



ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ  
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ



**Διδρυματικό Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών**



Συγκριτική μελέτη βένθους σκληρού υποστρώματος σε θαλάσσια σπή-  
λαια της Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας

Μάρκος Διγενής

Μεταπτυχιακή Εργασία Ειδίκευσης

**Ηράκλειο  
Μάρτιος 2021**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ»

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΕΙΕΡΓΙΩΝ

**Συγκριτική μελέτη βένθους σκληρού υποστρώματος σε θαλάσσια σπήλαια της  
Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας**

**Επώνυμο:** Διγενής

**Όνομα:** Μάρκος

**Αριθ. Μητρώου:** 952

**Επιβλέποντες (Ι.Θ.Α.Β.Β.ΙΚ. - ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.):** Δρ. Βασίλης Γεροβασιλείου και Δρ. Χρήστος  
Αρβανιτίδης

**Εξεταστική Επιτροπή (Π.Κ.):** Δρ. Χρήστος Αρβανιτίδης, Διευθυντής Ερευνών ΙΘΑΒΒΙΚ  
ΕΛΚΕΘΕ,

Δρ. Νίκος Λαμπαδαρίου, Διευθυντής Ερευνών Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ,

Δρ. Ιωάννης Καρακάσης, Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας Πανεπιστημίου Κρήτης

**Μονάδα Εκτέλεσης:** Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας,  
Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

που εκπονήθηκε στο

Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών

ΙΘΑΒΒΥΚ - ΕΛΚΕΘΕ

Ηράκλειο 2019-2021

UNIVERSITY OF CRETE  
SCHOOL OF SCIENCES AND ENGINEERING  
DEPARTMENT OF BIOLOGY  
MASTER «ENVIRONMENTAL BIOLOGY»

HELLENIC CENTRE FOR MARINE RESEARCH  
INSTITUTE OF MARINE BIOLOGY, BIOTECHNOLOGY AND  
AQUACULTURE

**Comparative study of hard substrate benthos in marine caves of the Protected  
Area of Northern Karpathos-Saria**

**Last name:** Digenis

**Name:** Markos

**Academic register number:** 952

**Supervisors (IMBBC - HCMR):** Dr. Vasilis Gerovasileiou and Dr. Christos Arvanitidis

**Committee (UOC):** Dr. Christos Arvanitidis, Research Director IMBBC HCMR

Dr. Nikolaos Lampadariou, Research Director Institute of Oceanography HCMR

Prof. Ioannis Karakasis, Professor Biology Department University of Crete

**Execution Unit:** Hellenic Centre for Marine Research

Institute of Marine Biology, Biotechnology and Aquaculture

MSc DIPLOMA THESIS

carried out at the

Institute of Marine Biology, Biotechnology and Aquaculture

IMBBC - HCMR

Heraklion 2019-2021

## Ευχαριστίες

Το παρόν κείμενο είναι αποτέλεσμα της δωδεκάμηνης εργασίας στα πλαίσια της μεταπτυχιακής μου διατριβής στο Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) Ηρακλείου Κρήτης σε συνεργασία με το Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν και με δίδαξαν καθόλη τη διάρκεια αυτού του εγχειρήματος και που χωρίς αυτούς η παρούσα εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να αποδώσω στον Δρ. Βασίλη Γεροβασιλείου για τη συνεχή προθυμία να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει. Φρόντισε να ασχοληθώ με ένα θέμα προσωπικού μου ενδιαφέροντος φέρνοντας με παράλληλα σε επαφή με εξαιρετικούς επιστήμονες και δίδοντάς μου την ευκαιρία να συμμετάσχω σε μοναδικές ερευνητικές μελέτες και τον Δρ. Θάνο Νταϊλιάνη για την παραχώρηση φωτογραφικού υλικού. Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω την καταδυτική ομάδα του Ι.Θ.Α.Β.Β.ΥΚ. που εκτός από τους προαναφερθέντες απαρτίζεται και από τους Δρ. Γεώργιο Χατζηγεωργίου και Εμμανουέλα Βερνάδου, για τη συλλογή και παραχώρηση των δεδομένων.

Το υλικό που αναλύθηκε στη Διπλωματική συλλέχθηκε στο πλαίσιο του έργου «Λεπτομερής εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των υποθαλάσσιων σπηλαίων» που υλοποιήθηκε από το ΙΘΑΒΒΥΚ-ΕΛΚΕΘΕ κατόπιν ανάθεσης από το Φορέα Διαχείρισης Προστατευόμενων Περιοχών Δωδεκανήσου στο πλαίσιο της Πράξης: «Διαχειριστικές Παρεμβάσεις στην Προστατευόμενη Περιοχή Β. Καρπάθου-Σαρίας» (Χρηματοδότηση: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Νότιο Αιγαίο 2014-2020, Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Θάνος Νταϊλιάνης).

Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή και συγκεκριμένα τους Δρ. Χρήστο Αρβανιτίδη, Δρ. Νίκο Λαμπαδαρίου Δρ. Ιωάννη Καρακάση που με την κρίση τους βοήθησαν στην αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

## Περιεχόμενα

Περίληψη

Abstract

1. Εισαγωγή	9
1.1 Τα θαλάσσια σπήλαια	9
1.2 Οι βιοκοινότητες των θαλάσσιων σπηλαίων	11
2. Σκοπός της μελέτης	14
3. Υλικά και Μέθοδοι	15
3.1 Περιοχή μελέτης – Βόρεια Κάρπαθος – Σαρία	15
3.2 Οικολογική προσέγγιση των σπηλαίων	15
3.3 Δειγματοληψία	16
3.4 Επεξεργασία φωτογραφικών πλαισίων	21
3.5 Αναγνώριση κινητικών ειδών	22
3.6 Στατιστική ανάλυση	22
4. Αποτελέσματα	24
4.1 Μακροβενθική βιοποικιλότητα των σπηλαίων	24
4.1.1. Καταγραφή εδραίων οργανισμών	24
4.1.2. Καταγραφή κινητικών οργανισμών	33
4.1.3. Χαρακτηριστικά είδη	34
4.1.4. Προστατευόμενα και εμπορικά είδη	36
4.1.5. Σπάνια είδη και νέες αναφορές	37
4.1.6. Βιοσχηματισμοί	38
4.2 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων	39
4.2.1 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Σπήλαιο”	40
4.2.2 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Οικολογική ζώνη”	42
4.2.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Εμβαδόν εισόδου”	42
4.2.4 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Βάθος εισόδου”	42
4.2.5 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Τύπος σπηλαίου”	43
4.2.6 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Προσανατολισμός εισόδου”	43
4.3 Καταγραφή πιέσεων και απειλών	44
4.3.1. Ξενικά και κρυπτογενή είδη	44
4.3.2. Περιστατικά νέκρωσης βενθικών ειδών	46
4.3.3. Πλαστικά απορρίμματα	47
5. Συζήτηση	48

5.1 Δομή των βιοκοινοτήτων των επτά σπηλαίων	48
5.2. Προτάσεις δράσεων διαχείρισης και προστασίας	52
6. Συμπεράσματα	52
7. Βιβλιογραφία	53
7.1 Ελληνική Βιβλιογραφία	53
7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	53
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	62

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ποιοτική και ποσοτική μελέτη της μακροβενθικής θαλάσσιας βιοποικιλότητας σκληρού υποστρώματος επτά θαλάσσιων σπηλαίων της Βόρειας Καρπάθου και της Νήσου Σαρίας με μη καταστρεπτική μεθοδολογία ανάλυσης φωτογραφικών πλαισίων. Η εργασία εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών (ΙΘΑΒΒΥΚ) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) Κρήτης στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβαλλοντική Βιολογία» του Πανεπιστημίου Κρήτης. Στα σπήλαια που μελετήθηκαν διακρίθηκαν έως τρεις οικολογικές ζώνες: η ζώνη εισόδου όπου υπάρχει άφθονο φως, η ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη όπου ο φωτισμός είναι μειωμένος και η εσωτερική σκοτεινή ζώνη όπου επικρατεί απόλυτο σκοτάδι. Συνολικά, λήφθηκαν 140 φωτογραφικά πλαίσια από τις επιμέρους ζώνες των επτά σπηλαίων. Στη συνέχεια, με ειδικό λογισμικό εντοπίστηκαν και αναγνωρίστηκαν τα εδραία τάξα στο χαμηλότερο δυνατό ταξινομικό επίπεδο και υπολογίστηκε η χωρική τους κάλυψη. Παράλληλα, κατά τη διάρκεια των καταδύσεων πραγματοποιήθηκε οπτική καταγραφή και φωτογράφιση των κινητικών ειδών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων φάνηκε πως, ως προς το ποσοστό κάλυψης επιφάνειας, διαφορετικά τάξα κυριαρχούσαν στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων. Στη ζώνη εισόδου μεγαλύτερη κάλυψη είχαν τα ροδοφύκη ενώ στα πιο εσωτερικά σκοτεινά τμήματα επικρατούσαν οι σπόγγοι σε συνδυασμό με μεγάλες επιφάνειες άδειου υποστρώματος. Αντίθετα, ως προς τον αριθμό των τάξων επικρατέστερη ομάδα σε όλες τις ζώνες ήταν οι σπόγγοι. Συνολικά καταγράφηκαν 121 τάξα εκ των οποίων 78 τάξα εδραίων και 43 κινητικών οργανισμών. Σε αυτά συγκαταλέγονται 11 προστατευόμενα, αρκετά σπάνια και 9 ξενικά είδη καθώς και είδη χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος των υποθαλάσσιων σπηλαίων. Παράγοντες που αφορούν τη μορφολογία και την τοπογραφία των σπηλαίων βρέθηκε πως συσχετίζονται με την ομαδοποίηση των φωτογραφικών πλαισίων που συγκρίθηκαν τόσο συνολικά μεταξύ τους όσο και εκείνων που συλλέχθηκαν από την ζώνη εισόδου και την ημισκότεινη ζώνη ξεχωριστά. Τέλος, στα μελετώμενα σπήλαια καταγράφηκαν πιέσεις οι οποίες εκτός από τα ξενικά είδη που εντοπίστηκαν σε όλα τα σπήλαια αφορούσαν και στην καταγραφή πλαστικών απορριμμάτων καθώς και σε περιστατικά νέκρωσης εδραίων οργανισμών.

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη μελέτη των θαλάσσιων σπηλαίων της Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας και μία από τις λίγες μελέτες για αυτό το είδος οικοτόπου στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου. Με βάση την παρούσα μελέτη προτάθηκαν δράσεις διαχείρισης και προστασίας των θαλάσσιων σπηλαίων στον Φορέα Διαχείρισης Β. Καρπάθου-Σαρίας με στόχο την ανάδειξη και την προστασία των θαλάσσιων σπηλαίων της περιοχής.

## Abstract

Sea caves constitute underwater cavities of various forms mostly filled with sea water. From the first studies on marine caves in the early 1950's, scientists recorded a rich biodiversity in their interior unveiling new information about this unique marine ecosystem. Marine caves were soon considered as a habitat of European interest (type 8330 in the EU Habitats Directive) according to European and regional legislation. In the Mediterranean Sea they have been characterized as biodiversity reservoirs because they host various endemic, rare and protected species, as well as bathyal species, living fossils and unique bioconstructions. To date, more than 3,000 marine caves have been recorded along the Mediterranean coasts, more than 600 of which are found along the Greek coasts of the Aegean Sea. However, only few caves have been systematically studied for their biodiversity.

Through the present MSc thesis we aim to study both qualitatively and quantitatively the macrobenthic biodiversity of seven marine caves of the Protected Area of North Karpathos and Saria Islands (South-Eastern Aegean, Greece) through photographic frames analysis and visual census. It constitutes the first study in this area and one of the few for this marine habitat in the Eastern Mediterranean basin. The study was carried out at the Institute of Marine Biology Biotechnology and Aquaculture (IMBBC) of the Hellenic Center for Marine Research (HCMR) in Crete in the framework of the Master Studies Program “Environmental Biology” of the Biology Department, University of Crete.

The studied stations included seven marine caves, five located on the coasts of Saria Island and two on Karpathos Island. Among the caves of Saria Island, four constituted semi-submerged caves (Oxonisos, Giourious, Panteleimonas and Palatia) while the fifth (Alimounda) and the two caves from Karpathos Island (Fokospilia and Troulakas) were fully submerged. The studied sea caves were divided into three ecological zones: the entrance zone, where plenty of light intrudes, the intermediate semi-dark zone, where light is steeply reduced and the inner completely dark zone. A total of 140 photographic frames were collected along the different zones of the seven caves, ten from the entrance and semidark zone of every studied cave and five from the inner dark zone of two caves.

Sessile organisms were identified to the lowest possible taxonomical level and their surface coverage was calculated using the special software Photoquad for seabed image analysis. Motile taxa were recorded with visual census and photography during the dives.

In total, 78 sessile taxa were identified, 47 of which to the species level, 18 to genus and 3 to family level as well as 10 categorized to higher functional and morphological groups. Sessile taxa were represented by 33 Porifera, 17 Bryozoa, 12 Macroalgae, 5 Cnidaria, 3 Ascidiacea, 3 Brachiopoda, 2 Mollusca, 1 Foraminifera, 1 Polychaeta and 1 Cirripedia. In addition, 43 motile taxa were identified to species (39), genus (2) and family (2) level represented by 23 Pisces, 9 Crustacea, 6 Echinodermata, 2 Polychaeta, 2 Mollusca and 1 Mammalia. Eleven protected species are included in the abovementioned taxa, among which is the Mediterranean seal *Monachus monachus*, the dusky grouper *Epinephelus marginatus*, the spiny lobster *Palinurus elephas* and the Mediterranean slipper lobster *Scylarides latus*. The deep-water species *Anthias anthias* and *Neopycnodonte cochlear*, the commercial shrimp *Plesionika narval* and several rare species alongside with species considered as characteristic for the marine cave environment were also reported in the studied caves.

According to the results, different number of taxa was recorded at each of the ecological cave zones. At the entrance zone 72 taxa were recorded while 56 and 18 taxa were reported from the semidark and the dark zone respectively. Sponges presented the highest number of taxa at all ecological zones of the caves with *Dedroxea lenis* and *Spirastrella cunctatrix* presenting the highest surface coverage. Bryozoan taxa were reduced at the inner cave parts with Encrusting Bryozoa, Bryozoan turf and *Ceberea boryi* often being dominant.

In contrast, different taxa dominated in terms of surface coverage at different ecological zones of the studied caves. Rhodophyta had the most extensive coverage at the cave entrance varying from 25% to more than 45% of total entrance zone coverage. This is due to the sufficient for their survival intensity of light that penetrates the cave entrance. Their coverage was comparatively reduced at the less lightened inner zones where only Encrusting Rhodophyta, *Mesophyllum* sp., *Peyssonnelia* sp. and *Palmophyllum crissum* being present. Rhodophyta coverage was also reduced as the depth increased among the caves. For example, fully submerged caves such as Fokospilia and Troulakas seemed to present less coverage of photosynthetic taxa at their less lightened entrances. The arch of Alimounda, although submerged, receives higher quantity of light due to the large dimensions of its entrances.



As rhodophytes reduce their coverage at the inner semidark cave parts, space competitive sciaphilic sponges became dominant with coverage exceeding 50%. Bare substrate, polychaetes and brachiopods dominated at the cave darkest parts due to the reduced water renewal and the more oligotrophic conditions. These conditions enable more sufficient filter feeders as well as small-sized and encrusting sponges (like *Spirastrella cunclatrix*) to replace larger and erect sponges.

Multivariate community analysis demonstrated that geomorphological and topographical factors of the studied caves are significantly associated with the observed biotic patterns. These factors were: Ecological zone, Cave, Entrance surface area, Entrance depth, Orientation and submersion level (submerged or semi-submerged). Different factors appeared to be statistically correlated with the resemblance patterns. According to one-way ANOSIM analysis pairwise tests, all caves were statistically significantly differentiated when quadrats from all cave zones were pooled together, but also when quadrats from the entrance and the semidark zone were examined separately. Regarding the factor of ecological zone, pairwise tests showed no significant differentiation between the semidark and the dark zone, possibly due to the limited number of quadrats from the darkest cave parts. Heterogeneity between the entrance and the inner sciaphilic ecological zones was in agreement with previous studies on comparative qualitative analysis of macrobenthic biocommunities of Mediterranean marine caves. Furthermore, community structure of the entrance zone was not differentiated between caves deeper than 11 meters and entrance surface area bigger than 110m<sup>2</sup>. Semi-submerged caves different significantly from fully submerged caves, probably due to the different light levels and hydrodynamic regime.

Several pressures and threats were recorded in all studied caves as well, including accumulation of plastic litter and occasional necrosis of sessile taxa. Non-indigenous species were reported in all the studied caves constituting of species that had previously been recorded at different ecosystems of the same area. Such species were: the gastropod *Cerithium scabridum*, the long-spined sea urchin *Diadema setosum* and seven alien fishes (*Parupeneus forsskali*, *Pempheris rhomboidea*, *Pterois miles*, *Sargocentron rubrum*, *Siganus luridus*, *Siganus rivulatus* and *Torquigener flavimaculosus*).

The abovementioned pressures could indicate signs of possible ecological degradation. Moreover, in order to further understand the community structure of the studied caves, additional samplings are needed to identify the species grouped at bigger functional and morphological groups. Emphasis should also be given to less known groups as well as sponges of the family Plakinidae, encrusting bryozoans and polychaetes. Future studies on the same marine caves should also focus on soft substrate macrofauna, as well as cryptobenthic species of fish and crustaceans.

Building upon the findings of this work, several management and conservation actions were proposed to the Management Agency of the Protected Area, aiming at highlighting and protecting marine caves and their biota. Among the proposed actions are: a monitoring plan for the assessment of both biotic (qualitative and quantitative biodiversity assessment) and abiotic (e.g. water temperature and pH) factors every two years in order to detect potential effects of climate change. Assessment of macro- and microplastics quantity and alien species could provide valuable information about their longterm effects on both marine caves and their surrounding ecosystems. Actions for raising public awareness and training seminars for divers and local citizens as well as creation of a protected zone focusing for selected caves could ensure the future protection of this unique marine ecosystem.

## 1. Εισαγωγή

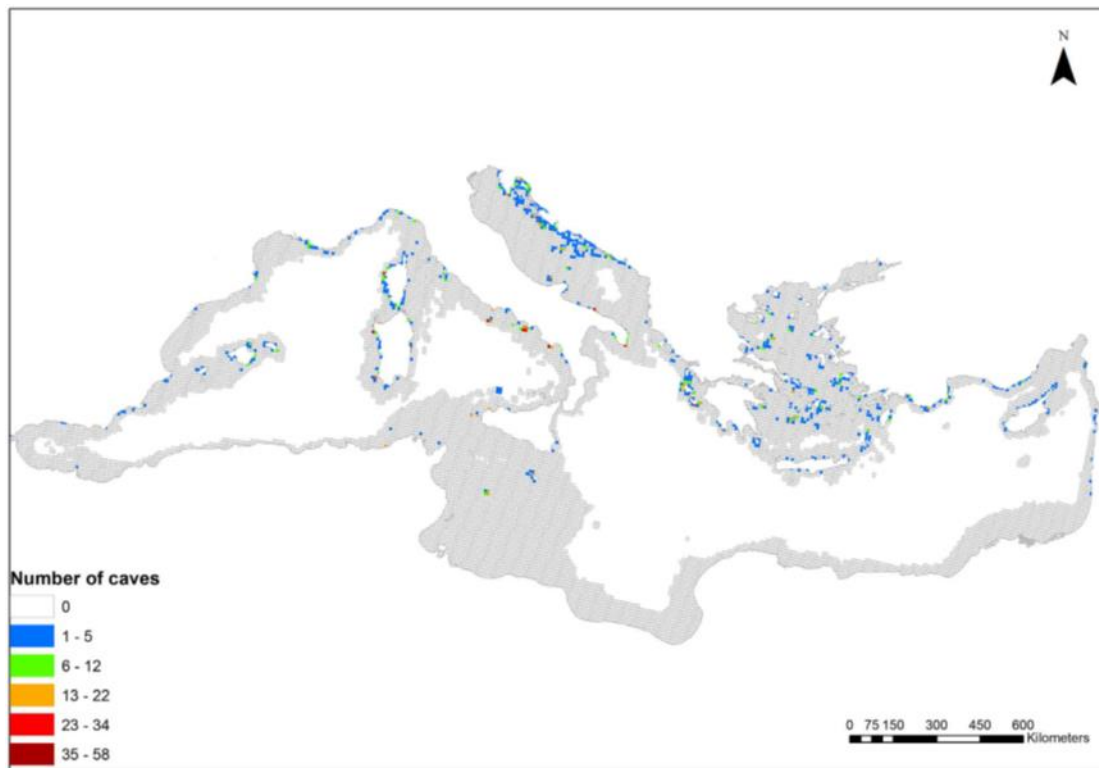
### 1.1 Τα θαλάσσια σπήλαια

Ο όρος σπήλαιο αποδίδεται σε κάθε υπόγεια κοιλότητα η οποία συνδέεται με την επιφάνεια μέσω μίας ή περισσότερων εισόδων, έχει μήκος μεγαλύτερο από το ύψος του ανοίγματος της εισόδου και διαστάσεις που επιτρέπουν την είσοδο και εξερεύνηση του από τον άνθρωπο (Riedl 1966, Cicogna *et al.* 2003, Gunn 2004). Τα περισσότερα σπήλαια δημιουργούνται λόγω της διαβρωτικής δράσης του νερού της βροχής καθώς ρέει μέσα από το χαμηλής σκληρότητας ασβεστολιθικό πέτρωμα, στην προσπάθεια του να εκβάλει τελικά στη θάλασσα, μία διαδικασία που ονομάζεται καρστική διάβρωση ή αλλιώς καρστικοποίηση (Gunn 2004). Έτσι, μεγάλος αριθμός από σπήλαια, φαράγγια, ρωγμές, σχισμές και παρόμοιους σχηματισμούς εμφανίζονται κυρίως σε καρστικές περιοχές, δηλαδή εκεί όπου επικρατούν ασβεστολιθικά πετρώματα (Lewin & Woodward 2009). Για τα θαλάσσια όμως σπήλαια, η κύρια αιτία σχηματισμού είναι η κυματική δράση σε συνδυασμό με τη λειαντική δράση των θραυσμάτων και της άμμου που μεταφέρονται από το νερό (Gunn 2004). Παρόλα αυτά πολλά θαλάσσια σπήλαια δημιουργήθηκαν από καρστική διάβρωση στη χέρσο και στη συνέχεια βυθίστηκαν ως ένα βαθμό ή εξολοκλήρου εξαιτίας των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης στο γεωλογικό χρόνο.

Στο εσωτερικό των θαλάσσιων σπηλαίων μπορεί να εμπερικλείεται μόνο θαλασσινό νερό ή στρωματοποιημένες μάζες θαλασσινού και γλυκού νερού που δημιουργούν αλοκλινές, δηλαδή μια επιφάνεια διαχωρισμού του γλυκού από το θαλασσινό νερό (που βρίσκεται χαμηλότερα λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας). Χαρακτηριστική κατηγορία σπηλαίων αποτελούν τα αγχίαλα σπήλαια (anchialine caves) (Stock *et al.* 1986, Riedl & Ozratic 1969) τα οποία αποτελούν παράκτια σπήλαια που συνδέονται υπογείως με τη θάλασσα παρότι μπορεί να βρίσκονται έως και μερικά χιλιόμετρα μακριά από την ακτογραμμή (Stock *et al.* 1986).

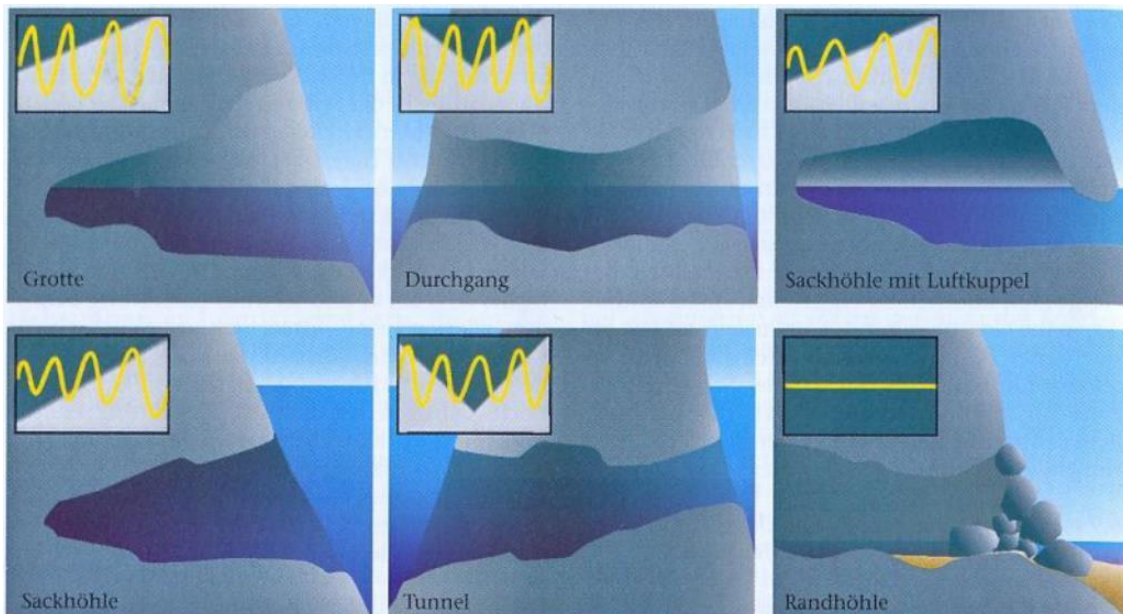
Σε αντίθεση με τα χερσαία σπήλαια, τα θαλάσσια παρέμεναν ανεξερεύνητα έως και τα μέσα του περασμένου αιώνα κυρίως λόγω της δυσκολίας πρόσβασης του ανθρώπου σε αυτά. Η πρόοδος όμως της τεχνολογίας και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται πλέον στην αυτόνομη κατάδυση τύπου SCUBA (Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) συνέβαλαν καθοριστικά στην εξερεύνηση και τη μελέτη των ξεχωριστών οικοσυστημάτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων παγκοσμίως.

Μέχρι το έτος 2013, περίπου 3.000 θαλάσσια σπήλαια (συμπεριλαμβανομένων ημιβυθισμένων, εξολοκλήρου βυθισμένων και αγχίαλων σπηλαίων), είχαν καταγραφεί στη Μεσόγειο, 738 από τα οποία βρίσκονται στην Ανατολική Μεσόγειο (Giakoumi *et al.* 2013). Η συντριπτική πλειοψηφία τους (97%) βρίσκεται στις βόρειες ακτές της Μεσογείου, όπου εντοπίζεται και το 92% των Μεσογειακών βραχωδών ακτών και κυρίως στην Αδριατική και την Τυρρηνική Θάλασσα, τα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους και στην Κορσική. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη μελέτη των Sini *et al.* (2017), στο Αιγαίο εντοπίζονται 622 θαλάσσια σπήλαια, τα περισσότερα από τα οποία (85%) είναι ημιβυθισμένα ενώ σήμερα ο συνολικός αριθμός των καταγεγραμμένων θαλάσσιων σπηλαίων εκτιμάται πως είναι αρκετά μεγαλύτερος.



Εικόνα 1: Γεωγραφική κατανομή των υποθαλάσσιων σπηλαίων στη Μεσόγειο. Με διαφορετικά χρώματα απεικονίζεται ο αριθμός των σπηλαίων σε κελιά διαστάσεων 10x10km (από Giakoumi *et al.* 2013).

Τα σπήλαια εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ως προς τη μορφολογία και την ανάπτυξή τους στο χώρο γεγονός που οδήγησε τον Riedl (1966) να διακρίνει έξι κύριες μορφολογικές κατηγορίες σπηλαίων ανάλογα με τη μεταβολή της διάχυσης του φωτός σε αυτά (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Κατηγορίες ημιβυθισμένων (επάνω) και εξ ολοκλήρου βυθισμένων (κάτω) σπηλαίων ανάλογα με τη μορφολογία τους και τη μεταβολή του φωτισμού σε αυτά (Riedl (1966)).

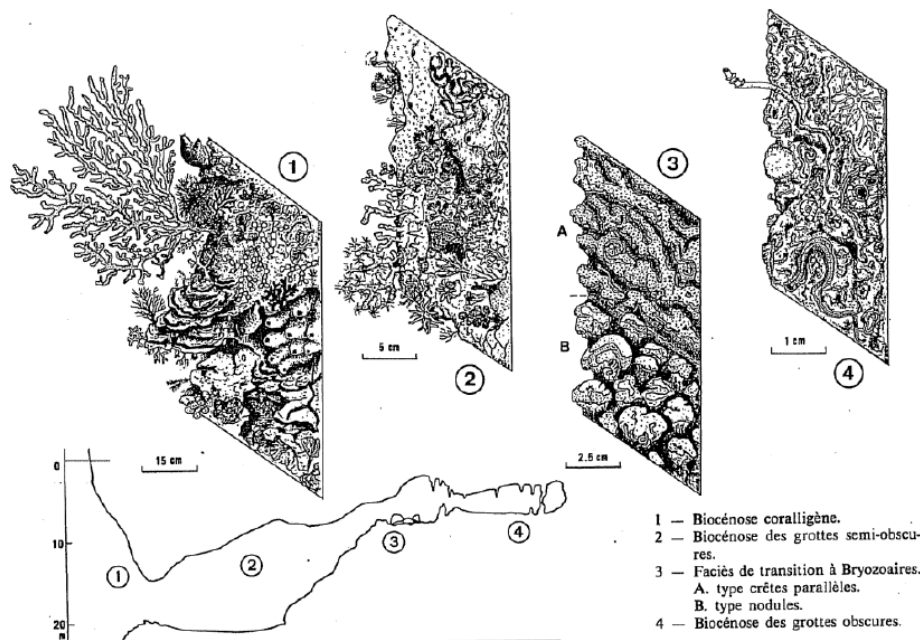
Ανεξάρτητα όμως από αυτήν την κατηγοριοποίηση, κάθε σπήλαιο είναι μοναδικό και παρουσιάζει ιδιαίτερα μορφολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά που σε συνδυασμό με τη διαβάθμιση

αβιοτικών παραμέτρων όπως η διείσδυση και διάχυση του φωτός και η ένταση του υδροδυναμισμού, συμβάλλουν στη διαμόρφωση έντονης ζώνωσης των βενθικών βιοκοινοτήτων στο εσωτερικό του (Riedl 1966, Harmelin *et al.* 1985, Marti *et al.* 2004, Radolovic *et al.* 2015). Ειδικότερα, η διείσδυση του φωτός εξαρτάται από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σπήλαιο, τον προσανατολισμό, το εμβαδόν και την κλίση της εισόδου και του σπηλαίου γενικότερα, ενώ ο υδροδυναμισμός επηρεάζεται από το βαθμό έκθεσης και το προφίλ της ακτής, τις καιρικές συνθήκες, τη μορφή του σπηλαίου καθώς και από το βάθος στο οποίο βρίσκεται (Riedl 1966, Pouliquen 1972).

