

Βιοποικιλότητα υποθαλάσσιων σπηλαίων στο Βόρειο Αιγαίο

Βασίλης Δ. Γεροβασιλίου
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Θεσσαλονίκη 2014

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Βιοποικιλότητα υποθαλάσσιων σπηλαίων
στο Βόρειο Αιγαίο

Βασίλης Δ. Γεροβασιλείου

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
που υποβλήθηκε στο τμήμα Βιολογίας
της Σχολής Θετικών Επιστημών
του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Θεσσαλονίκη 2014

“Η έγκριση της παρούσας διατριβής υπό του Τμήματος Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλοί αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)”.

Η έρευνα για την παρούσα διδακτορική διατριβή υλοποιήθηκε στον Τομέα Ζωολογίας του Τμήματος Βιολογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης



Χρηματοδότηση της έρευνας:

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



Ο Βασίλης Γεροβασίλειου έλαβε υποτροφία για μεταπτυχιακές σπουδές (10/2009-12/2010) από το Ίδρυμα Αλέξανδρος Σ. Ωνάσης



ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
SCIENTIFIC ANNALS OF THE SCHOOL OF BIOLOGY
OF THE FACULTY OF SCIENCES

Biodiversity of marine caves
in the North Aegean Sea

Vasilis D. Gerovasileiou

DOCTORATE THESIS
submitted to the School of Biology
of the Faculty of Sciences
Aristotle University of Thessaloniki

Thessaloniki 2014

Μέλη τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής:

Ελένη Βουλτσιάδου (επιβλέπουσα)
Καθηγήτρια
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Δρόσος Κουτσούμπας
Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Χαρίτων Χιντήρογλου
Καθηγητής
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μέλη επταμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Δημήτρης Βαφείδης
Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αργυρώ Ζενέτου
Διευθύντρια Ερευνών
Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών

Θεόδωρος Κεβρεκίδης
Καθηγητής
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Άρτεμις Νικολαΐδου
Καθηγήτρια
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Οι φωτογραφίες των υποθαλάσσιων σπηλαίων και των σταδίων επεξεργασίας των δειγμάτων που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή λήφθηκαν από τον Βασίλη Γεροβασιλείου.

Επίσης παρουσιάζονται φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των ερευνών πεδίου της παρούσας διατριβής από τους δύτες που βοήθησαν στη δειγματοληψία:

Έλενα Ακριτοπούλου

Εικόνα 4.4B (σελ. 49)

Εικόνα Δ7A (σελ. 194)

Μαρία Σίνη

Εικόνα 2.5B (σελ. 23)

Γιώργος Φιλίος

Εξώφυλλο Κεφαλαίου 2 (σελ. 19)

Εικόνα 2.5Γ-Δ (σελ. 23)

Εικόνα 3.1A-Δ (σελ. 30)

Εικόνα Δ5Γ (σελ. 192)

Φωτογραφία εξωφύλλου:

Άποψη της βιοκοινότητας των ημισκοτεινών σπηλαίων στο ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου των Φαρών στη Λέσβο. Φωτογραφία: Βασίλης Γεροβασιλείου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής κλείνει ένας μεγάλος κύκλος που ξεκίνησε για εμένα το 2006 στη Μυτιλήνη, όταν πραγματοποιούσα μεταπτυχιακές σπουδές στο Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, του οποίου είμαι απόφοιτος. Τότε, ο καθηγητής μου Δρόσος Κουτσούμπας μου έδωσε τη δυνατότητα συμμετοχής σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα με στόχο τη διερεύνηση της ίδρυσης θαλάσσιων πάρκων στη Λέσβο που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως πόλοι προσέλκυσης καταδυτικού τουρισμού. Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος μου δόθηκε η ευκαιρία να καταδυθώ σε πολλές θαλάσσιες περιοχές του νησιού και να παρατηρήσω διαφορετικά ενδιααιτήματα. Όμως το σημαντικότερο ήταν ότι τότε χρειάστηκε για πρώτη φορά να χρησιμοποιήσω υποβρυχίως τη «ματιά» του θαλάσσιου επιστήμονα, προσδίδοντας στις μέχρι τότε για εμένα καταδύσεις αναψυχής «ερευνητικό χαρακτήρα» και ανοίγοντας το δρόμο για την ενασχόληση με την επιστημονική αυτόνομη κατάδυση.

Ανάμεσα στα διαφορετικά ενδιααιτήματα που καταγράψαμε, τα υποθαλάσσια σπήλαια και το πολύχρωμο μωσαϊκό που δημιουργούσαν σε αυτά τα ροδοφύκη, οι σπόγγοι, τα ανθόζωα και τα βρυόζωα μου προξένησαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τότε μου δημιουργήθηκε η ανάγκη να μελετήσω τον βιολογικό πλούτο αυτών των οικοσυστημάτων. Από την πρώτη κιόλας βιβλιογραφική αναζήτηση αντιλήφθηκα το κενό που υπήρχε στην επιστημονική γνώση για τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων από την ανατολική Μεσόγειο. Έτσι ξεκίνησα τις πρώτες διερευνητικές συζητήσεις με φίλους, συνεργάτες, ερευνητές και δύτες. Το περιεχόμενο των συζητήσεων ήταν πάντα το ίδιο· όλοι επεσήμαναν τη μεγάλη πρακτική δυσκολία και την επικινδυνότητα των υποβρυχίων ερευνών στα σπήλαια παρά το αδιαμφισβήτητο μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον.

Τότε συνάντησα την καθηγήτρια και μετέπειτα επιβλέπουσα της διδακτορικής διατριβής Ελένη Βουλτσιάδου (ΑΠΘ) και τον καθηγητή Χαρίτωνα Χιντήρογλου (ΑΠΘ) που είχαν επισκεφτεί τη Μυτιλήνη στο πλαίσιο του πανελληνίου συνεδρίου ιχθυολογίας. Όταν τους εξέφρασα την επιθυμία μου να μελετήσω τις βιοκοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων, σε μία φιλική συζήτηση στο σπίτι του Δρόσου, τότε η Ελένη – ως μου επιτραπεί η οικειότητα μετά από τόσα χρόνια στενής συνεργασίας – απάντησε με αυθορμητισμό «πάντα ήθελα έναν φοιτητή που να ξέρει καταδύσεις για να μελετήσει τα σφουγγάρια των σπηλαίων στο Αιγαίο». Ακολούθησε ένα διάλειμμα που διήρκεσε ένα χρόνο για να πραγματοποιήσω τη θητεία μου στο ΠΝ. Εν τω μεταξύ συνέχισα να σκέφτομαι τη μελέτη των σπηλαίων και τη διδακτορική διατριβή. Ωστόσο, υπήρχαν βασικά ερωτήματα που με προβλημάτιζαν· με τι τρόπο έπρεπε να προσεγγίσω το θέμα; Τι θα μπορούσα να προσφέρω στην επιστημονική γνώση για τα σπήλαια της Μεσογείου πέρα από τη «βιογεωγραφική» πρωτοτυπία μιας έρευνας στη μέχρι τότε αμελέτητη ανατολική λεκάνη; Και φυσικά πως θα μπορούσαν να καλυφθούν τα μεγάλα λειτουργικά έξοδα της υποβρυχίας έρευνας σε εξοπλισμό και δειγματοληψίες;

Όπως πάντα, έτσι και στην προκειμένη περίπτωση οι λύσεις στους προβληματισμούς μου ήρθαν από μόνες τους, μέσα από μια σειρά «συγκυριών». Τότε, στα τέλη του 2008 έμαθα από το διαδίκτυο για τη διοργάνωση του πρώτου επιστημονικού συμποσίου σχετικά με τη διατήρηση των σκιάφιλων κοραλλιγενών σχηματισμών και βιοαποθέσεων της Μεσογείου από το RAC-SPA/UNEP-MAP στην Τυνησία. Βλέποντας τις θεματικές ενότητες αντιλήφθηκα ότι θα

συμμετείχαν σε αυτό πολλοί επιστήμονες που μελετούν υποθαλάσσια σπήλαια και θα υπήρχαν παρουσιάσεις για αυτά. Έτσι αποφάσισα να συμμετάσχω στο συμπόσιο, με μια αναρτημένη ανακοίνωση σχετικά με τα λίγα σχετικά αποτελέσματα για τη Λέσβο από το ερευνητικό πρόγραμμα που ανέφερα παραπάνω. Την απόφασή μου συμμερίστηκε η φίλη και συνεργάτιδα Μαρία Σίνη που βρισκόταν σε μια παράλληλη αναζήτηση σχετικά με το θέμα της δικής της διδακτορικής διατριβής. Ο Δρόσος, όπως πάντα, στήριξε την απόφασή μας. Κι έτσι βρεθήκαμε στις βόρειες ακτές της Αφρικής.

Στο συμπόσιο αυτό ενημερωθήκαμε σχετικά με τη σύγχρονη μεθοδολογία και τα αναπάντητα επιστημονικά ερωτήματα από έρευνες σε σκιάφιλα ενδιαιτήματα της βορειοδυτικής κυρίως Μεσογείου. Ωστόσο, οι προβληματισμοί που είχα συνέχισαν να με απασχολούν κάνοντάς με κάποιες στιγμές διστακτικό. Η πρώτη απάντηση ήρθε από τον Enric Ballesteros (CEAB-CSIC), ο οποίος σε μια συζήτηση σχετικά με τα ζητήματα που με απασχολούσαν, εξέφρασε την άποψή του για τη σημασία μιας τέτοιας έρευνας στην ανατολική Μεσόγειο. Την τελευταία βραδιά, στο επίσημο δείπνο του συμποσίου, η επιστημονική επιτροπή μας απένειμε το πρώτο βραβείο για την αναρτημένη μας ανακοίνωση, σε μια προσπάθεια ενθάρρυνσης νέων επιστημόνων.

Όταν επέστρεψα στη Θεσσαλονίκη, χωρίς κανένα δισταγμό, πήγα στο γραφείο της Ελένης και της εξέφρασα την επιθυμία μου να ξεκινήσω.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διδακτορικής διατριβής καθηγήτριά Ελένη Βουλτσιάδου για το αληθινό ενδιαφέρον και τη συνεχή καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της διατριβής και της γενικότερης ερευνητικής μου πορείας. Την ευχαριστώ για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μοιράστηκε μαζί μου, για την εμπιστοσύνη της αλλά και γιατί με οδήγησε σε ερευνητικά μονοπάτια που πολλές φορές δε φανταζόμουν, σεβόμενη τις ανησυχίες μου. Όμως την ευχαριστώ κυρίως για τον ξεχωριστό τρόπο σκέψης που την χαρακτηρίζει και που μου μετέδωσε βοηθώντας με να ωριμάσω και να αντιμετωπίσω τις πολλές φορές πρωτόγνωρες ερευνητικές προκλήσεις και καταστάσεις που προέκυψαν στη διάρκεια αυτών των χρόνων. Εύχομαι η συνεργασία μας να συνεχιστεί και στο μέλλον μέσα από νέες ερευνητικές διαδρομές.

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον πρώτο καθηγητή θαλάσσιας βιολογίας που είχα από το πρώτο έτος φοίτησης στο Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Δρόσο Κουτσούμπα, ο οποίος στηρίζει την πορεία μου από τότε μέχρι σήμερα. Τον ευχαριστώ για τις ευκαιρίες που μου προσέφερε και συνεχίζει να προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης, τον ευχαριστώ γιατί στήριξε με κάθε τρόπο τις πρώτες δειγματοληψίες του 2009, όταν δεν υπήρχε ακόμα πηγή χρηματοδότησης, παρέχοντας επιστημονική καθοδήγηση, υλικοτεχνική στήριξη και φιλοξενία. Ευχαριστώ τον καθηγητή Χαρίτωνα Χιντήρογλου για τη συμβολή του στο δειγματοληπτικό σχεδιασμό και τις συμβουλές, με βάση τη μεγάλη εμπειρία που διαθέτει σε έρευνες πεδίου, για τη βοήθεια με υλικοτεχνικά μέσα, για τις πρωτότυπες ιδέες, όπως ήταν η μελέτη της συμβιωτικής πανίδας των σπόγγων σε αυτό το ιδιαίτερο οικοσύστημα και ειδικότερα για την καθοριστική συμβολή στον ταξινομικό προσδιορισμό των πολύχαιτων.

Από την πρώτη κιόλας στιγμή του ορισμού της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της διδακτορικής διατριβής θεωρούσα ότι οι παραπάνω καθηγητές ήταν ο καταλληλότερος συνδυασμός για την επίβλεψη αυτής της μελέτης. Τους ευχαριστώ διότι επαλήθευσαν την πεποίθησή μου καθώς με βοήθησαν με τρόπο συμπληρωματικό στα επιμέρους στάδια της διατριβής.

Στη μακρόχρονη πορεία της έρευνας, υπήρχαν επίσης αρκετοί άνθρωποι που βοήθησαν να ξεπεραστούν οι δυσκολίες της υποβρύχιας έρευνας και όχι μόνο. Βασικός επιστημονικός συνοδοιπόρος σε αυτή την προσπάθεια, υπήρξε η φίλη και συνεργάτιδα Μαρία Σίνη, με την οποία ακολουθήσαμε σχεδόν παράλληλες ερευνητικές τροχιές. Η παράλληλη αυτή πορεία ξεκίνησε από τις πρώτες ερευνητικές καταδύσεις στη Λέσβο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα περνώντας από διαφορετικά στάδια· ορισμένα από αυτά ήταν η οργάνωση των δειγματοληψιών, η κατασκευή δειγματοληπτών και εργαλείων, οι συνεχόμενες καταδύσεις σε σπήλαια και κοραλλιγενή ενδιαιτήματα του Αιγαίου στο πλαίσιο των διδακτορικών μας διατριβών, η συνεχής ανταλλαγή απόψεων και η ψυχολογική στήριξη στις δύσκολες στιγμές που πολλές φορές προέκυψαν στην πορεία της διατριβής. Επίσης, θα πρέπει να ευχαριστήσω τη φίλη και συνεργάτιδα Έλενα Ακριτοπούλου και την οικογένειά της που με φιλοξένησαν στον Άγιο Ευστράτιο και ξεσήκωσαν όλο το νησί στο πόδι όποτε χρειάστηκε, προκειμένου να πραγματοποιήσω εκεί μέρος της έρευνας πεδίου για τις ανάγκες της διατριβής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Φοιτητική Καταδυτική Ομάδα του Πανεπιστημίου Αιγαίου «ΤΡΙΤΩΝ» για την παροχή καταδυτικού εξοπλισμού για τις ανάγκες της έρευνας και το

προσωπικό του κέντρου καταδύσεων Lesvos Scuba Oceanic Centre για τη βοήθειά στις δειγματοληψίες της Λέσβου.

Στην πορεία της διδακτορικής διατριβής προέκυψαν ερωτήματα που με οδήγησαν στην αναζήτηση επιστημονικών συνεργατών. Ανάμεσα σε αυτούς ήταν ο καθηγητής Δημήτρης Βαφείδης (Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας) που με βοήθησε στον ταξινομικό προσδιορισμό των ανθόζων, η διευθύντρια ερευνών Αργυρώ Ζενέτου (ΕΛΚΕΘΕ) που συνέβαλε στη μελέτη των αλλόχθονων ειδών των σπηλαίων της Μεσογείου, ο διδάκτορας του Πανεπιστημίου Αιγαίου Βασίλης Τρυγόνης που συνέβαλε με τον πιο καθοριστικό τρόπο στη χαρτογράφηση και τρισδιάστατη απεικόνιση των υπό μελέτη σπηλαίων, ο διδάκτορας του Πανεπιστημίου Αιγαίου Χάρης Δημητριάδης που με καθοδήγησε σε ζητήματα στατιστικής ανάλυσης, ο διδάκτορας του ΑΠΘ Θάνος Νταϊλιάνης και ο υποψήφιος διδάκτορας του ΕΚΠΑ Γιάννης Ίσσαρης που παρείχαν πολύτιμα δεδομένα από σπήλαια του Νότιου Αιγαίου. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω όλους για τη βοήθεια και την εξαιρετική συνεργασία.

Από τα πρώτα στάδια της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προέκυψαν ορισμένες δυσκολίες για την ανεύρεση παλαιών ανάπτυπων δημοσιευμάτων που ορισμένες φορές ήταν γραμμένα σε γλώσσες που δεν γνώριζα καλά. Σημαντικό μέρος της βιβλιογραφίας προμηθεύτηκε από τη βιβλιοθήκη του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Βιολογίας του Τομέα Ζωολογίας του ΑΠΘ. Έτσι, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν τις τελευταίες δεκαετίες στη δημιουργία αυτής της βιβλιοθήκης και να τονίσω την αναγκαιότητα διατήρησης και ψηφιοποίησης αυτού του ανεκτίμητου επιστημονικού θησαυρού. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιστήμονες που μου παρείχαν σημαντικά ανάπτυπα και δυσεύρετα δημοσιεύματα που μου έλειπαν, αποστέλλοντάς τα ή ανοίγοντάς μου την πόρτα του γραφείου τους. Μεταξύ αυτών θα αναφέρω τους Jean-Georges Harmelin (CNRS), Enric Ballesteros (CEAB-CSIC), José María Gili (CSIC), Allan Logan (University of New Brunswick, Canada) και Carlo Nike Bianchi (UniGe).

