

Χωρική κατανομή βενθικών βιοκοινοτήτων στο υποθαλάσσιο σπήλαιο Παντερονήσι, ΝΔ Πάρος.

Καλακώνας Αντώνιος

Επιβλέπων : Κουτσούμπας Δρόσος



Πανεπιστήμιο Αιγαίου - Σχολή Περιβάλλοντος
Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών

2019

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	1
1. Εισαγωγή	2
1.1 Μεσόγειος και βιοποικιλότητα.....	2
1.2 Πανίδα και χλωρίδα.....	3
1.3 Απειλές για την βιοποικιλότητα.....	4
1.4 Θαλάσσια σπήλαια.....	5
1.5 Φωτογραφικές μέθοδοι.....	6
1.6 Σκοπός.....	7
2. Μεθοδολογία	8
2.1 Περιοχή μελέτης.....	8
2.2 Δειγματοληψία.....	14
2.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας.....	14
2.4 Επεξεργασία φωτογραφικών πλαισίων.....	15
2.5 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	17
3. Αποτελέσματα	18
3.1 Λίστα ειδών και ποσοστιαία κάλυψη.....	18
3.2 Ταξινομική σύνθεση βιοκοινοτήτων.....	20
3.3 Μορφολογική σύνθεση βιοκοινοτήτων.....	24
3.4 Στατιστική ανάλυση.....	27
3.4.1 Δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης βιοκοινοτήτων.....	27
3.4.2 Δεδομένα μορφολογικής σύνθεσης βιοκοινοτήτων.....	31
4. Συζήτηση	39
Βιβλιογραφία	42

Φωτογραφία Εξωφύλλου : Άποψη της μεγάλης εισόδου του σπηλαίου Παντερονήσι με γωνία λήψης από το εσωτερικό του σπηλαίου. Η φωτογραφία λήφθηκε από τον Καλακώνα Αντώνιο.

Περίληψη

Τα υποθαλάσσια σπήλαια είναι ένα διαδεδομένο οικοσύστημα για τις βραχώδεις ακτές της Μεσογείου. Περίπου 3.000 θαλάσσια σπήλαια σε όλη τη Μεσόγειο, με το ένα τέταρτο αυτών στην Ανατολική λεκάνη. Ως ενδιαίτηματα παρουσιάζουν μεγάλη οικολογική σημασία αλλά και μεγάλη ευαισθησία καθώς υπάρχει μικρή δυνατότητα ανάκαμψης. Έχουν χαρακτηριστεί ως οικότοποι προτεραιότητας με σκοπό τη διατήρηση. Η επιστημονική πληροφορία όμως γύρω από τη βιοποικιλότητα των θαλασσίων σπηλαίων και ειδικότερα στην Ανατολική Μεσόγειο είναι περιορισμένη. Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια να εμπλουτιστούν σε ένα μικρό βαθμό κενά της επιστημονικής αυτής πληροφορίας ερευνώντας ένα υποθαλάσσιο σπήλαιο στο κεντρικό Αιγαίο.

Στο σπήλαιο μελετήθηκε η χωρική κατανομή των βενθικών βιοκοινοτήτων με τη χρήση φωτογραφικών πλαισίων, μίας μη καταστρεπτικής μεθόδου. Από την είσοδο έως το εσωτερικό του σπηλαίου κατά μήκος άξονα (μίσος) ανά 5 μ. λήφθηκαν 3 φωτογραφικά πλαίσια εκατέρωθεν (στους δύο κάθετους τοίχους). Από την ανάλυση των φωτογραφικών δειγμάτων απεικονίστηκε η διαβάθμιση των βιοκοινοτήτων βάση διεύθυνσης του φωτός. Επίσης η πιο πλούσια ομάδα σε είδη ήταν οι σπόγγοι. Οι στατιστικές δοκιμές επαλήθευσαν τα αποτελέσματά μας με σημαντικές διαφορές ανά ζώνη του σπηλαίου. Συγκριτικά με άλλες μελέτες είδαμε ότι ακολουθούνται τα ίδια πρότυπα ζώνωσης εντός των σπηλαίων όπως και οι ίδιες κυρίαρχες ομάδες ψαριών.

Abstract

Undersea caves are a widespread ecosystem of the rocky shores of the Mediterranean. It has been recorded, approximately 3,000 sea caves across the Mediterranean, with one quarter of them being in the Eastern Basin. As habitats are described as with great ecological importance but also with great sensitivity as there is little chance of recovery. They have been characterized as priority habitats for conservation purposes. However, the scientific information about the biodiversity of sea caves and especially the eastern Mediterranean is limited. In this study, an attempt was made to enrich some of these gaps in the scientific information by exploring a submarine cave in the central Aegean.

In the cave, the spatial distribution of benthic communities was studied with the use of photographic frames, a non-destructive method. From the entrance to the interior of the cave, every 5m along an axis (line), three photo frames were taken on each side (on both vertical walls). From the analysis of the photographic samples the grading of the bio-communities based on the penetration of light was depicted. Also the richest group of species was sponges. The statistical tests have verified our results with significant differences per cave area. Compared to other studies, we have seen that the same zoning patterns within the caves are followed as well as the same dominant fish groups.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Μεσόγειος και βιοποικιλότητα

Η Μεσόγειος θάλασσα, με επιφάνεια 2,5 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων, αποτελεί το μεγαλύτερο ημίκλειστο και πιο βαθύ (με μέγιστο βάθος 5.267μ και μέσο βάθος 1.460μ) θαλασσινό κομμάτι στον κόσμο (Lieven, 2018). Ο όρος “Mare medi terraneum” στα Λατινικά σημαίνει «θάλασσα στη μέση της γής» (Bianchi & Morri, 2000). Γενικώς θεωρείται oligοτροφική, όντας πλούσια σε οξυγόνο αλλά φτωχή σε θρεπτικά λόγω της ανεπαρκούς εισροής νερού από ποτάμια και απορροές. Η oligοτροφία αυξάνεται προς τα ανατολικά (Boudouresque, 2004). Η Μεσόγειος έχει πλούσια πανίδα κ χλωρίδα καθώς και υψηλό ρυθμό ενδημισμού. Οι Μεσογειακές θαλάσσιες κοινότητες χαρακτηρίζονται από πολλά και διαφορετικά είδη μικρότερων ατόμων σε μέγεθος και με μικρότερο χρόνο ζωής (Μεσογειακός νανισμός). Απαντώνται χαμηλά επίπεδα πρωτογενούς παραγωγής, λόγω της oligοτροφίας, οπότε υπάρχει και χαμηλή παραγωγή ιχθύων (Lieven, 2018).

Η βιολογική ποικιλομορφία ή αλλιώς βιοποικιλότητα, αποτελεί βασικά ένα «σύμπλεγμα εννοιών» στις οποίες περιλαμβάνονται πολλές αλληλένδετες πτυχές, από τη γενετική και τη μοριακή βιολογία έως την δομή των κοινοτήτων και την ετερογένεια των ενδιαιτημάτων (Bianchi & Morri, 2000). Πάραυτα, η πιο θεμελιώδης έννοια της βιοποικιλότητας έγκειται στην έννοια του πλούτου των ειδών (Baltanas, 1992) του αριθμού δηλαδή των ειδών που απαντώνται σε έναν τόπο, περιοχή ή οικοσύστημα. Σε σύγκριση με τα χερσαία οικοσυστήματα, η θάλασσα έχει ερευνηθεί πολύ λιγότερο και η πληροφορία που υπάρχει είναι πολύ περιορισμένη (Robert & Hawkins, 1999).

Ένα χαρακτηριστικό της Μεσογείου επίσης αποτελεί η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας. Το μικρό βάθος στο στενό του Γιβραλτάρ εμποδίζει τα πιο κρύα στρώματα νερού από την Αρκτική, τα οποία ρέουν προς τα νότια κατά μήκος του πυθμένα του Ατλαντικού, να εισέλθουν στη Μεσόγειο. Κατά αυτό τον τρόπο, η θερμοκρασία του νερού στη Μεσόγειο, αντί να μειώνεται όσο αυξάνει το βάθος (όπως συμβαίνει στον Ατλαντικό) παραμένει σταθερή στους 13°C περίπου, όλο το χρόνο (Hopkins, 1985).

Πέρα από τη μοναδικότητα των γεωλογικών, βιογεωγραφικών, φυσικών και οικολογικών χαρακτηριστικών, η υπάρχουσα γνώση κ πληροφορία που χρησιμεύει στην κατανόηση της υψηλής βιοποικιλότητας της Μεσογείου βασίζεται στη μακρά παράδοση μελέτης που χρονολογείται από την εποχή των Ελλήνων και των Ρωμαίων. Η πρώτη ιστορική τεκμηρίωση εισήχθη από τον Αριστοτέλη, ο οποίος συνέβαλε στην ταξινόμηση και περιγραφή της θαλάσσιας βιοποικιλότητας, και ακολούθησε ο Πλίνιος με το έργο του «Historia naturalis, liber IX» τον 1ο αιώνα π.Χ. Έπειτα, τον 18ο αιώνα ο Carl von Linné και πολλοί άλλοι στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα. Οι πρώτες έρευνες σε βαθιά ύδατα άρχισαν στα τέλη του 19ου αιώνα. Οι αποστολές του R.V. "Calypso" του Jacques-Yves Cousteau στη Μεσόγειο κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 και της δεκαετίας του 1960 παρείχαν αρκετό πολύτιμο υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε έπειτα σε πολλές σημαντικές εκδόσεις σχετικά με τη μεσογειακή ποικιλομορφία. Πλέον η ιστορία της οικολογικής έρευνας και της ανακάλυψης ειδών στην

περιοχή έχει αναθεωρηθεί διεξοδικά, όπως από έρευνες του Riedl R. αν και περιορίζεται κυρίως στη δυτική Μεσόγειο (Coll et al., 2010).

1.2 Πανίδα και χλωρίδα

Ο σημερινός θαλάσσιος πλούτος της Μεσογείου αποτελείται από είδη τα οποία ανήκουν σε διάφορες βιογεωγραφικές κατηγορίες, όπως: (α) είδη που προέρχονται από εύκρατο Ατλαντικό-Μεσογειακό υπόβαθρο, (β) κοσμοπολίτικα / πανωκεανικά είδη, (γ) ενδημικά στοιχεία, που περιλαμβάνουν τόσο παλαιοενδημικά είδη όσο και νεοενδημικά, (δ) υποτροπικά είδη του Ατλαντικού, (ε) είδη από τον βόρειο Ατλαντικό, (στ) μετανάστες της Ερυθράς Θάλασσας (ιδίως στο ανατολικό κομμάτι της Μεσογείου), (ζ) μετανάστες του Ανατολικού Ατλαντικού (ιδίως στη θάλασσα του Αλμποράν (Bianchi & Morri, 2000).

Στην ανατολική Μεσόγειο, η βιοποικιλότητα είναι μεγαλύτερη στο Αιγαίο (Ελλάδα και Τουρκία) συγκριτικά με το νότο και τη λεκάνη της Λεβαντίνης (Συρία, Λίβανος, Ισραήλ, Αίγυπτος και Λιβύη) (Bianchi & Morri, 2000).

Ο λόγος για την πλούσια πανίδα και χλωρίδα της Μεσογείου έγκειται στην προέλευσή τους. Η πανίδα και χλωρίδα της Μεσογείου έχουν κυρίως Ατλαντική προέλευση. Περιλαμβάνουν αρκετά μεγάλο αριθμό ενδημικών ειδών, εκ των οποίων τα περισσότερα είναι σχετικά πρόσφατα (νέο-ενδημικά). Η Μεσόγειος φιλοξενεί μία μεγάλη ποικιλία κοινοτήτων, σε συνάρτηση με το βάθος, το υπόστρωμα, τη μέση ακτινοβολία, την κίνηση του νερού και το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας. Ορισμένες από αυτές τις κοινότητες είναι μοναδικές, δίνοντας στη Μεσόγειο το στίγμα της αυθεντικότητας (Boudouresque, 2004).

Συνολικά η Μεσογειακή πανίδα και χλωρίδα φαίνεται ιδιαίτερα πλούσια και αυτό δεν έχει να κάνει με την εντατικοποιημένη μελέτη της περιοχής από επιστήμονες σε σχέση με άλλες στον κόσμο, ως εκ τούτου η Μεσόγειος θάλασσα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα «hot spot» της ποικιλομορφίας των θαλάσσιων ειδών. Αυτό συμβαίνει επειδή : α) το 7% της παγκόσμιας θαλάσσιας βιοποικιλότητας απαντάται εδώ ενώ επιφανειακά καταλαμβάνει το 0.82% των ωκεανών, β) εμφανίζεται μεγάλος αριθμός ενδημικών ειδών και γ) οι ανθρωπογενείς πιέσεις αυξάνονται συνεχώς (Coll et al., 2010).

Από την ανάλυση έρευνας εμφανίστηκαν πάνω από 17.000 είδη στη Μεσόγειο θάλασσα και επικαιροποίησαν τις παλαιότερες εκτιμήσεις που κυμαίνονταν στα 8.000-12.000 είδη. Παρόλα αυτά η εκτίμηση εξακολουθεί να είναι ελλιπής καθώς είναι εφικτό να περιγραφούν περισσότερα είδη (Coll et al., 2010).

Επίσης, οι αριθμοί των ξενικών (εισβολικών) ειδών που είχαν καταγραφεί τον τελευταίο αιώνα έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες (Coll et al., 2010) Από το 1950 η αυξημένη καλλιέργεια οστράκων, η διεύρυνση του καναλιού του Σουέζ όπως και ο όλο και μεγαλύτερος ρόλος της Μεσογείου ως κέντρο διεθνούς εμπορικής ναυτιλίας αποτελούν κάποιους βασικούς λόγους στους οποίους οφείλεται αυτή η αύξηση. Πολλά από τα είδη που εισήχθησαν δημιούργησαν μόνιμους πληθυσμούς και επέκτειναν τη ποικιλία τους. Προς το παρόν έχουν καταγραφεί 214 ξενικά είδη από τρεις ή και περισσότερες χώρες περιμετρικά της Μεσογείου, ενώ 132 είδη έχουν καταγραφεί από τέσσερις ή και περισσότερες χώρες. (Coll et al., 2010).

Στη δυτική λεκάνη, φύκη από την θάλασσα της Ιαπωνίας, εισήχθησαν με τους γόνους στρειδιών όπως και το τροπικής προέλευσης είδος «*Caulerpa taxifolia*» αναπτύσσεται από μερικά τυχαία σημεία εισόδου (Bethoux J.P., 1996). Κάθε χρόνο αρκετές δεκάδες νέων ειδών αναφέρονται ή περιγράφονται για πρώτη φορά στη Μεσόγειο (Boudouresque, 2004).

1.3 Απειλές για την βιοποικιλότητα

Η βιοποικιλότητα επηρεάζεται από ένα συνδυασμό στοιχείων όπως: (α) η άμεση επίδραση στους οργανισμούς (η θερμοκρασία προκαλεί αλλαγές στην επιβίωση, αναπαραγωγική επιτυχία, συμπεριφορά και πρότυπα διασποράς), (β) τα αποτελέσματα που προκύπτουν από βιολογικές αλληλεπιδράσεις (ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε ζεύγος επικαλυπτόμενων ειδών) και (γ) έμμεσες επιπτώσεις λόγω των ρευμάτων από τους ωκεανούς (Bianchi & Morri, 2000). Ο Sanford (1999) έδειξε ότι οι μικρές αλλαγές στο κλίμα μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες μεταβολές στις θαλάσσιες κοινότητες.

Η χρήση της ενέργειας, οι πρακτικές των μεταφορών, οι πρακτικές χρήσης της γης, το εμπόριο και ο τουρισμός καθορίζουν το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής ως μία πίεση στη (Omman et al., 2009).

Επιπλέον, οι ανθρώπινες δραστηριότητες που ενδέχεται να μειώσουν την ποικιλία των ειδών και την οικολογική ποικιλότητα είναι η ανάπτυξη των ακτών (αναμόρφωση, λιμένες, τεχνητές παραλίες), η αλιεία (εμπορική αλιεία, χρήση της τράτας, υπεραλίευση, ερασιτεχνική αλιεία), η ρύπανση (θρεπτικά συστατικά, οργανική ύλη, βαρέα μέταλλα, θολερότητα, στερεά απόβλητα). Οι παραπάνω δραστηριότητες επηρεάζουν κυρίως την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, ειδικότερα από την επιφάνεια της θάλασσας έως και 40 μέτρα βάθους, η οποία είναι και η κύρια δεξαμενή βιοποικιλότητας (Boudouresque, 2004). Πιο συγκεκριμένα για τη ρύπανση τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τα απορρίμματα θαλάσσης διαφέρουν μεταξύ μελετών. Η κατανομή των εξεταζόμενων μελετών έδειξε ότι οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης στα πλαστικά στη Μεσόγειο θάλασσα εμφανίστηκαν στις ακτές της βορειοδυτικής Μεσογείου (76-96%) και στο Τυρρηνικό πέλαγος (96%), ενώ οι χαμηλότερες αυτών στην Λιβύη (18 %) (Deudero & Alomar, 2015)

Η ανθρώπινη οικονομική κυρίως δραστηριότητα συνιστά μείζονα αιτία, της ταχείας μεταβολής της ατμοσφαιρικής σύνθεσης (εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αερολυμάτων κυρίως), της μεταβολής της έκτασης της γης όπως και του τρόπου χρήσης αυτής. Η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, οι πολιτικές, θρησκευτικές και πολιτιστικές πεποιθήσεις είναι αυτά τα οποία αποτελούν τις κινητήριες δυνάμεις της κλιματικής αλλαγής (Omman et al., 2009). Έχει αποδειχθεί επίσης, ότι, η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει σημαντικές τροποποιήσεις γενικότερα και ειδικότερα στα παράκτια οικοσυστήματα της βορειοδυτικής Μεσογείου (Morri & Bianchi, 2001).

Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, κανένα είδος δεν φαίνεται να έχει εξαφανιστεί από τη Μεσόγειο. Ορισμένα όμως δεν εμφανίζονται πια τόσο τακτικά και φαίνεται να τείνουν προς εξαφάνιση στο εγγύς μέλλον. Όπως π.χ. το είδος φώκιας *Monachus monachus*, όπου ήταν αρκετά διαδεδομένο σε ολόκληρη τη Μεσόγειο και σήμερα πια επιβιώνει μόνο στην Ελλάδα, Τουρκία, Αλγερία, Μαρόκο και ίσως Λιβύη και Κροατία (Boudouresque, 2004).

Όλοι οι παραπάνω λόγοι σε συνδυασμό με την αναγνώριση της Μεσογείου ως πυρήνα βιοποικιλότητας (biodiversity hotspot) (Coll et al., 2010), οδήγησαν και στην δημιουργία των Θαλάσσιων

Προστατευόμενων Περιοχών (ΘΠΠ). Παράλληλα, σύμφωνα με μελέτες (Giakoumi et al., 2013) το δίκτυο αυτό δεν είναι επαρκές.