## 1.2 Οι βιοκοινότητες των θαλάσσιων σπηλαίων

Η οικολογική έρευνα των υποθαλάσσιων σπηλαίων στοχεύει κυρίως στην καταγραφή της βιοποικιλότητας και στην περιγραφή και μελέτη των βιοκοινοτήτων και των χωρικών προτύπων οικολογικής διαβάθμισης τους στο εσωτερικό τους. Στη Μεσόγειο, τα υποθαλάσσια σπήλαια φιλοξενούν διαφορετικούς τύπους βιοκοινοτήτων που συνήθως διαδέχονται η μία την άλλη συχνά σε κλίμακα ελάχιστων μόνο μέτρων δημιουργώντας χαρακτηριστικά πρότυπα ζώνωσης (Riedl 1966, Peres 1967, Gerovasileiou & Voultziadou 2016). Η πλειοψηφία όμως των ερευνών που έχουν μελετήσει αυτές τις βιοκοινότητες περιλαμβάνουν μόνο ποιοτικά χαρακτηριστικά σχετικά με την ταξινομική τους σύνθεση με ιδιαίτερη έμφαση στους σπόγγους (Laborel & Vacelet 1959, Russ & Rützler 1959, Sarà 1962, Pouliquen 1972, Bibiloni *et al.* 1989, Gerovasileiou *et al.* 2015a). Τα πρότυπα διαβάθμισης της βιοποικιλότητας των βιοκοινοτήτων έχουν διερευνηθεί ποσοτικά σε ένα μικρό μόνο αριθμό μελετών (Cinelli *et al.* 1977, Pansini *et al.* 1977, Gili *et al.* 1982, Balduzzi *et al.* 1989, Corriero *et al.* 2000, Marti *et al.* 2004, Bussoti *et al.* 2006, Gerovasileiou *et al.* 2017a), οι οποίες καταλήγουν στο γενικό συμπέρασμα ότι το οικοσύστημα των υποθαλάσσιων σπηλαίων χαρακτηρίζεται από μεγάλη ετερογένεια και πως στο γενικό πρότυπο κατανομής των κοινοτήτων παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ανάλογα με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και τη μορφολογία του εκάστοτε μελετώμενου σπηλαίου.

Οι Pérès και Picard (1949) ήταν οι πρώτοι που περιέγραψαν τις βιοκοινότητες σε υποθαλάσσιο σπήλαιο της Μεσογείου παρατηρώντας πως ενώ στην είσοδο ενός σπηλαίου της Μασσαλίας κυριαρχούσαν τα μακροφύκη (κυρίως Rhodophyta), αυτά εξαφανίζονταν προς το εσωτερικό του σπηλαίου εξαιτίας της έλλειψης επαρκούς φωτισμού. Παρατήρησαν πως οι συνθήκες ημισκότους επέτρεπαν την επικράτηση χωρικά ανταγωνιστικών ζωικών οργανισμών (κυρίως σπόγγων) που κάλυπταν το 90% περίπου της επιφάνειας των τοιχωμάτων ενώ ευνοούνταν και η ανάπτυξη ειδών που συνήθως απαντώνται σε μεγαλύτερα βάθη. Λαμβάνοντας υπόψη έρευνες που ακολούθησαν (Pérès & Picard 1951, 1955, Laborel & Vacelet 1959, Vacelet, 1964), ο Pérès (1967) περιέγραψε τις τρεις βιοκοινότητες των σπηλαίων: την κοραλλιγενή βιοκοινότητα (C: Biocénose Coralligène) της εισόδου, τη βιοκοινότητα των ημισκότεινων τμημάτων των σπηλαίων (GSO: Biocénose des Grottes Semi-Obscures) και τη βιοκοινότητα των εντελώς σκοτεινών σπηλαίων και σπηλαίων (GO: Biocénose des Grottes Obscures). Στη συνέχεια οι Harmelin *et al.* (1985) πρόσθεσαν μία ακόμη μεταβατική ζώνη σε εκείνες του Pérès (1967), μεταξύ των GSO και GO, στην οποία διακρίνονται κρουστώδη βρυόζωα που σχηματίζουν κονδύλους (Εικόνα 3). Στην παρούσα εργασία αυτή η διαδοχή των βιοκοινοτήτων περιγράφεται από τις εξής οικολογικές ζώνες: ζώνη εισόδου (CE), ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη (SD) και εσωτερική σκοτεινή ζώνη (DZ).



Εικόνα 3: Διαβάθμιση βενθικών βιοκοινοτήτων κατά μήκος θαλάσσιου σπηλαιίου όπως περιγράφηκε από τους Harmelin *et al.* (1985). 1: κοραλλιγενής βιοκοινότητα εισόδου, 2: βιοκοινότητα ημισκότεινης ζώνης, 3: μεταβατική βιοκοινότητα βρυοζώνων (A,B) και 4: βιοκοινότητα σκοτεινής ζώνης.

Οι κόνδυλοι των βρυοζώνων συνήθως έχουν μέγεθος μερικών εκατοστών (Rosso *et al.* 2018). Επίσης, στο σκοτεινό εσωτερικό κάποιων σπηλαίων αναπτύσσονται βιογενείς σχηματισμοί που μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος τα 2 μέτρα σχηματίζοντας περίπλοκους βιοσταλακτίτες από ποικιλία ζωντανών και νεκρών εδραίων τάξεων (π.χ. πολύχαιτοι, βρυοζωα) και μικροβιακών κοινοτήτων (Guido *et al.* 2013, 2017, 2019a,b, Sanfilippo *et al.* 2017, Rosso *et al.* 2018). Η πρόσφατη μελέτη των Rosso *et al.* (2021) έδειξε πως τέτοιοι σχηματισμοί μπορούν να έχουν ηλικία έως και 6.000 ετών και να αποτελούνται έως και από 35 διαφορετικά σύγχρονα τάξα.

Στη Μεσόγειο, τα θαλάσσια σπήλαια έχουν χαρακτηριστεί ως «φυσικά καταφύγια» (Harmelin *et al.* 1985), «οικολογικά νησιά» (Harmelin *et al.* 1985, Muricy *et al.* 1966), «βαθύαλοι μεσόκοσμοι» στην παραλιακή ζώνη (Harmelin & Vacelet 1997) καθώς και «ταμειυτήρες βιοποικιλότητας» (Gerovasileiou & Voultziadou 2012) επειδή φιλοξενούν μεγάλο αριθμό ενδημικών σπάνιων και προστατευόμενων ειδών. Ένα από αυτά είναι η μεσογειακή φώκια *Monachus monachus* για την οποία έχει καταγραφεί ότι χρησιμοποιεί διάφορους τύπους θαλάσσιων σπηλαίων, κυρίως ημιβυθισμένα με εσωτερική παραλία, για ανάπαυση και για τη γέννηση των μικρών της (Karamanlidis *et al.* 2004, 2016, Dendrinis *et al.* 2007).

Βαθύβια είδη επίσης συναντώνται στα υποθαλάσσια σπήλαια αφού στα σκοτεινά τους τμήματα εμφανίζονται παρόμοιες συνθήκες με εκείνες της βαθιάς θάλασσας (Harmelin *et al.* 1985, Gerovasileiou & Voultziadou 2012). Χαρακτηριστικά παραδείγματα βαθύβιων ειδών που έχουν βρεθεί σε υποθαλάσσια σπήλαια της Ελλάδας είναι τα ψάρια *Scorpaenodes arenai* (Tsiamis *et al.* 2015) και *Grammonus ater* (Gerovasileiou *et al.* 2015b, Gerovasileiou *et al.* 2017b) καθώς και οι βαθύβιοι λιθόσπογγοι του γένους *Neophrissospongia* που βρέθηκαν για πρώτη φορά στην Ανατολική Μεσόγειο, σε θαλάσσια σπήλαια της Κρήτης (Pisera & Gerovasileiou 2021). Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, η ηλικία των δομών που σχηματίζουν αυτοί οι λιθόσπογγοι εκτιμάται πως είναι μεταξύ 769 και 909 ετών.

Εκτός από την ποικιλία εδραίων οργανισμών που φιλοξενούν, τα μεσογειακά θαλάσσια σπήλαια αποτελούν καταφύγιο για μεγάλο αριθμό ειδών ψαριών και φιλοξενούν τμήμα της τοπικής βιοποικιλότητας, τονίζοντας έτσι την αναγκαιότητα να συμπεριληφθούν μελλοντικά σε δίκτυα προστατευόμενων περιοχών και να ληφθούν υπόψη σε διαχειριστικά σχέδια περιβαλλοντικής

διατήρησης (Bussotti *et al.* 2015). Σχέδια προστασίας των σπηλαίων έχουν προταθεί τόσο σε επίπεδο οικοπεριοχής (Giakoumi *et al.* 2013) για τη Μεσόγειο όσο και για το Αιγαίο (Gerovasileiou *et al.* 2018).

Πρόσφατα αναπτύχθηκαν δείκτες εκτίμησης της οικολογικής κατάστασης των υποθαλάσσιων σπηλαίων με βάση έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε 22 σπήλαια της Γαλλίας και της Ιταλίας (Rastorgueff *et al.* 2015). Ακόμη, σε πολλές περιπτώσεις οι έρευνες στα θαλάσσια σπήλαια έφεραν στο φως νέα είδη για την επιστήμη από διαφορετικές ταξινομικές ομάδες οργανισμών (π.χ. Harmelin *et al.* 2007, Pisera & Vacelet 2011, Zibrowius 1968), μερικά εκ των οποίων στο Αιγαίο (Lage *et al.* 2018, 2019, Rosso *et al.* 2020,2021). Στα σπήλαια όμως συναντώνται και είδη που δεν είναι προσαρμοσμένα να επιβιώνουν στο συγκεκριμένο περιβάλλον και αποτελούν «τυχαίους επισκέπτες» που περιστασιακά εισέρχονται στο σπήλαιο προς αναζήτηση τροφής ή για προστασία. Αντίθετα, τα «στυγόξενα» είδη, είναι οι υδρόβιοι οργανισμοί που αναπαράγονται ή/και κατοικούν σε σπήλαια αλλά αναζητούν τροφή έξω από αυτά ενώ ως «στυγόφιλα», εκείνα που ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο στο σκιερό περιβάλλον των σπηλαίων. Τέλος, τα «στυγόβια» (Culver & Piran 2009, Romero 2009) ή «σπηλαιόβια» είδη είναι εκείνα που έχουν αναπτύξει προσαρμογές για τη διαβίωση στο συγκεκριμένο περιβάλλον όπως η έλλειψη χρωστικών και υποπλασμένα μάτια ή ανοφθαλμία και εκτεταμένα άκρα και αισθητήρια όργανα (Gunn 2004, Romero 2009).

Ενώ η μελέτη του Riedl (1966) απαριθμούσε 905 είδη από υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου, πρόσφατες έρευνες (Gerovasileiou & Voultziadou 2014) έδειξαν πως ο συνολικός αριθμός των ειδών ξεπερνά τα 2.000 είδη. Από αυτά, οι σπόγγοι που έχουν βρεθεί σε σπήλαια αντιπροσωπεύουν το 45,7% των μεσογειακών ειδών σπόγγων (Gerovasileiou & Voultziadou 2012). Παρόλα αυτά, οι ίδιοι ερευνητές επισημαίνουν πως ο αριθμός των ειδών που έχουν καταγραφεί σε σπήλαια της Μεσογείου διαφέρει ανάλογα με την περιοχή που μελετάται και σχετίζεται με τις ερευνητικές μελέτες (αριθμός δημοσιεύσεων και αριθμός μελετημένων σπηλαίων) που έχουν εκπονηθεί.

Ποσοτικές έρευνες για τη βιοποικιλότητα και τη δομή των βιοκοινοτήτων σε διαφορετικούς τύπους θαλάσσιων σπηλαίων πραγματοποιήθηκαν πρόσφατα στην περιοχή του Αιγαίου, συμβάλλοντας έτσι στον εμπλουτισμό της ελλιπούς γνώσης για τα σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου (Gerovasileiou & Voultziadou 2012, Gerovasileiou *et al.* 2013, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Διγενής 2019). Τα ποσοτικά δεδομένα είναι απαραίτητα για την παρακολούθηση (monitoring) των σπηλαίων και την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων των αλλόχθονων ειδών στη δομή των κοινοτήτων τους (Gerovasileiou *et al.* 2016c). Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στην ανατολική Μεσόγειο όπου η εισαγωγή θερμόφιλων και τροπικών αλλόχθονων ειδών έχει αυξηθεί, πιθανότατα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας τα τελευταία χρόνια.

Οι διαθέσιμες μελέτες σχετικά με τη δομή των κοινοτήτων που φιλοξενούν τα σπήλαια έχουν επικεντρωθεί στις κοινότητες σκληρού υποστρώματος σε σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου (Gerovasileiou & Voultziadou 2016, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Dimarchopoulou *et al.* 2018) ενώ υπάρχουν ορισμένα στοιχεία και από τις νότιες νησιωτικές περιοχές (Gerovasileiou *et al.* 2015a,2018, Guido *et al.* 2017, Galani *et al.* 2018, Διγενής 2019).

Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για δυσπρόσιτα περιβάλλοντα, η πλούσια βιοποικιλότητα των θαλάσσιων σπηλαίων δεν παραμένει ανεπηρέαστη από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις επιπτώσεις τους στο οικοσύστημα. Αντιθέτως, οι κοινότητες των σπηλαίων απειλούνται εντονότερα και είναι περισσότερο ευαίσθητες σε διαταραχές μεγάλης κλίμακας, επειδή είναι φυσικά κατακερματισμένες και λιγότερο ανθεκτικές (Harmelin 1980, 1985). Επιπλέον, επειδή ο υδροδυναμισμός στο εσωτερικό των σπηλαίων είναι συνήθως χαμηλής έντασης, οποιοσδήποτε ρύπος εισέρχεται μπορεί να παραμένει για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επηρεάζοντας έτσι τις κοινότητες των ειδών. Κύρια απειλή αποτελεί η κλιματική αλλαγή, καθώς η τοπική άνοδος της θερμοκρασίας της

θάλασσας έχει βρεθεί να προκαλεί αλλαγές στη γεωγραφική κατανομή ενδημικών ειδών των σπηλαίων (Chevaldonné & Lejeune 2003, Parravicini *et al.* 2010, Gerovasileiou & Voultziadou 2012, Costa *et al.* 2018, Gerovasileiou *et al.* 2018; Sempere-Valverde *et al.* 2019, Montefalcone *et al.* 2018). Ακόμη, αρνητικές επιπτώσεις φαίνεται να έχουν η παράκτια δόμηση και η θαλάσσια ρύπανση (Giakoumi *et al.*, 2013, Rastorgueff *et al.* 2015, Montefalcone *et al.* 2018) καθώς επίσης και ανθρώπινες δραστηριότητες όπως οι επισκέψεις από τουριστικά σκάφη και σκάφη αναψυχής αλλά και η ερασιτεχνική υποβρύχια αλιεία (Giakoumi *et al.* 2013, Gerovasileiou *et al.* 2016). Η καταδυτική δραστηριότητα μπορεί επίσης να προκαλέσει μηχανική καταστροφή εύθραυστων ειδών και βραδείας αύξησης βενθικών ειδών από την επαφή των αυτοδυτών με τους οργανισμούς αλλά και νέκρωσή τους όταν οι φυσαλίδες αέρα των αυτοδυτών εγκλωβίζονται στην οροφή του σπηλαίου (Di Franco *et al.* 2009, Guarnieri *et al.* 2012, Nepote *et al.* 2017, Montefalcone *et al.* 2018).

Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες δείχνουν πως ολοένα και περισσότερα αλλόχθονα είδη (ο αριθμός των οποίων έχει ξεπεράσει τα 60) καταγράφονται σε σπήλαια κυρίως της Ανατολικής Μεσογείου (Gerovasileiou *et al.* 2015b, 2016, Ragkousis *et al.* 2020, Digenis *et al.* 2021) καθότι αυτά λειτουργούν ως καταφύγια ή/και 'stepping stones' για τη διασπορά των ξενικών ειδών σε νέες περιοχές.

Πέρα όμως από τη μεγάλη αξία διατήρησης και μελέτης τους, τα σπήλαια παρουσιάζουν και υψηλή αισθητική ή/και πολιτιστική αξία και κατά συνέπεια αποτελούν δημοφιλείς προορισμούς για δραστηριότητες αναψυχής, όπως είναι ο καταδυτικός τουρισμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στα υποθαλάσσια σπήλαια συναντώνται επίσης απολιθώματα οργανισμών που έχουν εξαφανιστεί εδώ και εκατομμύρια χρόνια, προσφέροντας μία μοναδική πηγή γνώσης για την πανίδα του παρελθόντος (Διγενής 2019). Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν την αναγκαιότητα συστηματικής μελέτης, παρακολούθησης (monitoring) και εκτίμησης της οικολογικής κατάστασης των σπηλαίων (SPA/RAC–UN Environment/MAP & OCEANA 2017).

Όλα τα παραπάνω αποτελούν τους βασικούς λόγους για τους οποίους τα σπήλαια προστατεύονται από την Ευρωπαϊκή (Οικότοπος 8330 της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ) και τη Μεσογειακή περιβαλλοντική νομοθεσία (Πρωτόκολλο SPA/BD της Σύμβασης της Βαρκελώνης) και περιλαμβάνονται στο Σχέδιο Δράσης του Περιφερειακού Κέντρου Δραστηριοτήτων για Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές (Dark Habitats Action Plan) (UNEP-MAP-RAC/SPA 2015).

## 2. Σκοπός της μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην μελέτη υποθαλάσσιων σπηλαίων της Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας (Natura GR4210003). Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει την πλήρη απογραφή και συγκριτική ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των μακροβενθικών βιοκοινωνιών των σπηλαίων με τη χρήση φωτογραφικών πλαισίων και οπτικής καταγραφής με έμφαση σε χαρακτηριστικά, σπάνια, ενδημικά προστατευόμενα και αλλόχθονα είδη σε επτά υποθαλάσσια σπήλαια της περιοχής. Μεταξύ των στόχων της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση των παρακάτω υποθέσεων:

- 1 Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Gerovasileiou *et al.* 2015a, 2018, Gerovasileiou & Voultziadou 2016, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Guido *et al.* 2017, Dimarchopoulou *et al.* 2018, Galani *et al.* 2018, Διγενής 2019) αναμένεται μεγάλη ετερογένεια μεταξύ των διαφορετικών οικολογικών ζωνών των σπηλαίων.

- 2 Αναμένεται διαφοροποίηση στη δομή των βιοκοινοτήτων μεταξύ ημιβυθισμένων και εξ ολοκλήρου βυθισμένων σπηλαίων εξαιτίας του μειωμένου φωτισμού σε σπήλαια με βυθισμένη είσοδο (Gerovasileiou & Bianchi 2021) .
- 3 Εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης στην οποία εντοπίζονται τα μελετώμενα σπήλαια αναμένεται να καταγραφούν αρκετά ξενικά είδη τα οποία είναι γνωστό πως έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικά οικοσυστήματα της ίδιας περιοχής αλλά και σε σπήλαια άλλων περιοχών της Ανατολικής Μεσογείου (Gerovasileiou *et al.* 2016, Ragkousis *et al.* 2020).

Η εργασία αυτή συνεισφέρει στις διαχειριστικές παρεμβάσεις και στη βελτίωση του βαθμού διατήρησης προστατευόμενων θαλάσσιων οικοτόπων των οποίων ο σημερινός βαθμός διατήρησης κρίνεται μη ικανοποιητικός ή άγνωστος με στόχο τη σύνταξη στοχευμένων σχεδίων δράσεων. Τέλος, πρόκειται για την πρώτη μελέτη αυτού του είδους στη συγκεκριμένη Προστατευόμενη Περιοχή και μια από τις ελάχιστες, για το συγκεκριμένο τύπο οικοτόπου, σε επίπεδο Αιγαίου και Ανατολικής Μεσογείου (προστατευόμενος τύπος οικοτόπου με κωδικό 8330 σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 92/43/ΕΟΚ).

### 3. Υλικά και Μέθοδοι

#### 3.1 Περιοχή μελέτης – Βόρεια Κάρπαθος – Σαρία

Η Προστατευόμενη Περιοχή Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας έχει ενταχθεί στο δίκτυο NATURA 2000 με κωδικό GR4210003. Ο Φορέας Διαχείρισης Καρπάθου Σαρίας ιδρύθηκε με τον Ν. 3044/2002 (ΦΕΚ 197/Α/27-08-2002) με στόχο την προστασία και διατήρηση μίας από τις σημαντικότερες περιοχές φυσικού πλούτου της χώρας. Συγκεκριμένα, η περιοχή διακρίνεται για την παλαιογεωγραφία της, την περιορισμένη ανθρώπινη δραστηριότητα και τη μεγάλη ποικιλία ενδημικών και σπάνιων ειδών χλωρίδας και πανίδας (<https://www.fdkarpathos.gr/>). Επιπλέον, στην περιοχή παρατηρείται σημαντικός αριθμός καταφυγίων για την ανάπαυση και αναπαραγωγή της Μεσογειακής φώκιας *Monachus monachus* (Mom 2005).

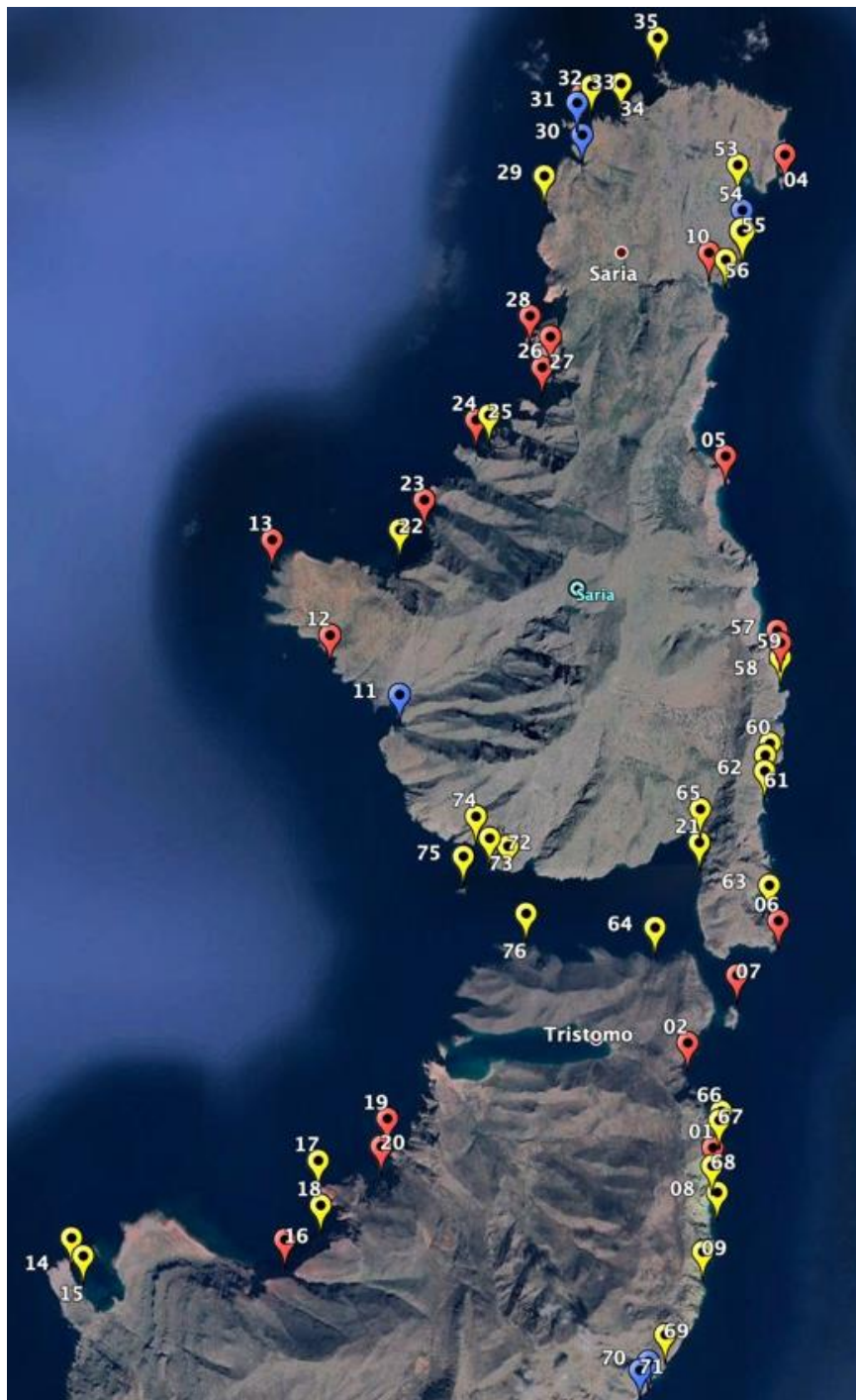
#### 3.2 Οικολογική προσέγγιση των σπηλαίων

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας τα μελετώμενα σπήλαια χωρίστηκαν σε τρεις οικολογικές ζώνες ακολουθώντας το μοντέλο διαφοροποίησης των βιοκοινοτήτων που περιέγραψε ο R  g  s (1967). Με φορά από το εξωτερικό του σπηλαίου προς το εσωτερικό, πρώτα συναντάται η ζώνη εισόδου (Cave Entrance - CE) που δέχεται φωτεινή ακτινοβολία τόσο στα τοιχώματα όσο και στον πυθμένα της, επαρκή για την ανάπτυξη φωτοσυνθετικών οργανισμών (κυρίως ενασβεστωμένα ροδοφύκη). Προς το εσωτερικό του σπηλαίου ακολουθεί η ημισκότεινη ζώνη (Semi-dark Zone - SZ) όπου ο φωτισμός μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται η απόσταση από την είσοδο του σπηλαίου. Η τρίτη και τελευταία κατά σειρά οικολογική ζώνη ορίζεται ως εσωτερική σκοτεινή ζώνη (Dark Zone - DZ) όπου επικρατεί σκοτάδι και τα τοιχώματα της στερούνται κάλυψης οργανισμών στο μεγαλύτερο τμήμα τους. Αυτό το πρότυπο διάκρισης των σπηλαίων σε τρεις κύριες οικολογικές ζώνες εμφανίζεται ως το συνηθέστερο για τη μελέτη τόσο ενάλιων και αγχιάλων όσο και των χερσαίων σπηλαίων (Gerovasileiou & Voultziadou 2012, Gerovasileiou *et al.* 2013, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Διγενής 2019).



### 3.3 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια ερευνητικής αποστολής 7 ημερών στο διάστημα 27 Οκτωβρίου έως 2 Νοεμβρίου 2019 με τη συμμετοχή 5 εξειδικευμένων καταδυόμενων επιστημόνων και τεχνικού προσωπικού του ΕΛΚΕΘΕ. Οι ερευνητικοί πλόες πραγματοποιήθηκαν με την υποστήριξη του σκάφους και δύο μελών του προσωπικού του Φορέα Διαχείρισης Προστατευόμενων Περιοχών Δωδεκανήσου. Η περιοχή που καλύφθηκε περιλαμβάνει το βόρειο τμήμα της Ν. Καρπάθου και ολόκληρη την ακτογραμμή της Ν. Σαρίας και εκτείνεται από το λιμένα Διαφανίου έως το Ακρωτήριο Βρουκούντα, καθώς και τον διάυλο Καρπάθου-Σαρίας. Οι επιτόπιες αυτοψίες των σπηλαίων στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν με αυτόνομη και ελεύθερη κατάδυση στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Από τις 59 τοποθεσίες όπου πραγματοποιήθηκε αυτοψία, στις 30 καταγράφηκε η παρουσία υποθαλάσσιων σπηλαίων, ημιβυθισμένων ή πλήρως βυθισμένων, που πληρούν τα χαρακτηριστικά υπαγωγής στον Οικότοπο 8330 (Εικόνα 4). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες στα σημεία παρατήρησης καταγράφηκαν με φορητό σύστημα γεωγραφικού προσδιορισμού θέσης τύπου Garmin GPSMAP 64st (Νταϊλιάνης κ.ά. 2020). Για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των σπηλαίων χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένο πρωτόκολλο παρακολούθησης του οικοτόπου «Θαλάσσια σπήλαια εξ ολοκλήρου ή κατά το ήμισυ κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας» (8330) όπως έχει τροποποιηθεί και εφαρμοστεί από το ΕΛΚΕΘΕ με βάση τις απαιτήσεις της Οδηγίας-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (MSFD2008/56/EC) και του «Σχεδίου Δράσης για την προστασία των σκοτεινών οικοσυστημάτων της Μεσογείου» της Σύμβασης της Βαρκελώνης (UNEP-MAP-RAC/SPA 2015, SPA/RAC–UN Environment/MAP & OCEANA 2017) (Παράρτημα Ι).



Εικόνα 4: Χάρτης της περιοχής μελέτης με τα σημεία στα οποία διερευνήθηκε η παρουσία υποθαλάσσιων σπηλαίων (Οικότοπος 8330). Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται η πραγματοποίηση αυτοψίας με αυτόνομη κατάδυση, με κίτρινο χρώμα η πραγματοποίηση αυτοψίας με ελεύθερη κατάδυση, και με μπλε χρώμα η επιφανειακή παρατήρηση από το σκάφος.

Για το σύνολο των σπηλαίων που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης και πληρούν τα χαρακτηριστικά υπαγωγής στον Οικότοπο 8330, δόθηκε κατ' ελάχιστο αδρή περιγραφή των κύριων μορφολογικών χαρακτηριστικών τους (θέση σπηλαίου, βάθος, μέγιστο ύψος και πλάτος εισόδου, χαρακτηριστικά είδη και απειλές, εάν υφίστανται). Η καταγραφή και συγκριτική ανάλυση των βιοκοινωνιών των υποθαλάσσιων σπηλαίων, καθώς και η καταγραφή του βαθμού διατήρησης και η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης πραγματοποιήθηκε στα πιο αντιπροσωπευτικά από τα σπήλαια που καταγράφηκαν στην περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 5).

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σχετική επιστημονική πληροφορία (χωρική και οικολογική) για τον συγκεκριμένο οικότοπο στην περιοχή και λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που ενέχει η υποβρύχια παραμονή σε συνθήκες σκοτεινότητας και περιορισμένου χώρου, επιλέχθηκαν 7 αντιπροσωπευτικά σπήλαια με αυξημένο ενδιαφέρον από πλευράς βιοποικιλότητας και μορφολογίας, καθώς και ποικιλότητας τοπογραφικών χαρακτηριστικών (π.χ. βάθος, μορφολογία) για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Χάρτης της περιοχής μελέτης με τα αντιπροσωπευτικά υποθαλάσσια σπήλαια από τα οποία λήφθηκαν φωτογραφικά πλαίσια σταθερής επιφάνειας για τον χαρακτηρισμό των βενθικών βιοκοινοτήτων.

