



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ  
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΛΙΣΑΒΕΤ ΠΕΤΡΙΔΗ

ΑΕΜ 5768

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ  
ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΗΣ ΖΑΝΖΙΒΑΡΗΣ (ΤΑΝΖΑΝΙΑ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΕΛΙΣΑΒΕΤ ΠΕΤΡΙΔΗ  
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5768

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ  
ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΗΣ ΖΑΝΖΙΒΑΡΗΣ  
(TANZANIA)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και  
Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

**Επιβλέπουσα**

Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, ΕΔΙΠ, Τμ. Γεωλογίας, ΑΠΘ



© Ελισάβετ Πετρίδη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΝΘΟΝΙΚΩΝ ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΤΗΣ ZANZIBARΗΣ (TANZANIA) - *Διπλωματική Εργασία*

©Elisavet Petridi, School of Geology, Department of Structural, Historical, and Applied Geology, 2023

All rights reserved.

DISTRIBUTION AND SYSTEMATIC CLASSIFICATION OF BENTHIC FORAMINIFERA FROM THE COASTAL ENVIRONMENTS OF ZANZIBAR (TANZANIA) – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

*Εικόνα Εξωφύλλου: «Φωτογραφία τρηματοφόρων κάτω από Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο Leica S APO από την Silvia Becker, 2021».*

*Ανάκτηση από <https://www.thephoblographer.com/2021/06/26/how-silvia-becker-photographs-curious-microscopic-shells-on-the-beach/>*



## Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία, εκπονήθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού Έτους 2022-2023, στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στην Κατεύθυνση Τεκτονική Γεωλογία και Στρωματογραφία.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη της Δρ. Κουκουσιούρα Όλγας, ΕΔΙΠ Παλαιοντολογίας – Μικροπαλαιοντολογίας – Βιοστρωματογραφίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η κατανομή και η συστηματική ταξινόμηση των βενθονικών τρηματοφόρων από τα παράκτια περιβάλλοντα της Ζανζιβάρης (Τανζανία). Συγκεκριμένα εξετάζονται πέντε διαφορετικές περιοχές για την πληθώρα και την ποικιλομορφία των τρηματοφόρων τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων βάση αυτών για τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερος, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, προς την επιβλέπουσα της εργασίας, Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, για την καθοδήγησή της και την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε σε κάθε στάδιο της εκπόνησής της.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους κοντινούς μου ανθρώπους για την άμετρη συμπαράσταση και τη βοήθεια που μου έδωσαν απλόχερα καθόλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	7
Abstract.....	9
Εισαγωγή .....	10
1 Αντικείμενο Έρευνας.....	11
1.1 Εισαγωγή στα τρηματοφόρα .....	11
1.1.1 Ταξινόμηση – Προσδιορισμός των τρηματοφόρων .....	13
1.1.2 Περιβάλλον διαβίωσης .....	15
1.1.3 Η σημασία των τρηματοφόρων .....	18
1.2 Κοραλλιογενείς ύφαλοι.....	20
2 Περιοχή Μελέτης.....	22
3 Μεθοδολογία .....	26
4 Αποτελέσματα .....	32
5 Συζήτηση .....	47
6 Συμπεράσματα.....	51
Βιβλιογραφία .....	53



## Περίληψη

Η Ζανζιβάρη αποτελεί το πιο πλούσιο οικοσύστημα υφάλων κατά μήκος των ανατολικών ακτών της Αφρικής. Οι ύφαλοι αυτοί χαρακτηρίζονται ως ένας πολύτιμος πόρος για τη ζωή των κατοίκων της παράκτιας ζώνης. Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομία, στον τουρισμό, στην αλιεία και την προστασία των ακτών. Στις μέρες μας οι ύφαλοι βιώνουν έντονο στρες και πίεση από τις περιβαλλοντικές αλλαγές και ειδικότερα την επίδραση του ανθρώπου. Τα βενθονικά τρηματοφόρα τα οποία εμφανίζονται σε μεγάλους αριθμούς στην περιοχή αποτελούν σπουδαίους περιβαλλοντικούς δείκτες.

Πρόκειται για μονοκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς και συντελούν την σπουδαιότερη ομάδα μικροαπολιθωμάτων λόγω του ιδιαίτερου μηχανισμού τους και της συνεισφοράς τους ως δείκτες περιβαλλοντολογικής υγείας. Οι περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες οδηγούν σε γρήγορες αλλαγές στη δομή των τρηματοφόρων. Είναι τα πρώτα που επηρεάζονται και μετά ακολουθεί ο ύφαλος. Επομένως μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για την κατάσταση του υφάλου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την κατανομή και συστηματική ταξινόμηση των βενθονικών τρηματοφόρων από τα παράκτια περιβάλλοντα της Ζανζιβάρης.

Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε πέντε παράκτιες περιοχές, ώστε να παραλαμβάνεται όλο το φάσμα των διαφορετικών περιβαλλοντικών ενδιαιτημάτων της Ζανζιβάρης, με στόχο τη διαφοροποίηση τους οικολογικά, φυσικο-γεωγραφικά καθώς και για να προσδιοριστεί ο βαθμός των ανθρωπογενών επιδράσεων στις επιμέρους περιοχές δειγματοληψίας.

Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από τα ανώτερα 2 cm του επιφανειακού ιζήματος πυθμένα, σε κάθε περιοχή. Συνολικά συλλέχθηκαν 582 τρηματοφόρα, που ταξινομήθηκαν σε 33 είδη που ανήκουν σε 21 γένη. Τα επικρατέστερα είδη που εντοπίστηκαν στη παρούσα μελέτη είναι τα *Amphistegina* spp., *Elphidium* spp., *Miniasina* sp., *Heterostegina* sp., *Haddonina* spp., τα miliolids, τα textulariids και rotaliids. Οι συναθροίσεις των τρηματοφόρων παρουσιάζουν διαφοροποίηση μεταξύ των περιοχών δειγματοληψίας λόγω της διαφορετικής μορφολογίας τους καθώς και των διαφορετικών περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών επιδράσεων.



Εφαρμόστηκαν δείκτες περιβαλλοντικής υγείας και συγκεκριμένα ο δείκτης FORAM, ο οποίος φανέρωσε μια γενικά καλή κατάσταση των υφάλων όμως προκαλεί την ανησυχία για μελλοντική υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων.





## Abstract

Zanzibar is the richest reef ecosystem along the east coast of Africa. These reefs have been identified as a valuable resource for the lives of coastal inhabitants. They play an important role in the economy, tourism, fisheries and coastal protection. Nowadays, reefs are experiencing intense stress and pressure from environmental changes and in particular human impact. The benthic foraminifera that occur in large numbers in the area are important environmental indicators.

They are unicellular eukaryotic organisms and constitute the most important group of microfossils because of their special mechanism and their contribution as indicators of environmental health. Environmental stressors lead to rapid changes in the structure of the foraminifera. They are the first to be affected, followed by the reef. They can therefore give us information about the health condition of the reef.

This thesis focuses on the distribution and systematic classification of benthic shelf reefs from the coastal environments of Zanzibar.

A survey was carried out in five coastal areas in order to capture the full range of the different environmental habitats of Zanzibar, with the aim of differentiating them ecologically, physico-geographically and to determine the degree of anthropogenic impact on the individual sampling areas.

Sampling was carried out from the top 2 cm of the surface sediment bottom in each area. A total of 582 foraminifera were collected, classified into 33 species belonging to 21 genera. The most predominant species identified in this study are *Amphistegina* spp., *Elphidium* spp., *Miniasina* sp., *Heterostegina* sp., *Haddonia* spp., miliolids, textulariids and rovaliids. The assemblages of foraminifera show variation among the sampling areas due to their different morphology and different environmental and anthropogenic influences.

Environmental health indicators were applied, in particular the FORAM index, which revealed a generally good condition of the reefs but raised concerns about future water quality degradation.



## Εισαγωγή

Η μελέτη των τρηματοφόρων στην Ανατολική Αφρική ήταν μέχρι πρότινος περιορισμένη και αυτό εξαιτίας των μεγάλων σε έκταση απρόσιτων αφρικανικών ακτών καθώς και σε συνδυασμό με τους λιγοστούς πόρους, μέσα, λόγω των συνεχών εμφυλίων πολέμων. Ως αποτέλεσμα η Ανατολική Αφρική αποτελούσε μια κενή περιοχή στο χάρτη πολλών επιστημονικών ερευνών. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες αυτό άρχισε να αλλάζει καθώς διεξήχθησαν αρκετές μελέτες για την αξιολόγηση της σημασίας και της ποικιλότητας των τρηματοφόρων στα τροπικά οικοσυστήματα. Οι περισσότερες όμως μελέτες έλαβαν χώρα στη Κένυα και στη Μοζαμβίκη. Τα τρηματοφόρα στα υφαλοφόρα περιβάλλοντα, της Τανζανίας έχουν μελετηθεί ελάχιστα. Η πρώτη μελέτη των τρηματοφόρων στη περιοχή της Ζανζιβάρης διεξήχθη το 2017, από τους Thissen and Langer.

Η Ζανζιβάρη χαρακτηρίζεται από εκτεταμένους κοραλλιογενείς υφάλους, όπως θα αναφερθεί αναλυτικά στη συνέχεια. Οι ύφαλοι αυτοί έχουν ιδιαίτερο ρόλο τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανάπτυξη της οικονομίας και γι' αυτό το λόγο η καταστροφή τους μπορεί να οδηγήσει σε ολέθρια αποτελέσματα. Τα τρηματοφόρα είναι αυτά που εξαιτίας της αφθονίας τους, της παρουσίας τους σε πληθώρα περιβαλλοντικών ενδιαιτημάτων και του γρήγορου ρυθμού εναλλαγής τους, αποτελούν εξαιρετικούς δείκτες για μελέτες υγείας υφάλων και διατηρούν περιβαλλοντικές πληροφορίες που είναι χρήσιμες σε παλαιοοικολογικές μελέτες (Uthicke et al. 2010).

Στη μελέτη αυτή θα αναλυθεί η δομή, ο περιβαλλοντικός ρόλος και η κατανομή των τρηματοφόρων. Επίσης θα γίνει αξιολόγηση της ποικιλομορφία τους, ποσοτικοποίηση και απεικόνισή της. Τέλος θα γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής με αυτή την πρώτη έρευνα των Thissen and Langer (2017).

## 1. Αντικείμενο Έρευνας

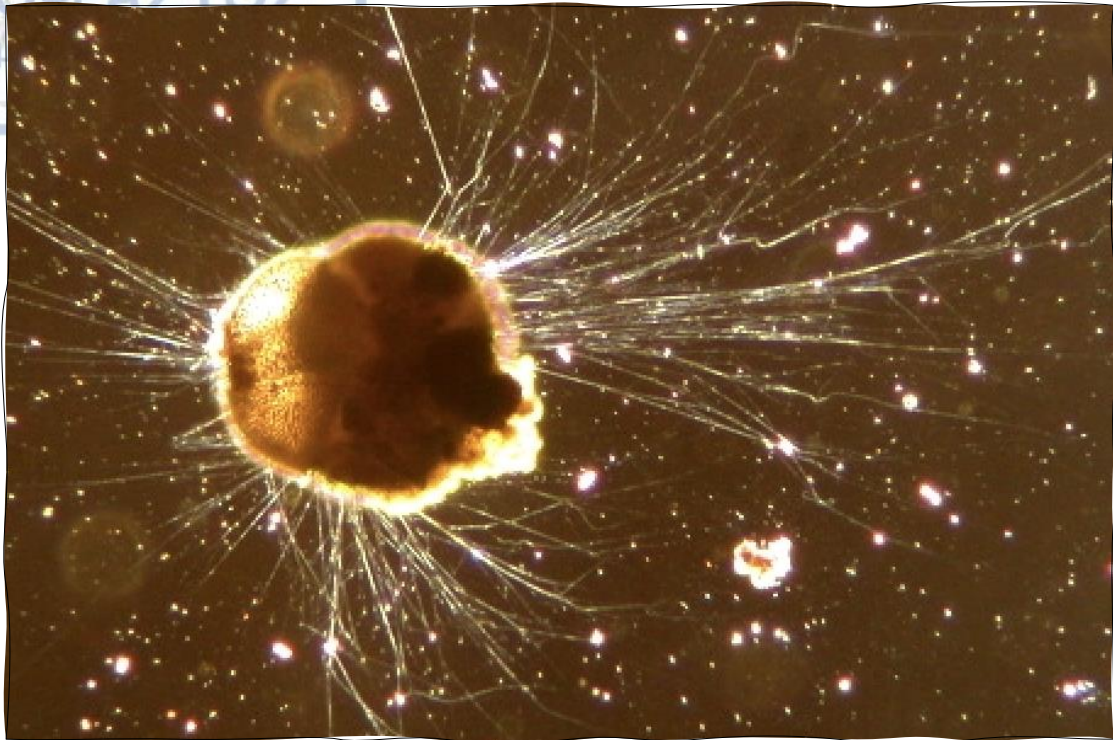
### 1.1 Εισαγωγή στα τρηματοφόρα (Foraminifera)

Την σπουδαιότερη ομάδα μικροαπολιθωμάτων λόγω μεγάλης ποικιλίας και αφθονίας αντιπροσώπων, με περίπου 10.000 σύγχρονα είδη αποτελούν τα τρηματοφόρα (Vickerman 1992). Σύμφωνα με τη συστηματική κατάταξη (κατά Müller 1958) τα τρηματοφόρα (συνομοταξία Foraminifera) (d'Orbigny 1826) εμπίπτουν στην τάξη της κλάσης των Ριζόποδων (Rhizopoda) (Siebold 1845) της συνομοταξίας των Πρωτόζωων (Protozoa) (Goldfuss 1817). Η πρώτη περιγραφή και μελέτη τους έγινε από τον van Leeuwenhoek το 1700 (Dobell 1932).

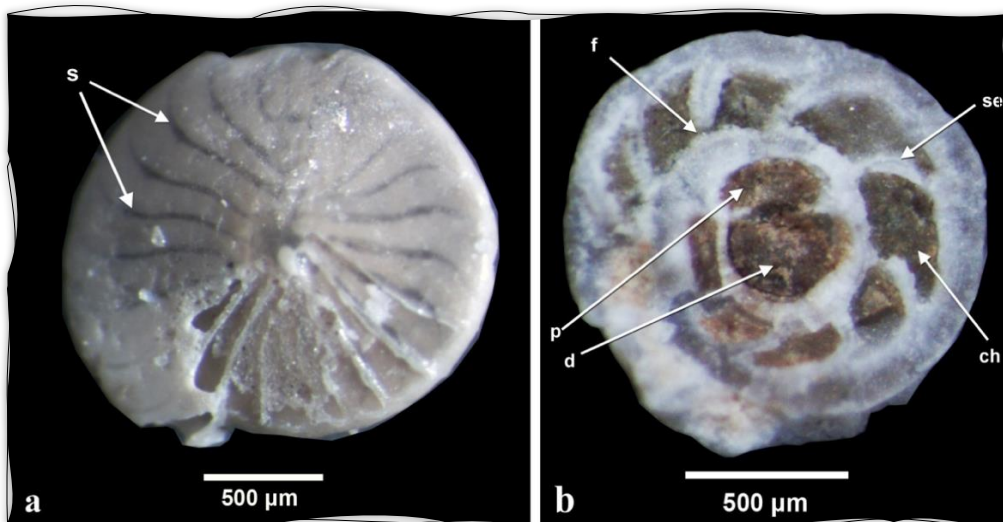
Πρόκειται για μονοκύτταρους, ευκαρυωτικούς οργανισμούς που φέρουν ένα χαρακτηριστικό δίκτυο κοκκιωδών ψευδοποδιών, τα οποία βοηθούν στην κίνηση, στη σύλληψη τροφής, στη στερέωση τους σε υπόβαθρο καθώς και στην κατασκευή του ίδιου τους του κελύφους (Εικόνα 1.1). Σχηματίζουν ενδοεκτοπλασματικό κέλυφος, που φέρει οπές (τρήματα) εξού και το όνομά τους τρηματοφόρα (Τριανταφύλλου και Δήμιζα 2012). Αποτελούν ετερότροφους, μικροπαμφάγους οργανισμούς ενώ κάποια από τα είδη τους τρέφονται με μέρος των προϊόντων της φωτοσύνθεσης των ενδοσυμβιωτικών οργανισμών τους (Lee 2006; Hallock 2000).

Μορφολογικά το κέλυφος χαρακτηρίζεται από ένα ή περισσότερους θαλάμους, οι οποίοι χωρίζονται με διαφράγματα. Τα ίχνη των διαφραγμάτων στο εξωτερικό του κελύφους χαρακτηρίζονται ως γραμμές ραφής (Τριανταφύλλου και Δήμιζα 2012) (Εικόνα 1.1).

Η επικοινωνία των θαλάμων τόσο μεταξύ τους όσο και με το περιβάλλον τους γίνεται με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών για αυτών τρημάτων, πόρων ή με τα στοματικά τους ανοίγματα (Τριανταφύλλου και Δήμιζα 2012).



Εικόνα 1.1: Άτομο του είδους *Ammonia tepida*, με τα χαρακτηριστικά ψευδοπόδια του (Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Foraminifera>).



Εικόνα 1.2: **a.** Κέλυφος τρηματοφόρου του είδους *Nummulites* κάτω από στερεοσκοπικό μικροσκόπιο. Γραμμές ραφής (s). **b.** Τομή του τρηματοφόρου όπου διακρίνονται οι θάλαμοι (p, d) καθώς και τα διαφράγματα (se) (Πηγή: Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015).



### 1.1.1 Ταξινόμηση – Προσδιορισμός των τρηματοφόρων

Η ταξινόμηση και ο προσδιορισμός των απολιθωμένων καθώς και των σύγχρονων αντιπροσώπων κατά Loeblich and Tarran (1987, 1994), γίνεται με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του κελύφους τους. Η διάμετρος του κελύφους κυμαίνεται συνήθως από 0,1 έως 1 χιλιοστά.

