



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ –
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης ευαίσθητων βενθικών
οικοσυστημάτων στον κόλπο του Ηρακλείου**

Μανώλης Μωραΐτης

Ηράκλειο, 2014



UNIVERSITY OF CRETE

BIOLOGY DEPARTMENT

POST DRADUATE PROGRAM

**ENVIRONMENTAL BIOLOGY-MANAGEMENT OF TERRESTRIAL AND
MARINE RESOURCES**

MASTER OF SCIENCE THESIS

Ecological status evaluation of sensitive benthic marine
ecosystems in Heraklion bay

Manolis Moraitis

Heraklion, 2014

Εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέπων Καθηγητής:

I. Καρακάσης (Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης)

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

N. Λαμπαδαρίου (Ερευνητής Β΄, Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ)

X. Αρβανιτίδης (Ερευνητής Β΄, Ινστιτούτου Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών ΕΛΚΕΘΕ)

Board of examination:

Supervising professor

Dr. Ioannis Karakassis (Proferssor at the University of Crete)

Members of board of examination:

Dr. Nikolaos Lampadariou (Senior researcher - HCMR)

Dr. Christos Arvanitidis (Senior researcher - HCMR)

Περίληψη

Η οικολογική κατάσταση σε δυο σταθμούς στην βόρεια ακτή του Ηρακλείου με το οικοσύστημα της τραγάνας (maerl beds) αξιολογήθηκε με την χρήση του δείκτη BQI-Family που βασίζεται στην μακροπανιδική σύσταση ως «καλή» αν και παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις τιμές του δείκτη ανάμεσα στους σταθμούς. Ο αριθμός ατόμων και η αφθονία οικογενειών δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές. Η παρουσία των δυο φυκών *Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera* στον ένα σταθμό είχε ως αποτέλεσμα την εντονότερη παρουσία ευκαιριακών οικογενειών χωρίς ωστόσο να αλλάζει η οικολογική κατάσταση του σταθμού. Η παρουσία φυτικών οργανισμών σε ένα φαινομενικά απλό βενθικό οικοσύστημα αποτελεί παράγοντα αύξησης της ετερογένειας τους περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να σημειώνεται μια αύξηση στην ποικιλότητα και στον αριθμό ειδών. Σε ετερογενή και ευαίσθητα οικοσυστήματα (όπως η τραγάνα) η εισβολή ξενικών ειδών όπως το *Caulerpa racemosa* και η έντονη παρουσία άλλων ανταγωνιστικών φυκών όπως το *Caulerpa prolifera* επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα με την ομογενοποίηση του τρισδιάστατου χώρου και την επικείμενη πτώση του αριθμού ειδών. Στην παρούσα μελέτη το πιο πάνω φαινόμενο δεν ήταν έντονο και αν και παρατηρήθηκε σημαντική πτώση στις τιμές της οικολογικής κατάστασης εντούτοις δεν ήταν αρκετή ώστε να αλλάξει την «καλή» κατάταξη των ενδιατημάτων.

Abstract

The ecological status of two stations with maerl beds located at the south site of Heraklion bay, was evaluated as “good”, even though important statistical differences of the index in use were observed. Also, there weren't any major changes in family number or the number of individuals among the stations. The presence of two species of sea algae (*Caulerpa racemosa* and *Caulerpa prolifera*) in one station resulted in the increase of opportunistic families, although the overall ecological condition of the habitat was not affected. Plants and algae organisms in relatively simple benthic ecosystems, improve the complexity of the ecosystem resulting in an increase of species number and diversity. In sensitive marine ecosystems (in our case, maerl beds) the invasion of alien species such as *Caulerpa racemosa* and the presence of other competitive algae such as *Caulerpa prolifera* promotes the homogenization of the habitat and the results in the decrease of species number. In this study the above phenomenon was not observed, and the decrease of the sensitivity values was not sufficient in order to change the ecological status of the habitat.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	σελ 8-13
2. Υλικά και Μέθοδοι	σελ 14-18
2.1 Μακροπανιδική ανάλυση.....	σελ 15
2.2 Ανάλυση ιζήματος.....	σελ 16
2.3 Ανάλυση δεδομένων.....	σελ 17
2.4 Δείχτες ποικιλότητας.....	σελ 17-18
3. Αποτελέσματα	σελ 19-28
3.1 Ανάλυση ιζήματος.....	σελ 19
3.2 Ανάλυση δεδομένων.....	σελ 20-25
3.3 Δείχτες ποικιλότητας.....	σελ 26-29
4. Συζήτηση	σελ 30-34
5. Βιβλιογραφία	σελ 35-37

Εισαγωγή

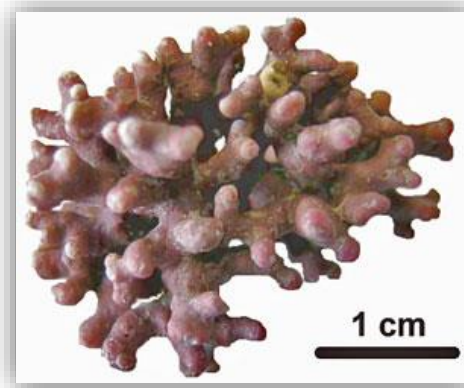
Η αποτελεσματική διαχείριση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων αποτελεί παγκόσμιο στόχο και η παρούσα τάση στην Ευρώπη εστιάζεται στον καθορισμό Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών (Marine Protected Areas – MPAs). Οι προστατευόμενες θαλάσσιες περιοχές στην Μεσόγειο είναι μικρής έκτασης και πολύ συχνά αναποτελεσματικές εξαιτίας της έλλειψης πολιτικής και οικονομικής υποστήριξης. Στα μέτρα προστασίας και διατήρησης των θαλάσσιων περιοχών περιλαμβάνονται: η βασική έρευνα, κατάλογοι ειδών και πληροφορίες από προγράμματα παρακολούθησης βιοποικιλότητας (Agardy 2000). Επομένως, ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών και προγραμμάτων παρακολούθησης επικεντρώνεται σε ποσοτικές και ποιοτικές αλλαγές των ενδιαιτημάτων σε τοπικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. (Barbera et al. 2012). Αλλαγές στην βιοποικιλότητα επηρεάζουν τις διεργασίες των οικοσυστημάτων με διάφορους τρόπους όπως για παράδειγμα με αλλαγές στην δομή των βιοκοινοτήτων, των πόρων, των τροφικών πλεγμάτων και την απώλεια ειδών «κλειδιά» (keystone species) (Gray 1997; Huston 1997; Hooper et al. 2002; Paine 2002; Barbera et al. 2012). Επομένως η παρακολούθηση της βιοποικιλότητας και η αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης αποτελεί αναγκαίο εργαλείο για ορθή διαχείριση.

Τα maerl beds ή στην ελληνική γλώσσα «τραγάνα» είναι όρος που περιγράφει βιογενείς σχηματισμούς κοραλλιογενούς τύπου αποτελούμενους από ασβεστοποιημένα ροδοφύκη της τάξης Corallinales (Corallinaceae: Rhodophyta) (Scibberas et al. 2009), ένα οικοσύστημα που εμπίπτει στις θαλάσσιες προστατευόμενες περιοχές (MPAs). Στην Ευρώπη οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται κυρίως από τα είδη *Phymatolithon calcareum* (Εικόνα 1) και *Lithothamnion corallioides* (Εικόνα 2). Απαντώνται σε μαλακό υπόστρωμα σε όλη τη Μεσόγειο θάλασσα και είναι σποραδικά κατανεμημένοι από την Πορτογαλία μέχρι και τη

Νορβηγία στις περιοχές που βρέχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό και πιο σπάνια στο κανάλι της Μάγχης, τη θάλασσα της Ιρλανδίας, τη Νότια θάλασσα και την Βαλτική (De Grave et al. 2000; Hall – Spencer. 1998).



Εικόνα 1. *Phymatolithon calcareum*



Εικόνα 2. *Lithothamnion corallioides*

Τα ενδιαιτήματα αυτά χαρακτηρίζονται από χαμηλό ρυθμό αύξησης (περίπου 0,1 – 1mm τον χρόνο) ρυθμός παρόμοιος με αυτόν άλλων ευαίσθητων ενδιαιτημάτων όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι. Οι εναποθέσεις τραγάνας επομένως χρειάζονται εκατοντάδες χρόνια για να δημιουργηθούν και για αυτό τον λόγο συμπεριλαμβάνονται στις μη ανανεώσιμες πηγές (Barbera et al. 2003). Τα maerl beds για να αναπτυχθούν απαιτούν φως για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και διαυγή νερά με παρουσία ρευμάτων. Οι Sciberras et al. (2009) σημειώνουν ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των Maerl beds είναι: το φως, η θερμοκρασία και η αλατότητα.