Ωστόσο, δε θα μπορούσα να αξιοποιήσω τις βιβλιογραφικές αυτές πηγές χωρίς τη βοήθεια της μητέρας μου Κωνσταντίας Σταμπόλη που με βοήθησε να μεταφράσουμε λέξη προς λέξη τη Γαλλόφωνη επιστημονική βιβλιογραφία για τα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου. Από τη μετάφραση αυτή προέκυψε κείμενο συνολικά 113 σελίδων! Αντίστοιχα, ευχαριστώ τη φίλη και συνάδελφο Μάρεν Μυρτώ Μπρόντερζεν που βοήθησε στη μετάφραση της Γερμανόφωνης βιβλιογραφίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τις βιολόγους Ασημένια Γαβριηλίδου και Δέσποινα Κωνσταντίνου για τη βοήθειά στην πρωτογενή εργαστηριακή επεξεργασία μέρους των δειγμάτων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διδακτορικής διατριβής καθηγητή Θεόδωρο Κεβρεκίδη (ΔΠΘ) και καθηγήτρια Άρτεμη Νικολαΐδου (ΕΚΠΑ) για το χρόνο που αφιέρωσαν στην ανάγνωση της διατριβής και για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου για την αμέριστη ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν στην πορεία αυτού του δύσκολου ταξιδιού. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συναδέλφους Σπύρο Γκέλη, Χρυσάνθη Αντωνιάδου, Δόμνα Δημαρχοπούλου, Συλβαίν Γιακουμή, Νίκο Κατσιάρα, Αντρέα Αληφραγκή, Γιώργο Λαζαρίδη και Φωτεινή Ψευτογκά και τις καλές φίλες Έφη και Πελαγία για τις συμβουλές, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφεραν αυτά τα χρόνια.

Η έρευνα αυτή δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη χρηματοδότηση από το Ίδρυμα Αλέξανδρος Σ. Ωνάσης και το έργο «Ηράκλειτος II». Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οργανωτική επιτροπή του 9^{ου} Παγκόσμιου Συνεδρίου Σπόγγων (9th World Sponge Conference) για τη χορήγηση ταξιδιωτικής υποτροφίας για τη συμμετοχή μου στο συνέδριο που έλαβε χώρα στην Αυστραλία και το Περιφερειακό Κέντρο Δράσης για τις Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές της Μεσογείου (RAC/SPA) του Περιβαλλοντικού Προγράμματος Ηνωμένων Εθνών / Μεσογειακού Σχεδίου Δράσης (UNEP/MAP) για την επιστημονική συνεργασία.

Βασίλης Δ. Γεροβασιλείου
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract.....	3
1. Εισαγωγή και αιτιολόγηση της μελέτης.....	6
1.1. Σπήλαια και σπηλαιόβιοι οργανισμοί.....	7
1.2. Γεωγραφική κατανομή των θαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου.....	8
1.3. Η βιολογική διερεύνηση των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου.....	9
1.3.1. Καταγραφή της βιοποικιλότητας.....	10
1.3.2. Μελέτη βιοκοινοτήτων και χωρικών προτύπων διαβάθμισης τους.....	11
1.4. Αναγκαιότητα για εμπλουτισμό της γνώσης γύρω από τα υποθαλάσσια σπήλαια....	17
1.5. Σκοπός της εργασίας.....	18
2. Έρευνα πεδίου.....	20
2.1. Περιοχή μελέτης - σπήλαια που ερευνήθηκαν.....	21
2.1.1. Ημιβυθισμένα σπήλαια Αγίου Ευστρατίου.....	21
2.1.2. Υποθαλάσσια σπήλαια Λέσβου.....	23
2.2. Δειγματοληψίες.....	25
2.3. Χαρτογράφηση σπηλαίων.....	25
2.4. Ποιοτική καταγραφή χλωρίδας και πανίδας.....	25
2.5. Ποσοτική μελέτη οικολογικής διαβάθμισης βενθικών κοινοτήτων.....	27
2.6. Διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος.....	27
3. Χαρτογράφηση και τοπογραφική απεικόνιση σπηλαίων.....	28
3.1. Εισαγωγή.....	29
3.2. Υλικά και μέθοδοι.....	30
3.2.1. Υπόβαθρο.....	30
3.2.2. Εξοπλισμός χαρτογράφησης.....	32
3.2.3. Περιγραφή διαδικασίας.....	32
3.2.4. Διαδικασία τρισδιάστατης απεικόνισης.....	34
3.3. Αποτελέσματα.....	36
3.4. Συζήτηση.....	39
3.4.1. Κύρια συμπεράσματα.....	42
4. Δομή και οικολογική διαβάθμιση βενθικών βιοκοινοτήτων.....	44
4.1. Εισαγωγή.....	45
4.1.1. Οικολογική διαβάθμιση βιοκοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων.....	45
4.1.2. Δυσκολίες ποσοτικής μελέτης των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων και η δυνατότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών.....	45
4.1.3. Σκοπός της μελέτης.....	47
4.2. Υλικά και μέθοδοι.....	47
4.2.1. Ποσοτική μελέτη οικολογικής διαβάθμισης βενθικών κοινοτήτων.....	47
4.2.2. Διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως «μηχανικών οικοσυστήματος».....	51
4.2.3. Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.....	53
4.3. Αποτελέσματα.....	55
4.3.1. Χλωριδική και πανιδική σύνθεση βενθικών βιοκοινοτήτων.....	55

4.3.2. Βιοτική κάλυψη υποστρώματος – χωρικά πρότυπα.....	55
4.3.3. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας.....	66
4.3.4. Χωρικά πρότυπα οικολογικής διαβάθμισης.....	69
4.3.5. Οι σπόγγοι ως υποκαταστάτες για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων.....	75
4.3.6. Οι σπόγγοι ως μηχανικοί οικοσυστήματος σε υποθαλάσσια σπήλαια.....	82
4.4. Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	91
4.4.1. Σύνθεση και πρότυπα οικολογικής διαβάθμισης βενθικών βιοκοινοτήτων.....	91
4.4.2. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας.....	94
4.4.3. Οι σπόγγοι ως υποκατάστατες για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων.....	96
4.4.4. Οι σπόγγοι ως μηχανικοί οικοσυστήματος σε υποθαλάσσια σπήλαια.....	97
4.4.5. Κύρια συμπεράσματα.....	101
5. Τα υποθαλάσσια σπήλαια ως ταμειυτήρες βιοποικιλότητας.....	104
5.1. Εισαγωγή.....	105
5.1.1. Η μελέτη της βιοποικιλότητας των Μεσογειακών σπηλαίων.....	105
5.1.2. Παρούσα κατάσταση και απειλές για τη βιοποικιλότητα των Μεσογειακών σπηλαίων.....	106
5.1.3. Επιλογή υποκαταστατών για τη μελέτη των βιογεωγραφικών προτύπων της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων.....	107
5.1.4. Σκοπός της μελέτης.....	108
5.2. Υλικά και μέθοδοι.....	109
5.2.1. Συλλογή, ταξινομικός έλεγχος και επεξεργασία δεδομένων βιοποικιλότητας..	109
5.3. Αποτελέσματα.....	112
5.3.1. Βιοποικιλότητα Μεσογειακών σπηλαίων και σχετική ερευνητική προσπάθεια.....	112
5.3.2. Ποικιλότητα σπόγγων των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου.....	121
5.3.3. Αλλόχθονα είδη σε Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια.....	134
5.4. Συζήτηση.....	136
5.4.1. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας.....	137
5.4.2. Ενδημισμός και ζωογεωγραφικές σχέσεις της σπογγοπανίδας των σπηλαίων.	139
5.4.3. Ζώνωση των κοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου.....	140
5.4.4. Μοναδικά χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας των σπηλαίων της Μεσογείου.....	141
5.4.5. Αξία και μέτρα προστασίας της βιοποικιλότητας των σπηλαίων της Μεσογείου.....	143
5.4.6. Αλλόχθονη βιοποικιλότητα στα υποθαλάσσια σπήλαια.....	147
5.4.7. Επιστημονικά κενά και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	150
5.5. Κύρια συμπεράσματα.....	151
6. Σύνοψη και γενικά συμπεράσματα.....	154
6.1. Γενικό σκεπτικό της μελέτης.....	155
6.2. Σύνοψη και συμπεράσματα επί μέρους στόχων.....	156

6.2.1. Χαρτογράφηση και αποτύπωση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών των σπηλαίων.....	156
6.2.2. Μελέτη της βιοποικιλότητας και των προτύπων χωρικής ετερογένειας των βιοκοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου.....	156
6.2.3. Χρήση υποκαταστατών για τη μελέτη της βιοποικιλότητας των σπηλαίων.....	157
6.2.4. Εκτίμηση της οικολογικής σημασίας των υποθαλάσσιων σπηλαίων για τη βιοποικιλότητα της Μεσογείου.....	158
7. Βιβλιογραφία.....	160
8. Παραρτήματα.....	186
8.1. Παράρτημα Α.....	187
8.2. Παράρτημα Β.....	194
8.3. Παράρτημα Γ.....	199
8.4. Παράρτημα Δ.....	216

Περίληψη

Τα υποθαλάσσια σπήλαια αποτελούν χαρακτηριστικό οικοσύστημα των βραχωδών ακτών της Μεσογείου. Ωστόσο, είναι ένα από τα λιγότερο μελετημένα ενδιαίτηματα εξαιτίας των δυσκολιών που ενέχει η υποβρύχια μελέτη τους. Η επιστημονική πληροφορία σχετικά με τη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου είναι κατακερματισμένη, ενώ υπάρχουν ελάχιστα σχετικά στοιχεία από την ανατολική λεκάνη. Επίσης, ελάχιστες μελέτες έχουν διερευνήσει ποσοτικά τα χωρικά πρότυπα κατανομής των βιοκοινοτήτων, κυρίως σε ημιβυθισμένα και ρηχά σπήλαια της βορειοδυτικής και κεντρικής Μεσογείου, ενώ οι υπάρχουσες μέθοδοι για τη χαρτογράφηση και αναπαράσταση των σπηλαίων δεν έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα για τις ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να συμπληρωθούν τα παραπάνω κενά, μέσα από την έρευνα σε 4 επιλεγμένα υποθαλάσσια σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά, αλλά και με τη λεπτομερή μελέτη και μετα-ανάλυση της πληροφορίας για τα Μεσογειακά σπήλαια που υπάρχει στη βιβλιογραφία.

Για την αναπαράσταση της μορφής των σπηλαίων αναπτύχθηκε μια ταχεία και οικονομική μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ημιβυθισμένα όσο και σε εξολοκλήρου βυθισμένα σπήλαια, ενώ έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε απαραίτητο εξοπλισμό και αριθμό καταδύσεων. Από τη μέθοδο αυτή προέκυψε ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση των σπηλαίων σε κλίμακα, με δυνατότητα προβολής σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο ή σε πλάγια τομή. Οι απεικονίσεις των σπηλαίων χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την απεικόνιση των βιοκοινοτήτων που αναπτύσσονται σε διαφορετικές ζώνες.

Στα σπήλαια του Αιγαίου που μελετήθηκαν έγινε ποιοτική καταγραφή της βιοποικιλότητας. Επιπρόσθετα, σε δύο από αυτά, διερευνήθηκαν ποσοτικά τα πρότυπα διαβάθμισης των βιοκοινοτήτων με χρήση μη καταστρεπτικής μεθόδου: λήψη φωτογραφικών πλαισίων κατά μήκος 3 οριζόντιων διατομών από την είσοδο μέχρι το εσωτερικό των σπηλαίων (στην οροφή και στους δύο κάθετους τοίχους) και συμπληρωματική ποιοτική δειγματοληψία. Προκειμένου να διερευνηθεί ο ρόλος των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος σε αυτό τον τύπο ενδιαίτηματος, συλλέχθηκαν δείγματα των σπόγγων *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* από διαφορετικές θέσεις των σπηλαίων.

Από την ποιοτική και ποσοτική μελέτη καταγράφηκε πλούσια βιοποικιλότητα (296 τάξα). Σε ότι αφορά τη σύνθεση και τη διαβάθμιση των βιοκοινοτήτων στα μελετώμενα σπήλαια, τα αποτελέσματα της έρευνας ανέδειξαν διαφορές σε σχέση με ότι έχει καταγραφεί για τα σπήλαια άλλων μεσογειακών περιοχών, όπως η παρουσία ενδημικών ειδών της ανατολικής Μεσογείου, η απουσία φάσεων οκτωκοραλλίων και η συντριπτική επικράτηση των σπόγγων, που φαίνεται να σχετίζονται με βιογεωγραφικούς παράγοντες. Η διαβάθμιση στη δομή των βιοκοινοτήτων φάνηκε να ερμηνεύεται από τη συνδυαστική δράση της απόστασης από την είσοδο των σπηλαίων και της θέσης εντός αυτών. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με τα μοντέλα από την τρισδιάστατη απεικόνιση των σπηλαίων ανέδειξαν τη χωρική ετερογένεια που παρατηρείται σε αυτά τα οικοσυστήματα και τη σημασία της τοπογραφίας στη δημιουργία αυτών των προτύπων.

Οι σπόγγοι αποτελούσαν βασικό συστατικό των βιοκοινοτήτων των υπό μελέτη σπηλαίων από πλευράς αριθμού ειδών και κάλυψης του υποστρώματος. Από τα αποτελέσματα της

έρευνας φάνηκε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκαταστάτες για τη μελέτη των χωρικών προτύπων κατανομής των κοινοτήτων των σπηλαίων, τουλάχιστον στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Ειδικότερα, η μορφολογική ποικιλότητα των σπόγγων λειτούργησε πολύ καλά ως υποκαταστάτης για την εκτίμηση των χωρικών προτύπων της συνολικής ποικιλότητας των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων. Η χρήση μιας τέτοιας προσέγγισης θα διευκόλυνε σημαντικά την ποσοτική μελέτη των κοινοτήτων των σπηλαίων καθώς βοηθά στην αντιμετώπιση των περιορισμών του ταξινομικού προσδιορισμού των ειδών που προκύπτουν κατά τη χρήση φωτογραφικών μεθόδων. Επίσης, οι σπόγγοι, φαίνεται ότι διατηρούν το λειτουργικό τους ρόλο ως μηχανικοί οικοσυστήματος στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων, αυξάνοντας τη δομική πολυπλοκότητα του οικοσυστήματος και παρέχοντας ενδιαίτημα σε πλήθος συμβιωτών.

Η σύνθεση και μετα-ανάλυση της κατακερματισμένης επιστημονικής πληροφορίας που βρέθηκε στη σχετική βιβλιογραφία (307 μελέτες), αξιοποιήθηκε για την ανάδειξη της σημασίας των υποθαλάσσιων σπηλαίων για το θαλάσσιο οικοσύστημα της Μεσογείου. Τα δεδομένα βιοποικιλότητας που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα στο Αιγαίο σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, έδειξαν ότι τα σπήλαια αποτελούν «ταμειυτήρες βιοποικιλότητας» καθώς φιλοξενούν μεγάλο πλούτο ειδών (2.167 τάξα από 58 κύριες ταξινομικές ομάδες) και σημαντικό ποσοστό της βιοποικιλότητας της Μεσογείου για πολλές ομάδες βενθικών οργανισμών. Ο συνολικός πλούτος ειδών των σπηλαίων διέφερε ανάμεσα στις περιοχές της Μεσογείου αντανακλώντας διαφορές στην ερευνητική προσπάθεια και βιογεωγραφικές ιδιαιτερότητες. Οι σπόγγοι ήταν το καλύτερα μελετημένο φύλο στα Μεσογειακά σπήλαια· συγκεκριμένα, τα σπήλαια φιλοξενούν 46,7% των ειδών, 70% των γενών και 88% των οικογενειών των Μεσογειακών σπόγγων. Τα είδη αυτά είχαν Ατλαντο-Μεσογειακή εξάπλωση (43,4%) ή ήταν ενδημικά Μεσογειακά (41,4%) και ήταν στην πλειοψηφία τους θερμοφιλά (53,5%). Επίσης, η φυλογενετική ποικιλότητα και ο αριθμός ειδών σπόγγων στα σπήλαια διέφερε ανάμεσα στις περιοχές της Μεσογείου, ενώ ο παράγοντας της γεωγραφικής διαφοροποίησης φάνηκε να επιδρά σημαντικότερα στην ομαδοποίηση των συννευρέσεων σπόγγων που έχουν βρεθεί σε Μεσογειακά σπήλαια από ότι η διαβάθμιση του φωτισμού στις οικολογικές ζώνες των σπηλαίων.

Το περιβάλλον των υποθαλάσσιων σπηλαίων φάνηκε ότι ευνοεί την ανάπτυξη πλούσιων συννευρέσεων με μεγάλο ταξινομικό εύρος. Διαπιστώθηκε επίσης ότι τα σπήλαια αποτελούν ενδιαίτημα για είδη αποκλειστικά, σπάνια, υπολειμματικά, βαθύβια, προστατευόμενα και εμπορικά, ενώ μπορούν να αποτελέσουν καταφύγιο για ευαίσθητα είδη παρέχοντας, ως ένα βαθμό, φυσική προστασία απέναντι σε ανθρωπογενείς πιέσεις και βιολογικές εισβολές. Ωστόσο, η καταγραφή της παρουσίας 56 αλλόχθονων ειδών σε υποθαλάσσια σπήλαια, και κυρίως στη νοτιοανατολική λεκάνη σε συνδυασμό με την έλλειψη προηγούμενων στοιχείων αναφοράς από αυτή την περιοχή, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα συνεχούς μελέτης τους.

Η μετα-ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, έδειξε ότι τα σπήλαια της Μεσογείου είναι ένα γεωγραφικά κατακερματισμένο ενδιαίτημα και, πιθανώς εξαιτίας αυτού, η σύνθεση των βιοκοινοτήτων τους διαφέρει στις διάφορες βιογεωγραφικές περιοχές της Μεσογείου. Αυτή η γεωγραφική διαφοροποίηση, σε συνδυασμό με την αυξημένη χωρική ετερογένεια λόγω των μοναδικών τοπογραφικών χαρακτηριστικών κάθε σπηλαίου, δείχνει την αναγκαιότητα προστασίας διαφορετικών μορφολογικών τύπων σπηλαίων σε κάθε βιογεωγραφική περιοχή.