Σημαντικότερα χαρακτηριστικά ταξινόμησης αποτελούν:

- Η φύση
- Η δομή
- Η συναρμογή των θαλάμων

Καθώς και κάποια δευτερεύουσας φύσης χαρακτηριστικά αλλά εξίσου σημαντικά όπως: η παρουσία ή η απουσία πόρων, η θέση και ο αριθμός των στοματικών ανοιγμάτων κ.α.

Με βάση τη φύση του κελύφους διακρίνονται οι εξής μορφές:

- Χωρίς κέλυφος
- Χιτινώδεις
- Συμφυρματοπαγές
- Πυριτικό
- Αραγωνιτικό
- Ασβεστολιθικό

Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους τα τρηματοφόρα φέρουν **συμφυρματοπαγές** ή **ασβεστολιθικό** κέλυφος και είναι αυτές οι μορφές που μπορούν να απολιθωθούν.

**Συμφυρματοπαγές:** το τοίχωμα αποτελείται από διάφορα συμφύσματα τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια των ψευδοποδιών από το περιβάλλον και συγκολλούνται μεταξύ τους με συνδετικό υλικό (Εικόνα 1.3).

**Ασβεστολιθικό:** Το τοίχωμα είναι προϊόν έκκρισης από το εκτόπλασμα και είναι ασβεστολιθικό, σπανιότερα αραγωνιτικό. Τα ασβεστολιθικά διακρίνονται σε πορσελανώδη, μικροκοκκώδη και υαλώδη ανάλογα με τη δομή των κρυστάλλων του ασβεστίτη (Εικόνα 1.4).





Εικόνα 1.3: Συμφυρματοπαγές (Agglutinated) τρηματοφόρο του είδους *Textularia* sp. (Πηγή: <https://fossilsandotherlivingthings.blogspot.com/2013/05/brains-conundrum-of-agglutinated.html>).



Εικόνα 1.4: Πορσελανώδες (Porcelaneous) τρηματοφόρο του είδους *Quinqueloculina vulgaris* (d'Orbigny 1826) (Πηγή: <https://depts.washington.edu/forams/order-milioida/genus-quinqueloculina/>).

### 1.1.2 Περιβάλλον διαβίωσης

Τα τρηματοφόρα χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό ειδών. Η τάξη τους αριθμεί τα μισά από τα γνωστά πρωτόζωα και αποτελεί το 2,5 % όλων των οργανισμών που έχουν περιγράψει έως σήμερα (Τσουκαλά 2009). Έκαναν την εμφάνιση τους από το κατώτερο Παλαιοζωικό (Κάμβριο) και εξακολουθούν να ζουν έως σήμερα σε όλα τα υδάτινα περιβάλλοντα (Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015). Εκτός λοιπόν από τις απολιθωμένες μορφές υπάρχουν και σύγχρονα τρηματοφόρα τα οποία διαβιούν κυρίως σε θάλασσες, ωκεανούς και έχουν πολύ μικρό μέγεθος. Ορισμένα είδη πιο σπάνια προτιμούν τα ρηχά νερά των τροπικών περιοχών και το μέγεθος τους μπορεί να φτάσει ακόμα και μερικά εκατοστά του μέτρου (Εικόνα 1.5).

Ανάλογα με το περιβάλλον διαβίωσης και τη στρατηγική ζωή τους τα τρηματοφόρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα **βενθονικά** και τα **πλαγκτονικά**.



Εικόνα 1.5: Περιβάλλοντα διαβίωσης τρηματοφόρων (Πηγή: Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015).

**Βενθονικά:** Αποτελούν το 95% των ειδών των τρηματοφόρων. Διαβιούν είτε στον βυθό, είτε πάνω στο υπόστρωμα (επιπανιδικά) όπου μπορεί να προσκολλώνται πάνω σε φύκη, κοράλλια ή άλλους οργανισμούς. Ελάχιστα ζουν ως παράσιτα και κάποια είτε μέσα στο υπόστρωμα (ενδοπανιδικά) βυθισμένα η ημιβυθισμένα μέσα στο ίζημα. Μπορούν να ζήσουν ακόμα και σε πολύ μεγάλα βάθη. Όλα τα τρηματοφόρα στο αρχικό στάδιο της ζωής τους ζουν ελεύθερα και στην πορεία προσκολλώνται μόνιμα ή εποχικά (Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015). Η μορφολογία του κελύφους των βενθονικών τρηματοφόρων εξαρτάται από το περιβάλλον διαβίωσής τους (Τριανταφύλλου και Δήμιζα 2012; Τσουκαλά 2009). Ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε δυο κατηγορίες (Boudagher-Fadel and Price 2013):

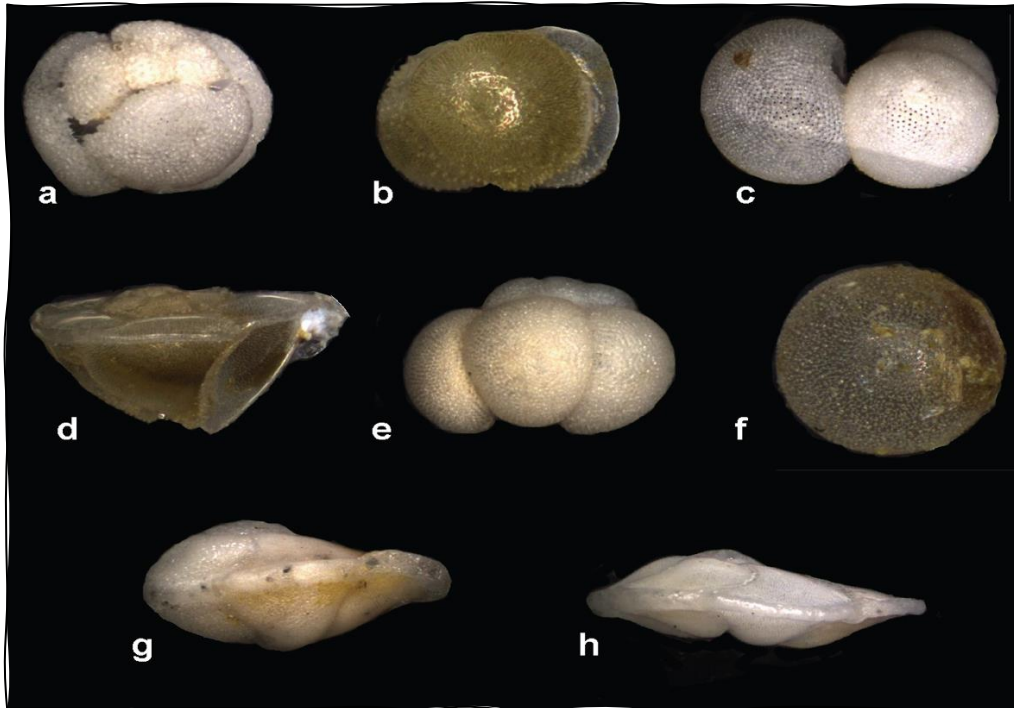
- Στα μικρά, τα οποία έχουν απλές εσωτερικές δομές. Η αναγνώριση μικρών βενθονικών πραγματοποιείται με παρατήρηση της εξωτερικής τους μορφολογίας.
- Στα μεγαλύτερα, όπου η εσωτερική τους δομή είναι πολύπλοκη και απαντώνται σε αφθονία στις περιοχές της υφαλοκρηπίδας των περισσότερων τροπικών και υποτροπικών ρηχών θαλάσσιων πλούσιων σε ανθρακικά στοιχεία περιβαλλόντων. Η αναγνώριση στα μεγαλύτερα είδη απαιτεί τη χρήση λεπτών τομών τους ώστε να μελετηθεί η εσωτερική τους δομή και αρχιτεκτονική (Εικόνα 1.6).



Εικόνα 1.6: Μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα του είδους *Heterostegina depressa* και *Amphistegina lessoni* (Πηγή: <https://www2.bgs.ac.uk/discoveringGeology/time/fossilfocus/foraminifera.html>).



**Πλαγκτονικά:** Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα επιπλέουν ελεύθερα στην υδάτινη στήλη των ωκεανών και απαντώνται ευρέως σε όλες τις κλιματικές ζώνες και θερμοκρασίες παγκοσμίως (Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015). Η πλευστότητα τους ελέγχεται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του κελύφους τους (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7: Πλαγκτονικά τρηματοφόρα.

(Πηγή: [https://www.palaeontologyonline.com/articles/2018/fossil-focus-planktonic-foraminifera-small-fossils-big-impacts/?doing\\_wp\\_cron=1664406000.2765829563140869140625](https://www.palaeontologyonline.com/articles/2018/fossil-focus-planktonic-foraminifera-small-fossils-big-impacts/?doing_wp_cron=1664406000.2765829563140869140625))

Τα μεγάλα βενθονικά είδη καθώς και τα πλαγκτονικά που φέρουν ενδοσυμβιώτες βρίσκονται σε μικρά βάθη, στην ευφωτική ζώνη.

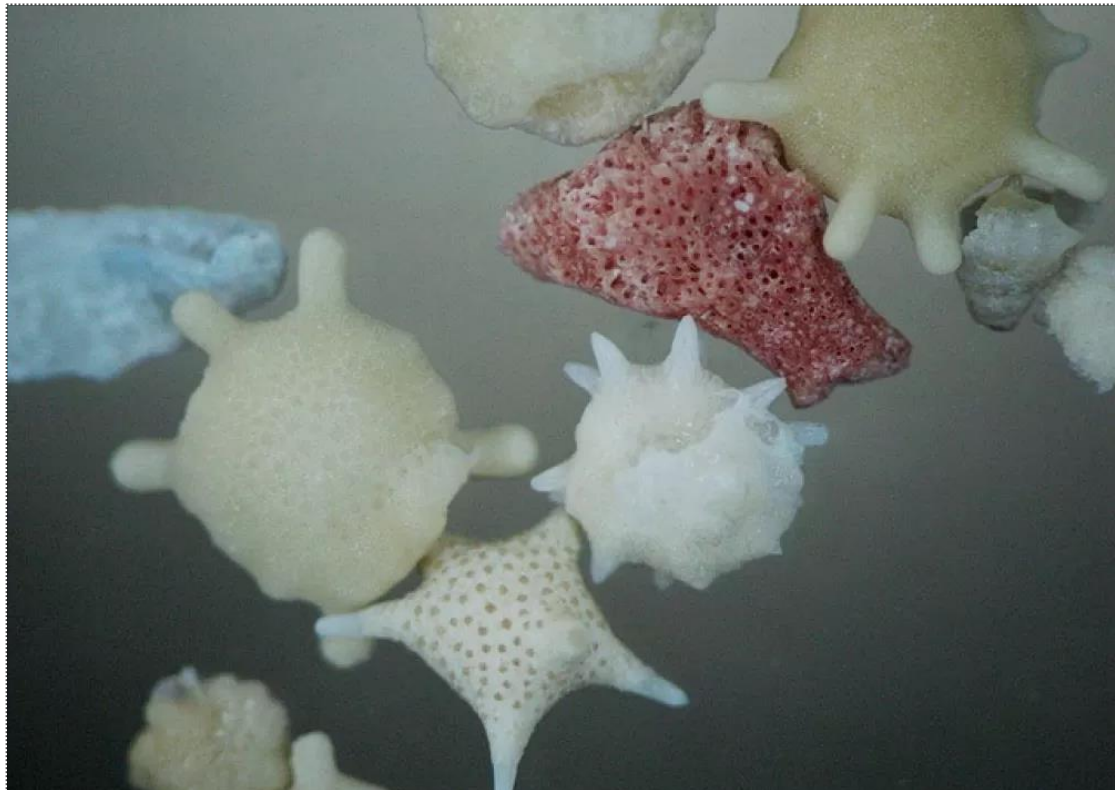
Η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα και πολυμορφία και λόγω αυτού υπάρχει και μεγάλη ποικιλία βιοτόπων. Αποτέλεσμα η δημιουργία διαφόρων μορφοτύπων τρηματοφόρων με τις ανάλογες βιολογικές απαιτήσεις. Αυτός είναι ο λόγος που τα βενθονικά τρηματοφόρα που ζουν στην περιοχή αυτή αποτελούν σημαντικούς παλαιοπεριβαλλοντικούς δείκτες.

Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα που επιπλέουν ελεύθερα στην υδάτινη στήλη των ωκεανών, δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση ειδών και αυτό εξαιτίας της μεγαλύτερης ομοιομορφίας των συνθηκών των ωκεανών. Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα μεταφέρονται εύκολα από τα θαλάσσια ρεύματα και γι' αυτό έχουν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση. Επομένως χρησιμοποιούνται για

βιοστρωματογραφικούς συσχετισμούς παγκόσμιας εμβέλειας (Ζαμπετάκη Λέκκα κ.ά. 2015).

### 1.1.3 Η σημασία των τρηματοφόρων

Τα τρηματοφόρα (Εικόνα 1.8) αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμους δείκτες στις μελέτες τόσο των σύγχρονων θαλάσσιων περιβαλλόντων όσο και στο παλιό αρχείο πετρωμάτων. Οι εφαρμογές τους εστιάζονται κυρίως στην Παλαιοοικολογία και στην Βιοστρωματογραφία. Συγκεκριμένα όπως προαναφέρθηκε αποτελούν άριστους βιοστρωματογραφικούς δείκτες για το μεγαλύτερο μέρος του Φανεροζωικού και επιπλέον έχουν βοηθήσει στο σχηματισμό μεγάλων συμπλεγμάτων υφάλων (Armstrong and Brasier, 2005). Τα μεγαλύτερα βενθονικά τρηματοφόρα παράγουν σημαντικές ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) στους ωκεανούς του κόσμου (Langer et al. 1997; Hallock 1999; Langer 2008).



Εικόνα 1.8: Μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα κάτω από το μικροσκόπιο (Πηγή: <https://ocean.si.edu/ocean-life/plankton/foraminifera>).

Τα τρηματοφόρα ως βιοδείκτες αποτελούν ένα χαμηλού κόστους εργαλείο οικολογικής αξιολόγησης που εύκολα και οικονομικά ενσωματώνεται σε υφιστάμενα προγράμματα παρακολούθησης σε τροπικά αναπτυσσόμενα κράτη με περιορισμένους τεχνολογικούς πόρους, αλλά επαρκή μέσα για την καλλιέργεια ικανοτήτων και επείγουσα ανάγκη για την κατανόηση των επιπτώσεων των γρήγορων μεταβαλλόμενων οικολογικών συνθηκών (Linton and Warner 2003; Hallock 2012). Επίσης τα τρηματοφόρα υπερέχουν ως βιοδείκτες λόγω του μικρού τους μεγέθους, της αφθονίας τους στα ιζήματα των υφάλων, της ευκολίας να ληφθούν δείγματα με ελάχιστη περιβαλλοντική ζημία καθώς και στο ότι δείχνουν διαβαθμίσεις στην αντίδρασή τους σε σχέση με την περιβαλλοντική πίεση (Hallock 2000; Bouchet et al. 2012).

Επιπλέον, οι περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες προκαλούν σχετικά γρήγορες ποιοτικές και ποσοτικές αλλαγές στη δομή των τρηματοφόρων αλλά και στη λειτουργία τους (φωτοσύνθεση συμβιωτών, παραγωγή ανθρακικών αλάτων, ανάπτυξη και αναπαραγωγή) (Murray 2006; Hohenegger et al. 2014).

Τέλος χρησιμοποιούνται στην ανασύσταση του κλίματος και των αποθετικών περιβαλλόντων, αλλά κατέχουν και εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην έρευνα πετρελαίου.



## 1.2 Κοραλλιογενείς ύφαλοι

Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά παραγωγικά οικοσυστήματα και παρέχουν οικονομικούς πόρους για περισσότερους από μισό δισεκατομμύρια ανθρώπους (Cesar 2000) (Εικόνα 1.9). Παρουσιάζουν εξαιρετική ποικιλομορφία, βρίσκονται σε oligotροφικά περιβάλλοντα και αποτελούν το θαλάσσιο ισοδύναμο των τροπικών δασών. Αναπτύσσονται καλύτερα σε ζεστά, ρηγά, καθαρά, ηλιόλουστα νερά.

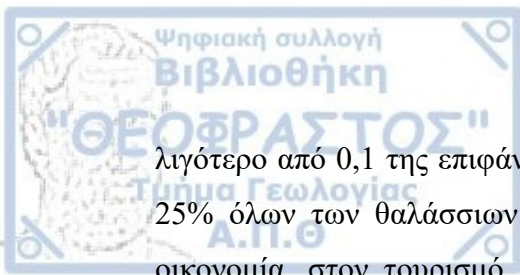


Εικόνα 1.9: Κοραλλιογενής ύφαλος

(Πηγή: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/scientists-work-to-save-coral-reefs-climate-change-marine-parks>).

Δημιουργούνται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και κατασκευάζονται από ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) που παράγεται από τα κοράλλια. Συγκεκριμένα τα μεγαλύτερα βενθονικά τρηματοφόρα, όπως τα κοράλλια συνιστούν πρωταρχικές πηγές παραγωγής ανθρακικών αλάτων στους υφάλους σε παγκόσμια κλίμακα (Langer et al. 1997; Vila-Concejo et al. 2013; Doo et al. 2014). Οι περισσότεροι από τους υφάλους έχουν δημιουργηθεί από σκληρά κοράλλια, τα οποία αποτελούνται από πολύποδες που διασπώνται σε διάφορες ομάδες. Οι πολύποδες προσομοιάζονται με μικροσκοπικές θαλάσσιες ανεμώνες με τη διαφορά ότι τα κοράλλια πολύποδες εκκρίνουν σκληρούς ανθρακικούς εξωτερικούς σκελετούς, οι οποίοι προστατεύουν και υποστηρίζουν το σώμα τους.

Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι αποτελούν αποικίες μικροσκοπικών ζώων που ζουν σε θαλάσσια ύδατα, τα οποία περιέχουν κάποια θρεπτικά συστατικά. Καταλαμβάνουν

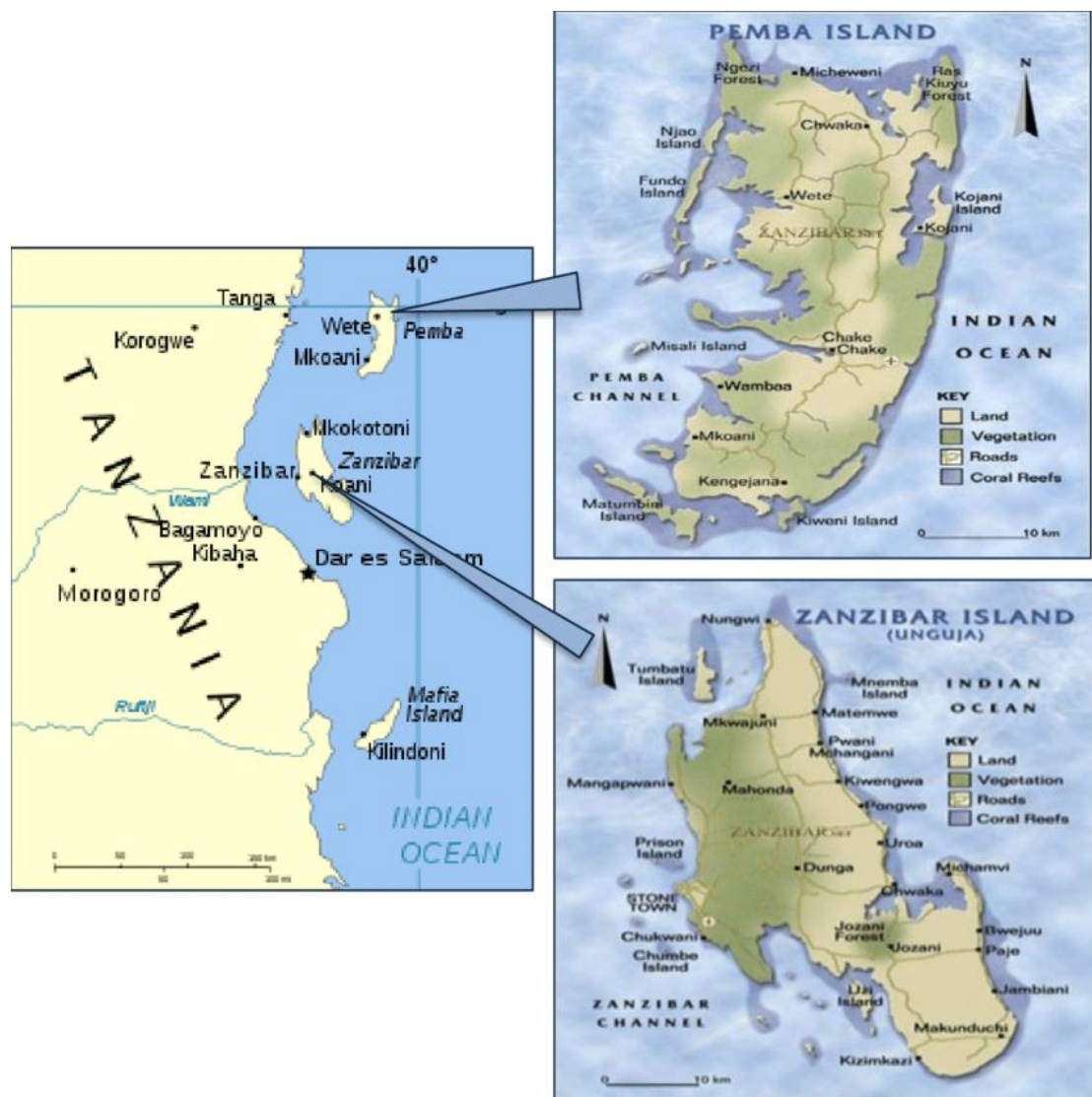


λιγότερο από 0,1 της επιφάνειας των ωκεανών αλλά αποτελούν το ενδιαίτημα για το 25% όλων των θαλάσσιων ειδών. Καθίστανται λοιπόν ιδιαίτερα σημαντικοί στην οικονομία, στον τουρισμό, στην αλιεία και στην προστασία των ακτών (Gibbens 2020).

Παρ' όλα αυτά είναι ιδιαίτερα εύθραυστα οικοσυστήματα και πολύ ευαίσθητα στις αλλαγές θερμοκρασίας του νερού. Στις μέρες μας βρίσκονται υπό μεγάλη απειλή λόγω της κλιματικής αλλαγής, της αλιείας με τη χρήση δυναμιτών, της οξύνισης των ωκεανών, της μεγάλης ρύπανσης των υδάτων εξαιτίας των αστικών και γεωργικών απορροών κ.α., με αποτέλεσμα να έχει χαθεί τουλάχιστον το 1/3 των κοραλλιογενών υφάλων του πλανήτη (De'ath et al. 2012).

## 2. Περιοχή Μελέτης

Η Ζανζιβάρη ανήκει στην Δημοκρατία της Τανζανίας, βρίσκεται ακριβώς απέναντι από τις Τανζανικές ακτές, βρέχεται από τον δυτικό τμήμα του Ινδικού ωκεανού και είναι ένα αρχιπέλαγος, το οποίο αποτελείται από τρία κύρια νησιά, τη Ζανζιβάρη που είναι το μεγαλύτερο σε έκταση από τα τρία, τη Μάφια, την Πέμπα καθώς και άλλα μικρότερα νησάκια (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Χάρτης της θέσης των νησιών του αρχιπέλαγους της Ζανζιβάρης  
(Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Maps-of-Zanzibar-Islands-From-Zanzibar-Development-Vision-2010\\_fig1\\_249451985](https://www.researchgate.net/figure/Maps-of-Zanzibar-Islands-From-Zanzibar-Development-Vision-2010_fig1_249451985)).



Το κλίμα της Ζανζιβάρης χαρακτηρίζεται ως τροπικό θερμό και υγρό λόγω της θέσης της, μόλις λίγες μοίρες νότια του Ισημερινού. Λόγω των συνθηκών που επικρατούν στη Ζανζιβάρη η ανάπτυξη των κοραλλιογενών υφάλων είναι μεγάλη (Εικόνα 2.2). Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι παρέχουν ένα προστατευτικό και ποικίλο ενδιαίτημα για τη θαλάσσια ζωή και βοηθούν σημαντικά στην αλιεία του νησιού. Προστατεύουν την ακτογραμμή του νησιού από τη διάβρωση και αποτελούν μια εναλλακτική πηγή εισοδήματος καθώς το υποβρύχιο τοπίο του νησιού είναι τόσο εκπληκτικό που προσελκύει πολλούς τουρίστες κάθε χρόνο για να το θαυμάσουν. Επίσης, οι λευκές αμμώδεις παραλίες της Ζανζιβάρης δεν είναι τίποτα άλλο από μικροσκοπικά κομμάτια θραυσμάτων νεκρών οστράκων κοχυλιών και κοραλλιών (Department of Fisheries and Marine Resources 2009).

Όπως είναι ευρέως γνωστό στις μέρες μας βρίσκονται σε μεγάλο κίνδυνο και συγκεκριμένα έως και το 99% των κοραλλιογενών υφάλων απειλούνται με εξαφάνιση (Spalding et al. 2001). Βέβαια οι περιοχές που εντοπίζονται μαγγρόβια (δάση που κυριαρχούνται από ξυλώδη και ανεκτικά στο αλάτι φυτά και ευδοκιμούν στα δέλτα των ποταμών και σε περιοχές με υφάλμυρα νερά) (Εικόνα 2.3), συμβάλουν στην προστασία των κοραλλιογενών υφάλων από την κάλυψη με ίζημα, καθώς δημιουργούν έδαφος και εμποδίζουν την παράκτια διάβρωση και την απορροή ιζημάτων (Francis et al. 2001).



Εικόνα 2.2: Κοραλλιογενής ύφαλος στη Ζανζιβάρη

(Πηγή: <http://www.flickr.com/photos/97968921@N00/4276444255>).



Εικόνα 2.3: Μαγγρόβια στη Ζανζιβάρη  
(Πηγή: <http://www.grida.no/resources/8701>)

Στα τρία νησιά του αρχιπελάγους της Ζανζιβάρης εντοπίζεται μια ιδιαίτερη διαφορά στην τοπογραφία των **δυτικών** και των **ανατολικών** ακτών (Thissen and Langer 2017).

**Δυτικά:** Υπάρχουν μικρότερες νησίδες, ύφαλοι, προστατευόμενοι κόλποι και κάποια θαλάσσια λιβάδια (φύκη *Posidonia*).

**Ανατολικά:** Οι ανατολικές ακτές είναι περισσότερο ευθυγραμμισμένες και εκτίθενται στην παλιρροιακή δράση και τα κύματα. Επίσης λόγω της απότομης υφαλοκρηπίδας καλύπτονται από μεγάλα κροκαλοπαγή (Arthurton 2003).

Οι νότιες και βορειοδυτικές ακτές του νησιού της Ζανζιβάρης χαρακτηρίζονται από στενές παλιρροιακές ζώνες και παρουσιάζουν μη στερεοποιημένη άμμο και βότσαλα. Εξάιρεση αποτελούν οι περιοχές με ενεργή διάβρωση της ακτής (Arthurton et al. 1999).

Στο βόρειο και στο νότιο άκρο του νησιού, η παλιρροιακή δράση είναι εντονότερη και προκαλεί ισχυρά ρυθμικά ρεύματα. Οι ανατολικές ακτές εκτίθενται στον Ινδικό ωκεανό και υπόκεινται σε εποχιακά έντονα μεταβαλλόμενα ωκεάνια κύματα (Hammar et al. 2012; Lwiza 1994; Nyandwi 2001).

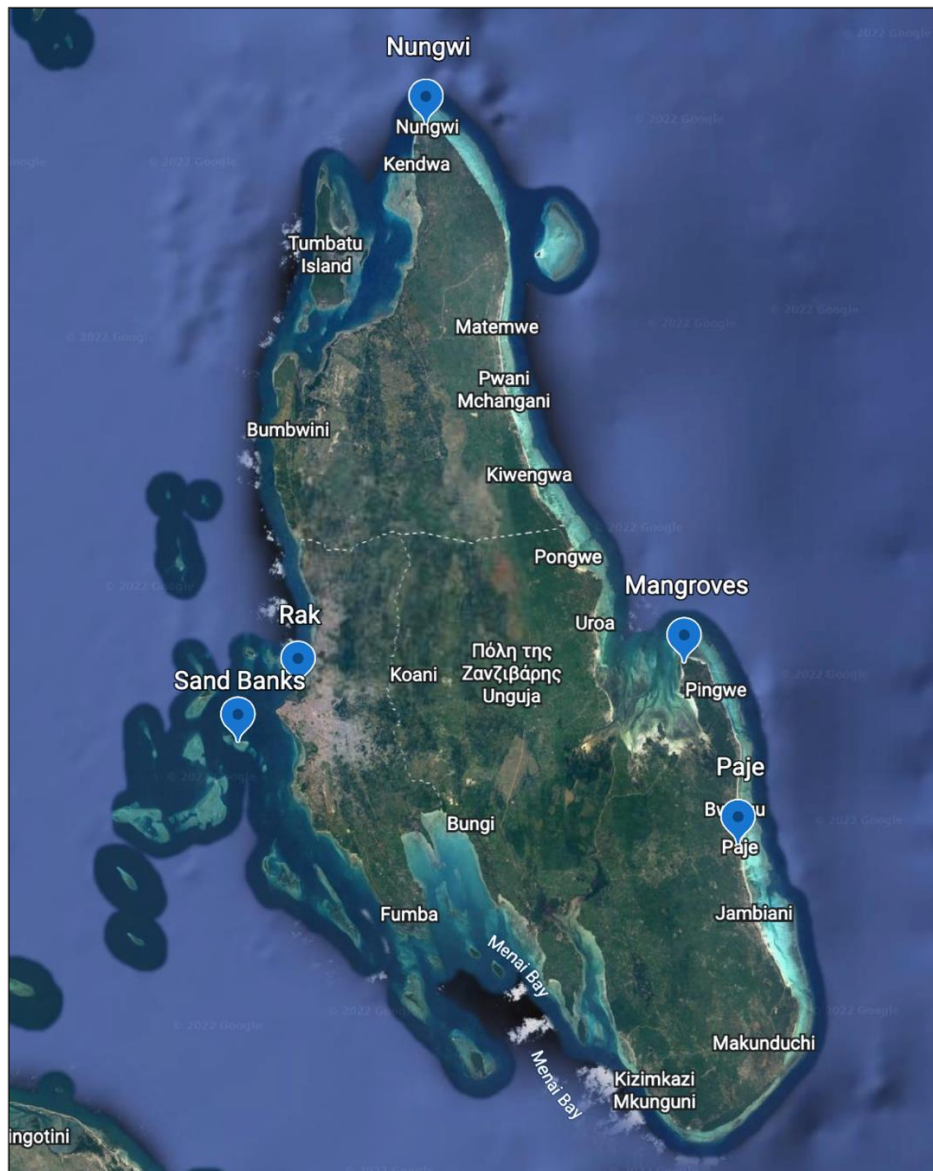


Στις ανατολικές ακτές οι παράκτιοι κροσσωτοί ύφαλοι προστατεύουν την ακτογραμμή κατά την επίδραση της παλίρροιας, αλλά σε περίπτωση υψηλής παλίρροιας τα κύματα χτυπούν κατευθείαν στους παράκτιους βράχους. Εξαιρέση αποτελούν τα βορειοδυτικά τμήματα του νησιού όπου είναι περισσότερο προστατευμένα από τα μικρότερα νησάκια που τα περιβάλλουν (Khamis et al. 2017).

Ο δυτικός Ινδικός ωκεανός γύρω από το αρχιπέλαγος της Ζανζιβάρης χαρακτηρίζεται από μεγάλη βιοποικιλότητα. Συγκεκριμένα τα είδη πανίδας και χλωρίδας που έχουν περιγραφεί μπορούν ακόμα και να ξεπεράσουν ακόμα και τα 11.000. Βέβαια καθώς οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή είναι περιορισμένες, τα είδη που υπάρχουν στην πραγματικότητα είναι πολύ περισσότερα (Richmond 2001; Griffiths 2005). Έχουν περιγραφεί 528 είδη κοραλλιογενών ψαριών από τον δυτικό Ινδο-Ειρηνικό, τα οποία αποτελούν την υψηλότερη μέση πυκνότητα ειδών των υφαλοφόρων ψαριών στους ωκεανούς του πλανήτη (Stuart-Smith et al. 2013). Τέλος οι ύφαλοι της Τανζανίας χαρακτηρίζονται από τουλάχιστον 369 είδη κοραλλιών (Obura 2012).

### 3. Μεθοδολογία

Η συλλογή δειγμάτων ιζημάτων για την παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε σε πέντε παράκτιες περιοχές της Ζανζιβάρης, την Sand Banks, την Paje, την Rak, την Nungwi και την Mangrove (Εικόνα 3.1). Συλλέχθηκαν τα ανώτερα 2 cm του επιφανειακού ιζήματος πυθμένα, σε κατάλληλες δειγματοληπτικές πλαστικές σακούλες. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με κατάδυση με τη χρήση αναπνευστήρα στις παράκτιες περιοχές. Η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να παραλαμβάνεται όλο το φάσμα των διαφορετικών περιβαλλοντικών ενδιαιτημάτων της Ζανζιβάρης.



Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα μέσω Google Earth που απεικονίζει τις περιοχές δειγματοληψίας.

Στη συνέχεια τα δείγματα ξηράθηκαν και συσκευάστηκαν σε σακούλες, κουτιά ή πλαστικά μπουκάλια ώστε μετέπειτα να μεταφερθούν και να μελετηθούν στο εργαστήριο. Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν πλυθούν, αλλά και μετά την πλύση σε κόσκινο διαμέτρου οπής 63  $\mu\text{m}$ , ώστε να υπολογιστεί η ποσοστιαία συμμετοχή της άμμου και ιλύος+αργίλου σε κάθε δείγμα.

Η πλύση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια κόσκινου διαμέτρου οπής 63  $\mu\text{m}$  (Εικόνα 3.2) με φυσικό νερό. Στη συνέχεια τα δείγματα ξηράθηκαν φυσικά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για διάστημα τουλάχιστον πέντε ημερών, αντί ξήρανσης σε φούρνο στους 50°C. Τα δείγματα ζυγίστηκαν εκ νέου, όπως προαναφέρθηκε, με ηλεκτρονική ζυγαριά (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.2: Κόσκινο διαμέτρου οπής 63 $\mu\text{m}$

Πηγή: ([http://www.researchgate.net/figure/A-Picking-brush-B-Micro-cells-C-63-microns-sieve-D-Stereoscopic-binocular\\_fig4\\_343809633](http://www.researchgate.net/figure/A-Picking-brush-B-Micro-cells-C-63-microns-sieve-D-Stereoscopic-binocular_fig4_343809633))

Εικόνα 3.3: Ηλεκτρονική ζυγαριά

Πηγή: (<http://srilankasciencehouse.com/product/digital-electronic-scale/>)

Στη συνέχεια το δείγμα χωρίστηκε σε μικρότερα κλάσματα με τη βοήθεια Otto microsplitter (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Microsplitter

Πηγή: (<http://www.ascscientific.com/geology-laboratory-equipmnet/sample-splitters-riffler/asc-micro-sample-splitter/>)

Αυτό βοήθησε ώστε να προκύψει ένα αντιπροσωπευτικό μικρό κλάσμα που περιέχει τον απαιτούμενο αριθμό τρηματοφόρων (200 άτομα), ώστε να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα για τις περιοχές μελέτης. Το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε ειδικό δισκίο (Εικόνα 3.5) και μελετήθηκε κάτω από στερεοσκοπικό μικροσκόπιο προσπίπτοντος φωτός, Zeiss Jena (μεγέθυνση X 80) (Εικόνα 3.6). Διαχωρίστηκαν τουλάχιστον 100 με 200 άτομα τρηματοφόρων από κάθε δείγμα και συλλέχθηκαν με τη χρήση πινέλου (No000). Στη συνέχεια ομαδοποιήθηκαν και κολλήθηκαν με ειδική κόλλα (Gome Adraganth) σε μικροπαλαιοντολογικά πινακίδια.