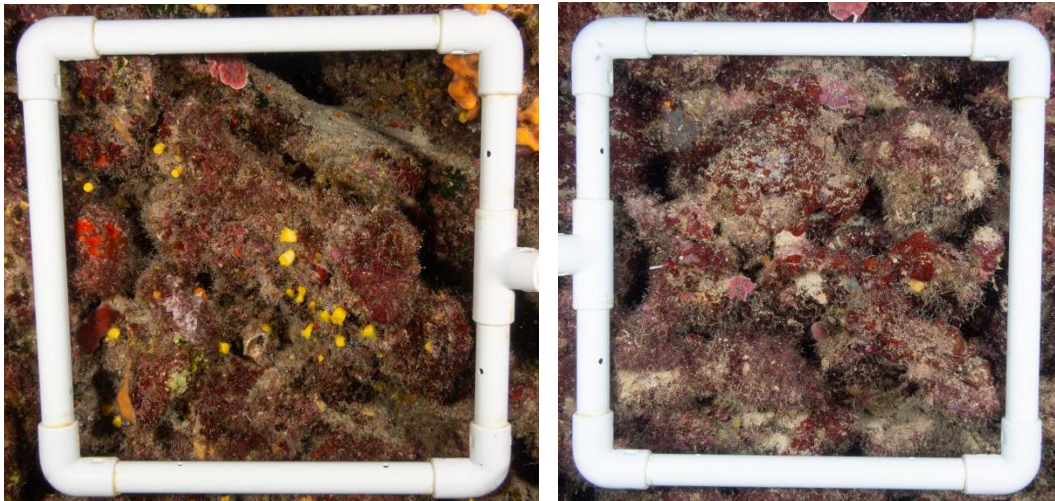
Για την ποιοτική και ποσοτική μελέτη των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων χρησιμοποιήθηκε μη καταστρεπτική φωτογραφική μέθοδος η οποία σύμφωνα με τους Bianchi *et al.* (2004) εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται: α) αντικειμενική εκτίμηση, β) επαναληψιμότητα, γ) χρήση σημείων αναφοράς για παρακολούθηση (monitoring), δ) δυνατότητα αυτοματοποίησης, ε) μεγάλη ταχύτητα της δειγματοληψίας, στ) μεγάλη δειγματοληπτική επιφάνεια και ζ) απουσία αρνητικών επιπτώσεων στο μελετώμενο οικοσύστημα. Μοναδικά μειονεκτήματα της φωτογραφικής μεθόδου αποτελούν οι δυσκολίες που προκύπτουν κατά τον ταξινομικό προσδιορισμό των ειδών και την επεξεργασία των φωτογραφιών (Bianchi *et al.* 2004, SPA/RAC–UN Environment/MAP & OCEANA 2017) καθότι σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός οργανισμών που εμφανίζουν ταξινομικές δυσκολίες, ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς ευκρίνειας και της έλλειψης βιολογικού δείγματος. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένες μέθοδοι και λογισμικά για την επεξεργασία και ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων (π.χ. Trygonis & Sini, 2012), ενώ συχνά πραγματοποιείται συμπληρωματική ποιοτική δειγματοληψία για τον ταξινομικό προσδιορισμό των οργανισμών στο εργαστήριο καθώς και τον προσδιορισμό σε ανώτερες ταξινομικές και μορφολογικές κατηγορίες όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο (Marti *et al.* 2004, Bussotti *et al.* 2006, Kipson *et al.* 2011). Εξαιτίας των επικρατέστερων πλεονεκτημάτων της, η φωτογραφική μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων, ιδιαίτερα σε ευαίσθητα και προστατευόμενα οικοσυστήματα όπως τα υποθαλάσσια σπήλαια και οι κοραλλιγενείς βιοκοινότητες. Οι οικότοποι αυτοί εμφανίζουν επίσης δυσκολίες πρόσβασης και συνθήκες περιορισμένου χώρου, ορατότητας και παραμονής (Garrabou *et al.* 1998, Marti *et al.* 2004, Bussotti *et al.* 2006, Kipson *et al.* 2011, Teixido *et al.* 2011, Gerovasileiou *et al.* 2013, 2017).

Για την ποιοτική και ποσοτική μελέτη της οικολογικής διαβάθμισης των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων χρησιμοποιήθηκε η φωτογραφική μη καταστρεπτική μέθοδος της ανάλυσης φωτογραφικών πλαισίων σταθερής επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφικά πλαίσια (photoquadrads) διαστάσεων (25x25εκ.). Η συγκεκριμένη δειγματοληπτική επιφάνεια έχει προταθεί ως πρότυπη για τη μελέτη σκιάφιλων μακροβενθικών και μεγαβενθικών κοινοτήτων σκληρού υποστρώματος της Μεσογείου από τους Kipson *et al.* (2011) καθώς εξασφαλίζει ευελιξία υποβρύχιας κίνησης των δυτών σε συνθήκες περιορισμένου χώρου (π.χ. υποθαλάσσια σπήλαια και κοιλότητες) και χωρική ανάλυση που επιτρέπει τη διάκριση και τον ταξινομικό προσδιορισμό ειδών συχνά στο κατώτερο ταξινομικό επίπεδο. Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια για τη μελέτη των βενθικών βιοκοινοτήτων των σπηλαίων του Αιγαίου (Gerovasileiou & Voultziadou 2016, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Dimarchopoulou *et al.* 2018, Διγενής 2019).

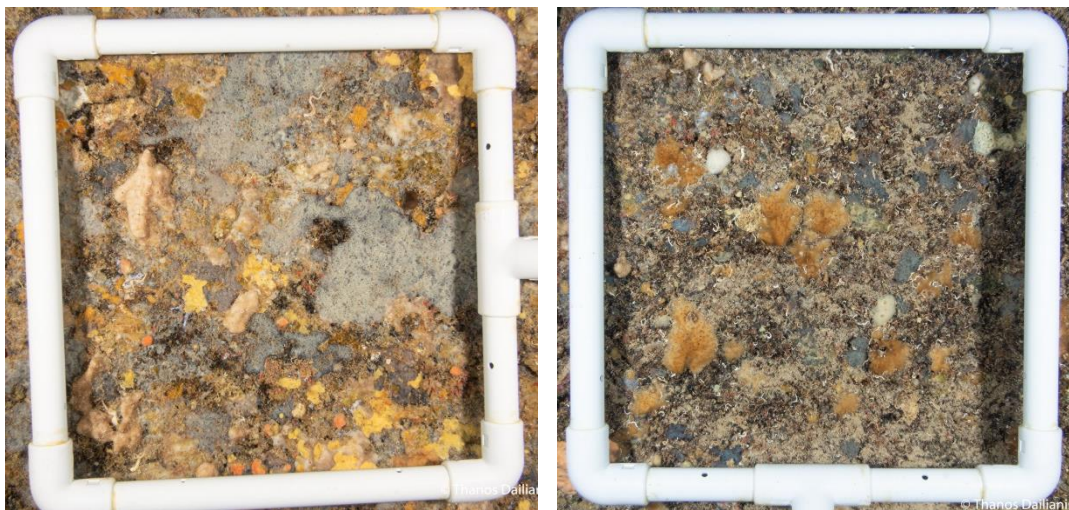
Συνολικά συλλέχθηκαν 140 φωτογραφικά πλαίσια, 10 από κάθε ζώνη εισόδου και ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων και 5 από κάθε σκοτεινή ζώνη. Από τη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων συλλέχθηκε μικρότερος αριθμός πλαισίων λόγω του μειωμένου διαθέσιμου χώρου στα σπήλαια που τη διέθεταν.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας συλλέχθηκε και επιπλέον φωτογραφικό υλικό από το εσωτερικό των σπηλαίων για τη καταγραφή του συνόλου της βιοποικιλότητας (ποιοτική μελέτη) καθώς και των πιέσεων και απειλών που δέχονται τα μελετώμενα σπήλαια.

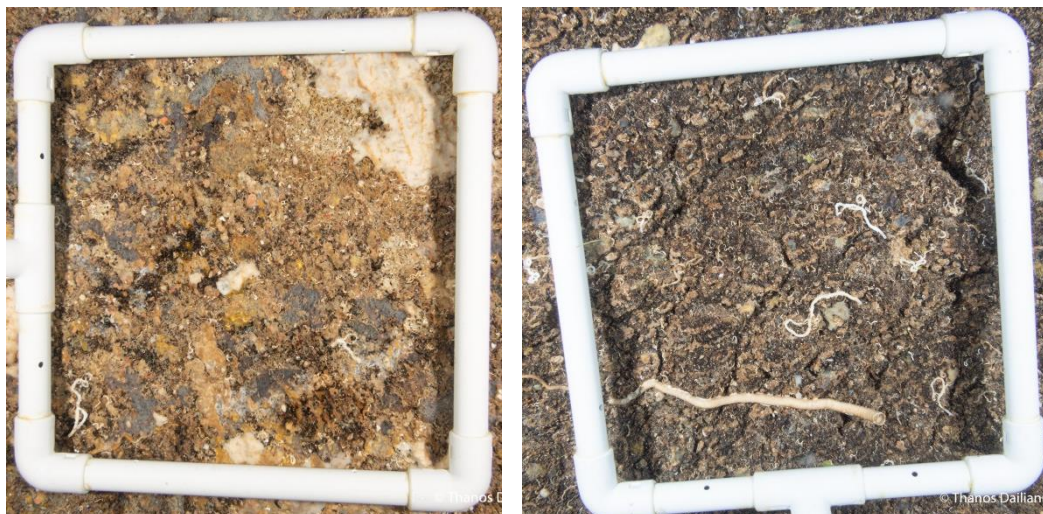
Οι φωτογραφίες λήφθηκαν με φωτογραφική κάμερα τύπου Olympus OM-D E-M5 (16MP resolution, Micro 4/3 mirrorless) και φακό M.Zuiko Digital 12-50mm f/3.5-6.3 EZ, με χρήση δύο υποβρύχιων φλας INON Z-240 type IV. Στις Εικόνες 6-8 παρουσιάζονται ενδεικτικά φωτογραφικά πλαίσια, ένα για κάθε μία από τις τρεις οικολογικές ζώνες για τα δύο σπήλαια που διέθεταν σκοτεινή ζώνη (Τρούλακας και Παλάτια).



Εικόνα 6: Φωτογραφικά πλαίσια από τα τοιχώματα της ζώνης εισόδου (CE) των σπηλαίων: Τρούλακας (αριστερά) και Παλάτια (δεξιά).



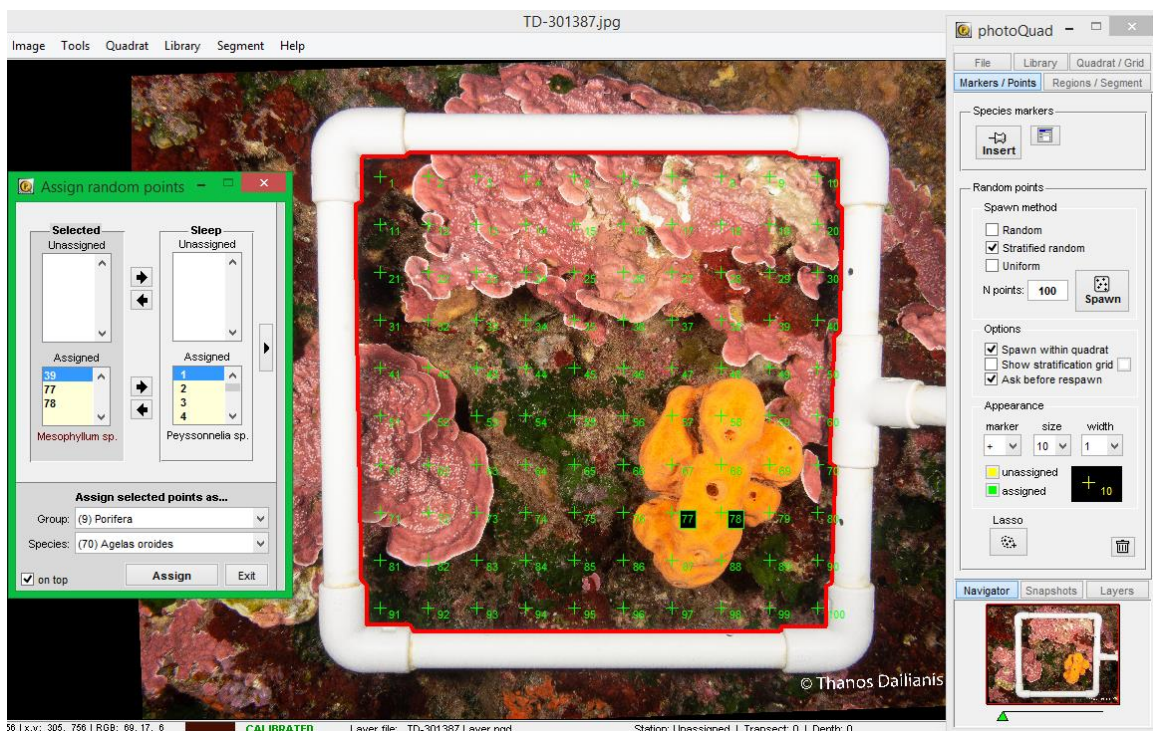
Εικόνα 7: Φωτογραφικά πλαίσια από τα τοιχώματα της ημισκότενης ζώνης (SZ) των σπηλαίων: Τρούλακας (αριστερά) και Παλάτια (δεξιά).



Εικόνα 8: Φωτογραφικά πλαίσια από τα τοιχώματα της σκοτεινής ζώνης (DZ) των σπηλαίων: Τρούλακας (αριστερά) και Παλάτια (δεξιά).

### 3.4 Επεξεργασία φωτογραφικών πλαισίων

Συνολικά συλλέχθηκαν 140 φωτογραφικά πλαίσια για την αναγνώριση των εδραίων οργανισμών στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των μελετώμενων σπηλαίων. Τα φωτογραφικά πλαίσια αναλύθηκαν ψηφιακά μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού επεξεργασίας εικόνων photoQuad (Trygonis & Sini 2012). Το λογισμικό αυτό είναι κατάλληλο για τη μελέτη βενθικών κοινοτήτων σκληρού υποστρώματος και παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής πολλών διαφορετικών τρόπων υπολογισμού τόσο της επιφάνειας κάλυψης των ειδών όσο και της παρουσίας/απουσίας τους σε ένα πολυεπίπεδο περιβάλλον. Μέσω του προγράμματος είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέτρηση τυχαία διατεταγμένων σημείων (random point counts), μέτρηση κελιών συγκεκριμένων διαστάσεων μετά από υπέρθεση πλέγματος (grid cell counts), χειροκίνητη σχεδίαση περιοχών ενδιαφέροντος (freehand regions) καθώς και κατακερματισμός χρωματικών περιοχών (segmentation-based regions). Για τη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση ισοκατανεμημένων σημείων (uniform). Πρώτα δημιουργήθηκε μια βιβλιοθήκη ειδών (species library) η οποία περιελάμβανε όλα τα τάξα και είδη που εμφανίζονται στα φωτογραφικά πλαίσια και σε επιπλέον φωτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε οριοθέτηση και βαθμονόμηση των φωτογραφικών πλαισίων και ακολούθησε η ανάλυση με υπέρθεση 100 ισοκατανεμημένων σημείων στο οριοθετημένο πλαίσιο και αντιστοίχιση κάθε σημείου με το αναγνωρισμένο είδος ή την ομάδα οργανισμών από την βιβλιοθήκη ειδών. Για τα τάξα των φωτογραφικών πλαισίων στα οποία δεν έπεσε κάποιο από τα 100 σημεία δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός της ποσοστιαίας κάλυψης τους και συνεπώς πραγματοποιήθηκε μόνο αναγνώριση και καταγραφή της παρουσίας τους. Ο προσδιορισμός των ειδών πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια εικόνων από βάσεις δεδομένων βιοποικιλότητας (π.χ. DORIS 2017, WoRCS 2016 και WoRMS 2019) και από εγχειρίδια για τη Μεσογειακή βιοποικιλότητα (Le Granché *et al.* 2018, André *et al.* 2014, Trainito 2004).



Εικόνα 9: Στιγμιότυπο από την ανάλυση φωτογραφικού πλαισίου από την είσοδο του σπηλαίου του Αγίου Παντελεήμονα με το λογισμικό PhotoQuad.

### 3.5 Αναγνώριση κινητικών ειδών

Εκτός των βιοκοινωνιών εδραίων οργανισμών, στα αντιπροσωπευτικά σπήλαια της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε επίσης καταγραφή των τάξων με δυνατότητα ενεργού μετακίνησης (κινητικής πανίδας, motile fauna), τα οποία μπορεί να αποτελούν περιστασιακούς επισκέπτες των σπηλαίων ή και αποκλειστικά σπηλαιόβια είδη. Η καταγραφή αυτή πραγματοποιήθηκε με επιτόπιες παρατηρήσεις της ομάδας επιστημονικής κατάδυσης κατά τη διάρκεια της αυτοψίας στα σπήλαια ή από εκ των υστέρων ανάλυση φωτογραφιών. Εφαρμόστηκε πρωτόκολλο παρακολούθησης σε 6 σπήλαια της Ν. Καρπάθου: Τρούλακας, Φωκοσπηλιά και της Ν. Σαρίας: Παλάτια, Άγιος Παντελεήμονας, Γιουριούς, και Οξώνησος. Ο προσδιορισμός των κινητικών ειδών από το επιπλέον φωτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε, επιτεύχθηκε με τη βοήθεια οδηγών αναγνώρισης και βάσεις δεδομένων βιοποικιλότητας (Lousy 2015, DORIS 2017, WoRCS 2016 και WoRMS 2019).

### 3.6 Στατιστική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκαν πολυμεταβλητές, μη παραμετρικές στατιστικές αναλύσεις με τη χρήση του λογισμικού στατιστικής επεξεργασίας PRIMER-6. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

#### Πολυμεταβλητές Μέθοδοι Στατιστικής Επεξεργασίας

Για πολλές από τις αναλύσεις που ακολουθούν, υπολογίζεται η (αν)ομοιότητα (S) μεταξύ κάθε ζεύγους δειγμάτων, με βάση τη σύνθεση και αφθονία των ειδών που περιλαμβάνουν. Ο συντελεστής (αν)ομοιότητας S είναι τυπικά καθορισμένος να παίρνει τιμές σε μια κλίμακα με μέγιστη τιμή S = 100% (ή 1) όταν δύο δείγματα είναι εξ ολοκλήρου όμοια και ελάχιστη τιμή S = 0 αν δύο δείγματα είναι εξ ολοκλήρου ανόμοια. Από τους πολλούς συντελεστές ομοιότητας που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, ο πιο κοινός στις οικολογικές μελέτες, είναι ο συντελεστής ανομοιότητας Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957):

$$S_{jk} = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^S |Y_{ij} - Y_{ik}|}{\sum_{i=1}^S |Y_{ij} + Y_{ik}|} \right)$$

όπου:  $S_{jk}$  : η εκατοστιαία ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων j και k,  $Y_{ij}$  : η αφθονία του είδους i στο δείγμα j,  $Y_{ik}$  : η αφθονία του είδους i στο δείγμα k και S: ο συνολικός αριθμός των ειδών.

#### Μέθοδος μη μετρικής Πολυδιάστατης Κλιμάκωσης (non-Metric Multi-Dimensional Scaling, nMDS)

Για την απεικόνιση του προτύπου πανιδικής ομοιότητας μεταξύ των 140 συνολικά φωτογραφικών πλαισίων (70 από τη ζώνη εισόδου, 60 από την ημισκότεινη ζώνη και 10 από την σκοτεινή ζώνη) χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της Πολυδιάστατης Κλιμάκωσης (nMDS). Η μέθοδος nMDS έχει σαν σημείο εκκίνησης έναν πίνακα ομοιότητας μεταξύ των δειγμάτων (π.χ. με βάση το δείκτη Bray-Curtis). Η μέθοδος δημιουργεί ένα διάγραμμα με συγκεκριμένο αριθμό διαστάσεων (συνήθως 2 ή 3), στο οποίο τα δείγματα τοποθετούνται με βάση την (αν)ομοιότητά τους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αν το δείγμα 1 έχει μεγαλύτερη ομοιότητα με το δείγμα 2 από ότι με το 3, τότε το δείγμα 1 θα τοποθετηθεί στο διάγραμμα πλησιέστερα στο 2 από ότι στο 3. Στη συνέχεια, οι τιμές της (αν)ομοιότητας των δειγμάτων αλλάζουν με βάση συγκεκριμένο αλγόριθμο και επανατοποθετούνται στο διάγραμμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχει αλλαγή της θέσης τους στο διάγραμμα. Η σύγκριση των δειγμάτων γίνεται συνήθως σε τρισδιάστατο περιβάλλον και μετατρέπεται στη συνέχεια τα αποτελέσματα σε δισδιάστατη απεικόνιση όταν αυτό είναι δυνατό. Ωστόσο η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εκτιμάται

από το επίπεδο του stress. Καλή κατανομή και συνεπώς μικρότερη πιθανότητα για σφάλμα στη διάταξη των σημείων στο διάγραμμα, προκύπτει όταν τα επίπεδα του stress είναι συνήθως  $< 0,01$  (Clarke & Warwick, 1994). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του stress, τόσο καλύτερη και ακριβέστερη είναι η αναπαράσταση σε απεικόνιση λιγότερων διαστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, όταν η τιμή του stress είναι μικρότερη του 0,05 αντιπροσωπεύει αναπαράσταση τέλει συμφωνίας μεταξύ των θέσεων των σημείων στο χάρτη και των τιμών της ανομοιοτήτάς τους. Τιμές μικρότερες του 0,1 είναι ενδεικτικές πολύ καλής αναπαράστασης ενώ μικρότερες του 0,2 και του 0,3, καλής και αδύναμης αντίστοιχα.

### **Ανάλυση SIMPER (Similarity Percentage)**

Με την τεχνική της ανάλυσης SIMPER προσδιορίζεται η συνεισφορά του κάθε είδους στη διαμόρφωση της ανομοιοτήτας (Bray-Curtis dissimilarity), τόσο μεταξύ των σταθμών όσο και μεταξύ των ομάδων των σταθμών, με τη μορφή ποσοστού (Clarke & Warwick 1994, 2001). Τα διάφορα είδη κατατάσσονται σε πίνακα με μειούμενη σειρά ποσοστιαίας συνεισφοράς στο συνολικό ποσοστό ανομοιοτήτας του συντελεστή Bray-Curtis (ως γραμμές), μεταξύ των σταθμών ή των ομαδοποιημένων περιοχών (ως στήλη). Επίσης, καταγράφεται σε στήλη, δίπλα από τη συνεισφορά κάθε είδους και το άθροισμα της ποσοστιαίας ανομοιομορφίας με τα προηγούμενα ποσοστά, μέχρι να συμπληρωθεί ένα μεγάλο ποσοστό (π.χ. το 90%) της συνολικής ανομοιομορφίας των δειγμάτων. Από τα αρχικά δεδομένα της αφθονίας των ειδών, ξεχωρίζονται τα είδη που παρουσιάζονται με τις υψηλότερες αφθονίες σε κάθε σταθμό ή ομάδα σταθμών (μέσος όρος αφθονίας), τα οποία θεωρούνται 'τυπικά' για το σταθμό ή τις ομάδες των σταθμών. Συνεπώς, τα είδη αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν παράγοντες για το διαχωρισμό των σταθμών ή των δειγμάτων που απαρτίζουν μια ομάδα σταθμών.

### **Έλεγχος Διαφορετικότητας Μεταξύ των Δειγμάτων (ANOSIM: Analysis of Similarities)**

Η τεχνική ελέγχου της σημαντικότητας της (αν)ομοιότητας μεταξύ ομάδων δειγμάτων οι οποίες καθορίζονται από πριν (ANOSIM), προτάθηκε από τους Clarke & Green (1988). Σαν κριτήριο για την αρχική (*a priori*) ομαδοποίηση των δειγμάτων μπορεί να ορισθεί οποιοσδήποτε παράγοντας ομαδοποίησης που δεν έχει σχέση με τα βιοτικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται (π.χ. κοκκομετρία, βάθος, υπόστρωμα, κλπ). Στη συνέχεια, ο μέσος όρος της απόστασης κάθε ομάδας δειγμάτων που ορίζεται με βάση τους παραπάνω παράγοντες, μπορεί να συγκριθεί με εκείνους των άλλων ομάδων. Αν οριστεί ο μέσος όρος ανομοιοτήτας των δειγμάτων εντός των ομάδων που έχουν οριστεί ως  $r_w$ , ενώ εκείνος της ανομοιοτήτας των δειγμάτων μεταξύ των ομάδων ως  $r_b$ , τότε προκύπτει η σχέση:

$R = (r_b - r_w) / (M/2)$  όπου:  $M = n(n-1) / 2$  και  $n =$  ο αριθμός των συνολικών δειγμάτων. Το R παίρνει τιμές μεταξύ των ορίων (-1 και 1). Όσο μικρότερη είναι η ομοιότητα μεταξύ των ομάδων σταθμών, τόσο η τιμή του R τείνει προς το 1 (Clarke & Warwick 1994).

Μέσω των pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM τα δείγματα μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τον εκάστοτε μελετώμενο παράγοντα και να συγκριθούν μεταξύ τους ανά ζεύγη υπολογίζοντας την τιμή του p-value για κάθε ζεύγος. Έτσι, αν το p-value έχει τιμή μικρότερη του 0,05, ο βαθμός ανομοιοτήτας των δειγμάτων μεταξύ των ομάδων θεωρείται στατιστικά σημαντικός και απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση σύμφωνα με την οποία δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των συγκρινόμενων δειγμάτων.



## 4. Αποτελέσματα

### 4.1 Μακροβενθική βιοποικιλότητα των σπηλαίων

#### 4.1.1. Καταγραφή εδραίων οργανισμών

Συνολικά, στα σπήλαια της Βόρειας Καρπάθου και Νήσου Σαρίας καταγράφηκε ιδιαίτερα πλούσια βιοποικιλότητα. Από τις αναγνωρίσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις βιοκοινότητες των τάξων μέσα από την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων αλλά και από επιπλέον φωτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε από τα επτά αντιπροσωπευτικά σπήλαια κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας ταξινομήθηκαν 78 τάξα εδραίων οργανισμών για το σκληρό υπόστρωμα. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι σε κάθε οικολογική ζώνη βρέθηκε συνολικά διαφορετικός αριθμός τάξων. Στη ζώνη εισόδου όλων των σπηλαίων βρέθηκαν συνολικά 72 τάξα ενώ στην ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη βρέθηκαν 56 και στη σκοτεινή 18 τάξα. Ο μικρότερος αριθμός τάξων στη σκοτεινή ζώνη οφείλεται αφενός στις σκοτεινές και ολιγοτροφικές συνθήκες που επικρατούν και αφετέρου στο μικρό αριθμό πλαισίων καθότι συνθήκες σκότους παρατηρήθηκαν μόνο σε δύο σπήλαια (Παλάτια και Τρούλακας) και είχαν μικρή έκταση. Μεταξύ των εδραίων τάξων που αναγνωρίστηκαν 6 προστατεύονται από διεθνής συμβάσεις. Τα τάξα που αναγνωρίστηκαν με βάση το σύνολο των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν και η ζώνη στην οποία καταγράφηκε το κάθε ένα από αυτά, εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας με το ποσοστό κάλυψης επί τις εκατό (%) όλων των εδραίων τάξων και μορφολογικών ομάδων που καταγράφηκαν για κάθε μία από τις οικολογικές ζώνες των επτά μελετώμενων σπηλαίων. ✓ Παρουσία τάξου στα πλαίσια αλλά εκτός των 100 ισοκετανεμημένων σημείων, \* Προστατευόμενα είδη σύμφωνα με τις Συνθήκες Βέρνης και Βαρκελώνης (Annex II: list of endangered or threatened species), † Προστατευόμενα είδη σύμφωνα με τη σύμβαση για το διεθνές εμπόριο των απειλούμενων ειδών άγριας πανίδας και χλωρίδας (CITES – Appendix II). Encrusting Rhodophyta: απροσδιόριστα κρουστώδη ροδοφύκη, Rhodophyte necrosis: νεκρά ροδοφύκη, Turf-forming algae: νηματοειδή φύκη, Encrusting Bryozoa: απροσδιόριστα κρουστώδη βρυόζωα, Bryozoa turf: νηματοειδή βρυόζωα, UBS: απροσδιόριστο βιογενές υπόστρωμα, Bare rock: γυμνός βράχος, Holes: τρύπες, Sediment: ίζημα που έχει καθιζάνει σε βιογενές υπόστρωμα.

Species	ALIMOUNDA		FOKOSPILIA		GIOURIOUS		OXONISOS		PALATIA			PANTELEIMONAS		TROULAKAS		
	CE	CE	SD	CE	SD	CE	SD	CE	SD	DZ	CE	SD	CE	SD	DZ	
<b>Macroalgae</b>																
<i>Amphiroa</i> sp.				0,1							0,1					
<i>Beckerella dentata</i>	8,2															
Encrusting Rhodophyta	15,6	8,2		10,4	14,3	4,8	3,8	10,1	1,1		4,5	7,7	13	0,7		
Green filamentous algae													0,6			
<i>Hildenbrandia</i> sp.													0,3			
<i>Mesophyllum</i> sp.	9	1,6		9,1	1,6	6,9	0,6	2,4			14,6		1,4			
<i>Palmophyllum crassum</i>	1,4	✓		13,4		23,1	2	0,5			15		1,2			
<i>Peyssonelia</i> sp.	15,2	18,2		22,3	2,9	12	2,2	51,2			27	2,6	7,3			
<i>Peyssonelia</i> sp.2	0,1	0,1														
Rhodophyte necrosis	2,5			0,9	2,1	0,8					2,9	0,1	0,5			
Turf-forming algae	0,3	0,4					✓						0,4			
<i>Peyssonelia rossa-marina</i>	✓															
<i>Valonia macrophysa</i>	✓															
<b>Foraminifera</b>																
<i>Miniacina miniacea</i>	✓	0,1	0,2	0,4	1,2	0,4	1,5	0,1	0,7	0,2	0,1	4,3		0,9	0,6	
<b>Porifera</b>																
<i>Agelas oroides</i>	6,4			0,4	1,1	3,8	3,4	0,4			4,5		4,9	1,5		
<i>Agelas oroides</i> necrosis						0,2										
<i>Aplysilla sulfurea</i>	0,9						0,1		✓					1,5		
<i>Aplysina</i> sp. *									✓	✓						
<i>Axinella damicornis</i>	0,6			0,4		0,1	0,7		✓		0,3		1,2	0,7		
<i>Chondorsia reniformis</i>		0,1		0,5		1,1								✓		

Species (συνέχεια)	ALIMOUNDA		FOKOSPILIA		GIOURIOUS		OXONISOS		PALATIA			PANTELEIMONAS		TROULAKAS		
	CE	SD	CE	SD	CE	SD	CE	SD	CE	SD	DZ	CE	SD	CE	SD	DZ
<i>Cliona celata</i>	✓			0,2		✓		✓	0,1	✓						
<i>Cliona schmidtii</i>									0,4	0,4						
<i>Crambe crambe</i>						0,2									0,7	
<i>Dedroxea lenis</i>	1,4		1,9		2,1	20,8	4	12,9	1,8	14,5	4,2	0,1	26,9	1,7	25,8	11,6
<i>Diplastrella bistellata</i>				1,5						0,4					0,7	2
<i>Fasciospongia cavernosa</i>	0,4		1,4			0,6	1,1					0,1		0,4		
<i>Haliclona (Reniera) aquaeductus</i>								✓	0,2							
<i>Haliclona mucosa</i>	0,3				0,3	1,3		0,4	0,2	0,2		0,1		1,2	0,5	
<i>Hexadella pruvoti</i>	0,3				0,2	0,8	0,1	0,8		0,3				0,1	✓	
<i>Hexadella sp.</i>					✓			✓			✓			✓		
<i>Ircinia oros</i>					0,5	0,1										
<i>Ircinia variabilis</i>	0,1							0,1						0,2		
<i>Merlia normani</i>	3,2				0,2	15,1	0,8	1,1	0,1	✓			2,5		1,1	0,6
<i>Merlia sp.</i>	0,2						0,1									
<i>Oceanapia sp.</i>									✓							
Orange encrusting sponge	0,1	0,1	3,7		1,4	1,9	0,3	1,3	0,2	2,5	0,4		7	1,9	2,7	0,2
<i>Penares sp.</i>	1,2				1,1	3,8	1	6,6	0,1	1,1		0,5	12	2,9	5,9	0,4
<i>Petrobiona massiliana</i> *								✓							✓	
<i>Petrosia ficiformis</i>	0,1								0,1	✓				0,2		
<i>Plakina sp.</i>										4,4					0,2	4,2
Plakinidae				6,8						✓	0,2					1,8
<i>Pleraplysilla spinifera</i>												0,6		0,2		
<i>Prosuberites sp.</i>	0,1				0,5	1,8	0,2	0,2				0,2	2,1	0,9	1,8	
<i>Spirastrella cuncatrix</i>	0,6	21,6	4,7		3,1	5,4	17,6	23	0,2	2,6	2,2	0,1	3,9	0,3	4,1	21,6
<i>Spirastrella cuncatrix necrosis</i>								0,2								
<i>Spongosorites intricatus</i>						✓	0,1			0,1	0,2	✓			0,4	0,8
<i>Sycon sp.</i>	✓								✓							
<i>Terpios gelatinosa</i>												0,2			✓	
<i>Thymosiopsis cuticulatus</i>					0,6		0,2	1,5				0,2		0,1	1,8	