Abstract

Marine caves constitute typical ecosystems of the Mediterranean rocky coasts. However, they are one of the least studied benthic habitats due to difficulties in underwater research. Scientific data on marine cave biodiversity is fragmented and little information exists for the eastern Mediterranean basin. Furthermore, few studies have surveyed quantitatively the patterns of spatial distribution in marine cave communities, mainly in shallow and semi-submerged caves of the northwestern and central Mediterranean, while existing methods for the mapping and visualization of caves have not been adequately adjusted to the particular needs of underwater biological research.

In the present work, an effort was made to fill the aforementioned gaps, through: (a) the study of 4 selected marine caves of the North Aegean Sea with different topographic features, and (b) the detailed study and meta-analysis of the scientific information on Mediterranean marine caves, extracted from the relevant scientific literature.

In order to visualize the cave morphology, a rapid and cost efficient method was developed; this method can be applied to both entirely and semi-submerged marine caves, while it has minimum requirements with regard to the necessary equipment and number of dedicated dives. The output of this method was a scaled three-dimensional model of the surveyed caves, which can be viewed from any particular orientation in space, or sliced. The resulting models were used for the depiction of different benthic communities which develop in distinct cave zones.

Biodiversity of the selected Aegean caves was recorded qualitatively and quantitatively. Moreover, in two of the caves, spatial heterogeneity of benthic communities was surveyed with a non-destructive method: photoquadrats along 3 horizontal transects from the entrance to the inner cave sectors (along the cave ceiling and the two vertical walls) and additional qualitative sampling of benthic species. Samples of the sponges *Agelas oroides* and *Aplysina aerophoba* were collected from different zones of the studied caves in order to investigate the role of sponges as ecosystem engineers in this habitat type.

A rich diversity of 296 taxa was found in the studied marine caves. Our results concerning the composition and spatial distribution of the surveyed cave communities revealed several differences from marine caves in other Mediterranean areas, such as the presence of species endemic to the eastern basin, the absence of octocoral facies and the dominance of sponges, which should be related to biogeographical factors. Distance from the entrance and position in the caves as well as the interaction of these two factors had a significant effect on the structuring of the community. These results combined with the three-dimensional cave models revealed a marked spatial heterogeneity, highlighting the significance of topography for the recorded patterns.

Sponges dominated in the studied cave communities in terms of species richness and spatial coverage. The results of the present study showed that sponges could be used as a surrogate taxon for the study of spatial variability in cave communities, at least in the eastern Mediterranean. Specifically, sponge morphological diversity was found to function as a surrogate measure for describing the spatial patterns of the overall benthic cave community. The use of this diversity measure could significantly assist the quantitative study of cave

communities by helping to outreach limitations in the taxonomic identification of species, especially when photographic methods are being used. Additionally, sponges were found to maintain their functional role as ecosystem engineers across the different cave zones, multiplying the structural complexity of the cave ecosystem and providing a microhabitat to numerous symbiotic species.

Synthesis and meta-analysis of the scientific information on marine cave biodiversity compiled during the relevant literature review (307 studies) was performed in an effort to examine the significance of the cave habitat for the entire Mediterranean ecosystem. Biodiversity data from the present study in the Aegean Sea combined with data derived from the literature revealed that marine caves constitute reservoirs of biodiversity, supporting a large number of taxa (2,167 taxa belonging to 58 major groups) and considerable percentage of the Mediterranean diversity for particular taxonomic groups. Cave species richness varied among Mediterranean areas, reflecting variability in research effort and biogeographic factors. Sponges were the most studied animal group in Mediterranean marine caves. Mediterranean sponges were highly represented in the marine cave habitat at the species (46.7%), generic (70%), and family level (88%); Atlanto-Mediterranean (43.4%), endemic (41.4%), and warm-water species (53.5%) prevailed. Poriferan species richness and phylogenetic diversity varied among Mediterranean areas while regional differentiation of marine cave sponge assemblages was found to be more influential than light zonation across the different ecological cave zones. The marine cave environment seems to favour the development of rich assemblages with a broad taxonomic range. Marine caves also support exclusive, rare, relict, bathyal, protected and commercial species and could be used as a refuge by sensitive species providing, to a certain point, natural protection against human pressure and biological invasions. However, the records of 56 alien species in caves, mainly located in the southeastern basin, given the absence of data depicting the previous ecological state of the cave habitat in this area, highlights the need for monitoring their communities.

Our meta-analysis showed that the Mediterranean cave habitat is geographically fragmented and this could possibly explain the differences between marine cave communities from different biogeographical areas of the Mediterranean Sea. This biogeographical variability combined to the marked spatial heterogeneity due to the site-specific cave topography indicates the need to protect different morphological types of caves in every biogeographical region.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ & ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



1.1. Σπήλαια και σπηλαιόβιοι οργανισμοί

Ως σπήλαιο ορίζεται ένα υπόγειο έγκοιλο το οποίο επικοινωνεί με την επιφάνεια μέσω μιας ή περισσότερων εισόδων, έχει μήκος μεγαλύτερο από το ύψος του ανοίγματος της εισόδου και που οι διαστάσεις του επιτρέπουν την εξερεύνηση από τον άνθρωπο (Riedl 1966, Cicogna *et al.* 2003, Gunn 2004). Η κύρια διαδικασία δημιουργίας σπηλαίων στην ξηρά είναι γνωστή ως «καρστικοποίηση» (karstification) ή «καρστική διάβρωση» και αναφέρεται στη διάβρωση που προκαλείται από το νερό της βροχής καθώς αυτό ρέει μέσα από τις διακλάσεις του ασβεστόλιθου (Gunn 2004). Έτσι, σε «καρστικές» περιοχές, δηλαδή εκεί όπου επικρατούν ασβεστολιθικά πετρώματα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις βόρειες ακτές της Μεσογείου, παρατηρείται μεγάλος αριθμός από σπήλαια, ρωγμές, σχισμές και παρόμοιους σχηματισμούς (Lewin & Woodward 2009).

Πέρα από τα σπήλαια που έχουν σχηματιστεί από καρστική διάβρωση υπάρχουν περιπτώσεις δημιουργίας σπηλαίων και σε άλλους τύπους πετρωμάτων με ποικίλους μηχανισμούς, όπως είναι τα παράκτια (littoral caves) ή (υπο)θαλάσσια¹ σπήλαια (marine caves), που είναι γνωστά και ως ενάλια, τα ηφαιστειακά σπήλαια (volcanic caves), αυτά που έχουν σχηματιστεί από την τήξη παγετώνων (glacier caves), κ.α. (Gunn 2004).

Κύρια αιτία σχηματισμού των θαλάσσιων σπηλαίων είναι η κυματική δράση σε συνδυασμό με τη διάβρωση από τα θραύσματα που μεταφέρονται από το νερό και τη διαλυτική δράση του νερού (Gunn 2004). Ωστόσο, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις σπηλαίων που δημιουργήθηκαν από καρστική διάβρωση στη χέρσο και τα οποία είναι σήμερα βυθισμένα (ως ένα βαθμό ή εξολοκλήρου) εξαιτίας μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας· χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν πολλά σπήλαια των ανατολικών ακτών της Αδριατικής στη Μεσόγειο (Suric 2005).

Τα θαλάσσια σπήλαια μπορεί να εμπερικλείουν μόνο θαλασσινό νερό ή στρωματοποιημένες μάζες θαλασσινού (κυρίως) και γλυκού νερού. Η διαστρωμάτωση αυτή συνήθως επηρεάζεται από το φαινόμενο της παλίρροιας. Τα σπήλαια της τελευταίας κατηγορίας είναι γνωστά και ως «αγχίαλα»² (anchihaline) (Stock *et al.* 1986) ή «περιθωριακά» (marginal) (Riedl & Ozretić 1969). Πρόκειται για παράκτια σπήλαια, που μπορεί ορισμένες φορές να βρίσκονται έως και μερικά χιλιόμετρα μακριά από την ακτογραμμή, έχουν περιορισμένη έκθεση στον αέρα και συνδέονται υπογείως με τη θάλασσα (Stock *et al.* 1986).

Η βιολογική έρευνα σε θαλάσσια σπήλαια έχει δείξει ότι, όπως και στα χερσαία σπήλαια, τα είδη που κατοικούν σε αυτά μπορούν να διακριθούν σε (α) τυχαίους επισκέπτες, (β) στυγόξενα³, (γ) στυγόφιλα⁴ και (δ) στυγόβια⁵ είδη (Culver & Piran 2009, Romero 2009).

¹ Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης χρησιμοποιείται ο όρος «υποθαλάσσια σπήλαια» καθότι έχει διερευνηθεί αποκλειστικά το βυθισμένο τμήμα θαλάσσιων σπηλαίων που εμπερικλείουν θαλασσινό νερό. Εντούτοις, στη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχουν συμπεριληφθεί δεδομένα για το υποθαλάσσιο τμήμα των αγχιάλων σπηλαίων της Μεσογείου.

² Η λέξη «αγχίαλος» σημαίνει «παραθαλάσσιος» («άγχι» = κοντά + «αλς» = θάλασσα).

³ Υδρόβια είδη με δυνατότητα μετακίνησης που αναπαράγονται ή κατοικούν σε σπήλαια αλλά εξέρχονται από αυτά για αναζήτηση τροφής.

⁴ Υδρόβια είδη που ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο σε σκιασμένα περιβάλλοντα (π.χ. κάτω από πέτρες, σε μικροκοιλότητες, κλπ.), μεταξύ των οποίων και τα σπήλαια.

Η πλειοψηφία των ειδών που έχουν καταγραφεί σε θαλάσσια σπήλαια θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως στυγόφιλα ή στυγόξενα (Riedl 1966, Balduzzi *et al.* 1989). Ωστόσο, η ενδελεχής έρευνα σε αγχίαλα σπήλαια του Ατλαντικού, της Μεσογείου και του Ειρηνικού Ωκεανού έχει φέρει στο φως σημαντικό αριθμό νέων για την επιστήμη στυγόβιων ειδών, η μελέτη των οποίων παρουσιάζει μεγάλο εξελικτικό και βιογεωγραφικό ενδιαφέρον (Iliffe *et al.* 1983, Iliffe & Kornicker 2009). Παρά το ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον και την αξία διατήρησης που παρουσιάζουν, τα θαλάσσια σπήλαια είναι ένας από τους λιγότερο μελετημένους τύπους οικοσυστημάτων παγκοσμίως, λόγω των ιδιαίτερων δυσκολιών που ενέχει η μελέτη τους.

Σε αντίθεση με τα χερσαία σπήλαια, τα θαλάσσια παρέμεναν ανεξερεύνητα έως τα μέσα του περασμένου αιώνα. Η πρόοδος της τεχνολογίας και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην αυτόνομη κατάδυση (Self Contained Underwater Breathing Apparatus – SCUBA), από την καταδυτική συσκευή τύπου “Aqua-Lung” που κατασκευάστηκε το 1942-3 από τους Jacques-Yves Cousteau και Emile Gagnan (Drach 1948) μέχρι τις σύγχρονες καταδυτικές συσκευές «κλειστού κυκλώματος»⁵ (Iliffe & Bowen 2001) συνέβαλαν καθοριστικά στην εξερεύνηση και τη μελέτη των ιδιαίτερων οικοσυστημάτων που φιλοξενούν τα υποθαλάσσια σπήλαια.

Οι μελέτες για τη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων σπηλαίων του κόσμου έχουν λάβει χώρα κυρίως σε ρηχά υποθαλάσσια σπήλαια της βορειοδυτικής και κεντρικής Μεσογείου, για τα οποία θα γίνει αναλυτική συζήτηση παρακάτω, και σε αγχίαλα σπήλαια υποτροπικών και τροπικών περιοχών του Ατλαντικού, όπως είναι το Μεξικό και οι Βερμούδες (Iliffe & Kornicker 2009 και εκεί αναφορές). Οι μελέτες στα αγχίαλα σπήλαια έχουν κατά βάση ταξινομικό χαρακτήρα καθώς εστιάζουν στην περιγραφή νέων ειδών στυγόβιας πανίδας. Σε ότι αφορά τις βιοκοινότητες των αμιγώς υποθαλάσσιων σπηλαίων, οι περισσότερες στοχευμένες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στις βόρειες ακτές της Μεσογείου (βλέπε Κεφάλαιο 5 για αναλυτική ανασκόπηση) ενώ έχουν γίνει ελάχιστες μελέτες σε εύκρατες περιοχές του Ατλαντικού (π.χ. Ward 1992, Bell 2002, Micael *et al.* 2006) και Ειρηνικού Ωκεανού (π.χ. Dellow & Cassie 1955), και σε σπήλαια και κοιλάδες κοραλλιογενών υφάλων της Καραϊβικής (Macintyre *et al.* 1982, Slattery *et al.* 2013) και του δυτικού Ινδικού Ωκεανού (π.χ. Vacelet & Vasseur 1965, Vacelet 1976). Η εντονότερη ερευνητική δραστηριότητα σε σπήλαια της Μεσογείου σε σχέση με άλλες περιοχές πιθανότατα οφείλεται στο μεγάλο αριθμό υποθαλάσσιων σπηλαίων που εντοπίζονται στις βόρειες ακτές της (Giakoumi *et al.* 2013) καθώς και στη χρήση αυτόνομης καταδυτικής συσκευής στις πρώτες βιολογικές έρευνες που έλαβαν χώρα στην περιοχή αυτή (Drach 1948, Pérès & Picard 1949, Laborel & Vacelet 1959, Vacelet 1959).

1.2. Γεωγραφική κατανομή των θαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου

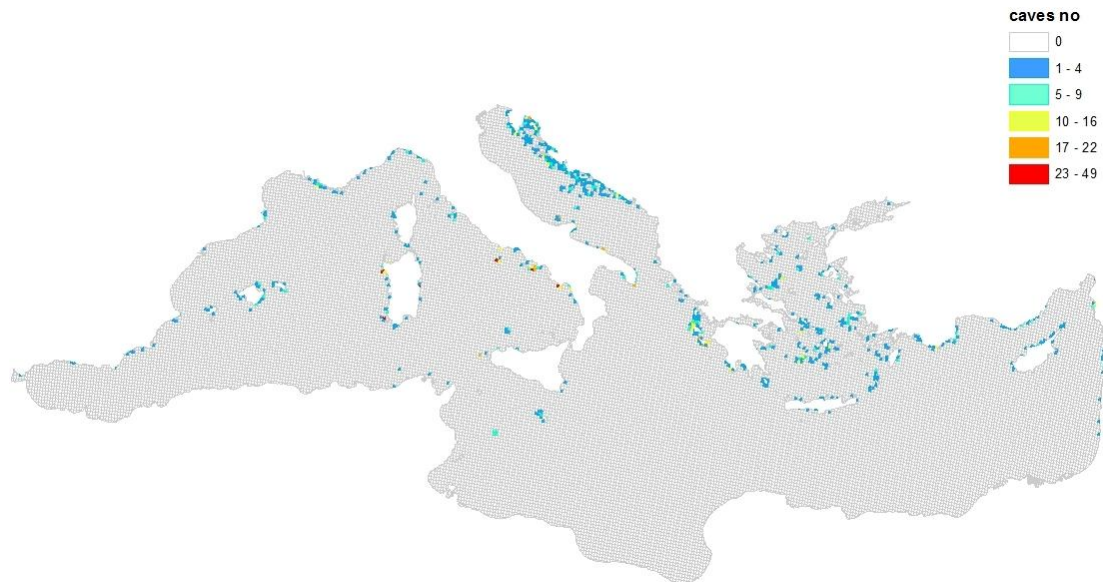
Το 54% της Μεσογειακής ακτογραμμής καλύπτεται από βραχώδη υποστρώματα (Stewart & Morhange 2009) και κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα που αποτελούν χαρακτηριστικό γεωλογικό γνώρισμα της περιοχής (Lewin & Woodward 2009). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε

⁵ Πρόκειται για καθαυτό σπηλαιόβια είδη που διαθέτουν προσαρμογές για διαβίωση στο συγκεκριμένο περιβάλλον (π.χ. έλλειψη χρωστικών, υποπλασμένα μάτια ή ανοφθαλμία).

⁶ Είναι γνωστές ως “rebreathers” ή με τα ακρωνύμια “CCUBA” (Closed Circuit Underwater Breathing Apparatus), “CCR” (Closed Circuit Rebreather) και SCR (Semi-Closed Rebreather)

συνδυασμό με τη γεωλογική ιστορία της Μεσογειακής λεκάνης συνέβαλαν στο σχηματισμό αναρίθμητων σπηλαίων κατά μήκος των βραχωδών ακτών. Στην πιο πρόσφατη επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε από τους Giakoumi *et al.* (2013), αναφέρεται ότι μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί στη Μεσόγειο περίπου 3.000 θαλάσσια σπήλαια (Εικόνα 1.1). Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται σπήλαια ημιβυθισμένα, εξολοκλήρου βυθισμένα και αγχίαλα.

Η συντριπτική πλειοψηφία των σπηλαίων (97%) βρίσκεται στις βόρειες ακτές της Μεσογείου, όπου εντοπίζεται το 92% των Μεσογειακών βραχωδών ακτών⁷, και κυρίως στην Αδριατική, την Τυρρηνική Θάλασσα, τα νησιά του Αιγαίου και Ιονίου Πελάγους και την Κορσική.



Εικόνα 1.1 Γεωγραφική κατανομή των υποθαλάσσιων σπηλαίων στη Μεσόγειο. Με διαφορετικά χρώματα απεικονίζεται ο αριθμός των σπηλαίων σε κελιά διαστάσεων 10 x 10 km (από Giakoumi *et al.* 2013).

Figure 1.1 Distribution of marine caves in the Mediterranean Sea. Different colours indicate the number of caves recorded in cells of 10 x 10 km (from Giakoumi *et al.* 2013).