1.4 Θαλάσσια σπήλαια

Ως σπήλαιο ορίζεται ένα υπόγειο έγκοιλο το οποίο συνδέεται με την επιφάνεια μέσω μιας ή περισσότερων εισόδων. Το μήκος του είναι μεγαλύτερο από το ύψος του ανοίγματος της εισόδου και οι διαστάσεις του επιτρέπουν την εξερεύνηση από τον άνθρωπο (Riedl 1966, Gunn 2004). Τα θαλάσσια σπήλαια είναι αρκετά διαδεδομένο οικοσύστημα για τις βραχώδεις ακτές της Μεσογείου. Η επιστημονική πληροφορία όμως γύρω από τη βιοποικιλότητα των θαλασσιών σπηλαίων στην Ανατολική Μεσόγειο είναι περιορισμένη, ακόμα και αν υπάρχουν εκτενώς μελετημένα σπήλαια στη βορειοδυτική και κεντρική Μεσόγειο (Gerovasileiou et al., 2015).

Στην Ελλάδα, το κυρίως πέτρωμα που απαντάται είναι ο Ασβεστόλιθος και σε συνδυασμό με το νερό από τις κατακρημνίσεις που ρέει ενδιάμεσα δημιουργούνται βαθιά σπήλαια και μεγάλες πηγές. Η συγκεκριμένη αιτία δημιουργίας των σπηλαίων και των πηγών ονομάζεται «καρστική διάβρωση» (Gunn, 2004). Σε καρστικές περιοχές τα θαλάσσια σπήλαια μπορούν να εκτείνονται για εκατοντάδες μέτρα (Bussotti et al., 2006). Πέρα από την «καρστική διάβρωση» υπάρχουν και άλλες αιτίες δημιουργίας σπηλαίων και σε διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων, όπως τα παράκτια, γνωστά και ως ενάλια, τα ηφαιστειακά σπήλαια κ.α. (Gunn, 2004).

Η τελευταία καταγραφή αφορά 3.000 θαλάσσια σπήλαια σε όλη τη Μεσόγειο (ημιβυθισμένα, εξολοκλήρου βυθισμένα και αγχίαλα) με τα περισσότερα να βρίσκονται στις βόρειες ακτές της. Παράλληλα η τελευταία καταγραφή σχετικά με την ανατολική Μεσόγειο αφορά 738 θαλάσσια σπήλαια αντιπροσωπεύοντας το ένα τέταρτο περίπου του συνόλου αυτών στη Μεσόγειο (Γεροβασιλείου, 2014).

Τα πρώτα στοιχεία σχετικά με ζώντες οργανισμούς σε θαλάσσια σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου ήρθαν στο φως κατά τη διάρκεια αποστολής του R.V."Calypso" το 1950 στην περιοχή του Καστελόριζου. Έπειτα ο Riedl (1966) παρείχε περισσότερα δεδομένα βιοποικιλότητας από σπήλαια στο Αιγαίο πέλαγος (Γεροβασιλείου, 2014). Παράλληλα η πρόοδος της τεχνολογίας και της μεθοδολογίας γύρω από την αυτόνομη κατάδυση αποτέλεσαν καθοριστικό σημείο για τη μελέτη των ιδιαίτερων οικοσυστημάτων των θαλασσιών σπηλαίων.

Πιο συγκεκριμένα, από το 2009, αρκετά θαλάσσια σπήλαια σε παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της Βορειοανατολικής Μεσογείου εξετάστηκαν στο πλαίσιο μιας ευρύτερης επιστημονικής μελέτης η οποία αφορά τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων του Αιγαίου. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε μέσω αυτόνομης κατάδυσης. Επίσης, επεξεργάστηκαν πρόσθετες πληροφορίες που παρέχονταν από δύτες αναπνοής (μέσω διαδικτύου, είτε άμεσης επικοινωνίας) (Gerovasileiou et al., 2015).

Οι βενθικές κοινότητες των θαλασσιών σπηλαίων της Μεσογείου ποικίλουν από ήμι-σκιόφιλες (semi-sciaphilic) σε εντελώς σκοτεινές (entirely dark) και αντανακλούν την ιδιαίτερη τοπογραφία και τις αβιοτικές διαβαθμίσεις των σπηλαίων (Riedl, 1966). Επίσης, τα θαλάσσια σπήλαια, όντας πλούσια σε ενδαιτήματα, έχουν χαρακτηριστεί και ως «δεξαμενές βιοποικιλότητας σπόγγων» (Gerovasileiou & Voultziadou, 2012). Τα σκοτεινά υποθαλάσσια σπήλαια είναι αποθήκες «άγνωστης» βιοποικιλότητας όπως και καταφύγιο των καθόλου ανθεκτικών κοινοτήτων (Harmelin et al., 1985). Επιπλέον,

περιβαλλοντικές συνθήκες από μεγάλα βάθη προσομοιάζουν με αυτές στα σπήλαια καθώς υπάρχει συνεχής απουσία φωτός που μπορεί να επικρατήσει στο εσωτερικό του σπηλαίου όπως και χαμηλή θερμοκρασία και ολιγοτροφικές συνθήκες (Harmelin et al., 1985). Έτσι λοιπόν έχουν βρεθεί και πολλά βαθύβια είδη σε σπήλαια της Μεσογείου κάτι το οποίο αναδεικνύει ακόμα περισσότερο τη σημαντικότητα των ενδιαιτημάτων αυτών.

Τα ενδιαιτήματα των σπηλαίων σε σχέση με άλλα εμφανίζουν μικρή δυνατότητα ανάκαμψης (Giakoumi et al., 2013). Προστατεύονται από το Ευρωπαϊκό και Μεσογειακό νομοθετικό πλαίσιο λόγω του μοναδικού βιολογικού τους πλούτου καθώς υπάγονται στην οδηγία για την προστασία των οικοτόπων και της άγριας πανίδας και χλωρίδας (92/43/EEC and UNEP-MAP-RAC/SPA, 2015). Ήδη ένας ορισμένος αριθμός σπηλαίων προστατεύετε έμμεσα καθώς ανήκει στα γεωγραφικά όρια των Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών. Λόγω της οικολογικής τους σημασίας και της ευπάθειας στις ανθρώπινες πιέσεις, τα θαλάσσια σπήλαια έχουν αναγνωριστεί ως οικοτόποι προτεραιότητας με σκοπό τη διατήρησή (Bussotti et al., 2006).

Τα υποθαλάσσια σπήλαια παρά το γεγονός ότι ως ενδιαιτήματα είναι πιο απόμακρα, δέχονται μεγάλη πίεση από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής. Έπειτα η ανεξέλεγκτη καταδυτική δραστηριότητα, θαλάσσια ρύπανση και αυξανόμενη δόμηση της παράκτιας ζώνης επηρεάζουν εξίσου. Η επίπτωση της εισβολής ξενικών ειδών δεν έχει προς το παρόν μελετηθεί, παρά μόνο στο χερσαίο κομμάτι (Γεροβασιλείου, 2014).

Η τοποθεσία των θαλάσσιων σπηλαίων είναι ο κύριος παράγοντας που σχετίζεται με τις απειλές γύρω από αυτές. Η απόσταση από την ακτή, την παρουσία ποταμών, τα μεγάλα αστικά κέντρα, τα βιομηχανικά συγκροτήματα παίζουν σημαντικό ρόλο. Παράγοντες επίσης αποτελούν το βάθος και η μορφολογία (κλίση, υπόστρωμα, δομή) όπως και οι χρήσεις σχετικά με την εκμετάλλευση πόρων. Επιπλέον, οι ημισκότεινες ζώνες των σπηλαίων, αποτελούν τοπία υψηλής αισθητικής με μεγάλο αρχαιολογικό ενδιαφέρον οπότε και βλάπτονται ιδιαίτερα από τους δύτες που τα επισκέπτονται. Τέλος, αλλαγές στην ποιότητα του περιβάλλοντος, όπως συσσωρεύσεις θρεπτικών ουσιών, μολυσμένα απορρέοντα νερά και αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μπορούν να επηρεάσουν άμεσα (UNEP MAP RAC/SPA, 2015).

1.5 Φωτογραφικές Μέθοδοι

Η μελέτη των θαλάσσιων σπηλαίων περιλαμβάνει πολλές δυσκολίες οι οποίες αφορούν την υποβρύχια επιτόπια εργασία σε σχέση με το χώρο, το χρόνο και τις συνθήκες ορατότητας. Επομένως η χρήση των μη καταστρεπτικών φωτογραφικών μεθόδων αποτελεί ένα ανεκτίμητο πλεονέκτημα για την ποσοτική μελέτη των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων (Gerovasileiou & Voultziadou, 2012). Οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι οι καταλληλότερες για τη μελέτη σκιοφίλων μακροβενθικών και μεγαβενθικών κοινοτήτων του σκληρού υποστρώματος στη Μεσόγειο (Kipson et al., 2011).

Μειονέκτημα των φωτογραφικών μεθόδων μπορούν να θεωρηθούν οι περιορισμοί γύρω από την ταυτοποίηση των ειδών (Bianchi et al, 2004). Πολλές φορές οι συνθήκες φωτισμού επηρεάζουν τα χρώματα των οργανισμών στην εικόνα. Ως μία καλή λύση προτείνεται η μορφολογική ποικιλότητα, των σπόγγων για παράδειγμα, όπου μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας έρευνας,

ακόμα και από μη ειδικούς, και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί έπειτα σε προγράμματα παρακολούθησης (Bell & Barns, 2001).

1.6 Σκοπός

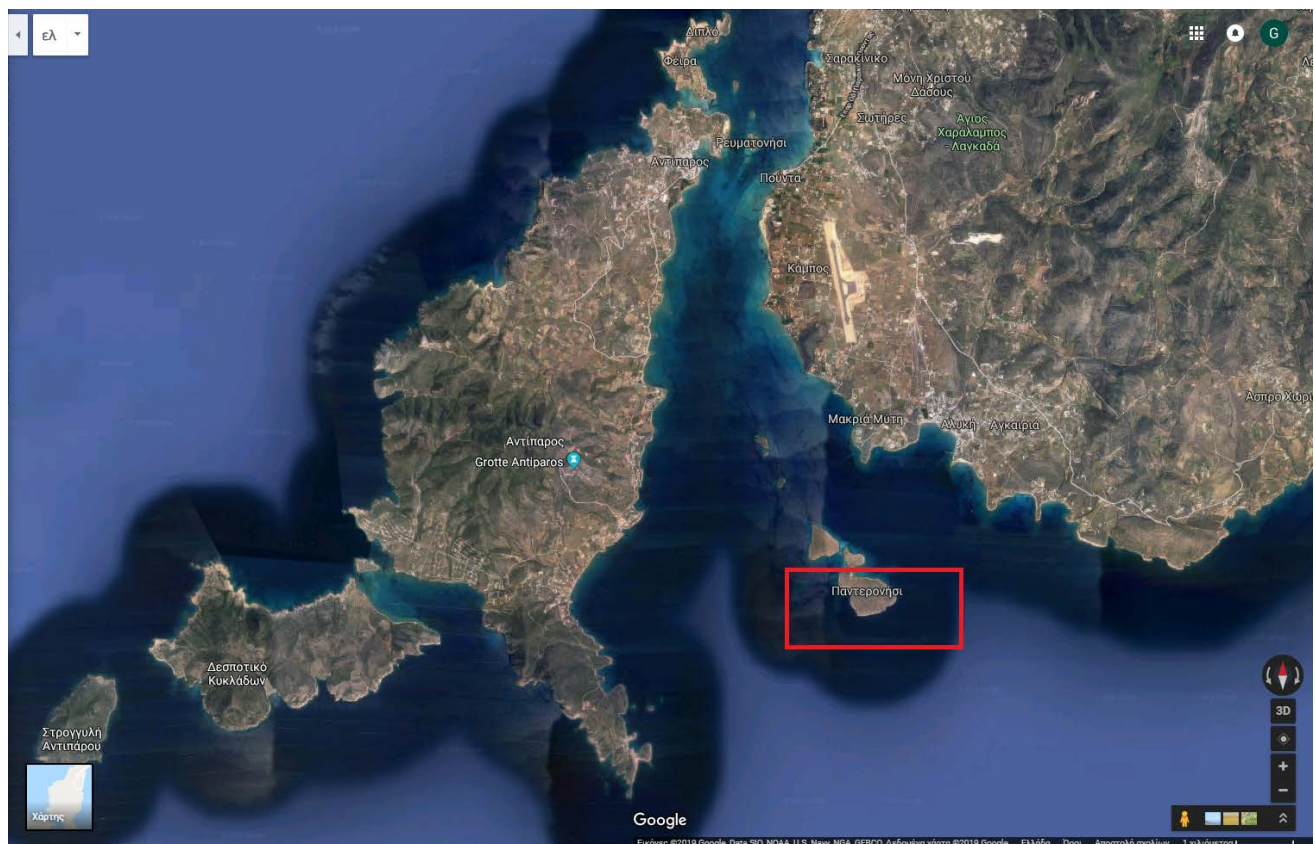
Παρά τις ολοένα και αυξανόμενες μελέτες σχετικά με τις βενθικές κοινότητες των υποθαλασσιών σπηλαίων η επιστημονική πληροφορία είναι πολύ περιορισμένη και αφορά κυρίως σπήλαια της βορειοδυτικής Μεσογείου. Παράλληλα τα σπήλαια αποτελούνται από ενδιαιτήματα με μεγάλη οικολογική σημασία (Bussotti et al., 2006) και δημιουργείται η ανάγκη για διατήρηση αυτών. Στόχοι της μελέτης λοιπόν ήταν η διερεύνηση της χωρικής κατανομής των βενθικών κοινοτήτων και της καταγραφής των κυρίαρχων ειδών. Η παρούσα έρευνα έγινε ώστε να συμπληρωθεί ένα πολύ μικρό κομμάτι, αρχικά, της πληροφορίας σχετικά με τα υποθαλάσσια σπήλαια και έπειτα, της βάσης για μελλοντικές δραστηριότητες παρακολούθησης και πρωτοβουλίες διατήρησης.

2. Μεθοδολογία

2.1 Περιοχή μελέτης

Στα πλαίσια της μελέτης κατανομής των βενθικών βιοκοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια, ερευνήθηκε ένα ημβυθισμένο σπήλαιο στο Κεντρικό Αιγαίο. Το σπήλαιο Παντερονήσι, βρίσκεται στη νησίδα Παντερονήσι ($36^{\circ} 58' 151''$ B, $25^{\circ} 07' 346''$ A) νοτιοδυτικά της Πάρου στις κεντρικές Κυκλάδες (Εικόνα 2.1, Εικόνα 2.2).

Το Παντερονήσι αποτελεί μία από τις πολλές νησίδες που συναντώνται γύρω από το νησί της Πάρου.



Εικόνα 2.1 Δορυφορική φωτογραφία του Στενού Πάρου-Αντίπαρου. Με κόκκινο απεικονίζεται η νησίδα Παντερονήσι, όπου βρίσκεται το υπό μελέτη σπήλαιο.



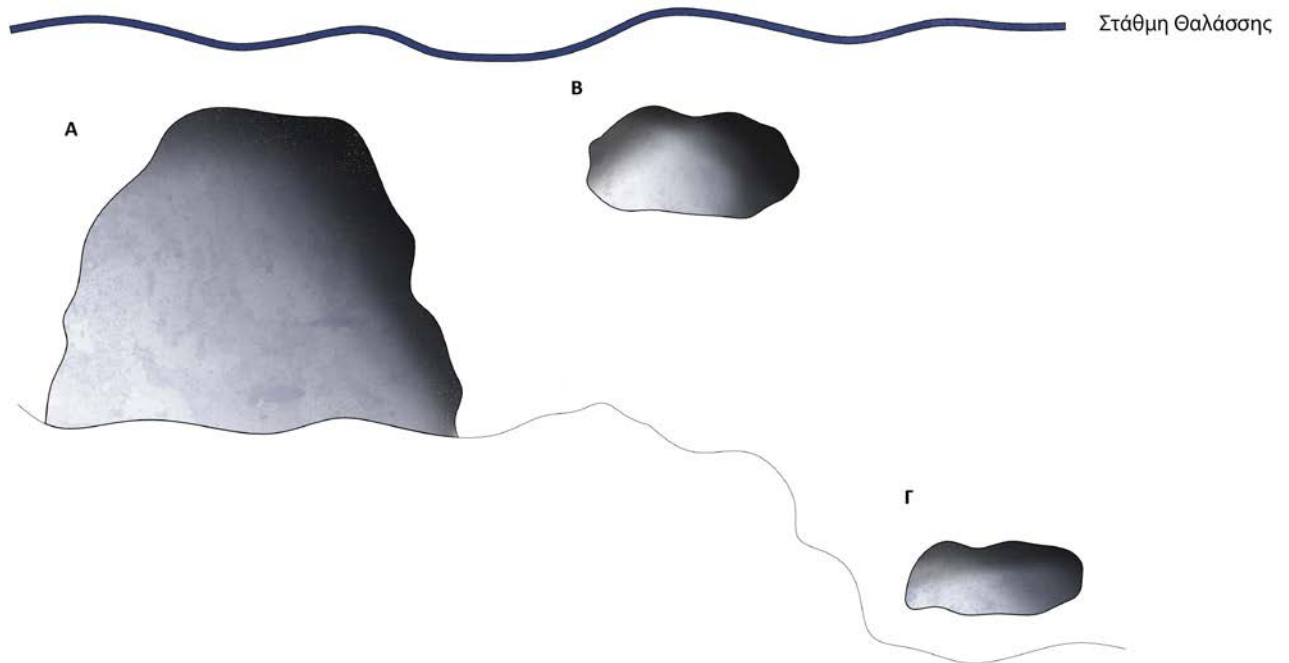
Εικόνα 2.2 Δορυφορική φωτογραφία του κεντρικού και νότιου μέρους της νησίδα Παντερονήσι. Με κόκκινο απεικονίζεται η περιοχή όπου βρίσκεται το υπό μελέτη σπήλαιο.

Το σπήλαιο παρουσιάζει έντονο τουριστικό ενδιαφέρον καθώς το βαθυμετρικό του εύρος, τα γεωμορφολογικά του χαρακτηριστικά και η ποικιλία οργανισμών προσφέρουν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για καταδύσεις αναψυχής. Γι' αυτό το λόγο, κατά τους θερινούς μήνες υπάρχει αυξημένη επισκεψιμότητα από καταδυτικά κέντρα της περιοχής.

Η νησίδα Παντερονήσι είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη σε ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων, και η πρόσβαση σε αυτήν, καθώς και στο υπό μελέτη σπήλαιο, είναι εφικτή μόνο με σκάφος. Στη βορειοδυτική και δυτική πλευρά της νησίδας υπάρχουν αμμώδεις εκτάσεις.