Τα τρηματοφόρα σε κάθε δείγμα προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους και καταμετρήθηκαν. Το σχήμα της συστηματικής ταξινόμησης ακολούθησε αυτό των Loeblich and Tarran (1987, 1994) και ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε βάσει Hottinger et al. (1993) και Thiesen and Langer (2017).



Εικόνα 3.5: Μελέτη δείγματος κάτω από στερεοσκοπικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 3.6: Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο προσπίπτοντος φωτός, Zeiss Jena

Πηγή: (<https://profilab24.com/en/laboratory/mikroskope/akruess-optronic-msz5000-t-rl-stereo-zoom-microscope>)

Τα δεδομένα εισήχθησαν στο Excel και εκτελέστηκε στατιστική ανάλυση. Προσδιορίστηκε η πυκνότητα (Density) των τρηματοφόρων (αριθμός ατόμων/1 gr) για το κάθε κλάσμα δείγματος που μελετήθηκε για την κάθε περιοχή.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίηση των προσδιορισθεισών ειδών σε συγκεκριμένες οικολογικές ομάδες και υπολογίστηκε η ποσοστιαία αναλογία της κάθε ομάδας στην κάθε περιοχή μελέτης.

Όλα τα γένη με βάση τους οικολογικούς τους ρόλους σε περιβάλλοντα θερμών υδάτων κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες: συμβιωτικά, ομορτοουνιστικά και μικρά ετερότροφα τρηματοφόρα και προσδιορίστηκε η ποσοστιαία αναλογία της κάθε ομάδας για την κάθε περιοχή δειγματοληψίας (Hallock et al. 2003).



Έπειτα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το μέγεθος στα μεγάλα και στα μικρά βενθονικά τρηματοφόρα καθώς επίσης διαιρέθηκαν σε τρεις υποκατηγορίες, σε αυτά με συμφυρματοπαγές κέλυφος (Agglutinants), σε αυτά με διάτρητο ή υαλώδες ασβεστολιθικό κέλυφος (Perforate) και σε αυτά με αδιάτρητο ή πορσελανώδες ασβεστολιθικό κέλυφος (Porcellaneous). Αντιστοίχως προσδιορίστηκαν τα ποσοστά τους για την κάθε περιοχή μελέτης.

Υπολογίστηκαν επίσης οι δείκτες ποικιλότητας Αφθονία (Taxa, S), Επικράτηση (Dominance, D), Ποικιλότητα (Simpson, 1-D; Shannon, H'; Fisher-a) και η Ομοιομορφία (Equitability, J) με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Past (Hammer et al. 2001) (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Βιοδείκτες για τις περιοχές δειγματοληψίας.

Περιοχές δειγματοληψίας	Taxa S	Dominance D	Simpson 1-D	Shannon H	Equitability J	Fisher alpha
Sand Bank	10	0,2061	0,7939	1,801	0,7824	2,737
Paje	7	0,2226	0,7774	1,615	0,8301	1,66
Rak	23	0,1673	0,8327	2,319	0,7396	6,805
Nungwi	11	0,1616	0,8384	1,991	0,8304	3,553
Mangrove	11	0,4562	0,5438	1,311	0,5467	3,154

Για τη μέτρηση της ποικιλομορφίας, η αφθονία των ειδών προσδιορίστηκε και απεικονίστηκε για την κάθε περιοχή μέσω του δείκτη Fisher-a (Fisher et al. 1943; Murray 1973).

Για την επικράτηση, κυριαρχία ενός είδους στον πληθυσμό χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Dominance, D. Επίσης προσδιορίστηκαν οι δείκτες Taxa S για την αφθονία των ειδών σε κάθε περιοχή, ο δείκτης ομοιομορφίας Equitability J, ο Shannon H' που λαμβάνει υπόψη τις αναλογίες μη διαδεδομένων ειδών και τέλος ο Simpson 1-D που εκφράζει τη πιθανότητα δύο τυχαία επιλεγμένα άτομα ενός δείγματος να ανήκουν σε διαφορετικά είδη.

Για την αξιολόγηση της γενικής κατάστασης των συνθηκών που επικρατούν στους υφάλους υπολογίστηκε ακόμα ένας δείκτης, ο Foram-Index (FI), σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας (Hallock et al. 2003; Hallock 2012).

Ο FI είναι ένας δείκτης μέτρησης που προσδιορίζει τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων στα περιβάλλοντα διαβίωσης των κοραλλιογενών υφάλων. Είναι ένας δείκτης που έχει ιδιαίτερη σημασία σε πληθυσμούς που ζουν σε περιβάλλοντα που είναι υπό την επίδραση ανθρωπογενών και φυσικών στρεσογόνων παραγόντων (Engle 2000). Επίσης αξιολογεί κατά πόσο η ποιότητα του ύδατος είναι επαρκής για την συμβίωση φυκών.

Ο δείκτης αυτός βασίζεται στα άτομα των τρηματοφόρων που υπάρχουν στο ίζημα και είναι ανεξάρτητος από τους πληθυσμούς των κοραλλιών. Είναι ο πλέον κατάλληλος, διότι επιτρέπει μια γρήγορη και αποδοτική αξιολόγηση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών, χάρη στην αφθονία των τρηματοφόρων. Στον υπολογισμό του FI θα ληφθεί υπόψη η αφθονία των συμβιωτικών, ομορτουμιστικών και μικρών ετερότροφων τρηματοφόρων.

Ο δείκτης FI υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$FI = (10 \times Ps) + Po + (2 \times Ph)$$

όπου  $Ps = Ns/T$   $Po = No/T$   $Ph = Nh/T$ ,  $Ns$  = το πλήθος των συμβιωτικών τρηματοφόρων,  $No$  = το πλήθος των ομορτουμιστικών τρηματοφόρων,  $Nh$  = το πλήθος των μικρών ετεροτροφικών τρηματοφόρων και  $T$  = ο συνολικός αριθμός των τρηματοφόρων που καταμετρήθηκαν (Hallock et al. 2003).

Ερμηνεία:

$FI > 4$  υποδηλώνει περιβάλλον που ευνοεί την ανάπτυξη υφάλων.

FI που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 υποδηλώνει περιβαλλοντική αλλαγή (συντελεστής διακύμανσης  $> 0,1$ ).

$2 < FI < 4$  υποδηλώνει περιβάλλον οριακό για την ανάπτυξη υφάλων και ακατάλληλο για ανάκαμψη.

$FI < 2$  υποδηλώνει συνθήκες πίεσης ακατάλληλες για την ανάπτυξη υφάλων.

#### 4. Αποτελέσματα

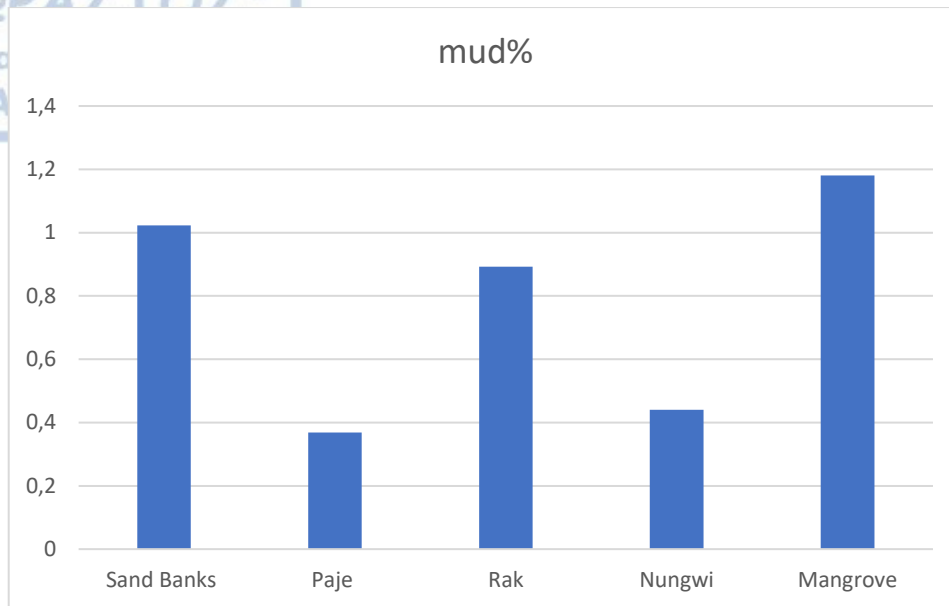
Η συστηματική ταξινόμηση κρίθηκε ιδιαίτερα σημαντική για την έρευνα. Συνολικά ανακτήθηκαν 582 τρηματοφόρα, που ταξινομήθηκαν σε 33 είδη που ανήκουν σε 21 γένη, από τις πέντε περιοχές δειγματοληψίας. Η απεικόνιση τους σε διαγράμματα απαίτησε την ομαδοποίηση, ορισμένων από αυτών σε συγκεκριμένες οικολογικές ομάδες. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα είδη που προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Κατάλογος των τρηματοφόρων που προσδιορίστηκαν στις παράκτιες περιοχές της Ζανζιβάρης.

<i>Amphistegina lessonii</i>	<i>Peneroplis planatus</i>
<i>Amphistegina bicirculata</i>	<i>Triloculina</i> sp.
<i>Amphistegina lobifera</i>	<i>Triloculina asymmetrica</i>
<i>Miniasina</i> sp.	<i>Triloculina trigonula</i>
<i>Heterostegina</i> sp.	<i>Quinqueloculina cuvieriana</i>
<i>Ammonia convexa</i>	<i>Quinqueloculina patagonica</i>
<i>Neorotalia calcar</i>	<i>Quinqueloculina</i> sp.
<i>Eponides repandus</i>	<i>Spiroloculina foveolate</i>
<i>Glabratella</i> sp.	<i>Spiroloculina</i> sp.
<i>Cibicidella</i> sp.	<i>Sorites orbiculus</i>
<i>Rosalina bradyi</i>	<i>Textularia</i> sp.1
<i>Rotorbis rosacea</i>	<i>Textularia</i> sp.2
<i>Alliatinella panayensis</i>	<i>Siphotextularia</i>
<i>Elphidium limbatum</i>	<i>Sahulia kerimbaensis</i>
<i>Elphidium lunatum</i>	<i>Haddonina</i> sp.1
<i>Elphidium striatopunctatum</i>	<i>Haddonina</i> sp.2
<i>Peneroplis pertusus</i>	

Αρχικά προσδιορίστηκε για τα δείγματα μας η περιεκτικότητα σε άμμο, ίλυ+άργιλο. Διαπιστώθηκε σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.1) ότι η λάσπη είναι πολύ λίγη και κυμαίνεται γύρω στη μονάδα με εξαίρεση στη Paje και στη Nungwi όπου είναι περίπου η μισή. Τα δείγματά μας λοιπόν αποτελούνται κυρίως από άμμο.

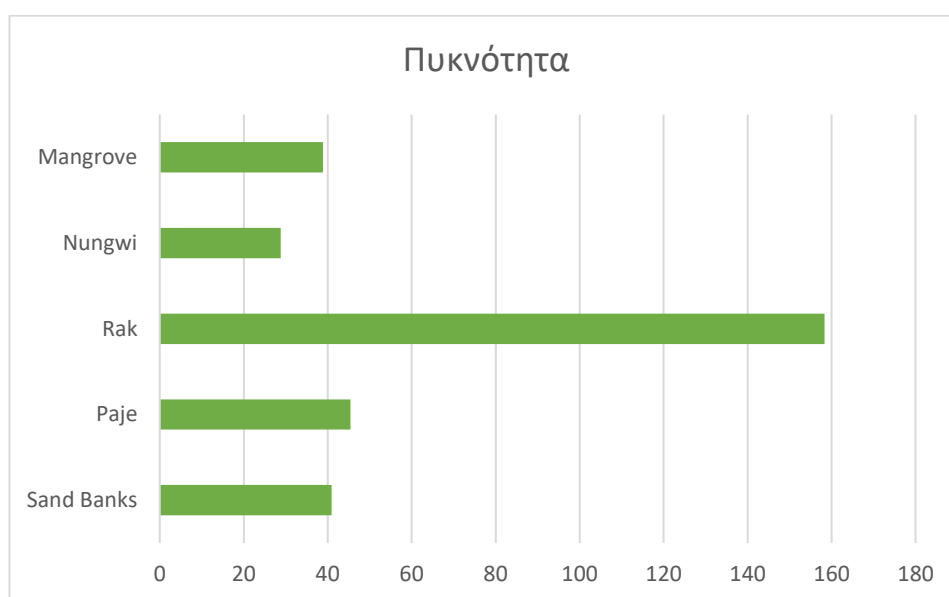




Εικόνα 4.1: Διάγραμμα του ποσοστού της άμμου στην κάθε περιοχή μελέτης.

Με παρατήρηση η άμμος στις ακτές Sand Banks, Paje χαρακτηρίζεται ως αδρόκοκκη, στη Rak και στη Mangrove ως μεσόκοκκη και τέλος στη Nungwi ως λεπτόκοκκη.

Ακολούθησε στη συνέχεια μια πρώτη σύγκριση των περιοχών δειγματοληψίας βάσει της πυκνότητας των ειδών των τρηματοφόρων που ανευρέθηκαν σε αυτές ανά γραμμάριο ξηρού δείγματος (Foraminiferal Density, FD). Συγκεκριμένα προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Εικόνα 4.2):

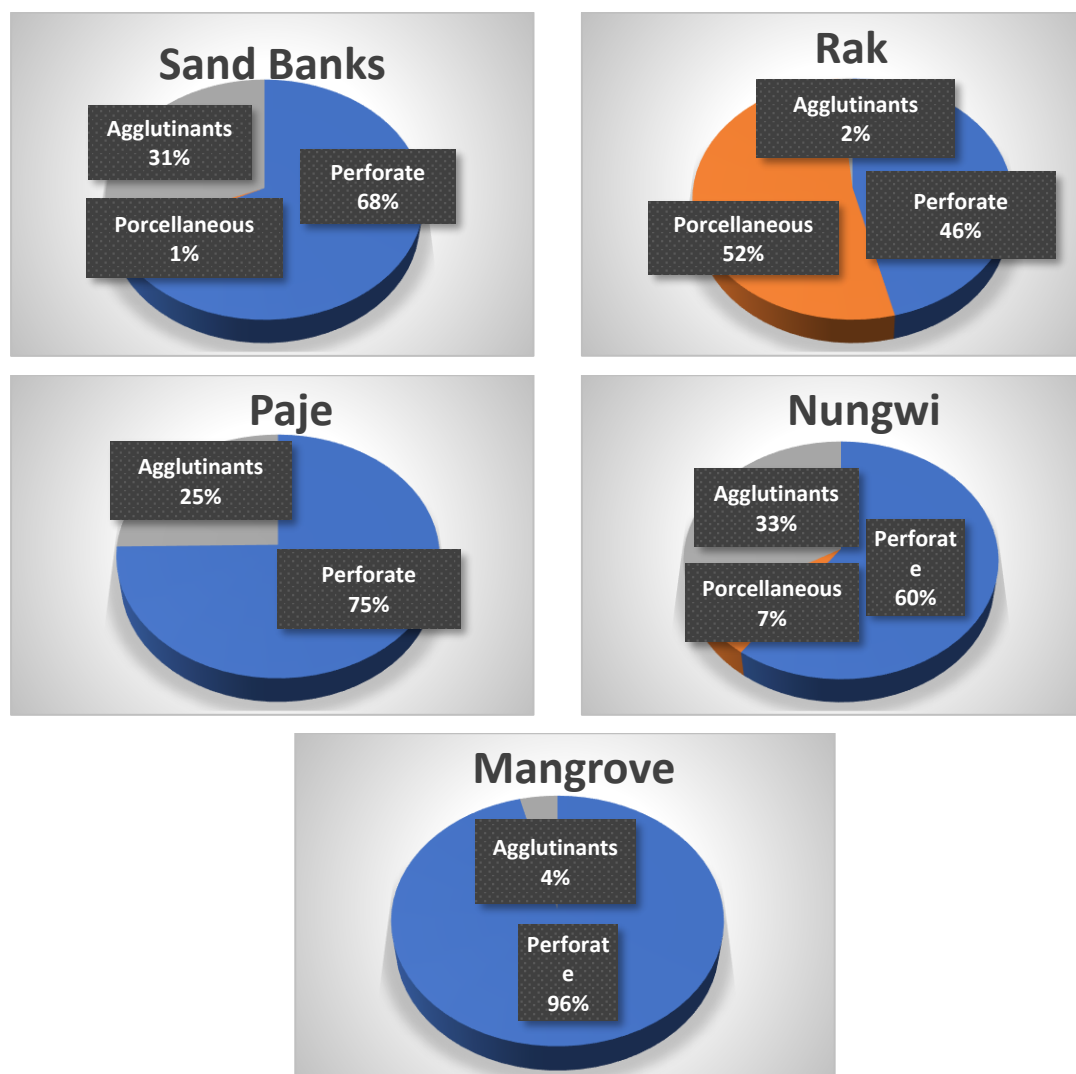


Εικόνα 4.2: Πυκνότητα τρηματοφόρων στις περιοχές δειγματοληψίας .

Τη μεγαλύτερη πυκνότητα παρουσιάζει η Rak με τιμή 158,294 άτομα/gr σχεδόν τριπλάσια από τις υπόλοιπες περιοχές. Ακολουθούν με τη σειρά η Paje με πυκνότητα 45,42664 άτομα/gr, η Sand Banks με πυκνότητα 40,9258 άτομα/gr, η Mangrove με πυκνότητα 38,84081 άτομα/gr και τέλος μικρότερη πυκνότητα εμφανίζει η Nungwi με μόλις 28,81721 άτομα/gr.

Έπειτα ακολούθησε ο προσδιορισμός των τρηματοφόρων με βάση τη μορφολογία του κελύφους τους. Χωρίστηκαν σε αυτά που φέρουν συμφυρματοπαγές (agglutinants), διάτρητο ή υαλώδες ασβεστολιθικό κέλυφος (perforate) και αδιάτρητο ή πορσελανώδες ασβεστολιθικό κέλυφος (porcellaneous).