1.3. Η βιολογική διερεύνηση των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου

Τα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου αναγνωρίζονται ως ένα οικοσύστημα με μοναδική, πλούσια βιοποικιλότητα, που περιλαμβάνει ενδημικά, σπάνια και υπολειμματικά είδη. Έχουν χαρακτηριστεί από ερευνητές ως «φυσικά καταφύγια»⁸ (Harmelin *et al.* 1985), «οικολογικά νησιά» που ευνοούν τη γεωγραφική απομόνωση πληθυσμών (Harmelin *et al.* 1985, Muricy *et al.* 1996b), ακόμα και ως «βαθύαλοι μεσόκοσμοι» στην παραλιακή ζώνη (Harmelin & Vacelet 1997).

Η έρευνα του βιόκοσμου των Μεσογειακών σπηλαίων ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1940, σχεδόν παράλληλα από θαλάσσιους βιολόγους της Γαλλίας (Pérès & Picard 1949, 1951, 1955, Laborel & Vacelet 1958), της Αυστρίας (Starmühlner 1955a·b, Abel 1959, Banse 1959,

⁷ Το 74% των βραχωδών ακτών της Μεσογείου βρίσκεται σε 3 μόνο χώρες, την Ιταλία, την Ελλάδα και την Κροατία (Stewart & Morhange 2009).

⁸ Αναφέρεται ως «refuge habitats».

Riedl 1959a·b·c·d·e, Russ & Rützler 1959, Rützler 1965) και της Ιταλίας (Sarà 1958, 1959a, 1961a·b, 1962b, 1968). Κατά συνέπεια, οι έρευνες έχουν λάβει χώρα στο βόρειο τμήμα της δυτικής και κεντρικής Μεσογειακής λεκάνης.

Η βιολογική έρευνα των υποθαλάσσιων σπηλαίων έχει επικεντρωθεί γύρω από δύο κύριους άξονες: (α) την καταγραφή της βιοποικιλότητας και (β) την περιγραφή των βιοκοινοτήτων και μελέτη των χωρικών προτύπων οικολογικής διαβάθμισης στο εσωτερικό των σπηλαίων.

1.3.1. Καταγραφή της βιοποικιλότητας

Η πρώτη ερευνητική αποστολή με στόχο την καταγραφή της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου, με όνομα “Tyrrhenia-Expedition”, ξεκίνησε το 1952 με επικεφαλής τον Αυστριακό ζωολόγο Rupert Riedl. Στο πλαίσιο της αποστολής, μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε σε σπήλαια της Τυρρηνικής Θάλασσας και της Βόρειας Αδριατικής. Συνολικά καταγράφηκαν 529 είδη από 32 ταξινομικές ομάδες που δημοσιεύτηκαν μέσα στην επόμενη δεκαετία σε μια σειρά από ταξινομικές και οικολογικές μελέτες (Starmühlner 1955a·b, Abel 1959, Banse 1959, Riedl 1959a·b·c·d·e, Ruffo 1959, Russ & Rützler 1959, Rützler 1965).

Παράλληλα, οι μελέτες άλλων ερευνητών σε σπήλαια της Ιταλίας και της Γαλλίας αποκάλυψε πολλά νέα είδη για την επιστήμη, κυρίως από το φύλο Porifera (π.χ. Sarà 1958, Vacelet & Lévi 1958, Vacelet 1959, Rützler & Sarà 1962, Sarà 1959b, Sarà & Siribelli 1960). Το 1966 ο Riedl συγκέντρωσε την υπάρχουσα επιστημονική γνώση σχετικά με τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων της Μεσογείου στη μονογραφία του «Biologie der Meereshöhlen», απαριθμώντας 905 είδη, ενώ εκτίμησε ότι ο συνολικός αριθμός ειδών των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου θα πρέπει να προσεγγίζει τα 2000 είδη.

Οι έρευνες που ακολούθησαν μέχρι σήμερα σε υποθαλάσσια σπήλαια (περιλαμβανομένων των αγχιάλων), αποκαλύπτουν συνεχώς νέα είδη οργανισμών από διαφορετικές ταξινομικές ομάδες, όπως Porifera (Pulitzer-Finali 1983, Vacelet & Boury-Esnault 1982, Pansini 1984, Voultziadou-Koukoura & Van Soest 1991, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1991, Bibiloni 1993, Boury-Esnault *et al.* 1995, Corriero *et al.* 1996, Pansini 1996, Vacelet & Boury-Esnault 1996, Bavestrello *et al.* 1997, Corriero *et al.* 1997b, Muricy *et al.* 1998, Pansini & Pesce 1998, Vacelet & Pérez 1998, Vacelet *et al.* 2000, Manconi *et al.* 2006, Vacelet *et al.* 2007, Pérez *et al.* 2011, Pisera & Vacelet 2011, Reveillaud *et al.* 2012), Priapulida (Todaro & Shirley 2003), Gastrotricha (Fregni *et al.* 1998), Copepoda (Riera *et al.* 1991, Carola & Razouls 1996, Jaume & Boxshall 1996, Jaume 1997, Jaume *et al.* 1999, Krsinic 2005), Decapoda (Fransen 1991, Pretus 1990), Mysida (Wittmann 2004, Alcaraz *et al.* 1986), Polychaeta (Zibrowius 1968), Gastropoda (Warén *et al.* 1997), Tardigrada (Villora-Moreno 1996), Bryozoa (Silén & Harmelin 1976, Harmelin *et al.* 2007, Hayward 1974), Brachiopoda (Logan & Zibrowius 1994), Chaetognatha (Casanova 1986) και Pisces (Konačić 1999). Επίσης, σε κάποιες μελέτες καταγράφηκαν είδη που θεωρούνται «ζωντανά απολιθώματα» (Vacelet & Lévi 1958, Pérez *et al.* 2004, Manconi & Serusi 2008) αλλά και σημαντικός αριθμός βαθύβιων ειδών, στη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων, ανεξάρτητα από το βάθος (Pouliquen 1969, Vacelet *et al.* 1994, Harmelin 1997, Harmelin & Vacelet 1997).

Οι παραπάνω έρευνες έχουν λάβει χώρα κατά βάση σε περιοχές της βορειοδυτικής λεκάνης της Μεσογείου, των Ιταλικών ακτών του Ιονίου και στην Αδριατική. Στην ανατολική Μεσόγειο οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί είναι λίγες και επιπλέον δεν εστιάζουν στο

συγκεκριμένο τύπο ενδιαιτήματος, αλλά στη μελέτη συγκεκριμένων ταξινομικών ομάδων σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως τους σπόγγους του Αιγαίου (π.χ. Voultziadou-Koukoura *et al.* 1991) και των νοτιοανατολικών ακτών της Λεβαντίνης (π.χ. Pérez *et al.* 2011).

Εκτός από την έντονη γεωγραφική ανισοκατανομή, η μελέτη της βιοποικιλότητας των σπηλαίων της Μεσογείου υποφέρει από τον κατακερματισμό της επιστημονικής πληροφορίας και μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει κάποια προσπάθεια αποτίμησής της, πέρα από τη μονογραφία του Riedl (1966) και επιμέρους προσπάθειών για την αποτύπωση της γνώσης σχετικά με τα υποθαλάσσια σπήλαια της Ιταλίας (Bianchi 2003).

1.3.2. Μελέτη βιοκοινοτήτων και χωρικών προτύπων διαβάθμισης τους

Η πρώτη περιγραφή των βιοκοινοτήτων από υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου, έγινε από τους Pérès & Picard (1949), οι οποίοι μελέτησαν το σπήλαιο της περιοχής Nioion κοντά στη Μασσαλία και παρατήρησαν ότι ενώ στη ζώνη εισόδου κυριαρχούσαν τα μακροφύκη (κυρίως Rhodophyta), αυτά εξαφανίζονταν προς το εσωτερικό όπου, λόγω της μείωσης του φωτισμού, επικρατούσαν οι ζωικοί οργανισμοί και ιδίως οι σπόγγοι που κάλυπταν το 90% της επιφάνειας των τοίχων. Οι ερευνητές αυτοί τόνισαν ότι οι συνθήκες μειωμένου φωτισμού που επικρατούσαν στο σπήλαιο επέτρεπαν την ανάπτυξη ειδών που κανονικά απαντούν σε μεγαλύτερα βάθη, παρά το μικρό βάθος του σπηλαίου (6-12 m). Αργότερα, στις πρώτες βιολογικές μελέτες για την περιγραφή των βιοκοινοτήτων της βορειοδυτικής Μεσογείου, οι Pérès & Picard (1951, 1955) περιέγραψαν τις κοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων ως έναν τύπο⁹ της κοραλλιγενούς βιοκοινότητας (coralligenous biocoenosis)¹⁰ με την ονομασία “*Le coralligène de grottes*”.

Ο Vacelet (1964) χαρακτήρισε τις κοινότητες των σκοτεινών σπηλαίων της Μεσογείου ως μια υποβαθμισμένη εκδοχή της κοραλλιγενούς βιοκοινότητας¹¹, αποδίδοντας τη διαφοροποίηση της πανίδας στη μείωση του υδροδυναμισμού, την απουσία φωτός και ίσως τη δημιουργία ενός μαύρου επιστρώματος οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στο υπόστρωμα.

⁹ Οι Pérès & Picard (1951) διαχωρίζουν τρεις τύπους κοραλλιγενών βιοκοινοτήτων που αναπτύσσονται αντίστοιχα (α) σε υποθαλάσσια σπήλαια («*coralligène de grottes*»), (β) στη βάση κατακόρυφων τοίχων («*coralligène d’horizon inferieur de la roche littoral*») και (γ) σε επίπεδους βυθούς και πλατώματα («*coralligène de plateau*»).

¹⁰ Σύμφωνα με την πιο επίκαιρη μελέτη του Ballesteros (2006), τα κοραλλιγενή ενδιαιτήματα (coralligenous habitats) χαρακτηρίζονται από την παρουσία αποθέσεων ενασβεστωμένων ροδοφυκών τα οποία αναπτύσσονται κάτω από ασθενείς συνθήκες φωτισμού και υδροδυναμισμού. Αυτές οι αποθέσεις παρουσιάζουν εξαιρετικά σύνθετη δομή που επιτρέπει την ανάπτυξη διαφορετικών κοινοτήτων που περιλαμβάνουν ζωντανά μακροφύκη (ανώτερο στρώμα αποθέσεων), αιωρηματοφάγα ζώα (κατώτερο τμήμα αποθέσεων, κοιλότητες τοίχων και υπόστεγα), διατρητικά είδη (εντός των αποθέσεων), ακόμα και πανίδα των κινητών υποστρωμάτων (στο ίζημα που εναποτίθεται σε κοιλότητες και τρύπες).

¹¹ Επί της ουσίας, αναφέρεται στην κοραλλιγενή βιοκοινότητα της εισόδου των σπηλαίων και σε αυτή των ημισκοτεινών σπηλαίων που ως τότε θεωρούνταν ως μια μορφή της κοραλλιγενούς κοινότητας με την ονομασία “*coralligène de grottes*”.

Η σαφής διάκριση των βιοκοινοτήτων του εσωτερικού των σπηλαίων από την κοραλλιγενή ή προ-κοραλλιγενή¹² βιοκοινότητα της ζώνης εισόδου έγινε με γνώμονα την κυριαρχία ζωικών ομάδων σε αντίθεση με την επικράτηση μακροφυκών στην πρώτη (Laborel & Vacelet 1959, Vacelet 1959, Laborel 1960, 1961). Έτσι, οι Laborel & Vacelet (1959) περιέγραψαν δύο βιοκοινότητες, που διαδέχονται η μια την άλλη, με τη μείωση του φωτισμού, χωρίζοντας τα σπήλαια σε διακριτές ζώνες: (α) μια μεταβατική, ασθενώς φωτισμένη ζώνη, όπου το ποσοστό βιοτικής κάλυψης μειώνεται από το 100% της εξωτερικής ζώνης του σπηλαίου στο 50%, με χαρακτηριστικά είδη τους σπόγγους *Aplysina cavernicola*, *Petrosia ficiformis*, *Ircinia variabilis* και *Petrobiona massiliana*, και τα σκληρακτίνια *Leptopsammia pruvoti*, *Caryophyllia inornata* και *Madracis pharensis* (πιο συχνό στην ανατολική Μεσόγειο) και (β) μια ολοσκοτεινή ζώνη στην οποία το ποσοστό βιοτικής κάλυψης μειωνόταν στο 20%, με την υπόλοιπη επιφάνεια να καλύπτεται από ένα μαύρο επίχρισμα οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου¹³. Στη ζώνη αυτή επικρατούν πολύχαιτοι της οικογένειας Serpulidae, ορισμένα είδη σπόγγων και σκληρακτινίων, ενώ η οροφή των σπηλαίων είναι συνήθως διάτρητη από δίθυρα μαλάκια *Lithophaga lithophaga*.

Ο Pérès (1967), συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνών, διέκρινε την κοραλλιγενή βιοκοινότητα (C) που συχνά αναπτύσσεται στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων¹⁴, τη βιοκοινότητα των ημισκοτεινών σπηλαίων (GSO) και αυτή των ολοσκοτεινών σπηλαίων και σπηράγγων (GO). Από τη βιοκοινότητα GSO απουσιάζουν τα μακροφύκη ενώ επικρατούν οι σπόγγοι (π.χ. *Agelas oroides*, *Aplysina aerophoba*, *Oscarella lobularis* και *Petrosia ficiformis*) και σε κάποια σημεία υπάρχουν φάσεις¹⁵ από ανθόζωα (π.χ. *Parazoanthus axinellae*, *Corallium rubrum*, *Caryophyllia inornata*, *Hoplangia durothrix*, *Leptopsammia pruvoti* και *Madracis pharensis*). Στη βιοκοινότητα GO κυριαρχούν οι σπόγγοι (π.χ. *Petrobiona massiliana*) και οι πολύχαιτοι της οικογένειας Serpulidae.

¹² Ο Vacelet (1959) αναφέρει ότι στην είσοδο των υποθαλάσσιων σπηλαίων μπορεί να παρατηρηθεί μια μεταβατική ζώνη από την κοινότητα των φωτόφυλων φυκών προς την κοραλλιγενή κοινότητα, γνωστή και ως προ-κοραλλιγενής βιοκοινότητα (precoralligenous). Επιπρόσθετα, ο Laborel (1961) εξηγεί ότι οι κοραλλιγενείς βιοκοινότητες δεν αποτελούν το βασικό συστατικό των κοινότητων των υποθαλάσσιων σπηλαίων οι οποίες χαρακτηρίζονται από ζωική κυριαρχία, με κύριο είδος το κόκκινο κοράλλι (*Corallium rubrum*).

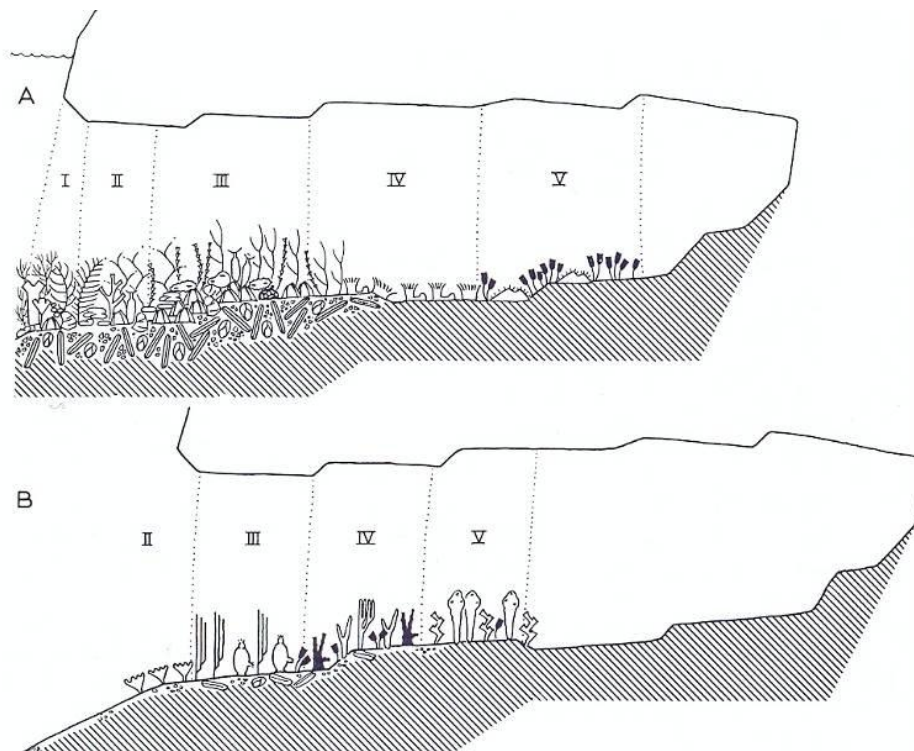
¹³ Ο Pérès (1967) επισημαίνει ότι η παρουσία οξειδίων των δύο αυτών μετάλλων θυμίζει το σχηματισμό κονδύλων που λαμβάνει χώρα σε βαθιά ωκεάνια ιζήματα, υπό συνθήκες παντελούς απουσίας φωτός και ότι η ακριβής αιτία της παρουσίας τους δεν είναι γνωστή. Αναλυτική περιγραφή για τη δομή του μαύρου επίχρισματος οξειδίων Mn και Fe, από 3 διαφορετικά σημεία υποθαλάσσιων σπηλαίων των ακτών της Γαλλίας δίνουν οι Alloué & Harmelin (2001).

¹⁴ Ωστόσο, ο Pérès (1967) επισημαίνει ότι η κοραλλιγενής βιοκοινότητα μπορεί να εμφανιστεί τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό των υποθαλάσσιων σπηλαίων ενώ πολλά είδη της βιοκοινότητας των ημισκοτεινών σπηλαίων μπορούν να βρεθούν ως θύλακες (enclaves) σε σκοτεινές τρύπες ή ρωγμές των κοραλλιγενών σχηματισμών. Πιο πρόσφατα, πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι εκτεταμένοι κοραλλιγενείς σχηματισμοί μπορούν να αναπτυχθούν στη ζώνη εισόδου των υποθαλάσσιων σπηλαίων (π.χ. Ballesteros 2006, Kipson *et al.* 2011, Teixidó *et al.* 2011b).