Από οικολογικής πλευράς τα maerl beds αποτελούν σημαντικά ενδιαιτήματα με ψηλά επίπεδα βιοποικιλότητας (Riera et al. 2012) και συμβάλουν στην διατήρηση του pH της θάλασσας εξαιτίας της μεγάλης ανθρακικής κατακράτησης (carbonate retention capacity)

(Aguado-Gimenez and Fernandez 2012). Επίσης αποτελούν σημεία εκκόλαψης (nursing grounds) για πολλά εμπορικά είδη όπως ο μπακαλιάρος (*Gadus morhua*) ο κάβουρας *Cancer pagurus*, και τα κτένια (*Aequipecten opercularis*, *Pecten maximus*) (Thouzeau 1991; Hall-Spencer et al. 2003; Steller et al. 2003, Barbera et al. 2003). Επίσης τα Μεσογειακά maerl beds έχουν καταγραφεί ως σημαντικά ενδιαιτήματα διαβίωσης πολλών βενθοπελαγικών (demersal) ψαριών και κεφαλόποδων (Massuti et al. 1996; Borg et al. 1998; Barbera et al. 2003). Πέραν από την οικολογική τους αξία, τα maerl beds έχουν και οικονομική αξία καθώς σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες γίνεται εξόρυξη από ζωντανά αλλά και νεκρά στρώματα και εκμετάλλευση σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας όπως στην γεωργία σαν λίπασμα.

Παρά την οικονομική και οικολογική τους σημασία, τα maerl beds απειλούνται από μια πληθώρα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Δημιουργία τεχνητών ακτών, παράκτιες δομές που αλλοιώνουν την φύση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (πχ. κυματοθραύστες, λιμάνια), αστικά ή βιομηχανικά λύματα που εναποτίθενται στην θάλασσα, η αλιεία, διεργασίες εκβάθυνσης λιμανιών, και εξόρυξη για εκμετάλλευση στον τομέα της γεωργίας ως λίπασμα είναι μερικές από τις απειλές που αντιμετωπίζουν τα ενδιαιτήματα αυτά. Ακόμη ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών και τα είδη-εισβολείς αποτελούν τις πιο σύγχρονες προσθήκες στην λίστα με τις απειλές (Barbera et al. 2003).

Η σημασία της διαχείρισης των maerl beds έχει αναγνωριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την θέσπιση νομοθετικών κειμένων όπως η Οδηγία του Συμβουλίου (Council Directive) 92/43/EEC και το Παράρτημα V, αλλά και από διεθνείς συμβάσεις όπως: Convention for the protection of the Mediterranean Sea against pollution 1976, Bern Convention 1996 και OSPAR convention 1998 (Barbera et al. 2003). Επίσης, υιοθετήθηκε μέσα στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για την Μεσόγειο θάλασσα (UNEP-MAP) ένα ειδικό σχέδιο δράσης για την προστασία των μεσογειακών maerl beds όπως και άλλων κοραλλιογενών σχηματισμών (coralligenous assemblages) (Agnesi et al.

2009). Στο προσεχές μέλλον τα μεσογειακά maerl beds πρόκειται να συμπεριληφθούν σε καταλόγους διεθνών απογραφών σε θέματα διατήρησης, όπως απαιτήθηκε από το πρωτόκολλο SPABIM (SPABIM protocol of the Barcelona Convention).

Οι βιολογικές εισβολές σε θαλάσσια ενδιαιτήματα αντιπροσωπεύουν ένα από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ανθρωπογενών παγκόσμιων αλλαγών (Vitousek et al. 1996, 1997; Occhipinti-Ambrogi and Savini 2003) και αιτία για δραματικές οικολογικές επιπτώσεις (Carlton 1989, 1999; Abrams 1996; Grosholz 2002). Τα εισβάλλοντα είδη είναι ικανά να επηρεάσουν πληθυσμούς ορισμένων αυτοχθόνων ειδών μέσω αλλαγών στην συμπεριφορά και στην μορφολογία αλλά και ολόκληρη την οργάνωση μιας βιοκοινότητας. Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των ειδών εισβολέων σχετίζονται με την αλλοίωση της βιοποικιλότητας (Bax et al. 2003). Η απώλεια της α-ποικιλότητας και β-ποικιλότητας μπορεί να οδηγήσει σε ομογενοποίηση των οικοσυστημάτων (Pacciardi et al. 2011).

Στην Μεσόγειο πάνω από 60 είδη μακροφυκών έχουν εισαχθεί με την βοήθεια της διεθνούς ναυτιλίας, υδατοκαλλιέργειες και της διάνοιξης της διώρυγας του Σουέζ (Ribera & Boudouresque 1995). Ορισμένα από αυτά καταφέρνουν να ευδοκιμήσουν στα κοραλλιογενή περιβάλλοντα συμπεριλαμβανομένων και των maerl beds. Μέχρι στιγμής στην Μεσόγειο θάλασσα τα είδη που έχει θεωρηθεί ότι απειλούν τα ενδιαιτήματα αυτά είναι κυρίως είδη μακροφυκών προερχόμενα από την Ερυθρά θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ. Τα είδη του γένους *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyta) (Εικόνες 3 και 4) αποτελούν τις πιο γνωστές περιπτώσεις ειδών-εισβολέων στην Μεσόγειο όσο αφορά την επιφάνεια εξάπλωσης και τις επιπτώσεις τους στο οικοσύστημα. Είδη του γένους αυτού είναι ικανά να εξαπλωθούν σε όλων των ειδών τα υποστρώματα, έχουν υψηλό βαθμό αγενούς πολλαπλασιασμού και είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά εξαιτίας αλληλοπαθητικών ουσιών και της ικανότητας υπερανάπτυξης. Η διασπορά του είδους *Caulerpa racemosa* και οι επιπτώσεις του στις βενθικές κοινότητες έχουν μελετηθεί κυρίως σε ενδιαιτήματα με σκληρό υπόστρωμα (Piazzi

et al. 2001; Piazzzi and Balata 2007,2009; Klein and Verlaque 2009), σε αντίθεση με τα ενδιαιτήματα μαλακού υποστρώματος όπου οι μελέτες είναι πολύ λιγότερες και πολλές φορές περιορισμένες στις επιπτώσεις σε συγκεκριμένα είδη (Argyrou et al. 1999; Buia et al. 2001; Sandulli et al. 2004;Vazquez-Luis et al. 2009). Η εξάπλωση του φύκους *Caulerpa racemosa* αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα πως εισαγόμενα είδη είναι ικανά να διαμορφώνουν Μεσογειακά ενδιαιτήματα και αυτή εξάπλωση μπορεί να εξηγηθεί εξαιτίας των επιτυχημένων αναπαραγωγικών στρατηγικών (αγενής και εγγενής) σε αντίθεση με άλλα είδη όπως το *Caulerpa taxifolia*. (Panayotidis and Zuljevic 2001, Renoncourt and Meinesz 2002, Vazquez-Luis et al. 2009). Οι Argyrou et al. (1999) αφήνουν ανοικτά πολλά μέτωπα για τους πιθανούς λόγους εξάπλωσης του είδους *Caulerpa racemosa* με τους σημαντικότερους να είναι η εισροή θρεπτικών μέσο λυμάτων ή μέσο μονάδων υδατοκαλλιεργειών που βρίσκονταν κοντά στην περιοχή. Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι επίσης ένα σενάριο που προτάθηκε (Argyrou et al. 1999) για ερμηνεία της μετανάστευσης οργανισμών φυτικής προέλευσης από την διόρυγα του Σουέζ που σε συνδυασμό με την υψηλή αλατότητα στην λεκάνη της Μεσογείου δημιουργούνται οι ιδανικές συνθήκες για επικράτηση των ειδών αυτών.

Στόχοι τις παρούσας εργασίας ήταν οι εξής:

- Απογραφή της βενθικής ποικιλότητας σε δύο περιοχές που καλύπτονται από βιογενή ενδιαιτήματα τύπου maerl
- Αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των δυο περιοχών με βάση δείκτες που έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της οικολογικής κατάστασης στα πλαίσια της οδηγίας-πλαίσιο για τα νερά (Water Framework Directive ή WFD).
- Αξιολόγηση των αλλαγών που επιφέρει στις ως άνω βιοκοινότητες η παρουσία των ειδών *Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera*.



Εικόνα 3. *Caulerpa racemosa*



Εικόνα 4. *Caulerpa prolifera*

Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή δειγματοληψίας

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας επιλέχθηκαν δυο σταθμοί δειγματοληψίας στην βόρεια ακτή του νομού Ηρακλείου. Στόχος της δειγματοληψίας ήταν η αναζήτηση του οικοσυστήματος της τραγάνας και για αυτό επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι σταθμοί. Ο ένας σταθμός βρισκόταν κοντά στον κόλπο του Ηρακλείου με την κωδική ονομασία «1ANI» και ο άλλος στην περιοχή Ανισαρά ανατολικά του κόλπου με την κωδική ονομασία «2UMX2» (Εικόνα 5). Από τον σταθμό 1ANI συλλέχθηκαν τέσσερα δείγματα (replicates) και από τον σταθμό 2UMX2, έξι. Οι σταθμοί είχαν βάθος 70 και 75 μέτρα αντίστοιχα. Κοινό χαρακτηριστικό αυτών των σταθμών ήταν η παρουσία τραγάνας (*maerl*). Στον σταθμό 2UMX2 βρέθηκαν δυο είδη του γένους *Caulerpa* και αποφασίστηκε να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις τους στις βενθικές κοινότητες. (*Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera*). Το *C.racemosa* βρέθηκε στα δείγματα B,C και D και το *C.prolifera* στο δείγμα E. Η δειγματοληψία έλαβε χώρα με την βοήθεια του ερευνητικού σκάφους «ΦΙΛΙΑ» του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών τον Δεκέμβριο του 2012.



