως το συμβατικό υλικό παρουσίασε μείωση ατόμων 1 μήνα νωρίτερα από το βιογενές υπόστρωμα. Επίσης, από τον 3^ο μήνα πόντισης και μετά η φυτική κάλυψη στο συμβατικό υλικό ήταν εξαιρετικά μεγάλη και

με σταθερή αποίκηση χωρίς μείωση. Ο τελευταίος μήνας πόντισης για τα δείγματα του συμβατικού υποστρώματος, είχε τις μεγαλύτερες τιμές ποικιλότητας και ισοκατανομής (δείκτης H' και J'), γεγονός που δείχνει μια σταθεροποίηση και ισοκατανομή των οργανισμών σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες. Αντιθέτως, για το βιογενές υπόστρωμα ισχύει το αντίθετο, η βιοκοινότητες φαίνεται να αλλάζουν συνέχεια στην πορεία της διαδοχής με τις μεγαλύτερες τιμές των δεικτών στα δείγματα του πρώτου μήνα, όπου φαίνεται να υπήρξε πιο σταθερό περιβάλλον από τις υπόλοιπες περιόδους.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ανάμεσα στα στάδια διαδοχής παρατηρήθηκε πως τα δείγματα του συμβατικού υλικού του 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} μήνα είχαν μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους, ενώ τα δείγματα του βιογενούς υλικού είχαν μεγαλύτερη ανομοιογένεια μεταξύ τους. Το είδος των φυτικών και ζωικών οργανισμών που καλύπτουν τα τεχνητά υποστρώματα έχει μεγάλη σημασία για την πορεία της διαδοχής, ειδικά κατά τα αρχικά στάδια, αφού μπορεί να διευκολύνει ή να αναστέλλει τον περαιτέρω αποικισμό. Συνεπώς, η επίδραση του υποστρώματος, αν και εφήμερη, παραμένει σημαντική, ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια διαδοχής (Bourget et al., 1994· Anderson and Underwood, 1994· Jacobi και Langevin, 1996).

5. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, συμπεραίνεται πως :

- 1) Από την πειραματική διαδικασία υποδεικνύεται πως το πρότυπο της οικολογικής διαδοχής, όπου φαίνεται να ομαδοποιούνται τα επαναληπτικά δείγματα, διακρίνεται σε: 1^{ος} και 2^{ος} μήνες πρότερα στάδια, 3^{ος} και 4^{ος} μήνες ύστερα στάδια
- 2) Από τον ρυθμό αποίκησης και τη συμπεριφορά των βενθικών οργανισμών είναι ξεκάθαρο πως βρισκόμαστε στα αρχικά στάδια πρωτογενούς διαδοχής και για το λόγο αυτό τα στάδια διαδοχής στις πειραματικές μονάδες έδειξαν σχετικά χαμηλή ποικιλότητα.
- 3) Η μορφολογία και δομή του υποστρώματος μπορεί να θεωρηθεί εφήμερη αλλά αρκετά σημαντική στα αρχικά στάδια διαδοχής τα οποία παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη συγκρότηση των αναπτυσσόμενων βιοκοινοτήτων.
- 4) Οι ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις ενώ υπήρχαν φαίνεται πως ήταν μικρής σημασίας λόγω των αρχικών σταδίων, ωστόσο στην ομάδα των γαστερόποδων φαίνεται ότι παίζουν κάποιο ρόλο, αφού η ανασύνθεση των πληθυσμών των αλληλοεπιδρώντων ειδών τους στο χρόνο ήταν συνεχής.

- 5) Η σύνθεση των βιοκοινοτήτων στις πειραματικές μονάδες τεχνητών υφάλων επηρεάζεται τόσο από τη φύση και δομή του υποστρώματος όσο και από τη διάρκεια πόντισης.
- 6) Ο βενθικός αποικισμός, η διαμόρφωση της ποικιλομορφίας και η διαδοχή στα 2 υλικά δοκιμής ακολούθησε διαφορετικό ρυθμό στο χρόνο. Ο ρυθμός αυτός επηρεάστηκε από τους αποικιστές, ειδικότερα τους εδραίους, οι οποίοι φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο διευκόλυνσης και παρεμπόδισης παρέχοντας φυσική δομή και δρώντας ως μηχανικοί οικοσυστήματος διευκολύνοντας ή εμποδίζοντας τον μετέπειτα αποικισμό από άλλους οργανισμούς. Εξίσου σημαντική, ήταν και η συμβολή της δομής του υποστρώματος στη διαμόρφωση της ποικιλομορφίας της βιοκοινότητας.
- 7) Η δομή των βιοκοινωνιών των γειτονικών φυσικών υποστρωμάτων αλλά και το ευρύτερο οικοσύστημα, σχετίζεται με την διαμόρφωση των βιοκοινωνιών στα τεχνητά υποστρώματα, καθώς και με τις διαφοροποιήσεις του αποικισμού και της διαδοχής
- 8) Το βιογενές υπόστρωμα φαίνεται να δημιουργεί πιο ευνοϊκές συνθήκες εγκατάστασης για κάποιες ταξινομικές ομάδες και είδη.
- 9) Υπάρχουν ενδείξεις, οι οποίες θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω, πως το συμβατικό υλικό είχε πιο σταθερή αποίκηση και μπορεί να φτάσει πιο νωρίς σε ισορροπία από το βιογενές. Παρόλα αυτά το βιογενές φάνηκε να δημιουργεί πιο πολύπλοκες και ποικιλόμορφες συνευρέσεις, κάτι το οποίο χρειάζεται επίσης περεταίρω έρευνα.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, φαίνεται πως η πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος χρειάζεται να γίνει σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο για περισσότερα αποτελέσματα. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα συζητήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι εμφανές πως υπάρχει ανάγκη να πραγματοποιηθεί η μελέτη αυτή ή παρόμοιες μελέτες σε άλλα περιβάλλοντα και συνθήκες π.χ σε μια θαλάσσια περιοχή με διαφορετική σύσταση πυθμένα, ακόμη και με μεγαλύτερης κλίμακας πειραματικές μονάδες και φυσικά σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια για την περαιτέρω διερεύνηση της τελικής διαμόρφωσης βιοκοινοτήτων και εμβάθυνση γνώσης για το χρόνο/εποχή αποικισμού και διαδοχής. Σημαντικό είναι επίσης να παρατηρηθεί το πως αλληλοεπιδρά το ευρύτερο οικοσύστημα με τους Τ.Υ, όπως για παράδειγμα οι ιχθυοπληθυσμοί, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της περιοχής αλλά και οι ανθρώπινες δραστηριότητες της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει πιο εφικτή η κατανόηση της λειτουργικότητας και αποτελεσματικότητας του