Οι βόρειες και Βορειοανατολικές πλευρές χαρακτηρίζονται από την παρουσία βραχώδους υποστρώματος με ήπια κλίση, ενώ η νότια πλευρά της νησίδας αποτελείται από βραχώδες υπόστρωμα κάθετης κλίσης. Υποβρυχίως περιμετρικά της νησίδας απαντώνται λιβάδια *Posidonia oceanica* όπως και εκτάσεις αμμώδους υποστρώματος και βιογενών θρυμμάτων με μέγιστο βάθος να φτάνει στα 45 μέτρα. Το υποβρύχιο τμήμα (ανατολικό, νότιο, νοτιοδυτικό) της νησίδας αποτελείται από βραχώδες υπόστρωμα με ιδιαίτερη γεωλογική ποικιλομορφία, καθώς παρουσιάζει πολυεπίπεδες οριζόντιες και κάθετες επιφάνειες καθώς και ρωγμές που δημιουργούν θαλάμους. Το σπήλαιο βρίσκεται στο νότιο μέρος της νησίδας το οποίο έχει τρεις διαφορετικές εισόδους διαφορετικών διαστάσεων, σε διαφορετικά βάθη και ίδιου προσανατολισμού : α) η κυρία είσοδος, που είναι και η μεγαλύτερη, έχει διαστάσεις 12×24 μ. (ύψος × πλάτος), β) η δεύτερη είσοδος 2×3 μ. (ύψος × πλάτος), γ) η τρίτη είσοδος 1 × 1,5 μ. (ύψος × πλάτος). Το βάθος του πυθμένα στην πρώτη είσοδο είναι 14 μ. στη δεύτερη 9 μ. και 20 μ. στην τρίτη. Ο προσανατολισμός και των τριών εισόδων είναι βόρειος. Η απόσταση μεταξύ της κύριας εισόδου και της

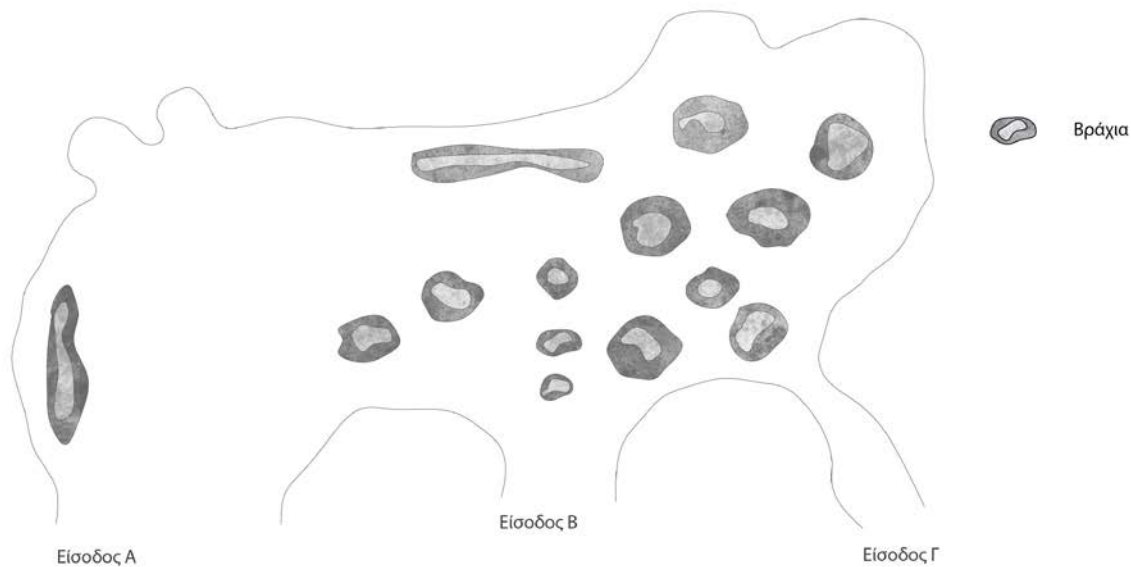
δεύτερης είναι αρκετά μικρή σε σχέση με την τρίτη είσοδο που βρίσκεται περισσότερο ανατολικά και σε μεγαλύτερο βάθος (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Όψη του νότιου μέρους της νησίδας με τις εισόδους του σπηλαίου. Φαίνονται οι (Α) Κυρία είσοδος, (Β) Δεύτερη είσοδος και (Γ) Τρίτη είσοδος.

Μπροστά στην κυρία είσοδο υπάρχουν μεγάλα βράχια πιθανόν από κατάρρευση κομματιού της εισόδου. Το σπήλαιο αποτελείται από μία μεγάλη αίθουσα μέρος της οποίας βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Είναι δυνατή η ανάδυση εντός του σπηλαίου όπου και παρατηρούνται δύο μεγάλες αίθουσες με υψηλές οροφές. Αφού αναδυθούμε διακρίνονται αρκετοί λιθώδεις ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, από την εναπόθεση ανθρακικού ασβεστίου κατά τη διάρκεια σταγονοροής, στους τοίχους με σχήμα κωνοειδές ή κυλινδρικό, ειδικότερα στη δεξιά αίθουσα (ανατολική πλευρά).

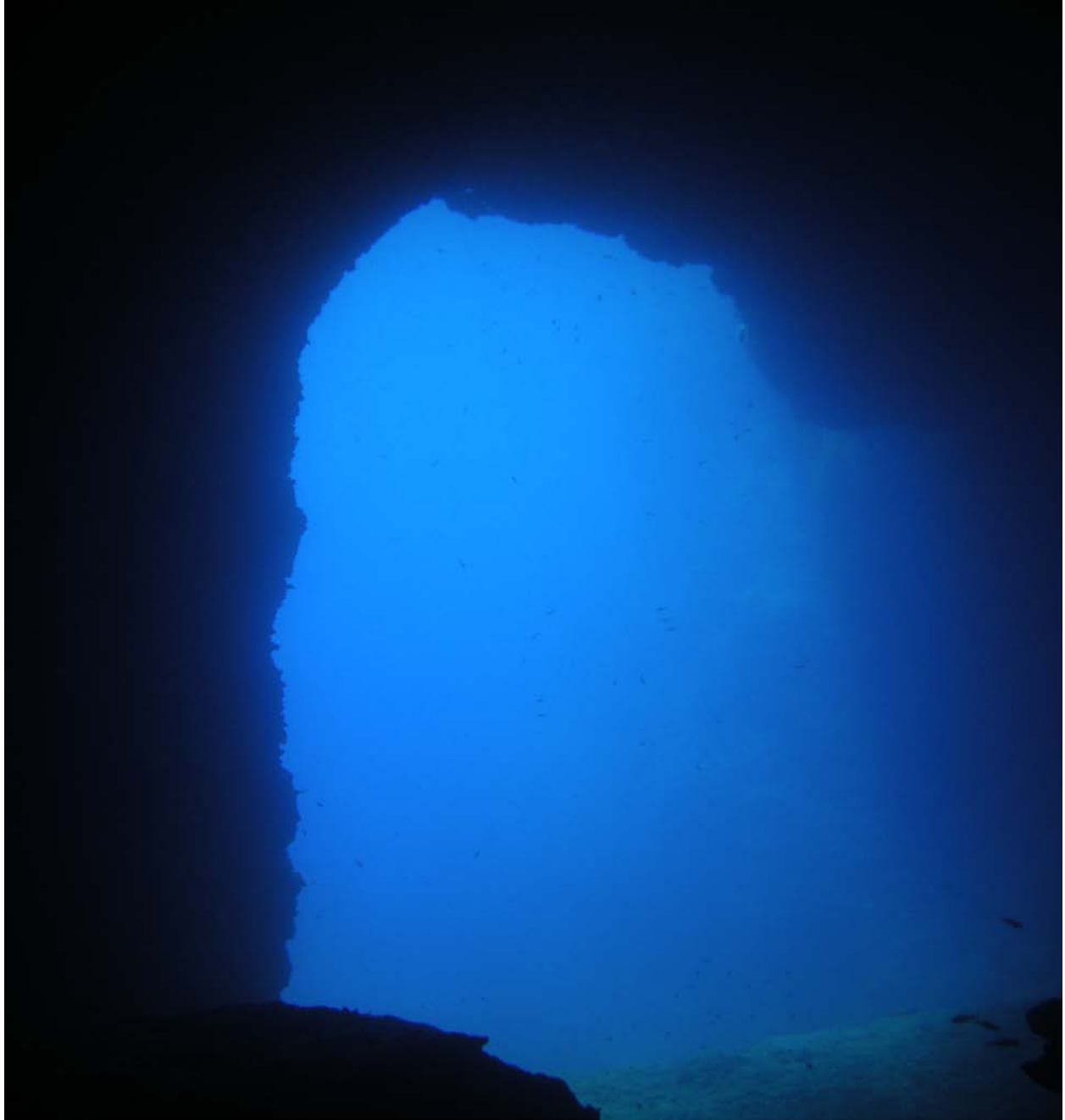
Υποβρυχίως, προχωρώντας στο εσωτερικό της αίθουσας παρατηρείται στένωση (το πλάτος της αίθουσας μικραίνει) και το βάθος μειώνεται, καταλήγοντας σε μία στενή σήραγγα αρκετών μέτρων με καθοδική κλίση, όπου αυξάνεται και το βάθος, προς την τρίτη είσοδο (Εικόνα 2.4) κάτι το οποίο εμποδίζει και την διείσδυση του φωτός από αυτή. Οι τοίχοι εσωτερικά του σπηλαίου έχουν κάθετη κλίση και παρουσιάζουν έντονη γεωλογική πολυπλοκότητα σχηματίζοντας μικρά δωμάτια. Υπάρχουν αρκετά σημεία του σπηλαίου όπου δημιουργούνται μικροί θάλαμοι και συγκρατείται αέρας.



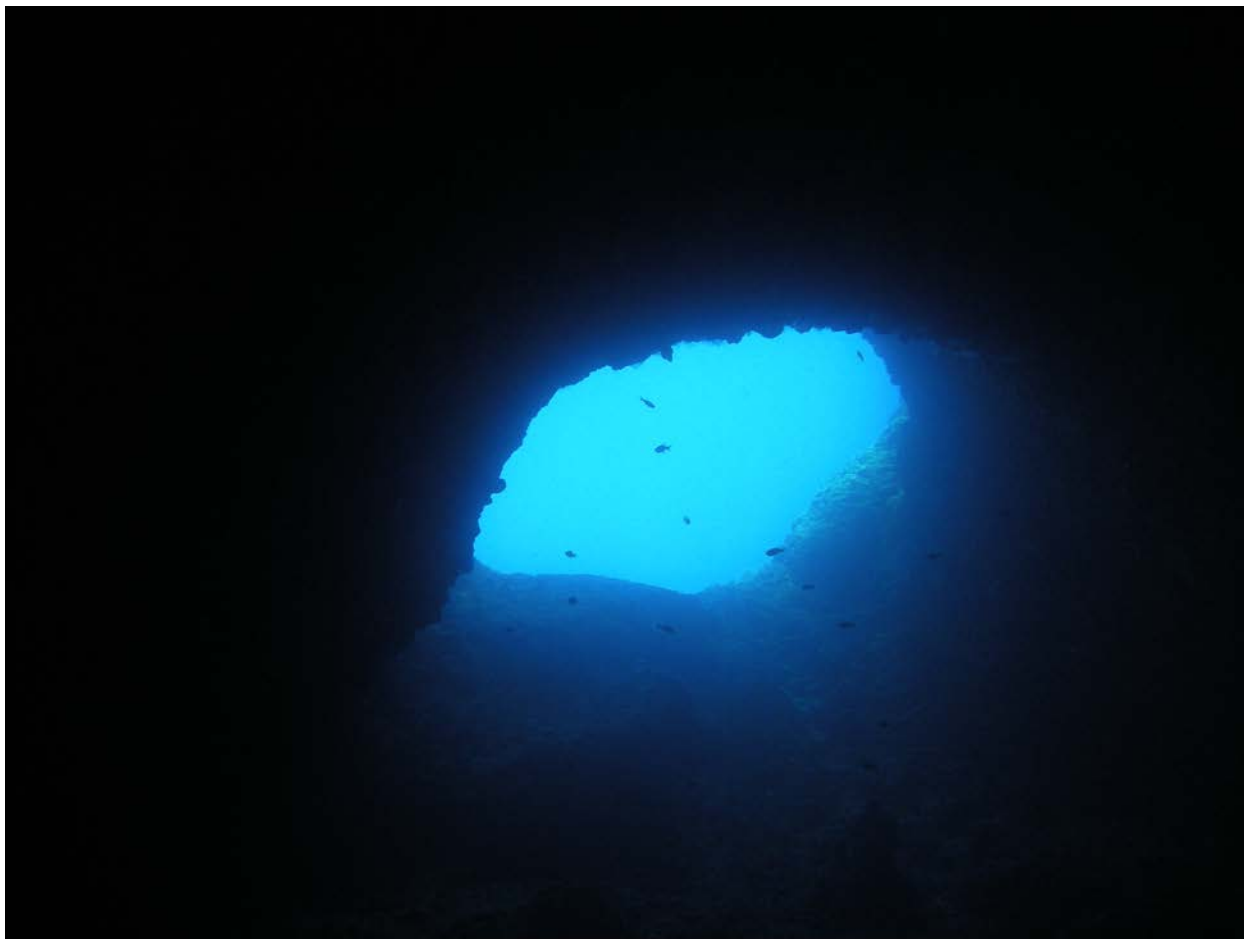
Εικόνα 2.4 Κάτοψη του σπηλαίου. Διακρίνονται τα βράχια ειδικά στο εσωτερικό κομμάτι της αίθουσας.

Ο πυθμένας του σπηλαίου κυρίως μπροστά από την πρώτη είσοδο καλύπτεται από λεπτόκοκκο ίζημα και βιογενή θρύμματα, έπειτα το υπόλοιπο υπόστρωμα είναι βραχώδες . Στα διάκενα των βράχων υπάρχει επίσης αμμώδες υπόστρωμα. Το βορειοδυτικό και βορειοανατολικό κομμάτι της αίθουσας παρουσιάζει πολλές επιπλέον ρωγμές.

Το φωτεινότερο κομμάτι της αίθουσας βρίσκεται μπροστά στην κυρία είσοδο (Εικόνα 2.5.1) και καθώς το σπήλαιο εκτείνεται εσωτερικά η φωτεινότητα μειώνεται φτάνοντας στη δεύτερη είσοδο (Εικόνα 2.5.2) με λιγότερο φως. Τέλος, λόγω δημιουργίας της σήραγγας για την τρίτη είσοδο δεν υπάρχει καθόλου φως.



Εικόνα 2.5.1 Άποψη της μεγάλης εισόδου του σπηλαίου με γωνία λήψης από το εσωτερικό του. Η φωτογραφία λήφθηκε από τον Αντώνη Καλακώνα.



Εικόνα 2.5.2 Άποψη της μεσαίας εισόδου του σπηλαίου με γωνία λήψης από το εσωτερικό του. Η φωτογραφία λήφθηκε από τον Αντώνη Καλακώνα.

Εσωτερικά του σπηλαίου το ελάχιστο βάθος ανέρχεται στα 4 μ. και στα 12 μ. το μέγιστο. Η αρχή της σήραγγας βρίσκεται στα 7 μ. βάθους. Η σήραγγα επίσης παρουσιάζει ιδιαίτερη γεωλογική ποικιλομορφία με σχισμές και μικρούς θαλάμους

Το κομμάτι της σήραγγας αλλά και οι τοίχοι περιμετρικά των εισόδων δεν μελετήθηκαν.

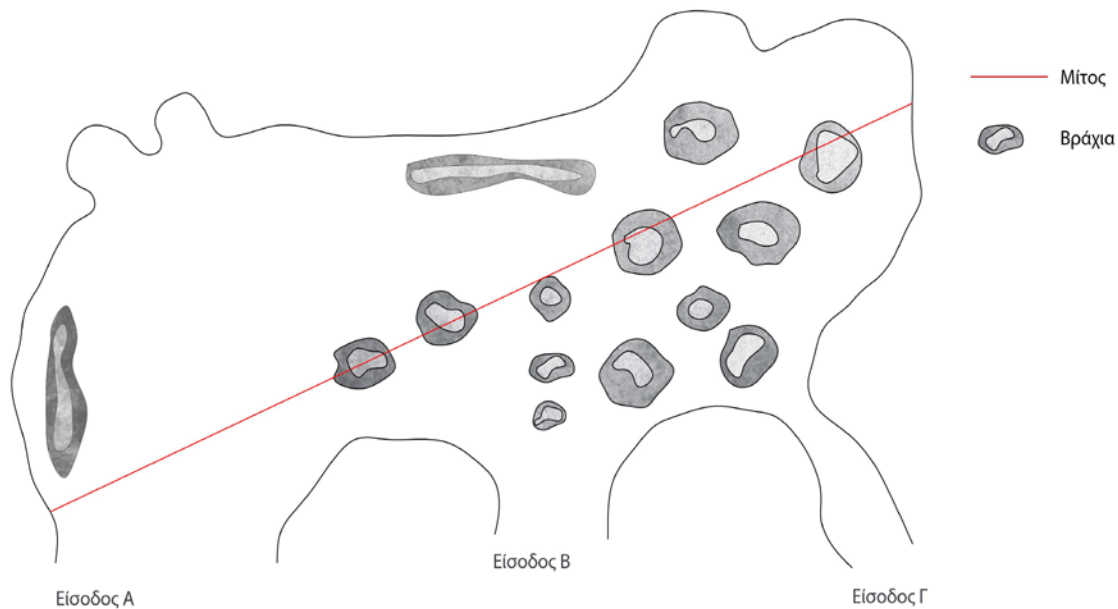
Σύμφωνα με την έως τώρα βιβλιογραφία το σπήλαιο αυτό δεν έχει μελετηθεί από άλλους.

2.2 Δειγματοληψία

Οι έρευνες στο πεδίο έγιναν με αυτόνομη κατάδυση (SCUBA), τον Οκτώβριο του 2018.