Με βάση τον υπολογισμό της ποσοστιαίας αναλογίας της κάθε κατηγορίας ανά περιοχή μελέτης προέκυψαν τα παρακάτω γραφήματα σε μορφή πίτας (Εικόνα 4.3).



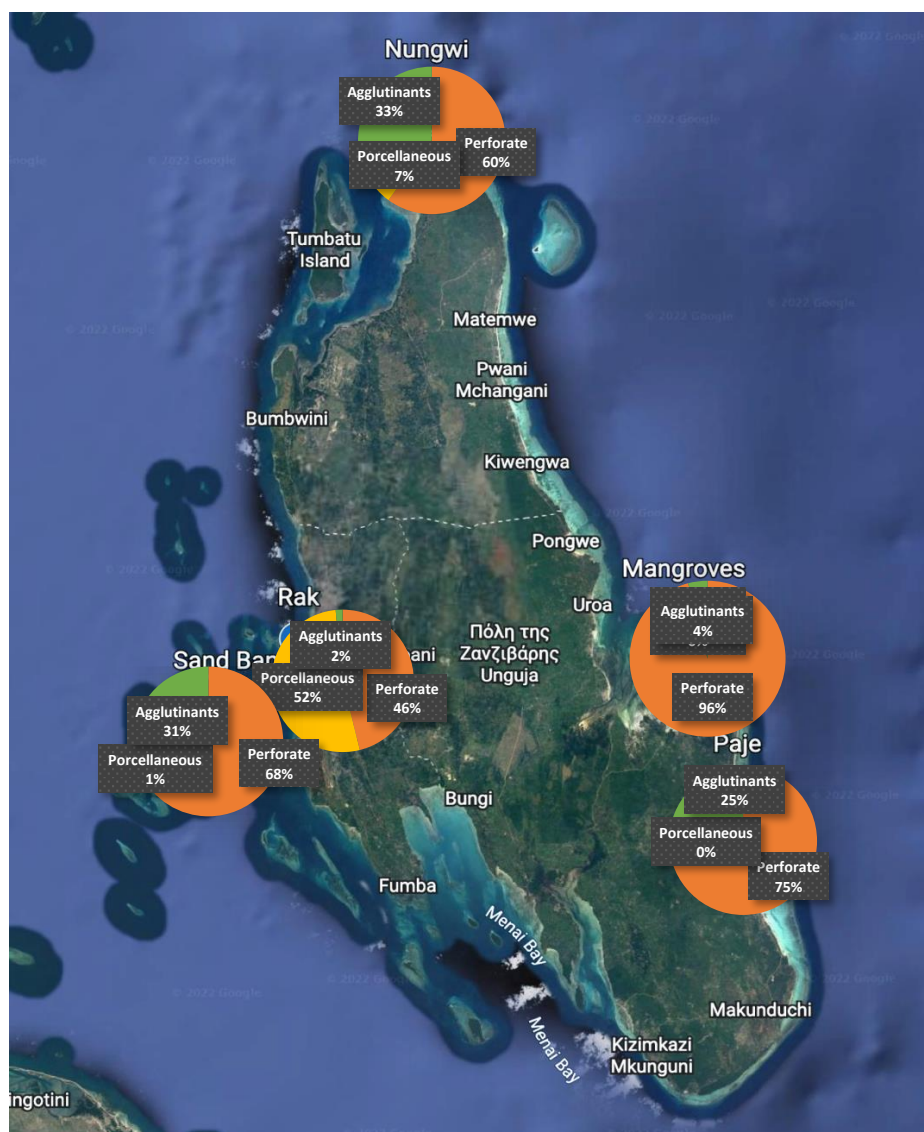
Εικόνα 4.3: Γραφήματα ποσοστιαίας αναλογίας ειδών βενθονικών τρηματοφόρων που φέρουν υαλώδες-διάτρητο (Perforate) (μπλε χρώμα), πορσελανώδες (Porcellaneous) (πορτοκαλί χρώμα) και συμφυρματοπαγές (Agglutinants) (γκρι χρώμα) κέλυφος.

Τα συμφυρματοπαγή αντιπροσωπεύουν 6 από τα προσδιορισθέντα είδη, και κυμαίνονται μεταξύ 25–33% στις περιοχές Nungwi, Sand Banks και Paje ενώ στις Rak και Mangrove είναι μόλις 2–4%.

Τα αδιάτρητα ή πορσελανώδη ασβεστολιθικά αντιπροσωπεύουν 11 από τα προσδιορισθέντα είδη, έχουν πολύ μεγάλη εμφάνιση στην Rak με ποσοστό 52% ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η εμφάνιση τους είναι κάτω από 7%. Μάλιστα στην Paje και στην Mangrove εκλείπουν.

Τα διάτρητα ή υαλώδη ασβεστολιθικά αντιπροσωπεύουν 11 από τα προσδιορισθέντα είδη, έχουν παντού μεγάλη εμφάνιση πάνω από 46% με τις πιο μεγάλες εμφανίσεις στην Paje (75%) και στην Mangrove (96%).

Ακολουθεί η τοποθέτηση των παραπάνω γραφημάτων στον χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Ζανζιβάρης (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Τοποθέτηση των γραφημάτων ποσοστιαίας αναλογίας Perforate, Porcellaneous, Agglutinants, στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Ζανζιβάρης, στις περιοχές δειγματοληψίας.

Στη συνέχεια στα δείγματα που μελετήθηκαν υπολογίστηκαν οι σχετικές συναθροίσεις όλων των ειδών βενθονικών τρηματοφόρων. Για την ευκολότερη παρουσίαση και κατανόηση των αποτελεσμάτων αυτά ομαδοποιήθηκαν στα επικρατέστερα είδη (*Amphistegina* spp., *Elphidium* spp., *Miniasina* sp., *Heterostegina* sp., *Haddonina* spp.), τα miliolids, τα textulariids και τα υπόλοιπα rotaliids.

Στην περιοχή Sand Banks επικρατούν τα είδη του γένους *Amphistegina* με ποσοστό 40% που αντιπροσωπεύονται κυρίως από το *A. lobifera*. Ακολουθούν με τη σειρά τα *Miniasina* sp. με ποσοστό 28%, τα *Haddonina* spp. με ποσοστό 21% και τα textulariids με ακόμα μικρότερο ποσοστό 10%. Τέλος υπάρχει μια πολύ μικρή εμφάνιση από miliolids με ποσοστό 1% που αντιπροσωπεύονται από *Sorites orbiculus* (Εικόνα 4.5).

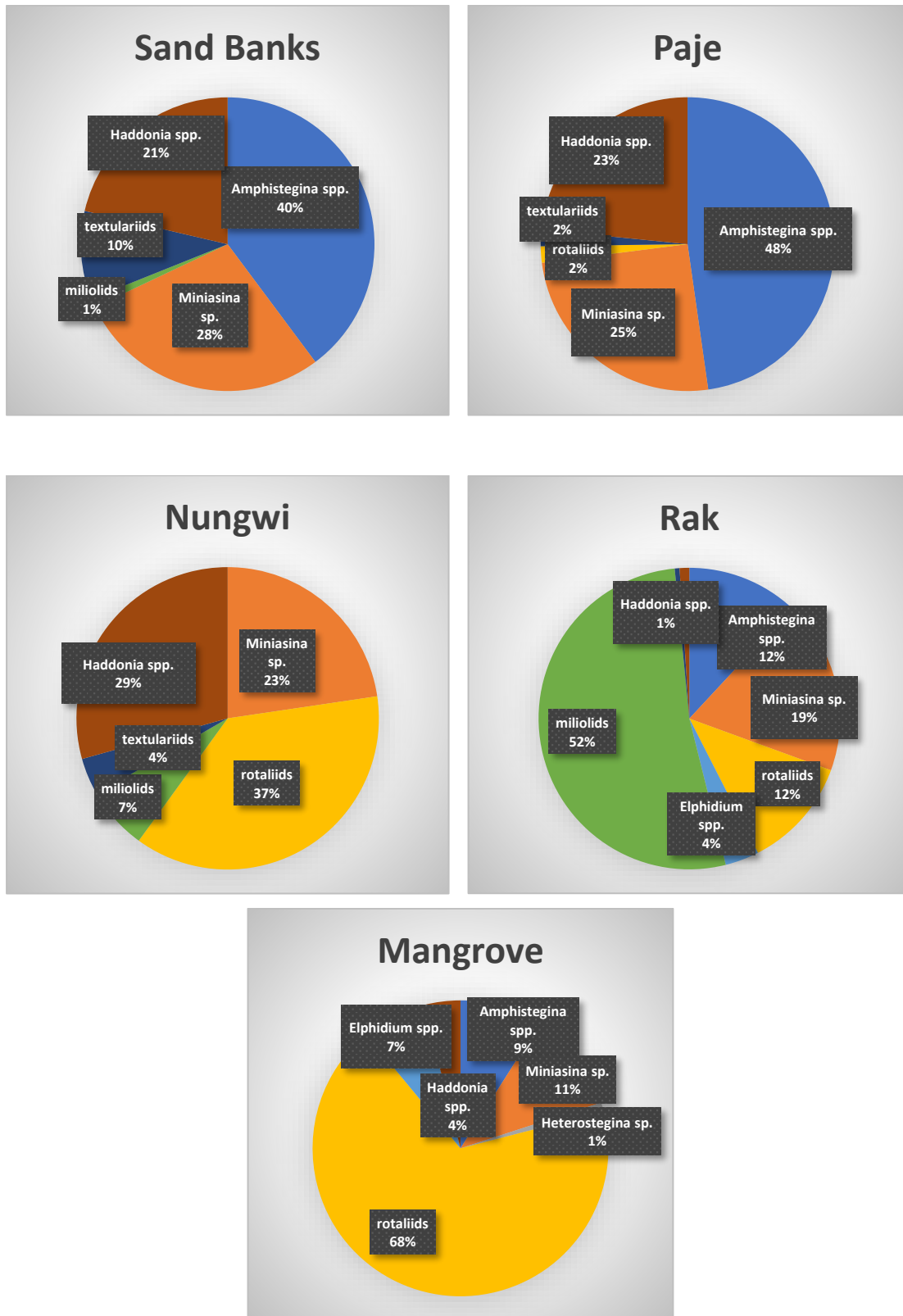
Στην περιοχή Raje επικρατούν τα είδη του γένους *Amphistegina* με ποσοστό 48%. Σχεδόν τα μισά από τα τρηματοφόρα που συλλέχθηκαν από την περιοχή ανήκουν στο *Amphistegina* spp., που αντιπροσωπεύεται κυρίως από *Amphistegina lobifera* καθώς με μικρότερο ποσοστό από το *Amphistegina lessoni*. Επίσης έχουμε μικρή εμφάνιση από *Amphistegina bicirculata*. Ακολουθούν τα *Miniasina* sp. με ποσοστό 25% και *Haddonina* spp. με ποσοστό 23%. Τέλος υπάρχουν πολύ μικρές εμφανίσεις από textulariids που αντιπροσωπεύονται από το *Sahulina kerimbaensis* και rotaliids που αντιπροσωπεύονται από *Eponides repandus* με ποσοστό 2% από το καθένα.

Στην περιοχή Mangrove κυριαρχούν τα rotaliids με ποσοστό 68%, πάνω από το μισό του δείγματος, με κύριο αντιπρόσωπο το είδος *Ammonia convexa*. Όλες οι υπόλοιπες εμφανίσεις είναι σημαντικά μικρότερες του 11%. Συγκεκριμένα το *Miniasina* sp. ανέρχεται στο 11%, τα *Amphistegina* spp. στο 9%, τα *Elphidium* spp. στο 7% και τα *Haddonina* spp. στο 4%. Τις μικρότερες εμφανίσεις παρουσιάζει το είδος *Heterostegina* sp. με ποσοστό 1%.

Στην περιοχή Rak κυριαρχούν τα miliolids και κυρίως το είδος *Sorites orbiculus* με ποσοστό λίγο πιο πάνω από το μισό του δείγματος που ανέρχεται στο 52%. Ακολουθούν το *Miniasina* sp. με ποσοστό 19% και τα *Amphistegina* spp. και rotaliids με ποσοστό 12%. Ακόμα μικρότερη εμφάνιση παρουσιάζουν τα *Elphidium* spp. με ποσοστό 4% και τέλος τα *Haddonina* spp. με ποσοστό 1%.

Στην περιοχή Nungwi κυριαρχούν τα rotaliids με ποσοστό 37% με κύριο αντιπρόσωπο το είδος *Neorotalia calcar* και αμέσως μετά το είδος *Ammonia convexa*.

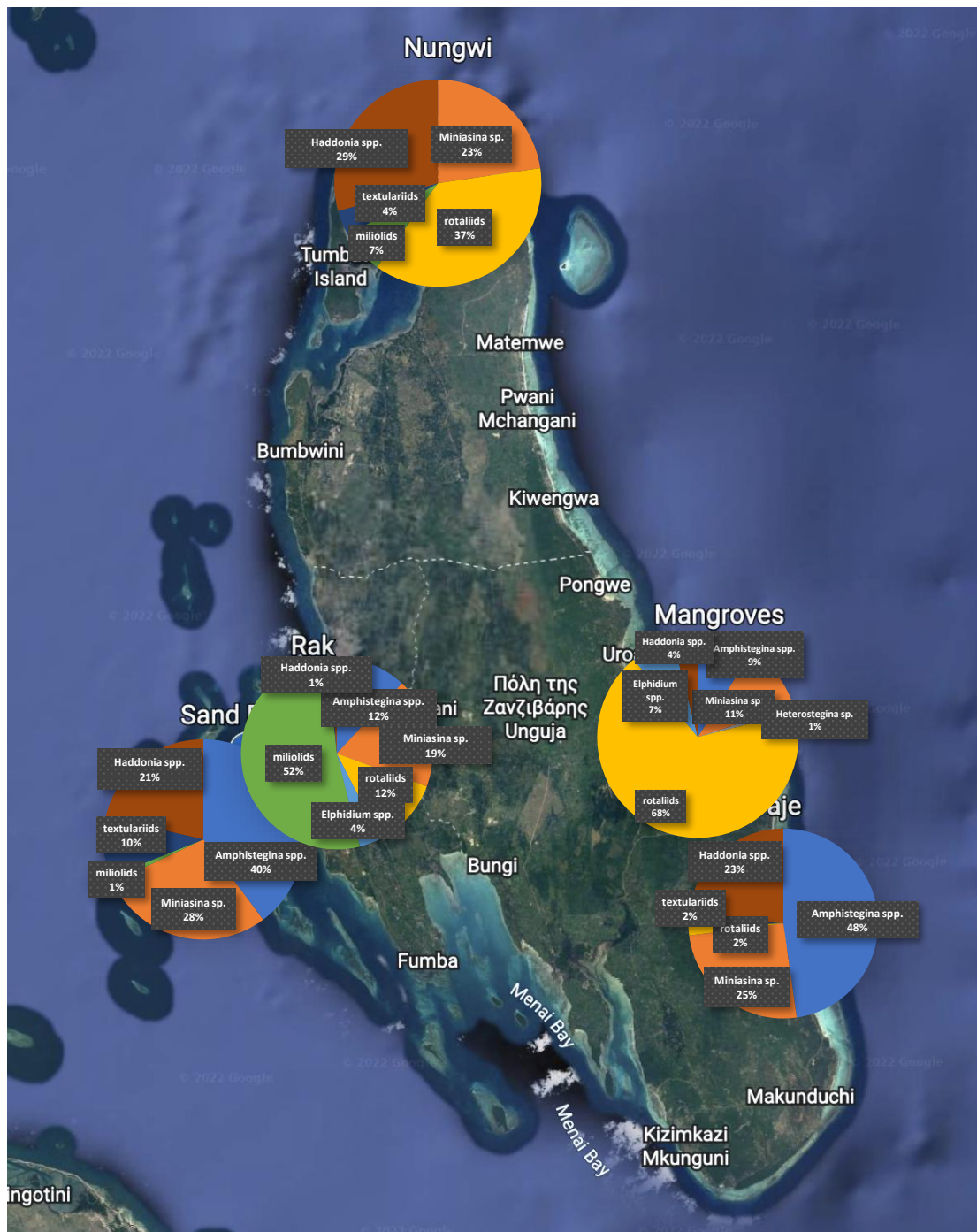
Ακολουθούν τα *Haddonia* spp. με ποσοστό 29% καθώς και το *Miniasina* με ποσοστό 23%. Τέλος τα miliolids ανέρχονται στο 7% και τα textulariids στο 4%.



Εικόνα 4.5: Σχετικές συναθροίσεις των κύριων αντιπροσώπων βενθονικών τρηματοφόρων στις περιοχές δειγματοληψίας .



Ακολουθεί η τοποθέτηση των στατιστικών αναλύσεων σε γραφήματα μορφής πίτας, πάνω στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής ώστε να δοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επικράτηση ανά θέση (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση των γραφημάτων σχετικών συναθροίσεων των κυριών αντιπροσώπων βενθονικών τρηματοφόρων, στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Ζανζιβάρης, στις περιοχές δειγματοληψίας

Στη συνέχεια οι περιοχές μας μελετήθηκαν με βάση το μέγεθος των τρηματοφόρων που βρίσκονται σε αυτές. Η κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα ποσοστό μεγάλων βενθονικών τρηματοφόρων και ένα ποσοστό μικρών. Στα μεγάλα ανήκουν τα είδη *Amphistegina bicirculata*, *Amphistegina lessonii*, *Amphistegina lobifera*, *Miniasina* sp., *Hesterostegina* sp., *Neorotalia calcar*, *Peneroplis pertusus*, *Peneroplis planatus* και *Sorites orbiculus*.

Στη Sand Banks κυριαρχούν τα μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα με ποσοστό 69%, και αντιπροσωπεύονται κυρίως από τα είδη *Miniasina* και *Amphistegina lobifera*, ενώ τα μικρά ανέρχονται στο 31%.

Στη Rak κυριαρχούν τα μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα με ποσοστό 72%, με κύριο αντιπρόσωπο το είδος *Sorites orbiculus*, ενώ τα μικρά ανέρχονται στο 28%.