Species (συνέχεια)	ALIMOUNDA		FOKOSPILIA		GIOURIOUS		OXONISOS		PALATIA			PANTELEIMONAS		TROULAKAS		
	CE	CE	SD	CE	SD	CE	SD	CE	SD	DZ	CE	SD	CE	SD	DZ	
White sponge							0,1		0,3							
Yellow encrusting sponge	0,4	2,1		0,4		0,1	0,4	0,2	0,4	0,2		5,5	0,2	3,8	3,2	
<b>Cnidaria</b>																
<i>Caryophyllia inornata</i> †		0,1			✓		✓		✓			0,1		✓		
<i>Eudendrium</i> sp.	0,2															
<i>Leptopsammia pruvoti</i> necrosis	0,1															
<i>Leptopsammia pruvoti</i> †	4,1			0,5	0,5		0,2					0,1	3,4	0,2		
<i>Madracis pharensis</i> †	0,4				0,5		0,8				1,8		3,1	0,4		
<i>Parazoanthus axinellae</i>														✓		
<b>Crustacea</b>																
Cirripedia					✓							0,2				
<b>Polychaeta</b>																
Serpulidae	✓	5,6	10,6	0,2	0,2	0,3	3	1,4	11,1	15,8	0,3	0,4	15,7	8,3	9,8	
<b>Mollusca</b>																
<i>Neopycnodonte cochlear</i>		0,3	1													
<i>Lithophaga lithophaga</i> *				✓	✓						✓					
<b>Brachiopoda</b>																
<i>Argyrotheca cuneata</i>	✓				✓				✓	0,4	✓			✓		
<i>Megathiris detruncata</i>	✓								✓	0,2				✓		
<i>Novocrania</i> sp.			✓													
<b>Bryozoa</b>																
<i>Adeonella</i> sp.	0,1															
<i>Beania magellanica</i>	0,3															
Bryozoan turf	25	11,6	5,2	24,6	18,3	10,8	7,8	9,2	1,2		22,3	2,8	4,4	2,2		
<i>Bugula</i> sp.			0,2													
<i>Caberea boryi</i>	0,5	0,3		0,2			✓		✓		0,2		0,2			
<i>Cellepora pumicosa</i>	0,1						✓							0,3		
Encrusting Bryozoa	4,3	6,8	7,4	2,9	2	3,8	6,7	1	0,7	5,8	0,5	2,7	11,6	9,3	9,4	

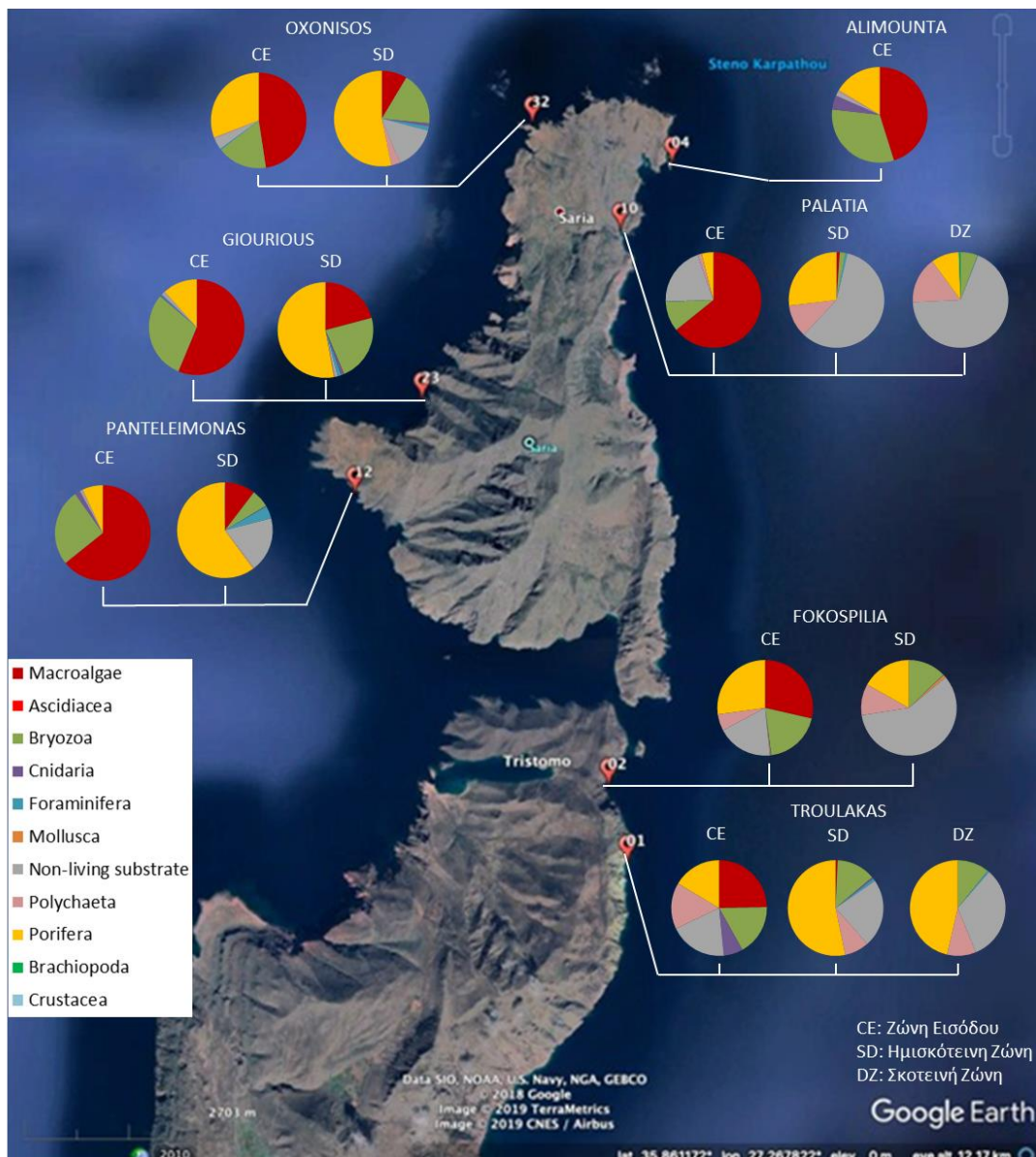
Species (συνέχεια)	ALIMOUNDA		FOKOSPILIA		GIOURIOUS		OXONISOS		PALATIA			PANTELEIMONAS		TROULAKAS		
	CE		CE	SD	CE	SD	CE	SD	CE	SD	DZ	CE	SD	CE	SD	DZ
<i>Hippaliosina depressa</i>																✓
<i>Margaretta cereoides</i>												0,4				
<i>Membranipora membranacea</i>	✓				0,1	0,1						✓				1
<i>Myriapora truncata</i>	0,5											0,1			✓	
Orange bryozoan	✓															
<i>Patinella radiata</i>												✓				
<i>Reptadeonella violacea</i>												0,1				
<i>Reteporella</i> sp.	✓					0,1	0,1	0,9				0,6	0,1		0,3	
<i>Schizobrachiella sanguinea</i>			0,5													
<i>Schizomavella</i> sp.	0,8		0,1		2,1	2,2	2,2	2,6				1,7	0,5	1	1,1	0,4
<b>Asciaceae</b>																
Didemnidae				✓			✓	✓	✓			✓				
<i>Halocynthia papillosa</i>					0,1							0,2				
<i>Pycnoclavella nana</i>			0,1			✓				✓					✓	
<b>Other</b>																
Bare rock			18	58	0,2	0,3	2,5	12	0,2	56,3	67,2		17,2	11,1	5,1	12,6
Holes			0,3		0,3	0,2	0,3		0,6	0,3	0,8	0,5	0,8	1,8	0,1	
Sediment								2,5	19,2	1,7				6,2	17,5	19,8
UBS			0,5	0,5	0,5	0,6	1,2	0,2	0,1		0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	
<b>Άθροισμα τάξων ανά ζώνη κάθε μελετώμενου σπήλαιου</b>	<b>47</b>		<b>25</b>	<b>15</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>41</b>	<b>27</b>	<b>32</b>	<b>17</b>	<b>37</b>	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>17</b>

Από την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων αλλά και επιπλέον φωτογραφικού υλικού καταγράφηκαν 78 τάξα εδραίων οργανισμών εκ των οποίων 33 σπόγγοι (Porifera), 17 βρυόζωα (Bryozoa), 12 μακροφύκη (Macroalgae), 5 κνιδόζωα (Cnidaria), 3 βραχιόποδα (Brachiopoda), 3 ασκίδια (Ascidacea), 2 μαλάκια (Mollusca), 1 τρηματοφόρο (Foraminifera), 1 πολύχαιτος (Polychaeta) και 1 καρκινοειδές (Crustacea). Τα παραπάνω καταγράφηκαν σε επίπεδο είδους (47), γένους (18), οικογένειας (3) ή σε ανώτερες λειτουργικές/ταξινομικές ομάδες (10) (Πίνακας 1). Ο υπολογισμός του ποσοστού κάλυψης πραγματοποιήθηκε μόνο για τα 67 από τα 78 τάξα που αναγνωρίστηκαν διότι σε αυτά αντιστοιχούσαν ισοκατανεμημένα σημεία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποια τάξα προσδιορίστηκαν σε ανώτερο ταξινομικό επίπεδο ή/και μορφολογικές ομάδες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός ορισμένων ειδών μόνο από το υπάρχον φωτογραφικό υλικό. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων μορφολογικών ομάδων αποτελούν τα Encrusting Rhodophyta, Green filamentous algae, *Peyssonnelia* spp., τα βρυόζωα (Bryozoan turf και Encrusting Bryozoa) και κάποιοι σπόγγοι (π.χ. Orange encrusting sponge, White sponge, Yellow encrusting sponge). Στις μορφολογικές ομάδες μπορεί να εμπεριέχονται περισσότερα από ένα είδη αλλά για τον ακριβή προσδιορισμό τους απαιτείται η λήψη δειγμάτων. Επιπλέον, καταγράφηκαν 7 κατηγορίες αβιοτικού υποστρώματος μεταξύ των οποίων ήταν οι επιφάνειες νεκρών ροδοφυκών και των σπόγγων *Agelas oroides* και *Spirastrella cunctatrix*, απροσδιόριστο βιογενές υπόστρωμα (UBS: Unidentified Biogenic Substrate), γυμνός βράχος, τρύπες και ίζημα που έχει καθιζάνει σε βιογενές υπόστρωμα.

Διαπιστώθηκε πως σε κάθε οικολογική ζώνη του σπηλαίου επικρατούν διαφορετικές ομάδες οργανισμών. Συγκεκριμένα τα Μακροφύκη (κυρίως σκιοφίλα Ροδόφυτα) εμφάνισαν τη μεγαλύτερη χωρική κάλυψη στα τοιχώματα της ζώνης εισόδου των σπηλαίων με μέσο ποσοστό κάλυψης που κυμαίνεται από 28,5 έως 64,2% ανάλογα με το σπήλαιο. Για τη ζώνη εισόδου, με μικρότερο ποσοστό κάλυψης ανά σπήλαιο εμφανίζονται τα Βρυόζωα με εύρος τιμών από 10,2 έως 31,6% και οι σπόγγοι με εύρος 4-30,8%. Αντίθετα, στα τοιχώματα της ενδιάμεσης ημισκότεινης ζώνης των περισσότερων σπηλαίων μεγαλύτερη χωρική κάλυψη εμφανίζουν οι Σπόγγοι με ποσοστό κάλυψης (52,9-59,9%) ενώ για τα σπήλαια Φωκοσπηλιά και Παλάτια παρατηρείται το υπόστρωμα χωρίς παρουσία οργανισμών να εμφανίζει ποσοστό 58,5% και 58,3% αντίστοιχα. Εξίσου μεγάλα ποσοστά κάλυψης στην ημισκότεινη ζώνη εμφανίζουν στα περισσότερα σπήλαια και τα βρυόζωα με ποσοστό 1,9-22,7%. Τέλος, στη σκοτεινή ζώνη φαίνεται να επικρατεί το γυμνό από τάξα υπόστρωμα, ενώ σημαντικό ποσοστό κάλυψης εμφανίζουν οι πολύχαιτοι της οικογένειας Serpulidae.

Το ποσοστό κάλυψης για τις διαφορετικές ομάδες που προέκυψαν για κάθε οικολογική ζώνη κάθε μελετώμενου σπηλαίου απεικονίζεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10: Χάρτης Β. Καρπάθου – Σαρίας με τα ποσοστά κάλυψης των διαφορετικών ομάδων οργανισμών στα φωτογραφικά πλαίσια της κάθε οικολογικής ζώνης κάθε μελετώμενου σπηλαιού (CE: ζώνη εισόδου, SD: ημισκότεινη ζώνη, DZ: σκοτεινή ζώνη).

Στην Εικόνα 10 παρατηρείται πως στην ζώνη εισόδου (CE) όλων των σπηλαίων επικρατούν ως προς την κάλυψη επιφάνειας τα μακροφύκη. Αντίθετα στην ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη (SD) των σπηλαίων το ποσοστό κάλυψης των μακροφυκών μειώνεται και επικρατούν ολοένα και περισσότερο ζωϊκές ομάδες. Όσον αφορά στους σπόγγους, φαίνεται πως σχεδόν σε όλα τα σπήλαια (εκτός της Φωκοσπηλιάς), αυξάνεται το ποσοστό κάλυψης τους προς την εσωτερική ημισκότεινη ζώνη. Παρατηρείται ακόμη πως από την είσοδο προς την ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη και μέχρι και την εσωτερική σκοτεινή ζώνη (μικρής έκτασης στα σπήλαια Παλάτια και Τρούλακας) το υπόστρωμα χωρίς βιοτική κάλυψη αυξάνεται ενώ τα βρυόζωα μειώνονται βαθμιαία. Το ποσοστό βιοτικής κάλυψης από πολύχαιτους και βραχιόποδα φαίνεται να αυξάνει στην εσωτερική σκοτεινή ζώνη ενώ αντίθετα, τα βενθικά τρηματοφόρα (*Miniacina miniacea*) φαίνεται να αυξάνονται στην ημισκότεινη ζώνη. Για τις υπόλοιπες ομάδες οργανισμών (ασκίδια, μαλάκια, κνιδόζωα και θυσανόποδα καρκινοειδή) δεν φαίνεται κάποιο σταθερό πρότυπο κατανομής μεταξύ των διαφορετικών ζωνών των σπηλαίων.

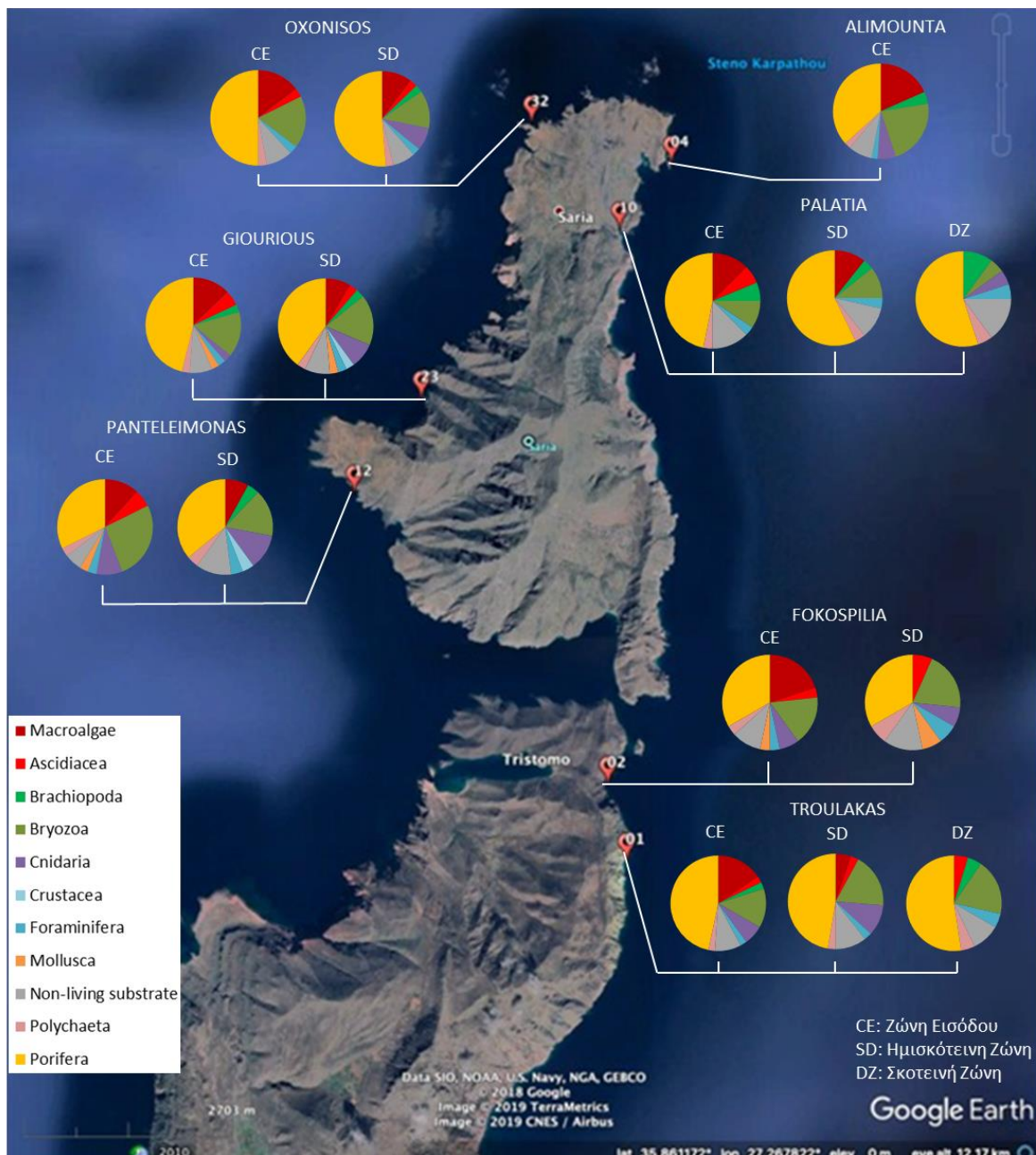
Στη συνέχεια συγκρίθηκαν μεταξύ τους τα μελετώμενα σπήλαια ως προς το ποσοστό κάλυψης που εμφανίζουν οι διαφορετικές ομάδες οργανισμών στις αντίστοιχες οικολογικές τους ζώνες. Παρατηρείται πως τα μακροφύκη εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά κάλυψης (>45%) στα πέντε σπήλαια της νήσου Σαρίας και μικρότερα (28% και 25% αντίστοιχα) στα σπήλαια Φωκοσπηλιά και Τρούλακας στη Β. Κάρπαθο που είχαν εξολοκλήρου βυθισμένη είσοδο

Αντίθετα, οι σπόγγοι εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά κάλυψης (>50%) στην ημισκότεινη ζώνη των τριών σπηλαίων που βρίσκονται δυτικά της νήσου Σαρίας (Παντελεήμονας, Γιουριούς, Οξώνησος) και στον Τρούλακα της Β. Καρπάθου. Στην ίδια ζώνη φαίνεται να εκτείνεται σημαντικά και το υπόστρωμα χωρίς βιοτική κάλυψη για τα σπήλαια Παλάτια και Φωκοσπηλιά (>50%) ενώ για τα υπόλοιπα σπήλαια στην ίδια ζώνη το γυμνό από οργανισμούς υπόστρωμα εκτείνεται μέχρι και 25%.

Τέλος, τα βρυόζωα φαίνεται να έχουν σημαντικό ποσοστό κάλυψης (>25%) στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων Παντελεήμονας, Γιουριούς και Αλιμούντα ενώ στα υπόλοιπα σπήλαια εμφανίζουν μικρότερα ποσοστά.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό των διαφορετικών τάξεων κάθε μίας από 11 ομάδες οργανισμών και τύπους κάλυψης υποστρώματος (Macroalgae, Ascidiacea, Brachiopoda, Bryozoa, Cnidaria, Crustacea, Foraminifera, Mollusca, Non-living substrate, Polychaeta, Porifera) για κάθε μελετώμενη οικολογική ζώνη για τα επτά θαλάσσια σπήλαια (Εικόνα 11). Στην ανάλυση συμπεριλήφθηκαν τα 78 τάξα που αναγνωρίστηκαν συνολικά, καθώς και οι ανώτερες ταξινομικές ή/και μορφολογικές ομάδες και οι τύποι αβιοτικού υποστρώματος του Πίνακα 1.





Εικόνα 11: Χάρτης Β.Καρπάθου – Σαρίας με τον αριθμό των διαφορετικών τάξεων που βρέθηκαν σε κάθε οικολογική ζώνη κάθε μελετώμενου σπηλαίου (CE: ζώνη εισόδου, SD: ημισκότεινη ζώνη, DZ: σκοτεινή ζώνη).

Παρατηρείται πως σε όλες τις ζώνες και των επτά σπηλαίων, οι σπόγγοι υπερτερούν ως προς τον αριθμό των τάξεων με μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες οργανισμών.

Από τους σπόγγους, τα είδη *Agelas oroides* και *Aplysilla sulfurea* εμφανίζονται συνηθέστερα στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων και λιγότερο – αν όχι καθόλου – στα εσωτερικά τμήματά τους. Αντίθετα εμφανίζεται παρουσία του είδους *Spirastrella cuncatrix* σε όλες τις ζώνες των σπηλαίων.

Όσον αφορά στα μακροφύκη, τα τάξα μειώνονται σε αριθμό προς το εσωτερικό όλων των σπηλαίων ενώ φαίνεται να εμφανίζονται στην ημισκότεινη ζώνη κάποιων σπηλαίων μόνο τα Encrusting Rhodophyta, *Mesophyllum* sp., *Peyssonnelia* sp. και λιγότερο το *Palmophyllum crassum*. Ο αριθμός των τάξεων των βρυσζών φαίνεται επίσης να μειώνεται προς το εσωτερικό των σπηλαίων με πιο κοινά τάξα τα Encrusting Bryozoa, Bryozoa turf και *Ceberea boryi*. Εξάιρεση αποτελούν τα σπήλαια Φωκοσπηλιά και Τρούλακας όπου ο αριθμός των τάξεων βρυσζών αυξάνεται ελαφρώς προς το εσωτερικό τους. Η ομάδα

Encrusting Bryozoa όπως και πολύχαιτοι της οικογένειας Serpulidae εμφανίζουν παρουσία στις ζώνες όλων των σπηλαίων.

Αξίζει να σημειωθεί πως για όλα τα σπήλαια αλλά και συνολικά (εκτός του σπηλαίου Οξώνησος) παρατηρείται μια μικρή μείωση του αριθμού των τάξων από τη ζώνη εισόδου προς την ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη και μια μεγαλύτερη μείωση προς την εσωτερική σκοτεινή ζώνη, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1 παρουσίας/απουσίας των τάξων για τις τρεις οικολογικές ζώνες. Έτσι οι πολύχαιτοι ενώ εμφανίζονται σε όλες τις ζώνες όλων των σπηλαίων με μοναδικό τάξο την οικογένεια Serpulidae, εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό παρουσίας στη σκοτεινή ζώνη διότι ο αριθμός των υπόλοιπων τάξων της ίδιας ζώνης έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες ζώνες (Εικόνα 11). Τέλος, το υπόστρωμα χωρίς γνωστή βιοτική κάλυψη που συμπεριλαμβάνει τον άδειο από οργανισμούς βράχο-τοίχωμα (bare rock), τις τρύπες (holes), το καθιζάνον ίζημα (sediment) και το απροσδιόριστο βιογενές υπόστρωμα (Unidentified Biotic Substrate) αυξάνεται επίσης προς το εσωτερικό των σπηλαίων. Για τα υπόλοιπα τάξα δεν φαίνεται μία ομοιόμορφη μεταβολή μεταξύ των διαφορετικών οικολογικών ζωνών.

#### 4.1.2. Καταγραφή κινητικών οργανισμών

Συνολικά καταγράφηκαν 43 τάξα, εκ των οποίων 9 καρκινοειδή (Crustacea), 2 πολύχαιτοι (Polychaeta), 2 μαλάκια (Mollusca), 6 εχινόδερμα (Echinodermata) και 24 σπονδυλωτά εκ των οποίων 23 ιχθύες (Pisces) και 1 θηλαστικό (Mammalia), τα οποία αναγνωρίστηκαν σε επίπεδο είδους (39), γένους (2), ή οικογένειας (2). Ο μικρότερος αριθμός κινητικών ειδών καταγράφηκε στο σπήλαιο Γιουριούς (16) ενώ ο μεγαλύτερος στο σπήλαιο Φωκοσπηλιά (26). Ο πλήρης κατάλογος των κινητικών οργανισμών που καταγράφηκαν, με καταμερισμό στα 6 αντιπροσωπευτικά σπήλαια (για την αψίδα της Αλιμούντας δεν καταγράφηκαν κινητικά είδη) παρατίθεται στον Πίνακα 2, ενώ ένας συγκεντρωτικός πίνακας των κινητικών ειδών για το σύνολο των καταγεγραμμένων σπηλαίων της περιοχής μελέτης δίνεται στο Παράρτημα (Πίνακας 9).

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίας κινητικών ειδών που καταγράφηκαν στα σπήλαια για τα οποία εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο παρακολούθησης (\* Ξενικό είδος, † προστατευόμενο είδος).

Taxa	FOKOSPILIA	GIOURIOUS	OXONISOS	PALATIA	PANTELEIMONAS	TROULAKAS
<b>Crustacea</b>						
<i>Calcinus tubularis</i>						✓
<i>Dromia personata</i>	✓					
<i>Lysmata seticaudata</i>	✓					
<i>Mysida</i>	✓					
<i>Palaemon serratus</i>	✓	✓				
<i>Palinurus elephas</i> <sup>†</sup>		✓				
<i>Plesionika narval</i>	✓	✓		✓		
<i>Scylarides latus</i> <sup>†</sup>	✓			✓	✓	✓
<i>Stenopus spinosus</i>	✓					
<b>Polychaeta</b>						
<i>Bonelia viridis</i>				✓		
<i>Hermodice carunculata</i>	✓	✓	✓		✓	✓
<b>Mollusca</b>						
<i>Cerithium scabridum</i> <sup>*</sup>			✓			✓
<i>Ubraculum ubraculum</i>		✓				
<b>Pisces</b>						
<i>Anthias anthias</i>			✓		✓	

<i>Apogon imberbis</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Atherina</i> sp.		✓	✓		✓	✓
<i>Chromis chromis</i>	✓	✓	✓		✓	
<i>Coris juris</i>	✓		✓		✓	✓
<i>Diplodus sargus</i>			✓		✓	
<i>Epinephelus marginatus</i> †	✓			✓		✓
<i>Microlipophrys nigriceps</i>		✓				
<i>Muraena helena</i>						✓
<i>Oblada melanura</i>			✓		✓	
<i>Parupeneus forsskali</i> *	✓					
<i>Pempheris rhomboidea</i> *			✓		✓	✓
<i>Pterois miles</i> *	✓	✓	✓		✓	✓
<i>Sarcocentrum rubrum</i> *	✓		✓	✓	✓	✓
<i>Scorpaena maderensis</i>	✓	✓	✓		✓	✓
<i>Scorpaena scrofa</i>				✓		
<i>Serranus cabrilla</i>	✓				✓	✓
<i>Serranus scriba</i>						✓
<i>Siganus luridus</i> *	✓		✓		✓	✓
<i>Sparisoma cretense</i>		✓			✓	✓
<i>Thalassoma pavo</i>		✓	✓		✓	✓
<i>Torquigener flavimaculosus</i> *	✓			✓		
<i>Trypterigion melanurum</i>	✓	✓	✓		✓	
<b>Echinodermata</b>						
<i>Antedon mediterranea</i>	✓			✓		
<i>Arbacia lixula</i>	✓	✓	✓			
<i>Diadema setosum</i> *				✓	✓	✓
<i>Holothuria</i> sp.			✓			✓
Ophiurida	✓					✓
<i>Paracentrotus lividus</i> †		✓				
<b>Mamalia</b>						
<i>Monachus monachus</i> †	✓					
<b>Άθροισμα</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>21</b>

Μεταξύ των 43 κινητικών τάξεων που καταγράφηκαν στα έξι από τα επτά μελετώμενα σπήλαια συγκαταλέγονται 5 προστατευόμενα και 9 αλλόχθονα είδη. Αξίζει να σημειωθεί πως σε όλα τα μελετώμενα σπήλαια καταγράφηκαν ξενικά είδη, κυρίως ψάρια (περιγραφή στην υποενότητα 4.3.1).

#### 4.1.3. Χαρακτηριστικά είδη

Μεταξύ των ειδών που καταγράφηκαν περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά είδη της κοραλλιγενούς (coralligenous) βιοποικιλότητας που αναπτύσσεται στις εισόδους υποθαλάσσιων σπηλαίων όπως τα ενασβεστωμένα ροδοφύκη: *Mesophyllum* sp. και *Peyssonnelia* sp. (Εικόνα 12). Χαρακτηριστικά τάξα καταγράφηκαν και για τις βιοκοινότητες των ημισκότεινων και σκοτεινών τμημάτων των σπηλαίων που μελετήθηκαν (π.χ. οι σπόγγοι *Diplastrella bistellata*, *Plakina* spp., το κοράλλι *Leptopsammia prunoti*, η εμπορική γαρίδα *Plesionika narval*, και το σκιάφιλο ψάρι *Apogon imberbis*). Επίσης, καταγράφηκαν χαρακτηριστικά είδη των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Ανατολικής Μεσογείου όπως είναι το κοράλλι

*Madracis pharensis* και το βρυόζωο *Hippaliosina depressa* (Gerovasileiou *et al.* 2015a). Τα παραπάνω τάξα αποτελούν χαρακτηριστικά των βιοκοινοτήτων διαφορετικών οικολογικών ζωνών των σπηλαίων της Μεσογείου όπως έχει περιγραφεί από τον Péréès (1967).



Εικόνα 12: Κοραλλιγενείς σχηματισμοί από ενασβεστωμένα ροδοφύκη *Peyssonelia* (αριστερά) και *Mesophyllum* (δεξιά) αναπτύσσονται στις εισόδους των σπηλαίων των νήσων Καρπάθου και Σαρίας.





Εικόνα 13: Σπόγγοι με χαρακτηριστική παρουσία στα υποθαλάσσια σπήλαια των νήσων Καρπάθου και Σαρίας που διερευνήθηκαν, με σειρά από πάνω αριστερά προς τα κάτω δεξιά: *Merlia normani*, *Spirastrella cunctatrix*, *Dendroxea lenis*, *Plakina* sp., *Diplastrella bistellata*, *Agelas oroides*.

Το ροδοφύκος *Peyssonnelia* sp. φαίνεται να έχει τη μεγαλύτερη μέση κάλυψη συνολικά για όλες τις οικολογικές ζώνες των επτά σπηλαίων που μελετήθηκαν, με ποσοστό 21,9%. Αμέσως μικρότερη μέση κάλυψη για όλα τα φωτογραφικά πλαίσια εμφανίζουν τα τάξα 'Bryozoa turf' με ποσοστό 19% και ο σπόγγος *Dedroxea lenis* με ποσοστό 17,2%. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το τάξο που εμφάνιζε τη μεγαλύτερη μέση κάλυψη ανά σπήλαιο. Βρέθηκε πως για το σπήλαιο Αλιμούντα υψηλότερο ποσοστό εμφάνισε το τάξο 'Bryozoa turf' με ποσοστό 25% ενώ για το σπήλαιο Φωκοσπηλιά εμφάνισε το είδος σπόγγου *Spirastrella cunctatrix* με ποσοστό 13,2%. Με ποσοστό 21,5% το τάξο 'Bryozoa turf' είχε το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης για το σπήλαιο Γιουριούς, το είδος *Spirastrella cunctatrix* (20,3%) για το σπήλαιο Οξώνησος, το τάξο *Peyssonnelia* sp. (20,5%) για το σπήλαιο Παλάτια και (14,8%) για το σπήλαιο Άγιος Παντελεήμονας και το τάξο *Dedroxea lenis* για το σπήλαιο Τρούλακας με ποσοστό 27,7%.