κελύφους του είδους *Mytilus galloprovincialis* ως υπόστρωμα εποίκισης, έτσι ώστε να ενσωματωθεί ως αυτόνομη κατασκευή ή σε συνδιασμό με άλλα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά στο σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνητών υφάλων. Κλείνοντας αξίζει να τονιστεί, πως όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις είναι σημαντικές για την διαχείριση και αποκατάσταση θαλάσσιων κοινοτήτων και θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη το γεγονός πως υπάρχει έλλειψη πληροφοριών όσο αφορά τα υλικά που πρέπει να χρησιμοποιούνται αλλά και την φυσική και λειτουργική πλευρά των τεχνητών υφάλων. Είναι αναγκαίο λοιπόν να γίνουν ακόμη περισσότερες μελέτες για το σκοπό αυτό και να ενταχθούν περισσότερα υλικά βιογενούς προέλευσης στην τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα θαλάσσια οικοσυστήματα μπορούν να υποβαθμιστούν με διάφορους τρόπους, όπως από φυσικά αίτια ή από ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες. Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και της βιωσιμότητας περιλαμβάνει την ελεγχόμενη χρήση των φυσικών πόρων, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και γενικότερα τη μείωση της ατμοσφαιρικής και υδατικής ρύπανσης. Πολλές φορές οι τεχνητές παρεμβάσεις είναι αναπόφευκτες αλλά και αναγκαίες, είτε για την αποκατάσταση ενός υποβαθμισμένου οικοσυστήματος, είτε για την προστασία μιας προστατευόμενης περιοχής. Η τεχνολογία κατασκευής τεχνητών υφάλων είναι ένα χρήσιμο διαχειριστικό εργαλείο, το οποίο περιέχει περιθώρια βελτίωσης και εξέλιξης με σκοπό να πραγματοποιείται μια βιώσιμη διαχείριση. Η χρήση των τεχνητών υφάλων είναι ένα μέτρο παγκόσμιας σημασίας για την διαχείριση και προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, αυξάνοντας την χωρική ετερογένεια, την ποικιλομορφία του διαθέσιμου υποστρώματος με αποτέλεσμα την αποκατάσταση του. Είναι απαραίτητη, λοιπόν, η περαιτέρω διερεύνηση των τεχνητών υφάλων και η συνεχής αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους, με σκοπό την βέλτιστη και βιώσιμη χρήση τους στην ενίσχυση ή διατήρηση της βιοποικιλότητας. Επίσης, η διεξοδική και πλήρης γνώση των βενθικών κοινοτήτων που αποικίζουν έναν τεχνητό ύφαλο είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της πραγματικής αποτελεσματικότητας των τεχνητών δομών στην ενίσχυση ορισμένων οικολογικών διεργασιών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Με το σωστό έλεγχο, σχεδιασμό, καθώς και με την εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης μπορούν να εξασφαλιστούν οι βασικές προϋποθέσεις για την ένταξη τους σε προγράμματα αειφόρου διαχείρισης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό να διερευνήσει τις δυνατότητες εφαρμογής του κελύφους του κοινού μεσογειακού μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, ως βιογενές υλικό, στην κατασκευή τεχνητών υφάλων. Πραγματοποιήθηκε εφαρμοσμένη δοκιμή στο πεδίο μέσω της ανάπτυξης πρότυπων μικρογραφικών μονάδων τεχνητών υφάλων. Οι κατασκευές ήταν μικτού τύπου και αποτελούσαν από τσιμέντο και κελύφη μυδιού, με σκοπό να γίνει εφικτή η συγκριτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των δύο υλικών ως υπόστρωμα ανάπτυξης βενθικών βιοκοινοτήτων μακροασπόνδυλων οργανισμών παρακολουθώντας την εποίκιση και την οικολογική διαδοχή σε μηνιαία βάση και για συνολικό χρονικό διάστημα 4 μηνών παραμονής στο πεδίο. Τα συμπεράσματα για τη λειτουργικότητα του βιογενούς υλικού βασίστηκαν στην παρακολούθηση της αποίκησης και της οικολογικής διαδοχής, σε πρώιμα στάδια, στα 2 υλικά δοκιμής και στη μετέπειτα συγκριτική αποτίμηση των υλικών αυτών.

Η ποσοτική ανάλυση έδειξε κυριαρχία της ομάδας Polychaeta και υψηλότερη ποικιλομορφία στην ομάδα των Γαστερόποδων και για τα 2 υλικά. Επίσης, όσο αφορά την κάλυψη στις επιφάνειες των δύο υλικών, φαίνεται να κυριάρχησαν τα Χλωροφύκη, τα οποία κάλυπταν σχεδόν την διπλάσια επιφάνεια στο βιογενές απ'οτι στο συμβατικό. Πραγματοποιήθηκαν, ακόμη, μονομεταβλητές και πολυμεταβλητές

στατιστικές αναλύσεις, οι οποίες υπέδειξαν διαφορές στα 2 υποστρώματα αποίκησης, τόσο για την διαδικασία οικολογικής διαδοχής όσο και για της προτιμήσεις των ταξινομικών ομάδων. Η διαδικασία οικολογικής διαδοχής, λόγω της μικρής διάρκειας πόντισης, βρισκόταν στα πρωταρχικά στάδια. Οι αναλύσεις υπέδειξαν 3 στάδια οικολογικής διαδοχής. Τα ποσοστά ανομοιότητας ανάμεσα στα επαναληπτικά δείγματα κάθε μήνα ήταν μικρά και αυτό υποδηλώνει σχετικά γρήγορο ρυθμό διαδοχής στα αρχικά στάδια. Η ποικιλομορφία των βιοκοινοτήτων του βιογενούς υποστρώματος ήταν υψηλότερη από του συμβατικού, με τα Γαστερόποδα να έχουν την μεγαλύτερη συμμετοχή στη συνολική κατανομή της ποικιλότητας. Στο βιογενές υλικό εγκαταστάθηκαν ταξινομικές ομάδες που δεν βρέθηκαν καθόλου στο συμβατικό υπόστρωμα. Ωστόσο, οι δείκτες ποικιλότητας και για τα 2 υλικά ήταν χαμηλότεροι από το συνηθισμένο, και αυτό οφείλεται στις μεγάλες αφθονίες κάποιων εδραίων οργανισμών, η παρουσία των οποίων διαμόρφωσε τις συνθήκες του υποστρώματος για την ανάπτυξη των βιοκοινοτήτων.