Στη Raje κυριαρχούν τα μεγάλα βενθονικά τρηματοφόρα με ποσοστό 73%, αντιπροσωπεύονται κυρίως από τα είδη *Amphistegina lobifera* και *Miniasina*, ενώ τα μικρά ανέρχονται στο 27%.

Η Nungwi χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες αναλογίες μικρών και μεγάλων βενθονικών τρηματοφόρων. Συγκεκριμένα τα μικρά εμφανίζονται με ποσοστό 53%, αντιπροσωπεύονται κυρίως από το είδος *Ammonia convexa* και τα είδη του γένους *Haddonina*, ενώ τα μεγάλα με ποσοστό 47%, αντιπροσωπεύονται κυρίως από τα είδη *Miniasina* και *Neorotalia calcar*.

Στη Mangrove κυριαρχούν τα μικρά βενθονικά τρηματοφόρα με ποσοστό 79%, επικρατεί το είδος *Ammonia convexa*, ενώ τα μεγάλα ανέρχονται στο 21%.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των στατιστικών αναλύσεων σε γραφήματα μορφής πίτας, πάνω στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής ώστε να δοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επικράτηση ανά θέση (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7: Τοποθέτηση των γραφημάτων ποσοστιαίας αναλογίας Larger Benthic Foraminifera, Smaller Foraminifera, στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Ζανζιβάρης, στις περιοχές δειγματοληψίας.

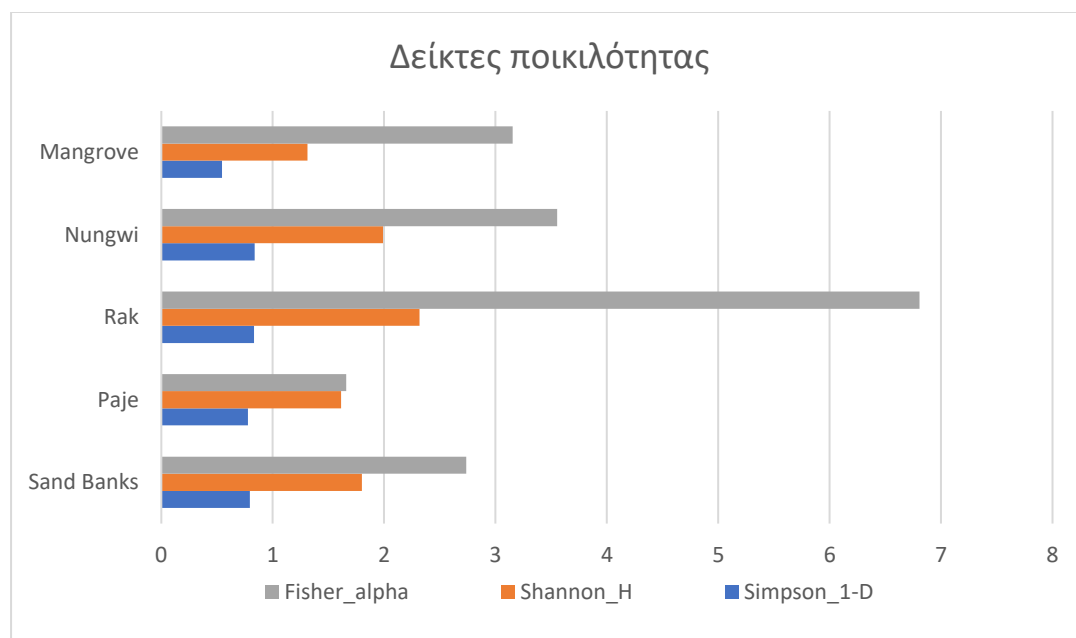


Με βάση τους βιοδείκτες κοινοτικής δομής συντάχθηκαν δυο διαγράμματα ποικιλότητας. Το πρώτο περιλαμβάνει τους δείκτες Fisher-a, Shannon H' και Simpson 1-D (Εικόνα 4.8).

Ο Fisher-a δίνει έμφαση στην αφθονία των ειδών. Από το ακόλουθο διάγραμμα παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη τιμή Fisher-a παρουσιάζει η Rak (6,805) άρα έχει και την μεγαλύτερη αφθονία ειδών. Ακολουθεί η Nungwi (3,553), η Mangrove (3,154), η Sand Banks (2,737) και τέλος η Paje (1,66).

Ο βιοδείκτης Shannon H' λαμβάνει υπόψη κυρίως τις αναλογίες των μη διαδεδομένων ειδών. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι μεγαλύτερη τιμή Shannon H' έχουμε στη Rak (2,319) ακολουθούν οι Nungwi (1,991), Sand Banks (1,801), Paje (1,615) και τέλος η Mangrove (1,311).

Ο βιοδείκτης Simpson 1-D μετρά την πιθανότητα δύο άτομα που επιλέγονται τυχαία από ένα δείγμα να ανήκουν σε διαφορετικά είδη. Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη ποικιλομορφία παρουσιάζει η Nungwi με τιμή 0,8384 και αμέσως μετά η Rak με τιμή 0,8327. Ακολουθούν οι Sand Banks με τιμή 0,7939 και η Paje με τιμή 0,7774. Τέλος τη λιγότερη ποικιλομορφία παρουσιάζει η Mangrove με τιμή 0,5438.



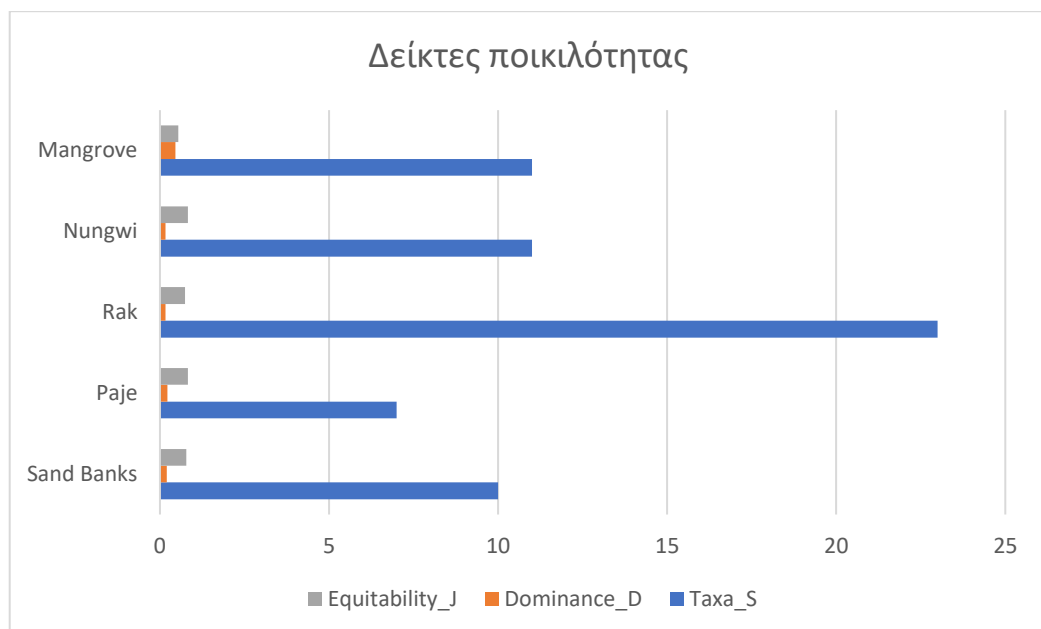
Εικόνα 4.8: Δείκτες ποικιλότητας Fisher alpha, Shannon H', Simpson 1-D.

Το δεύτερο διάγραμμα περιλαμβάνει τους βιοδείκτες Dominance D, Taxa S και Ομοιομορφία (Equitability J)

Ο δείκτης επικράτησης (Dominance D) εκφράζει την κυριαρχία ενός είδους στο πληθυσμό μελέτης. Σύμφωνα με το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται αρκετά χαμηλές τιμές Dominance. Συγκεκριμένα συγκριτικά μεγαλύτερη τιμή Dominance, άρα και μεγαλύτερη κυριαρχία είδους παρουσιάζει η Mangrove με τιμή 0,4562, το είδος που κυριαρχεί έναντι των υπολοίπων με σημαντική διαφορά είναι η *Ammonia convexa*. Ακολουθούν οι Paje με τιμή 0,2226 και η Sand Banks με τιμή 0,2061. Τέλος τις χαμηλότερες τιμές Dominance παρουσιάζουν η Rak με 0,1673 και η Nungwi με τιμή 0,1616 (Εικόνα 4.9).

Ο δείκτης ομοιομορφίας (Equitability J) εκφράζει την ισοκατανομή των ατόμων μέσα σε δεδομένο αριθμό ειδών. Τις μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζουν οι περιοχές Nungwi και Paje με τιμές 0,8304 και 0,8301 αντίστοιχα. Ακολουθούν η Sand Banks με τιμή 0,7824 και η Rak με τιμή 0,7396. Τέλος μικρότερη τιμή παρουσιάζει η Mangrove στα 0,5467.

Τέλος σύμφωνα με τον Taxa S την μεγαλύτερη αφθονία ειδών παρουσιάζει η Rak με 23 είδη. Ακολουθούν οι Nungwi και Mangrove με 11 ταξινομημένα είδη. Έπειτα η Sand Banks με 10 και τέλος η Paje με μόλις 7 είδη.



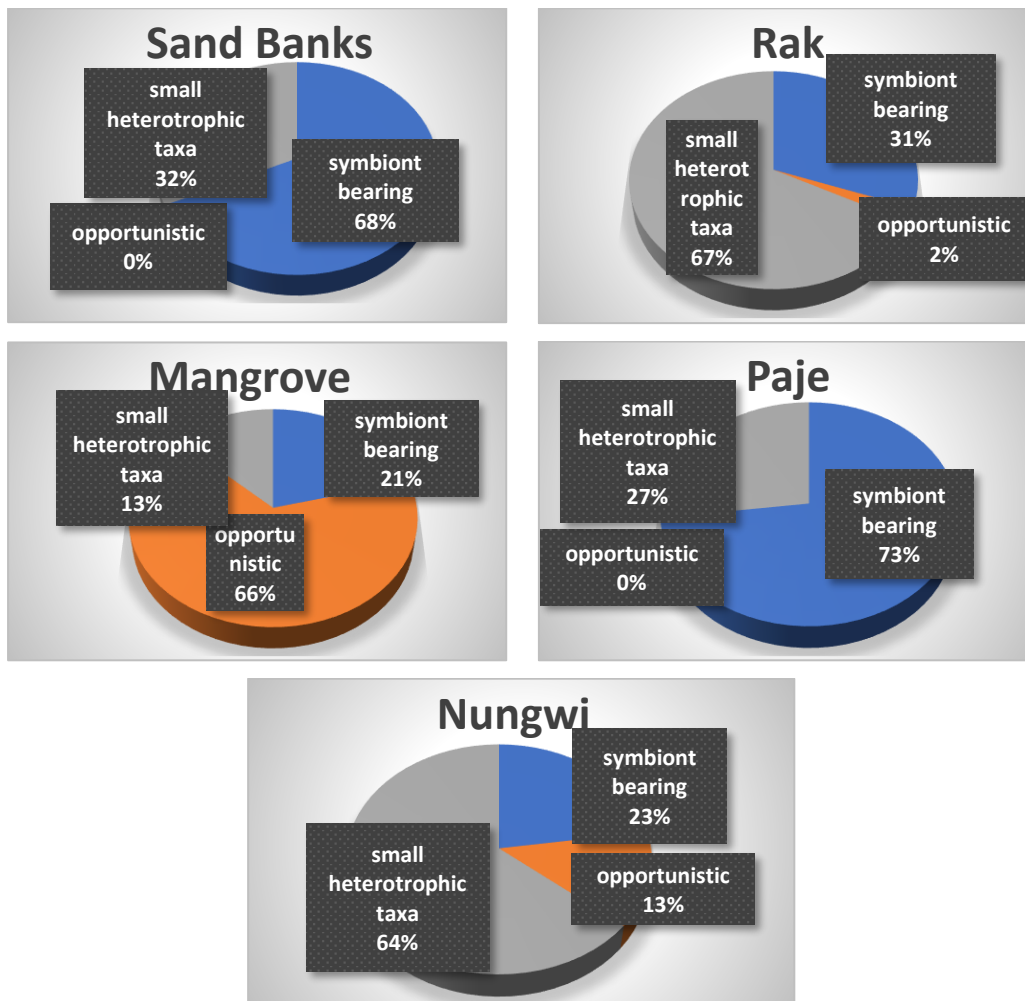
Εικόνα 4.9: Δείκτες ποικιλότητας Equitability J, Dominance D, Taxa S.

Στη συνέχεια ανάλογα με την κινησιολογία τους και τον τρόπο πρόσληψης της τροφής τους έγινε η διαφοροποίησή τους σε **συμβιωτικά**, **οπορτουνιστικά** και **μικρά ετερότροφα** βενθονικά τρηματοφόρα (Hallock et al. 2003) (Εικόνα 4.10).

Παρατηρείται ότι τα **συμβιωτικά** όπου ανήκουν τα *Amphistegina* spp., *Miniasina* και *Heterostegina* sp. εμφανίζονται σε μεγάλο ποσοστό 73% στη Paje και 68% στη Sand Banks ενώ στις υπόλοιπες περιοχές κυμαίνονται μεταξύ 31-21%.

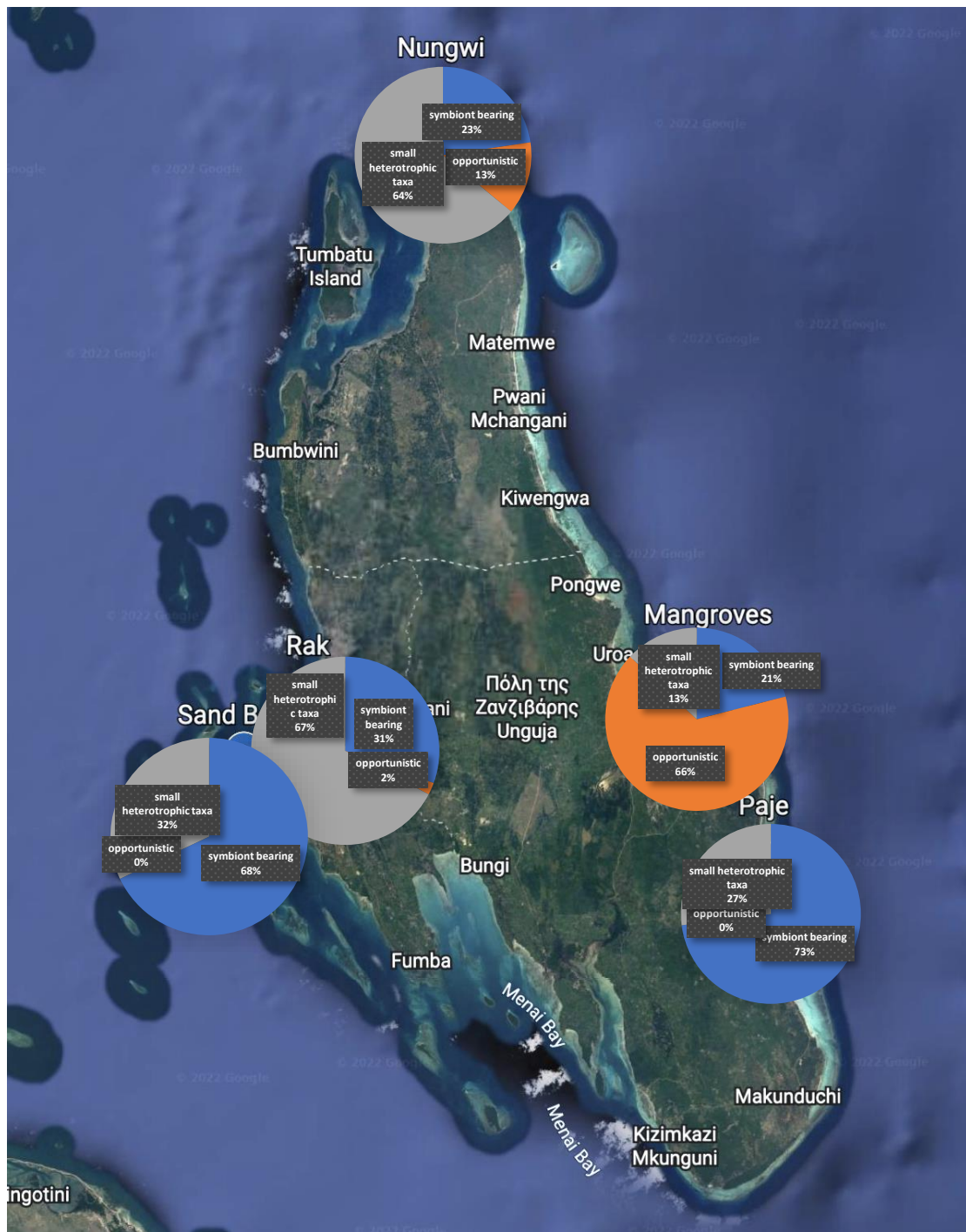
Τα **οπορτουνιστικά** όπου ανήκει μόνο το είδος *Ammonia convexa*, έχουν μεγάλη εμφάνιση μόνο σε μια περιοχή, στη Mangrove. Ακολουθεί η Nungwi με μικρό ποσοστό 13%. Στη Rak η εμφάνισή τους είναι σχεδόν αμελητέα 2% και στη Sand Bank και Paje εκλείπουν.

Τέλος τα **μικρά ετεροτροφικά** στα οποία ανήκουν όλα τα υπόλοιπα είδη, κάνουν την εμφάνισή τους σε ποσοστά 67% στη Rak και 64% στη Nungwi ενώ στη Sand Bank και στη Paje είναι γύρω στο 30%. Στη Mangrove είναι σχεδόν τα μισά με ποσοστό που ανέρχεται στο 13%.



Εικόνα 4.10: Γραφήματα ποσοστιαίας αναλογίας Symbiont bearing (μπλέ χρώμα), Opportunistic (πορτοκαλί χρώμα), Small heterotrophic taxa (γκρι χρώμα).