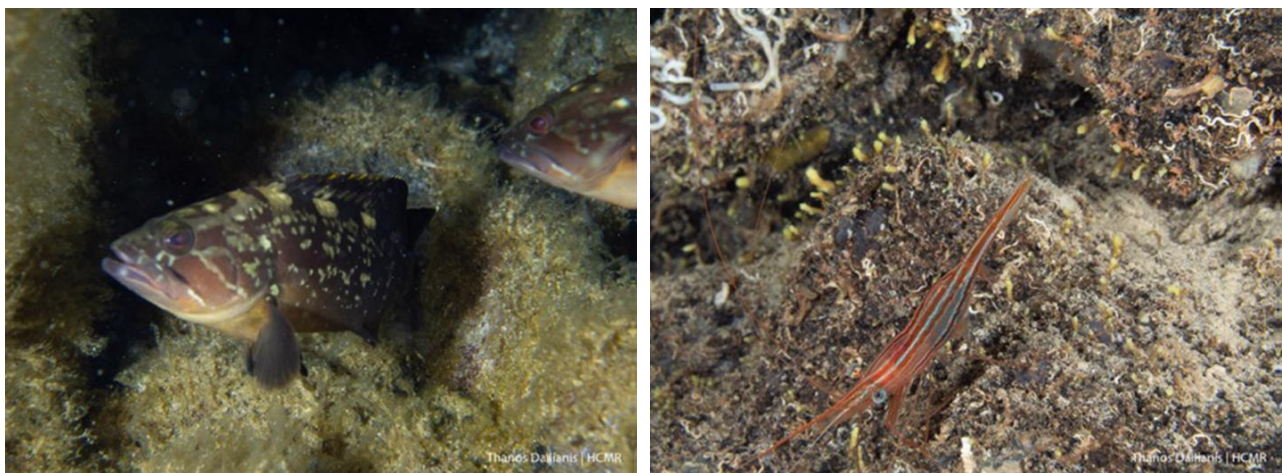
#### 4.1.4. Προστατευόμενα και εμπορικά είδη

Από το σύνολο των ειδών που καταγράφηκαν στην παρούσα μελέτη, 11 προστατεύονται σύμφωνα με τις Συνθήκες της Βέρνης και της Βαρκελώνης (Annex II – List of endangered or threatened species και Annex III – List of species whose exploitation is regulated). Ειδικότερα πρόκειται για τους σπόγγους *Aplysina* sp. και *Petrobiona massiliana*, τα καρκινοειδή: *Palinurus elephas* και *Scylarides latus*, το διατρητικό δίθυρο *Lithophaga lithophaga*, τον εδώδιμο αχινό *Paracentrotus lividus*, τον ροφό *Epinephelus marginatus* και τη Μεσογειακή φώκια *Monachus monachus*. Επιπλέον, τα σκληρακτίνα κοράλλια *Leptopsammia prunoti*, *Madracis pharensis* και *Caryophyllia inornata* προστατεύονται από τη Σύμβαση για το διεθνές εμπόριο των απειλούμενων ειδών άγριας πανίδας και χλωρίδας CITES (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Τα σκληρακτίνια κοράλλια *Madracis pharensis* (αριστερά) και *Leptopsammia prunoti* (δεξιά) προστατεύονται από τη Σύμβαση για το διεθνές εμπόριο των απειλούμενων ειδών άγριας πανίδας και χλωρίδας (CITES) και ήταν άφθονα στα σπήλαια που διερευνήθηκαν.

Επίσης, σε κάποια σπήλαια παρατηρήθηκαν είδη με εμπορική σημασία και μάλιστα σε σημαντικές αφθονίες. Το καρκινοειδές *Plesionika narval* (γνωστό και ως 'Συμιακό γαριδάκι') βρέθηκε στην ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων Φωκοσπηλιά, Γιουριούς και Παλάτια ενώ πολλά άτομα του είδους *Atherina* sp. βρέθηκαν στην είσοδο των σπηλαίων Γιουριούς, Οξώνησος και Άγιος Παντελεήμονας (Εικόνα 15).



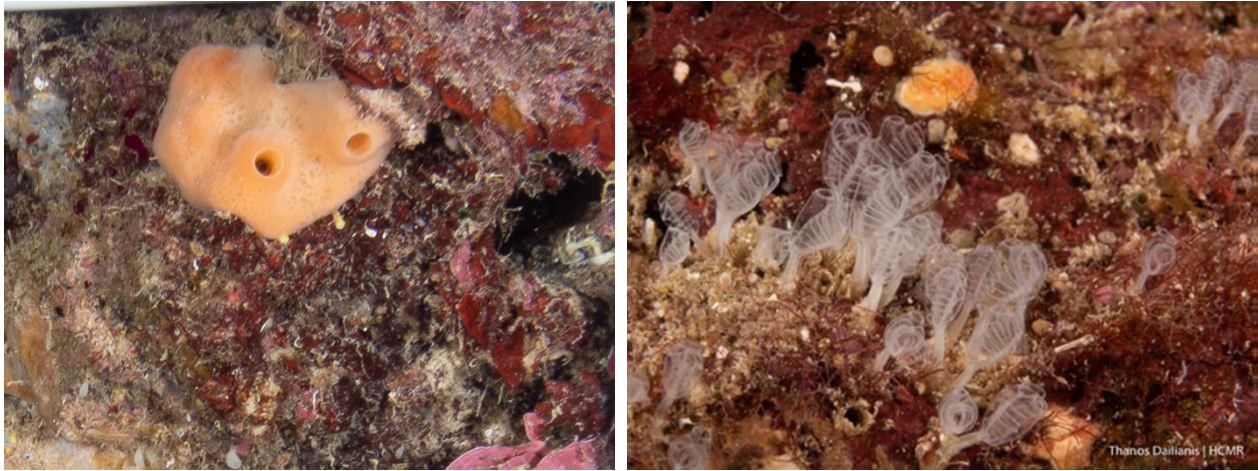
Εικόνα 15: Είδη με εμπορικό/αλιευτικό ενδιαφέρον όπως ο ροφός *Epinephelus marginatus* (αριστερά) και το Συμιακό γαριδάκι *Plesionika narval* (δεξιά) αφθονούν στα σπήλαια των νήσων Καρπάθου και Σαρίας που διερευνήθηκαν.

#### 4.1.5. Σπάνια είδη και νέες αναφορές

Σημαντικός αριθμός ειδών (17 είδη συμπεριλαμβανομένων 3 ξενικών) αναφέρεται για πρώτη φορά ως μέρος της βιοποικιλότητας των θαλάσσιων σπηλαίων της Ελλάδας (π.χ. Gerovasileiou *et al.* 2015a, 2016b,c, Rosso *et al.* 2018, Διγενής 2019). Συγκεκριμένα πρόκειται για τα είδη: *Beckerella dentata*, *Haliclona (Reniera) aquaeductus*, *Spongosorites intricatus*, *Calcinus tubularis*, *Cerithium scabridum*, *Caberea boryi*, *Cellepora pumicosa*, *Membranipora membranacea*, *Reptadeonella violacea*, *Patinella radiata*, *Diadema setosum*, *Pycnoclavella nana*, *Atherina* sp., *Microlipophrys nigriceps*, *Parupeneus forsskali*, *Torquigener flavimaculosus* και *Trypserion melanurum*.

Επίσης, μεταξύ των ειδών που καταγράφηκαν υπήρχαν σπόγγοι της οικογένειας Plakinidae (*Plakina* sp.) στην ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων Φωκοσπηλιά, Παλάτια και Τρούλακας και στη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων Παλάτια και Τρούλακας. Οι σπόγγοι αυτοί, της κλάσης Homoscleromorpha, παρά τη μεγάλη

εξελικτική τους σημασία, είναι ελάχιστα μελετημένοι εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους και της προτίμησής τους για κρυπτικά ενδιαιτήματα. Παρόλα αυτά πρόσφατα περιγράφηκαν τέσσερα νέα είδη του γένους *Plakina* (Lage *et al.* 2018, 2019) από έρευνες σε σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου και της Κρήτης.



Εικόνα 16: Ο σπόγγος *Haliclona (Reniera) aquaeductus* και το μικροσκοπικό ασκίδιο *Rysynoclavella nana* καταγράφηκαν περιστασιακά στα σπήλαια των νήσων Καρπάθου και Σαρίας που διερευνήθηκαν.

Μεταξύ των ειδών που καταγράφηκαν βρέθηκαν και δύο είδη που είναι γνωστό πως προτιμούν βαθύτερα νερά. Το κοσμοπολίτικο δίθυρο *Neorysynodonte cochlear* που βρέθηκε στη ζώνη εισόδου και την ημισκότεινη ζώνη του σπηλαιίου Φωκοσπηλιά, το οποίο έχει καταγραφεί λίγες φορές σε σπήλαια της Ιταλίας, της Κροατίας και του Β.Αιγαίου (Cattaneo-Vietti & Russo 1987, Arko-Piijevac *et al.* 2001, Novosel *et al.* 2002, Onorato *et al.* 2003, Gerovasileiou *et al.* 2015a) και αρκετά άτομα του είδους *Anthias anthias* που βρέθηκαν σε μικρά βάθη στα σπήλαια Άγιος Παντελεήμονας και Οξώνησος (Εικόνα 17).

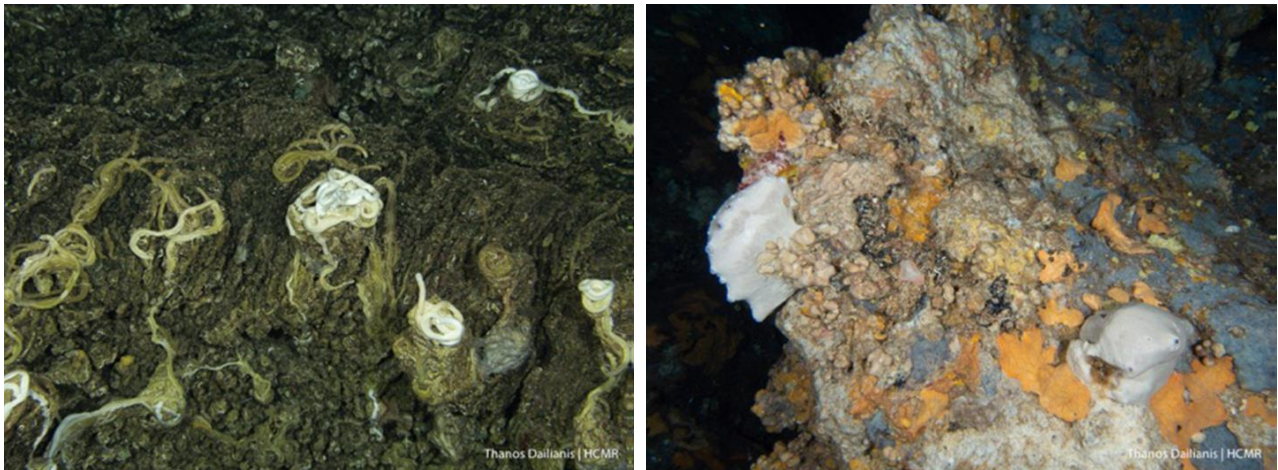


Εικόνα 17: Το δίθυρο *Neorysynodonte cochlear* (αριστερά) και το ψάρι *Anthias anthias* (δεξιά) είναι βαθύβια είδη που βρέθηκαν σε μικρότερο βάθος από την τυπική βαθυμετρία τους στα σπήλαια των νήσων Καρπάθου και Σαρίας που διερευνήθηκαν.

#### 4.1.6. Βιοσχηματισμοί

Σε κάποια σπήλαια καταγράφηκαν βιογενείς δομές (βιοσχηματισμοί που μοιάζουν με σταλακτίτες) που κατασκευάζονται από διαφορετικά είδη βρυοζών με μορφή επιστρώματος/κρούστας (συχνά σχηματίζουν κονδύλους), πολύχαιτους της οικογένειας Serpulidae και τρηματοφόρα (Sanfilippo *et al.*

2017). Οι δομές αυτές αποτελούνται από αλληπάλληλες βιογενείς στρώσεις από ανθρακικό ασβέστιο που δημιουργούν κατάλληλο ενδιαίτημα για πληθώρα μικροσκοπικών οργανισμών (π.χ. ενδοβίωτες όπως διατρητικά δίθυρα και σπόγγοι). Αυτό το χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με το γεγονός πως τέτοιες δομές χρειάζονται πολλά χρόνια για να δημιουργηθούν, τις κάνουν ιδιαίτερα σημαντικές για προστασία και επιστημονική μελέτη. Τέτοιοι βιοσηματισμοί, μικρού μεγέθους και έκτασης, βρέθηκαν στο σπήλαιο Άγιος Παντελεήμονας, Τρούλακας και Μέλουρος, αποτελούμενοι κυρίως από πολύχαιτους του γένους *Protula* sp. και από βρυόζωα. Επίσης, στην Οξώνησο υπήρχαν εκτεταμένοι βιοχηματισμοί με κονδυλοειδή ή λεπτοστρωματώδη μορφή που σχηματίζονταν από την απόθεση αποικιών βρυοζώων σε διαδοχικές στρώσεις (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Βιογενείς σχηματισμοί από είδη πολυχαιτών της οικογένειας Serpulidae (αριστερά) και αλληπάλληλων αποθέσεων βρυοζώων (δεξιά) ήταν χαρακτηριστικές των σκοτεινών ζωνών στα σπήλαια των νήσων Καρπάθου και Σαρίας που διερευνήθηκαν.

## 4.2 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων

Σύμφωνα με πλήθος μελετών (π.χ. Riedl 1966, Pouliquen 1972, Harmelin *et al.* 1985, Marti *et al.* 2004, Radolovic *et al.* 2015), οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την οικολογική ζώνωση σε ένα σπήλαιο είναι η διείσδυση του φωτός σε αυτό και η ένταση του υδροδυναμισμού. Πιο συγκεκριμένα, η διείσδυση του φωτός στο εσωτερικό ενός σπηλαίου εξαρτάται από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σπήλαιο, τον προσανατολισμό, την κλίση και το εμβαδόν της εισόδου, ενώ ο υδροδυναμισμός επηρεάζεται από το βαθμό έκθεσης και το προφίλ της βραχώδους ακτής, τις καιρικές συνθήκες καθώς και από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σπήλαιο και τη μορφή του. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε να ελεγχθούν ξεχωριστά οι παράγοντες α) Βάθος εισόδου, β) Προσανατολισμός εισόδου, γ) Εμβαδόν εισόδου και δ) Τύπος σπηλαίου για να διαπιστωθεί πως η κάθε μία από αυτές επηρεάζει ξεχωριστά τη διαφοροποίηση των φωτογραφικών πλαισίων εντός του σπηλαίου.

Πραγματοποιήθηκαν τρεις απεικονίσεις nMDS, μία για το σύνολο των φωτογραφικών πλαισίων που συλλέχθηκαν για τις οικολογικές ζώνες όλων των σπηλαίων, μία μόνο για τα πλαίσια από τη ζώνη εισόδου των σπηλαίων και μία ακόμη για εκείνα που συλλέχθηκαν από την ημισκότενη ζώνη των σπηλαίων που την διέθεταν. Στη συνέχεια τα φωτογραφικά πλαίσια συγκρίθηκαν μεταξύ τους με βάση τη σύνθεση της πανίδας τους ως προς κάθε έναν παράγοντα ξεχωριστά για κάθε μία από τις τρεις απεικονίσεις nMDS με τη δοκιμασία του ANOSIM. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση SIMPER για την εύρεση του ποσοστού ομοιότητας με βάση τον δείκτη Bray Curtis μεταξύ των διαφορετικών σπηλαίων καθώς και του ποσοστού συνεισφοράς διαφορετικών τάξεων σε αυτήν την ομοιότητα.

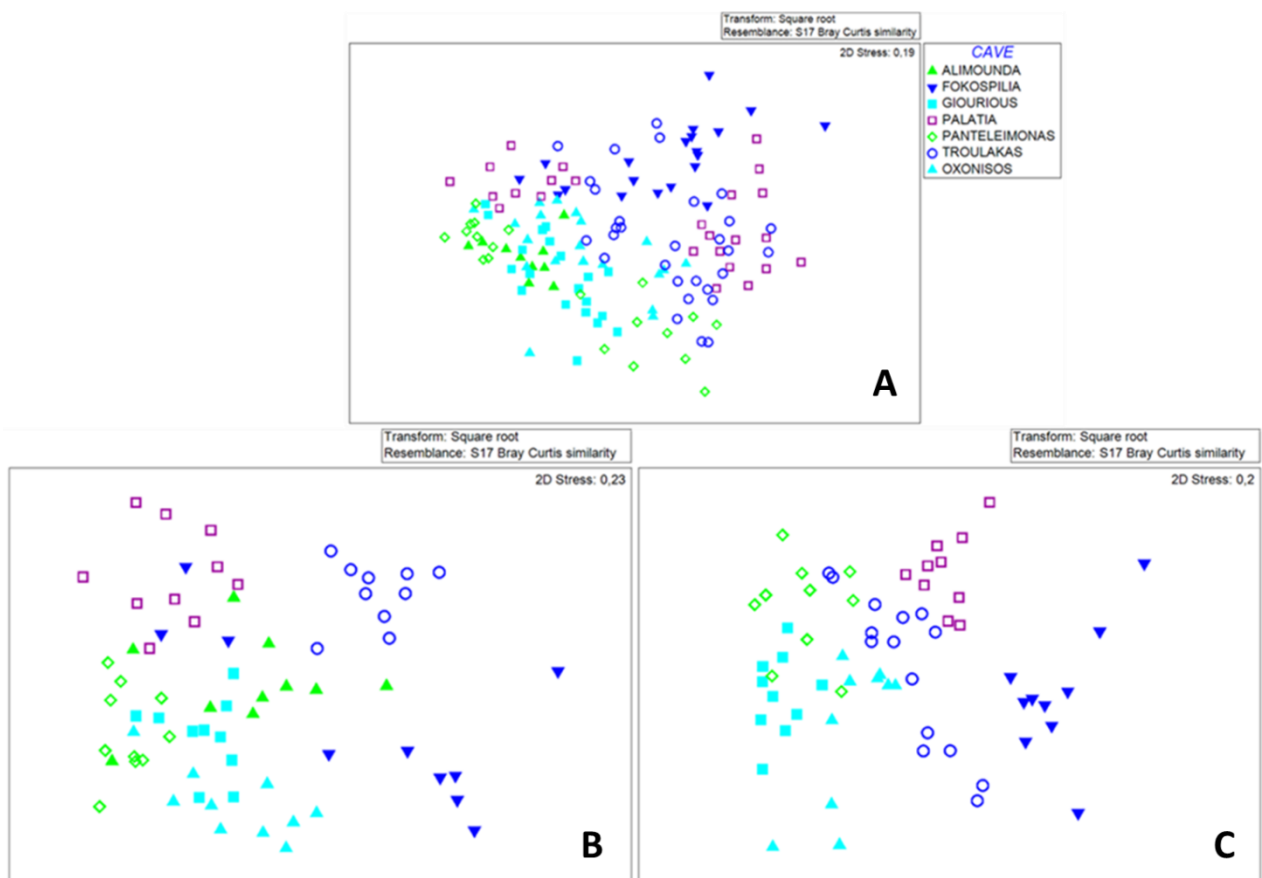


Οι απεικονίσεις nMDS παρουσιάζονται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας (Ενότητα 8, Εικόνες 29,30,31,32,33).

Ακολούθησαν pairwise tests μέσω της ανάλυσης one-way ANOSIM για έξι διαφορετικούς προκαθορισμένους (fixed) παράγοντες (Οικολογική ζώνη, Σπήλαιο, Εμβαδόν εισόδου, Βάθος, Προσανατολισμός, Τύπος σπηλαίου) για τα επτά διαφορετικά σπήλαια. Μέσω των pairwise tests τα φωτογραφικά πλαίσια ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τον εκάστοτε μελετώμενο παράγοντα και συγκρίθηκαν μεταξύ τους ανά ζεύγη υπολογίζοντας την τιμή του p-value για κάθε ζεύγος. Τα αποτελέσματα των pairwise tests παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

#### 4.2.1 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Σπήλαιο”

Πραγματοποιήθηκε απεικόνιση nMDS τόσο για το σύνολο των φωτογραφικών πλαισίων που συλλέχθηκαν όσο και για εκείνα που συλλέχθηκαν από τη ζώνη εισόδου και την ημισκότεινη ζώνη ξεχωριστά (Εικόνα 19). Αξίζει να σημειωθεί πως στην απεικόνιση των φωτογραφικών πλαισίων από την ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων δεν εμφανίζονται πλαίσια για την αψίδα της Αλιμούντας διότι δεν διέθετε ημισκότεινη ζώνη. Επίσης δεν πραγματοποιήθηκε αντίστοιχη απεικόνιση nMDS για την σκοτεινή ζώνη διότι σε αυτήν συλλέχθηκε μικρότερος αριθμός πλαισίων και μόνο δύο από τα μελετώμενα σπήλαια την διέθεταν.



Εικόνα 19: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των φωτογραφικών πλαισίων συνολικά (A), από την ζώνη εισόδου (B) και την ημισκότεινη ζώνη (C) των επτά σπηλαίων.

Από την απεικόνιση nMDS όπου επισημαίνονται τα επτά διαφορετικά μελετώμενα σπήλαια διαφαίνεται ότι τα φωτογραφικά πλαίσια κάθε σπηλαίου δεν φαίνεται να διακρίνονται επαρκώς από τα

υπόλοιπα (Εικόνα 19 Α). Όταν συγκρίθηκαν μόνο τα φωτογραφικά πλαίσια της ζώνης εισόδου διαχωρίζονται στο δισδιάστατο διάγραμμα ως ένα βαθμό με πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό του Τρούλακα (Εικόνα 19 Β). Τα φωτογραφικά πλαίσια της ημισκότεινης ζώνης του σπηλαίου Φωκοσπηλιά ομαδοποιούνται σε μία διακριτή ομάδα (Εικόνα 19 C). Αντίθετα, για τα υπόλοιπα πέντε σπήλαια τα δείγματα διακρίνονται σε ένα μόνο βαθμό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ANOSIM τα επτά σπήλαια διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Οι τιμές του p-value που υπολογίστηκαν για κάθε ένα από τα ζεύγη σπηλαίων τόσο συνολικά όσο και για την ζώνη εισόδου και την ημισκότεινη ζώνη, παρουσιάζονται στους τριγωνικούς πίνακες 3, 4 και 5.

Με τη σύγκριση όλων των φωτογραφικών πλαισίων παρατηρείται πως όλα τα σπήλαια διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά εκτός από ένα ζεύγος (Αλιμούντα-Παντελεήμονας,  $p = 0,086$ ) (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3:** Τιμές p-value σύμφωνα με τα pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM για τον παράγοντα Σπήλαιο για τα φωτογραφικά πλαίσια που συλλέχθηκαν συνολικά.

p-value	Αλιμούντα	Φωκοσπηλιά	Γιουριούς	Οξώνησος	Παλάτια	Παντελεήμονας	Τρούλακας
Αλιμούντα							
Φωκοσπηλιά	0,001						
Γιουριούς	0,002	0,001					
Οξώνησος	0,001	0,001	0,001				
Παλάτια	0,001	0,001	0,001	0,001			
Παντελεήμονας	<b>0,086</b>	0,001	0,021	0,002	0,001		
Τρούλακας	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	

Παρομοίως, τα αποτελέσματα των pairwise tests έδειξαν ότι όλα τα σπήλαια διαφέρουν σημαντικά τόσο για τα φωτογραφικά πλαίσια που συλλέχθηκαν μόνο από τη ζώνη εισόδου (Πίνακας 4) όσο και από την ημισκότεινη ζώνη (Πίνακας 5) των σπηλαίων.

**Πίνακας 4:** Τιμές p-value σύμφωνα με τα pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM για τον παράγοντα Σπήλαιο για τα φωτογραφικά πλαίσια από τη ζώνη εισόδου των σπηλαίων.

p-value	Αλιμούντα	Φωκοσπηλιά	Γιουριούς	Οξώνησος	Παλάτια	Παντελεήμονας	Τρούλακας
Αλιμούντα							
Φωκοσπηλιά	0,001						
Γιουριούς	0,001	0,001					
Οξώνησος	0,001	0,001	0,002				
Παλάτια	0,001	0,001	0,001	0,001			
Παντελεήμονας	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001		
Τρούλακας	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	

**Πίνακας 5:** Τιμές p-value σύμφωνα με τα pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM για τον παράγοντα Σπήλαιο για τα φωτογραφικά πλαίσια από την ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων.

p-value	Φωκοσπηλιά	Γιουριούς	Οξώνησος	Παλάτια	Παντελεήμονας	Τρούλακας
Φωκοσπηλιά						
Γιουριούς	0,001					
Οξώνησος	0,001	0,001				
Παλάτια	0,001	0,001	0,001			
Παντελεήμονας	0,001	0,001	0,001	0,001		
Τρούλακας	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	

#### 4.2.2 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Οικολογική ζώνη”

Στη συνέχεια, τα φωτογραφικά πλαίσια συγκρίθηκαν μεταξύ τους με βάση τον παράγοντα “Οικολογική ζώνη”. Σύμφωνα με τα pairwise tests που πραγματοποιήθηκαν στην ανάλυση one-way ANOSIM, τα φωτογραφικά πλαίσια διαφοροποιούνται στατιστικά σημαντικά μεταξύ της ζώνης εισόδου και της ημισκότεινης ζώνης αλλά και μεταξύ της ζώνης εισόδου και της εσωτερικής σκοτεινής ζώνης ( $p$ -value = 0,001 και στις δύο περιπτώσεις). Αντίθετα δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των φωτογραφικών πλαισίων που συλλέχθηκαν από την ημισκότεινη ζώνη σε σύγκριση με τη σκοτεινή ζώνη ( $p$ -value = 0,094). Η απεικόνιση nMDS για τον παράγοντα “Οικολογική ζώνη” παρουσιάζεται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας (Ενότητα 8, Εικόνα 29).

#### 4.2.3 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Εμβαδόν εισόδου”

Τα μελετώμενα σπήλαια διακρίθηκαν στη συνέχεια σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το εμβαδόν της εισόδου τους (κατά προσέγγιση). Τα σπήλαια Φωκοσπηλιά, Παλάτια και Τρούλακας αποτελούν την πρώτη ομάδα με εύρος εμβαδού εισόδου 1: 15-40m<sup>2</sup>, τα σπήλαια Αλιμούντα, Γιουριούς και Οξώνησος αποτελούν τη δεύτερη ομάδα με εύρος εμβαδού 2: 110-230m<sup>2</sup> ενώ ο Παντελεήμονας είχε το μεγαλύτερο εμβαδό εισόδου, 3: 630m<sup>2</sup>. Το εμβαδόν της εισόδου επιλέχθηκε ως παράγοντας για την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων διότι όσο μεγαλύτερο το εμβαδόν της, τόσο μεγαλύτερη αναμένεται να είναι η ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του σπηλαίου αλλά και η ανανέωση του νερού.

Από τα pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM που πραγματοποιήθηκαν τόσο συνολικά για όλα τα σπήλαια όσο και για τα πλαίσια της ζώνης εισόδου και της ημισκότεινης ζώνης ξεχωριστά, προέκυψε στις περισσότερες περιπτώσεις οι ομάδες των σπηλαίων να διαφοροποιούνται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό μεταξύ τους (Πίνακας 6). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το ζεύγος ομάδων σπηλαίων 2 και 3, που έχουν μεγάλο εμβαδό εισόδου (Αλιμούντα, Γιουριούς, Οξώνησος και Παντελεήμονας).

Πίνακας 6: Τιμές  $p$ -value των pairwise tests για τον παράγοντα Εμβαδόν εισόδου για τα φωτογραφικά πλαίσια συνολικά (αριστερά), της ζώνης εισόδου (κέντρο) και της ημισκότεινης ζώνης (δεξιά).

p-value	1	2	3	p-value	1	2	3	p-value	1	2	3
1				1				1			
2	0,001			2	0,001			2	0,001		
3	0,001	0,001		3	0,002	0,097		3	0,002	0,002	

#### 4.2.4 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Βάθος εισόδου”

Ακολούθησε διάκριση των σπηλαίων σε τρεις βαθυμετρικές κατηγορίες (1: 4-9 m / 2: 11-16 m / 3: >16 m) ανάλογα με το βάθος της εισόδου τους. Πιο συγκεκριμένα, η είσοδοι των σπηλαίων Φωκοσπηλιά και Παλάτια είχαν βάθος 4 m και 9 m αντίστοιχα (ομάδα 1). Τα περισσότερα σπήλαια εντάχθηκαν στη δεύτερη κατηγορία (11-16 m): Τρούλακας (11 m), Άγιος Παντελεήμονας (15 m), Γιουριούς (14 m) και Οξώνησος (16 m) (ομάδα 2). Τέλος, η είσοδος της υποθαλάσσιας αψίδας της Αλιμούντας βρισκόταν σε βάθος 25 μέτρα (ομάδα 3).

Τα pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM έδειξαν πως τόσο συνολικά για όλα τα σπήλαια όσο και για τα πλαίσια της ζώνης εισόδου και της ημισκότεινης ζώνης ξεχωριστά εμφανίζεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών ομάδων εκτός από το ζεύγος των ομάδων 2 και 3. Τα φωτογραφικά πλαίσια μεταξύ των σπηλαίων Τρούλακας, Άγιος Παντελεήμονας, Γιουριούς, Οξώνησος και

Αλιμούντα (ομάδες 2-3 αντίστοιχα) εμφάνισαν στατιστικά μη σημαντική διαφοροποίηση ( $p > 0,05$ ) όταν συγκρίθηκαν τόσο συνολικά όσο και ως προς την ζώνη εισόδου (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Τιμές p-value των pairwise tests για τον παράγοντα Βάθος εισόδου για τα φωτογραφικά πλαίσια συνολικά (αριστερά) και της ζώνης εισόδου (δεξιά).

p-value	1	2	3	p-value	1	2	3
1				1			
2	0,001			2	0,001		
3	0,001	0,725		3	0,001	0,101	

Από τη σύγκριση των φωτογραφικών πλαισίων της ημισκότεινης ζώνης για τον παράγοντα Βάθος εισόδου, η τιμή p-value που προέκυψε από τα pairwise tests ήταν 0,001, γεγονός που υποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων 1 και 2. Η αψίδα της Αλιμούντας δεν διέθετε ημισκότεινη ζώνη και για αυτό δεν εμφανίζεται στην ανάλυση για την ημισκότεινη ζώνη.

#### 4.2.5 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Τύπος σπηλαίου”

Στη συνέχεια επισημάνθηκε ως παράγοντας ο τύπος του σπηλαίου ανάλογα με το αν αυτό είναι εξολοκλήρου βυθισμένο (2) ή ημιβυθισμένο (1). Αναλυτικότερα, ως εξολοκλήρου βυθισμένα (2) θεωρήθηκαν τα σπήλαια: Αλιμούντα, Φωκοσπηλιά και Τρούλακας (που βρίσκονταν και σε μεγαλύτερο βάθος) ενώ ημιβυθισμένα (1), τα ρηχά σπήλαια: Γιουριούς, Οξώνησος, Παλάτια και Άγιος Παντελεήμονας. Από τα pairwise tests της ανάλυσης ANOSIM δείχθηκε πως το βάθος του σπηλαίου επηρεάζει στατιστικώς σημαντικά την ομαδοποίηση των φωτογραφικών πλαισίων. Συγκεκριμένα, το p-value είχε τιμή ίση με 0,001 όταν τα φωτογραφικά πλαίσια συγκρίθηκαν τόσο συνολικά όσο και την ζώνη εισόδου και την ημισκότεινη ζώνη ξεχωριστά.