ABSTRACT

Marine ecosystems can be degraded in a variety of ways, such as natural causes or human interventions and activities. The concept of sustainable development and sustainability includes the controlled use of natural resources, the reduction of energy consumption and in general the reduction of air and water pollution. Many times, artificial interventions are inevitable but also necessary, either to restore a degraded ecosystem or to protect conservation areas. The technology of artificial reefs is a useful management tool, which contains margins for improvement and development to carry out a sustainable management. Artificial reefs are global known for their importance to the management and protection of marine ecosystems, increasing the spatial heterogeneity, the diversity of the available substrate resulting in its restoration. It is therefore necessary to further investigate the artificial reefs and to continuously evaluate their effectiveness, to use them optimally and sustainably in enhancing or conserving biodiversity. Also, a thorough and complete knowledge of the benthic communities that colonize an artificial reef is necessary to evaluate the real effectiveness of artificial structures in enhancing certain ecological processes in the marine environment. With the right control, planning, as well as with the implementation of monitoring programs, the basic conditions for their sustainable integration in management programs can be ensured.

The aim of this dissertation was to investigate the possibilities of applying the shell of the common Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*, as a biogenic material, in the construction of artificial reefs. Applied field testing was performed through the development of standard artificial reef miniature units. The constructions were mixed type and consisted of cement and mussel shells, in order to make the comparative evaluation of the effectiveness of the two materials as a substrate for the development of benthic bio-communities of macroinvertebrates by monitoring the settlement and ecological succession on a monthly basis for a total period of 4 months. The conclusions about the functionality of the biogenic material were based on the monitoring of the colonization and the ecological succession, in the early stages, on the 2 test materials and on the subsequent comparative evaluation of these materials.

Quantitative analysis showed dominance of the Polychaeta group and higher diversity in the Gastropoda group for both materials. Also, in terms of coverage on the surfaces of the two materials, it seems that Chlorophyceae dominated, which covered almost twice the surface in biogenic than in conventional. Statistical analyzes, in Primer v6, were also performed, which indicated differences in the 2 colonies, both for the ecological succession process and for the preferences of the taxonomic groups. The process of ecological succession, due to the short duration of immersion, was in its early stages. The analyzes indicated 3 stages of ecological succession. The percentages of dissimilarity between the repeat samples each month were small, and this indicates a relatively rapid succession rate in the early stages. The diversity of bio-communities of the biogenic substrate was higher than the conventional one, with the Gastropoda having the highest participation in the overall distribution of diversity.

Taxonomic groups were found on the biogenic material, that were not found at all in the conventional substrate. However, the diversity indices for both materials were lower than usual, and this is due to the large abundance of some sessile organisms that have contribute to the later communities.

Παράρτημα

Συγκεντρωτικοί πίνακες αφθονίας

Πίνακας 3.2.1.1: Συγκεντρωτικά δεδομένα αφθονίας ατόμων εδραίας, προσκολλημένης και ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας ανα μήνα δειγματοληψίας

Table 3.2.1.1: Total data of abundance of individuals, of sessile, attached and motiel fauna per month of sampling

Ταξινομικές ομάδες	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας
<i>Acanthochitona fascicularis</i>	0	1	0	0
<i>Alvania cimex</i>	2	1	7	4
<i>Alvania cingulata</i>	0	0	1	0
<i>Alvania discors</i>	13	25	75	25
<i>Alvania lanciae</i>	0	0	22	9
<i>Alvania lineata</i>	0	0	73	24
<i>Alvania mamilata</i>	0	0	1	0
<i>Ampithoe ramondi</i>	0	8	0	1
<i>Athanas nitescens</i>	0	2	13	4
<i>Bittium latreilli</i>	18	43	79	330
<i>Bittium reticulatum</i>	122	186	45	3
<i>Chrysallida clathrata</i>	0	0	2	0
<i>Chrysallida incerta</i>	0	0	39	15
Cirripedia	45	91	126	194
<i>Columbella rustica</i>	0	0	0	1
<i>Conus mediterraneus</i>	0	0	1	0
<i>Copepoda (Porcellidae)</i>	0	0	10	1
<i>Corophium acutum</i>	2	1	24	2
<i>Crepidula gibbossa</i>	0	0	0	5
Cumacea	0	0	13	16
<i>Dexamine spinosa</i>	8	17	2	1
<i>Elasmopus rapax</i>	0	2	3	7
<i>Gammarus aequicauda</i>	0	0	2	1
<i>Gammarus sp.</i>	0	2	3	0
<i>Gibula adansoni</i>	3	0	0	0
<i>Gibula adriatica</i>	58	3	2	1
<i>Gibula cinecaria</i>	0	0	1	0
<i>Gnathia sp.</i>	1	0	0	0
<i>Gnathia sp. praniza</i>	3	0	0	0
<i>Gnathia vorax</i>	3	1	0	0
<i>Hexaplex trunculus</i>	2	3	3	19
<i>Hinia pygmaea</i>	0	3	1	0
<i>Leptochelia savignyi</i>	1	15	111	44
<i>Microdeutopus anomalus</i>	5	10	12	11
<i>Mitrella scripta</i>	0	3	0	0
<i>Mitromorpha sp.</i>	0	0	6	2
<i>Muricopsis cristata</i>	0	1	0	0

Mysidacea	1	0	1	14
<i>Nassarius reticulatus</i>	0	1	1	0
Nematoda	38	153	823	710
Nereidae	0	0	0	1
<i>Ophiothrix fragilis</i>	3	0	0	1
<i>Osilinus turbinatus</i>	0	14	0	0
<i>Pagurus chevreuxi</i>	0	0	1	3
<i>Paracentrotus lividus</i>	0	0	1	4
<i>Paracerceis sculpta</i>	1	3	3	2
<i>Pericolodes</i> sp.	0	0	1	0
<i>Pilumnoides perlatus</i>	0	0	2	0
<i>Pilumnus hirsutus</i>	0	0	4	0
<i>Pilumnus hirtelus</i>	4	14	14	8
<i>Pisidia longicornis</i>	0	0	3	0
<i>Pisidia longimana</i>	8	25	3	4
<i>Planes minutus</i>	0	0	6	3
Polychaeta	1	12	78	51
<i>Polyophthalmus pictus</i>	0	0	1	65
<i>Pusillina marginata</i>	10	0	0	0
<i>Pusillina radiata</i>	43	0	0	0
<i>Rissoa</i> sp.1	10	90	1	14
<i>Rissoa splendida</i>	78	177	3	0
Serpulidae	93	273	423	460
Spirorbidae	2,732	11,602	11,715	9,398
<i>Stenosemus dolii</i>	1	0	3	2
<i>Synalpheus gambarelloides</i>	0	0	2	0
<i>Tanais dulongii</i>	0	0	0	1
<i>Tricolia pullus</i>	1	0	0	0
<i>Yoldiella frigida</i>	0	2	0	0
Γόνοι αχινών	11	7	11	3
Γόνοι Ιχθύων	0	1	4	3
Γόνος Patella	0	0	0	6
Κατεστραμμένα αμφίποδα	8	33	31	22
Νεαρό <i>Mytilus</i>	3	12	15	20
Νεαρό Natantia	0	3	0	0
Προνύμφη Decapoda	0	4	0	0