¹⁵ Ως φάση (facie) ορίζεται το αποτέλεσμα της κυριαρχίας ενός ή ελάχιστων χαρακτηριστικών ειδών μιας βιοκοινότητας, εξαιτίας της τοπικής επικράτησης συγκεκριμένων οικολογικών παραγόντων (Pérès & Picard 1964).

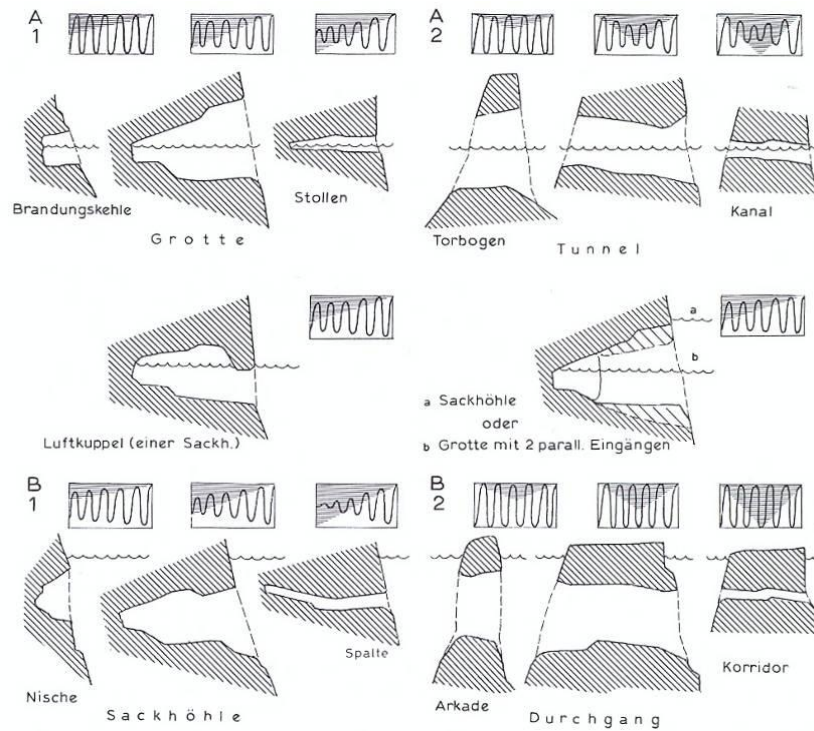
Ο Riedl (1966) μελέτησε σπήλαια με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά, κυρίως στην Τυρρηνική Θάλασσα (π.χ. κόλπος της Νάπολης) και την Αδριατική (Κροατία) και πρότεινε ένα διαφορετικό σύστημα διαβάθμισης των κοινοτήτων. Έτσι, διέκρινε τις 6 ακόλουθες ζώνες με βάση τη σύνθεση των μακροφυκών και των υδρόζωνων: I) σκιερή ζώνη φυτικής κυριαρχίας, II) ζώνη εισόδου, III) πρόσθιο, IV) κεντρικό, V) οπίσθιο και VI) «κενό» τμήμα σπηλαίου (Εικόνα 1.2). Ωστόσο, τόνισε πως τα όρια των ζωνών εξαρτώνται από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του κάθε σπηλαίου (π.χ. αναλογία πλάτους εισόδου / μήκους σπηλαίου και αριθμός των εισόδων) που καθορίζουν τη διείσδυση του φωτός και την ανανέωση του νερού στο εσωτερικό. Έτσι, ακόμα και γειτονικά σπήλαια του ίδιου γεωμορφολογικού τύπου, μπορεί να παρουσιάζουν ετερογένεια ως προς τις κοινότητες που φιλοξενούν, εξαιτίας της διαφορετικής αναλογίας πλάτους εισόδου / μήκους. Επίσης, με την αύξηση του βάθους, οι παραπάνω ζώνες τείνουν να μετατοπίζονται προς την είσοδο (Εικόνα 1.2B).

Επίσης, ο Riedl (1966) επισήμανε ότι καθοριστικό ρόλο στην οικολογική ζώνωση παίζει και η γενικότερη μορφή του σπηλαίου, διαχωρίζοντας τα σπήλαια σε ημιβυθισμένα και εντελώς βυθισμένα τα οποία, επιπλέον, μπορεί να έχουν τη μορφή σήραγγας ή αδιέξοδου σπηλαίου (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.2 Οικολογικές ζώνες σε ρηχό (A) και βαθύτερο (B) υποθαλάσσιο σπήλαιο σύμφωνα με την κατάταξη του Riedl (1966). Με την αύξηση του βάθους, οι ζώνες του εσωτερικού του σπηλαίου τείνουν να μετατοπίζονται προς την είσοδο (B). Όπου, I: σκιερή ζώνη φυτικής κυριαρχίας, II: ζώνη εισόδου, III: πρόσθιο, IV: κεντρικό, V: οπίσθιο και VI: «κενό» τμήμα σπηλαίου.

Figure 1.2 Ecological zonation in shallow (A) and deeper (B) submerged caves according to Riedl (1966). The inner zones can be present closer to the cave entrance as the depth increases (B). I: Algal dominated shadowy zone, II: entrance zone, III: anterior zone, IV: central zone, V: posterior zone, and VI: azoic zone.



Εικόνα 1.3 Διαφορετικοί μορφολογικοί τύποι σπηλαίων σύμφωνα με την κατάταξη του Riedl (1966): A: ημιβυθισμένα, B: βυθισμένα, 1: αδιέξοδα σπήλαια και 2: σήραγγες.

Figure 1.3 Different morphological types of marine caves according to Riedl (1966): A: semi-submerged, B: submerged, 1: blind caves, and 2: tunnels.

Έτσι, σε σήραγγες με πολλές εισόδους, για παράδειγμα, μπορεί να απουσιάζουν οι χαρακτηριστικές κοινότητες των σπηλαίων εξαιτίας των συνθηκών φωτισμού, ενώ σε αδιέξοδα σπήλαια, η μείωση της έντασης του φωτισμού και του υδροδυναμισμού στο εσωτερικό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία φαινομενικά αζωικών ζωνών (Riedl 1966).

Οι παραπάνω βιονομικές έρευνες και η τυπολογία που πρότεινε ο Riedl (1966) παρακίνησαν αρκετούς επιστήμονες να μελετήσουν διαφορετικούς μορφολογικούς τύπους υποθαλάσσιων σπηλαίων σε διάφορες περιοχές της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου, επιβεβαιώνοντας ή αναιρώντας τα παραπάνω πρότυπα ζώνωσης και αναδεικνύοντας τοπικές ιδιαιτερότητες. Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα των κυριότερων σχετικών μελετών.

Ο Rouliquen (1972) μελέτησε υποθαλάσσια σπήλαια στην περιοχή της Μασσαλίας και διαπίστωσε ότι οι οικολογικές φάσεις που είχαν περιγραφεί ως τότε (π.χ. Laborel & Vacelet 1959, Laborel 1960) δεν αναπτύσσονταν πάντα με όμοιο τρόπο, ενώ σε κάποια σπήλαια μπορεί να απουσίαζαν εντελώς. Έτσι, διέκρινε 3 τύπους σπηλαίων με βάση το βάθος στο οποίο βρίσκονταν:

- Τα «επιφανειακά» ρηχά ημιβυθισμένα σπήλαια μικρών διαστάσεων, των οποίων ο πυθμένας μπορεί να καλύπτεται και να αποκαλύπτεται από την παλίρροια και τον κυματισμό. Εξαιτίας του έντονου υδροδυναμισμού δεν εμφανίζεται ζώνωση των βιοκοινοτήτων σε αυτά.

- Τα «ημιεπιφανειακά» σπήλαια όπου η επίδραση του υδροδυναμισμού της επιφάνειας είναι ακόμη πολύ σημαντική. Σε αυτά τα σπήλαια, σταδιακά εμφανίζεται ζώνωση των κοινοτήτων που επηρεάζεται από την κίνηση του νερού.
- Τα «βαθιά» σπήλαια τα οποία βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο των 10 m και έχουν μεγάλες διαστάσεις. Σε αυτά τα σπήλαια η ένταση του φωτός και ο υδροδυναμισμός εξασθενούν από την είσοδο προς το εσωτερικό, δημιουργώντας βιοκοινοτική ζώνωση.

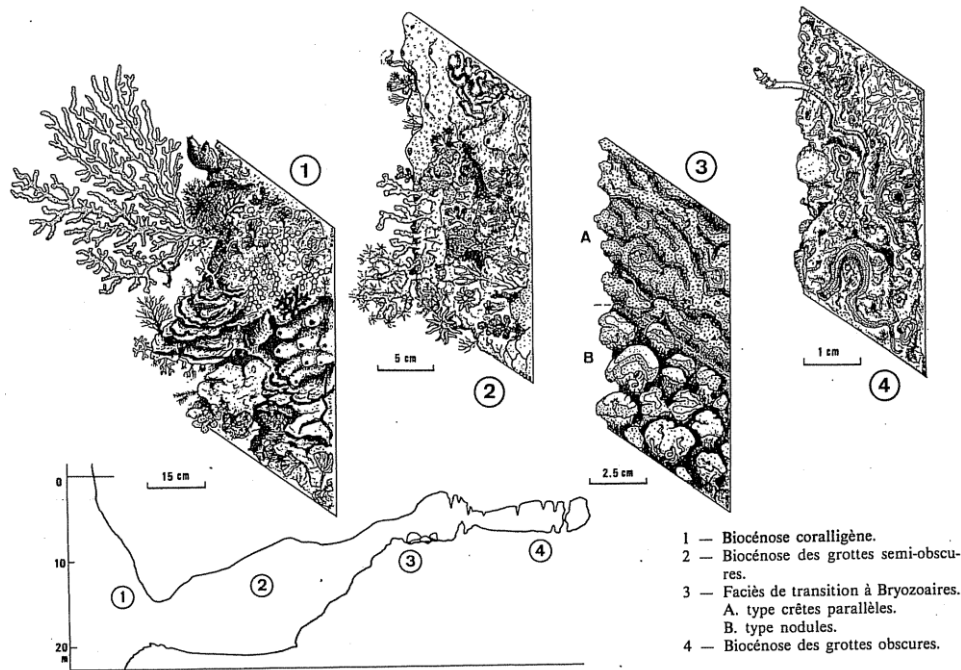
Ο Rouliquen (1972) επισήμανε ότι ενώ στα σπήλαια των πρώτων δύο κατηγοριών, ανεξάρτητα από το σχήμα και τις διαστάσεις τους, ο κυρίαρχος παράγοντας που καθορίζει τη δημιουργία ζώνωσης είναι ο υδροδυναμισμός, στα «βαθιά» σπήλαια τα ρεύματα και η ανανέωση των υδάτινων μαζών εξαρτώνται από το σχήμα και τις διαστάσεις του σπηλαιού (π.χ. δημιουργία ρεύματος σε σπήλαια μορφής σήραγγας ενώ σε αδιέξοδα σπήλαια τα ρεύματα είναι αισθητά μόνο στην είσοδο).

Οι Harmelin *et al.* (1985), σε μια επισκόπηση σχετικά με τα χαρακτηριστικά της βιοκοινότητας GO, περιγράφουν τα σκοτεινά σπήλαια ως ένα ακραίο περιβάλλον. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της βιοκοινότητας είναι η απουσία φωτός και ο βαθμός αποκλεισμού¹⁶ που δημιουργεί συνθήκες απομόνωσης και ολιγοτροφίας. Ωστόσο, τονίζουν ότι η συνδυαστική δράση των δύο αυτών παραγόντων συχνά καθιστά δύσκολη τη διάκριση της επίδρασης του κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

Σύμφωνα με τους τελευταίους ερευνητές, η μετάβαση από τη βιοκοινότητα GSO στη GO¹⁷ σηματοδοτείται από θεαματική μείωση του ποσοστού βιοτικής κάλυψης, της βιομάζας και του συνολικού αριθμού ειδών (με εξαίρεση τους πολύχαιτους Serpulidae), από εξαφάνιση των οργανισμών με ανορθωμένη σωματική μορφή και παράλληλη αύξηση των ειδών με μορφή επιστρώματος. Ωστόσο, στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στις δύο βιοκοινότητες, αναπτύσσονται κρουστώδη βρούζα (π.χ. *Onychocella marioni*) που σχηματίζουν βιοαποθέσεις υπό μορφή κονδύλων, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο μια τοπική κατακόρυφη ζώνωση (Εικόνα 1.4). Επίσης, όπως και ο Rouliquen (1972), διέκριναν επιμέρους ζώνες στη βιοκοινότητα των σκοτεινών σπηλαίων στη Μεσόγειο αλλά και σε τροπικές θάλασσες (π.χ. Ινδικός Ωκεανός). Στην πρώτη, η βιοτική κάλυψη καταλάμβανε το 50-80% του υποστρώματος ενώ στη δεύτερη μειωνόταν στο 10-40%. Σε αγχίαλα σπήλαια παρατήρησαν δύο επιπλέον ζώνες· στην πρώτη επιβίωναν μόνο μικρά άτομα σπόγγων και Serpulidae σε διάσπαρτα σημεία ενώ στην τελευταία η εδραία πανίδα εξαφανιζόταν. Ωστόσο, επισήμαναν το ρόλο της τοπογραφίας στα παραπάνω πρότυπα, καθώς σε σήραγγες με καλή κυκλοφορία νερού η βιοτική κάλυψη μπορεί να καταλαμβάνει το 100% της επιφάνειας ακόμα και στη βιοκοινότητα GO.

¹⁶ Ο όρος «βαθμός αποκλεισμού» (confinement) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Guelorget & Perthuisot (1983, 1992) για λιμνοθαλάσσια οικοσυστήματα της Μεσογείου και θα μπορούσε να οριστεί ως ο χρόνος ανανέωσης των στοιχείων θαλάσσιας προέλευσης.

¹⁷ Οι Harmelin *et al.* (1985) επισημαίνουν ότι στη Μεσόγειο, η βιοκοινότητα GO φαίνεται να αναπτύσσεται σε ένταση φωτισμού σημαντικά χαμηλότερη του 0,01% της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία σύμφωνα με τους Jaubert (1971) και Weinberg (1975), αποτελεί το κατώφλι εξαφάνισης της φάσης του *Corallium rubrum*.



Εικόνα 1.4 Οικολογική διαβάθμιση κατά μήκος ενός υποθαλάσσιου σπηλαιίου όπου διακρίνονται (1) η κοραλλιογενής βιοκοινότητα της εισόδου, (2) η βιοκοινότητα των ημισκοτεινών σπηλαίων, (3) μια μεταβατική κοινότητα όπου εμφανίζονται κόνδυλοι από βρυόζωα και (4) η βιοκοινότητα των σκοτεινών σπηλαίων. Είναι εμφανής η σταδιακή μείωση της τρισδιάστατης πολυπλοκότητας, της βιομάζας, της βιοτικής κάλυψης και της ποικιλότητας (από Harmelin *et al.* 1985).

Figure 1.4 Ecological zonation in a marine cave, depicting: (1) the coralligenous biocoenosis of the cave entrance, (2) the biocoenosis of semi-obscure caves, (3) a transitional zone in which bryozoan nodules develop, and (4) the biocoenosis of totally dark caves. A marked gradual decrease of the three-dimensional complexity, biomass, biotic cover and diversity is evident (from Harmelin *et al.* 1985).

Μια δεκαετία αργότερα, οι Bianchi & Morri (1994), μελέτησαν 17 υποθαλάσσια σπήλαια από τις ακτές της Ιταλίας και 4 από τις Μαλδίβες στον Ινδικό Ωκεανό και διέκριναν 6 οικολογικές ζώνες, συγχωνεύοντας το σύστημα ζώνωσης που πρότεινε ο Riedl (1966) με αυτό των Harmelin *et al.* (1985). Στα σπήλαια που μελέτησαν, η έκταση της κάθε ζώνης διέφερε ανάλογα με την τοπογραφία, ενώ σε κάποια σπήλαια η κοινότητα της οροφής αντιστοιχούσε στην επόμενη ζώνη σε σχέση με τους κάθετους τοίχους.

Οι περισσότερες από τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω επικεντρώθηκαν στην περιγραφή της ποιοτικής σύνθεσης των βιοκοινοτήτων και της οικολογικής ζώνωσης στα σπήλαια, παρέχοντας ελάχιστα ποσοτικά στοιχεία σχετικά με τη μεταβολή του πλούτου ειδών και της βιοτικής κάλυψης. Τα χωρικά πρότυπα διαβάθμισης της ποικιλότητας και της δομής των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων έχουν διερευνηθεί με ποσοτικό τρόπο σε ένα μικρό αριθμό μελετών (Gili *et al.* 1982, Pansini & Pronzato 1982, Balduzzi *et al.* 1985, Corriero *et al.* 2000, Martí *et al.* 2004a, Bussotti *et al.* 2006). Καθοριστικό ρόλο προς αυτή την κατεύθυνση διαδραμάτισε η ευρεία χρήση αυτόνομης κατάδυσης στην επιστημονική έρευνα και η ανάπτυξη φωτογραφικών μεθόδων ανάλυσης. Οι παραπάνω μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα παρατηρούμενα πρότυπα χωρικής ετερογένειας των κοινοτήτων των σπηλαίων θα πρέπει να σχετίζονται με τα μοναδικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε

σπηλαίου. Ωστόσο, οι έρευνες αυτές έχουν πραγματοποιηθεί σε ένα περιορισμένο αριθμό ημιβυθισμένων και ρηχών σπηλαίων της βορειοδυτικής και κεντρικής Μεσογείου, ενώ οι βιοκοινότητες των σπηλαίων της ανατολικής λεκάνης της Μεσογείου παραμένουν εντελώς ανεξερευνήτες από ποσοτική άποψη.