2.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας

Για την ποσοτική μελέτη των βενθικών κοινοτήτων χρησιμοποιήθηκε φωτογραφική, μη καταστρεπτική μέθοδος. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε φωτογραφικό πλαίσιο (photoquadrat) από υλικό PVC, διαστάσεων 25x25. Η αναφερθείσα μέθοδος δειγματοληψίας είναι η καταλληλότερη για τη μελέτη των σκιοφίλων μακρο- και μεγαβενθικών κοινοτήτων του σκληρού υποστρώματος στη Μεσόγειο (Kipson et al., 2011). Καθότι αρχικά παρέχει άνεση στην υποβρύχια μετακίνηση γενικότερα αλλά και ειδικότερα σε συνθήκες περιορισμένου χώρου (όπως και τα σπήλαια) είτε συνθήκες αρκετά ευαίσθητων οικοσυστημάτων. Για την υποβρύχια φωτογράφιση χρησιμοποιήθηκε φωτογραφική μηχανή Canon G9 με ανάλυση 12.1 megapixel. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκε μίτος εντός του σπηλαίου που εκτείνονταν από το πιο φωτεινό σημείο στο πιο σκοτεινό, συνολικού μήκους 45 μέτρων (Εικόνα 2.6). Ανά 5 μ. κατά μήκος του μίτου, λήφθηκαν εκατέρωθεν, 3 φωτογραφικά δείγματα αριστερά(L) και 3 δεξιά (R). Το ελάχιστο βάθος κατά μήκος του μίτου ήταν 4 μέτρα (κοντά στην είσοδο) και το μέγιστο 12 (στο εσωτερικό). Συνολικά φωτογραφήθηκαν 60 πλαίσια. Η κατεύθυνση που ακολουθήθηκε ήταν από την είσοδο Α (όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6) με το περισσότερο φως προς το εσωτερικό του σπηλαίου.



Εικόνα 2.6 Κάτοψη του σπηλαίου. Διακρίνονται τα βράχια και με κόκκινη γραμμή ο μίτος που τοποθετήθηκε για τις ανάγκες της μελέτης.

Σύμφωνα με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του σπηλαίου και από μία σύντομη ανασκόπηση των φωτογραφικών δειγμάτων ορίστηκαν τρεις κυρίαρχες ζώνες κατά μήκος του μίτου : α) η ζώνη της Εισόδου (Entrance) η οποία εκτείνεται από 0 έως 10 μέτρα του μίτου, β) η ζώνη του Ημι-σκότεινου σπηλαίου (semi-dark) η οποία εκτείνεται από 15 έως 20 μέτρα του μίτου και, γ) η Σκοτεινή ζώνη (dark) η οποία εκτείνεται από 25 έως τα 45 μέτρα του μίτου.

2.4 Επεξεργασία φωτογραφικών πλαισίων

Για την ψηφιακή επεξεργασία των πλαισίων και τον υπολογισμό της ποσοστιαίας κάλυψης των βενθικών οργανισμών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό επεξεργασίας υποβρύχιων εικόνων photoQuad. Το photoQuad είναι ένα σύγχρονο πρόγραμμα για την ανάλυση φωτογραφικών δειγμάτων, αφιερωμένο στις υποβρύχιες οικολογικές εφαρμογές το οποίο ενσωματώνει διάφορες μεθόδους και εργαλεία για τον ακριβή υπολογισμό της κάλυψης των ειδών. Το λογισμικό περιλαμβάνει μία σειρά από μεθόδους όπως

πληροφορίες απουσίας/παρουσίας, μετρήσεις τυχαίων σημείων, μετρήσεις κυψελών πλέγματος κ.α. (Trygonis & Sini 2012). Το photoQuad προσφέρει πολλές επιλογές ανάλυσης φωτογραφικών δειγμάτων σε περιβάλλον βασισμένο σε στρώματα (layers). Επίσης από το λογισμικό παρέχεται μία λίστα βοηθητικών εφαρμογών όπως η βελτίωση της εικόνας, ανίχνευση ορίων πλαισίου και άλλα σχετικά με την επεξεργασία της φωτογραφίας. Η χρήση του Photoquadrat είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την ποσοτικοποίηση φωτογραφικών δειγμάτων από διάφορους κλάδους της οικολογίας (Trygonis & Sini 2012).

Στο κάθε πλαίσιο επιλέχθηκαν 100 σημεία στρωματοποιημένα τυχαία (stratified random points) εντός του πλαισίου, τα οποία αντιστοιχήθηκαν με είδη σε μία λίστα ειδών (species list) (Εικόνα 2.7). Τέλος αποδόθηκε η συνολική κάλυψη από οργανισμούς .

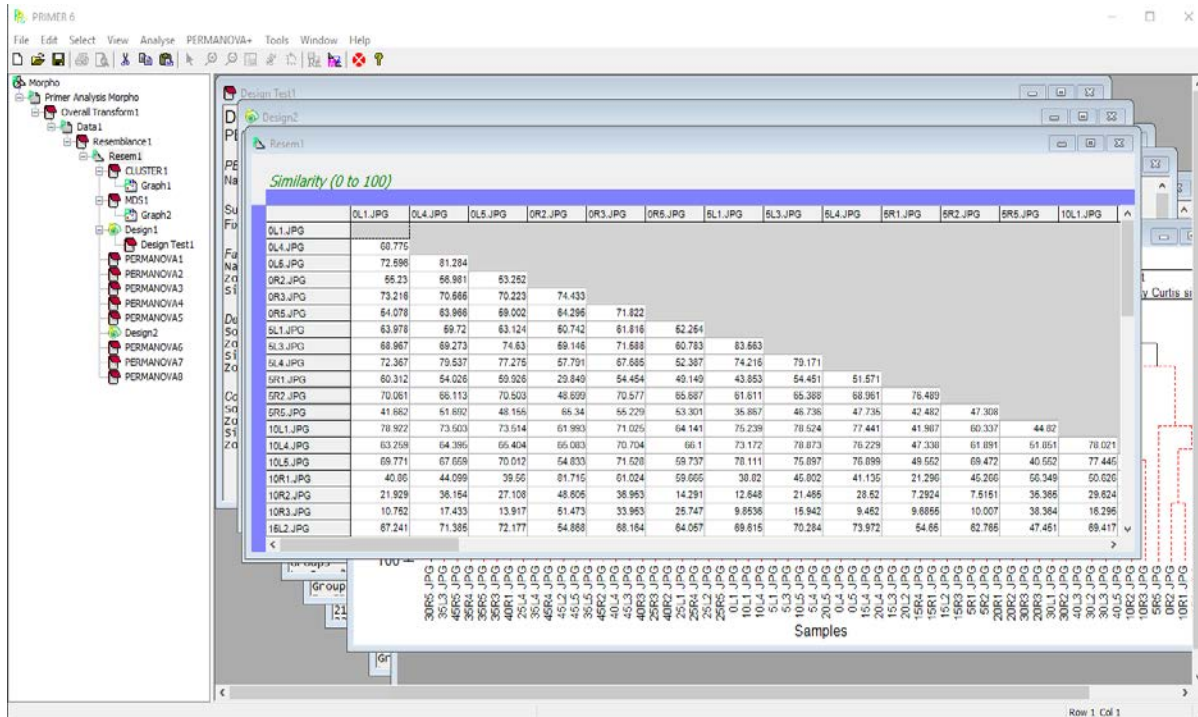
Λόγω της χαμηλής ποιότητας κάποιων εκ των φωτογραφιών, εξαρχής στη λίστα ειδών είχαν ενταχθεί κάποιες ευρύτερες ταξινομικές ομάδες. Επιπλέον για να υπάρξει μία πιο αντιπροσωπευτική ανάλυση δημιουργήθηκαν μορφολογικές ομάδες στις οποίες εντάχθηκαν όλα τα είδη από τη λίστα.



Εικόνα 2.7 Φωτογραφία από περιβάλλον λογισμικού photoQuad. Στα δεξιά εμφανίζεται η λίστα ειδών και οι διάφορες επιλογές σχετικά με την επεξεργασία της εικόνας.

2.5 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PRIMER v6 (Clarke & Gorley 2006), συμπεριλαμβανόμενης της εφαρμογής PERMANOVA+ (Anderson et al. 2008). Επίσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Excel της Microsoft για την αρχική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του photoQuad. Δημιουργήθηκαν γραφήματα σχετικά με την κάλυψη των οργανισμών στο σπήλαιο όπως επίσης έγινε η επεξεργασία των δεδομένων για να εισαχθούν στο λογισμικό PRIMER (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 Λογισμικό Primer v6. Απεικονίζεται η μετατροπή των δεδομένων για τη μετέπειτα επεξεργασία.

Αρχικά τα δεδομένα από το photoQuad εξήχθησαν σε μορφή πινάκων στο Excel, τα δεδομένα από το Excel εισήχθησαν στο λογισμικό Primer ώστε να γίνουν κάποιες δοκιμές υποθέσεων. Εξετάστηκαν οι διαφορές ανά ζώνη και ανά πλευρά του σπηλαίου όπως επίσης και συνδυαστικά, διαφορές και ομοιότητες δηλαδή ανά πλευρά ζώνης. Τα δεδομένα μας έγιναν μετατράπηκαν με τη μέθοδο square root και έτσι δημιουργήθηκε ένα πλέγμα ομοιότητας βάση του δείκτη Bray Curtis. Δημιουργήθηκαν τα γραφήματα MDS και CLUSTER και έπειτα έγινε η ανάλυση Permanova, το κυρίως τεστ όπως και ανά ζεύγη (PairWise tests). Χρησιμοποιήθηκαν τα Monte Carlo tests και αριθμός παραλλαγών (9999). Για όλα τα παραπάνω θα αναφερθούμε εκτενώς στην ενότητα των αποτελεσμάτων.

3. Αποτελέσματα

3.1 Λίστα ειδών και ποσοστιαία κάλυψη

Κατά την ανάλυση των φωτογραφικών δειγμάτων καταγράφηκαν 51 οργανισμοί εκ των οποίων, οι 38 ανήκουν σε 6 ευρύτερες ταξινομικές ομάδες : Algae (Μακροφύκη – 7 είδη), Porifera (Σπόγγοι – 24 είδη), Bryozoa (Βρυόζωα – 1 είδος), Cnidaria (Κνιδόζωα – 4 είδη), Foraminifera (Τρηματοφόρα – 1 είδος) και Annelida (Σκόληκες – 1 είδος). Επειδή σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός σε επίπεδο γένους ή είδους μέσω των φωτογραφικών δειγμάτων οι υπόλοιποι οργανισμοί εντάχθηκαν σε 13 ταξινομικές ομάδες με κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά : Encrusting coralline Rhodophyta, Turf, Tubes, Encrusting bryozoa, Unidentified encrusting bryozoa, Animal cup, Encrusting black sponge, Encrusting grey sponge, Encrusting white sponge, Orange Crust, Unidentified bez sponge, White Crust, Yellow Crust (Πίνακας 3.1).

Επιπλέον, έγινε περεταίρω κατηγοριοποίηση των οργανισμών (είδη, γένη και περιγραφικές ομάδες) στις παρακάτω ομάδες : Algae turf, Algae articulated calcareous, Algae encrusting, Algae massive, Annelida boring, Annelida tubes, Bryozoa encrusting, Bryozoa tree, Cnidaria cup, Cnidaria encrusting, Cnidaria globular, Foraminifera encrusting, Porifera boring, Porifera encrusting, Porifera massive και Porifera tree (Πίνακας 1). Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία δύο αρχείων δεδομένων, ένα που περιλαμβάνει μόνο τους οργανισμούς που προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους, και ένα που συμπεριλαμβάνει όλους τους οργανισμούς κατηγοριοποιημένους σε μορφολογικές ομάδες. Τα δύο αρχεία δεδομένων αναλύθηκαν ξεχωριστά ώστε να διερευνηθεί η σύνθεση των βιοκοινοτήτων του σπηλαίου τόσο σε επίπεδο είδους, αλλά και σε μορφολογικό επίπεδο. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις κατηγορίες υποστρώματος : Bare rock (γυμνός βράχος), Hole (κενό/τρύπα), Sediment (ίζημα), UBS (Unidentified Biogenic Substrate – μη προσδιορισμένο βιογενές υπόστρωμα).

Πίνακας 3.1 Λίστα ειδών/ταξινομικών ομάδων και μορφολογικών ομάδων.

Phylum	Species Name, Group Name	Morphological group
Algae	<i>Amphiroa beauvoisii</i> , J.V.Lamouroux, 1816	Algae articulated calcareous
Algae	<i>Codium bursa</i> , (Olivi) C.Agardh, 1817	Algae massive
Algae	<i>Encrusting coralline Rhodophyta</i>	Algae calcareous encrusting
Algae	<i>Mesophyllum alternans</i> , (Foslie) Cabioch & M.L.Mendoza, 1998	Algae calcareous encrusting
Algae	<i>Palmophyllum crassum</i> , (Naccari) Rabenhorst, 1868	Algae encrusting
Algae	<i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Boudouresque & Denizot, 1973	Algae calcareous encrusting
Algae	<i>Peyssonnelia rubra</i> , (Greville) J.Agardh, 1851	Algae calcareous encrusting
Algae	<i>Peyssonnelia squamaria</i> , (S.G.Gmelin) Decaisne, 1842	Algae calcareous encrusting

Algae	<i>Turf</i>	Algae turf
Annelida	<i>Tubes</i>	Annelida tubes
Annelida	<i>Bonellia viridis</i> , Rolando, 1822	Annelida boring
Bryozoa	<i>Encrusting bryozoa</i>	Bryozoa encrusting
Bryozoa	<i>Myriopora truncata</i>	Bryozoa tree
Bryozoa	<i>Unidentified encrusting bryozoa</i>	Bryozoa encrusting
Cnidaria	<i>Animal cup</i>	Cnidaria cup
Cnidaria	<i>Cerianthus membranaceus</i> , (Gmelin, 1791)	Cnidaria encrusting
Cnidaria	<i>Cladocora caespitosa</i> , (Linnaeus, 1767)	Cnidaria globular
Cnidaria	<i>Leptopsammia pruvoti</i> , Lacaze-Duthiers, 1897	Cnidaria cup
Cnidaria	<i>Phyllangia americana mouchezii</i> , Lacaze-Duthiers, 1897	Cnidaria cup
Foraminifera	<i>Miniacina miniacea</i> , (Pallas, 1766)	Foraminifera encrusting
Porifera	<i>Agelas oroides</i> , (Schmidt, 1864)	Porifera massive
Porifera	<i>Axinella damicornis</i> , (Esper, 1794)	Porifera tree
Porifera	<i>Encrusting black sponge</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Chondrilla nucula</i> , Schmidt, 1862	Porifera massive
Porifera	<i>Chondrosia reniformis</i> , Nardo, 1847	Porifera massive
Porifera	<i>Cliona schmidtii</i> , (Ridley, 1881)	Porifera boring
Porifera	<i>Cliona viridis</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera boring
Porifera	<i>Crambe crambe</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Dendroxea sp.1</i> , Griessinger, 1971	Porifera encrusting
Porifera	<i>Dendroxea sp.2</i> , Griessinger, 1971	Porifera encrusting
Porifera	<i>Encrusting grey sponge</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Encrusting white sponge</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Fasciospongia cavernosa</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Haliclona mucosa</i> , (Griessinger, 1971)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Hemimycale columella</i> , (Bowerbank, 1874)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Ircinia oros</i> , (Schmidt, 1864)	Porifera massive
Porifera	<i>Ircinia variabilis</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera massive
Porifera	<i>Merlia normani</i> , Kirkpatrick, 1908	Porifera encrusting
Porifera	<i>Mycale massa</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Orange Crust</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Penares helleri</i> , (Schmidt, 1864)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Petrosia ficiformis</i> , (Poiret, 1789)	Porifera massive
Porifera	<i>Phorbas tenacior</i> , (Topsent, 1925)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Sarcotragus foetidus</i> , (Schmidt, 1862)	Porifera massive
Porifera	<i>Spirastrella cunctatrix</i> , Schmidt, 1868	Porifera encrusting
Porifera	<i>Suberitidae sp.1</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Terpios fugax</i> , Duchassaing & Michelotti, 1864	Porifera encrusting
Porifera	<i>Timea unistellata</i> , (Topsent, 1892)	Porifera encrusting
Porifera	<i>Unidentified bez sponge</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>White Crust</i>	Porifera encrusting
Porifera	<i>Yellow Crust</i>	Porifera encrusting
	<i>Bare Rock</i>	
	<i>Unidentified biogenic substrate</i>	

	<i>Sediment</i>	
	<i>Hole</i>	

3.2 Ταξινομική σύνθεση βιοκοινοτήτων

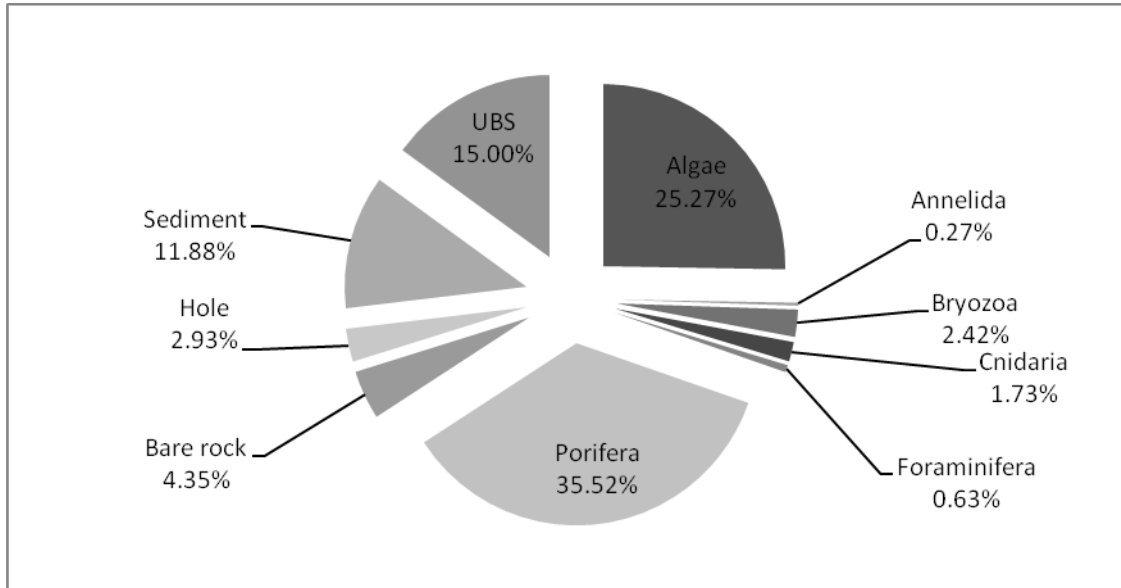
Κυρίαρχη ταξινομική ομάδα με τα περισσότερα είδη (24) ήταν τα Porifera, έπειτα τα Algae (7), Cnidaria (4), Bryozoa (1), Annelida (1) και Foraminifera (1). Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται το ποσοστό κάλυψης όλων των οργανισμών που καταγράφηκαν ανά ζώνη του σπηλαίου.

Πίνακας 3.2 Λίστα ειδών/ταξινομικών ομάδων και κάλυψη ανά ζώνη του σπηλαίου. (Entrance : Είσοδος, Semidark : Ημισκότεινη, Dark : Σκοτεινή).