Πίνακας 3.2.2.1: Συγκεντρωτικά δεδομένα αφθονίας ατόμων ελεύθερα μετακινούμενης πανίδας ανα μήνα δειγματοληψίας

Table 3.2.2.1: Total data of abundance of individuals, of motile fauna per month of sampling

Ταξινομικές ομάδες	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας
<i>Alvania cimex</i>	2	1	7	4
<i>Alvania cingulata</i>	0	0	1	0
<i>Alvania discors</i>	11	25	55	24
<i>Alvania lanciae</i>	0	0	42	9
<i>Alvania lineata</i>	0	0	101	23
<i>Alvania mamilata</i>	0	0	1	0
<i>Ampithoe ramondi</i>	0	8	0	1
<i>Athanas nitescens</i>	0	1	13	4
<i>Bittium latreilli</i>	11	18	49	323
<i>Bittium reticulatum</i>	110	158	43	0
<i>Chrysallida clathrata</i>	0	0	2	0
<i>Chrysallida incerta</i>	0	0	39	15
<i>Columbella rustica</i>	0	0	0	1
<i>Conus mediterraneus</i>	0	0	1	0
<i>Copepoda (Porcellidae)</i>	0	0	10	1
<i>Corophium acutum</i>	1	1	24	2
<i>Crepidula gibbosa</i>	0	0	0	5
Cumacea	0	0	13	16
<i>Dexamine spinosa</i>	7	17	2	1
<i>Elasmopus rapax</i>	0	2	2	7
<i>Gammarus aequicauda</i>	0	0	2	1
<i>Gammarus sp.</i>	0	1	3	0
<i>Gibula adansonii</i>	3	0	0	0
<i>Gibula adriatica</i>	52	3	1	1
<i>Gibula cinecaria</i>	0	0	1	0
<i>Gnathia sp.</i>	3	0	0	0
<i>Gnathia vorax</i>	3	1	0	0
<i>Hexaplex trunculus</i>	1	3	2	13
<i>Hinia pygmaea</i>	0	3	1	0
<i>Leptochelia savignyi</i>	1	15	111	44
<i>Microdeutopus anomalous</i>	5	10	12	11
<i>Mitrella scripta</i>	0	3	0	0
<i>Mitromorpha sp.</i>	0	0	0	2
<i>Muricopsis cristata</i>	0	1	0	0
Mysidacea	1	0	1	14
<i>Nassarius reticulatus</i>	0	0	1	0
Nematoda	38	153	823	710
Nereidae	0	0	0	1
<i>Ophiothrix fragilis</i>	0	0	0	1
<i>Osilinus turbinatus</i>	0	14	0	0
<i>Pagurus chevreuxi</i>	0	0	1	3

<i>Paracentrotus lividus</i>	0	0	0	4
<i>Paracerceis sculpta</i>	1	3	3	2
<i>Periculodes sp.</i>	0	0	1	0
<i>Pilumnoides perlatus</i>	0	0	2	0
<i>Pilumnus hirsutus</i>	0	0	4	0
<i>Pilumnus hirtelus</i>	4	12	10	6
<i>Pisidia longicornis</i>	0	0	3	0
<i>Pisidia longimana</i>	7	23	1	3
<i>Planes minutus</i>	0	0	6	3
Polychaeta	1	12	76	46
<i>Polyopthalmus pictus</i>	0	0	1	65
<i>Pusillina marginata</i>	10	0	0	0
<i>Pusillina radiata</i>	40	0	0	0
<i>Rissoa sp.1</i>	10	74	1	14
<i>Rissoa splendida</i>	73	132	3	0
<i>Synalpheus gambarelloides</i>	0	0	1	0
<i>Tanais dulongii</i>	0	0	0	1
<i>Tricolia pullus</i>	1	0	0	0
<i>Yoldiella frigida</i>	0	2	0	0
Γόννοι αχινών	11	7	10	3
Γόννοι Ιχθύων	0	1	5	3
Γόννος Patella	0	0	0	0
Κατεστραμμένα αμφίποδα	8	33	31	22
Νεαρό Mytilus	3	12	15	20
Νεαρό Natantia	0	3	0	0
Προνύμφη Decapoda	0	4	0	0

Πίνακας 3.2.3.1: Συγκεντρωτικά δεδομένα αφθονίας ατόμων εδραίας και προσκολλημένης πανίδας ανά μήνα δειγματοληψίας

Table 3.2.3.1: Total data of abundance of individuals, of sessile and attached fauna per month of sampling

Taxa	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας
<i>Acanthochitona fascicularis</i>	0	1	0	0
<i>Alvania cimex</i>	0	5	2	0
<i>Alvania discors</i>	1	0	0	1
<i>Alvania lineata</i>	0	0	2	1
<i>Athanas nitescecns</i>	0	1	0	0
<i>Bitium latreilli</i>	2	10	0	7
<i>Bitium reticulatum</i>	16	41	2	3
Cirripedia	53	109	126	194
<i>Corophium acutum</i>	1	0	0	0
<i>Dexamine spinosa</i>	2	0	0	0
<i>Ophiothrix fragilis</i>	3	0	0	0
<i>Gammarus sp.</i>	0	1	0	0
<i>Gibula adriatica</i>	6	0	1	0
<i>Gnathia sp.</i>	0	0	0	0
<i>Gnathia sp. praniza</i>	3	0	0	0
<i>Hexaplex trunculus</i>	1	0	1	5
<i>Nassarius reticulatus</i>	0	1	0	0
<i>Osilinus turbiratus</i>	0	1	0	0
Patella γόνοι	0	0	0	3
<i>Pilumnus hirtelus</i>	0	2	4	2
<i>Pisidia longimana</i>	1	2	2	1
Polychaeta	0	0	2	4
<i>Pusillina radiata</i>	3	0	0	0
<i>Rissoa sp1.</i>	0	2	0	0
<i>Rissoa splendida</i>	5	58	0	0
Serpulidae	98	273	423	460
Spirorpidae	2,732	11,593	11,715	9,398
<i>Stenosemus dolii</i>	1	0	2	2
Γόνοι αχινών	0	3	0	0
Κατεστραμμένα αμφίποδα	1	0	1	0