Εικόνα 5. Σταθμοί δειγματοληψίας

Μακροπανιδική ανάλυση

Από τον σταθμό 1ANI συλλέχθηκαν με την χρήση του δειγματολύπτη Smith-McIntyre ($0,1\text{m}^2$) τέσσερα επαναληπτικά δείγματα (replicate units) μακροπανίδας και από τον σταθμό 2UMX2, έξι. Ακολούθως έλαβε χώρα διαδοχικό κοσκίνισμα του ίζηματος με την χρήση κόσκινων 1 και $0,5\text{mm}$. Το ίζημα που κατακρατήθηκε στα κόσκινα τοποθετήθηκε σε δοχεία με λίγο θαλασσινό νερό. Για την συντήρηση τους χρησιμοποιήθηκε διάλυμα φορμόλης 4% . Επίσης πραγματοποιήθηκε χρώση της οργανικής ύλης των δειγμάτων με την βοήθεια της χρωστικής Rose Bengal. Έπειτα τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Θαλάσσιας Οικολογίας του τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης για αναγνώριση και ταξινόμηση των βενθικών οργανισμών. Το στάδιο διαλογής των οργανισμών περιλάμβανε την συλλογή τους από το ίζημα με την βοήθεια επιτραπέζιου μεγεθυντικού φακού και την ταξινόμηση τους στα κυριότερα φύλα. Το επόμενο στάδιο αφορούσε την ταξινόμηση των

ατόμων (των φύλων: Πολύχαιτοι, Μαλάκια, Καρκινοειδή, Σιπούγκουλα και Εχινοδερμα) σε επίπεδο οικογένειας με την βοήθεια στερεοσκοπίου, ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και μιας πληθώρας κλειδών.

Ανάλυση ιζήματος

Για τις αναλύσεις ιζήματος προκειμένου να προσδιοριστούν οι τιμές διαφόρων γεωχημικών μεταβλητών συνελέγησαν δείγματα ιζήματος με χρήση πλαστικών πυρηνοληπτών (corers) εσωτερικής διαμέτρου 9,4cm οι οποίοι εισχώρησαν στο ίζημα μέχρι 15cm βάθος.

Η ποσότητα του οργανικού υλικού στο ίζημα μετρήθηκε με τη μέθοδο απώλειας μάζας λόγω καύσης (Loss On Ignition, LOI) (Loh et al. 2008). Με τη μέθοδο αυτή ήταν εφικτός ο διαχωρισμός της ποσότητας του βιοδιαθέσιμου οργανικού υλικού στο ίζημα από το μη βιοδιαθέσιμο. Περίπου 0,5 g ξηρού και ομογενοποιημένου ιζήματος τοποθετήθηκαν και ζυγίστηκαν σε ειδικά χωνευτήρια και θερμάνθηκαν στους 250° C για 16 h, έπειτα ξανά ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 500°C για άλλες 16 h οπότε και μετρήθηκε το τελικό τους βάρος. Το ποσοστό της απώλειας μάζας λόγω καύσης σε αυτές τις δύο θερμοκρασίες χαρακτηρίζεται ως βιοδιαθέσιμο και μη βιοδιαθέσιμο οργανικό υλικό αντίστοιχα.

Τέλος, η ανάλυση της κοκκομετρίας του ιζήματος έγινε με τη μέθοδο ξηρού κοσκινίσματος όπως περιγράφηκε από τον Buchanan (1984). Τα δείγματα αρχικά ξηράθηκαν με λυοφιλιωτή (freeze-dryer) και πέρασαν από μια σειρά από κόσκινα από -2φ έως 4φ ανά 0,5φ, όπου $\phi = -\log_2$ της διαμέτρου των κόκκων σε mm. Όσο από το ίζημα απέμεινε σε κάθε κόσκινο ζυγίστηκε καθώς επίσης και το κλάσμα του ιζήματος που πέρασε από το τελευταίο κόσκινο και αντιστοιχούσε στο κλάσμα ιλύος-αργίλου. Αυτό που προέκυψε μετά το τέλος των

παραπάνω αναλύσεων ήταν η μέση διάμετρος των κόκκων (MD), ο συντελεστής ταξινόμησης (σ_1) και ο συντελεστής λοξότητας Sk_1 .

Ανάλυση δεδομένων

Για τις μονοπαραγοντικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε one-way anova για την σύγκριση των τιμών των δεικτών με την χρήση του προγράμματος IBM-Statistics (SPSS). Για τις πολυμεταβλητές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PRIMER v6 (Clarke & Gorley 2006). Για τη διευθέτηση των δειγμάτων ανάλογα με την μακροπανιδική τους σύσταση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πολυδιάστατης κλιμάκωσης (MDS), κατά την οποία δημιουργείται ένα διάγραμμα πάνω στο οποίο τα δείγματα διατάσσονται σε δύο ή σε τρεις διαστάσεις με βάση την πανιδική ομοιότητά τους. Τα πιο κοντινά δείγματα στο διάγραμμα έχουν και τη μεγαλύτερη ομοιότητα. Ο συντελεστής ομοιότητας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Bray-Curtis. Στα δεδομένα που προέκυψαν από τη μέθοδο MDS εφαρμόστηκε ανάλυση ομοιότητας ANOSIM. Για την αξιολόγηση της συνεισφοράς κάθε οικογένειας στην ανομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε επίσης η ανάλυση SIMPER. Στα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης προστέθηκαν και οι τιμές ευαισθησίας της κάθε οικογένειας βάση τον δείκτη $ES50_{0,05}$.

Δείχτες Ποικιλότητας

Δείκτης S

Ο δείκτης S αποτελεί απλά τον αριθμό των ειδών στο δείγμα. Ο δείκτης αυτός επηρεάζεται πολύ έντονα από το μέγεθος του δείγματος: όσο πιο μεγάλο το δείγμα τόσο

αυξάνει ο αριθμός των διαφορετικών ειδών που μπορεί να βρεθούν (Clarke and Warwick 1994). Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση του αριθμού οικογενειών σε κάθε δείγμα.

Δείκτης N

Ο δείκτης N υπολογίζεται από τον συνολικό αριθμό των ατόμων ανά δείγμα και όπως και ο δείκτης S, επηρεάζεται και αυτός από το μέγεθος του δείγματος.

Δείκτης ES (100)

Ο Sanders (1968) δημιούργησε ένα δείκτη που υπολογίζει ένα υποθετικό αριθμό ειδών που θα υπήρχε στο δείγμα αν είχε ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Για παράδειγμα αν από ένα δείγμα συλλεχτούν τυχαία 100 άτομα, ο δείκτης υπολογίζει σε πόσα διαφορετικά είδη (οικογένειες στην συγκεκριμένη περίπτωση) θα ανήκουν (ES100).

Δείκτης BQI-Family

Ο δείκτης αυτός προτάθηκε από τους Dimitriou et al. (2012) και χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των σταθμών με βάση την σύσταση των βενθικών κοινοτήτων σε επίπεδο οικογένειας. Είναι βασισμένος στον δείκτη BQI που προτάθηκε από τους Rosenberg et al. (2004) και τροποποιήθηκε από τον Leonardsson et al. (2009). Η υπόθεση στην οποία βασίζεται ο δείκτης BQI είναι ότι τα ευαίσθητα είδη συναντώνται μόνο σε δείγματα με μεγάλη ποικιλότητα, ενώ αντίθετα τα ανθεκτικά είδη απαντούν σε δείγματα με μικρή ποικιλότητα. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τον δείκτη ES50 για να εκφράσουν την ποικιλότητα ενός δείγματος και δημιούργησαν ένα δείκτη

ανθεκτικότητας (tolerance value) για κάθε είδος το οποίο εκφράζει την ανοχή στην διατάραξη. Ο δείκτης BQI-Family χρησιμοποιεί τον ίδιο δείκτη ανθεκτικότητας μόνο που στην περίπτωση του αναφέρεται σε ολόκληρη την οικογένεια. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται ως εξής:

$$BQI = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{totA} \times ES50_{0.05i} \right) \right) \times (10 \log(.F + 1))$$

Ο δείκτης ανθεκτικότητας ES50 της εκάστοτε οικογένειας πολλαπλασιάζεται με τη μέση αφθονία (A) της οικογένειας (“i”) για να δοθεί βαρύτητα στις κοινές οικογένειες σε σχέση με τις σπάνιες, διαιρεμένη με το σύνολο των ατόμων στο δείγμα. Στην συνέχεια το άθροισμα πολλαπλασιάζεται με τον δεκαδικό λογάριθμο του αριθμού των οικογενειών του σταθμού, καθώς ο υψηλός οικογενειών σχετίζεται με την οικολογική κατάσταση.

Αποτελέσματα

Αναλύσεις ιζήματος

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 1, φαίνεται ότι ο τύπος του ιζήματος που υπερισχύει είναι η άμμος. Ο βαθμός ταξινόμησης (σ_1) σε όλες τις περιοχές είναι φτωχός, ενώ όλα τα δείγματα εμφάνισαν αρνητική λοξότητα, ένα χαρακτηριστικό περιβαλλόντων με υψηλή ενέργεια.