Species Name, Group Name	Entrance Coverage %	Semidark Coverage %	Dark Coverage%
<i>Amphiroa beauvoisii</i> , J.V.Lamouroux, 1816	0.17	0.00	0.00
<i>Codium bursa</i> , (Olivi) C.Agardh, 1817	0.00	0.08	0.00
<i>Encrusting coralline Rhodophyta</i>	3.67	6.75	0.20
<i>Mesophyllum alternans</i> , (Foslie) Cabioch & M.L.Mendoza, 1998	11.50	6.67	0.17
<i>Palmophyllum crassum</i> , (Naccari) Rabenhorst, 1868	1.11	5.50	1.63
<i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Boudouresque & Denizot, 1973	0.06	0.00	0.00
<i>Peyssonnelia rubra</i> , (Greville) J.Agardh, 1851	17.39	14.92	0.23
<i>Peyssonnelia squamaria</i> , (S.G.Gmelin) Decaisne, 1842	5.61	0.00	0.00
<i>Turf</i>	18.39	0.00	0.00
<i>Tubes</i>	6.25	0.00	87.50
<i>Bonellia viridis</i> , Rolando, 1822	6.25	0.00	0.00
<i>Encrusting bryozoa</i>	0.00	0.83	3.87
<i>Myriopora truncata</i>	0.06	0.58	0.00
<i>Unidentified encrusting bryozoa</i>	0.00	0.00	0.37
<i>Animal cup</i>	0.00	0.50	0.33
<i>Cerianthus membranaceus</i> , (Gmelin, 1791)	0.00	0.00	0.10
<i>Cladocora caespitosa</i> , (Linnaeus, 1767)	0.06	0.00	0.00
<i>Leptopsammia pruvoti</i> , Lacaze-Duthiers, 1897	0.72	2.67	1.20

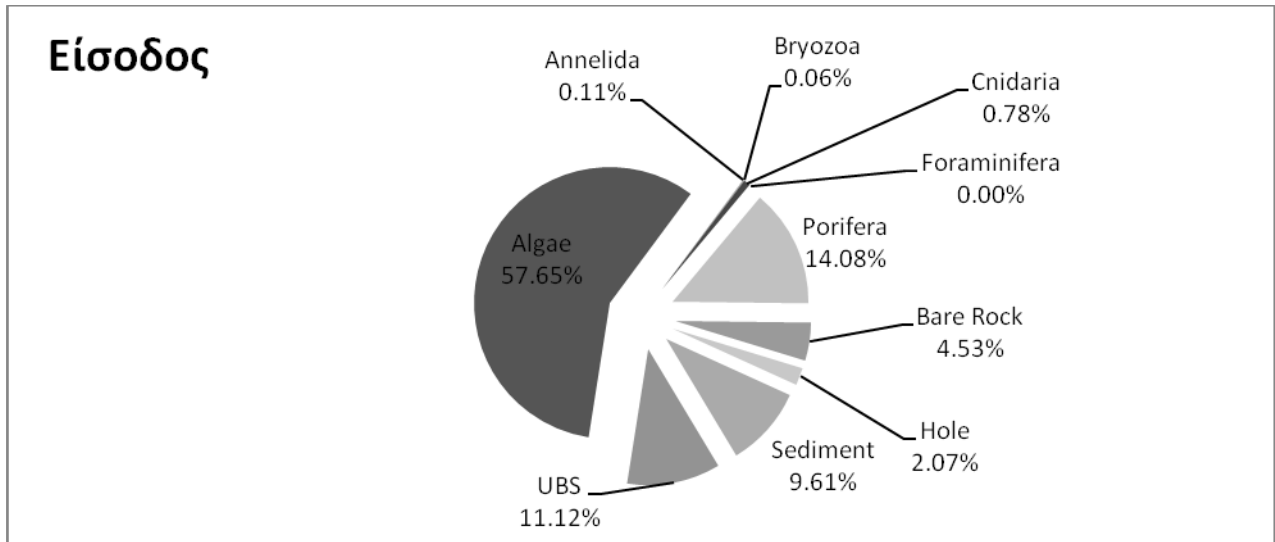
<i>Phyllangia americana mouchezii</i> , Lacaze-Duthiers, 1897	0.00	0.00	0.10
<i>Miniacina miniacea</i> , (Pallas, 1766)	0.00	0.08	1.23
<i>Agelas oroides</i> , (Schmidt, 1864)	3.22	8.58	9.87
<i>Axinella damicornis</i> , (Esper, 1794)	0.22	1.00	0.07
<i>Encrusting black sponge</i>	0.11	0.42	5.93
<i>Chondrilla nucula</i> , Schmidt, 1862	0.00	0.92	0.27
<i>Chondrosia reniformis</i> , Nardo, 1847	0.44	1.67	0.87
<i>Cliona schmidtii</i> , (Ridley, 1881)	0.11	0.25	0.10
<i>Cliona viridis</i> , (Schmidt, 1862)	0.61	0.00	0.00
<i>Crambe crambe</i> , (Schmidt, 1862)	1.67	1.17	0.07
<i>Dendroxea sp.1</i> , Griessinger, 1971	0.00	0.00	3.87
<i>Dendroxea sp.2</i> , Griessinger, 1971	0.00	0.50	5.10
<i>Encrusting grey sponge</i>	0.22	0.00	0.93
<i>Encrusting white sponge</i>	0.00	0.08	5.00
<i>Fasciospongia cavernosa</i> , (Schmidt, 1862)	0.11	0.42	0.00
<i>Haliclona mucosa</i> , (Griessinger, 1971)	0.06	0.92	0.70
<i>Hemimycale columella</i> , (Bowerbank, 1874)	0.17	0.00	0.00
<i>Ircinia oros</i> , (Schmidt, 1864)	0.11	0.58	2.83
<i>Ircinia variabilis</i> , (Schmidt, 1862)	0.17	1.00	0.77
<i>Merlia normani</i> , Kirkpatrick, 1908	0.22	1.42	0.90
<i>Mycale massa</i> , (Schmidt, 1862)	0.22	0.17	0.57
<i>Orange Crust</i>	0.00	0.17	0.63
<i>Penares helleri</i> , (Schmidt, 1864)	0.00	0.17	0.70
<i>Petrosia ficiformis</i> , (Poiret, 1789)	0.39	1.00	2.00
<i>Phorbastenia tenacior</i> , (Topsent, 1925)	0.33	0.00	0.03
<i>Sarcotragus foetidus</i> , (Schmidt, 1862)	0.00	0.25	0.00
<i>Spirastrella cunctatrix</i> , Schmidt, 1868	1.50	2.75	10.10
<i>Suberitidae sp.1</i>	3.72	0.42	1.13
<i>Terpios fugax</i> , Duchassaing & Michelotti, 1864	0.06	0.08	0.00
<i>Timea unistellata</i> , (Topsent, 1892)	0.00	0.00	0.00
<i>Unidentified bez sponge</i>	0.33	0.00	0.57
<i>White Crust</i>	0.00	0.00	0.03
<i>Yellow Crust</i>	0.00	0.08	0.00
<i>Bare Rock</i>	4.50	7.50	3.00
<i>Unidentified biogenic substrate</i>	11.06	15.17	17.30
<i>Sediment</i>	9.56	11.92	13.27
<i>Hole</i>	2.06	2.83	3.50

Σε ποσοστό κάλυψης η ταξινομική ομάδα με τη μεγαλύτερη κάλυψη συνολικά σε ολόκληρο το σπήλαιο είναι τα Porifera με ποσοστό 35.52%, έπειτα τα Algae με 25.27% και ακολουθούν τα Bryozoa (2,42%), Cnidaria (1.73%), Foraminifera (0.63%) και τέλος τα Annelida (0.27%). Από τις κατηγορίες υποστρώματος το UBS είχε 15% κάλυψη, το Sediment 11,88%, το Bare Rock 4,35% και η κατηγορία Holes είχε 2.93% (Εικόνα 3.1).

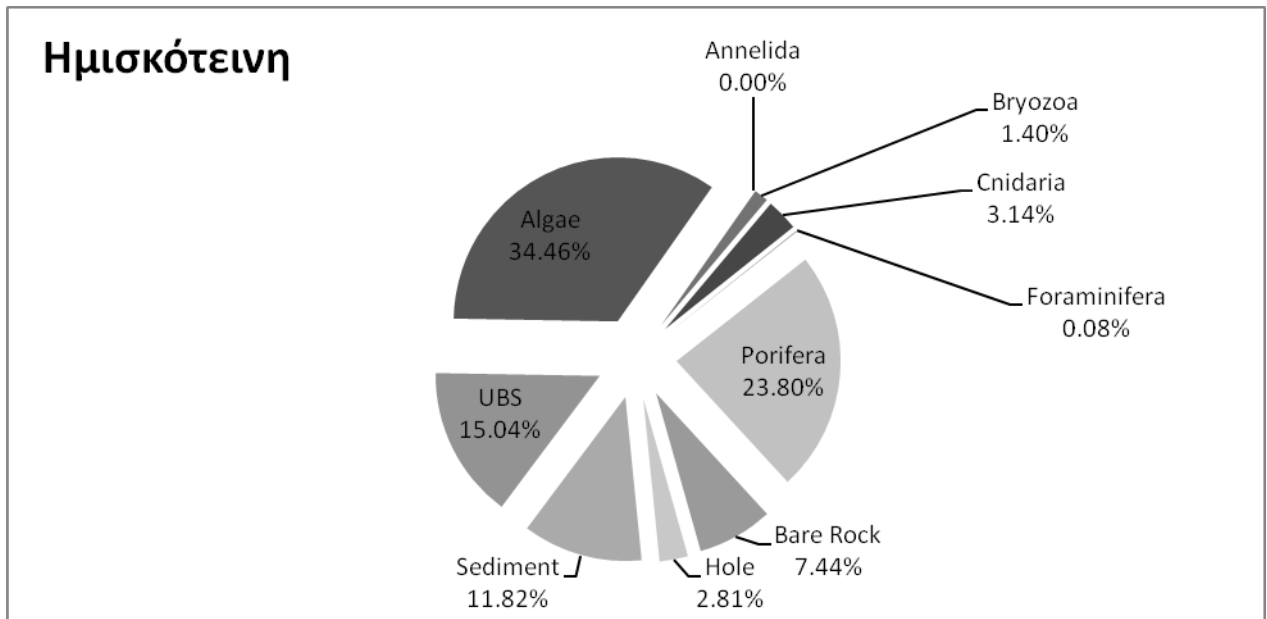


Εικόνα 3.1 Συνολική κάλυψη (αθροιστικά από όλες τις ζώνες του σπηλαίου) των ταξινομικών ομάδων που προσδιορίστηκαν σε επίπεδο γένους/είδους.

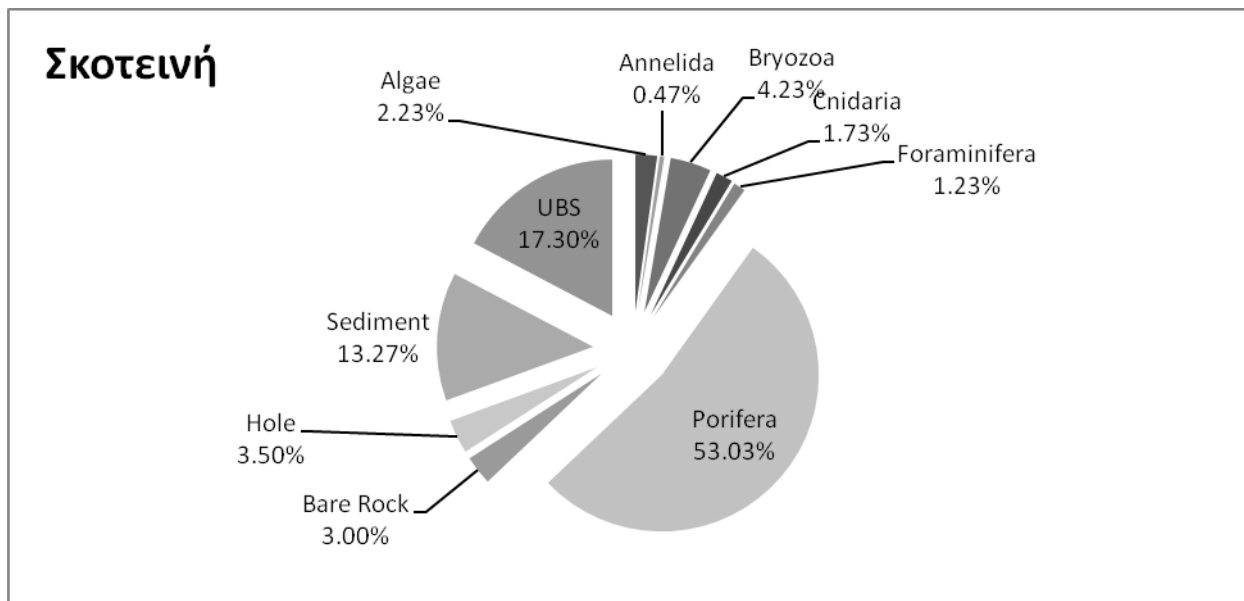
Στην Είσοδο του σπηλαίου επικρατέστερη ταξινομική ομάδα ήταν τα Algae (57.65%), στην Ημισκότεινη ζώνη η ομάδα των Algae (34.46%) αλλά με πολύ μικρότερο ποσοστό ενώ απαντήθηκαν περισσότερα Porifera (23.80%), Cnidozoa (3.14%), και Bryozoa (1.40%). Φτάνοντας στη σκοτεινή ζώνη τα Porifera (53.03%) επικρατούν στο μισό της συνολικής κάλυψης, ενώ η κάλυψη από τα Algae (2.23%) είναι πολύ χαμηλή (Εικόνα 3.2, 3.3, 3.4).



Εικόνα 3.2 Ποσοστιαία κάλυψη ταξινομικών ομάδων στην Είσοδο του σπηλαίου.



Εικόνα 3.3 Ποσοστιαία κάλυψη ταξινομικών ομάδων στην Ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου.

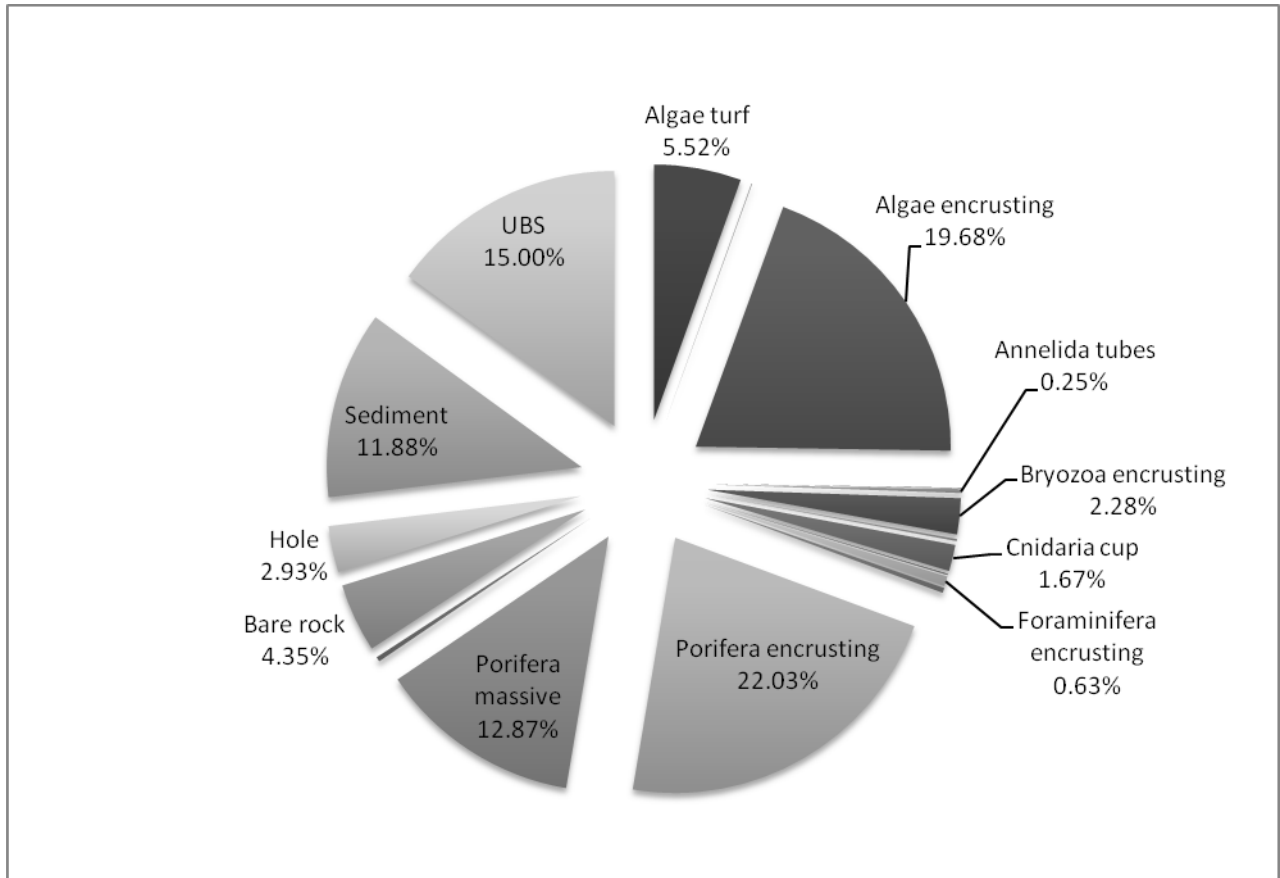


Εικόνα 3.4 Ποσοστιαία κάλυψη ταξινομικών ομάδων στη Σκοτεινή ζώνη του σπηλαίου.

Πιο συγκεκριμένα, τα φύκη του είδους *Peyssonnelia rubra* στη ζώνη Είσοδος εμφανίζουν κάλυψη 17,39% στην Ημισκότεινη ζώνη 14,92% και στη σκοτεινή 0,23% και του είδους *Peyssonnelia squamaria* εμφανίζουν κάλυψη (5,61%) μόνο στη ζώνη Είσοδος. Σε αντίθεση με είδη σπόγγων όπως το *Agelas oroides* όπου στη ζώνη Είσοδος απαντάται με 3,22% στην Ημισκότεινη ζώνη 8,58% και στη Σκοτεινή ζώνη 9,87%, αλλά και το *Spirastrella cunctatrix* με 1,50% στη ζώνη Είσοδος, 2,75% στην Ημισκότεινη ζώνη και 10,10% στη Σκοτεινή ζώνη (Πίνακας 2).