Πίνακας 3.2.3.2: Συγκεντρωτικά δεδομένα αφθονίας ατόμων εδραίας και προσκολλημένης πανίδας στο βιογενές υλικό δοκιμής ανά μήνα δειγματοληψίας

Table 3.2.3.2: Total data of abundance of individuals, of sessile and attached fauna on biogenic substrate per month of sampling

Taxa	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας
<i>Acanthochitona fascicularis</i>	0	1	0	0
<i>Alvania cimex</i>	0	5	2	0
<i>Alvania discors</i>	1	0	0	1
<i>Alvania lineata</i>	0	0	2	1
<i>Athanas nitescens</i>	0	1	0	0
<i>Bitium latreilli</i>	2	4	0	7
<i>Bitium reticulatum</i>	7	22	1	3
Cirripedia	40	80	81	131
<i>Corophium acutum</i>	1	0	0	0
<i>Dexamine spinosa</i>	2	0	0	0
<i>Ophiothrix fragilis</i>	3	0	0	0
<i>Gammarus sp.</i>	0	1	0	0
<i>Gibula adriatica</i>	6	0	1	0
<i>Gnathia sp.</i>	0	0	0	0
<i>Gnathia sp. praniza</i>	3	0	0	0
<i>Hexaplex trunculus</i>	1	0	1	5
<i>Nassarius reticulatus</i>	0	1	0	0
<i>Osilinus turbiratus</i>	0	1	0	0
Patella γόνοι	0	0	0	3
<i>Pilumnus hirtelus</i>	0	2	4	2
<i>Pisidia longimana</i>	1	2	2	1
<i>Polychaeta</i>	0	0	1	4
<i>Pusillina radiata</i>	0	0	0	0
<i>Rissoa sp1.</i>	0	2	0	0
<i>Rissoa splendida</i>	1	15	0	0
Serpulidae	35	177	237	217
Spirorpidae	1,524	8,057	7,821	6,142
<i>Stenosemus dolii</i>	1	0	2	2
Γόνοι αχινών	0	3	0	0
Κατεστραμμένα αμφίποδα	1	0	1	0

Πίνακας 3.2.3.3: Συγκεντρωτικά δεδομένα αφθονίας ατόμων εδραίας και προσκολλημένης πανίδας στο συμβατικό υλικό δοκιμής ανά μήνα δειγματοληψίας

Table 3.2.3.3: Total data of abundance of individuals, of sessile and attached fauna on conventional substrate per month of sampling

Taxa	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας
<i>Acanthochitona fascicularis</i>	0	0	0	0
<i>Alvania cimex</i>	0	0	0	0
<i>Alvania discors</i>	0	0	0	0
<i>Alvania lineata</i>	0	0	0	0
<i>Athanas nitescecns</i>	0	0	0	0
<i>Bitium latreilli</i>	0	6	0	0
<i>Bitium reticulatum</i>	9	19	1	0
Cirripedia	13	29	45	63
<i>Corophium acutum</i>	0	0	0	0
<i>Dexamine spinosa</i>	0	0	0	0
<i>Ophiothrix fragilis</i>	0	0	0	0
<i>Gammarus sp.</i>	0	0	0	0
<i>Gibula adriatica</i>	0	0	0	0
<i>Gnathia sp.</i>	0	0	0	0
<i>Gnathia sp. praniza</i>	0	0	0	0
<i>Hexaplex trunculus</i>	0	0	0	0
<i>Nassarius reticulatus</i>	0	0	0	0
<i>Osilinus turbiratus</i>	0	0	0	0
Patella γόννοι	0	0	0	0
<i>Pilumnus hirtelus</i>	0	0	0	0
<i>Pisidia longimana</i>	0	0	0	0
Polychaeta	0	0	1	0
<i>Pusillina radiata</i>	3	0	0	0
<i>Rissoa sp1.</i>	0	0	0	0
<i>Rissoa splendida</i>	4	43	0	0
Serpulidae	63	96	186	243
Spirorpidae	1,208	3,536	3,894	3,256
<i>Stenosemus dolii</i>	0	0	0	0
Γόννοι αχινών	0	0	0	0
Κατεστραμμένα αμφίποδα	0	0	0	0

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, M.J., Underwood, A.J., 1994. Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 184, 217–236.
- Antoniadou, C. and Chintiroglou C. (2001). Colonization pattern of the infralittoral hard substrate community in the North Aegean Sea (Chalkidiki, Greece). Preliminary results. *Rapp. Comm.int. Mer Médit.*, 36 : 351
- Antoniadou, C., Mnoudis G., Dounas, K., Kallianotis A., Vidoris, P., and Chintiroglou C.C, 2001 (a) The colonization of experimental artificial reefs, from the serpulids polychaetes, in the N. Aegean sea (Greece). Preliminary results. *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, Vol:36. p.352
- Ardizzone, G.D., Bombace G. and Pelusi P. (1982). Settlement and growth of *Mytilus galloprovincialis* Lamk on an artificial reef in the Tyrrhenian Sea. *Journé e Etud. Recifs Artif. et Maricult. suspend.*, Cannes, *Rapp. CIESM* : 59 – 61.
- Baggett, L.P., S.P. Powers, R. Brumbaugh, L.D. Coen, B. DeAngelis, J. Green, B. Hancock, and S. Morlock, 2014. Oyster habitat restoration monitoring and assessment handbook. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA, 96pp.
- Bakus, G.J. (1990). *Quantitative ecology and marine biology*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Barnard, L. (1958). Amphipod crustaceans as fouling organisms in Los Angeles long beach harbors, with reference to the influence of seawater turbidity. *California Fish and Game, Conservation of wildlife through education*, 44 (2): 161-169.
- Bohnsack, J.A 1989. Ecology of Artificial Reef Habitats and Fishes. In: *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. Academic Press. Chapter 3. Pp61-107
- Bombace, G. (1980). Experiments on artificial reefs in Italy. *GFCM/XV/80/21:11*.
- Bombace, G., 1987. Iniziative di protezione e valorizzazione della fascia costiera mediante barriere artificiali a fini multipli. *Atti della LIX Riunione SIPS, Genova, Italy, 28–31 October 1987* 201–233.
- Bombace, G., 1989. Artificial reefs in the Mediterranean Sea. *Bull. Mar. Sci.* 44 (2), 1023–1032.
- Bombace, G., Fabi G., Fiorentini L., and Speranza S. (1994). Analysis of the efficacy of the artificial reefs located in five different areas of the Adriatic Sea. *Bull. Mar. Science*, 55 (2- 3) : 559-580.
- Botkin, D.B., 1993. *Forest Dynamics – an Ecological Model*. Oxford University Press, Oxford, UK