Πίνακας 1. Μέγεθος και ταξινόμηση των κόκκων του ιζήματος των δυο περιοχών μελέτης

	MD	σ_1	Sk ₁	silt & clay (%)	Sand (%)
2UMX2B	0,06808	1,312062	-0,46628	47,7	52,3
2UMX2C	0,134989	1,673888	-0,17773	30,4	69,6
1ANIB	0,094188	1,689618	-0,38999	38,9	61,1

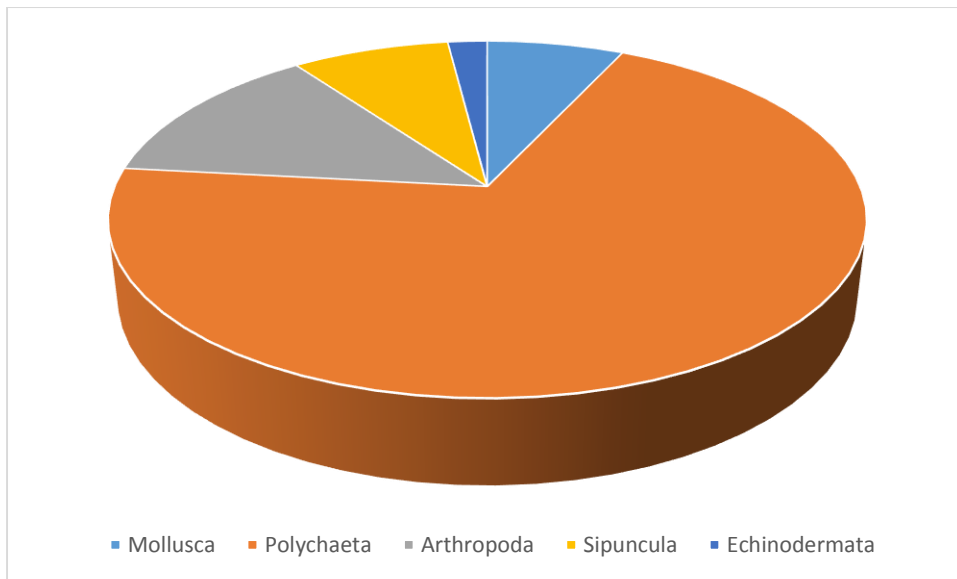
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της περιεκτικότητας του ιζήματος σε οργανικό υλικό (Πίνακας 2), έδειξαν ότι και οι δύο σταθμοί δειγματοληψίας είχαν παρόμοιες συγκεντρώσεις βιοδιαθέσιμου υλικού (1,17-1,87%) αλλά και ολικού οργανικού υλικού (5,3-7,7%).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ανάλυσης Loss of Ignition. Παρατίθενται τα ποσοστά του βιοδιαθέσιμου οργανικού υλικού (labile OM) και του ολικού οργανικού υλικού (total OM).

Sample	% labile OM	%total OM
1ANIA	1,87	7,69
1ANIB	1,17	5,66
1ANIC	1,31	6,16
2UMX2D	1,48	5,30

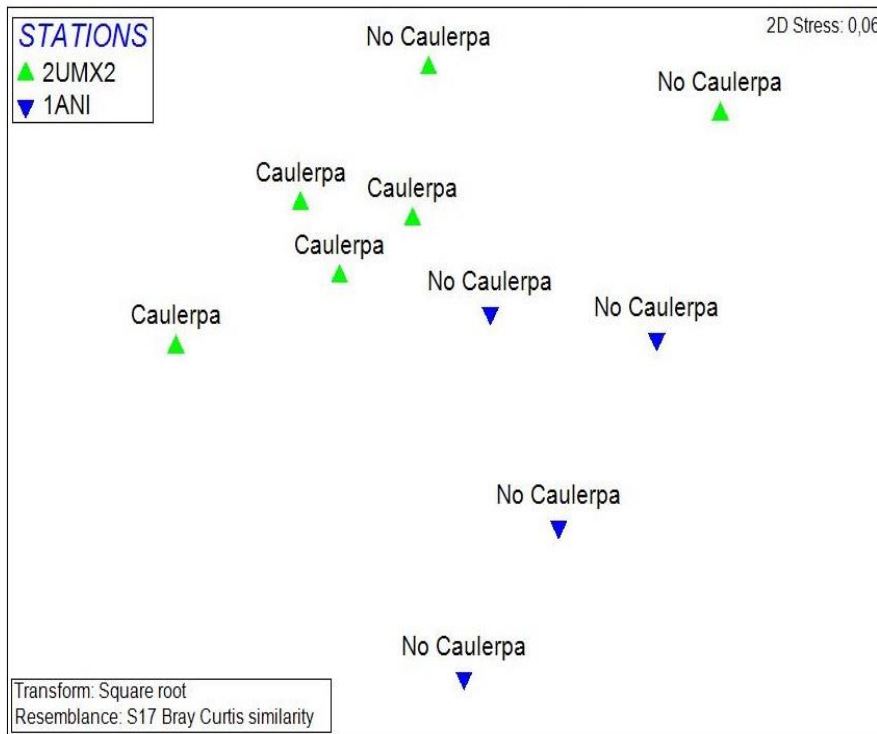
Πολυμεταβλητές αναλύσεις

Στην παρούσα μελέτη καταγράφηκαν συνολικά 86 οικογένειες που ανήκουν στα φύλα των Πολύχαιτων, Μαλάκιων, Αρθρόποδων, Εχινόδερμων και Σιπούγκουλων. Από την [Εικόνα 6](#) παρατηρείται ότι η πιο άφθονη ομάδα οργανισμών είναι οι Πολύχαιτοι και ακολουθούν τα Αρθρόποδα, τα Σιπούγκουλα, τα Μαλάκια και τα Εχινόδερμα



Εικόνα 6. Συνολική αφθονία των κυριότερων φύλων

Σύμφωνα με την πολυμεταβλητή ανάλυση MDS τα δεδομένα διαχωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες (Εικόνα 7). Η πρώτη περιελάμβανε τα δείγματα από τον σταθμό του κόλπου του Ηρακλείου (1ANI) και η δεύτερη τα δείγματα από τον σταθμό του Ανισαρά (2UMX2). Ο διαχωρισμός των βενθικών κοινοτήτων φαίνεται να βασίστηκε στην χωρική κυρίως διευθέτηση των περιοχών. Από την ανάλυση ομοιότητας ANOSIM των δειγμάτων με παράγοντα ομαδοποίησης τους σταθμούς προέκυψε ότι η παραπάνω ανάλυση ήταν στατιστικά σημαντική (Global R= 0,4 p<1%). Εντούτοις η ανάλυση ομοιότητας ANOSIM με παράγοντα ομαδοποίησης την παρουσία ή απουσία του γένους *Caulerpa* έδειξε ότι ο διαχωρισμός ήταν επίσης στατιστικά σημαντικός (Global R= 0,3 p<2%).



Εικόνα 7. Αποτελέσματα ανάλυσης MDS για όλα τα μακροπανιδικά δείγματα από τους δύο σταθμούς δειγματοληψίας.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER φαίνεται πως ανάμεσα στους δυο σταθμούς ένας μεγάλος αριθμός οικογενειών είναι κοινός (Spionidae, Terebelidae, Sabellidae, Aspidosiphonidae, Paraonidae και Syllidae) (Πίνακας 3). Επίσης παρατηρήθηκε ότι ο σταθμός 2UMX2 χαρακτηρίζεται από οργανισμούς που ανήκουν σε οικογένειες μέτριας και χαμηλής ευαισθησίας και ο σταθμός 1ANI απαρτίζεται από οργανισμούς χαμηλής, μέτριας και υψηλής ευαισθησίας στην διατάραξη.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα SIMPER (ανάλυση ομοιότητας εντός κάθε σταθμού) για τους δύο σταθμούς δειγματοληψίας. Στην τελευταία στήλη παρατίθεται η τιμή ευαισθησίας /ανοχής στη διατάραξη με βάση το δείκτη ES50_{0,05}.

Group 2UMX2 (Average similarity: 55,10)				
Οικογένειες	Μέση Αφθονία	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησίας
Syllidae	89	22,74	22,74	11,22
Paraonidae	33,83	9,17	31,92	12,64
Sabellidae	33,17	8,33	40,24	10,01
Terebellidae	32,67	8,01	48,35	5,09
Spionidae	22,33	5,46	53,81	4,63
Aspidosiphonidae	18,00	4,08	58,61	12,13
Dorvilleidae	20,67	4,71	63,32	6,07
Paguridae	14,17	3,94	67,26	12,4
Capitellidae	13,05	3,72	70,98	2,59

Group 1ANI (Average similarity: 54,31)				
Οικογένειες	Μέση Αφθονία	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησίας
Aspidosiphonidae	46,75	17,47	17,47	12,13
Syllidae	53,25	15,03	32,5	11,22
Maldanidae	18,75	7,32	39,82	13,94
Terebellidae	17,25	6,19	46,01	5,09
Sabellidae	24,25	5,56	51,57	10,01
Paraonidae	10,25	5,28	56,85	12,64
Eunicidae	12,25	4,65	61,5	16,21
Lumbrineridae	10,25	2,97	64,47	13,37
Spionidae	7,25	2,56	67,03	4,63
Chrysopetalidae	8,00	2,53	69,56	22,40
Mytilidae	5,25	2,00	71,56	2,13

Συγκρίνοντας τις μέσες αφθονίες των δυο σταθμών (Πίνακας 4) παρατηρείται ότι οι παραπάνω οικογένειες που ευθύνονται για τις διαφορές στις

βιοκοινότητες απαντώνται και στους δυο σταθμούς με ελάχιστες περιπτώσεις επικράτησης.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα SIMPER (ανάλυση διαφορών μεταξύ σταθμών) για τους δύο σταθμούς δειγματοληψίας. Στην τελευταία στήλη παρατίθεται η τιμή ευαισθησίας /ανοχής στη διατάραξη με βάση το δείκτη ES50_{0,05}.