#### 4.2.6 Πολυμεταβλητή ανάλυση των δειγμάτων για τον παράγοντα “Προσανατολισμός εισόδου”

Οι εισοδοί των μελετώμενων σπηλαίων διέθεταν επίσης διαφορετικό προσανατολισμό. Συγκεκριμένα, τα σπήλαια Αλιμούντα, Φωκοσπηλιά, και Τρούλακας είχαν ανατολικό προσανατολισμό (E), ενώ τα σπήλαια Γιουριούς και Άγιος Παντελεήμονας είχαν δυτικό προσανατολισμό (W). Η Οξώνησος είχε προσανατολισμό προς το Βορρά (N) και τα Παλάτια προς Νότο (S).

Πραγματοποιήθηκαν pairwise tests της ανάλυσης one-way ANOSIM τόσο συνολικά για όλα τα σπήλαια όσο και για τα πλαίσια της ζώνης εισόδου και της ημισκότεινης ζώνης ξεχωριστά. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 8 σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Μόνο για ένα ζεύγος ομάδων σπηλαίων (N-E) το p-value εμφανίζει τιμές μεγαλύτερες του 0,05, όταν τα φωτογραφικά πλαίσια συγκρίνονται συνολικά μεταξύ τους.

Πίνακας 8: Τιμές p-value των pairwise tests για τον παράγοντα Προσανατολισμός εισόδου για τα φωτογραφικά πλαίσια συνολικά (αριστερά), της ζώνης εισόδου (κέντρο) και της ημισκότεινης ζώνης (δεξιά).

p-value	N	S	E	W	p-value	N	S	E	W	p-value	N	S	E	W
N					N					N				
S	0,001				S	0,001				S	0,001			
E	0,165	0,001			E	0,003	0,002			E	0,035	0,02		
W	0,01	0,001	0,001		W	0,001	0,001	0,001		W	0,001	0,001	0,001	

## 4.3 Καταγραφή πιέσεων και απειλών

### 4.3.1. Ξενικά και κρυπτογενή είδη

Σε όλα τα σπήλαια που διερευνήθηκαν, συμπεριλαμβανομένων εκείνων στα οποία δεν λήφθηκαν φωτογραφικά πλαίσια, καταγράφηκε σημαντικός αριθμός ξενικών ειδών, κυρίως ψαριών, στα οποία περιλαμβάνονται χωροκατακτητικά είδη που θα μπορούσαν να αποτελέσουν δυνητική απειλή για τη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων σπηλαίων. Συνολικά καταγράφηκαν 9 ξενικά είδη: 1 μαλάκιο (*Cerithium scabridum*), 1 καρκινοειδές (*Percnon gibbesi*), 1 εχινόδερμο (*Diadema setosum*) και 7 ψάρια (*Parupeneus forsskali*, *Pempheris rhomboidea*, *Pterois miles*, *Sargocentron rubrum*, *Siganus luridus*, *Siganus rivulatus* και *Torquigener flavimaculosus*) (Εικόνες: 20-23). Για τα επτά σπήλαια που θεωρήθηκαν ως αντιπροσωπευτικά βρέθηκε πως τα είδη: *Diadema setosum*, *Siganus luridus*, *Siganus rivulatus*, *Parupeneus forsskali* και *Torquigener flavimaculosus* καταγράφηκαν μόνο στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων ενώ το μαλάκιο *Cerithium scabridum* καταγράφηκε μόνο στην ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου Τρούλακας.

Το είδος *Parupeneus forsskali* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου του σπηλαίου Φωκοσπηλιά ενώ το είδος *Pterois miles* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων: Φωκοσπηλιά, Γιουριούς, Οξώνησος, Άγιος Παντελεήμονας και Τρούλακας. Το *Sarcocentron rubrum* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων: Φωκοσπηλιά, Οξώνησος, Παλάτια και σε πιο εσωτερικά τμήματα των σπηλαίων Άγιος Παντελεήμονας και Τρούλακας. Το *Siganus luridus* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων: Φωκοσπηλιά, Οξώνησος, Άγιος Παντελεήμονας και Τρούλακας και το *Torquigener flavimaculosus* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων Φωκοσπηλιά και Παλάτια. Το *Pempheris rhomboidea* καταγράφηκε στην ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων: Οξώνησος, Άγιος Παντελεήμονας και Τρούλακας ενώ το εχινόδερμο *Diadema setosum* καταγράφηκε στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων: Οξώνησος, Παλάτια, Άγιος Παντελεήμονας και Τρούλακας.

Ο μέγιστος αριθμός ξενικών ειδών παρατηρήθηκε στα σπήλαια Τρούλακας (6), Παλάτια (5) και Άγιος Παντελεήμονας (5). Πέρα από τα παραπάνω ψάρια, η σμέρνα *Enchelycore anatina* που δεν θεωρείται ξενικό είδος αλλά είδος που έχει επεκτείνει τη γεωγραφική του εξάπλωση από τις ακτές της Αφρικής στον Ατλαντικό Ωκεανό προς τη Μεσόγειο βρέθηκε στην είσοδο των σπηλαίων Πύργος του Οργκά και Ροκ Στарт. Επίσης, το κρυπτογενές καβούρι *Percnon gibbesi* βρέθηκε σε τρία σπήλαια (Άσπρουας, Ροκ Στарт και Πούντες).



Εικόνα 20: Το ξενικό εχινόδερμο *Diadema setosum* (αριστερά) στην περιοχή Παλάτια Ν. Σαρίας και το κρυπτογενές καβούρι *Percnon gibbesi* (δεξιά), φωτογραφία αρχείου ΙΘΑΒΒΥΚ.

Τα περισσότερα ξενικά είδη που καταγράφηκαν είναι σαρκοφάγα ή παμφάγα ενώ ορισμένα έχουν καταγραφεί να τρέφονται και εντός των σπηλαίων (π.χ. *Pterois miles*). Ορισμένα είδη που σχηματίζουν κοπάδια (π.χ. *Pempheris rhomboidea*), βρίσκουν καταφύγιο σε σπήλαια και κοιλότητες κατά τη διάρκεια της ημέρας και εξέρχονται τη νύχτα για να τραφούν. Αυτές οι μετακινήσεις θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις βιοκοινότητες των σπηλαίων μέσω της εισροής οργανικής ύλης (π.χ. απεκκρίματα) στο ολιγοτροφικό οικοσύστημα των σπηλαίων (Gerovasileiou *et al.* 2016c). Ωστόσο, η απουσία ποσοτικών στοιχείων αναφοράς που να αποτυπώνουν την κατάσταση του οικοσυστήματος των σπηλαίων πριν την εγκατάσταση αυτών των ειδών δεν επιτρέπει την ασφαλή εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων.



Εικόνα 21: Τα ξενικά ψάρια *Pempheris rhomboidea* (αριστερά) στην περιοχή Αγίου Παντελεήμονα Ν. Σαρίας και *Pterois miles* (δεξιά) στην περιοχή Οξώνησος Ν. Σαρίας).



Εικόνα 22: Τα ξενικά ψάρια *Sargocentron rubrum* (αριστερά) και *Siganus luridus* (δεξιά) στην περιοχή Τρούλακας Ν. Καρπάθου).



Εικόνα 23: Τα ξενικά ψάρια *Torquigener flavimaculosus* (αριστερά) στην περιοχή Παλάτια Ν. Σαρίας και *Parupeneus forsskali* (δεξιά) στην περιοχή Μοναξιάς Ν. Σαρίας).

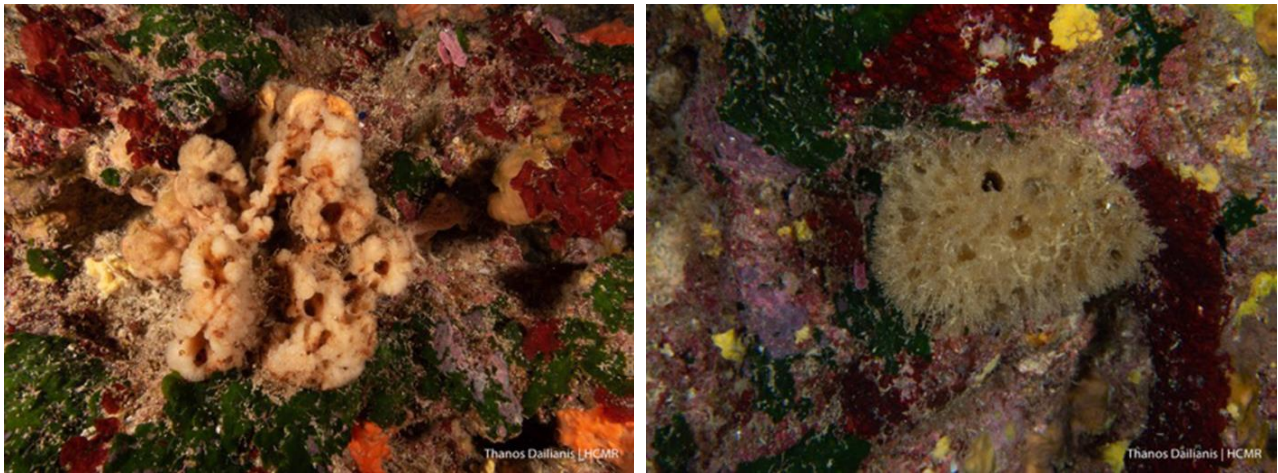
#### 4.3.2. Περιστατικά νέκρωσης βενθικών ειδών

Φαινόμενα νέκρωσης και θνησιμότητας καταγράφηκαν σε τέσσερις βενθικές ταξινομικές ομάδες: για το ροδοφύκος (*Rhodophyta*), τους σπόγγους *Agelas oroides*, *Ircinia oros* και *Spirastrella cunctatrix* και το κοράλλι *Leptopsammia prunoti*.

Αναλυτικότερα, νέκρωση ροδοφυκών παρατηρήθηκε στη ζώνη εισόδου πέντε αντιπροσωπευτικών σπηλαίων και συγκεκριμένα στην Αλιμούντα (σε 6 από τα 10 πλαίσια με μέση κάλυψη 2,5% και μέγιστη κάλυψη έως 12%), το σπήλαιο Γιουριούς (σε 5 από τα 10 πλαίσια της ζώνης εισόδου με μέση κάλυψη 0,9% και μέγιστη κάλυψη 3% και σε 5 από τα 10 πλαίσια της ημισκότεινης ζώνης με μέση κάλυψη 2,1% και μέγιστη κάλυψη 8%). Στην Οξώνησο παρατηρήθηκε νέκρωση ροδοφυκών στην είσοδο (σε 4 από τα 10 πλαίσια με μέση κάλυψη 0,8% και μέγιστη κάλυψη 3%), στον Άγιο Παντελεήμονα (σε 7 από τα 10 πλαίσια της ζώνης εισόδου με μέση κάλυψη 2,9% και μέγιστη κάλυψη 14%) και σε ένα πλαίσιο της ημισκότεινης ζώνης εισόδου (με κάλυψη 1%) και τέλος στον Τρούλακα (σε 3 από τα 10 πλαίσια της ζώνης εισόδου με μέση κάλυψη 0,5% και μέγιστη κάλυψη 2%).

Νέκρωση του σπόγγου *Agelas oroides* παρατηρήθηκε σε 3 σπήλαια: Οξώνησος (σε ένα φωτογραφικό πλαίσιο με κάλυψη 2%), Άγιος Παντελεήμονας και Γιουριούς (από επιπλέον φωτογραφικό υλικό εκτός των φωτογραφικών πλαισίων). Νέκρωση των σπόγγων *Spirastrella cunctatrix* (σε ένα πλαίσιο από την ημισκότεινη ζώνη με κάλυψη 2%) και *Ircinia oros* (επιπλέον φωτογραφικό υλικό) βρέθηκε στην Οξώνησο.

Παρατηρήθηκε επίσης νέκρωση του κνιδόζωου *Leptopsammia prunoti* σε ένα μόνο πλαίσιο της ζώνης εισόδου (1%) του σπηλαίου Αλιμούντα και υπολογίστηκε ποσοστό μέσης κάλυψης 0,1%. Αποκολλημένες αποικίες του κοραλλιού *L. prunoti* και εύθραυστων βρυοζών (*Reteporella* sp. και *Myriapora truncata*), που έχουν πέσει από την οροφή ή τα τοιχώματα, παρατηρήθηκαν επίσης στον πυθμένα του σπηλαίου Τρούλακας. Τα είδη μπορεί είτε να έσπασαν από μηχανική καταπόνηση (π.χ. επαφή με δύτες) είτε να αποκολλήθηκαν από την οροφή λόγω του βάρους τους (Di Franco 2009, Rosso *et al.* 2018). Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για ιδιαίτερα ευαίσθητα και εύθραυστα είδη και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από πιθανούς επισκέπτες ερασιτέχνες δύτες.



Εικόνα 24: Νεκρά άτομα σπόγγων *Agelas oroides* (αριστερά) στην περιοχή Παλάτια Ν. Σαρίας και *Ircinia* sp. (δεξιά) στην περιοχή Γιουριούς Ν. Σαρίας.



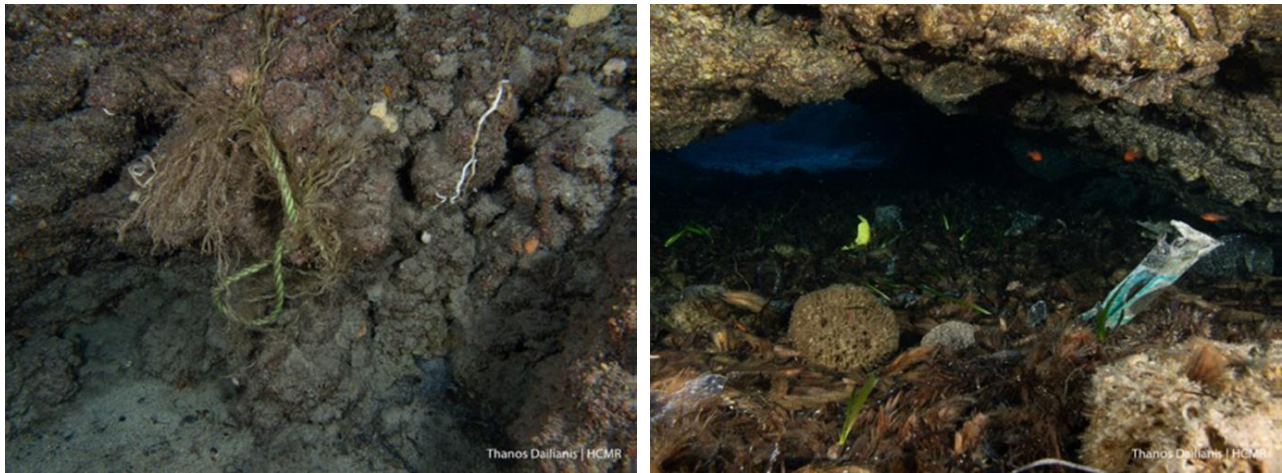
Εικόνα 25: Μερική νέκρωση σε άτομο σπόγγου *Ircinia oros* (αριστερά) στην περιοχή Οξώνησος Ν. Σαρίας και αποκολλημένα στελέχη βρυοζών *Reteporella* sp. και *Myriapora truncata* και κοραλλιών *Leptopsammia pruvoti* (δεξιά) στο δάπεδο του σπηλαιίου του Τρούλακα, Ν. Κάρπαθος.

#### 4.3.3. Πλαστικά απορρίμματα

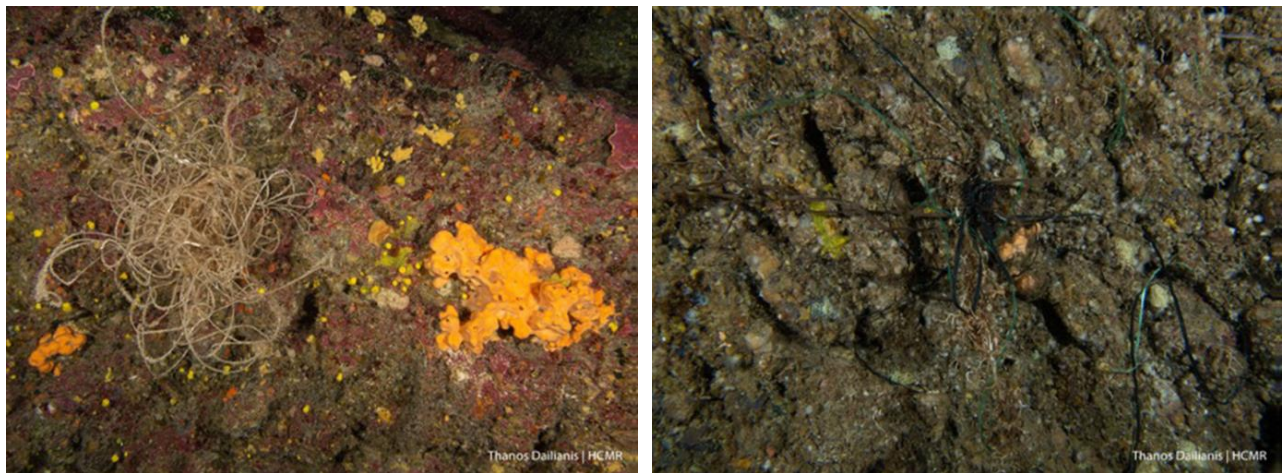
Σε αρκετά σπήλαια καταγράφηκαν απορρίμματα (κυρίως πλαστικά) που συνήθως εγκλωβίζονται στο εσωτερικό τους κυρίως λόγω της κυματικής δράσης, των θαλάσσιων ρευμάτων ή/και από επισκέψεις σκαφών αναψυχής και αλιευτικών σκαφών. Πιο συγκεκριμένα, πλαστικά αντικείμενα και συνθετικά νήματα βρέθηκαν στα σπήλαια Φωκοσπηλιά, Οξώνησος και Γιουριούς (Εικόνα 26). Επίσης, αλιευτικές πετονιές εντοπίστηκαν στο εσωτερικό των σπηλαίων Φωκοσπηλιά, Οξώνησος και Τρούλακας (Εικόνα 27). Η μεγαλύτερη ποσότητα πλαστικών απορριμμάτων βρέθηκε στο ημιβυθισμένο σπήλαιο Οξώνησος, που είναι εκτεθειμένο στους βόρειους ανέμους και δέχεται έντονη κυματική δράση.

Η συσσώρευση απορριμμάτων δημιουργεί δύο κύριες πιέσεις: (α) την παγίδευση κινητικών οργανισμών, ιδιαίτερα καρκινοειδών αλλά και ψαριών και (β) την κάλυψη (smothering) διηθηματοφάγων και αιωρηματοφάγων οργανισμών όπως τα βρυόζωα και οι σπόγγοι με αποτέλεσμα την αναστολή των ζωτικών τους λειτουργιών. Επίσης, μέσω της σταδιακής διάσπασης των μακροπλαστικών δημιουργούνται μικροπλαστικά τα οποία πιθανόν καταναλώνονται από οργανισμούς που συναντώνται στα σπήλαια, φαινόμενο που έχει παρατηρηθεί και μελετηθεί σε πληθώρα διαφορετικών ενδιαιτημάτων.





Εικόνα 26: Συνθετικό σκοινί (αριστερά) σε εσωτερικό σπηλαίου στην περιοχή Γιουριούς Ν. Σαρίας και συσσώρευση πλαστικών σε συνδυασμό με νεκρή οργανική ύλη (φύλλα *Posidonia oceanica*) σε βραχώδη κοιλότητα στην περιοχή Άλωνα Ν. Καρπάθου.



Εικόνα 27: Πετονιά (αριστερά) στο εσωτερικό του σπηλαίου Τρούλακας Ν. Καρπάθου και αλιευτικά νήματα (δεξιά) στο εσωτερικό του σπηλαίου στην Οξώνησο Ν. Σαρίας.

## 5. Συζήτηση

### 5.1 Δομή των βιοκοινοτήτων των επτά σπηλαίων

Στα επτά σπήλαια που θεωρήθηκαν ως αντιπροσωπευτικά, συνολικά καταγράφηκαν 121 τάξα εκ των οποίων 78 τάξα εδραίων και 43 κινητικών οργανισμών. Τα τάξα εδραίων οργανισμών σκληρού υποστρώματος καταγράφηκαν σε επίπεδο είδους (47), γένους (18), οικογένειας (3) και σε ανώτερες λειτουργικές/ταξινομικές ομάδες (10). Τα 43 τάξα κινητικών οργανισμών αναγνωρίστηκαν σε επίπεδο είδους (39), γένους (2) ή οικογένειας (2). Μεταξύ των ειδών που αναγνωρίστηκαν συγκαταλέγονται αρκετά είδη που θεωρούνται χαρακτηριστικά του ενδιαίτηματος του θαλάσσιου σπηλαίου αλλά και 11 προστατευόμενα, 2 εμπορικά, 2 βαθύβια, αρκετά σπάνια και 9 αλλόχθονα είδη. Αξίζει να σημειωθεί πως ξενικά είδη καταγράφηκαν σε όλα τα μελετώμενα σπήλαια, γεγονός που πιθανόν να υποδεικνύει την εγκατάσταση των πληθυσμών τους στο συγκεκριμένο ενδιαίτημα στην περιοχή μελέτης. Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν την υπόθεση (3) της παρούσας εργασίας, σύμφωνα με την οποία αναμενόταν να καταγραφούν αρκετά ξενικά είδη τα οποία είναι γνωστό πως έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικά οικοσυστήματα της ίδιας περιοχής (Gerasimou *et al.* 2016, Ragkousis *et al.* 2020, Digenis *et al.* 2021).

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν διακρίνονται κάποια πρότυπα στη δομή των βιοκοινοτήτων των μελετώμενων σπηλαίων. Όσον αφορά στους εδραίους οργανισμούς, μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης για όλες τις οικολογικές ζώνες των σπηλαίων συνολικά είχαν οι σπόγγοι ενώ διαφορετικές ομάδες εδραίων οργανισμών επικρατούσαν σε διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων. Στη ζώνη εισόδου όλων των σπηλαίων που μελετήθηκαν, μεγαλύτερη κάλυψη εμφάνισαν τα μακροφύκη, κυρίως ενασβεστωμένα ροδοφύκη. Η επικράτηση των Μακροφυκών στη ζώνη εισόδου οφείλεται στην επαρκή για την επιβίωση και την ανάπτυξη τους ένταση φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην είσοδο του σπηλαίου ανεξάρτητα από το αν αυτή είναι ημιβυθισμένη ή εξ ολοκλήρου βυθισμένη. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με εκείνα προηγούμενων μελετών σε άλλα σπήλαια της Μεσογείου (Pérès & Picard 1949, Laborel & Vacelet 1959, Vacelet 1959, Laborel 1960, 1961, Riedl 1966, Pérès 1967, Rouliquen 1972, Harmelin *et al.* 1985, Γεροβασιλίου 2014, Διγενής 2019, Dimarchopoulou *et al.* 2018).

Στην ημισκότεινη ζώνη των περισσότερων σπηλαίων, μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης εμφάνισαν οι σπόγγοι, ενώ για δύο σπήλαια υπήρχαν μεγάλες επιφάνειες γυμνού από τάξα υποστρώματος. Η επικράτηση των σπόγγων στην ημισκότεινη ζώνη των περισσότερων σπηλαίων (Οξώνησος, Γιουριούς, Παντελεήμονας και Τρούλακας) είναι ένα φαινόμενο που επίσης συμφωνεί με πολλές προηγούμενες μελέτες των βιοκοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων (Pérès & Picard 1949, Laborel & Vacelet 1959, Vacelet 1959, 1964, Laborel 1960, 1961, Γεροβασιλίου 2014). Προς το εσωτερικό του σπηλαίου μειώνεται η ένταση της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας, συνεπώς μειώνεται και η κάλυψη των ροδοφυκών. Το γεγονός αυτό παράλληλα ευνοεί την ανάπτυξη σκιοφίλων σπόγγων που επωφελούνται από τον μικρότερο ανταγωνισμό για το χώρο με τα ροδοφύκη. Στα περισσότερα σπήλαια, επίσης μεγάλα ποσοστά κάλυψης στην ημισκότεινη ζώνη εμφανίζουν τα βρυόζωα (Gerovasileiou *et al.* 2017a, Rosso *et al.* 2018). Παρόλα αυτά, τα βρυόζωα αποτελούν μια ομάδα ασπονδύλων που έχουν μελετηθεί ελάχιστα στην Ανατολική Μεσόγειο (Rosso *et al.* 2018) και επομένως η ταξινομική τους ταυτοποίηση είναι δύσκολη και χρονοβόρα.

Η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών αβιοτικού υποστρώματος στην ημισκότεινη ζώνη του σπηλαίου Φωκοσπηλιά πιθανόν να οφείλεται στην απότομη μείωση του φωτός καθότι η είσοδός της είναι εξολοκλήρου βυθισμένη και έχει μικρό εμβαδόν εισόδου (ομάδα 1: 15-40m<sup>2</sup>). Είναι γνωστό πως η ποσότητα του σκεδαζόμενου φωτός που καταλήγει στην είσοδο του σπηλαίου εξαρτάται από το βάθος στο οποίο αυτή βρίσκεται (Radolovic *et al.* 2015). Αντίθετα, για το σπήλαιο Παλάτια, πιθανόν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του σπηλαίου να ευνοούν την απουσία φωτός στο εσωτερικό του.

Στην σκοτεινή ζώνη, που διέθεταν δύο μόνο από τα σπήλαια που μελετήθηκαν, υπερτερούσαν είτε οι σπόγγοι είτε υπήρχαν μεγάλες επιφάνειες γυμνού υποστρώματος, ενώ αυξήθηκε το ποσοστό κάλυψης των πολυχαίτων και των βραχιοπόδων. Τα παραπάνω συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες από άλλα σπήλαια της Μεσογείου και του Αιγαίου (Gerovasileiou *et al.* 2015a, 2018, Gerovasileiou & Voultsiadou 2016, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Guido *et al.* 2017, Dimarchopoulou *et al.* 2018, Galani *et al.* 2018, Διγενής 2019). Η επικράτηση των πολυχαίτων και του υποστρώματος χωρίς παρουσία οργανισμών στη σκοτεινή ζώνη έχει δειχθεί με λεπτομέρεια στη μελέτη των Sanfilippo *et al.* (2017) όπου καταγράφεται και συγκρίνεται η μεγάλη αφθονία και ο αριθμός των ειδών της οικογένειας Serpulidae στο σκοτεινό εσωτερικό δύο υποθαλάσσιων σπηλαίων της Λέσβου. Η εμφανής σταδιακή μείωση της κάλυψης από τάξα, από τα τοιχώματα της ημισκότεινης ζώνης προς τα πιο σκοτεινά σημεία των σπηλαίων, οφείλεται όμως και στη μειωμένη ανανέωση του νερού και στις περισσότερο ολιγοτροφικές συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό σκοτεινό άκρο των σπηλαίων εξαιτίας της απουσίας πρωτογενούς παραγωγής. Με την καθολική απουσία φυτικών οργανισμών στο εσωτερικό του σπηλαίου, τα τροφικά πλέγματα απλουστεύονται δραματικά, γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση τόσο της αφθονίας των ζωικών ειδών

όσο και της ποικιλότητάς τους προς το εσωτερικό (Harmelin *et al.* 1985, Sempere-Valverde *et al.* 2019). Για τους παραπάνω λόγους, στο σκοτεινό εσωτερικό επίσης επικρατούν περισσότερο κρουστώδεις δισδιάστατες δομές ειδών, αντίθετα με τις μεγαλύτερες τρισδιάστατες δομές που επικρατούν προς το εξωτερικό του σπηλαίου. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι σπόγγοι με τρισδιάστατη ανάπτυξη προσλαμβάνουν λιγότερη οργανική ύλη αναλογικά με τον όγκο τους καθότι στη δομή τους υπερτερούν τα υποστηρικτικά κύτταρα που δεν διαθέτουν όργανα πρόσληψης τροφής. Συνεπώς η ανάπτυξη τους δεν ευνοείται στο εσωτερικό ολιγοτροφικό περιβάλλον του σπηλαίου (Riedl 1966; Bianchi & Morri 1994, Gerovasileiou & Voultziadou 2016, Sempere-Valverde *et al.* 2019, Gerovasileiou & Bianchi 2021).

Διαφορετικός ήταν και ο αριθμός των τάξεων εδραίων οργανισμών που βρέθηκε σε κάθε μία από τις τρεις οικολογικές ζώνες αλλά και σε κάθε ένα από τα σπήλαια ξεχωριστά. Στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων βρέθηκαν 72 τάξα, 56 στην ενδιάμεση ημισκότεινη ζώνη και 18 στην εσωτερική σκοτεινή ζώνη. Επικρατέστερη ως προς τον αριθμό των τάξεων σε όλες τις οικολογικές ζώνες των σπηλαίων ήταν η ομάδα των σπόγγων, με διαφορετικά είδη να συναντώνται συνηθέστερα σε διαφορετικές οικολογικές ζώνες. Τα είδη *Agelas oroides* και *Aplysilla sulfurea* εμφανίζονταν συνηθέστερα στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων και λιγότερο – αν όχι καθόλου – στα εσωτερικά τμήματα τους ενώ αντίθετα το είδος *Spirastrella cunctatrix* εμφανιζόταν σε όλες τις ζώνες των σπηλαίων. Επίσης ο αριθμός των τάξεων των βρυοζώνων σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μειωνόταν προς το σκοτεινό εσωτερικό.

Η πολυμεταβλητή ανάλυση των κοινοτήτων έδειξε ότι τα γεωμορφολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά των σπηλαίων που μελετήθηκαν σχετίζονται σημαντικά με τα παρατηρούμενα βιοτικά πρότυπα.

Από τα pairwise tests των αναλύσεων one-way ANOSIM που πραγματοποιήθηκαν για τον παράγοντα “Σπήλαιο” φάνηκε πως τα σπήλαια Αλιμούντα και Παντελεήμονας δεν διαφοροποιούνται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα σπήλαια που διαφοροποιούνται μεταξύ τους). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η αψίδα της Αλιμούντας διαθέτει μόνο ζώνη εισόδου και συνεπώς σε αυτή συλλέχθηκε το ήμισυ του αριθμού των πλαισίων που συλλέχθηκαν από τον Παντελεήμονα. Επίσης βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος (25 μέτρα) όπου υπάρχει μειωμένος φωτισμός. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζεται στατιστικά μη σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των σπηλαίων διότι ο μέσος όρος κάλυψης τάξεων του ημιβυθισμένου σπηλαίου Παντελεήμονας, όπου διεισδύει περισσότερο φως εξαιτίας του μεγάλου εμβადού εισόδου, εμφανίζει ομοιότητες με την είσοδο της Αλιμούντας. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER το 65% της ομοιότητας των δύο σπηλαίων οφείλεται στα τάξα: Bryozoan turf, *Peyssonnelia* sp., Encrusting Rhodophyta, *Dedroxea lenis* και *Mesophyllum* sp., εκ των οποίων τα τέσσερα εμφανίζονται συνηθέστερα στην είσοδο των σπηλαίων (ροδοφύκη και Bryozoan turf).

Ως προς τον παράγοντα “Οικολογική ζώνη” τα πλαίσια της ημισκότεινης και της σκοτεινής ζώνης δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά, πιθανότατα εξαιτίας του μικρότερου αριθμού πλαισίων που συλλέχθηκαν στην τελευταία, καθώς καταλάμβανε πολύ μικρή έκταση μόνο σε δύο σπήλαια. Αντίθετα, τα πλαίσια διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ της ζώνης εισόδου και των άλλων δύο ζωνών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER, το 51,5% της ανομοιότητας μεταξύ της ζώνης εισόδου και της ημισκότεινης ζώνης οφείλεται στα τάξα *Peyssonnelia* sp., *Dedroxea lenis*, Encrusting Rhodophyta, Bryozoan turf, *Spirastrella cunctatrix*, *Palmophyllum crassum*, *Mesophyllum* sp. και Serpulidae. Αντίθετα, για την ανομοιότητα μεταξύ της ζώνης εισόδου και της εσωτερικής σκοτεινής ζώνης τα τάξα *Peyssonnelia* sp., Bryozoan turf, Encrusting Rhodophyta, Serpulidae, *Spirastrella cunctatrix*, *Palmophyllum crassum* και *Mesophyllum* sp. συμβάλουν κατά 53,4%. Η μεγάλη ετερογένεια μεταξύ των διαφορετικών οικολογικών ζωνών των σπηλαίων επιβεβαιώνει την υπόθεση (1) της παρούσας εργασίας.