- Bouchet, P.; Gofas, S.; Rosenberg, G. World Marine Mollusca database. Accessed through the World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=141167> on 9 August 2010
- Bougis, P. (1979). *Océanographie biologique appliquée, l'exploitation de la vie marine*. MASSON: 320
- Bourget, E., DeGuise, J., Daigle, G., 1994. Scales of substratum heterogeneity, structural complexity, and the early establishment of a marine epibenthic community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 181, 31–51.
- Bulleri, F., 2005. Experimental evaluation of early patterns of colonization of space on rocky shores and seawalls. *Mar. Environ. res.* 60, 355–374.
- Carral, L., Alvarez-Feal, J.C., Tarrío-Saavedra, J., Rodríguez-Guerreiro, M., Fraguera Formoso, J.: Social interest in developing a Green modular artificial reef structure in concrete for the ecosystems of the Galician rías. *J. Clean. Prod.* 172, 1881–1898 (2018)
- Carter, J.W., Carpenter A.L., Foster M.S., and Jessee W.N. (1985). Benthic succession on an artificial reef designed to support a Kelp-reef community. *Bull. Mar. Sci.*, 37: 86-113.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., (2001). *Change in Marine Communities. An Approach to Statistical Analysis & Interpretation: Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.*
- Coen, L. D., and Luckenbach M.W. (2000). Developing success criteria and goals for evaluating oyster reef restoration: Ecological function or resource exploitation? *Ecological Engineering* 15: 323–343.
- Connel, JH, Slatyer, RO, 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111. p.1119-1144
- Daniels, L.C., Holmes, J.M.C., Wilson, J.G., 2009. *Paradoxostoma anglicorum* (Crustacea: Ostracoda) and *Monocorophium acherusicum* (Crustacea: Amphipoda), new to Ireland from Malahide Marina, Co. Dublin. *Ir. Nat. J.* 30, 32–34.
- De Brito, J., Saikia, N.: *Recycled aggregate in concrete: green energy and technology*. Springer-Verlag, London (2013)
- Dean, R.L., Connell, J.H., 1987a. Marine invertebrates in an algal succession. I. Variations in abundance and diversity with succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 109, 217–247. Dean, R.L., Connell, J.H., 1987b. Marine invertebrates in an algal succession. II. Tests of hypotheses to explain changes in diversity with succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 109, 217–247. Dean, R.L., Connell, J.H., 1987c. Marine invertebrates in an algal succession. III. Mechanisms linking habitat complexity with diversity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 109, 217–247.

- Dean, T.A., Hurd, L.E., 1980. Development in an estuarine fouling community: the influence of early colonists on later arrivals. *Oecologia* 46, 295–301.
- Encarnaçãõ J, Calado G (2018) Effects of recreational diving on early colonization stages of an artificial reef in North-East Atlantic. *J Coast Conserv* 22(6):1209– 1216
- Fabi G, Spagnolo A, Bellan-Santini D, Charbonnel E, Çiçek BA, Goutayer García JJ, Jensen AC, Kallianiotis A, Neves dos Santos M (2011) Overview on Artificial Reefs in Europe. *Braz J Oceanogr* 59:155–166
- Fabi, G., Fiorentini L., and Giannini S. (1989). Experimental shellfish culture on an artificial reef in the Adriatic Sea. *Bulletin of Marine Science* 44 (2) : 923 – 933.
- Fernández, J.B.G., Rosario, M., Mora, R.G., Novo, F.G., 2004. Vegetation dynamics of Mediterranean shrublands in former cultural landscape at Grazalema mountains south Spain. *Plant Ecol.* 172, 83–94.
- Field, S.N., Glassom, D., Bythell, J., 2007. Effects of artificial settlement plate materials and methods of deployment on the sessile epibenthic community development in a tropical environment. *Coral Reefs* 26, 279–289.
- Finegan, B., 1984. Forest succession. *Nature* 312, 109–114.
- Fitzsimons, James & Branigan, Simon & Brumbaugh, Robert & Mcdonald, Tein & zu Ermgassen, Philine. (2019). Restoration Guidelines for Shellfish Reefs. 10.13140/RG.2.2.22511.38563.
- Firth LB, Thompson RC, Bohn K, Abbiati M, Airoidi L, Bouma TJ, Bozzeda F, Ceccherelli VU, Colangelo MA, Evans A, Ferrario F, Hanley ME, Hinz H, Hoggart SPG, Jackson JE, Moore P, Morgan EH, Perkol-Finkel S, Skov MW, Strain EM, van Belzen J, Hawkins SJ (2014) Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures. *Coast Eng* 87:122–135
- Gambi, M. C., Lorenti, M., Russo, G. F., Scipione, M. B., & Zupo, V. (1992). Depth and Seasonal Distribution of Some Groups of the Vagile Fauna of the *Posidonia oceanica* Leaf Stratum: Structural and Trophic Analyses. *Marine Ecology*, 13(1), 17–39
- Geiger, Daniel L.. (2006). *Marine Gastropoda*.
- Glenn-Lewin, D.C. van der Maarel, E. 1992. Patterns and process of vegetation dynamics. In: Glenn-Lewin, D.C., Peet, R.K. & Veblen, T.T. (Eds.). *Plant succession. Theory and prediction*. p. 11-44. Chapman & Hall, London. 345 pp
- Gonzalez-Duarte MM, Fernandez-Montblanc T, Bethencourt M, Izquierdo A (2018) Effects of substrata and environmental conditions on ecological succession on historic shipwrecks. *Estuar Coast Shelf Sci* 200:301–310