Groups 2UMX2 & 1ANI (Average dissimilarity = 52,28)

Οικογένειες	2UMX2	1ANI	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησίας
	Μέση Αφθονία	Μέση Αφθονία			
Syllidae	89,00	53,25	13,75	13,75	11,22
Aspidosiphonidae	18,00	46,75	7,33	21,08	12,13
Paraonidae	33,83	10,25	6,00	27,07	12,64
Sabellidae	33,17	24,25	5,99	33,06	10,01
Terebellidae	32,67	17,25	5,56	38,62	5,09
Dorvilleidae	20,67	3,00	4,64	43,26	6,07
Paratanaidae	19,33	2,25	4,47	47,73	13,55
Spionidae	22,33	7,25	3,92	51,65	4,63
Maldanidae	10,00	18,75	2,93	54,57	13,94
Paguridae	14,17	3,75	2,77	57,35	12,04
Capitellidae	13,5	3,75	2,55	59,09	2,59
Magelonidae	9,00	8,00	2,48	62,38	17,62
Onuphidae	9,17	0,05	2,15	64,53	20,11
Lumbrineridae	13,17	10,25	2,15	66,68	13,37
Eunicidae	13,17	12,25	1,82	68,49	16,21
Cirratulidae	8,33	4,05	1,79	70,28	7,04

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η σύγκριση των σταθμών με βάση την παρουσία των ειδών *Cauerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera* (Πίνακες 5 και 6). Από την ανάλυση φαίνεται ότι έξι από τις σημαντικότερες οικογένειες που χαρακτηρίζουν την ομοιογένεια του κάθε σταθμού (παράγοντας ομαδοποίησης η παρουσία του φύκου) είναι κοινές (Syllidae, Aspidosiphonidae, Sabelidae, Terebelidae, Spionidae, Lumbrineridae). Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5 παρατηρείται ότι τα δείγματα με το γένος *Caulerpa* αποτελούνται από οικογένειες χαμηλής ή μέτριας ευαισθησίας σε σχέση με τα δείγματα χωρίς το φύκος αυτό, όπου χαρακτηρίζονται από οικογένειες από όλο το φάσμα τιμών ευαισθησίας στην διατάραξη, ένα πρότυπο παρόμοιο

και με τους Πίνακες 3 και 4. Στην σύγκριση που έλαβε χώρα μεταξύ των δειγμάτων με παράγοντα ομαδοποίησης την παρουσία ή απουσία του γένους *Caulerpa* (Πίνακας 6) παρατηρήθηκε ότι οι αφθονίες των οικογενειών ήταν παρόμοιες ανάμεσα στα δείγματα με ελάχιστες περιπτώσεις επικράτησης όπως και στον Πίνακα 4 στην σύγκριση μεταξύ των σταθμών.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα SIMPER (ανάλυση ομοιότητας εντός κάθε σταθμού) για τους δύο σταθμούς δειγματοληψίας με βάση την παρουσία των ειδών του γένους *Caulerpa*. Στην τελευταία στήλη παρατίθεται η τιμή ευαισθησίας /ανοχής στη διατάραξη με βάση το δείκτη ES50_{0,05}.

Group **Caulerpa** (Average similarity: 61,91)

Οικογένειες	Μέση Αφθονία	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησίας
Syllidae	61,50	16,82	16,82	11,22
Paraonidae	37,25	10,53	27,35	12,64
Terebellidae	38,25	9,77	37,12	5,09
Sabellidae	32,25	8,89	46,01	10,01
Dorvilleidae	25,50	5,31	51,32	6,07
Aspidosiphonidae	15,75	4,91	56,24	12,13
Capitellidae	16,75	4,71	60,95	2,59
Paratanaidae	26,50	4,66	65,61	13,55
Spionidae	18,00	4,19	69,80	4,63
Lumbrineridae	15,50	4,06	73,86	13,37

Group **No Caulerpa** (Average similarity: 49,69)

Οικογένειες	Μέση Αφθονία	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησίας
Syllidae	83,50	22,54	22,54	11,22
Aspidosiphonidae	38,67	13,04	35,58	12,13
Sabellidae	27,83	6,65	42,23	10,01
Eunicidae	14,33	5,37	47,60	16,21
Terebellidae	18,67	5,33	52,93	5,09
Paraonidae	15,83	4,99	57,91	12,64
Maldanidae	13,67	4,11	62,03	13,94
Spionidae	15,17	3,42	65,44	4,63
Lumbrineridae	9,67	2,77	68,21	13,37
Glyceridae	7,67	2,25	70,46	12,66

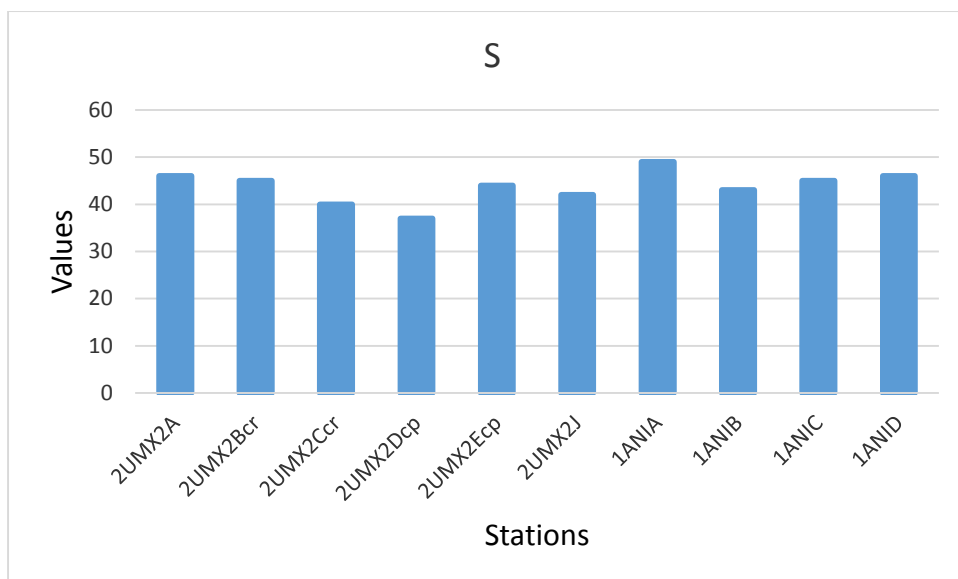
Πίνακας 6. Αποτελέσματα SIMPER (ανάλυση διαφορών μεταξύ σταθμών) για τους δύο σταθμούς με βάση την παρουσία των ειδών του γένους *Caulerpa*. Στην τελευταία στήλη παρατίθεται η τιμή ευαισθησίας /ανοχής στη διατάραξη με βάση το δείκτη ES50_{0,05}.

Groups Caulerpa & No Caulerpa Average dissimilarity = 50,80					
Οικογένειες	Caulerpa	No Caulerpa	Συμβολή %	Αθροιστική συμβ. %	Τιμή ευαισθησία ς
	Μέση Αφθονία	Μέση Αφθονία			
Syllidae	61,50	83,50	12,3	12,30	11,22
Paraonidae	37,25	15,83	6,32	18,62	12,64
Aspidosiphonidae	15,75	38,67	6,29	24,91	12,13
Terebellidae	38,25	18,67	5,99	30,90	5,09
Paratanaidae	26,50	3,17	5,96	36,86	13,55
Sabellidae	32,25	27,83	5,85	42,71	10,01
Dorvilidae	25,50	5,67	5,30	48,01	6,07
Spionidae	18,00	15,17	3,39	51,40	4,63
Capitellidae	16,75	4,83	3,03	54,43	2,59
Magelonidae	12,75	5,83	2,77	57,20	17,62
Maldanidae	13,25	13,67	2,59	59,79	13,94
Paguridae	12,50	8,33	2,34	62,13	12,40
Onuphidae	11,00	2,17	2,29	64,42	20,11
Lumbrineridae	15,50	9,67	2,22	66,64	13,37
Cirratulidae	11,25	3,83	2,19	68,83	7,04
Eunicidae	10,50	14,33	1,83	70,66	16,21

Δείχτες Ποικιλότητας

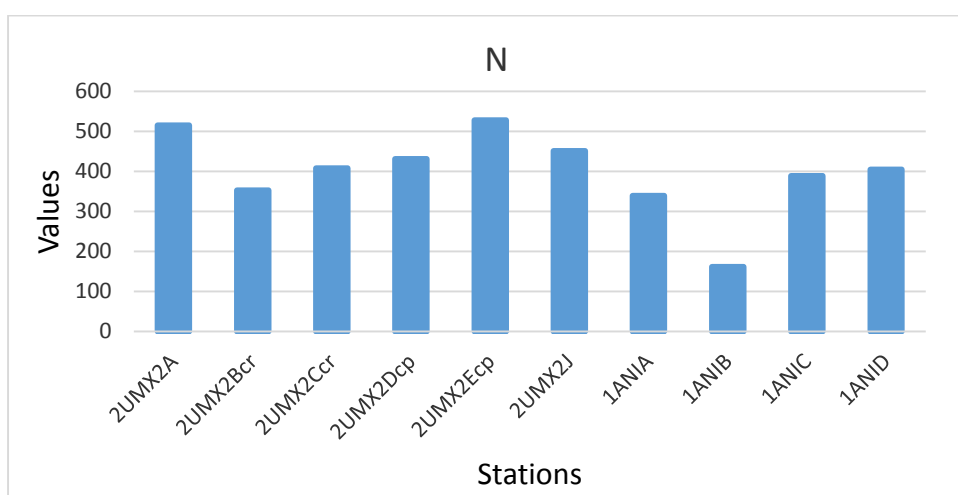
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δειχτών ποικιλότητας και διατάραξης. Αναφέρεται σε αυτό το σημείο ότι τα δείγματα που βρέθηκαν τα είδη *Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera* έχουν συμβολιστεί με «cr» και «cp» αντίστοιχα.