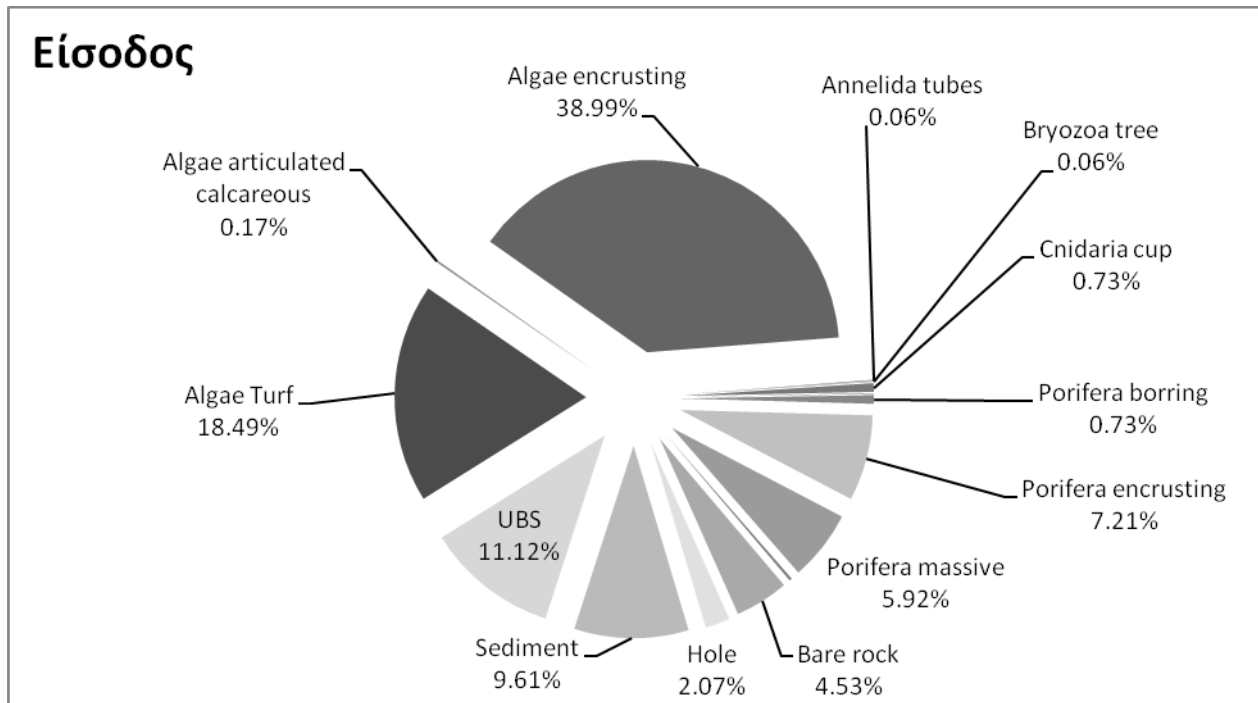
3.3 Μορφολογική σύνθεση βιοκοινοτήτων

Συνολικά για τις μορφολογικές ομάδες υψηλά ποσοστά καταγράφηκαν για την ομάδα Porifera encrusting (22,03%) και Porifera massive (12,87%) όπως και η ομάδα των Algae encrusting (19,68%) (Εικόνα 3.5).

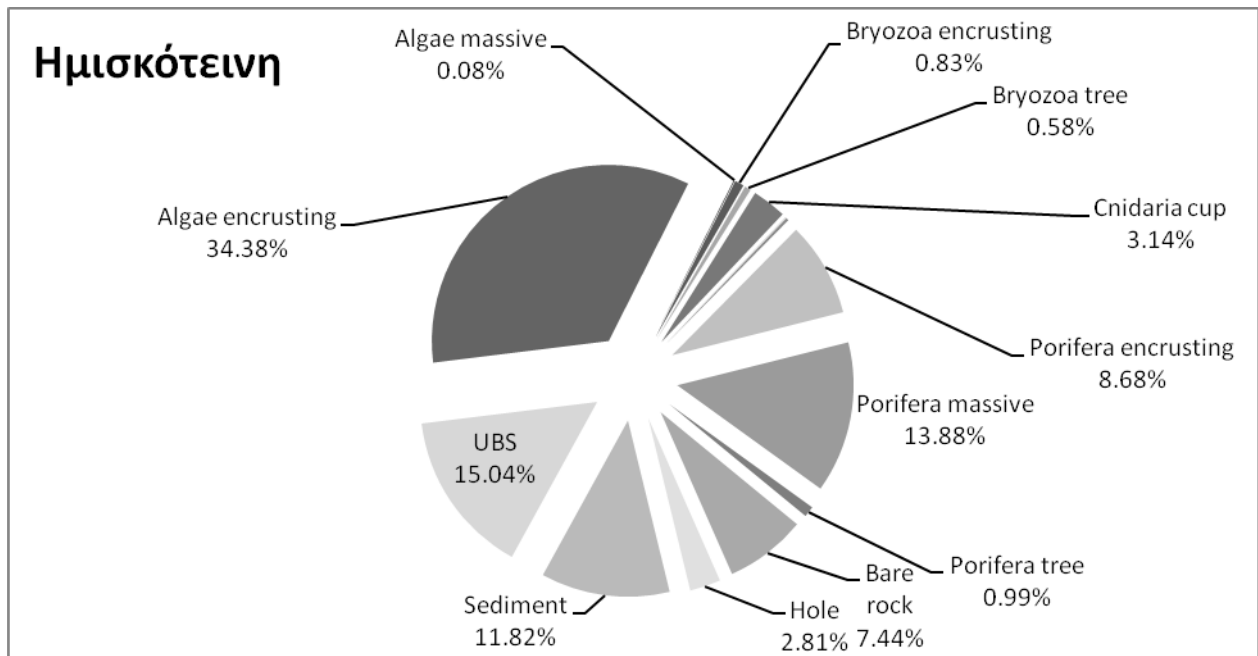


Εικόνα 3.5 Συνολική ποσοστιαία κάλυψη (αθροιστικά από όλες τις ζώνες του σπηλαίου) μορφολογικών ομάδων.

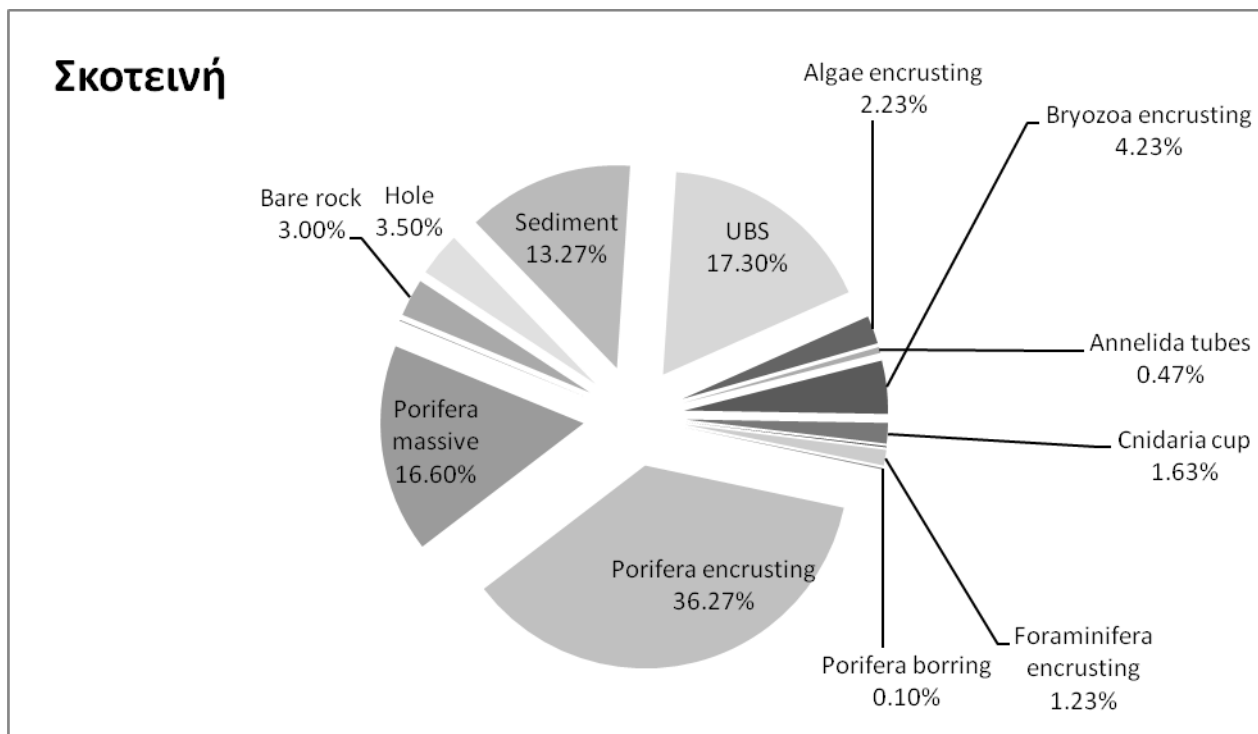
Σε επίπεδο μορφολογικών ομάδων, η ομάδα Algae turf (18.49%) καταγράφηκε μόνο στην είσοδο. Η μορφολογική ομάδα Porifera encrusting ήταν επικρατέστερη και καταγράφηκε με υψηλά ποσοστά κάλυψης σε όλες τις ζώνες αλλά κυρίως στη σκοτεινή με ποσοστό 36.27%. Έπειτα η ομάδα Porifera massive τα ποσοστά της οποίας αυξήθηκαν προχωρώντας στο εσωτερικό του σπηλαίου (Είσοδος – 5.92%, Ημισκότεινη – 13.88%, Σκοτεινή – 16.60%) (Εικόνα 3.6, 3.7, 3.8).



Εικόνα 3.6 Ποσοστιαία κάλυψη μορφολογικών ομάδων στην Είσοδο του σπηλαίου.



Εικόνα 3.7 Ποσοστιαία κάλυψη μορφολογικών ομάδων στην Ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου.



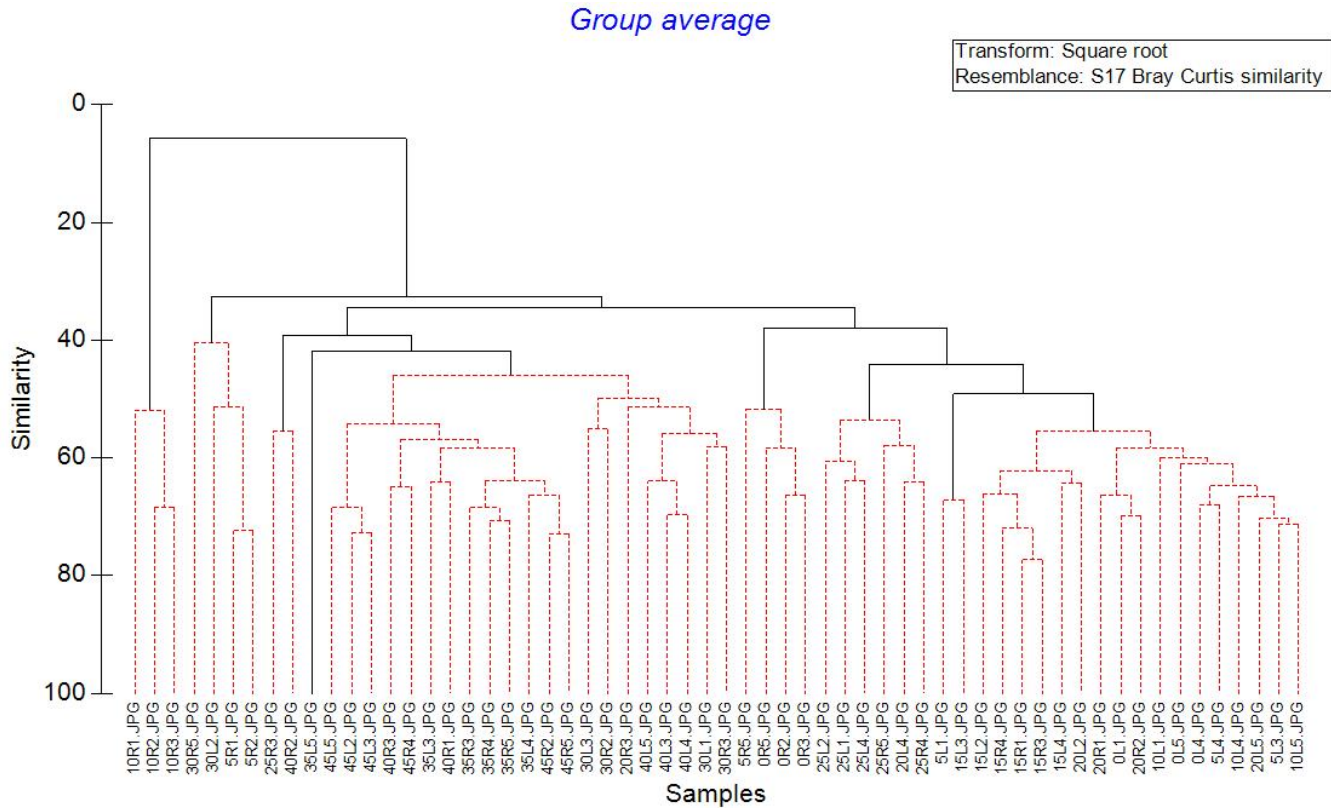
Εικόνα 3.8 Ποσοστιαία κάλυψη μορφολογικών ομάδων στη Σκοτεινή ζώνη του σπηλαίου.

3.4 Στατιστική ανάλυση

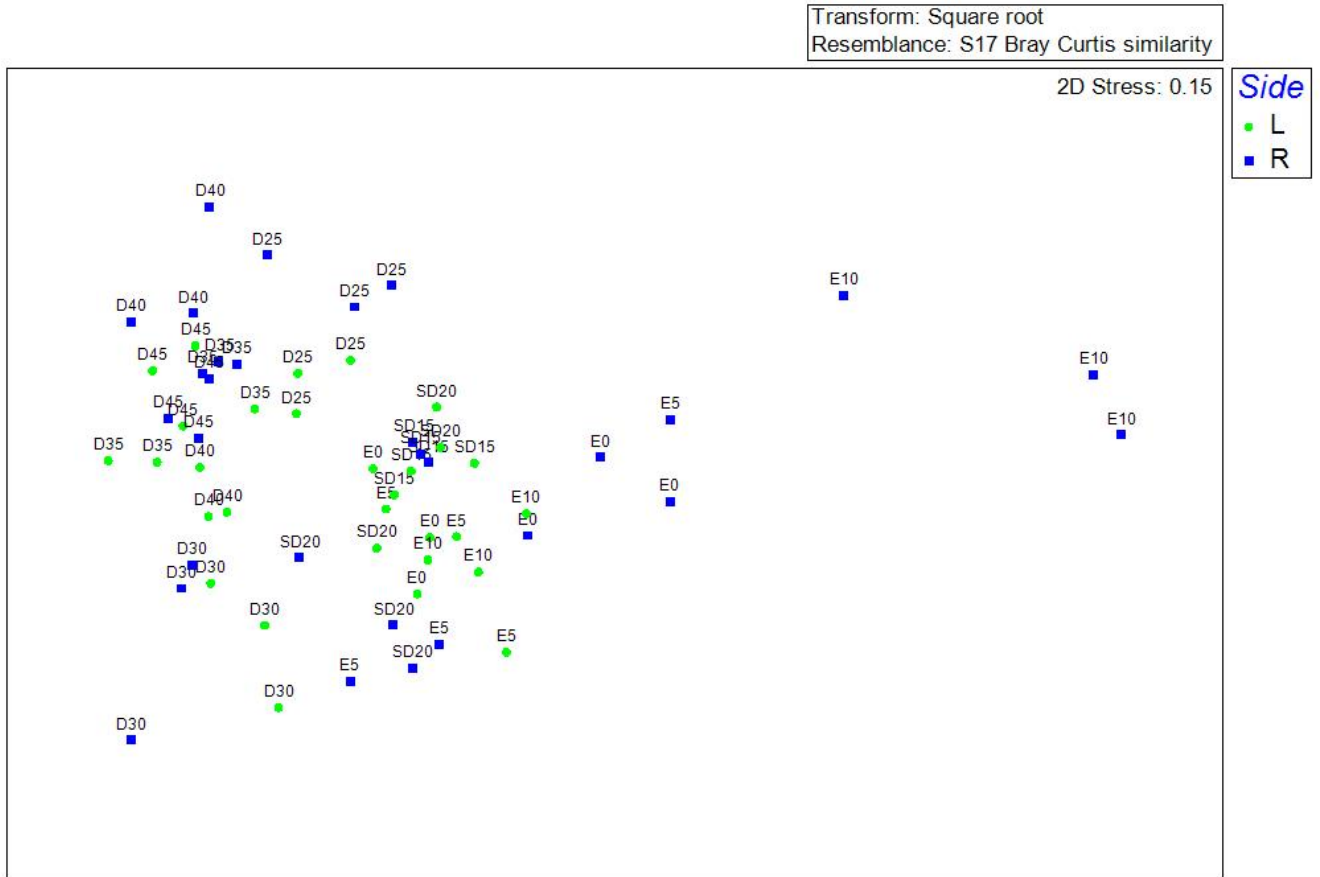
3.4.1 Δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης βιοκοινοτήτων

Τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό PRIMER και έγινε η μετατροπή τους με τη μέθοδο Square Root ώστε να δημιουργηθεί το πλέγμα ομοιότητας βάση του δείκτη Bray Curtis. Βάσει του πλέγματος αυτού δημιουργήθηκαν τα γραφήματα CLUSTER (Εικόνα 3.9) και MDS (Εικόνα 3.10). Το γράφημα CLUSTER μας δείχνει τον βαθμό ομοιότητας μεταξύ των φωτογραφικών δειγμάτων (photoquadrat). Στην Εικόνα 3.9 βλέπουμε να εμφανίζονται ομοιότητες κυρίως μεταξύ των δειγμάτων από τα πρώτα μέτρα του μίτου μας, στις ζώνες Είσοδος και Ημισκότεινη καθώς και πιο μετά μεταξύ των ζωνών Ημισκότεινη και Σκοτεινή. Οι μικρότερες ομοιότητες απαντώνται μεταξύ των ζωνών Είσοδος και Σκοτεινή (Εικόνα 3.9). Στο γράφημα MDS παρατηρείται ότι τα δείγματα από τη ζώνη Σκοτεινή παρουσιάζουν ομοιότητες και βρίσκονται συγκεντρωμένα αρκετά. Έπειτα μία ομάδα δειγμάτων σχηματίζεται από τη ζώνη Ημισκότεινη και τέλος αρκετά ξεχωριστά η ομάδα της ζώνης Είσοδος. Οι πλευρές (L) και (R) δεν εμφανίζουν τέτοια διαφοροποίηση στις ζώνες Ημισκότεινη και Σκοτεινή. Στη

ζώνη Είσοδος υπάρχει διαφορά μεταξύ των πλευρών αλλά και όχι μεγάλη ομοιότητα μεταξύ των φωτογραφικών δειγμάτων της δεξιάς πλευράς. (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.9 Γράφημα CLUSTER. Ο κάθετος άξονας δείχνει το βαθμό ομοιότητας και στον οριζόντιο φαίνονται τα φωτογραφικά δείγματα. Η κωδική ονομασία των φωτογραφικών δειγμάτων αποτελείται από τον αριθμό που δείχνει την απόσταση από την Είσοδο κατά μήκος του μίτου, τα γράμματα L ή R (L- left : αριστερά, R- right : δεξιά) που αναφέρονται στον δεξί ή αριστερό τοίχο, και τους αριθμούς 1-3 που είναι ο αριθμός του δείγματος.