- H. Pickering, D. Whitmarsh (1997).«Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the ‘attraction versus production’ debate, the influence of design and its significance for policy».
- Hata, H., Nishihira, M., 2002. Territorial damselfish enhances multi-species co-existence of foraminifera mediated by biotic habitat structuring. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 270, 215–240.
- Herbert RJH, Collins K, Mallinson J, Hall AE, Pegg J, Ross K, Clarke L, Clements T (2017) Epibentic and mobile species colonisation of a geotextile artificial surf reef on the south coast of England. *PLoS One* 12(9):1–28
- Heip, C.H.R. & Vincx, M. & Vranken, Guido. (1985). The ecology of marine nematodes. *Oceanography and marine biology*. 23. 399-489.
- Hirata, T., 1987. Succession of sessile organisms on experimental plates immersed in Nabeta Bay, Izu Peninsula, Japan. II. Succession of invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 38, 25–35..
- Jacobi, C.M., Langevin, R., 1996. Habitat geometry of benthic substrata: effects on arrival and settlement of mobile epifauna. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 206, 39–54.
- Jiang, Z.; Liang, Z.; Zhu, L.; Liu, Y. Numerical simulation of effect of guide plate on flow field of artificial reef. *Ocean Eng.* 2016, 116, 236–241. [CrossRef]
- Johnson, E.A., 1979. Succession an unfinished revolution. *Ecology*, 60, 238–240
- Kenchington R.A., 1988. Managing reefs and inter-reefal environments and resources for sustained exploitative, extractive and recreational uses. In: Choat JH et al (eds) *Proc 6th int coral Reef Symp. Vol. 1. Symposium Executive Committee, Townsville*, pp 81-87
- Koenig, C.C. (2001). *Oculina banks: Habitat, fish populations, restoration and enforcement. Project Report. South Atlantic Fishery Management Council, Charleston, South Carolina.*
- Kohler, K.E. and S.M. Gill, 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, Vol. 32, No. 9, pp. 1259–1269
- Komyakova V, Chamberlain D, Jones GP, Swearer SE (2019) Assessing the performance of artificial reefs as substitute hábitat for temperate reef fishes: Implications for reef design and placement. *Sci Total Environ* 668:139–152
- Lavender JT, Dafforn KA, Bishop MJ, Johnston EL (2017) Small-scale habitat complexity of artificial turf influences the development of associated invertebrate assemblages. *J Exp Mar Biol Ecol* 492:105–112

- Lee MO, Otakeb S, Kim JK (2018) Transition of artificial reefs (ARs) research and its prospects. *Ocean Coast Manag* 154:55–65
- Lee, M.O.; Otake, S.; Kim, J.K. Transition of artificial reefs (ARs) research and its prospects. *Ocean Coast. Manag.* 2018, 154, 55–65. [CrossRef]
- Leewis, R.J., Waardenburg, H.W., Meijer, A.J.M., 1989. Active management of an artificial rocky coast. *Hydrobiologia* 23, 91–99
- Leonora, Rodríguez-Sevilla & Vargas, Rita & Cortés, Jorge. (2009). Benthic, Shelled Gastropods. 86. 10.1007/978-1-4020-8278-8_31.
- Limpenny, D.S., Foster-Smith, R.L., Edwards, T.M., Hendrick, V.J., Diesing, M., Eggleton, J.D., Meadows, W.J., Crutchfield, Z., Pfeifer, S., Reach, I.S., 2010. Best methods for identifying and evaluating *Sabellaria spinulosa* and cobble reef. Aggregate Levy Sustainability Fund Project MAL0008. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Liu L, Du R, Zhang X, Dong S, Sun S (2017) Succession and seasonal variation in epilithic biofilms on artificial reefs in culture waters of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Chin J Oceanol Limnol* 35(1):132–152
- Liversage K, Victoria C, Coleman R, McQuaid C (2017) Availability of microhabitats explains a widespread pattern and informs theory on ecological engineering of boulder reefs. *J Exp Mar Biol Ecol* 489:36–42
- Luis Manuel Carral Couce , María Jesús Rodríguez Guerreiro , José Angel Fraguera Formoso , Jose Carlos Alvarez-Feal and Almudena Filgueira Vizoso (2019) Green Artificial Reef PROARR: Repopulation of Coastal Ecosystems and Waste Recycler of the Maritime Industries
- Malhotra, V.M., Bilodeau, A.: High-volume fly ash system: the concrete solution for sustainable development. In: Mehta, P.K. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on “Concrete Technology for Sustainable Development in the Twenty-First Century”*, pp. 43– 64. Radha Press, New Delhi, India (1999)
- Manning Thomas, Butler Brittany, Calvin Aaron, Plummer Sydney, Baker Tess, Manning Morgan (2015), Application of green technology techniques to construct a biodegradable artificial reef.
- Manoudis, G., Antoniadou, C., Dounas, K., Chintiroglou, C., 2005. Successional stages of experimental artificial reefs deployed in Vistonikos gulf (N. Aegean Sea, Greece): Preliminary results. *Belg. J. Zool.* 135, 209–215
- Megan La Peyre, Jessica Furlong, Laura A. Brown, Bryan P. Piazza, Ken Brown, Oyster reef restoration in the northern Gulf of Mexico: Extent, methods and outcomes, *Ocean & Coastal Management*, Volume 89, 2014, Pages 20-28, ISSN 0964-5691

- Menge, B.A., 1975. Ecological implications of patterns of rocky intertidal community structure and behavior along an environmental gradient. In: Costlow, J.D. (Ed.), *The ecology of fouling communities*. Duke University Marine Laboratory, Beaufort, North Carolina, USA, pp. 155–180.
- Meyer KS, Brooke SD, Sweetman AK, Wolf M, Young CM (2017) Invertebrate communities on historical shipwrecks in the western Atlantic: relation to islands. *Mar Ecol Prog Ser* 566:17–29
- Moens, Tom & Braeckman, Ulrike & Derycke, Sofie & Fonseca, Gustavo & Gallucci, Fabiane & Gingold, Ruth & Guilini, Katja & Ingels, Jeroen & Leduc, Daniel & Vanaverbeke, Jan & Van Colen, Carl & Vanreusel, Ann & Vincx, Magda. (2013). Ecology of free-living marine nematodes. 10.1515/9783110274257.109.
- Molokwu, N.D.; Vaz, P.G.; Bradshaw, T.; Blake, A.; Hennessey, C.; Merten, E. Effects of substrate on the benthic macroinvertebrate community: An experimental approach. *Ecol. Eng.* 2014, 73, 109–114. [CrossRef]
- Navarro-Barranco C, Guerra-García JM, Sanches-Tocino L, Ros M, Florido M, García-Gómez JC (2015) Colonization and successional patterns of the mobile epifaunal community along an environmental gradient in a marine cave. *Mar Ecol Prog Ser* 521:105–115
- Noh J, Ryu J, Lee D, Khim JS (2017) Distribution characteristics of the fish assemblages to varying environmental conditions in artificial reefs of the Jeju Island, Korea. *Mar Pollut Bull* 118:388–396
- OSPAR Commission (2009) Assessment of construction or placement of artificial reefs. Biodiversity Series, Reino Unido, p 27
- Pacheco AS, Laudien J, Thiel M, Oliva M, Heilmayer O (2011) Succession and seasonal onset of colonization in subtidal hard-bottom communities off northern Chile. *Mar Ecol* 32(1):75 –87
- Perkol-Finkel S, Benayahu Y (2005) Recruitment of benthic organisms onto a planned artificial reef shifts in community structure on decade post deployment. *Mar Environ Res* 59:79 –99
- Perry, D.A., 1994. *Forest Ecosystems*. Baltimore: The Johns Hopkins University
- Pickett, S.T.A., Parker, V.T., Fiedler, P.L., 1992. The new paradigm in ecology: implications for conservation biology. In: *Conservation Biology: the Theory and Practice of Nature Conservation, Preservation and Management* (eds Fiedler, P.L. & Jain, S.K.
- Pitcher, T. J., Buchary E.A. and Hutton T. (2002). Forecasting the benefits of notake human-made reefs using spatial ecosystem simulation. *ICES Journal of Marine Science* 59(Supplement): S17–S26.