Στην **Εικόνα 8** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη S. Παρατηρείται ότι ο αριθμός των οικογενειών δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή ανάμεσα στους σταθμούς (ANOVA $p > 0,05$). Επίσης η παρουσία των γενών *Caulerpa* στους σταθμούς δεν επηρέασε τον συνολικό αριθμό οικογενειών (ANOVA $p > 0,05$).



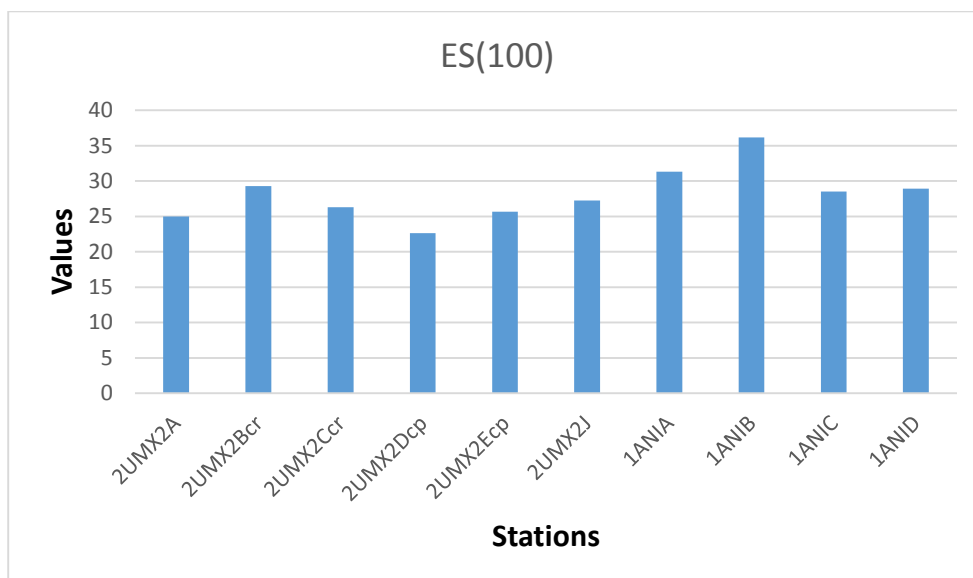
Εικόνα 8. Αποτελέσματα του δείκτη αφθονίας οικογενειών (S).

Από την [Εικόνα 9](#) ο αριθμός των ατόμων των οικογενειών δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τους σταθμούς με εξαίρεση το δείγμα 1ANIB όπου κατέγραψε τον ελάχιστο αριθμό ατόμων. Εντούτοις οι τιμές αυτές δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές (ANOVA $p > 0,05$). Και σε αυτή την περίπτωση η παρουσία των γενών *Caulerpa* δεν επηρέασε τις τιμές των ατόμων σε σχέση με τους σταθμούς με απόν το γένος αυτό σε επίπεδο σημαντικότητας $p > 0,05$.



Εικόνα 9. Αποτελέσματα δείκτη N – αριθμός ατόμων

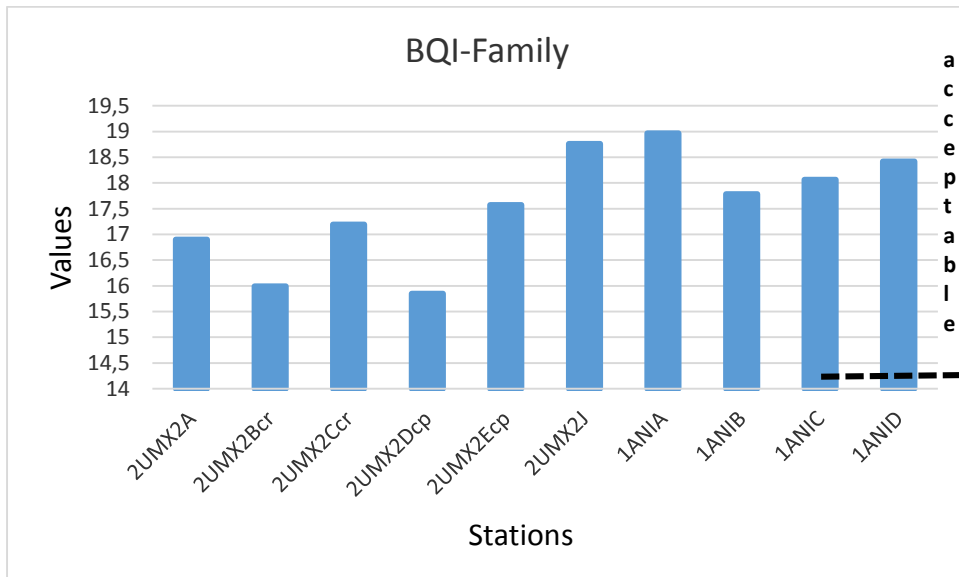
Στην [Εικόνα 10](#) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τον δείκτη ES(100). Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τον δείκτη ES(100), ο σταθμός 1ANI παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σχέση με τον σταθμό 2UMX2 με στατιστικά σημαντικές διαφορές (ANOVA $p < 0,05$). Με την εισαγωγή του παράγοντα «Caulerpa» στην ανάλυση δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δείγματα με παρόντα τα είδη του φύκους αυτού σε σχέση με αυτά όπου ήταν απόν (ANOVA $p > 0,05$). Επομένως αν συλλεχτούν τυχαία 100 άτομα, στα δείγματα του σταθμού 1ANI θα καταγραφούν περισσότερες οικογένειες σε σχέση με τον σταθμό 2UMX2 όπου παρατηρήθηκαν και τα είδη-εισβολείς.



Εικόνα 10. Αποτελέσματα της ανάλυσης δείκτη ES(100)

Στην [Εικόνα 11](#) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη BQI-Family. Επίσης, η διακεκομμένη γραμμή της [Εικόνας 11](#) χρησιμεύει στην οριοθέτηση της «αποδεκτής» οικολογικής κατάστασης. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των δυο σταθμών σε επίπεδο οικογένειας των βενθικών κοινοτήτων. Από την [Εικόνα 10](#) φαίνεται ότι όλοι οι σταθμοί χαρακτηρίστηκαν ως «Good» με βάση τα όρια των [Dimitriou et al. 2012](#). Οι τιμές του δείκτη λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα «Σταθμοί»

δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική μεταβολή συνολικά μεταξύ των δειγμάτων (ANOVA $p > 0,05$). Ενδιαφέρον έχει ότι η παρουσία των ειδών *Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera* επηρεάζει στατιστικά σημαντικά τις τιμές του δείκτη (ANOVA $p < 0,05$) όμως παρά την μείωση των τιμών η οικολογική κατάσταση δεν αλλάζει.



Εικόνα 11. Αποτελέσματα ανάλυσης οικολογικής κατάστασης με τον δείκτη BQI-Family

Συζήτηση

Οι σταθμοί με το ενδιαίτημα τραγάνας (*maerl*) που μελετήθηκαν στην βόρεια ακτή του Ηρακλείου κατέγραψαν ψηλές τιμές αριθμού οικογενειών, «καλή» οικολογική κατάσταση, και μια ποικιλία οργανισμών όσον αφορά την ανοχή τους στην διατάραξη. Αν και οι διαφορές στον αριθμό των οικογενειών των δυο περιοχών δεν ήταν σημαντικές, εντούτοις οι ποσοτικές διαφορές ανάμεσα στις οικογένειες των οργανισμών ήταν αρκετές ώστε να παρουσιάσουν ένα χωρικό διαχωρισμό των βενθικών κοινοτήτων των δυο περιοχών. Στην μελέτη τους σε δυο *maerl beds* στην Μάλτα, οι [Sciberras et al. \(2009\)](#) αναφέρουν ότι οι μακροβενθικές κοινότητες έδειξαν επίσης ένα χωρικό διαχωρισμό με βάση τους σταθμούς. Στην ίδια μελέτη επίσης και οι δυο σταθμοί κατέγραψαν ψηλό αριθμό ποικιλότητας και αφθονίας ειδών και χαρακτηρίστηκαν ως «hot-spots», όμως ο αριθμός των ειδών διέφερε σημαντικά ανάμεσα στους δυο σταθμούς. Οι συγγραφείς ερμηνεύουν τα πιο πάνω αποτελέσματα κυρίως λόγω της τοπογραφικής ετερογένειας όπου επηρεάζει τις βενθικές συναθροίσεις μέσω φυσικής διατάραξης που ήταν έντονη στον ένα από τους δυο σταθμούς. Η αλλαγή του υδροδυναμικού συστήματος, η διαθεσιμότητα της τροφής, η μορφολογία των ροδόλιθων, η θήρευση, ο ανταγωνισμός, η διασπορά των νυμφών και η στρατολόγηση ήταν οι κινητήριες δυνάμεις για να αλλάξει η σύνθεση της βιοκοινότητας των δυο σταθμών.