Εικόνα 3.10 Γράφημα MDS. Το διάγραμμα των σημείων (φωτογραφικών δειγμάτων) όπου αυτά με τις περισσότερες ομοιότητες συμπύκνουν. Με πράσινη βούλα εμφανίζεται η αριστερή πλευρά και με μπλε τετράγωνο η δεξιά. Το όνομα του κάθε σημείου έχει ως αρχικό τη ζώνη (E, SD, D) και το νούμερο-σημείο από το μήκος του μίτου που τοποθετήσαμε στο σπήλαιο.

Χρησιμοποιώντας έπειτα δύο συντελεστές, ζώνη (Zone : 3 επίπεδα – Είσοδος, Ημισκότεινο, Σκοτεινό) και πλευρά (Side : 2 επίπεδα ανά ζώνη – Δεξιά και Αριστερά) ως σταθερές παραμέτρους (fixed) έγιναν οι συγκρίσεις με χρήση της στατιστικής ανάλυσης PERMANOVA, χρησιμοποιώντας 9999 επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα της κύριας ανάλυσης δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική διαφορά τόσο στο επίπεδο της ζώνης όσο και στο επίπεδο της πλευράς ανά ζώνη (p -value<0.05) (Πίνακας 3.3), ενώ μεγαλύτερη διακύμανση υπάρχει στο επίπεδο της ζώνης σύμφωνα με τον δείκτη SS (sum of squares) (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα Permanova test από τα δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης.

PERMANOVA table of results			Unique				
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P
Zone	2	33940	16970	12.096	0.0001	9905	0.0001
Side(Zone)	3	15938	5312.7	3.7867	0.0001	9883	0.0001
Res	54	75762	1403				
Total	59	1.2564E5					

Η περαιτέρω ανάλυση PERMANOVA ανά ζεύγη (Pair-Wise test) έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ζωνών ($p\text{-value} < 0.005$) (Πίνακας 3.4), ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μέσης ομοιότητας μεταξύ των επιπέδων του συντελεστή, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζεται μεταξύ των ζωνών Είσοδος (E) και Σκοτεινή (D), αμέσως μετά ακολουθεί η διαφοροποίηση μεταξύ των ζωνών Ημισκότεινη (SD) και Σκοτεινή (D) και τέλος των ζωνών Ημισκότεινη (SD) και Είσοδος (E) (Πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα Pair-Wise tests από τα δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης με συντελεστή «Ζώνη». Τα αρχικά E, SD, D αναφέρονται στις τρεις ζώνες Είσοδος (E - entrance), Ημισκότεινη (SD – semidark), Σκοτεινή (D- dark).

PAIR-WISE TESTS		Term 'Zone'		
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
E, SD	2.3038	5.00E-04	9950	0.0008
E, D	4.1503	0.0001	9922	0.0001
SD, D	3.1846	0.0001	9935	0.0001
Average Similarity between/within groups				
	E	SD	D	
E	39.361			
SD	41.552	55.865		
D	25.221	37.014	45.399	

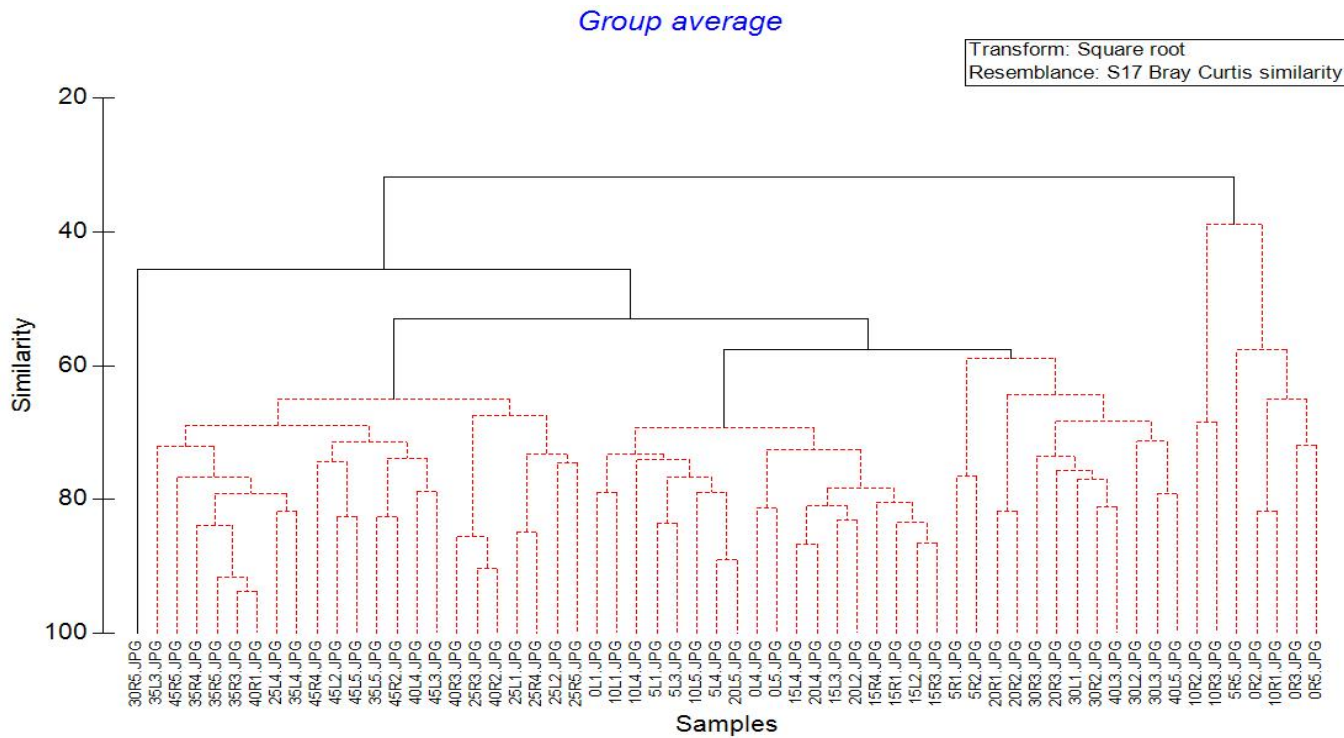
Η ανάλυση PERMANOVA ανά ζεύγη (Pair-Wise test) με συντελεστή την πλευρά ανά ζώνη έδειξαν ότι στην ζώνη Είσοδος υπάρχει σημαντική διαφορά ανά πλευρά. Στην ζώνη Ημισκότεινη δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ανά πλευρά και ακόμα περισσότερο όσον αφορά τη ζώνη Σκοτεινή. (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα Pair-Wise tests από τα δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης με συντελεστή «Πλευρά ανά Ζώνη». Τα αρχικά (L) και (R) αναφέρονται στις δύο διαφορετικές πλευρές, αριστερή (L – Left) και δεξιά (R – Right). Τα αρχικά E, SD, D αναφέρονται στις τρεις ζώνες Είσοδος (E - entrance), Ημισκότεινη (SD – semidark), Σκοτεινή (D- dark).

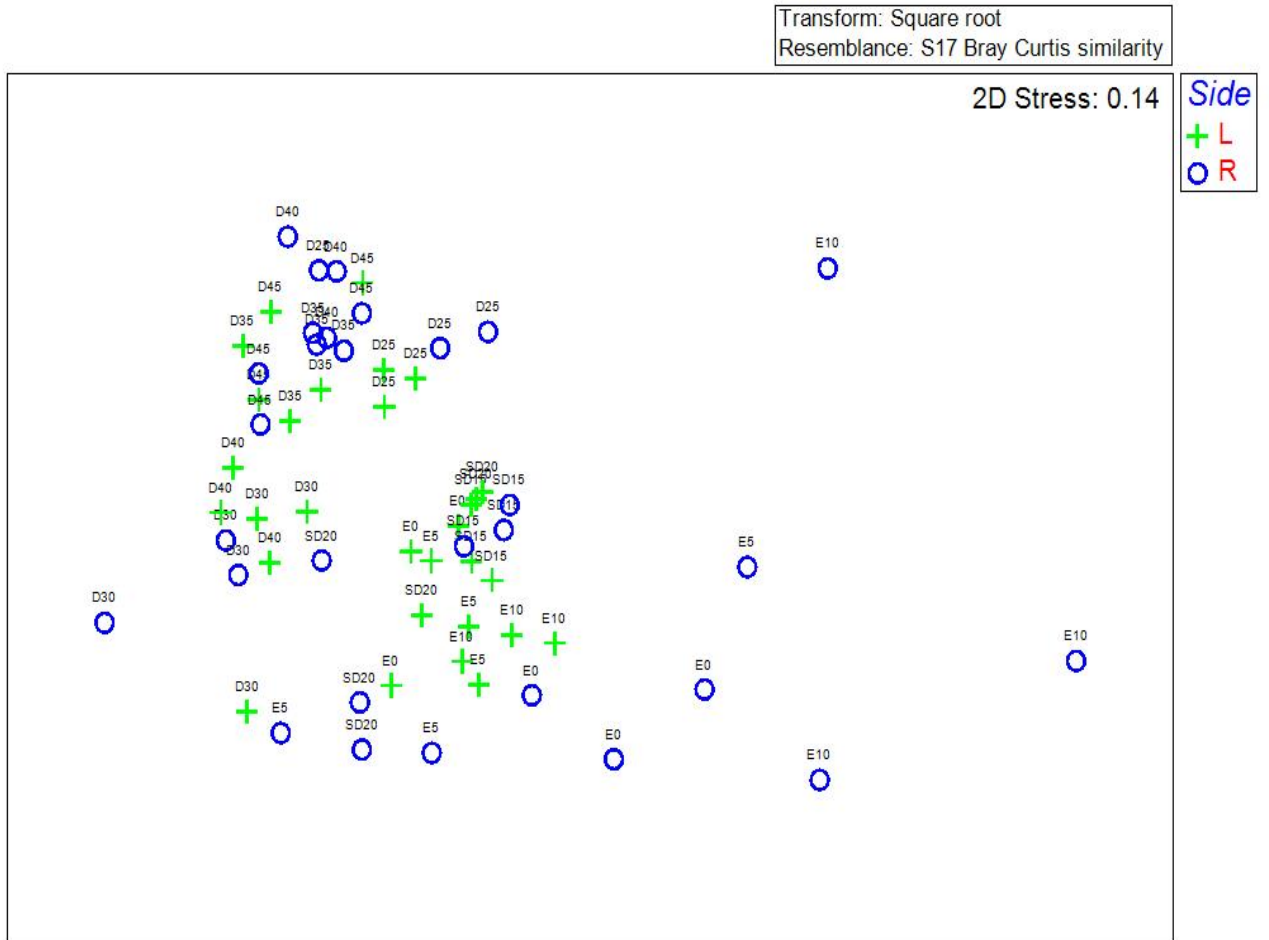
PAIR-WISE TESTS		Term 'Side(Zone)'		
Within level 'E' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	2.7164	0.0002	8163	0.0009
Within level 'SD' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	1.5365	0.0411	462	0.0503
Within level 'D' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	1.3374	0.0613	9934	0.0837

3.4.2 Δεδομένα μορφολογικής σύνθεσης βιοκοινοτήτων

Έχοντας αυτή τη φορά τα δεδομένα μας σε κατηγοριοποίηση μορφολογικών ομάδων, εισήχθησαν στο λογισμικό εκτελώντας ξανά την μετατροπή τους με τη μέθοδο Square Root και έπειτα δημιουργήθηκε το πλέγμα ομοιότητας βάση του δείκτη Bray Curtis. Βάσει του πλέγματος δημιουργήθηκαν τα γραφήματα CLUSTER (Εικόνα 3.11) και MDS (Εικόνα 3.12). Στο γράφημα CLUSTER αποδόθηκε ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ των φωτογραφικών δειγμάτων (photoquadrat) όπου είδαμε τις μεγαλύτερες ομοιότητες ξανά μεταξύ των δειγμάτων από τις ζώνες Είσοδος και Ημισκότεινη, Ημισκότεινη και Σκοτεινή. Οι μικρότερες ομοιότητες απαντήθηκαν μεταξύ των ζωνών Είσοδος και Σκοτεινή (Εικόνα 3.11). Στο γράφημα MDS (Εικόνα 3.12) βλέπουμε μεγάλη συγκέντρωση στα φωτογραφικά δείγματα, ανεξαρτήτως πλευράς, στις ζώνες Ημισκότεινη και Σκοτεινή ξεχωριστά. Στη ζώνη Είσοδος βλέπουμε ξεχωριστή συγκέντρωση των φωτογραφικών δειγμάτων από τις άλλες δύο ζώνες αλλά και ξεχωριστή συγκέντρωση ανά πλευρά (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.11 Γράφημα CLUSTER. Ο κάθετος άξονας δείχνει το βαθμό ομοιότητας και στον οριζόντιο φαίνονται τα φωτογραφικά δείγματα. Η κωδική ονομασία των φωτογραφικών δειγμάτων αποτελείται από τον αριθμό που δείχνει την απόσταση από την Είσοδο κατά μήκος του μίτου, τα γράμματα L ή R (L- left : αριστερά, R- right : δεξιά) που αναφέρονται στο δεξί ή αριστερό τείχος, και τους αριθμούς 1-3 που είναι ο αριθμός του δείγματος.



Εικόνα 3.12 Γράφημα MDS. Το διάγραμμα των σημείων (φωτογραφικών δειγμάτων) όπου αυτά με τις περισσότερες ομοιότητες συμπιπτουν. Με πράσινο σταυρό εμφανίζεται η αριστερή πλευρά και με μπλε κύκλο η δεξιά. Το όνομα του κάθε σημείου έχει ως αρχικό τη ζώνη (E, SD, D) και το νούμερο-σημείο από το μήκος του μίτου που τοποθετήσαμε στο σπήλαιο.

Υπολογίζοντας δύο συντελεστές ζανά, ζώνη (Zone : 3 επίπεδα – Είσοδος, Ημισκότεινο, Σκοτεινό) και πλευρά (Side : 2 επίπεδα ανά ζώνη – Δεξιά και Αριστερά) ως σταθερές παραμέτρους (fixed) έγιναν οι συγκρίσεις με χρήση της στατιστικής ανάλυσης PERMANOVA, χρησιμοποιώντας τον ίδιο αριθμό (9999) επαναλήψεων. Τα αποτελέσματα της κύριας ανάλυσης επαλήθευσαν τα προηγούμενα και έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική διαφορά τόσο στο επίπεδο της ζώνης όσο και στο επίπεδο της πλευράς (p -value<0.05) (Πίνακας 3.6). Μεγαλύτερη διακύμανση υπάρχει πάλι στο επίπεδο της ζώνης σύμφωνα με τον δείκτη SS (sum of squares) (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6 Αποτελέσματα Permanova test από τα δεδομένα μορφολογικής σύνθεσης.

PERMANOVA table of results			Unique				
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P
Zone	2	27100	13550	18.667	0.0001	9939	0.0001
Side(Zone)	3	7702.3	2567.4	3.5371	0.0001	9916	0.0001
Res	54	39197	725.86				
Total	59	73998					

Η ανάλυση Permanova ανά ζεύγη (Pair Wise tests) επαλήθευσε ξανά τα αποτελέσματα των προηγούμενων που έγιναν στα δεδομένα ταξινομικής σύνθεσης. Όπως βλέπουμε παρακάτω (Πίνακας 3.7) το p-value παραμένει μικρότερος του 0.05 άρα υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των ζωνών. Επιπλέον τα αποτελέσματα της μέσης ομοιότητας μεταξύ των επιπέδων του συντελεστή, έδειξαν τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση πάλι μεταξύ των ζωνών Είσοδος και Σκοτεινή, ακολουθούν οι ζώνες Ημισκότεινη και Σκοτεινή και τέλος οι ζώνες Ημισκότεινη και Είσοδος (Πίνακας 3.7).

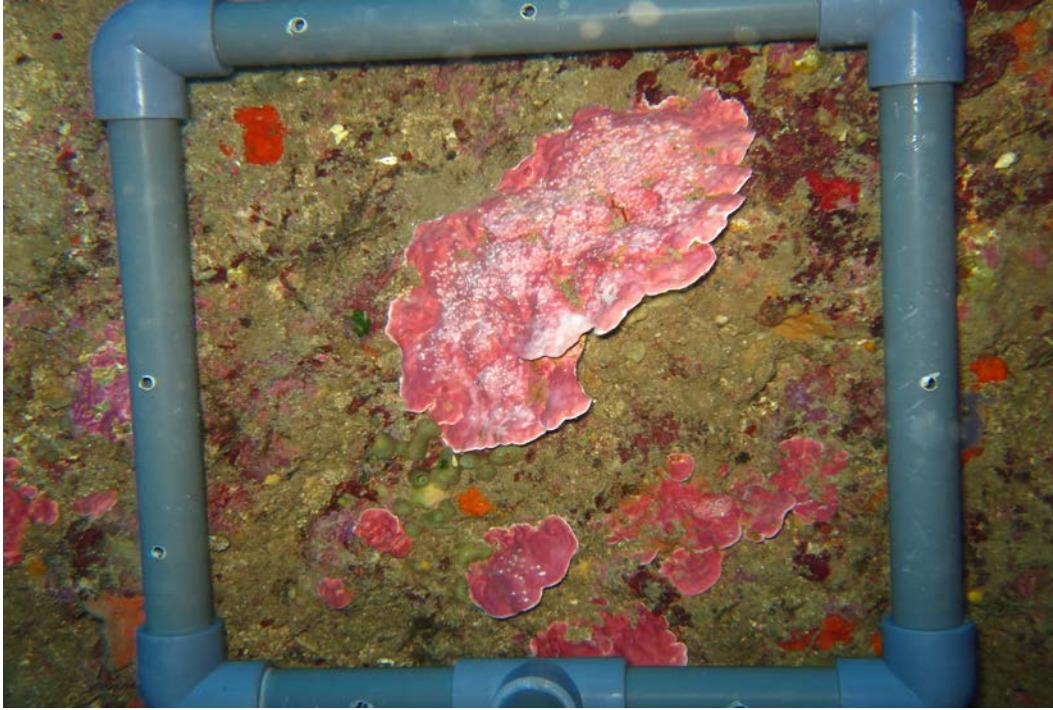
Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα Pair-Wise tests από τα δεδομένα μορφολογικής σύνθεσης με συντελεστή «Ζώνη». Τα αρχικά E, SD, D αναφέρονται στις τρεις ζώνες Είσοδος (E - entrance), Ημισκότεινη (SD – semidark), Σκοτεινή (D- dark).