Όταν τα σπήλαια συγκρίθηκαν μεταξύ τους ως προς τον παράγοντα “Εμβαδόν εισόδου” τα πλαίσια δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των σπηλαίων Αλιμούντα, Γιουριούς, Οξώνησος και Παντελεήμονας. Αυτό πιθανά να υποδεικνύει πως όταν οι διαστάσεις της εισόδου ενός σπηλαίου υπερβαίνουν κάποια τιμή τότε δεν μεταβάλλεται σημαντικά η δομή των βιοκοινοτήτων της εισόδου. Δεν φαίνεται να συμβαίνει το ίδιο με τα πλαίσια της ημισκότεινης ζώνης των ίδιων σπηλαίων, πιθανόν διότι το μεγαλύτερο εμβαδόν της εισόδου στο σπήλαιο Παντελεήμονας ευνοεί την καλύτερη ανανέωση του νερού και τη μεταφορά περισσότερων προνυμφών στα εσωτερικά τμήματά του. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης SIMPER, η διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων των σπηλαίων 2 και 3 στην ημισκότεινη ζώνη οφείλεται σε ποσοστό 48,5% στα τάξα: *Spirastrella cunctatrix*, Bryozoan turf, *Dedroxea lenis*, Encrusting Rhodophyta, *Penares* sp., Orange encrusting sponge και *Merlia normani*.

Σύμφωνα με τα pairwise tests τα πλαίσια των σπηλαίων με μεγάλο “Βάθος εισόδου” (ομάδα 2: 11-16 m και 3: >16 m) δεν διαφοροποιούνται στατιστικώς σημαντικά τόσο συνολικά όσο και μόνο για τη ζώνη εισόδου. Το γεγονός αυτό πιθανά να υποδηλώνει πως κάτω από ένα ορισμένο βάθος (στην περίπτωση αυτής της μελέτης περίπου 11 μέτρα) ο μειωμένος φωτισμός παύει να επηρεάζει σημαντικά τη δομή των βιοκοινοτήτων στη ζώνη εισόδου (Gerovasileiou & Bianchi 2021). Αυτή η έλλειψη στατιστικά σημαντικής διαφοροποίησης σε μεγάλα βάθη εμφανίζεται και όταν τα πλαίσια συγκρίνονται συνολικά μεταξύ τους. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων SIMPER, αυτή η μη διαφοροποίηση των πλαισίων της ζώνης εισόδου αλλά και συνολικά καθορίζεται κυρίως από πολλά τάξα σπόγγων και μερικών βρυοζώνων. Οι σπόγγοι όπως έχει προαναφερθεί επικρατούν σε περισσότερο σκιερές συνθήκες λόγω του μειωμένου ανταγωνισμού με τα ροδοφύκη. Συνεπώς η ζώνη εισόδου βαθύτερων σπηλαίων μοιάζει περισσότερο με την ημισκότεινη ζώνη των ρηχών ημιβυθισμένων σπηλαίων παρά με την ζώνη εισόδου τους (Riedl 1966).

Από την ανάλυση SIMPER προέκυψε πως για τον παράγοντα “Τύπος σπηλαίου” η διαφοροποίηση των πλαισίων καθορίζεται σε ποσοστό 49,3% από τα τάξα *Peyssonnelia* sp., *Dedroxea lenis*, *Spirastrella cunctatrix*, Bryozoan turf, Serpulidae, Encrusting Rhodophyta, Encrusting Bryozoa και *Palmophyllum crassum*. Τα σπήλαια της Βόρειας Καρπάθου (Φωκοσπηλιά και Τρούλακας) είναι τα μοναδικά από τα μελετώμενα σπήλαια με εξ ολοκλήρου βυθισμένη είσοδο και συνεπώς με λιγότερο φωτισμό σε αυτήν. Ως αποτέλεσμα, η κάλυψη των φωτοσυνθετικών τάξεων (κυρίως ροδοφύκη) εμφανίζουν μειωμένη κάλυψη σε σχέση με την είσοδο ημιβυθισμένων σπηλαίων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση (2) σύμφωνα με την οποία αναμένεται διαφοροποίηση στη δομή των βιοκοινοτήτων μεταξύ ημιβυθισμένων και εξ ολοκλήρου βυθισμένων σπηλαίων. Η απίδα της Αλιμούντας παρότι βυθισμένη, δέχεται μεγάλη ποσότητα φωτός λόγω των μεγάλων διαστάσεων της εισόδου της.

Για τη διεξαγωγή επιπλέον συμπερασμάτων φαίνεται να είναι σημαντική η λήψη περισσότερων δειγμάτων για την αναγνώριση ειδών που συμπεριλήφθηκαν σε μεγαλύτερες μορφολογικές ομάδες. Στα μελετώμενα σπήλαια επίσης βρέθηκαν αρκετοί σπόγγοι του γένους *Plakina* (Οικογένεια Plakinidae), μίας ομάδας σπόγγων που παρότι εμφανίζουν μεγάλη ποικιλότητα στο Αιγαίο και τη Δυτική Μεσόγειο, είναι ελάχιστα μελετημένη (Lage *et al.* 2018,2019). Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα σημαντική τη μελλοντική αναγνώριση των δειγμάτων σπόγγων που συλλέχθηκαν από τα σπήλαια της Καρπάθου και της Σαρίας.

Με βάση τόσο τη συγκεκριμένη όσο και προηγούμενες μελέτες που εστιάζουν στη ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της βιοποικιλότητας των σπηλαίων αναδείχθηκε η έλλειψη γνώσης για κάποιες ομάδες οργανισμών όπως εκείνες των βρυοζώνων, κνιδοζώνων, καρκινοειδών και μαλακίων καθώς και για τους οργανισμούς μαλακού υποστρώματος. Καθότι οι περισσότερες μελέτες για τη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων σπηλαίων επικεντρώνονται στους εδραίους οργανισμούς (Gerovasileiou *et al.* 2015a,2018, Gerovasileiou & Voultsiadou 2016, Gerovasileiou *et al.* 2017a, Guido *et al.* 2017, Dimarchopoulou *et al.* 2018, Galani *et al.* 2018, Διγενής 2019) λίγες είναι επίσης εκείνες που περιλαμβάνουν καταγραφή κινητικών ειδών (Gerovasileiou *et al.* 2016c) μεταξύ των οποίων και η παρούσα εργασία. Όσο αυξάνονται

οι μελέτες στα θαλάσσια σπήλαια, εμφανίζεται και μία σημαντική αύξηση της καταγραφής σπάνιων και βαθύβιων ειδών, οι πληροφορίες για τα οποία είναι πολλές φορές ελάχιστες.

Επιπλέον, παρόλο που τα σπήλαια φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση των ξενικών ειδών, ελάχιστες είναι οι μελέτες που επικεντρώνονται σε αυτά. Έχει δείχθει πως αρκετά από τα ξενικά είδη επηρεάζουν τις τροφικές σχέσεις των οργανισμών στα οικοσυστήματα όπου εγκαθίστανται ενώ ο ρόλος άλλων ξενικών ειδών σε αυτά είναι εντελώς άγνωστος (Gerovasileiou *et al.* 2016c). Συνεπώς καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική και η μελέτη των αλλόχθονων ειδών που εγκαθίστανται στα θαλάσσια σπήλαια.

Σημαντική έλλειψη γνώσης αφορά και στις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα θαλάσσια σπήλαια καθότι σε αυτά εγκλωβίζονται απορρίμματα (δείχθηκε και στην παρούσα μελέτη), μερικά από τα οποία προστίθενται στο βιοτικό υπόστρωμα των σπηλαίων. Κατά συνέπεια, απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των πιθανών επιπτώσεων και εφαρμογή δεικτών για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των κοινοτήτων των σπηλαίων σε περιοδική βάση.

## 5.2. Προτάσεις δράσεων διαχείρισης και προστασίας

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, γίνεται αντιληπτό πως τα σπήλαια της Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας που μελετήθηκαν στη παρούσα εργασία φιλοξενούν μία πλούσια βιοποικιλότητα περιλαμβάνοντας είδη χαρακτηριστικά του οικοτόπου, βιοσηματισμούς, σπάνια, προστατευόμενα και ξενικά είδη. Κρίνεται συνεπώς απαραίτητη η λήψη δράσεων διαχείρισης και προστασίας των συγκεκριμένων σπηλαίων. Τέτοιες δράσεις προτείνονται παρακάτω:

- Σχέδιο παρακολούθησης (monitoring) σε διαιτη βάση, περιλαμβάνοντας επαναλήψεις της παρούσας μεθοδολογίας καταγραφής, ορισμό σταθερών σημείων ποιοτικής και ποσοτικής εκτίμησης της βιοποικιλότητας των σπηλαίων καθώς και καταγραφή περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και το pH για τη μελέτη της επίδρασης των συνθηκών της κλιματικής αλλαγής.
- Εκτίμηση και ποσοτικοποίηση των πιέσεων όπως τα απορρίμματα συμπεριλαμβανομένων των μικροπλαστικών αλλά και καταγραφή και παρακολούθηση των ξενικών ειδών για τη μελέτη της διασποράς τους και της επίδρασης τους τόσο στο οικοσύστημα των σπηλαίων όσο και στα γειτονικά οικοσυστήματα.
- Δράσεις ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού για τη σημασία και αξία των σπηλαίων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Εκπαίδευση του προσωπικού του Φορέα Διαχείρισης αλλά και ενδιαφερόμενων πολιτών και δυτών στη συλλογή δεδομένων για τις παραπάνω βιοτικές και αβιοτικές παραμέτρους (citizen science). Επίσης εκπαίδευση εξειδικευμένων δυτών στην αφαίρεση των απορριμμάτων από το εσωτερικό των σπηλαίων καθότι ορισμένα από αυτά είναι ενσωματωμένα στις αναπτυσσόμενες βιοκοινότητες ευαίσθητων εδραίων οργανισμών.

Ειδικότερα για τα σπήλαια Τρούλακας και Φωκοσπηλιά, ενδείκνυται θεσμοθέτηση ζώνης προστασίας καθότι αποτελούν αντιπροσωπευτικούς τύπους Μεσογειακών υποθαλάσσιων σπηλαίων, ενώ παράλληλα βρίσκονται κοντά στο μικρό λιμάνι του Διαφανίου και συνεπώς η πρόσβαση σε αυτά είναι ευκολότερη.

## 6. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αποτέλεσε την πρώτη μελέτη των θαλάσσιων σπηλαίων της Προστατευόμενης Περιοχής Βόρειας Καρπάθου-Σαρίας και μία από τις λίγες που έχουν πραγματοποιηθεί για αυτό το είδος

οικοτόπου στην Ανατολική Μεσόγειο. Περιλαμβάνει τόσο την εκτίμηση της βιοποικιλότητας εδραίων και κινητικών οργανισμών όσο και των διαφορετικών πιέσεων και απειλών που δέχονται αυτά τα μοναδικά οικοσυστήματα. Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η δομή των βιοκοινοτήτων διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στα μελετώμενα σπήλαια. Η διαφοροποίηση των σπηλαίων οφείλεται σε διαφορετικούς γεωμορφολογικούς και τοπογραφικούς παράγοντες. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει τη μοναδικότητα κάθε σπηλαίου που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μελλοντικά σχέδια προστασίας.
- Τα πρότυπα κατανομής των τάξων που αναγνωρίστηκαν συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες των βενθικών κοινοτήτων θαλάσσιων σπηλαίων στην Ανατολική Μεσόγειο. Ωστόσο, καταγράφηκαν 17 νέες αναφορές για την πανίδα των σπηλαίων της Ανατολικής Μεσογείου και 11 προστατευόμενα είδη.
- Σε όλα τα μελετώμενα σπήλαια καταγράφηκαν αλλόχθονα είδη, γεγονός που υποδηλώνει την πιθανή μόνιμη εγκατάστασή τους στο ενδιαίτημα του σπηλαίου στην περιοχή μελέτης.

Για την καλύτερη κατανόηση του μοναδικού οικοσυστήματος των θαλάσσιων σπηλαίων και την παραγωγή χρήσιμης γνώσης για τη διαχείρισή τους, είναι αναγκαία η διεξαγωγή περισσότερων μελλοντικών ερευνών στα θαλάσσια σπήλαια της περιοχής που θα επικεντρώνονται τόσο στη μελέτη των βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων όσο και στις πιέσεις που δέχονται.

## 7. Βιβλιογραφία

### 7.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

Γεροβασιλείου Β (2014) Βιοποικιλότητα υποθαλάσσιων σπηλαίων στο Βόρειο Αιγαίο. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 217 σελ.

Διγενής Μ (2019) Διαβάθμιση βιοποικιλότητας και περιβαλλοντικών παραμέτρων σε θαλάσσιο σπήλαιο της Κρήτης. Διπλωματική Εργασία. Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών (ΙΘΑΒΒΥΚ), Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), 81 σελ.

Νταϊλιάνης Θ, Γεροβασιλείου Β, Χατζηγεωργίου Γ, Διγενής Μ, Βερνάδου Ε, Γλαμπεδάκης Ι, Χατζηνικολάου Ε, Παυλούδη Χ, Αρβανιτίδης Χ (2020) Τελική Έκθεση Αναφοράς, «Λεπτομερής εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των υποθαλάσσιων σπηλαίων» στο πλαίσιο της Πράξης: «Διαχειριστικές Παρεμβάσεις στην Προστατευόμενη Περιοχή Β. Καρπάθου-Σαρίας, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Νότιο Αιγαίο 2014-2020», 42 σελ.

ΟΔΗΓΙΑ 92/43/ΕΟΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 21ης Μαΐου 1992 για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας.

### 7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

André F, Corolla J. P, Lanza B, Rochefort G (2014) BRYOZOAIRES D'EUROPE - LES CARNETS DU PLONGEUR, Ed. Neptune Plongée, 256pp.

Antoniadou C, Voultziadou E, Chintiroglou C (2006) Sublittoral megabenthos along cliffs of different profile (Aegean Sea, Eastern Mediterranean). *Belgian Journal of Zoology*, 136: 69-79.

- Arko-Pijevac M, Benac Č, Kovačić M, Kirinčić M (2001) A submarine cave at the Island of Krk (North Adriatic Sea). *Natura Croatica*, 10: 163-184.
- Balduzzi A, Bianchi C. N, Boero F, Cattaneo-Vietti R, Pansini M, Sarà M (1989) The suspension-feeder communities of a Mediterranean Sea cave. *Scientia Marina*, 53: 387-395.
- Balduzzi A, Pansini M, Pronzato R (1985) Estimation par relèvements photographiques de la distribution de spongiaires et bryozoaires dans une grotte sous-marine du Golfe de Naples. *Rapport du Commission International de la Mer Medittanée*, 29: 131-134.
- Bianchi C. N, Morri C (1994) Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse; definizione di una scala di confinamento. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia serie II*, 6: 107-123.
- Bianchi C. N, Pronzato R, Cattaneo-Vietti R, Benedetti-Cecchi L, Morri C, Pansini M, Chemello R, Milazzo M, Frascchetti S, Terlizzi A, Peirano A, Salvati E, Benzoni F, Calcinaì B, Cerrano C, Bavestrello G (2004) Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study. Hard bottoms. *Biologia Marina Mediterranea*, 11: 185-215.
- Bibiloni M. A, Uriz M. J, Gili J. M (1989) Sponge communities in three submarine caves of the Balearic Islands (Western Mediterranean): adaptations and faunistic composition. *Marine Ecology*, 10(4): 317-334.
- Bray J. R., Curtis J. T (1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4): 325-349.
- 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.
- Cattaneo-Vietti R, Russo G. F (1987) Molluscs from submarine caves of the Sorrentine Peninsula (southern Tyrrhenian Sea). *Stygologia*, 3(2): 138-148
- Chevaldonné P, Lejeusne C (2003) Regional warming-induced species shift in north-west Mediterranean marine caves. *Ecology Letters*, 6(4): 371-379.
- Cicogna F, Bianchi CN, Ferrari G, Forti P (2003) Le grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, 505 pp.
- Cinelli F, Fresi E, Mazzella L, Pansini M, Pronzato R, Svoboda A (1977) Distribution of benthic phyto- and zooecoenoses along a light gradient in a superficial marine cave. In: *Biology of benthic organisms* Keegan BF, Ceidigh PO, Boaden PJS (Eds) Proceedings of the 11th European Symposium on Marine Biology, Pergamon Press, Oxford, pp 173-183.
- Clarke K. R, Green R. H (1988) Statistical design and analysis for 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 46: 213-226.
- Clarke K. R, Warwick R. M (1994) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Plymouth Marine Laboratory*, Plymouth, 144 pp.

- Clarke K. R, Warwick R. M (2001) A further index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265-278.
- Corriero G, Liaci L. S, Ruggiero D, Pansini M (2000) The sponge community of a semi-submerged Mediterranean cave. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 21(1): 85-96.
- Costa G, Betti F, Nepote E, Cattaneo-Vietti R, Pansini M, Bavestrello G, Bertolino M (2018) Sponge community variations within two semi-submerged caves of the Ligurian Sea (Mediterranean Sea) over a half-century time span. *The European Zoological Journal*, 85(1): 381-391.
- Culver D. C, Pipan T (2009) The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford University Press, Oxford, 254 pp.
- Dendrinou P, Karamanlidis AA, Kotomatas S, Legakis A, Tounta E, Matthiopoulos J (2007) Pupping habitat use in the Mediterranean monk seal: a long-term study. *Marine Mammal Science*, 23: 615-628.
- Di Franco A, Milazzo M, Baiata P, Tomasello A, Chemello R (2009) Scuba diver behaviour and its effects on the biota of a Mediterranean marine protected area. *Environmental Conservation*, 36: 32-40.
- Digenis M, Ragkousis M, Vasileiadou K, Gerovasileiou V, Katsanevakis S (2021) New records of the Indo-Pacific shrimp *Urocaridella pulchella* Yokes & Galil, 2006 from the Eastern Mediterranean Sea. *BioInvasions Records*, 10
- Dimarchopoulou D, Gerovasileiou V, Voultziadou E (2018) Spatial variability of sessile benthos in a semi-submerged marine cave of a remote Aegean Island (eastern Mediterranean Sea). *Regional Studies in Marine Science*, 17: 102-111.
- Galani A, Dailianis T, Sini M, Katsanevakis S, Gerovasileiou V (2018) Characterization of benthic communities in marine caves of the island-dominated Aegean Sea (Eastern Mediterranean). In *2nd Mediterranean Symposium on the conservation of Dark Habitats*, 67. pp.
- Garrabou J, Riera J, Zabala M (1998) Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities. *Landscape ecology*, 13(4): 225-247
- Gerovasileiou V, Akel E. K, Akyol O, Alongi G, Azevedo F, Babali N, Bakiu R, Bariche M, Bennoui A, Castriota L, Chintiroglou C.C, Crocetta F, Deidun A, Galinou-Mitsoudi S, Giovos I, Gökoğlu M, Golemaj A, Hadjiioannou L, Hartingerova J, Insacco G, Katsanevakis S, Kleitou P, Korun J, Lipej L, Michailidis N., Mouzai Tifoura A, Ovalis P, Petović S, Piraino S, Rizkalla S.I, Rousou M, Savva I, Şen H., Spinelli A, Vougioukalou K.G, Xharahi E, Zava B, Zenetos A, (2017b) New Mediterranean Biodiversity Records (July, 2017). *Mediterranean Marine Science*, 18(2): 355-384.
- Gerovasileiou V, Bianchi CN (2021) Mediterranean marine caves: a synthesis of current knowledge. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 59, in press.
- Gerovasileiou V, Chintiroglou C, Vafidis D, Koutsoubas D, Sini M, Dailianis T, Issaris Y, Akritopoulou E, Dimarchopoulou D, Voultziadou E (2015a) Census of biodiversity in marine caves of the Eastern Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 16(1): 245-265.
- Gerovasileiou V, Chintiroglou C. C, Konstantinou D, Voultziadou E (2016a) Sponges as “living hotels” in Mediterranean marine caves. Featured Article. *Scientia Marina*, 80(3): 279-289.



- Gerovasileiou V, Dailianis T, Sini M, del MAR OTERO M. A. R. I. A, Numa C, Katsanevakis S, Voultsiadou E (2018) Assessing the regional conservation status of sponges (Porifera): the case of the Aegean ecoregion. *Mediterranean Marine Science*, 19(3): 526-537.
- Gerovasileiou V, Dimitriadis C, Arvanitidis C, Voultsiadou E (2017a) Taxonomic and functional surrogates of sessile benthic diversity in Mediterranean marine caves. *PLoS ONE*, 12(9): e0183707.
- Gerovasileiou V, Gantias K, Dailianis T, Voultsiadou E (2015b) Occurrence of some rarely reported fish species in eastern Mediterranean marine caves. *Cahiers de Biologie Marine*, 56: 381-387.
- Gerovasileiou V, Martínez A, Álvarez F, Boxshall G, Humphreys W, Jaume D, Becking L, Muricy G, van Hengstum P, Dekeyzer S, Decock W, Vanhoorne B, Vandepitte L, Bailly N, Iliffe T (2016b) World Register of marine Cave Species (WoRCS): a new Thematic Species Database for marine and anchialine cave biodiversity. *Research Ideas and Outcomes*, 2: e10451.
- Gerovasileiou V, Trygonis V, Sini M, Koutsoubas D & Voultsiadou E. (2013) Three-dimensional mapping of marine caves using a handheld echosounder. *Marine Ecology Progress Series*, 486: 13–22.
- Gerovasileiou V, Voultsiadou E (2012) Marine caves of the mediterranean sea: A sponge biodiversity reservoir within a biodiversity hotspot. *PLoS ONE*, 7(7): e39873.
- Gerovasileiou V, Voultsiadou E (2014) Mediterranean marine caves as biodiversity reservoirs: a preliminary overview. In: Langar H, Bouafif C, Ouerghi A (eds.) *Proceedings of the 1st Mediterranean Symposium on the conservation of Dark Habitats* (Portorož, Slovenia, 31 October 2014). RAC/SPA, Tunis, 45-50. pp.
- Gerovasileiou V, Voultsiadou E, Issaris Y, Zenetos A (2016c) Alien biodiversity in Mediterranean marine caves. *Marine Ecology*, 37(2): 239-256.
- Gerovasileiou V, Voultsiadou E (2016) Sponge diversity gradients in marine caves of the eastern Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(2): 407-416.
- Giakoumi S, Sini M, Gerovasileiou V, Mazor T, Beher J, Possingham HP, Abdulla A, Çinar ME, Dendrinis P, Gucu AC, Karamanlidis A. A, Rodic P, Panayotidis P, Taskin E, Jaklin A, Voultsiadou E, Webster Ch, Zenetos A, Katsanevakis S (2013) Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. *PLoS ONE*, 8(10): e76449.
- Gili J. M, Oliviera I, Zabala M, Ros J. D (1982) Primera contribuci' on al conocimiento del poblamiento de las cuevas submarinas del litoral catal'an. In: Niell FX, Ros JD (Eds) *Actas del Ier simposio Ib' erico de estudios del bentos marino*, Universidad de Bilbao, San Sebasti'an, 818-836 pp.
- Guarnieri G, Terlizzi A, Bevilacqua S, Fraschetti S (2012) Increasing heterogeneity of sensitive assemblages as a consequence of human impact in submarine caves. *Marine Biology*, 159(5): 1155-1164.
- Guido A, Gerovasileiou V, Russo F, Rosso A, Sanfilippo R, Voultsiadou E, Mastandrea A, (2019a) Composition and biostratinomy of sponge-rich biogenic crusts in submarine caves (Aegean Sea, Eastern Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 534, 109338.
- Guido A, Gerovasileiou V, Russo F, Rosso A, Sanfilippo R, Voultsiadou E, Mastandrea A (2019b) Dataset of biogenic crusts from submarine caves of the Aegean Sea: An example of sponges vs microbialites competition in cryptic environments. *Data in brief*, 27, 104745.

- Guido A, Heindel K, Birgel D, Rosso A, Mastandrea A, Sanfilippo R, Russo F, Peckmann J (2013) Pendant bioconstructions cemented by microbial carbonate in submerged marine caves (Holocene, SE Sicily). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 388: 166-180.
- Guido A, Jimenez C, Achilleos K, Rosso A, Sanfilippo R, Hadjioannou L, Petrou A, Russo F, Mastandrea A (2017) Cryptic serpulid-microbialite bioconstructions in the Kakoskali submarine cave (Cyprus, Eastern Mediterranean). *Facies*, 63(3): 1-17.
- Gunn J (2004) Encyclopedia of Caves and Karst Science. Fitzroy Dearborn, New York, 902 pp.
- Harmelin J. G, Bitar G, Zibrowius H (2007) *Schizoretepora hassi* sp. nov. (Bryozoa: Phidoloporidae) from Lebanon (Eastern Mediterranean) and reappraisal of *Schizotheca serratumargo* (Hincks, 1886). *Cahiers de Biologie Marine*, 48(2): 179-186.
- Harmelin J. G, Vacelet J, Vasseur P (1985) Les grottes sous-marines obscures: un milieu extrême et un remarquable biotope refuge. *Tethys (Marseille)*, 1(3-4): 214-229.
- Harmelin J. G (1980) Etablissement des communautés de substrats durs en milieu obscur. Résultats préliminaires d'une expérience à long terme en Méditerranée. *Memorie di Biologia Marina e di Oceanografia*, 10: 29-52.
- Harmelin J. G (1997) Diversity of bryozoans in a Mediterranean sublittoral cave with bathyal like conditions: role of dispersal processes and local factors. *Marine Ecology Progress Series*, 153: 139-152.
- Harmelin J. G (1985). Bryozoan dominated assemblages in Mediterranean cryptic environments. *Bryozoa: ordovician to recent*, 135-143.
- Hofrichter R (2002) Das mittelmeeer: fauna, flora, oekologie. Teil I—Allgemeiner Teil. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 608 pp.
- Karamanlidis A. A, Dendrinou P, De Larrinoa P. F, Gücü A C, Johnson W. M, Kiraç C. O, Pires R (2016) The Mediterranean monk seal *Monachus monachus*: status, biology, threats, and conservation priorities. *Mammal Review*, 46(2): 92-105.
- Karamanlidis A. A, Pires R, Silva N. C, Neves H. C (2004) The availability of resting and pupping habitat for the Critically Endangered Mediterranean monk seal *Monachus monachus* in the archipelago of Madeira. *Oryx*, 38: 180–185.
- Kipson S, Fourn 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(11): e27103.
- Labrel J (1960) Contribution à l'étude des peuplements benthiques sciaphiles sur substrat rocheux en Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 20: 117-173.
- Labrel J (1961) Le concrétionnement algal 'coralligène' et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 23(37): 37-60.
- Labrel J, Vacelet J (1959) Les grottes sous-marines obscures en Méditerranée. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 248: 2619-2621.

- Lage A, Araújo HPM, Gerovasileiou V, Muricy G (2018) A new cave-dwelling species of *Plakina* (Porifera: Homoscleromorpha) from Crete, Greece (Aegean Sea). *Zootaxa*, 4466: 39-48.
- Lage A, Gerovasileiou V, Voultsiadou E, Muricy G (2019) Taxonomy of *Plakina* (Porifera: Homoscleromorpha) from Aegean submarine caves, with description of three new species and new characters for the genus. *Marine Biodiversity*, 49: 727-747.
- Le Granché Ph, André F, Rochefort G (2018) SPONGIAIRES DE FRANCE - LES CARNETS DU PLONGEUR, Ed. Neptune Plongée, 256pp.
- Lewin J, Woodward JC (2009) Karst geomorphology and environmental change. In: Woodward JC (Ed) The physical geography of the Mediterranean. *The physical geography of the Mediterranean Oxford University Press*, Oxford, 287-317 pp.
- Louisy P (2015) Europe and Mediterranean Marine Fish Identification Guide, 3rd edition, Paris, France, 512pp.
- Margalef R (1958) Information theory in biology. *General Systems Yearbook*, 3: 36-71.
- Martí R, Uriz MJ, Ballesteros E, Turon X (2004) Benthic assemblages in two Mediterranean caves: species diversity and coverage as a function of abiotic parameters and geographic distance. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 84: 557-572.
- Mom (2005) Status report of the Mediterranean monk seal populations in Kimolos-Polyaigos and KarpathosSaria areas. *Final report to EC LIFE-NATURE 2000 Project (LIFE00NAT/GR/7248)* Athens, Greece: MOM/ Hellenic Society for the Study and Protection of the Monk Seal.
- Montefalcone M, Falco G. D, Nepote E, Canessa M, Bertolino M, Bavestrello G, Morri C, Bianchi CN (2018) Thirty year ecosystem trajectories in a submerged marine cave under changing pressure regime. *Marine Environmental Research*, 137: 98-110.
- Muricy G, Sole-Cava A. M, Thorpe J. P, Boury-Esnault N (1966) Genetic evidence for extensive cryptic speciation in the subtidal sponge *Plakina trilopha* (Porifera: Demospongiae: Homoscleromorpha) from the Western Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 138: 181-187.
- Nepote E, Bianchi C. N, Morri C, Ferrari M, Montefalcone M (2017) Impact of a harbour construction on the benthic community of two shallow marine caves. *Marine Pollution Bulletin*, 114: 35-45.
- Novosel M, Bakran-Petricioli T, Požar-Domac A, Kružić P, Radić I (2002) The benthos of the northern part of the Velebit Channel (Adriatic Sea, Croatia). *Natura Croatica*, 11: 387-409.
- Onorato R, Forti P, Belmonte G, Costantini A, Poto M (2003) La grotta sottomarina lu Lampiùne: novità esplorative e prime indagini ecologiche. *Thalassia Salentina*, 26: 55-64.
- Pansini M, Pronzato R, Fresi E, Cinelli F, Mazzella L, Ponticelli M. P (1977). Evoluzione delle biocenosi bentoniche di substrato duro lungo un gradiente di luce in una grotta marina superficiale: Poriferi. In *Atti del IX Congresso SIBM, Lacco Ameno, Ischia, 19-22 maggio 1977*, 314-330 pp.
- Pérès J. M (1967) Mediterranean Benthos. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 5: 449-533.