Ακολουθεί η απεικόνιση των γραφημάτων πάνω στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής (Εικόνα 4.11).

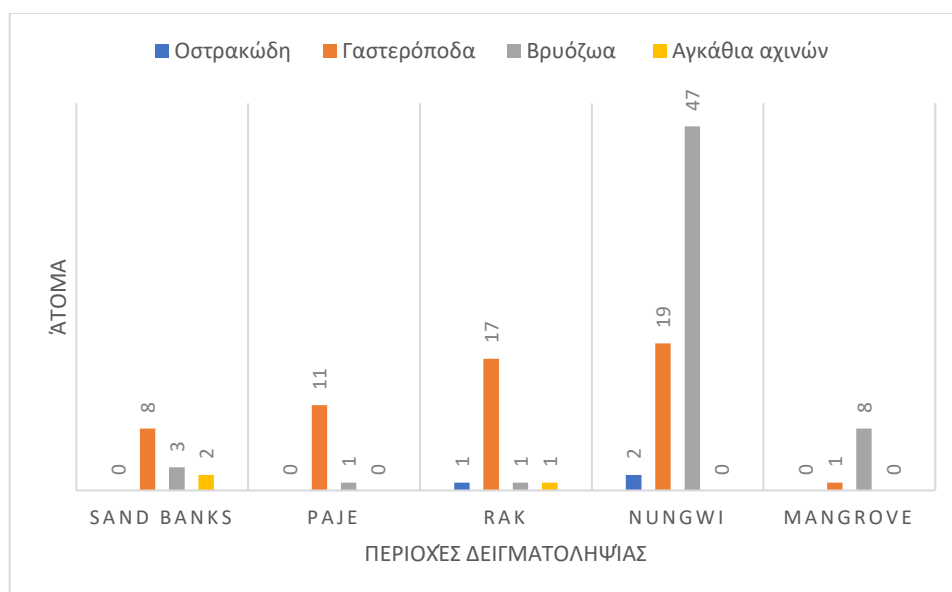


Εικόνα 4.11: Τοποθέτηση των γραφημάτων ποσοστιαίας αναλογίας Symbiont bearing, Opportunistic, Small heterotrophic taxa, στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής της Ζανζιβάρης, στις περιοχές δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις των συμβιωτικών, οπορουνιστικών και μικρών ετερότροφων βενθονικών τρηματοφόρων και με βάση τον τύπο του Foram Index, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις περιοχές δειγματοληψίας:

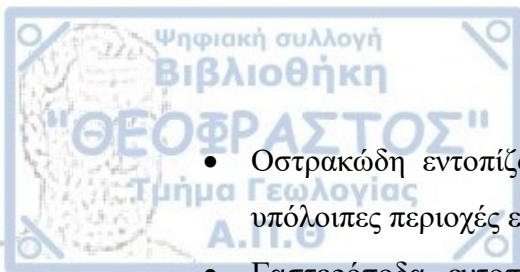
- Στη περιοχή Sand Banks το FI είναι 7,44, αυτό δηλώνει ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη υφάλων.
- Στη περιοχή Rak το FI είναι 4,46, αυτό δηλώνει ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη υφάλων.
- Στη περιοχή Mangrove το FI είναι 3,02, αυτό δηλώνει περιβαλλοντική αλλαγή, περιβάλλον πιθανώς οριακό για την ανάπτυξη υφάλων και ακατάλληλο για ανάκαμψη.
- Στη περιοχή Paje το FI είναι 7,84, αυτό δηλώνει ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη υφάλων.
- Στη περιοχή Nungwi το FI είναι 3,71, αυτό δηλώνει περιβαλλοντική αλλαγή, περιβάλλον πιθανώς οριακό για την ανάπτυξη υφάλων και ακατάλληλο για ανάκαμψη.

Τέλος στις περιοχές δειγματοληψίας εκτός από τα διαφορετικά είδη τρηματοφόρων που ταξινομήθηκαν υπήρξαν και εμφανίσεις από οστρακώδη, γαστερόποδα, βρυόζωα και αγκάθια αχινών. Η αναλογία τους από περιοχή σε περιοχή παρατίθεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.12)



Εικόνα 4.12: Συναθροίσεις Οστρακωδών, Γαστερόποδων, Βρυόζωων, αγκαθιών Αχινών στις περιοχές δειγματοληψίας.





- Οστρακάδια εντοπίζονται δύο στη Nungwi και ένα στη Rak, σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές εκλείπουν.
- Γαστερόποδα εντοπίζονται σε όλες τις περιοχές δειγματοληψίας με τα περισσότερα στη Nungwi, ανέρχονται στα 19.
- Τα βρυόζωα έχουν πολύ μεγάλη εμφάνιση στη Nungwi, ανέρχονται στα 47 ενώ σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές έχουν μικρή εμφάνιση.
- Τέλος, αγκάθια αχινών εντοπίζονται μόνο στις Sand Banks και Rak με μικρές εμφανίσεις.

## 5. Συζήτηση

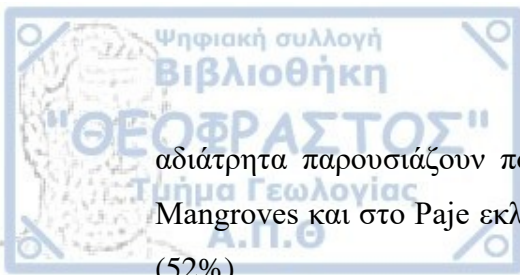
Τα τρηματοφόρα είναι η πλέον πολυπληθής ταξινομική ομάδα Πρωτόζωων του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην τροφική αλυσίδα και στη διατήρηση των λειτουργιών της βιόσφαιρας (Murray 2006). Παρόλο που η κατανόηση της οικολογίας τους δεν είναι ακόμα πλήρης, μελετώντας τα τρηματοφόρα που υπάρχουν σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα, μπορούμε να αποκτήσουμε εικόνα για τις περιβαλλοντικές συνθήκες του εν λόγω οικοσυστήματος (Yanko et al. 1994).

Η παρούσα έρευνα φανερώνει ότι οι ύφαλοι και τα παράκτια περιβάλλοντα γύρω από το νησί της Ζανζιβάρης στεγάζουν βενθονικά τρηματοφόρα με ιδιαίτερη ποικιλομορφία για κάθε ενδιαίτημα. Καταγράφηκαν στο σύνολο 33 είδη τρηματοφόρων που κατανέμονται σε 6 συμφυρματοπαγή, 11 αδιάτρητα πορσελανώδη, 11 διάτρητα υαλώδη και 5 larger symbiont-bearing taxa.

Η πρώτη λεπτομερής μελέτη όμως που πραγματοποιήθηκε για όλη τη περιοχή της Ζανζιβάρης ήταν αυτή των Thissen and Langer (2017), όπου καταγράφηκαν στο σύνολο 157 είδη. Τα 157 αυτά είδη αποτελούνται από 19 συμφυρματοπαγή τρηματοφόρα, 76 διάτρητα υαλώδη, 62 αδιάτρητα πορσελανώδη, συμπεριλαμβανομένων και 14 ειδών από μεγάλα συμβιωτικά τρηματοφόρα. Αυτή η πρώτη μελέτη μαζί με την μελέτη του Pereira (1979), αποτελεί μέχρι πρότινος την πιο εκτεταμένη έρευνα γύρω από τα ρηχά νερά των παράκτιων και υφαλωδών περιβαλλόντων της ανατολικής Αφρικής. Σε ανάλογο αριθμό με τα είδη που περιεγράφηκαν στην έρευνα των Thissen and Langer (2017) ανέρχονται και τα είδη των κοραλλιών που ευδοκούν γύρω από τη Ζανζιβάρη (150-200 είδη; Johnstone and Suleiman 1998) αν και δεν είναι πλήρης η απογραφή τους.

Η έρευνα που έλαβε χώρα κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας προσδιόρισε ορισμένα χαρακτηριστικά στην κάθε περιοχή δειγματοληψίας. Εντοπίστηκαν τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές μεταξύ των πέντε περιοχών που μελετήθηκαν.

Στο νησί σε όλες τις περιοχές μελέτης επικρατούν τα είδη με υαλώδη-διάτρητα κελύφη και μέγιστη εμφάνιση να εντοπίζεται στα Mangroves (96%). Τρηματοφόρα με συμφυρματοπαγή κελύφη εμφανίζονται και πάλι σε όλες τις περιοχές αλλά με μεγαλύτερα ποσοστά στα βόρεια του νησιού, στο Nungwi (33%), προς τα δυτικά στα Sand Banks (31%) και στα νοτιοανατολικά στο Paje (25%). Τα πορσελανώδη-



αδιάτρητα παρουσιάζουν πολύ μικρά ποσοστά σε όλες τις περιοχές, μάλιστα στα Mangroves και στο Paje εκλείπουν, εκτός από το Rak όπου εντοπίζονται με ποσοστό (52%).

Όσον αφορά στα μεγάλα συμβιωτικά τρηματοφόρα εμφανίζονται και στις πέντε περιοχές δειγματοληψίας με μεγαλύτερη κυριαρχία στη Paje (73%) και Sand Banks (68%). Μικρά ετεροτροφικά είδη έχουμε και πάλι παντού αλλά κυριαρχούν στη Rak (67%) και στα βόρεια στη Nungwi (64%). Τέλος καιροσκοπικά είδη υπάρχουν με ένα μικρό ποσοστό στη Nungwi, ελάχιστα στη Rak ενώ τα περισσότερα εντοπίζονται στα Mangroves, όπου και κυριαρχούν (66%). Τα καιροσκοπικά είδη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αφθονία στις παράκτιες περιοχές. Η συχνότητά τους είναι μεγαλύτερη στους ανοιχτούς υφάλους και στα μαγγρόβια. Αυτό συμφωνεί με την έρευνα των Thissen and Langer (2017), σε ανάλογες περιοχές δειγματοληψίας.

Με βάση την επικράτηση των ειδών στις επιμέρους περιοχές προκύπτει ότι η Mangroves και η Nungwi κυριαρχούνται κυρίως από rotaliids. Συγκεκριμένα στη Mangroves είναι πάνω από τα μισά του δείγματος, 68%, ενώ στη Nungwi ανέρχονται στα 37%, αρκετά λιγότερα από τη Mangroves. Υπάρχει επίσης μια μικρή εμφάνιση από rotaliids στη Rak, στα 12%. Η Paje και η Sand Banks κυριαρχούνται από τα είδη του γένους *Amphistegina* με ποσοστά 48% και 40%, το οποίο όμως σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές εντοπίζεται σε ποσοστά μικρότερα του 12%. Μάλιστα στη Nungwi εκλείπει. Η Rak κυριαρχείται από miliolids (52%).

Τα κυρίαρχα είδη συγκεκριμένων ενδιαιτημάτων αποτελούν καλούς δείκτες περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα το *Neorotalia calcar* (Rak) ευδοκμεί στις υφαλοκρηπίδες, το *Ammonia convexa* στα μαγγρόβια (Mangroves) ενώ το *Amphistegina lobifera* στους κροκαλοπαγείς υφάλους. Η *Amphistegina* έχει την τάση να ανταπεξέρχεται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας και να κυριαρχεί σε αυτά, ενώ τα miliolids αναπτύσσονται σε περισσότερο προστατευμένα περιβάλλοντα (Rak).

Η κατανομή των τρηματοφόρων στις ακτές περιορίζεται από γεωλογικούς παράγοντες τόσο σε μήκος όσο και σε πλάτος. Κατά μήκος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αλλά και από τις χερσαίες μάζες ενώ κατά πλάτος από τις βαθιές θάλασσες που χωρίζουν τις περιοχές υφαλοκρηπίδας, αλλά και από τις ηπείρους που χωρίζουν τους ωκεανούς (Adams 1989).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποικιλότητα των ειδών είναι η κυματική δράση, τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον, καθώς και ο

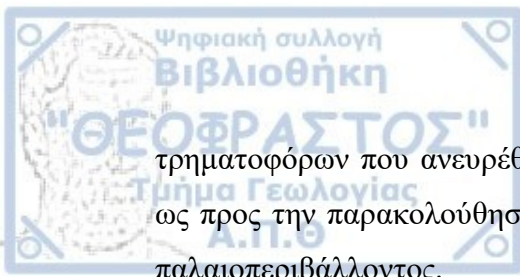
ανταγωνισμός με άλλους οργανισμούς για την λήψη τροφής, όπως φύκη. Λιγότερο σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η αλατότητα, η ένταση του φωτός και το pH λόγω των γενικά σταθερών συνθηκών. Ακόμα ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας είναι οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο οικοσύστημα του υφάλου, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις περιβαλλοντικές πιέσεις. Επιπλέον, ο αριθμός των ειδών επηρεάζεται και από το μέγεθος της συγκεκριμένης περιοχής.

Η ποικιλότητα παρουσιάζει μια σταδιακή αύξηση από τα παράκτια προς τις κορυφές των υφάλων και τις περιοχές των πρόσθιων υφάλων που είναι υπήνεμα. Οι μικρότερες ποικιλότητες παρουσιάζονται σε περιβάλλοντα λιμνοθάλασσας, μαγγρόβια καθώς και περιοχές εκτιθέμενες σε θαλάσσια ρεύματα όπως στα βόρεια του νησιού στη Nungwi. Η περιοχή των μαγγρόβιων θεωρείται ακραίος οικότοπος λόγω του ότι χαρακτηρίζεται κυρίως από καιροσκοπικά είδη τα οποία δεν αντέχουν υψηλή περιβαλλοντική πίεση.

Μεγαλύτερη τιμή Fisher alpha εντοπίζουμε στην Rak, όπου έχουμε την μεγαλύτερη αφθονία ειδών, 23 στο σύνολο. Αυτό υποδηλώνει ότι οι ύφαλοι της περιοχής δεν έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ακολουθούν τα Mangroves και Nungwi με τα μισά περίπου είδη, 11 στο σύνολο. Τέλος στη Sand Banks και Paje έχουμε τα λιγότερα είδη.

Προκύπτει ότι η περιοχή Rak εμφανίζει σημαντική διαφορά στην αφθονία των ειδών σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές λόγω προστασίας της περιοχής μέσω γειτονικών νησιών, από την έντονη δράση των κυμάτων. Συγκεκριμένα έχει σχεδόν διπλάσιο αριθμό ειδών από τις Nungwi, Mangrove, Sand Banks ενώ από την Paje σχεδόν τον τριπλάσιο. Συγκεκριμένα βόρεια του νησιού, στη Nungwi ο χαμηλός αριθμός οφείλεται στην επίδραση των κυμάτων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των υφάλων. Η παρουσία μεγάλου ποσοστού του είδους *Neorotalia calcar* επιβεβαιώνει τη θεωρία αυτή. Επίσης η Mangrove (ρηγά νερά) στα ανατολικά παρουσιάζει ίδιο αριθμό ειδών με τη Nungwi (11 είδη), λόγω της έκθεσής της στον Ινδικό ωκεανό και καθώς υπόκεινται σε εποχιακά έντονα μεταβαλλόμενα ωκεάνια κύματα. Η Sand Banks παρουσιάζει και αυτή συγκριτικά μικρότερη ποικιλότητα από τη Rak (10 είδη), λόγω των ημερήσιων παλιρροιών. Η Paje θα εμφανίσει τη μικρότερη ποικιλότητα λόγω της θέσης της στα νοτιοανατολικά του νησιού.

Λόγω του ότι οι έρευνες στην περιοχή της Ζανζιβάρης είναι περιορισμένες, οι παράγοντες που επηρεάζουν την αφθονία των ειδών δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί. Ωστόσο, οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι συναθροίσεις των βενθονικών



τρηματοφόρων που ανευρέθηκαν στην περιοχή, διαδραματίζουν ένα σπουδαίο ρόλο ως προς την παρακολούθηση των οικολογικών αλλαγών και την ανακατασκευή του παλαιοπεριβάλλοντος.

Τα τρηματοφόρα της περιοχής απαιτούν μεγαλύτερη επιστημονική προσοχή. Παρόλα αυτά τα ευρήματα των μέχρι πρότινος μελετών είναι επί τω πλείστον επαρκή ως προς τον προσδιορισμό της έντασης των επιδράσεων, ανθρωπογενών και φυσικών γύρω από τους υφάλους. Από την πρώτη κιόλας έρευνα έγιναν υπολογισμοί του δείκτη FORAM index, όπου οι τιμές του φανέρωσαν ότι οι ύφαλοι βρίσκονται σε μια συνεχή επίδραση που μπορεί να οδηγήσει στη μελλοντική καταστροφή τους. Ο υπολογισμός του δείκτη στην παρούσα εργασία έδειξε μια γενική καλή κατάσταση των υφάλων και αυτό ενισχύεται με την ύπαρξη πολλών ειδών τρηματοφόρων στη περιοχή, αν και φανερώνονται κάποια πρώιμα σημάδια υποβάθμισης. Προέκυψαν γενικά χαμηλότερες τιμές FI στις παράκτιες περιοχές και αυξανόμενες προς τους υφάλους, αυτό προκύπτει λόγω της επικράτησης των μεγάλων συμβιωτικών τρηματοφόρων και συμφωνεί με την προηγούμενη έρευνα των Thissen and Langer (2017).