1.4. Αναγκαιότητα για εμπλουτισμό της γνώσης γύρω από τα υποθαλάσσια σπήλαια

Από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας (η οποία παρουσιάζεται και αξιολογείται εκτενέστερα στην εισαγωγή των επιμέρους κεφαλαίων της διατριβής) προκύπτει ότι η μελέτη των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου αποκτά ιδιαίτερη σημασία για πολλούς επιστημονικούς και πρακτικούς λόγους που μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Αποτελούν χαρακτηριστικό στοιχείο των βραχωδών ακτών της Μεσογείου, οι οποίες καταλαμβάνουν το 54% της ακτογραμμής της (Giakoumi *et al.* 2013 και εκεί αναφορές). Το ποσοστό αυτό είναι ακόμα μεγαλύτερο σε παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της βορειοανατολικής Μεσογείου.
- Φιλοξενούν διαφορετικούς τύπους βιοκοινοτήτων που κατανέμονται χωρικά ανάλογα με την τοπογραφία και την επακόλουθη διαβάθμιση των αβιοτικών παραγόντων (Riedl 1966, Régès 1967, Rouliquen 1972, Harmelin *et al.* 1985, Bianchi & Morri 1994). Ωστόσο, οι ακριβείς μηχανισμοί που δημιουργούν τη χωρική ετερογένεια αυτών των βιοκοινοτήτων δεν είναι πλήρως κατανοητοί (Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b, Martí *et al.* 2004a).
- Φιλοξενούν είδη σπάνια, νέα για την επιστήμη (π.χ. Voultziadou-Koukoura *et al.* 1991, Corriero *et al.* 1996), βαθύβια (π.χ. Vacelet *et al.* 1994, Harmelin & Vacelet 1997), «ζωντανά απολιθώματα» (π.χ. Vacelet & Lévi 1958, Pérez *et al.* 2004), καθώς και είδη με οικονομικό ενδιαφέρον (π.χ. Bussotti & Guidetti 2009, Audoin *et al.* 2013).
- Λόγω της πλούσιας και μοναδικής τους βιοποικιλότητας προστατεύονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία¹⁸ (92/43/EEC), ενώ πρόσφατα ψηφίστηκαν δύο Σχέδια Δράσης για την προστασία των κοινοτήτων τους από τα συμβαλλόμενα κράτη-μέλη της Σύμβασης της Βαρκελώνης και του Μεσογειακού Σχεδίου Δράσης του Προγράμματος Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP-MAP-RAC/SPA 2008, 2013).
- Θεωρούνται ενδιαιτήματα με μικρή δυνατότητα ανάκαμψης (Harmelin *et al.* 1985) και, παρά το γεγονός ότι είναι σχετικά απομονωμένα και δυσπρόσιτα, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν ενδείξεις αρνητικών επιπτώσεων στις κοινότητές τους από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Di Franco *et al.* 2009) καθώς και την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής (Chevaldonné & Lejeusne 2003, Parravicini *et al.* 2010).
- Πέρα από το ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, εξαιτίας της γεωμορφολογίας, του βιολογικού πλούτου και της αισθητικής αξίας, τα υποθαλάσσια σπήλαια συχνά αποτελούν πόλους ανάπτυξης υποβρύχιου τουρισμού (π.χ. καταδυτικού) και συνεπώς δυνητικές πηγές εισοδήματος για παράκτιες περιοχές (Gerovassileiou *et al.* 2009).

¹⁸ Κωδικός Οικοτόπου 8330: «Θαλάσσια σπήλαια εξ ολοκλήρου ή κατά το ήμισυ κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας».

Επιπλέον, η βιβλιογραφική ανασκόπηση ανέδειξε κάποιες ελλείψεις και δυσκολίες σχετικά με τη μελέτη των υποθαλασσιών σπηλαίων:

- Δεδομένου ότι η τοπογραφία των υποθαλασσιών σπηλαίων έχει αναγνωριστεί ως ο κύριος παράγοντας που διαμορφώνει τη χωρική ετερογένεια των βενθικών κοινοτήτων (Sarà 1962b, Riedl 1966, Pouliquen 1972, Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b, Martí *et al.* 2004a), διαπιστώθηκε ένα κενό στην ανάπτυξη μεθόδων παραστατικής απεικόνισης αυτής της ετερογένειας.
- Οι υπάρχουσες μέθοδοι για τη χαρτογράφηση και αναπαράσταση των χερσαίων σπηλαίων δεν έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα στις ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας η οποία εδώ παρουσιάζει ιδιομορφίες και δυσκολίες, λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου και του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται.
- Οι ιδιαίτερες δυσκολίες που υπάρχουν στην ερευνητική προσέγγιση των υποθαλασσιών σπηλαίων αλλά και η ανάγκη για μη καταστροφική μελέτη των ευαίσθητων κοινοτήτων που στηρίζουν φέρνουν στην επιφάνεια τη διερεύνηση χρήσης υποκαταστατών για τη μελέτη των οικοσυστημάτων αυτών.
- Η επιστημονική πληροφορία σχετικά με τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων της Μεσογείου είναι κατακερματισμένη και δεν υπάρχει κάποια σύγχρονη προσπάθεια αποτίμησής της, ώστε να αναδειχτεί και να τεκμηριωθεί η οικολογική αξία αυτών των ενδιαιτημάτων για το Μεσογειακό οικοσύστημα.
- Υπάρχουν κενά στη γνώση του βιόκοσμου των υποθαλασσιών σπηλαίων ορισμένων περιοχών, όπως η ανατολική λεκάνη της Μεσογείου, αφού μέχρι στιγμής έχει δοθεί έμφαση στη μελέτη των ρηχών σπηλαίων της βορειοδυτικής και κεντρικής λεκάνης.
- Παρόλο που έχουν επισημανθεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σύνθεση των βιοκοινοτήτων σε σπήλαια διαφορετικών περιοχών εντός της δυτικής Μεσογείου, οι οποίες θα μπορούσαν να αποδοθούν σε βιογεωγραφικούς παράγοντες (Bibiloni *et al.* 1989, Uriz *et al.* 1992, Bianchi & Morri 1994), οι ελάχιστες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για αυτά τα οικοσυστήματα στην ανατολική Μεσόγειο δεν επιτρέπουν να γίνουν συγκρίσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα.

1.5. Σκοπός της εργασίας

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα εργασία έχει ως κύριο σκοπό να συμβάλει στην έρευνα των υποθαλασσιών σπηλαίων της Μεσογείου (α) προτείνοντας νέα μεθοδολογία για τη μελέτη τους, (β) εισφέροντας νέα πληροφορία για τη δομή των βιοκοινοτήτων που αυτά στηρίζουν σε μια περιοχή από την οποία ελάχιστα δεδομένα υπάρχουν, (γ) αναδεικνύοντας τη σημασία τους για το θαλάσσιο οικοσύστημα και (δ) αναδεικνύοντας κενά και ελλείψεις στην επιστημονική γνώση της βιοποικιλότητας των σπηλαίων καθώς και πιθανών κατευθύνσεων για τη μελλοντική τους μελέτη.

Ο γενικός σκοπός της έρευνας προσεγγίστηκε με τους εξής επιμέρους στόχους:

A. Χαρτογράφηση και αποτύπωση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών των σπηλαίων

Λαμβάνοντας υπόψη (α) τη σημασία της τοπογραφίας των σπηλαίων για τη διαμόρφωση των προτύπων κατανομής των βιοκοινοτήτων που φιλοξενούν και (β) τις ιδιαίτερες ανάγκες της

υποβρύχιας βιολογικής έρευνας όπου ο διαθέσιμος εξοπλισμός, ο χρόνος και τα σημεία αναφοράς είναι περιορισμένα, έγινε προσπάθεια ανάπτυξης νέων μεθόδων για την ταχεία και οικονομική χαρτογράφηση των σπηλαίων ώστε να προκύψει τρισδιάστατη απεικόνισή τους. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διερεύνησης παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3.

Β. Μελέτη της βιοποικιλότητας και των προτύπων χωρικής ετερογένειας των βιοκοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου

Σε μια περιοχή που δεν είχε μελετηθεί μέχρι σήμερα για τη σύνθεση και την κατανομή των κοινοτήτων των υποθαλασίων σπηλαίων της, επιλέχθηκαν δύο σπήλαια διαφορετικά μεταξύ τους και αντιπροσωπευτικά από άποψη μορφολογίας και βαθυμετρίας στα οποία διερευνήθηκε (α) η σύνθεση των βιοκοινοτήτων τους και (β) τα πρότυπα χωρικής ετερογένειας της βιοποικιλότητας σε σχέση με τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά τους.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διερεύνησης αποτελούν μέρος του Κεφαλαίου 4.

Γ. Διερεύνηση της χρήσης υποκαταστατών για τη μελέτη της βιοποικιλότητας των σπηλαίων

Η ανάγκη για ευκολότερη και μη καταστροφική μελέτη των υποθαλασίων σπηλαίων οδήγησε στη διερεύνηση της χρήσης υποκαταστατών (surrogates). Στο πλαίσιο αυτό, εξετάστηκε, για πρώτη φορά, ο δομικός και λειτουργικός ρόλος των σπόγγων, που αποτελούν τους κυρίαρχους ζωικούς οργανισμούς σε υποθαλάσσια σπήλαια και που έχει διαπιστωθεί ότι στηρίζουν πλούσιες κοινότητες σε άλλα παράκτια οικοσυστήματα, ως «μηχανικοί οικοσυστήματος». Συγκεκριμένα (α) έγινε σύγκριση όλων των βιοτικών παραμέτρων των σπόγγων με εκείνες του συνόλου της βιοκοινότητας, (β) διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της μορφολογικής τους ποικιλότητας ως υποκαταστάτη και (γ) διερευνήθηκε ο ρόλος των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος στα υπό μελέτη σπήλαια.

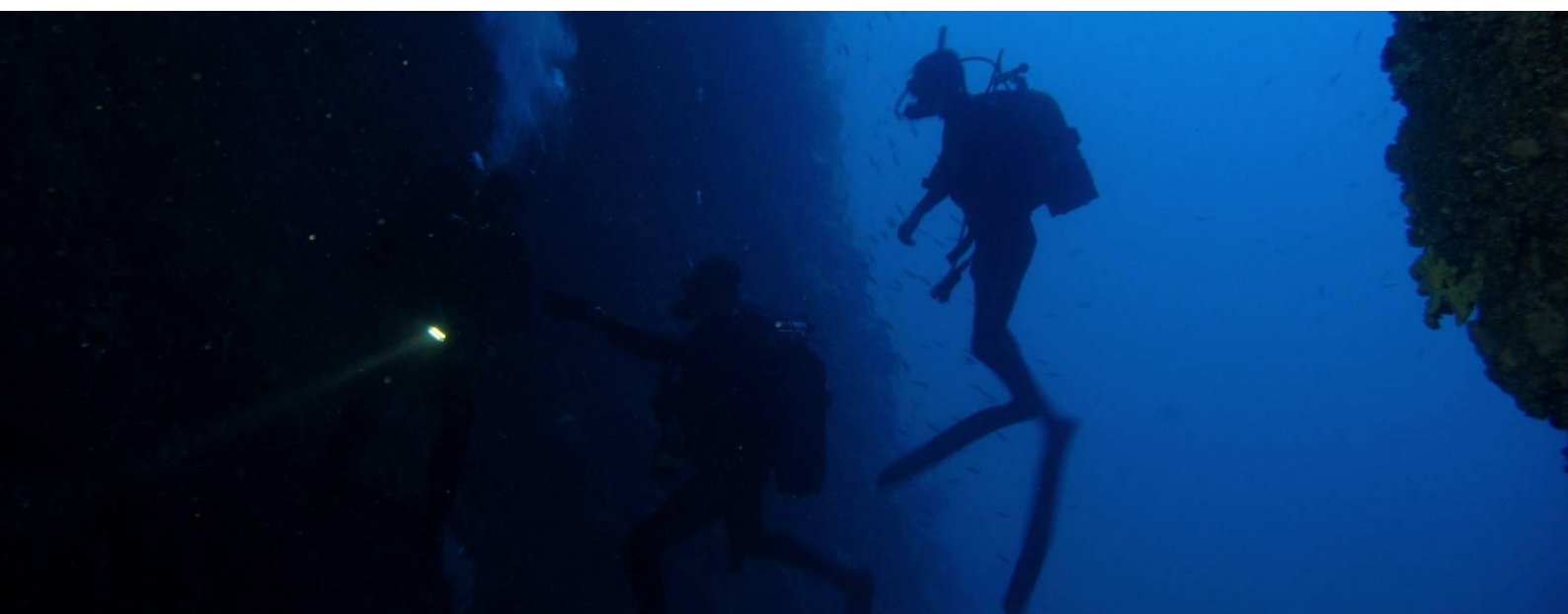
Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διερεύνησης αποτελούν μέρος του Κεφαλαίου 4.

Δ. Εκτίμηση της οικολογικής σημασίας των υποθαλασίων σπηλαίων για τη βιοποικιλότητα της Μεσογείου

Προκειμένου να αναδειχτεί η γενικότερη σημασία των υποθαλασίων σπηλαίων για το Μεσογειακό οικοσύστημα έγινε μια προσπάθεια αποτίμησης της βιοποικιλότητας που στηρίζουν. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη προσπάθεια συγκέντρωσης όλης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και αξιολόγηση της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε αυτήν. Συγκεκριμένα: (α) πραγματοποιήθηκε καταγραφή της γνωστής βιοποικιλότητας των υποθαλασίων σπηλαίων σε επίπεδο Μεσογείου με ιδιαίτερη έμφαση στην κυρίαρχη ομάδα των σπόγγων, (β) διερευνήθηκαν πιθανές διαφορές στα γεωγραφικά πρότυπα των κοινοτήτων που συγκροτούν στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου και (γ) εξετάστηκαν πιθανές επιπτώσεις από την παρουσία αλλόχθονων ειδών στα σπήλαια.

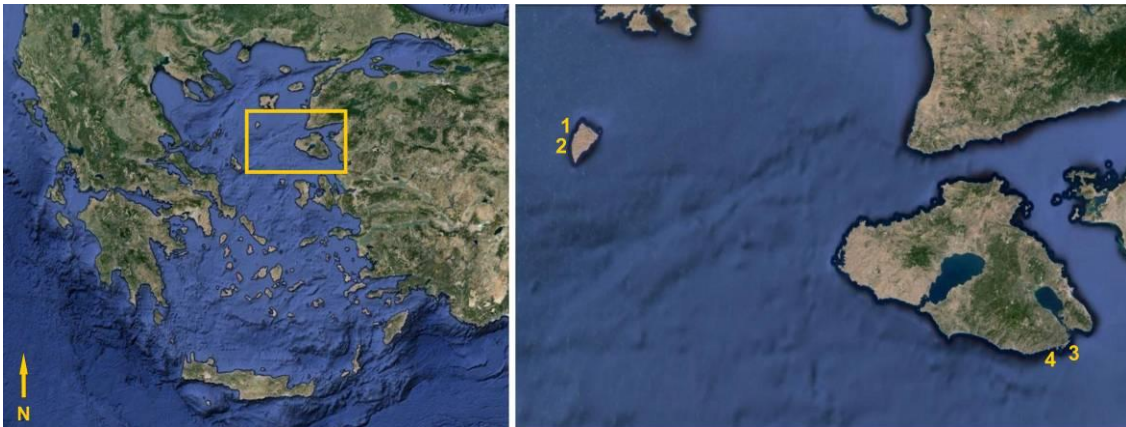
Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διερεύνησης παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

2. ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ



2.1. Περιοχή μελέτης - σπήλαια που ερευνήθηκαν

Στο πλαίσιο της συμβολής στη μελέτη της βιοποικιλότητας των υποθαλασσίων σπηλαίων της ανατολικής Μεσογείου, διερευνήθηκε ο βιόκοσμος τεσσάρων υποθαλάσσιων σπηλαίων του Βόρειου Αιγαίου. Τα δύο από αυτά βρίσκονται στον Άγιο Ευστράτιο, στο κεντρικό τμήμα του Βόρειου Αιγαίου, ενώ τα άλλα δύο σε βραχονησίδες των νοτιοανατολικών ακτών της Λέσβου (Εικόνα 2.1). Τα συγκεκριμένα σπήλαια επιλέχθηκαν επειδή έχουν διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και έτσι αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς μορφολογικούς τύπους, σύμφωνα με την κατάταξη του Riedl (1966). Επιπλέον, η περιμετρική θαλάσσια ζώνη του Αγίου Ευστρατίου, συμπεριλαμβανομένων των υπό μελέτη σπηλαίων, αποτελεί «Τόπο Κοινοτικής Σημασίας» (Site of Community Importance – SCI) με κωδικό GR4110001 σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/EEC. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα κύρια χαρακτηριστικά του κάθε σπηλαίου.



Εικόνα 2.1 Δορυφορικές εικόνες που απεικονίζουν την περιοχή μελέτης: (1) Τρύπια Σπηλιά· (2) Φτελιό· (3) Άγιος Βασίλειος και (4) Φαρά (πηγή: Google Earth).

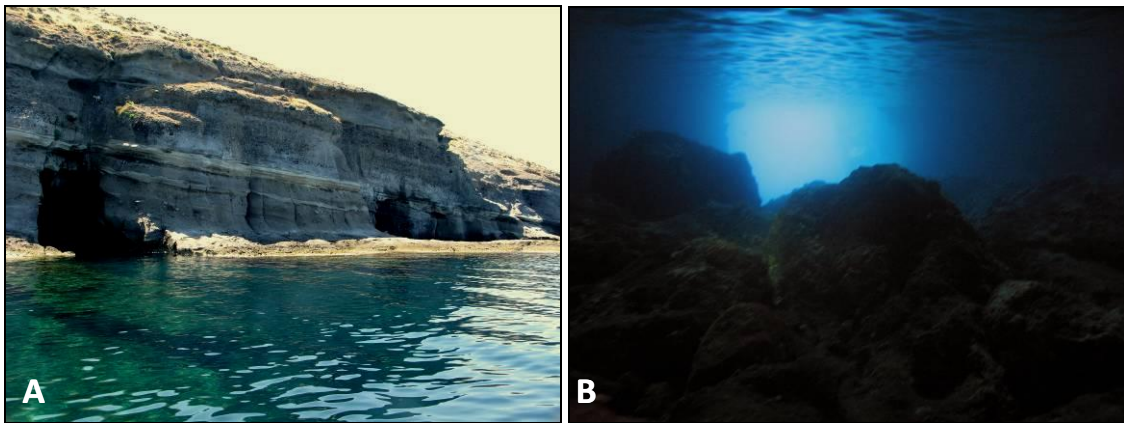
Figure 2.1 Satellite images of the study area: (1) Trypia Spilia; (2) Fteliio; (3) Agios Vasilios; and (4) Fara (source: Google Earth).