PAIR-WISE TESTS		Term 'Zone'		
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
E, SD	2.5425	0.0007	9937	0.0007
E, D	5.2578	0.0001	9950	0.0001
SD, D	3.99	0.0001	9940	0.0001
Average Similarity between/within groups				
	E	SD	D	
E	53.634			
SD	56.164	72.115		
D	40.13	53.949	63.942	

Τέλος, χρησιμοποιώντας ως συντελεστή αυτή τη φορά την πλευρά ανά ζώνη, στα αποτελέσματα ήταν εμφανής ξανά η σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών στην ζώνη Είσοδος και δεν εμφανίζεται διαφορά στην Ημισκότεινη ζώνη. Στη Σκοτεινή ζώνη και πάλι δεν εμφανίζεται διαφορά όπως και πριν αλλά με πολύ μεγαλύτερο αυτή τη φορά p-value (Πίνακας 3.8).

Πίνακας 3.8 Αποτελέσματα Pair-Wise tests από τα δεδομένα των μορφολογικών ομάδων με συντελεστή «Πλευρά ανά ζώνη». Τα αρχικά (L) και (R) αναφέρονται στις δύο διαφορετικές πλευρές, αριστερή (L – Left) και δεξιά (R – Right). Τα αρχικά E, SD, D αναφέρονται στις τρεις ζώνες Είσοδος (E - entrance), Ημισκότεινη (SD – semidark), Σκοτεινή (D- dark).

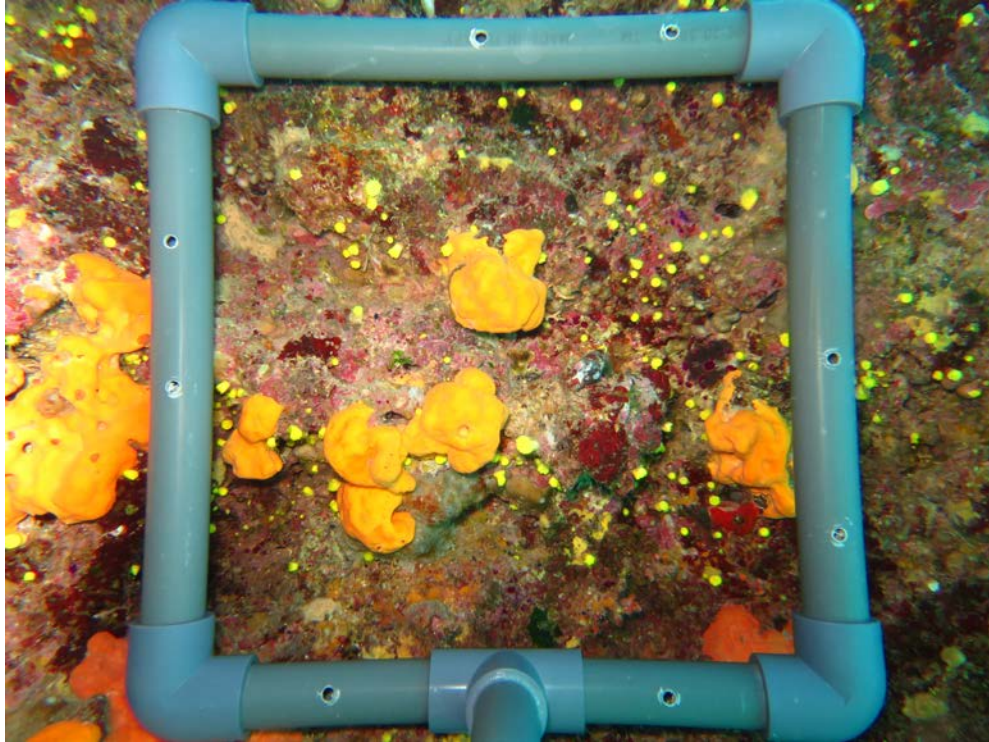
PAIR-WISE TESTS		Term 'Side(Zone)'		
Within level 'E' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	2.3757	0.0017	8129	0.0054
Within level 'SD' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	1.6675	0.0554	462	0.0526
Within level 'D' of factor 'Zone'				
Unique				
Groups	t	P(perm)	perms	P
L, R	1.2164	0.1947	9933	0.1998



Εικόνα 3.15 Φωτογραφικό δείγμα από την Είσοδο του σπηλαίου στη δεξιά πλευρά (5R2).



Εικόνα 3.16 Φωτογραφικό δείγμα από την Είσοδο του σπηλαίου στην αριστερή πλευρά (0L1).



Εικόνα 3.17 Φωτογραφικό δείγμα από την Ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου στη δεξιά πλευρά (15R3).



Εικόνα 3.17 Φωτογραφικό δείγμα από την Ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου στην αριστερή πλευρά (15R3).



Εικόνα 3.13 Φωτογραφικό δείγμα από τη Σκοτεινή ζώνη του σπηλαιίου στη δεξιά πλευρά (35R3).



Εικόνα 3.14 Φωτογραφικό δείγμα από τη Σκοτεινή ζώνη του σπηλαιίου στην αριστερή πλευρά (45L3).

4. Συζήτηση

Παρότι υπάρχουν τρεις είσοδοι στην ίδια πλευρά του σπηλαίου, η φωτεινότητα μειώνεται στο εσωτερικό καθώς δημιουργείται μία στενή σήραγγα αρκετών μέτρων προς την τρίτη είσοδο, κατά μήκος της οποίας το βάθος αυξάνει, και καθιστά την διείσδυση του φωτός αδύνατη. Η δεύτερη είσοδος είναι κατά πολύ μικρότερη σε διαστάσεις σε σχέση με την πρώτη, από την οποία εισέρχεται και το περισσότερο φως. Έτσι λοιπόν χωρίσαμε και σε τρεις ζώνες φωτεινότητας το σπήλαιο. Στις πρώτες μελέτες ο Peres (1967), διέκρινε δύο ακόμα βιοκοινότητες εκτός της κοραλλιγενούς της εισόδου. Αρχικά η βιοκοινότητα των ημισκότεινων σπηλαίων με την απουσία φυκών και παρουσία σπόγγων και έπειτα η βιοκοινότητα των εντελώς σκοτεινών σπηλαίων και σηράγγων. Έπειτα από τον Rouliquen (1972), είχαν επίσης διακριθεί δύο ζώνες σκοτεινότητας των σπηλαίων. Στην μελέτη του Γεροβασιλείου (2014) διακρίνονται επίσης τρεις ζώνες.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των φωτογραφικών δειγμάτων, έδειξαν τον σχηματισμό τριών διαφορετικών βενθικών κοινοτήτων στο σπήλαιο βάσης έντασης της φωτεινότητας κυρίως, το οποίο επαναλήφθηκε και από τις στατιστικές δοκιμές του PRIMER εμφανίζοντας σημαντική διαφορά μεταξύ των ζωνών. Συγκεκριμένα τα γραφήματα MDS των ταξινομικών δεδομένων όπως και των μορφολογικών δεδομένων μας δίνουν μία «κάτωση» του σπηλαίου η οποία σχηματίζεται από τα φωτογραφικά δείγματα. Ενώ η ομάδα των φυκών στη ζώνη Είσοδος επικρατεί με ποσοστό 57,65%, στην Ημισκότεινη ζώνη εμφανίζει ποσοστό κάλυψης 34,46% και στη Σκοτεινή ζώνη 17,30%. Αντιστρόφως η ομάδα των σπόγγων εμφανίζεται πολύ λίγο στη ζώνη Είσοδος (14,08%), στην Ημισκότεινη παρουσιάζει αύξηση της κάλυψης με 23,80% και τέλος στη Σκοτεινή ζώνη επικρατεί με 53,03%. Άλλωστε, τα πρότυπα ζώνωσης που δημιουργούνται στα σπήλαια από διαφορετικούς τύπους βιοκοινοτήτων είναι πολύ χαρακτηριστικά καθώς μπορούν να δημιουργηθούν ακόμα και σε απόσταση λίγων μέτρων (Riedl, 1966). Όπως επίσης από την έρευνα του Γεροβασιλείου (2014) τα αποτελέσματα έδειξαν και εκεί τη δημιουργία τριών διαφορετικών βενθικών κοινοτήτων.

Στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ανεδείχθη ως κυρίαρχη ταξινομική ομάδα τα Porifera με (31) τάξα, έπειτα τα Algae με (9) τάξα, τα Cnidozoa με (5), Bryozoa (3), Annelida (2), Foraminifera (1). Σε σύγκρισή με την απογραφή από τα σπήλαια στο Β. Αιγαίο, από τη μελέτη του Γεροβασιλείου (2015), όπου βρέθηκαν Porifera (50), Bryozoa (8) και Cnidaria (8), έχουμε λιγότερα είδη κάτι που μπορεί να οφείλεται αρχικά στο ότι τα δεδομένα από το Β. Αιγαίο είναι συγκεντρωτικά από δύο σπήλαια. Επίσης στο σπήλαιο του Παντερονησίου υπάρχει μεγάλη επισκευσιμότητα από δύτες κάτι το οποίο μπορεί να επηρεάσει αρκετά τη σύσταση των βιοκοινοτήτων του.

Σε πρόσφατη έρευνα της Galani (2019) σε 9 διαφορετικά σπήλαια στο Αιγαίο η κυρίαρχη ταξινομική ομάδα σε αριθμό είδη ήταν οι σπόγγοι, όπως ακριβώς και στην παρούσα μελέτη η ταξινομική ομάδα των σπόγγων ήταν πρώτη με 24 είδη.

Τα PairWise tests μας έδειξαν τόσο σε επίπεδο είδους αλλά ακόμα περισσότερο σε επίπεδο μορφολογικής ομάδας ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ των δύο εσωτερικών ζωνών (Ημισκότεινη και Σκοτεινή) σε σχέση με την Είσοδο. Κάτι το οποίο βλέπουμε και στην μελέτη του

Γεροβασιλείου (2014) σχετικά με τη ζώνωση των κοινοτήτων όπου παρατηρείται πολύ μεγάλη ομοιότητα μεταξύ των εσωτερικών ζωνών.

Παρατηρήθηκε επίσης στα γραφήματα MDS όπως και στα PairWise tests ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των πλευρών παρά μόνο στη ζώνη Είσοδος όπου και παρατηρείτε, ειδικά στο γράφημα MDS, μεγάλη διαφορά μεταξύ των πλευρών της ζώνης αυτής. Αυτό σχετίζεται με τις μεγάλες διαστάσεις της πρώτης εισόδου, η οποία βρίσκεται στην δεξιά πλευρά. Γεωμορφολογικά διαφέρει πολύ από τις υπόλοιπες εισόδους του σπηλαίου και αντιστοίχως υπάρχει πολύ μεγάλη φωτεινότητα.

Από προσωπικές παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια καταδύσεων στο σπήλαιο, εσωτερικά απαντώνται κυρίως τα είδη *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758), *Apogon imberbis* (Linnaeus, 1758) και *Scorpaena notate* (Rafinesque, 1810). Σύμφωνα με έρευνες σε 14 υποθαλάσσια σπήλαια περιμετρικά της Ιταλίας ήταν τα ίδια είδη ψαριών που βρέθηκαν εντός των σπηλαίων κατά κύριο λόγο (Bussotti et al., 2015).

Κρίνοντας από τα αποτελέσματα η συγκεκριμένη μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη λήψη των φωτογραφικών πλαισίων ήταν αρκετά αντιπροσωπευτική. Θα μπορούσαμε να μειώναμε τον αριθμό των φωτογραφικών δειγμάτων ανά σταθμό δειγματοληψίας (σε δύο φωτογραφίες) ώστε να αυξάναμε τους σταθμούς δειγματοληψίας, οι κάθετες διατομές δηλαδή στο μίτο να ήταν ανά 2μ. ώστε η ζώνωση των βιοκοινοτήτων να αποτυπωθεί ακόμα καλύτερα. Για τη μετέπειτα μελέτη του κομματιού της σήραγγας, λόγω μεγάλης στένωσης και χαμηλού φωτισμού σε όλο το μήκος του, η μέθοδος της τυχαίας δειγματοληψίας θα ήταν επίσης αντιπροσωπευτική.

Κλείνοντας, τα υποθαλάσσια σπήλαια φέρουν σπουδαίο κομμάτι της πληροφορίας γύρω από τη βιοποικιλότητα και είναι επιτακτική η ανάγκη για την συλλογή και κατανόηση της πληροφορίας αυτής με σκοπό την παρακολούθηση και διατήρηση των μοναδικών αυτών ενδιαιτημάτων.

Βιβλιογραφία

Anderson MJ., Gorley RN., Clarke KR. (2008) PERMANOVA for PRIMER : Guide to software and Statistical Methods. *Plymouth : PRIMER – E.*

Baltanás A. (1992) On the use of some methods for the estimation of species richness. *Oikos*, **65**, 484–492.

Bell J.J. & Barnes D. K.A. (2001) [Sponge morphological diversity: a qualitative predictor of species diversity?](#). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* Volume 11, Issue 2.

Bethoux J.P., Gentili B. (1996) The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *Journal of Marine Systems*, *Volume 7, Issues 2–4*, Pages 383-394

Bianchi C.N. & Morri C. (2000) Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research. *Marine Pollution Bulletin - MAR POLLUT BULL.* **40**. 367-376. [10.1016/S0025-326X\(00\)00027-8](#).

Boudouresque C.F. (2004) Marine biodiversity in the Mediterranean : status of species, populations and communities. *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, **20**: 97-146.

Bussotti S., Di Franco A., Francour P., Guidetti P. (2015) Fish Assemblages of Mediterranean Marine Caves. *PLoS ONE* **10**(4): [e0122632](#)

Bussotti S., Terlizzi A., Frascchetti S., Belmonte G., Boero F. 2006. Spatial and temporal variability of sessile benthos in shallow Mediterranean marine caves. *Marine Ecology Progress Series* **325**, 109-119.

Clarke K.R. & Gorley R.N. (2006) PRIMER v6 : User Manual/Tutorial. *PRIMER-E. Plymouth*, 192 p.

Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi CN., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froggia C., Galil BS., Gasol JM., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M-S., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., Lopez-Fe de la Quadra CM., Lotze HK., Martin D., Mouillot D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas JI., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R., Voultsiadou E. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* **5**(8): [e11842](#).

Deudero S. & Alomar C. (2015) Mediterranean marine biodiversity under threat : Reviewing influence of marine litter on species. *Marine Pollution Bulletin*, *Volume 98, Issues 1-2*, Pages 58-68.

Galani A., Dailianis T., Sini M., Katsanevakis S., Gerovasileiou V. (2019) Characterization of benthic communities in marine caves of the island – dominated Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *In : Langar H., Ouerghi A. (edits), Proceedings of the 2nd Mediterranean Symposium on the conservation of Dark Habitats (Antalya, Turkey, 17 January 2019), SPA/RAC public., Tunis, 76p.*

Giakoumi S., Sini M., Gerovasileiou V., Mazor T., Beher J., Possingham HP., Abdulla A., Cinar Ertan M., Dendrinou P., Gucu Cemal A., Karamanlidis A., Rodic P., Panayotidis P., Taskin E., Jaklin A., Voultziadou E., Webster C., Zenetos A., Katsanevakis S. (2013) Ecoregion-Based Conservation Planning in the Mediterranean: Dealing with Large-Scale Heterogeneity. *PLoS ONE* 8(10): e76449.

Gerovasileiou V., Voultziadou E. (2012) Marine Caves of the Mediterranean Sea: A Sponge Biodiversity Reservoir within a Biodiversity Hotspot. *PLoS ONE* 7(7): e39873.

Gerovasileiou V., Chintiroglou C., Vafidis D., Koutsoubas D., Sini M., Dailianis T., Issaris Y., Akritopoulou E., Dimarchopoulou D., Voultziadou E. (2015) Census of biodiversity in marine caves of the eastern Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*. 16. 10.12681/mms.1069.

Gunn J. (2004) Encyclopedia of Caves and Karst Science. *Fitzroy Dearborn, New York*, 902 p.

Harmelin J.G., Vacelet J., Vasseur P. (1985) Dark submarine caves - An extreme environment and a refugebiotope. *Téthys*, 11: 214-229.

Hopkins T.S. (1985) Physics of the sea. In Western Mediterranean. *R. Margalef (ed.) Oxford : Pergamon Press*.

Kipson S., Fourt M., Teixidó N., Cebrian E., Casas E., Ballesteros E., Zabala M., Garrabou J. (2011) Rapid biodiversity assessment and monitoring method for highly diverse benthic communities : a case study of Mediterranean Coralligenous outcrops. *PLoS ONE*, 6 : e27103.

Katsanevakis S. (2008) Marine Debris, a Growing Problem: Sources, Distribution, Composition, and Impacts. In: *ofer, T.N., Ed., Marine Pollution: New Research, Nova Science Publishers, New York*, 53-100.

Lieven T. (2018) *Biodiversity in the European Seas*. Available from http://www.coastalwiki.org/wiki/Biodiversity_in_the_European_Seas

Morri C., Bianchi C.N., (2001) Recent changes in biodiversity in the Ligurian Sea (NW Mediterranean): is there a climatic forcing? *Structure and Processes in the Mediterranean Ecosystems*. Springer Verlag Milan, pp. 375–384

Omann I., Andrea S., Jäger J. (2009) Climate change as a threat to biodiversity: An application of the DPSIR approach. *Ecological Economics Volume 69, Issue 1, 15 November 2009, Pages 24-31*

Pérès J.M. (1967) The Mediterranean benthos. *Oceanography and Marine Biology – An Annual Review*, 5: 449-533

Pouliquen L. (1969) Remarques sur la presence d'éponges de l'étage bathyal dans les grottes sous-marines obscures en Méditerranée. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences - Serie C*, 268 : 1324-1326.

Riedl R. (1966) *Biologie der Meereshöhlen. Paul Parey, Hamburg, 636p.*

Roberts C. M. & Hawkins J. P. (1999) Extinction risk in the sea. *Trends in Ecology and Evolution* 14 (6), 241–245.

Sanford E. (1999) Regulation of keystone predation by small changes in ocean temperature. *Science (New York, N.Y.)* 283(5410):2095-7.

Trygonis V. & Sini M. (2012) photoQuad : a dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* , 424-425 : 99-108.

UNEP MAP RAC/SPA (2015) Action Plan for the conservation of habitats and species associated with seamounts, underwater caves and canyons, aphotic hard beds and chemo-synthetic phenomena in the Mediterranean Sea. *UNEP RAC/SPA – Tunis.*

Γεροβασιλίου Β. (2014) Βιοποικιλότητα υποθαλάσσιων σπηλαίων στο Βόρειο Αιγαίο. *Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), σελίδες : 222.*