- Ponti M, Fava F, Perlini RA, GiovaNTARdi O, Abbiati M (2015) Benthic assemblages on artificial reefs in the northwestern Adriatic Sea: Does structure type and age matter? *Mar Environ Res* 104:10 –19
- Pratt J.R., 1994. Artificial habitats and ecosystem restoration: managing for the future. *Bulletin of Marine Science*, (55): 268-275.
- Putnam, R.J. (1994). *Community Ecology*. London: Chapman and Hall
- Ramos-Esplá A.A., Guillén J.E., Bayle J.T., SÁnchez-JÉrez P. (2000) Artificial Anti-trawling Reefs off Alicante, South- Eastern Iberian Peninsula: Evolution of Reef Block and Set Designs. In: Jensen A.C., Collins K.J., Lockwood A.P.M. (eds) *Artificial Reefs in European Seas*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4215-1_12
- Rapp de Eston, V., Bussab, W.O., 1990. An experimental analysis of ecological dominance in a rocky subtidal macroalgal community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 136, 170–195
- Relini, G., Relini, M., Torchia, G. & Palandri, G., 2002. Ten years of censuses of fish fauna on the Loano artificial reef. *ICES Journal of Marine Science*, (59): 132-137.
- Riggio, S., Badalamenti, F., Chemello, R. & Gristina, M., 1986. Zoobenthic colonisation of a small artificial reef in southern Tyrrhenian: results of a three-year survey. *GFCM FAO Fishery Reports*, No.357 (FIOL/R357), pp. 109-119
- Rilov G. & Benayahu Y., 2000. Fish assemblage on natural versus vertical artificial reefs: the rehabilitation perspective. *Marine Biology*, (136): 931-942
- Rosental Zalmon I, Saleme de Sá F, Dornellas Neto EJ, de Rezende CE, Machado Mota P, Marques de Almeida TC (2014) Impacts of artificial reef spatial configuration on infaunal community structure - southeastern Brazil. *J Exp Mar Biol Ecol* 454:9 –17
- Seaman, W.J and Jensen A. 2000. Purposes and Practices of Artificial Reef Evaluation, In: *Artificial Reef Evaluation with application to Natural Marine Habitats*. Seaman, W.J (Ed.). CRC Press, Chapter 1, pp.1-19.
- Silva Lima J, Antunes Zappesc C, Madeira Di Benedittoa AP, Rosental Zalmon I (2018) Artisanalfisheries and artificial reefs on the southeast coast of Brazil Contributions to research and management. *Ocean Coast Manag* 163:372 – 382
- Simard, E (1986). Un nouveau plan de d6veloppement pour les p6ches au Japon: le Marinovation. (A new development plan for Japanese fisheries: 'marinovation') *La P~che Maritime*, 1297, 260-70.
- Spagnolo A, Cuicchi C, Punzo E, Santelli A, Scarcella G, Fabi G (2014) Patterns of colonization and succession of benthic assemblages in two artificial substrates. *J Sea Res* 88:78 –86

- Stiling, P. D., 1996. Ecology: theories and applications. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- Stone, R.B., McGurrin, J.N., Sprague, L.M. and Seaman, W. Jr. (1991). Artificial habitats of the world : synopsis and major trends. Pp 31-60 in Seaman, W. and Sprague, L.M. (eds.) Artificial habitats for marine and freshwater fisheries. Academic Press, 285p.
- Subcommittees, Artificial Reef, Ronald R. Lukens, and Carrie Selberg. "Guidelines for marine artificial reef materials." Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions (2004): 1-4.
- Svane, I.; Petersen, J.K. On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review. *Mar. Ecol.* 2001, 22, 169–188. [CrossRef]
- Tansley, A.G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16, 284-307
- Toledo, M.I.; Torres, P.; Díaz, C.; Zamora, V.; López, J.; Olivares, G. Ecological succession of benthic organisms on niche-type artificial reefs. *Ecol. Process.* 2020, 9, 38. [CrossRef]
- Turner, M.G., Wear, D.N., Flamm, R.O., 1996. Land ownership and land-cover change in the Southern Appalachian Highlands and the Olympic Peninsula. *Ecol. Appl.* 6, 1150–1172
- Uotila, A., Kouki, J., 2005. Understorey vegetation in spruce – dominated forests in eastern Finland and Russian Karelia: successional patterns after anthropogenic and natural disturbances. *For. Ecol. Manag.* 215, 113–137
- Wear, D.N., Turner, M.G., Flamm, R.O., 1996. Ecosystem management with multiple owners: landscape dynamics in a southern Appalachian watershed. *Ecol. Appl.* 6, 1173–1188
- Wieczorek, S.K., Todd, C.D., 1997. Inhibition and facilitation of bryozoan and ascidian settlement by natural multi-species biofilms: effects of film age and the roles of active and passive larval attachment. *Mar. Biol.* 128, 463–473.
- Yu, J.; Chen, P.; Tang, D.; Qin, C. Ecological effects of artificial reefs in Daya Bay of China observed from satellite and in situ measurements. *Adv. Space Res.* 2015, 55, 2315–2324. [CrossRef]
- Ντούνας, Κ. (1998). Κατασκευή υφάλων και δημιουργία προστατευόμενης αλιευτικής ζώνης στην ευρύτερη περιοχή από Βιστωνικό κόλπο έως Ακρ. Μαρώνια. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – Τεχνική Έκθεση, Τμήμα Τεχνολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος Ι.ΘΑ.ΒΙ.Κ., 64 σελ.

- Ντούνας, Κ. και Καλιανιώτης, Α. 1997. Κατασκευή αλιευτικού πάρκου τεχνητών υφάλων και δημιουργία προστατευόμενης αλιευτικής ζώνης στις ακτές της Θράκης. Αλιευτικά Νέα, τ. 197, σελ. 50-55.