## 6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η κατανομή των τρηματοφόρων στα ρηγά ύδατα του αρχιπελάγους της Ζανζιβάρης, πραγματοποιείται η συστηματική τους ταξινόμηση με βάση συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά, μελετάται η ποικιλομορφία και η σύνθεσή τους καθώς και η περιβαλλοντολογική τους σημασία. Τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης αυτής ήταν τα εξής:

1. Συνολικά ανακτήθηκαν 582 τρηματοφόρα, που ταξινομήθηκαν σε 33 είδη.
2. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από πέντε περιοχές δειγματοληψίας την Sand Banks (αδρόκοκκη άμμος), τη Paje (αδρόκοκκη άμμος), τη Mangroves (μεσόκοκκη άμμος), την Rak (μεσόκοκκη άμμος) και την Nungwi (λεπτόκοκκη άμμος).
3. Οι περιοχές δειγματοληψίας συγκρίθηκαν αρχικά με βάση την πυκνότητα των ειδών. Η μεγαλύτερη εντοπίστηκε στη Rak ενώ η μικρότερη στη Nungwi.
4. Ως προς τα πιο επικρατώντα είδη η Nungwi και η Mangroves κυριαρχείται από rotaliids. Η Paje και Sand Banks από το γένος *Amphistegina* spp. Τέλος η Rak από miliolids.
5. Ακολούθησε η κατηγοριοποίηση με βάση τη μορφολογία όπου χωρίστηκαν σε agglutinants, perforate, porcellaneous καθώς και Larger Benthic Foraminifera. Για τα Perforate, το μεγαλύτερο ποσοστό εντοπίζεται στα Mangroves. Agglutinants εντοπίζονται σε μεγαλύτερα ποσοστά στο Nungwi ακολουθούν Sand Banks και Paje. Τα Porcellaneous κυριαρχούν στη Rak.
6. Ανάλογα με τον τρόπο πρόσληψη τροφής έγινε ακόμα μια κατηγοριοποίηση σε συμβιωτικά, ομορτουμιστικά και μικρά ετεροτροφικά. Όσο αφορά για τα symbiont bearing μεγαλύτερη κυριαρχία έχουν στη Paje και Sand Banks. Small heterotrophic taxa κυριαρχούν στη Rak και στα βόρεια στη Nungwi. Τέλος opportunistic κυριαρχούν στα Mangroves.
7. Στη συνέχεια οι περιοχές μας μελετήθηκαν με βάση το μέγεθος των τρηματοφόρων που βρίσκονται σε αυτές. Μεγάλα βενθονικά κυριαρχούν στη Paje, στη Rak, στη Sand Bank ενώ μικρά στη Mangrove. Στη Nungwi έχουμε περίπου ίση αναλογία μικρών και μεγάλων τρηματοφόρων με επικρατέστερα τα μικρά.
8. Προσδιορίστηκαν βιοδείκτες κοινοτικής δομής για μια εκτενέστερη μελέτη επικράτησης των ειδών. Η ποικιλότητα ακολουθεί αύξουσα πορεία από τα

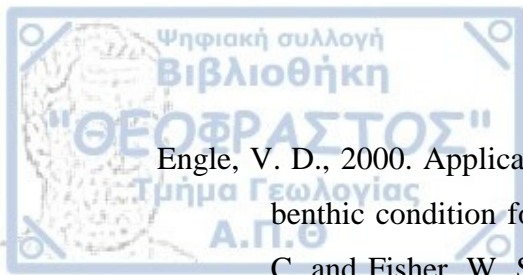


παράκτια προς τις κορυφές των υφάλων και τις περιοχές των πρόσθιων υφάλων. Μεγαλύτερη τιμή Fisher-a και αφθονία ειδών εντοπίζουμε στην Rak, 23 είδη. Ακολουθούν τα Mangroves και Nungwi με 11 είδη. Τέλος στη Sand Banks και Paje παρουσιάζονται τα λιγότερα είδη.

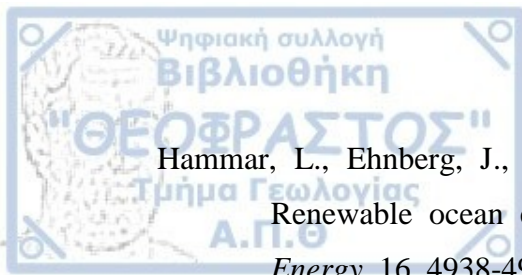
9. Μέσω των δεικτών FORAM προκύπτει μια γενικευμένη καλή κατάσταση στους υφάλους της περιοχής αν και θα περιμέναμε κάποια υποβάθμιση. Ένδειξη αποτελεί η εκτενής παρουσία διαφορετικών ειδών τρηματοφόρων. Παρόλα αυτά αναμένεται μελλοντική υποβάθμιση, υπάρχουν ίσως κάποιες πρώιμες ενδείξεις που το φανερώνουν αυτό. Οι συνέπειες αυτού θα είναι τόσο περιβαλλοντικές όσο και κοινωνικοοικονομικές καθώς μια μελλοντική καταστροφή των υφάλων θα συντελέσει σε μεγάλη μείωση των εσόδων της περιοχής. Ωστόσο για την σωστή εφαρμογή του δείκτη FORAM απαιτείται ο υπολογισμός και άλλων δεικτών.



- Adams, C. G., 1989. Foraminifera as indicators of geological events. *Proceedings of the Geologists' Association*, 100 (3), 297-311.
- Armstrong, H. A. and Brasier, M. D., 2005. *Microfossils Blackwell Publishing*. Oxford, 279.
- Arthurton, R., 2003. Fringing Reef Coasts of Eastern Africa. Present Processes in Their Long-term Context. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 2(1), 1-13.
- Arthurton, R. S., Brampton, A. H., Kaaya, C. Z. and Mohamed, S. K., 1999. Late Quaternary stratigraphy on a Platform-Fringed Tropical Coast-a Case Study from Zanzibar, Tanzania. *Journal of Coastal Research*, 15 (3), 635-644.
- Bouchet, V. M. P., Alve, E., Rygg, B. and Telford, R. J., 2012. Erratum to Benthic foraminifera provide a promising tool for ecological quality assessment of marine waters. *Ecological Indicators*, 26, 183.
- BouDagher-Fadel, M. K. and Price, G. D., 2013. The phylogenetic and palaeogeographic evolution of the miogypsinid larger benthic foraminifera. *Journal of the Geological Society*, 170, 185-208. doi:10.1144/jps2011-149.
- Cesar, H. S. J., 2000. Coral reefs: Their functions, threats and economic value. In: Cesar, H. S. J. (ed) *Collected essays on the economics of coral reefs*. Coral Reef Degradation in the Indian Ocean Program, Kalmar University, 14-39.
- d'Orbigny, A. D., 1826. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. *Annales des Sciences Naturelles*, 7 (1), 245-314.
- De'ath, G., Fabricius, K. E., Sweatman, H. and Puotinen, M., 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (44). doi:10.1073/pnas.1208909109.
- Dobell, C., 1932. *Antony van Leeuwenhoek and his 'Little Animals'*, Harcourt. Brace and Company, New York.
- Doo, S. S., Fujita, K., Byrne, M. and Uthicke, S., 2014. Fate of calcifying tropical symbiont-bearing large benthic foraminifera. Living sands in a changing ocean. *The Biological Bulletin*, 226 (3), 169-186.

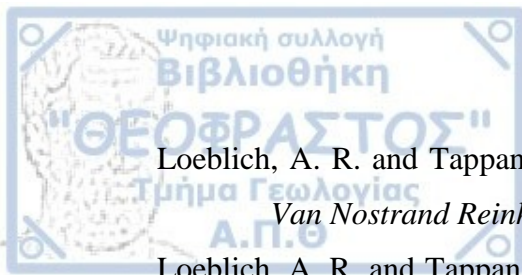


- Engle, V. D., 2000. Application of the indicator evaluation guidelines to an index of benthic condition for Gulf of Mexico estuaries. In: Jackson, L. E., Kurtz, J. C. and Fisher, W. S. (eds) *Evaluation Guidelines for Ecological Indicators*. U.S., Environmental Protection Agency, EPA/620/R-99/005, 3, 1-29, Research Triangle Park, Durham, NC.
- Fisher, R. A., Corbet, A. S. and Williams, C. B., 1943. The relationship between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population, *Journal of Animal Ecology*, 12, 42-58.
- Francis, J., Wagner, G.M., Mvungi, A., Ngwale, J. J. and Salema, R., 2001. Tanzania National Report. Intergrated Problem. Analysis. A report prepared for ACOPS, IOC/UNESCO and UNEP as part of implementation of the GEF MSP Sub-Saharan Africa Project (GF/6010-0016). Development and Protection of the Coastal and Marine Environment in Sub-Saharan Africa, 67.
- Gibbens, S., 2020. Scientists are trying to save coral reefs. Here's what's working. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/scientists-work-to-save-coral-reefs-climate-change-marine-parks>.
- Goldfuss, G. A., 1817. Ueber die Entwicklungsstufen des Thieres. Nürnberg, Leonhard Schrag.
- Griffiths, C. L., 2005. Coastal marine biodiversity in East Africa. *Indian Journal of Marine Sciences*, 34 (1), 35-41.
- Hallock, P., 1999. *Symbiont-bearing foraminifera*. In: Sen Gupta, B. (ed) *Modern Foraminifera*, Kluwer Press, Amsterdam, 123-139.
- Hallock, P., 2000. Symbiont-bearing foraminifera: harbingers of global change. In: Lee, J. J. and Hallock Muller, P. (eds) *Advances in the Biology of Foraminifera: Micropaleontology*, 46 (1), 95-104.
- Hallock, P., 2012. The FoRAM Index revisited: uses, challenges and limitations. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia, 9-13 July 2012, 15F Benthic foraminifera on coral reefs.
- Hallock, P., Lidz, B.H., Cockey-Burkhard, E. M. and Donnelly, K. B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM index. *Environmental Monitoring Assessment*, 81, 221-238.



- Hammar, L., Ehnberg, J., Mavume, A., Cuamba, B.C. and Molander, S., 2012. Renewable ocean energy in the Western Indian Ocean. *Renew. Sustain. Energy*, 16, 4938-4950, doi:10.1016/j.rser.2012.04.026.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4 (1), 9.
- Hohenegger, J., Brigulgio, A. and Eder, W., 2014. The natural laboratory of algal symbiont-bearing benthic foraminifera. Studying individual growth and population dynamics in the sublittoral. In: Kitazato, H., Bernhard, J. M. (eds) Approaches to study living foraminifera. Collection, maintenance and experimentation. *Environmental Science and Engineering*. Springer Japan, 12-28. doi:10.1007/978-4-431-54388-6\_2.
- Hottinger, L., Halicz, E. and Reiss, Z., 1993, Recent Foraminifera from the Gulf of Aqaba, Red Sea, Slovensha. *Akademija Znanosti in Umetnosti, Ljubljana*, 179.
- Johnstone, R. and Suleiman, M., 1998. Some aspects of the interaction between pollution and nutrient dynamics on coral reefs around Zanzibar. In: Johnstone, R., Francis, J. and Muhando, C. A. (eds) Coral Reefs Values, Threats and Solutions. *Proceedings of the National Conference on Coral Reefs, Zanzibar, Tanzania*. Sida, UDSM, UNEP. December 1997, UNEP, Nairobi, Kenya.
- Khamis, Z. A., Kalliola, R. and Käyhkö, N., 2017. Geographical characterization of the Zanzibar coastal zone and its management perspectives, *Ocean & Coastal Management*, 149, 116-134, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.10.003.
- Langer, M. R., 2008. Assessing the Contribution of Foraminiferal Protists to Global Ocean Carbonate Production. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 55 (3), 163-169.
- Langer, M. R., Silk, M. T. and Lipps, J. H., 1997. Global ocean carbonate and carbon dioxide production: the role of reef foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 27, 271-277.
- Lee, J. J., 2006. Algal symbiosis in larger foraminifera. *Symbiosis*, 42, 63-75.
- Linton, M. D. and Warner, G. F., 2003. Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management. *Ocean and Coastal Management*, 46, 261-276.





Loeblich, A. R. and Tappan, H., 1987. Foraminiferal genera and their classification. *Van Nostrand Reinhold Company*, 2 vols, 970., 847 pls, New York.

Loeblich, A. R. and Tappan, H., 1994. Foraminifera from the Sahul Shelf and Timor Sea. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, Special Publication, 31, 1-661.

Lwiza, K. M. M., 1994. Beach Erosion North of Dar-es-salaam. *IOC-UNEP-WMO-SAREC*, Zanzibar, Tanzania, 96.

Murray, J. W., 1973. Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids. *Cran, Russak and Co.*, New York, 274.

Murray, J. W., 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. *Cambridge University Press*, New York, 426.

Nyandwi, N., 2001. *Reassessment of the Nature of Beach Erosion North of Dar-es-salaam*, Tanzania.

Obura, D., 2012. The Diversity and Biogeography of Western Indian Reef-Building Corals. *PLoS ONE*, 7 (9), e45013, doi:10.1371/journal.pone.0045013.

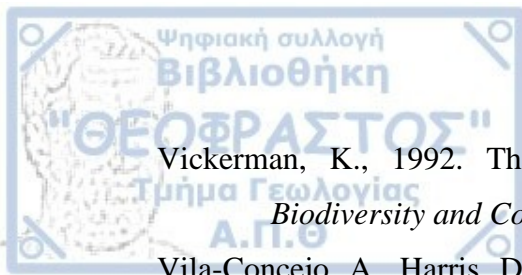
Pereira, C. P. G., 1979. Foraminiferal distribution and ecology in the fringing reef complex of the coast, near Mombasa, Kenya. PhD thesis. *University of Wales*.

Spalding, M. D., Ravilious, C. and Green, E. P., 2001. World Atlas of Coral Reefs. *Prepared at the UNEP World Conservation Monitoring Centre*, University of California Press, Berkeley, 424.

Stuart-Smith, R. D., Bates, A. E., Lefcheck, J. S., Duffy, J. E., Baker, S. C., Thomson, R. J., Stuart-Smith, J. F., Hill, N. A., Kininmonth, S. J., Airoidi, L., Becerro, M. A., Campbell, S. J., Dawson, T. P., Navarette, S. A., Soler, G. A., Strain, E. M. A., Willis, T. J. and Edgar, G. J., 2013. Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. *Nature*, 501, 539-542.

Thissen, J. M. and Langer, M. R., 2017. Spatial Patterns and Structural Composition of Foraminiferal Assemblages from the Zanzibar Archipelago (Tanzania). *Paleontographica*, 308, 1-67, doi: 10.1127/pala/308/2017/1.

Uthicke, S., Thompson, A. and Schaffelke, B., 2010. Effectiveness of benthic foraminiferal and coral assemblages as water quality indicators on inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 29, 209-225, doi: 10.1007/s00338-009-0574-9.



Vickerman, K., 1992. The diversity and ecological significance of Protozoa. *Biodiversity and Conservation*, 1, 334-341.

Vila-Concejo, A., Harris, D. L., Shannon, A. M., Webster, J. M. and Power, H. E., 2013. Coral reef sediment dynamics. Evidence of sand-apron evolution on daily and decadal scale. In: Conley, D. C., Masselink, G., Russell, P. E. and O'Hare, T. J. (eds) Proceeding 12<sup>th</sup> International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 65, 606-611.

Yanko, V., Kronfeld, J. and Flexer, A., 1994. Response of benthic foraminiferal to various pollution sources. Implication for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24, 1-17.

## Ελληνική

Ζαμπετάκη Λέκκα, Α., Αντωνάρακου, Α., Ντρίνια, Χ., Τσουρού, Θ., Di Stefano, A. και Baldassini, N., 2015. *Η μικροπαλαιοντολογία και οι εφαρμογές της*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Τριανταφύλλου, Μ. Β. και Δήμιζα, Μ. Δ., 2012. *Μικροπαλαιοντολογία & Γεωπεριβάλλον*. Εκδοτικός Όμιλος Ίων. Αθήνα.

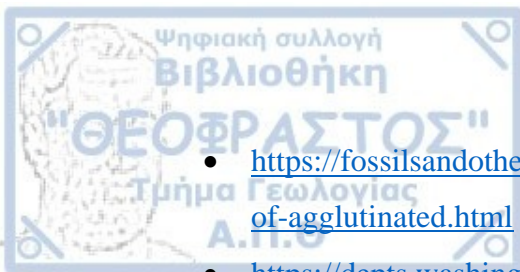
Τσουκαλά, Ε., 2009. *Σημειώσεις Μικροπαλαιοντολογίας*. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

## Ηλεκτρονικές παραπομπές

Department of Fisheries and Marine Resources, 2009. *A Guide to Marine Conservation Areas in Zanzibar*. Ανακτήθηκε από: <https://scuba-do-zanzibar.com/MCAsZanzibar.pdf>

## Κατάλογος εικόνων

- <https://www.thephoblographer.com/2021/06/26/how-silvia-becker-photographs-curious-microscopic-shells-on-the-beach/>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Foraminifera>



- <https://fossilsandotherlivingthings.blogspot.com/2013/05/brains-conundrum-of-agglutinated.html>
- <https://depts.washington.edu/forams/order-milioida/genus-quinqueloculina/>
- <https://www2.bgs.ac.uk/discoveringGeology/time/fossilfocus/foraminifera.htm>
- [https://www.palaeontologyonline.com/articles/2018/fossil-focus-planktonic-foraminifera-small-fossils-big-impacts/?doing\\_wp\\_ctron=1664406000.2765829563140869140625](https://www.palaeontologyonline.com/articles/2018/fossil-focus-planktonic-foraminifera-small-fossils-big-impacts/?doing_wp_ctron=1664406000.2765829563140869140625)
- <https://www.nationalgeographic.com/science/article/scientists-work-to-save-coral-reefs-climate-change-marine-parks>
- [https://www.researchgate.net/figure/Maps-of-Zanzibar-Islands-From-Zanzibar-Development-Vision-2010\\_fig1\\_249451985](https://www.researchgate.net/figure/Maps-of-Zanzibar-Islands-From-Zanzibar-Development-Vision-2010_fig1_249451985)
- <http://www.grida.no/resources/8701>
- [http://www.researchgate.net/figure/A-Picking-brush-B-Micro-cells-C-63-microns-sieve-D-Stereoscopic-binocular\\_fig4\\_343809633](http://www.researchgate.net/figure/A-Picking-brush-B-Micro-cells-C-63-microns-sieve-D-Stereoscopic-binocular_fig4_343809633)
- <http://srilankasciencehouse.com/product/digital-electronic-scale/>
- <http://www.ascscientific.com/geology-laboratory-equipmnet/sample-splitters-riffler/asc-micro-sample-splitter/>
- <https://profilab24.com/en/laboratory/microskope/akruess-optronic-msz5000-trl-stereo-zoom-microscope>