2.1.1. Ημιβυθισμένα σπήλαια Αγίου Ευστρατίου

Τα δύο ημιβυθισμένα υποθαλάσσια σπήλαια που μελετήθηκαν στις δυτικές ακτές του Αγίου Ευστρατίου ήταν η Τρύπια Σπηλιά ($39^{\circ} 32' 5,94''$ Β, $24^{\circ} 58' 39,72''$ Α) και ένα σπήλαιο στον Όρμο Φτελιό ($39^{\circ} 30' 13,74''$ Β, $24^{\circ} 58' 16,44''$ Α). Η Τρύπια Σπηλιά είναι μια μεγάλη ημιβυθισμένη σήραγγα, που βρίσκεται περίπου 0,5 km νότια του λιμανιού του Αγίου Ευστρατίου. Διαθέτει δύο μεγάλες εισόδους (Εικόνα 2.2Α) από τις οποίες ξεκινούν σήραγγες με διαφορετικό προσανατολισμό που ενώνονται σχηματίζοντας εσωτερικό θάλαμο μετά από περίπου 35 m η μία και 30 m η άλλη. Το βάθος στις δύο εισόδους είναι 3 και 5 m, ενώ στον εσωτερικό θάλαμο είναι 1-2 m. Το μεγαλύτερο τμήμα του πυθμένα καλύπτεται από βράχια που έχουν καταρρεύσει από την οροφή του σπηλαίου (Εικόνα 2.2Β) δημιουργώντας μικροενδιαπήματα για βενθικά ασπόνδυλα και ψάρια. Στα διάκενα των βράχων υπάρχει αμμώδες

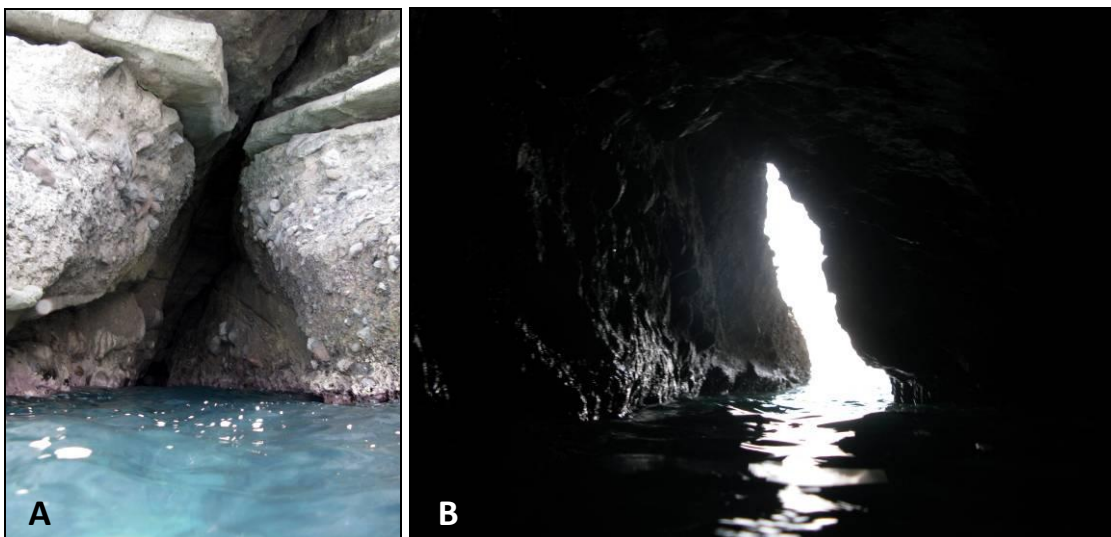
υπόστρωμα. Από το άκρο του εσωτερικού θαλάμου ξεκινούν δύο στενές επιμήκεις σήραγγες, εκ των οποίων η μία καταλήγει σε αμμώδη εσωτερική παραλία.

Το ημιβυθισμένο σπηλαίο στον Όρμο Φτελιό είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με την Τρύπια Σπηλιά καθώς έχει συνολικό μήκος περίπου 20 m. Η οροφή στο σημείο της εισόδου απέχει μόλις 50 cm από την επιφάνεια της θάλασσας δημιουργώντας σκοτεινές συνθήκες στο εσωτερικό (Εικόνα 2.3). Το βάθος στην είσοδο είναι 1,5 m και μειώνεται προς το εσωτερικό, όπου σχηματίζεται μικρή παραλία πλάτους 3 m και μήκους 10 m. Ο πυθμένας του σπηλαίου είναι αμμώδης. Οι τοίχοι του σπηλαίου έχουν αρνητική κλίση και έτσι κοντά στον πυθμένα παίρνουν τη μορφή υπόστεγου.



Εικόνα 2.2 (Α) Οι δύο εισοδοι της Τρύπιας Σπηλιάς στον Άγιο Ευστράτιο και (Β) άποψη της εισόδου και του βραχώδους πυθμένα από τον εσωτερικό θάλαμο του σπηλαίου.

Figure 2.2 (A) The two entrances of Trypia Spilia cave of Agios Efstratios Island and (B) aspect of the rocky seabed and entrance from the inner cave chamber.

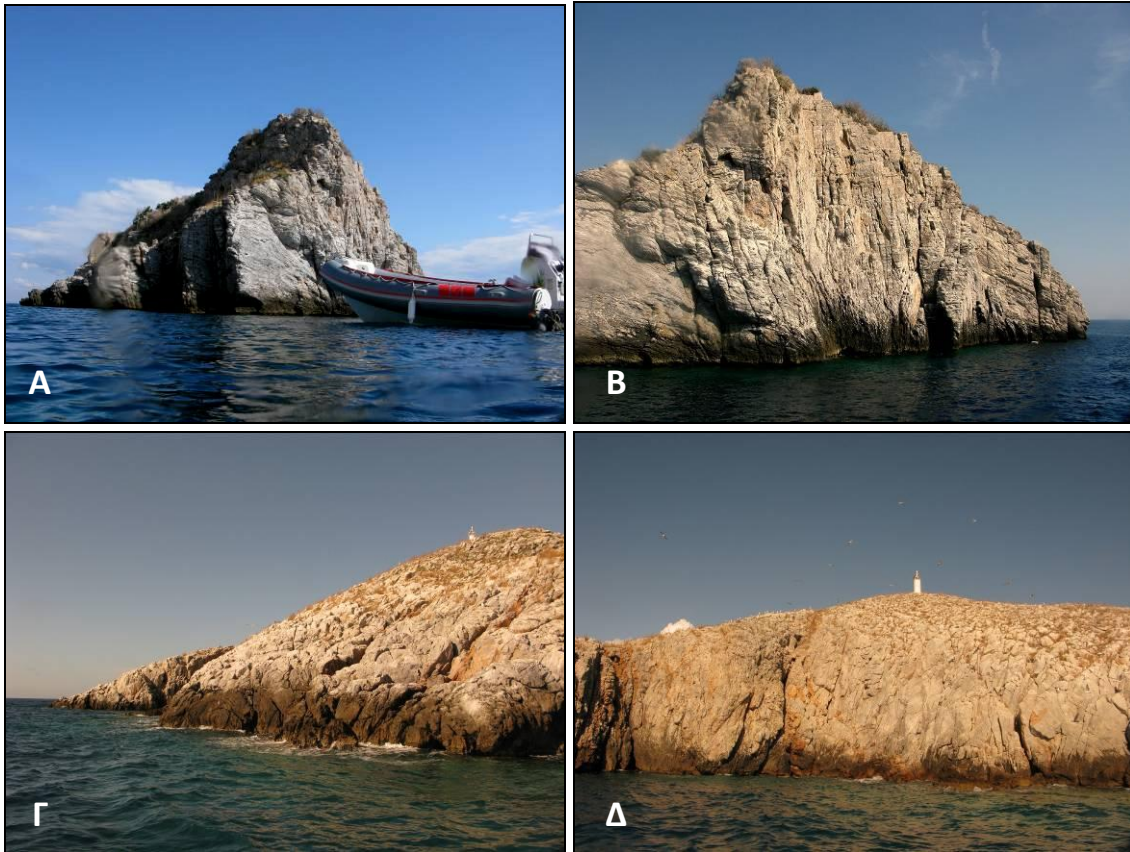


Εικόνα 2.3 Η είσοδος του ημιβυθισμένου σπηλαίου στον Όρμο Φτελιό του Αγίου Ευστρατίου, (Α) από έξω και (Β) από μέσα.

Figure 2.3 Entrance of the semi-submerged cave of Ftelio Bay in Agios Efstratios Island as seen from the external (A) and the internal (B) cave zone.

2.1.2. Υποθαλάσσια σπήλαια Λέσβου

Μελετήθηκαν δύο εξολοκλήρου βυθισμένα σπήλαια που βρίσκονται σε διαφορετικά βάθη. Το ένα βρίσκεται στη νησίδα (Εικόνα 2.4Α-Β) του Όρμου Φαρών ($38^{\circ} 58' 11,64''$ Β, $26^{\circ} 28' 39,54''$ Α) και το άλλο στη νησίδα Άγιος Βασίλειος ή Προφυλακή (Εικόνα 2.4Γ-Δ), ανοιχτά του στομίου του Κόλπου Γέρας ($38^{\circ} 58' 13,25''$ Β, $26^{\circ} 32' 30,46''$ Α).

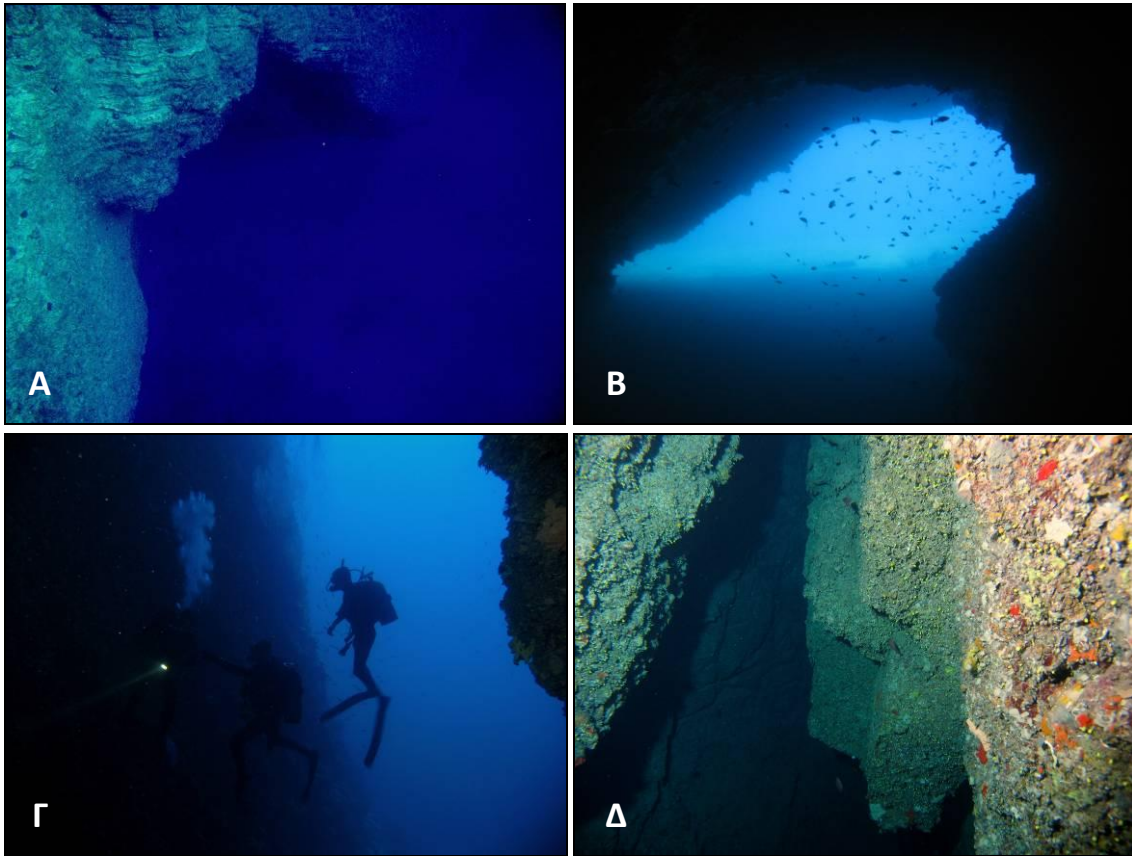


Εικόνα 2.4 Η νησίδες του Όρμου Φαρών (Α-Β) και του Αγίου Βασιλείου (Γ-Δ) στις οποίες βρίσκονται τα σπήλαια που μελετήθηκαν.

Figure 2.4 The islets of Fara Bay (Α-Β) and Agios Vasilios (Γ-Δ), where the studied caves are located.

Περιμετρικά της νησίδας του Όρμου Φαρών υπάρχουν λιβάδια *Posidonia oceanica* καθώς και εκτάσεις αμμόδους ιζήματος και βιογενών θρυμμάτων, ενώ το βάθος φτάνει τα 25-30 m. Η περιοχή είναι προφυλαγμένη από τους βόρειους ανέμους και τα μελτέμια και είναι εκτεθειμένη σε νότιους και ανατολικούς ανέμους. Η πρόσβαση είναι εφικτή μόνο με σκάφος. Το υποβρύχιο τμήμα της νησίδας χαρακτηρίζεται από έντονες διακλάσεις και ένα σύστημα σηράγγων που διατρύπα τον κεντρικό του άξονα. Στην πραγματικότητα πρόκειται για δύο υποθαλάσσια σπήλαια, στη δυτική και ανατολική πλευρά της νησίδας αντίστοιχα, που συνδέονται με μια στενή σήραγγα στο εσωτερικό τους. Η δυτική είσοδος έχει ύψος 7 m και πλάτος 10 m (Εικόνα 2.5Α-Β). Το βάθος του πυθμένα στην είσοδο είναι 18 m. Το συνολικό μήκος της σήραγγας είναι 32 m. Από τον τοίχο που βρίσκεται στο βαθύτερο τμήμα του σπηλαίου, στα 32 m από την είσοδο, ξεκινούν τρεις στενές σήραγγες, εκ των οποίων η

κεντρική συνδέεται με το σπήλαιο στην άλλη πλευρά της νησίδας. Η ανατολική είσοδος έχει ύψος 5 m και πλάτος 2,5 m και βρίσκεται σε βάθος 22 m, ενώ το συνολικό μήκος της σήραγγας είναι 16 m. Ο πυθμένας και στα δύο σπήλαια καλύπτεται από κινητό υπόστρωμα.



Εικόνα 2.5 Άποψη της εισόδου του σπηλαίου των Φαρών (Α-Β), της εισόδου (Γ) και του εσωτερικού (Δ) του σπηλαίου Αγίου Βασιλείου.

Figure 2.5 The entrance of Fara cave (A-B); the entrance (Γ) and inner zone of (Δ) of Agios Vasilios cave.

Περιμετρικά της νησίδας του Αγίου Βασιλείου υπάρχουν κατακόρυφοι τοίχοι και επίπεδες εκτάσεις του πυθμένα που καλύπτονται από λιβάδια *P. oceanica* όπου το βάθος ξεπερνά τα 30 m. Η κλίση των τοίχων στην ανατολική και βόρεια πλευρά της νησίδας είναι σχεδόν κάθετη και το βάθος ξεπερνά τα 40 m. Στην ανατολική πλευρά της νησίδας υπάρχει ένα μεγάλο υποθαλάσσιο σπήλαιο. Το πλάτος της εισόδου φτάνει τα 7 m και το ύψος τα 16 m (οροφή στα 24 m και πυθμένας στα 40 m). Παρά το γεγονός ότι το σπήλαιο είναι γενικά αρκετά βαθύ και πλατύ, προς το εσωτερικό στενεύει και σε απόσταση 25 m από την είσοδο αποκτά τη μορφή χοάνης που εισχωρεί βαθιά στο νησί και ανέρχεται έως το βάθος των 15 m. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης διερευνήθηκε η ζώνη που εκτείνεται μέχρι τα 22 m από την είσοδο. Ο πυθμένας του σπηλαίου καλύπτεται από ίζημα μέχρι τα 15 m από την είσοδο και στη συνέχεια επικρατεί το βραχώδες υπόστρωμα.

2.2. Δειγματοληψίες

Οι έρευνες πεδίου στα υπό μελέτη σπήλαια έγιναν με αυτόνομη κατάδυση (SCUBA). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 54 καταδύσεις σε τρεις χρονικές φάσεις:

Α' φάση (8-10/2009)

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 30 καταδύσεις για τη διερεύνηση, φωτογραφική αποτύπωση, χαρτογράφηση και προκαταρκτική δειγματοληψία βιολογικού υλικού και στα 4 σπήλαια.

Β' φάση (6-7/2010)

Έγιναν 20 καταδύσεις στα σπήλαια της Λέσβου για τη δειγματοληψία βιολογικού υλικού.

Γ' φάση (7/2011)

Έγιναν 4 καταδύσεις στα σπήλαια του Αγίου Ευστρατίου για τη χαρτογράφηση και τη λήψη συμπληρωματικών βιολογικών δειγμάτων.