- Pérès J. M, Picard J (1949) Notes sommaires sur le peuplement des grottes sous-marines de la région de Marseille. *Compte rendu sommaire des séances de la Société de biogéographie*, 227: 42-45.
- Pérès J. M, Picard J (1951) Nouvelle carte des fonds du Golfe de Marseille. *Vie et Milieu*, 1-7.
- Pérès J. M, Picard J (1955) Biotopes et biocoenoses de la Méditerranée occidentale comparées à ceux de la manche et de l'Atlantique nord-oriental. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 92: 1-71.
- Pielou E. C (1969) An introduction to mathematical ecology. Wiley-Inter-science, New York, USA, 286 pp.
- Pielou E. C (1975) Ecological Diversity. John Wiley & Sons, New York, 165 pp.
- Pisera A, Gerovasileiou V (2018) Lithistid demosponges from submarine caves of Crete Island (Eastern Mediterranean Sea): is their occurrence controlled by water silicate content? In: Book of Abstracts of the IV *International Symposium for Anchialine Ecosystems*, 52. pp.
- Pisera A, Gerovasileiou V (2021) Lithistid demosponges of deep-water origin in marine caves of the north-eastern Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8 20.
- Pisera A, Vacelet J (2011) Lithistid sponges from submarine caves in the Mediterranean: taxonomy and affinities. *Scientia Marina*, 75: 17-40.
- Parravicini V, Guidetti P, Morri C, Montefalcone M, Donato M, Bianchi C. N (2010). Consequences of sea water temperature anomalies on a Mediterranean submarine cave ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86:276–282.
- Pouliquen L (1972) Les spongiaires des grottes sous-marines de la region de Marseille. *Ecologie et systematique*. Tethys, 3: 717-758.
- Radolović M, Bakran-Petricioli T, Petricioli D, Surić M, Perica D (2015) Biological response to geochemical and hydrological processes in a shallow submarine cave. *Mediterranean Marine Science*, 16: 305-324.
- Ragkousis M, Abdelali N, Azzurro E, Badreddine A, Bariche M, Bitar G, Crocetta F, Denitto F, Digenis M, El Zrelli R, Ergenler A, Fortič A, Gerovasileiou V, Grimes S, Katsanevakis S, Koçak C, Licchell C, Loudaros E, Mastrototaro F, Mavrič B, Mavruk S, Miliou A, Montesanto F, Ovalis P, Pontes M, Rabaoui L, Sevingel N, Spinelli A, Tiralongo F, Tsatiris A, Turan C, Vitale D, Yalgin F, Yapici S, Zenetos A (2020) New Alien Mediterranean Biodiversity Records (October 2020). *Mediterranean Marine Science*, 21(3): 631-652.
- Raitsos D, Beaugrand G, Georgopoulos D, Zenetos A, Pancucci-Papadopoulou M, Theocharis A, Papathanasiou E (2010) Global climate change amplifies the entry of tropical species into the Eastern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, 55: 1478-1484.
- Rastorgueff P. A, Bellan-Santini D, Bianchi C. N, Bussotti S, Chevaldonné P, Guidetti P, Harmeline J. G, Montefalcone M, Morri C, Perez T, Ruitton S, Vacelet J, Personnic S (2015) An ecosystem-based approach to evaluate the ecological quality of Mediterranean undersea caves. *Ecological Indicators*, 54: 137-152.
- Riedl R (1966) Biologie der Meereshöhlen. Hamburg: Paul Parey, 636 pp.
- Riedl R, Ozratic B (1969) Hydrobiology of marginal caes. Part I. General problems and introduction. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 54: 661-683.

- Romero A (2009) Cave biology: life in darkness. *Cambridge University Press*, New York, 306. pp.
- Rosso A, Gerovasileiou V, Sanfilippo R, Guido A (2018) Bryozoan assemblages from two submarine caves in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Marine Biodiversity*, 49(2): 707-726.
- Rosso A, Martino E. D, Gerovasileiou V (2020) Revision of the genus *Setosella* (Bryozoa: Cheilostomata) with description of new species from deep-waters and submarine caves of the Mediterranean Sea. *Zootaxa*, 4728(4):401-442.
- Rosso A, Sanfilippo R, Guido A, Gerovasileiou V, Ruggiero E. T Belmonte G (2021) Colonisers of the dark: biostalactite-associated metazoans from “lu Lampiùne” submarine cave (Apulia, Mediterranean Sea). *Marine Ecology*, e: 12634
- Russ K, Rützler K (1959) Zur Kenntnis der Schwammfauna unterseeischer Höhlen. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 756-787.
- Sanfilippo R, Rosso A, Guido A, Gerovasileiou V (2017) Serpulid communities from two marine caves in the Aegean Sea, eastern Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(5): 1059-1068.
- Santangelo G, Bramanti L, Iannelli M (2007) Population dynamics and conservation biology of the over-exploited Mediterranean red coral. *Journal of theoretical biology*, 244(3): 416-423.
- Sarà (1962) Zonazione dei Porifera in biotope litorali. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 32: 44-57.
- Sempere-Valverde J, Sabino Lorenzo Á, Espinosa F, Gerovasileiou V, Sánchez-Tocino L, Navarro-Barranco C (2019) Taxonomic and morphological descriptors reveal high benthic temporal variability in a Mediterranean marine submerged cave over a decade. *Hydrobiologia*, 839: 177-194.
- Senthilkumar K, Venkatesan J, Manivasagan P, Kim S. K (2013) Antiangiogenic effects of marine sponge derived compounds on cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36: 1097-1108.
- Shannon C. E, Weaver W (1949) The mathematical theory of communication Urbana, IL, *The University of Illinois Press*, 1-117.
- Simpson E. H (1949) Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148): 688-688.
- Sini M, Katsanevakis S, Koukouroufli N, Gerovasileiou V, Dailianis T, Buhl-Mortensen L, Damalas D, Dendrinou P, Dimas X, Frantzis A, Gerakaris V, Giakoumi S, Gonzalez-Mirelis G, Hasiotis T, Issaris Y, Kavadas S. G, Koutsogiannopoulos D. D, Koutsoubas D, Manoutsoglou E, Markantonatou V, Mazaris A. D, Poursanidis D, Papatheodorou G, Salomidi M, Topouzellis K, Trygonis V, Vassilopoulou V, Zotou M (2017) Assembling ecological pieces to reconstruct the conservation puzzle of the Aegean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4, 347.
- Slattery M, Gochfeld D. J, Eason C. G, O'Donahue L. R (2013) Facilitation of coral reef biodiversity and health by cave sponge communities. *Marine Ecology Progress Series*, 476: 71-86.

SPA/RAC–UN Environment/MAP, OCEANA (2017) Guidelines for inventorying and monitoring of dark habitats in the Mediterranean Sea. By Gerovasileiou V, Aguilar R, Marín P. SPA/RAC-Deep Sea Lebanon Project, Tunis, 40 p. + Annexes.

Stock J. H, Iliffe T. M, Williams D (1986) The concept “anchialine” reconsidered. *Stygologia*, 2: 90-92.

Trainito E (2004) ATLANTE DI FLORA & FAUNA DEL MEDITERRANEO, (1ere édition), ed. Il Castello, Italie, 256pp.

Teixidó N, Garrabou J, Harmelin J. G (2011b) Low dynamics, high longevity and persistence of sessile structural species dwelling on Mediterranean coraligenous outcrops. *PLoS ONE*, 6: e23744.

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.

Tsiamis K, Aydogan Ö, Bailly N, Balistreri P, Bariche M, Carden-Noad S, Corsini-Foka M, Crocetta F, Davidov B, Dimitriadis C, Dragičević B, Drakulić M, Dulčić J, Escánez A, Fernández -Álvarez F. A, Gerakaris V, Gerovasileiou V, Hoffman R, Izquierdo-Gómez D, Izquierdo-Muñoz A, Kondylatos G, Latsoudis P, Lipej L, Madiraca F, Mavrič B, Parasporo M, Sourbès L, Taşkin E, Türker A, Yapici S (2015) New Mediterranean Biodiversity Records (July 2015). *Mediterranean Marine Science*, 16(2): 472-488.

Turon X, Martí R, Uriz MJ (2009) Chemical bioactivity of sponges along an environmental gradient in a Mediterranean cave. *Scientia Marina*, 73: 387-397.

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. Dark Habitats Action Plan. Ed. RAC/SPA, Tunis: 17 pp.

Vacelet J (1959) Répartition générale des éponges et systématique des éponges cornées de la région de Marseille et de quelques stations méditerranéennes. *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 26: 39-101.

Vacelet J (1964) Étude monographique de l'éponge calcaire pharétronide de Méditerranée, *Petrobiona massiliana* Vacelet et Lévi. Les Pharétronides actuelles et fossiles. *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 34: 1-125.

Voultsiadou E, Vafidis D, Antoniadou C (2008) Sponges of economical interest in the Eastern Mediterranean: an assessment of diversity and population density. *Journal of Natural History*, 42: 529-543.

Zibrowius H (1968) Etude morphologique, systematique et ecologique des Serpulidae (Annelida Polychaeta) de le region de Marseille. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 43: 81-252.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

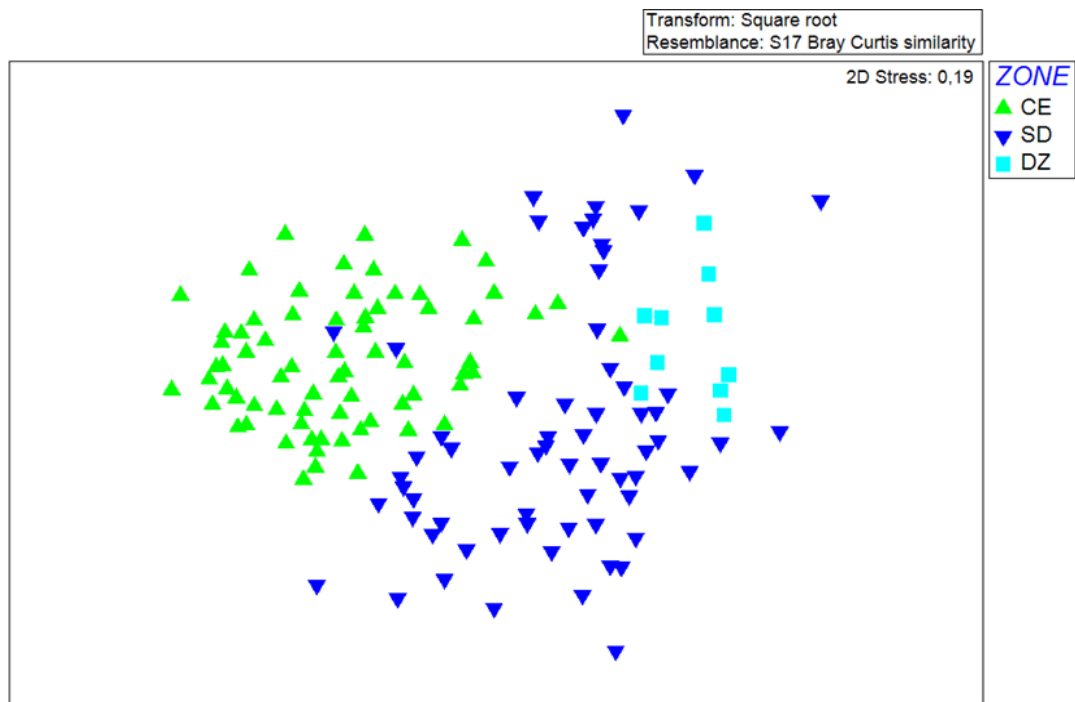
<b>Area :</b>		<b>Date :</b>		<b>Observer :</b>	
<b>Latitude :</b>			<b>Longitude :</b>		
<b>Submersion level :</b> Submerged / Semi-submerged			<b>Cave morphology :</b> Blind cave / Tunnel – No. of entrances: ...		
<b>Total length of cave: ...</b>		<b>Maximum water depth: ...</b>		<b>Minimum water depth: ...</b>	
<b>Entrance A' – Max depth (m): ...</b>		<b>Height (m): ...</b>	<b>Width (m): ...</b>	<b>Orientation: ...</b>	
<b>Entrance B' – Max depth (m): ...</b>		<b>Height (m): ...</b>	<b>Width (m): ...</b>	<b>Orientation: ...</b>	
<b>Other topographic features :</b> Internal beach / Air pockets / Speleothems / ...					
<b>Micro-habitats :</b>					
<b>Detritivorous / omnivorous species (number of species and individuals observed at 5 min interval)</b>					
<i>Herbstia condyliata</i>		1-2	3-4	5-10	>10
<i>Galathea strigosa</i>		1-2	3-4	5-10	>10
<i>Scyllarus arctus</i>		1-2	3-4	5-10	>10
...		1-2	3-4	5-10	>10
...		1-2	3-4	5-10	>10
...		1-2	3-4	5-10	>10
...		1-2	3-4	5-10	>10
...		1-2	3-4	5-10	>10
<b>Mysids</b> 0 few swarm					
<b>Fish species observed / cave zone</b> (CE: entrance, SD: semi-dark zone, DZ: dark zone)			<b>Decapod species observed / cave zone</b> (CE: entrance, SD: semi-dark zone, DZ: dark zone)		
...			/		
...			/		
...			/		
...			/		
...			/		
...			/		
...			/		
...			/		
<b>Cerianthus membranaceus (number of individuals)</b>			0	1-2	>2
<b>Arachnanthus oligopodus (number of individuals)</b>			0	1-2	>2
<b>Other typical and/or protected species</b>			<b>Threats and pressures</b>		
			Broken bryozoans	...	
			Air bubbles	...	
			Marine litter	...	
			Non-indigenous species	...	
			...	...	
			...	...	
			<b>Other comments</b>		

Εικόνα 28: Πρωτόκολλο παρακολούθησης για την καταγραφή του βαθμού διατήρησης και εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης καθώς επίσης και των πιέσεων και απειλών του οικοτόπου 8330 (SPA/RAC–UN Environment/MAP & OCEANA).

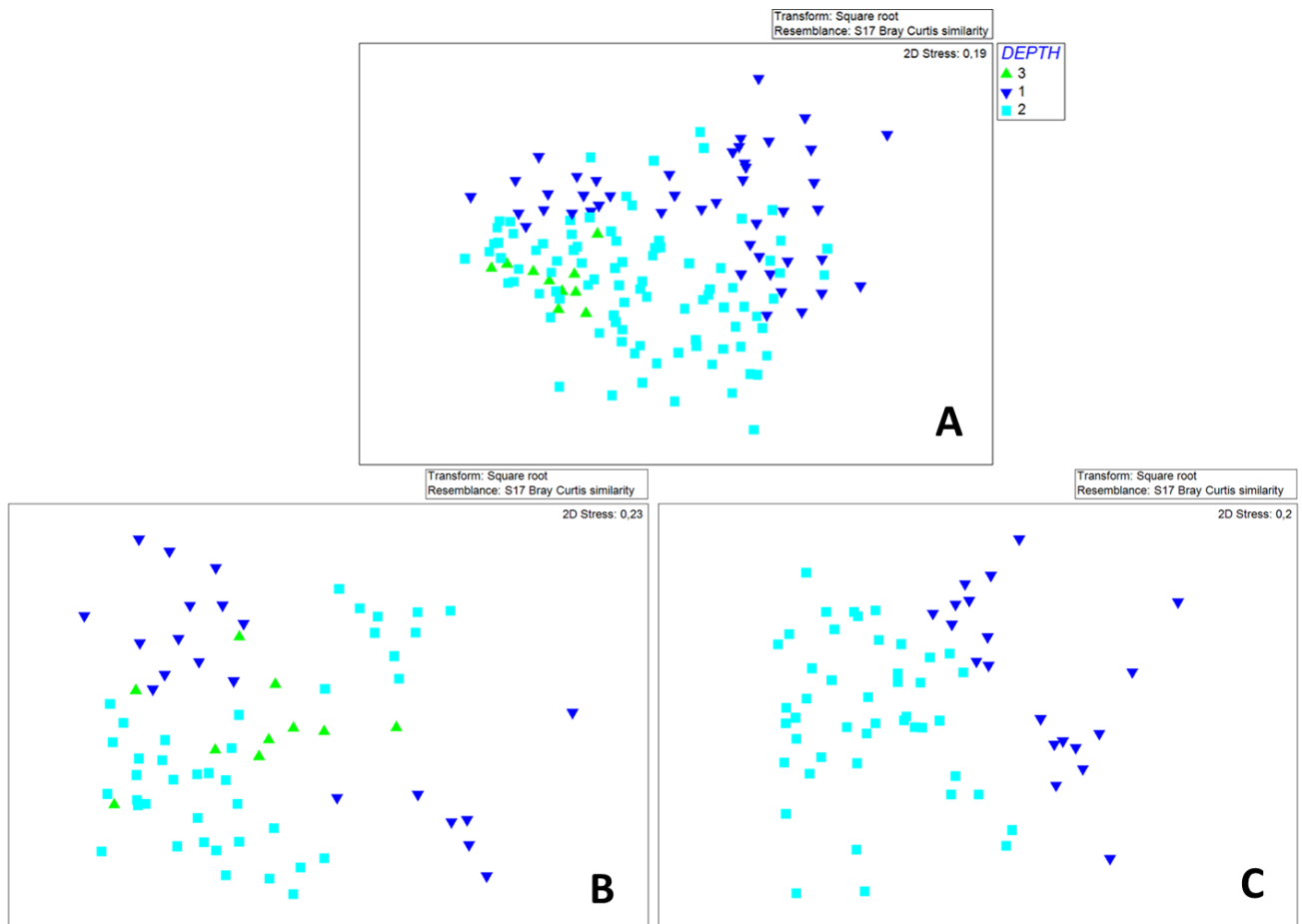
Πίνακας 9 Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των κινητικών ειδών που καταγράφηκαν για τα υπόλοιπα σπήλαια που καταγράφηκαν. AL: Αλιμούντα, ORG: Πύργος του Οργκά, MEL1: Μέλουρος 1, MEL2: Μέλουρος 2, GA3: Γαυτές 3, PLA1: Πλάκα 1, PLA3: Πλάκα 3, KI: Κισόλια, ATH: Ήμερα Αθυμάρια, ASP: Άσπρουας, SP3: Σπαθαρέα 3, RS: Rock start, GE: Γέρος, AR2: Αρέλια 2, CHAL1: Χαλαβρόντα 1, CHAL3: Χαλαβρόντα 3, ΡΟΥ: Πούντες, ΜΟ: Μοναξιάς, 024: σίγμα 24, ΑΜΜ: Αμμούι PLA: Πλάτωμα. \* Προστατευόμενα είδη, † Ξενικά, C κρυπτογενή, R επέκταση κατανομής (range expanding).

Species	AL	ORG	MEL1	MEL2	GA3	PLA1	PLA3	KI	ATH	ASP	SP3	RS	GE	AR2	CHAL1	CHAL3	POU	MO	024	AMM	PLA	
<i>Palaeomon serratus</i>											✓											
<i>Palinurus elephas</i> *										✓							✓					
<i>Percnon gibbesi</i> C											✓											
<i>Plesionika narval</i>							✓															
<i>Stenopus spinosus</i>												✓										
<i>Antedon mediterranea</i>																						✓
<i>Diadema setosum</i> †																						✓
Ophiuridae																						✓
<i>Anthias anthias</i>							✓	✓	✓													✓
<i>Apogon imberbis</i>							✓	✓	✓													✓
<i>Atherina</i> sp.																						✓
<i>Chromis chromis</i>																						✓
<i>Coris juris</i>																						✓
<i>Diplodus annularis</i>																						✓
<i>Enchelycore anatina</i> R																						✓
<i>Epinephelus marginatus</i> *																						✓
<i>Epinephelus costae</i>																						✓
<i>Oblada melanura</i>																						✓
<i>Parupeneus forsskali</i> †																						✓
<i>Pempheris rhomboides</i> †																						✓
<i>Pterois miles</i> †																						✓
<i>Sargocentron rubrum</i> †																						✓
<i>Scorpaena maderensis</i>																						✓
<i>Scorpaena scrofa</i>																						✓
<i>Siganus luridus</i> †																						✓
<i>Siganus rivulatus</i> †																						✓
<i>Sparisoma cretense</i>																						✓
<i>Thalassoma pavo</i>																						✓
<i>Tripterygion melanurum</i>																						✓
<i>Hermodice carunculata</i>																						✓
<i>Berthella ocellata</i>																						✓
<i>Umbraculum umbraculum</i>																						✓

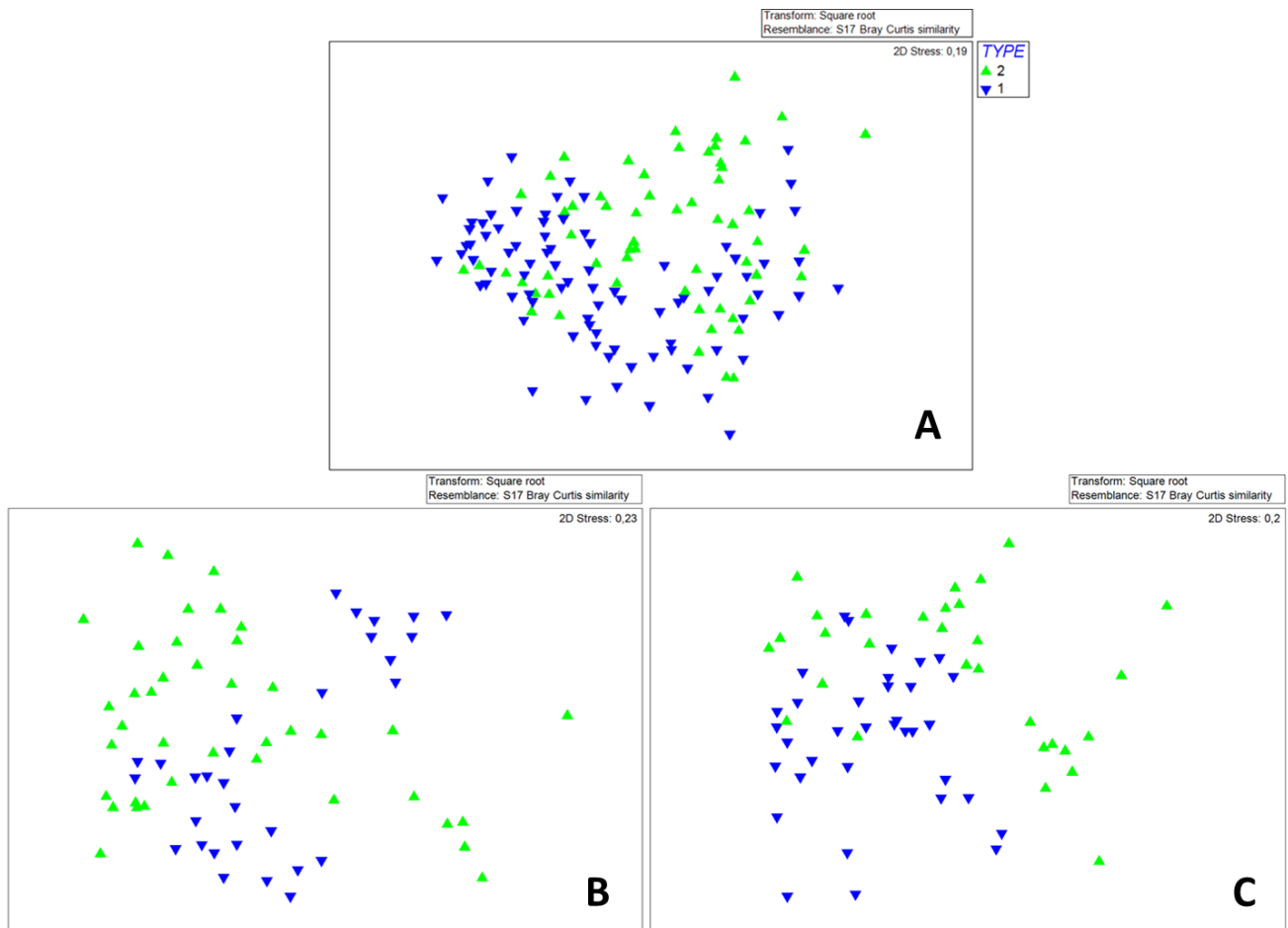




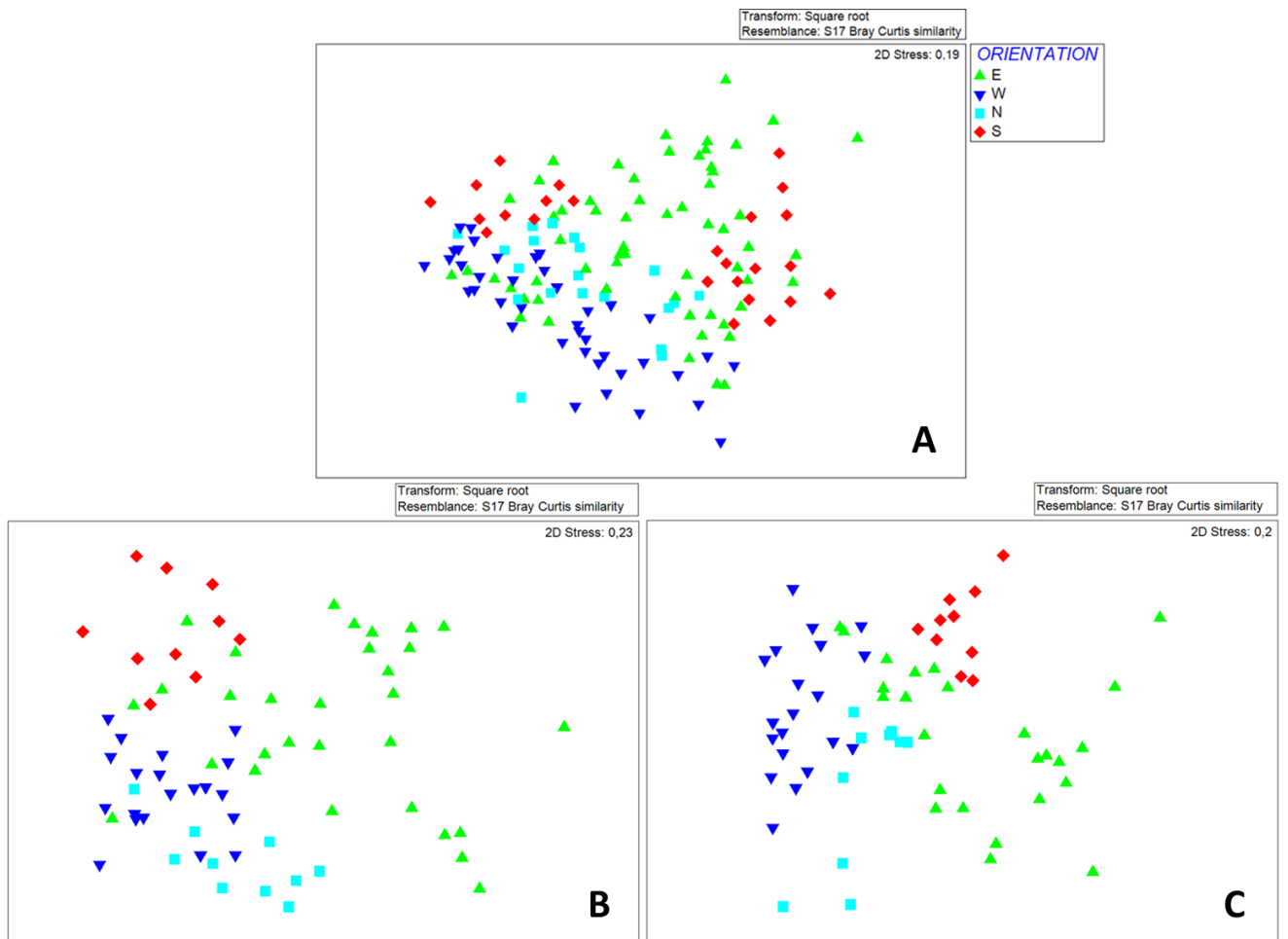
Εικόνα 29: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας των φωτογραφικών πλαισίων μεταξύ των τριών οικολογικών ζωνών (CE: Είσοδος σπηλαίου / SD: Ημισκότεινη ζώνη / DZ: Σκοτεινή ζώνη) για τα επτά σπήλαια συνολικά.



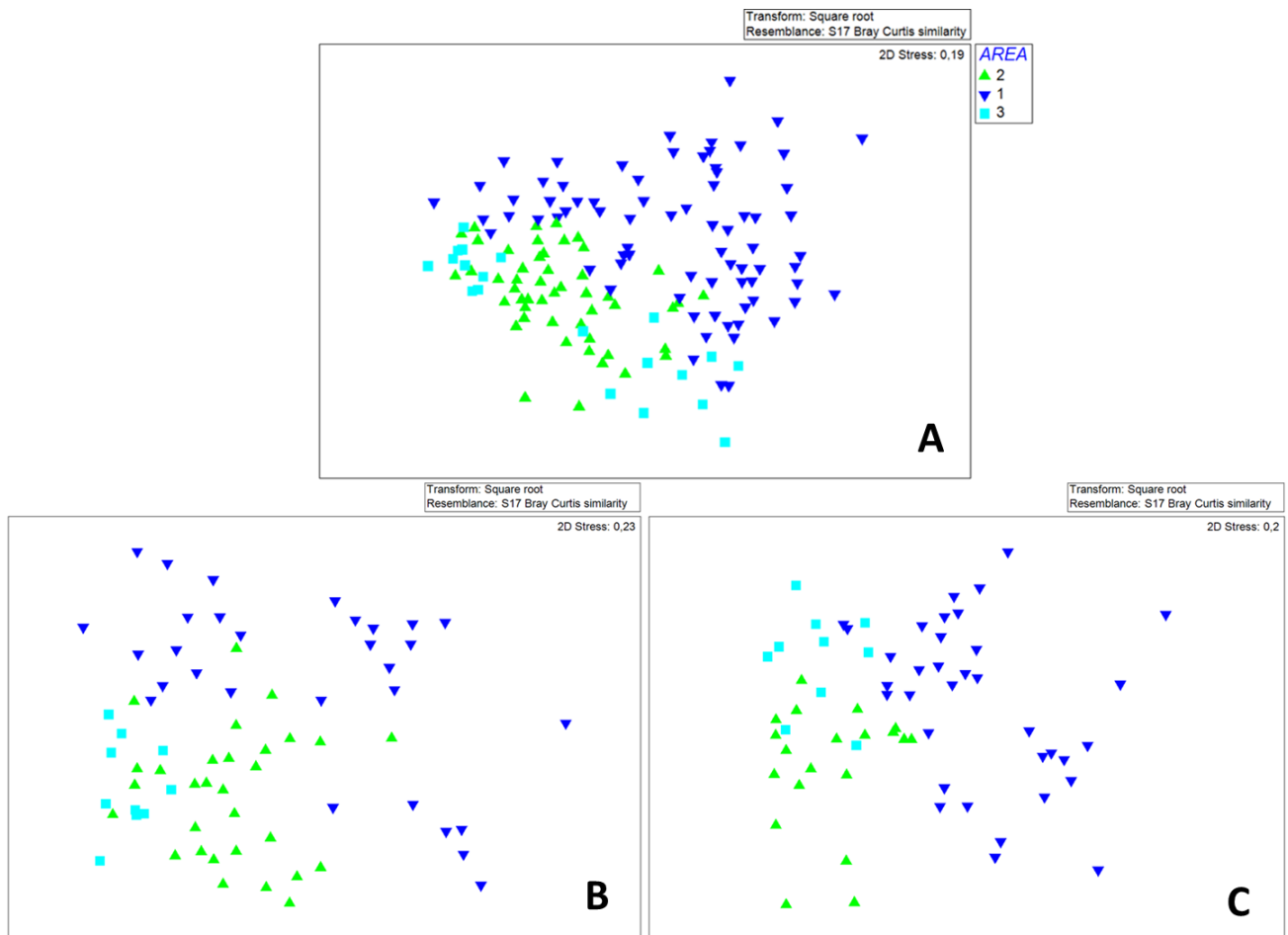
Εικόνα 30: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας των φωτογραφικών πλαισίων μεταξύ των διαφορετικών ευρών βάθους εισόδου (1: 4-9 m / 2: 11-16 m / 3: >16 m) για τα επτά σπήλαια συνολικά (A), για την ζώνη εισόδου (B) και την ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων (C).



Εικόνα 31: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας των φωτογραφικών πλαισίων μεταξύ των δύο διαφορετικών τύπων σπηλαίων (1: ημιβυθισμένο / 2: βυθισμένο) για τα επτά σπήλαια συνολικά (A), για την ζώνη εισόδου (B) και την ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων (C).



Εικόνα 32: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των φωτογραφικών πλαισίων μεταξύ τεσσάρων κύριων προσανατολισμών (E: Ανατολικά, W: Δυτικά, N: Βόρεια, S: Νότια) για τα επτά σήλαια συνολικά (A), για την ζώνη εισόδου (B) και την ημισκότερη ζώνη των σπηλαίων (C).



Εικόνα 33: Απεικόνιση ανάλυσης nMDS όπου φαίνεται το ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των φωτογραφικών πλαισίων μεταξύ τριών ευρών εμβαδού εισόδου (1: 15-40 m<sup>2</sup> / 2: 110-230 m<sup>2</sup> / 3: 630 m<sup>2</sup>) για τα επτά σπήλαια συνολικά (A), για την ζώνη εισόδου (B) και την ημισκότεινη ζώνη των σπηλαίων (C).