Τα αποτελέσματα των [Cagriota et al. \(2005\)](#) σε μελέτη που αφορούσε μαλάκια ανάμεσα σε δυο σταθμούς με *maerl* στην δυτική Ιταλία δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές όσον αφορά στον αριθμό ειδών και στην αφθονία ατόμων, κάτι που έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Οι πιο πάνω συγγραφείς αναφέρουν ότι δεν υπήρξαν είδη που να χαρακτηρίζουν το ενδιαίτημα αυτό και ερμηνεύουν τα αποτελέσματά τους αναφέροντας ότι οι μακροβενθικές κοινότητες αντανακλούν σε μεγάλο βαθμό την φύση του υποστρώματος πάνω στο οποίο ευδοκιμεί το ενδιαίτημα *maerl*.

Τα πιο πάνω τονίζουν την σημασία της εισαγωγής και άλλων παραγόντων στον χαρακτηρισμό των βενθικών κοινοτήτων αυτών των ιδιαίτερων ενδιαιτημάτων. Από τα αποτελέσματα της μελέτης μας, παρατηρείται ότι η παρουσία των δύο μακροφυκών (*Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera*) επηρεάζει σημαντικά την σύσταση των μακροπανιδικών κοινοτήτων σε επίπεδο οικογένειας, όχι όμως σε βαθμό ώστε να αλλάξει η «καλή» οικολογική κατάσταση της περιοχής. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και στην μελέτη των [Riera et al. \(2012\)](#) στον Ανατ. Ατλαντικό (Canarias) οι οποίοι μελέτησαν τις επιπτώσεις του είδους *Caulerpa racemosa* σε μακροπανιδικές κοινότητες μαλακού υποστρώματος σε διάφορα οικοσυστήματα συμπεριλαμβανομένου και του maerl. Από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής αναφέρεται ότι ο αριθμός των ειδών δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους σταθμούς. Αναφέρεται όμως πως ο σταθμός με το maerl bed κατέγραψε ψηλότερες τιμές αριθμού ειδών σε σχέση με τον σταθμό παρουσία του είδους *Caulerpa racemosa* χωρίς ωστόσο στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα της μελέτης μας συμφωνούν με αυτά των [Riera et al. \(2012\)](#) εφόσον ούτε η αφθονία ατόμων ούτε ο αριθμός οικογενειών κατέγραψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αντιθέτως, οι [Pacciardi et al. \(2011\)](#) σε μελέτη στην δυτική Ιταλία αναφέρουν αύξηση του αριθμού ειδών και αφθονίας ατόμων σε περιοχές μαλακού υποστρώματος που έχει εισέλθει το είδος *Caulerpa racemosa* σε σχέση με άλλες περιοχές-μάρτυρες. Ωστόσο, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι η σημαντική αύξηση του αριθμού ειδών που παρατηρήθηκε, δεν αντικατοπτρίζει μια γενική κατάσταση του οικοσυστήματος αλλά επιμέρους περιοχών. Επίσης οι συγγραφείς σχολιάζουν την παρουσία του φύκους αυτού ως δύναμη ομογενοποίησης του οικοσυστήματος η οποία μακροπρόθεσμα και σε μεγαλύτερη κλίμακα είναι ικανή να μειώσει την ποικιλότητα.

Στην παρούσα μελέτη, η ανάλυση των βιοκοινοτήτων φανέρωσε μια αύξηση των οικογενειών με μέτρια ως χαμηλή ευαισθησία στην διατάραξη σε δείγματα όπου είχαν εξαπλωθεί τα δυο είδη φυκών σε σχέση με άλλα στα όποια υπήρχε μόνο η παρουσία τραγάνας.

Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι [Pacciardi et al. \(2011\)](#). Συγκεκριμένα, κατέγραψαν μια σημαντική αύξηση των ευκαιριακών ειδών σε περιοχές όπου είχε εισέλθει το φύκος *Caulerpa*. Ακόμη, στην ίδια μελέτη, σε πειράματα όπου έγινε αφαίρεση με ανθρώπινη παρέμβαση του φύκους αυτού, ένα χρόνο μετά οι ερευνητές κατέγραφαν την παρουσία ευκαιριακών ειδών όπως το *Paradoneneis armata* ενός πολύχαιτου της οικογένειας Paraonidae.

Ενδιαιτήματα με φυτοκάλυψη, επιτρέπουν μεγαλύτερη αφθονία ειδών και ατόμων καθώς και ποικιλότητας, σε σχέση με άλλα ενδιαιτήματα, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της πολυπλοκότητας του ενδιαιτήματος ([Johnson et al., 1970](#); [Dean and Connell, 1987](#); [Taylor and Cole, 1994](#)). Η εισβολή του είδους *Caulerpa racemosa*, μπορεί να επηρεάσει την σύσταση των βενθικών κοινοτήτων με δυο κυρίως τρόπους: Να αυξήσει την πολυπλοκότητα στην δομή σε ένα φαινομενικά απλό ενδιαίτημα (π.χ όταν δεν υπάρχει κάποιο άλλο φύκος ή ανώτερο φυτό), ή να μειώσει την ετερογένεια του ενδιαιτήματος με διάφορους τρόπους όπως με τον εκτοπισμό κάποιου είδη υπάρχοντος φύκους ([Vaquez-Louis et al. 2009](#)). Επίσης, η παρουσία του θεωρούμενου ως εγχώριου (native) είδους *Caulerpa prolifera* στην περιοχή της Μεσογείου έχει αναφερθεί ότι μειώνει την ετερογένεια του περιβάλλοντος και καταγράφει παρόμοιες τιμές αφθονίας με άλλα είδη-εισβολείς όπως το *Caulerpa taxifolia* ([Vaquez-Louis et al. 2009](#)). Στην παρούσα μελέτη η παρουσία του *Caulerpa racemosa* σε συνδυασμό με την παρουσία του είδους *Caulerpa prolifera*, σε ένα ήδη πολύπλοκο ενδιαίτημα όπως τα maerl beds είχε ως αποτέλεσμα ποσοτικές παρά ποιοτικές αλλαγές στην μακροπανιδική σύσταση, με εντονότερη την παρουσία ευκαιριακών οικογενειών σε βαθμό όμως που δεν επηρεάζεται η «καλή» οικολογική κατάσταση των ενδιαιτημάτων αυτών. Άλλες μελέτες στην Μεσόγειο έδειξαν ότι η παρουσία ειδών εισβολέων του γένους *Caulerpa* συνέβαλε στην αύξηση του αριθμού ειδών ([Argyrou et al., 1999](#); [Vasquez-Louis et al., 2009](#)) επισημαίνοντας όμως διάφορους παράγοντες που διαδραματίζουν ρόλο στην ερμηνεία των

αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, η μελέτη των [Vasquez et al. \(2009\)](#) που αφορά τις επιπτώσεις διάφορων φυκών (συμπεριλαμβανομένων και των ειδών *Caulerpa racemosa* και *Caulerpa prolifera*) στις κοινότητες των αμφιπόδων μαλακού υποστρώματος αναφέρει ότι ο ψηλός αριθμός ειδών σε περιοχές όπου βρέθηκε το είδος *Caulerpa racemosa* επιτεύχθηκε εξαιτίας δύο κύριων παραγόντων: Στο γεγονός ότι το υπόστρωμα ήταν απαλλαγμένο από την παρουσία οποιουδήποτε φυτικού οργανισμού και επίσης η εισβολή βρισκόταν ακόμη σε αρχικά επίπεδα και το φύκος σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια. Οι πιο πάνω λόγοι συνέβαλαν στην αύξηση της ετερογένειας του ενδιαιτήματος σε σχέση με τις περιοχές όπου κυριαρχούσε το είδος *Caulerpa prolifera* σε μεγάλη έκταση και πυκνά λιβάδια και καταγράφοντας χαμηλά ποσοστά ποικιλότητας και αριθμού ειδών. Οι [Argyrou et al. \(1999\)](#) μελέτησαν μακροπανιδικές κοινότητες σε αμμώδες υπόστρωμα στην Κύπρο και έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική αύξηση της ποικιλότητας σε μακροπανιδικά είδη με την παρουσία των συγκεκριμένων ειδών εισβολέων (συμπεριλαμβανομένου και του είδους *Caulerpa racemosa*), ποικιλότητα που οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ειδών της ομάδας των πολύχαιτων.

Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι η σχέση της μακροπανίδας με το ενδιαιτήμα των maerl, εξαρτάται από το υπόστρωμα και την αρχιτεκτονική του χώρου που προκύπτει από τις συναθροίσεις των ροδόλιθων και όχι από τους ζωντανούς ροδόλιθους αυτούς καθαυτούς ([De Grave et al., 2000](#); [Castriota et al., 2005](#)). Οι πιο πάνω παράμετροι μπορεί να τροποποιηθούν από διάφορα μέσα όπως για παράδειγμα η εισβολή ενός φύκους, όμως σε αυτό το σημείο γίνεται αντιληπτή η δυναμικότητα που διέπει αυτά τα συστήματα, δυναμικότητα η οποία πρέπει να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για μελλοντική διαχείριση των ενδιαιτημάτων αυτών.

Βιβλιογραφία

- Abrams PA (1996) Evolution and the consequences of species introductions and deletions. *Ecology* 77:1321–1328
- Agardy T (2000) Information needs for marine protected areas: scientific and societal. *Bulletin of Marine Science* 66:875–888
- Aguado-Gimenez F, Ruiz-Fernandez JM (2012) Influence of an experimental fish farm on the spatio-temporal dynamic of a Mediterranean maerl algae community. *Marine Environmental Research* 74:47–55
- Agnesi S, Annunziatellis A, Casese ML, Di Nora T, La Mesa G, Mo G, Pergent-Martini C, Tunesi L (2009) Analysis on the coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea: a review of the current state of knowledge in support of future investigations. In: Pergent-Martini C, Bricchet M (eds) UNEP-MAPRAC/SPA (2009) Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of the coralligenous and other calcareous bio-concretions (Tabarka, 15–16 January 2009). RAC/SPA publication, Tunis
- Airoldi L, Beck MW (2007) Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45:345–405
- Argyrou M, Demetropoulos A, Hadjichristophorou M (1999) Expansion of the macroalga *Caulerpa racemosa* and changes in soft bottom macrofaunal assemblages in Moni Bay, Cyprus. *Oceanologica Acta* 22:517–528
- Ballesteros E (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of the present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 4:123–195
- Barberá C, Bordehore C, Borg JA, Glemarec M, Grall J, Hall-Spencer J, De La Huz C, Lanfranco E, Lastra M, Moore PG, Mora J, Pita ME, Ramos-Esplá AA, Rizzo M, Sanchez-Mata A, Seva A, Schembri PJ, Valle C (2003) Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13:65–76
- Barberá C, Moranta J, Ordines F, Ramón M, Mesa A, Díaz-Valdés M, Grau AM, Massutí E (2012). Biodiversity and habitat mapping of Menorca Channel (western Mediterranean): implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 21: 701–728
- Bax N, Williamson A, Agüero M, Gonzales E, Geeves W (2003) Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Pollution* 27:313–323
- Borg JA, Lanfranco E, Mifsud JR, Rizzo M, Schembri PJ (1998). Does fishing have an impact on Maltese maerl grounds? ICES Conference on the Ecosystem Effects of Fishing, Heraklion, Crete
- Buchanan J.B (1984) Sediment Analysis. In: Holme, N.A. and A.D. McIntyre (eds). *Methods for the Study of Marine Benthos*. Blackwell Scientific Publication, UK, p:41–63
- Buia MC, Gambi MC, Terlizzi A, Mazzella L (2001) Colonization of *Caulerpa racemosa* along the southern Italian coast: distribution, phenological variability and ecological role. In: Gravez V, Ruitton S, Boudouresque CF, Le Diraeac'h L, Meinesz A, Scabbia G, Verlaque M (eds) Fourth international workshop on *Caulerpa taxifolia* (Lerici, Italy). GIS Posidonie publ, France, p352–360
- Carlton JT (1989) Man's role in changing the face of the ocean: biological invasions and implications for conservation of near-shore environments. *Conservation Biology* 3:265–273

- Carlton JT (1999) Scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans. In: Sandlund OT, Schei PJ, Viken A (eds) *Invasive species and biodiversity management*. Kluwer Academic Publisher, p195–212
- Castriota L, Agamennone F, Sunseri G (2005) The mollusc community associated with maerl beds of Ustica Island (Tyrrhenian Sea) *Cahiers de Biologie Marine* 46: 289-297
- Clarke KR, Warwick RM (1994) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, Plymouth, UK
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth
- Dean RL, Connell JH (1987) Marine invertebrates in algal succession. II. Test of hypotheses to explain changes in diversity with succession. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 109:217–247
- De Grave S, Fazakerley H, Kelly L, Guiry MD, Ryan M, Walshe J (2000) A study of selected maerl beds in Irish waters and their potential for sustainable extraction. *Marine Resource Series* 10:1–44
- Dimitriou PD, Apostolaki ET, Papageorgiou N, Reizopoulou S, Simboura N, Arvanitidis C, Karakassis I (2012) Meta-analysis of a large data set with water framework directive indicators and calibration of a benthic quality index at the family level. *Ecological Indicators* 20:101-107
- Gray JS (1997) Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 6:153–175
- Grosholz ED (2002) Ecological and evolutionary consequences of coastal invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 17:22–27
- Hall-Spencer, J.M (1998) Conservation issues concerning the molluscan fauna of maerl beds. *Journal of Conchology Special Publication* 2:271–286
- Hall-Spencer JM, Grall J, Moore PG, Atkinson RJA (2003) Bivalve fishing and maerl bed conservation in France and the UK-retrospect and prospect. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13:33–S41
- Hooper DU, Solan M, Symstad A, Doaz SM, Gessner O, Buchmann N, Degrange V, Grime P, Hulot F, Mermillod-Blondin F, Roy J, Spehn E, van Peer L (2002) Species diversity, functional diversity and ecosystem functioning. In: Loreau M, Naeem S, Inchausti P (eds) *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives*. Oxford University Press, Oxford, p195–208
- Huston MA (1997) Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449–460
- Johnson M (1970) Variations in diversity within benthic marine communities. *American Naturalist* 104:285–308
- Klein J, Verlaque M (2009) Macroalgal assemblages of disturbed coastal detritic bottoms subject to invasive species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82:461–468
- Leonardsson K, Blomqvist M, Rosenberg R (2009) Theoretical and practical aspects on benthic quality assessment according to the EU-Water Framework Directive – Examples from Swedish waters. *Marine Pollution Bulletin* 58:1286–1296
- Loh PS, Miller AEJ, Reeves AD, Harvey SM, Overnell J Systems E (2008) Assessing the biodegradability of terrestrially-derived organic matter in Scottish sea loch sediments. *Hydrology and Earth System Sciences* 12:811–823.
- Massuti E, Renones O, Carbonell A, Oliver P (1996) Demersal fish communities exploited on the continental shelf and slope off Majorca (Balearic Islands, NW Mediterranean). *Vie et Milieu* 46:45–55

- Occhipinti-Ambrogi A, Savini D (2003) Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystem. *Marine Pollution Bulletin* 46:542–551
- Pacciardi L, De Biasi AM, Piazzì L (2011) Effects of *Caulerpa racemosa* invasion on soft bottom assemblages in the Western Mediterranean Sea. *Biological Invasions* 13:2677–2690
- Paine R (2002) Trophic control of production in a rocky intertidal community. *Science* 296:736–739
- Panayotidis P, Zuljevic A. (2001). Sexual reproduction of the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 24:199–203
- Piazzì L, Ceccherelli G, Cinelli F (2001) Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 210:149–159
- Piazzì L, Balata D (2007) The spread of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the Mediterranean Sea: an example of how biological invasion can influence beta diversity. *Marine Environmental Research* 65:50–56
- Piazzì L, Balata D (2009) Invasion of alien macroalgae in different Mediterranean habitats. *Biological Invasions* 11:193–204
- Renoncourt L, Meinesz A (2002) Formation of propagules on an invasive strain of *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) in the Mediterranean Sea. *Phycologia* 5:533–535.
- Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson H, Cederwall H, Dimming A (2004) Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: A proposed new protocol within the European Union water framework directive. *Marine Pollution Bulletin* 49:728–739
- Ribera MC, Boudouresque F (1995) Introduced marine plants, with special reference to macroalgae: mechanisms and impact. In: Round FE & Chapman DJ (Eds.) *Progress in Phycological Research* 11:187–268
- Riera R, Delgado JD, Rodríguez M, Monterroso O, Ramos E (2012) Macrofaunal communities of threatened subtidal maerl seabeds on Tenerife (Canary Islands, north-east Atlantic Ocean) in summer. *Acta Oceanologica Sinica* 31:98–105
- Sanders HL (1968) Marine benthic diversity: a comparative study. *The American Naturalist* 102:243–282.
- Sandulli R, Carriglio D, Deastis S, Marzano A, Gerardi D, Gallo D'Addabbo M, De Zio Grimaldi S (2004) Meiobenthic biodiversity in areas of the Gulf of Taranto (Italy) exposed to high environmental impact. *Chemistry and Ecology* 20:379–386
- Sciberras M, Rizzo M, Mifsud JR, Camilleri K, Borg JA, Lanfranco E, Schembri PJ (2009) Habitat structure and biological characteristics of a maerl bed off the northeastern coast of the Maltese Islands (central Mediterranean). *Marine Biodiversity* 39:251–264
- Steller DL, Riosmena-Rodríguez R, Foster MS, Roberts CA (2003). Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of anthropogenic disturbances. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13:5–20.
- Taylor RB, Cole RG (1994) Mobile epifauna on subtidal brown seaweeds in northeastern New Zealand. *Marine Ecology Progress Series* 115:271–282
- Thouzeau G (1991) Experimental collection of postlarvae of *Pecten maximus* (L.) and other benthic macrofaunal species in the Bay of Saint-Brieuc, France. II. Reproduction patterns and postlarval growth of five mollusc species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 148:181–200

- Vazquez-Luis M, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere JT (2009) Comparison between amphipod assemblages associated with *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* and those of other Mediterranean habitats on soft substrate. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 84:161–170
- Vitousek PM, D'Antonio CM, Loope LL, Westbrooks M (1996) Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84:468–478
- Vitousek PM, D'Antonio CM, Loope LL, Rejmanek M, Westbrooks M (1997) Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* 21:1–16