2.3. Χαρτογράφηση σπηλαίων

Για τις ανάγκες της χαρτογράφησης των υπό μελέτη σπηλαίων¹⁹ αναπτύχθηκε ειδική μέθοδος. Τα βασικά στάδια της διαδικασίας στο πεδίο ήταν: (α) αναγνωριστική κατάδυση για εκτίμηση της πολυπλοκότητας της τοπογραφίας του σπηλαίου, (β) εγκατάσταση τεντωμένου νήματος από την είσοδο μέχρι το εσωτερικό άκρο του σπηλαίου, (γ) πραγματοποίηση ακτινικών μετρήσεων κατά μήκος του νήματος (ακολουθώντας την κλίση αυτού), σε διαφορετικές αποστάσεις, βάσει της επιθυμητής χωρικής ανάλυσης και (δ) καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων της εισόδου του σπηλαίου στην επιφάνεια μετά την κατάδυση. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί από 2 αυτοδύτες μέσα σε 1-2 στοχευμένες καταδύσεις ενώ απαιτεί, πέρα από καταδυτικό εξοπλισμό, βαθμονομημένο μίτο, οικονομικό φορητό ηχοβολιστικό ή τηλεμέτρο (για ημιβυθισμένα σπήλαια).

Η μεθοδολογία της χαρτογράφησης περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

2.4. Ποιοτική καταγραφή χλωρίδας και πανίδας

Δειγματοληψία και ταξινομικός προσδιορισμός δειγμάτων

Κατά τη διάρκεια των αυτόνομων καταδύσεων πραγματοποιήθηκε ποιοτική οπτική απογραφή (visual census) και φωτογράφιση των μεγαπανιδικών ειδών με δυνατότητα μετακίνησης (π.χ. καρκινοειδή, εχινόδερμα, ψάρια)²⁰ στα υπό μελέτη σπήλαια (Εικόνες Δ5-7 του Παραρτήματος Δ). Η καταγραφή των δεδομένων έγινε σε ειδικές πινακίδες (dive slates). Παράλληλα, έγινε

¹⁹ Η μέθοδος εφαρμόστηκε για τη χαρτογράφηση των σπηλαίων Φτελιό, Φαρά και Άγιος Βασίλειος, τα οποία διαθέτουν απλό σχήμα, χωρίς διακλαδώσεις. Η σύνθετη μορφολογία της Τρύπιας Σπηλιάς δεν επέτρεψε την ακριβή απεικόνιση της μορφής του σπηλαίου με τη συγκεκριμένη μέθοδο (βλέπε Κεφάλαιο 3 για περιορισμούς της μεθόδου).

²⁰ Τα μεγαπανιδικά είδη που καταγράφηκαν με οπτική απογραφή έχουν συμπεριληφθεί στον Πίνακα Α1 του Παραρτήματος Α.

δειγματοληψία χλωρίδας και εδραίας βενθικής πανίδας από διαφορετικά τμήματα των υπό μελέτη σπηλαίων. Κάθε δείγμα αριθμήθηκε και φωτογραφήθηκε *in situ* (Εικόνα 2.6). Για τη φωτογράφιση χρησιμοποιήθηκε μηχανή Canon G9 τοποθετημένη σε θήκη στεγανοποίησης IKELITE Digital Housing με εξωτερικό flash (INON Z-240).

Συνολικά συλλέχθηκαν περίπου 140 δείγματα σπόγγων και μικρός αριθμός δειγμάτων των κύριων εκπροσώπων άλλων ομάδων (π.χ. μακροφύκη, ανθόζωα, μαλάκια, πολύχαιτοι, καρκινοειδή και βρυόζωα). Η συντήρηση των δειγμάτων έγινε σε διάλυμα φορμαλδεΐδης 7-10% ή σε διάλυμα αιθανόλης 95%.

Ο ταξινομικός προσδιορισμός των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια εξειδικευμένων κλειδών προσδιορισμού και επιστημονικής βιβλιογραφίας (π.χ. Σπόγγοι: Vacelet 1959, Pulitzer-Finali 1983, Uriz 1986, Hooper & Van Soest 2002, Rosell & Uriz 2002· Ανθόζωα: Zibrowius 1980· Βρυόζωα: Zabala & Maluquer 1988).



Εικόνα 2.6 (Α) Ποιοτική δειγματοληψία σπόγγων. Κάθε δείγμα αριθμήθηκε και φωτογραφήθηκε *in situ* (Β-Δ). Στις φωτογραφίες απεικονίζονται τα είδη *Plakina bowerbanki* (Γ) και *Myrmekioderma spelaeum* (Δ).

Figure 2.6 (A) Qualitative sponge sampling. Each sample was numbered and photographed *in situ* (B-D). Figures (Γ) and (Δ) depict the species *Plakina bowerbanki* and *Myrmekioderma spelaeum* respectively.

Για τον προσδιορισμό των δειγμάτων σπόγγων και σκληρακτινίων πραγματοποιήθηκε κατάλληλη προεργασία. Για τους σπόγγους έγινε προετοιμασία μόνιμων μικροσκοπικών παρασκευασμάτων ιστολογικών τομών και σκελετικών στοιχείων (σκληριτών) με το πρωτόκολλο που προτείνεται από τον Hooper (2000). Στην περίπτωση των σκληρακτινίων, για τον καθαρισμό των ασβεστολιθικών σκελετικών κατασκευών (κάλυκες) από τους ιστούς, χρησιμοποιήθηκε NaClO. Ο προσδιορισμός των ειδών βασίστηκε σε εσωτερικά και εξωτερικά μορφολογικά γνωρίσματα.

Στόχος της συγκεκριμένης δειγματοληψίας ήταν η καταγραφή της βιοποικιλότητας στα 4 υπό μελέτη σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου. Τα δείγματα και οι φωτογραφίες χλωρίδας και εδραίας βενθικής πανίδας από τα σπήλαια των Φαρών και Αγίου Βασιλείου χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τον ταξινομικό προσδιορισμό των ειδών που υπήρχαν στα φωτογραφικά πλαίσια που πάρθηκαν για την ποσοτική μελέτη των βενθικών κοινοτήτων (βλέπε ενότητα 2.5 και Κεφάλαιο 4). Τα δεδομένα παρουσίας ειδών που προέκυψαν από τη δειγματοληψία ενσωματώθηκαν στη βάση δεδομένων της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5.

2.5. Ποσοτική μελέτη οικολογικής διαβάθμισης βενθικών κοινοτήτων

Για την ποσοτική μελέτη των προτύπων οικολογικής διαβάθμισης των βενθικών κοινοτήτων στα δύο σπήλαια της Λέσβου, χρησιμοποιήθηκε φωτογραφική, μη καταστρεπτική μέθοδος. Συγκεκριμένα λήφθηκαν από 3 φωτογραφικά πλαίσια διαστάσεων 25 x 25 cm, ανά 5 m, κατά μήκος 3 οριζόντιων διατομών, που εκτείνονταν από την είσοδο μέχρι το σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων (στην οροφή και στους δύο κάθετους τοίχους). Συνολικά φωτογραφήθηκαν 117 πλαίσια.

Αναλυτική περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, του δειγματοληπτικού σχεδίου, της μεθόδου ανάλυσης και αποτελέσματα σχετικά με (α) τη σύνθεση των βιοκοινοτήτων, (β) τα πρότυπα χωρικής ετερογένειας της βενθικής βιοποικιλότητάς και (γ) τη δυνατότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών για τη μελέτη της χωρικής ετερογένειας της βιοποικιλότητας στα υπό μελέτη σπήλαια, δίνονται στο Κεφάλαιο 4.

2.6. Διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος

Για τη διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος στα υπό μελέτη σπήλαια συλλέχθηκαν 15 δείγματα των ειδών *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* από 3 διαφορετικές θέσεις των σπηλαίων της Λέσβου. Τα δείγματα φωτογραφήθηκαν, στη συνέχεια αποσπάστηκαν με μαχαίρι και τοποθετήθηκαν σε ειδικούς σάκους από δίχτυ (άνοιγμα ματιού 0,5 mm). Η συντήρησή τους έγινε σε διάλυμα φορμαλδεΐδης 10%.

Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου, του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε και του δειγματοληπτικού σχεδίου δίνεται στο Κεφάλαιο 4 (υπο-ενότητα 4.2.2).

3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΦΗΛΑΙΩΝ



3.1. Εισαγωγή

Τα τοπογραφικά και φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου πυθμένα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη χωρική σύνθεση των κοινοτήτων. Η ανάπτυξη συγκεκριμένων ειδών, φάσεων και μορφολογικών τύπων επηρεάζεται από το βάθος (Garrabou *et al.* 2002), τον προσανατολισμό (Dellow & Cassie 1955), την κλίση (Bell & Barnes 2000a-b, Virgilio *et al.* 2006) και την τοπογραφική πολυπλοκότητα του υποστρώματος (Bell & Smith 2004), που μπορούν με τη σειρά τους να τροποποιήσουν το φωτισμό, τη ροή των ρευμάτων και το βαθμό ιζηματοπόθεσης σε μια περιοχή. Στα υποθαλάσσια σπήλαια, η μεταβλητότητα της τοπογραφίας σε μικρή κλίμακα προκαλεί έντονη διαβάθμιση των περιβαλλοντικών παραμέτρων, συμβάλλοντας στη δημιουργία χωρικής ετερογένειας στις βενθικών κοινότητες (Sarà 1962b, Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b).

Για τους παραπάνω λόγους, δεν είναι παράξενο το γεγονός ότι κάθε προσπάθεια μελέτης των βενθικών κοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια περιλαμβάνει και μια συνιστώσα που αφορά στην αναπαράσταση του σπηλαίου, ώστε να γίνεται περισσότερο κατανοητή η διαβάθμιση των βιοτικών και αβιοτικών του χαρακτηριστικών. Οι συνηθισμένες μέθοδοι χαρτογράφησης σπηλαίων περιλαμβάνουν τη μέτρηση της κλίσης, του προσανατολισμού και του μήκους των σηράγγων, σε συνδυασμό με πληροφορίες απόστασης ως προς τα τοιχώματα του σπηλαίου (Worthington 1987). Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά συνδυάζονται για τη χειροκίνητη σχεδίαση των δισδιάστατων διατομών του σπηλαίου (Proctor & Smart 1989). Με βάση τις διαφορετικές μεθοδολογίες έρευνας και το διαθέσιμο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση χερσαίων σπηλαίων και υπόγειων καναλιών (π.χ. Sellers & Chamberlain 1998, Poole *et al.* 2011), έχουν αναπτυχθεί αρκετά λογισμικά για την παραγωγή τρισδιάστατων (3D) αναπαραστάσεων των σπηλαίων (βλέπε Boggus & Crawfis 2009 για αναλυτική λίστα των υπαρχόντων λογισμικών).

Ωστόσο κανένα από τα παραπάνω εργαλεία δεν έχει προσαρμοστεί κατάλληλα για τις ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας όπου ο διαθέσιμος εξοπλισμός, ο χρόνος, τα σημεία αναφοράς και η ανάλυση των δεδομένων είναι ιδιαίτερα περιορισμένα. Οι στόχοι και η δειγματοληπτική κλίμακα στη βιολογική έρευνα των υποθαλάσσιων σπηλαίων διαφέρουν σημαντικά από ότι στα χερσαία σπήλαια. Επιπρόσθετα, οι ερευνητές συχνά δεν είναι σε θέση να εξασφαλίσουν το χρόνο και το απαιτούμενο κόστος για υποβρύχια χαρτογράφηση μεγάλης κλίμακας (Am Ende 2001) ή για χρήση υποβρύχιων τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων (π.χ. Fairfield *et al.* 2007). Η *in situ* βιολογική έρευνα σε υποθαλάσσια σπήλαια είναι πολύ απαιτητική και συνήθως, για τις ανάγκες της χαρτογράφησης, οι επιστήμονες σχεδιάζουν δισδιάστατες διατομές των σπηλαίων με το χέρι (π.χ. Onorato *et al.* 1999, Cicogna *et al.* 2003, Bussotti *et al.* 2006) και σπάνια απεικονίζουν τα σπήλαια σε τρισδιάστατη οπτική (Gili *et al.* 1982). Όπως έχουν δείξει προηγούμενες μελέτες, οι ερευνητές μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από απλές, οικονομικές και πρακτικές λύσεις για την εξερεύνηση και την ταχεία ψηφιακή αναπαράσταση κοιλοτήτων σε κοραλλιογενείς ύφαλους (Wunsch & Richter 1998, Scheffers *et al.* 2003).

Όπως τονίστηκε στην Εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), ένας από τους στόχους της παρούσας μελέτης ήταν η ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων χαρτογράφησης των υποθαλάσσιων σπηλαίων, ώστε να είναι δυνατή η τρισδιάστατη απεικόνιση των προτύπων χωρικής κατανομής των βενθικών

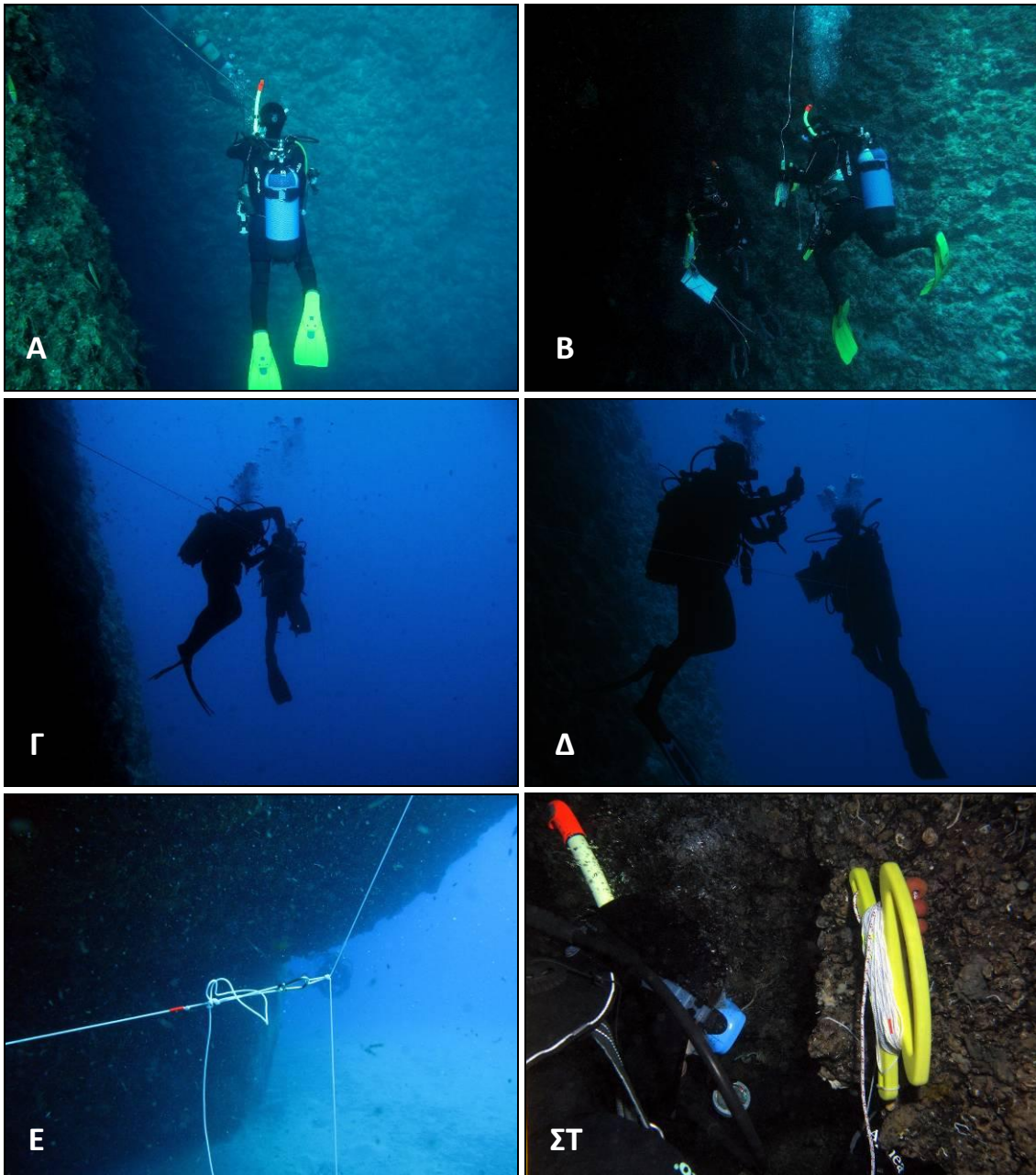
κοινοτήτων και η διερεύνηση της επίδρασης της τοπογραφίας σε αυτά. Για τις παραπάνω ανάγκες, αναπτύχθηκε μια ταχεία και οικονομική μέθοδος για τη χαρτογράφηση και τρισδιάστατη απεικόνιση σπηλαίων που διαθέτουν απλό σχήμα· δηλαδή σπηλαίων που δεν έχουν διακλαδώσεις και των οποίων η σήραγγα θα μπορούσε να περιγραφεί ως μια σειρά διαδοχικών διατομών. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε εντελώς βυθισμένα όσο και σε ημιβυθισμένα σπήλαια, δεν επιφέρει περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μπορεί να επιτευχθεί από 2 αυτοδύτες μέσα σε 1-2 στοχευμένες καταδύσεις. Από πλευράς εξοπλισμού, απαιτεί απλό καταδυτικό μίτο, οικονομικό φορητό ηχοβολιστικό και κλασσικό καταδυτικό εξοπλισμό. Το αποτέλεσμα είναι μια ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση του υπό μελέτη σπηλαίου σε κλίμακα, με δυνατότητα προβολής τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο ή σε πλάγια τομή. Επιπλέον, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του εμβαδού των διατομών του σπηλαίου.

3.2. Υλικά και μέθοδοι

3.2.1. Υπόβαθρο

Λαμβάνοντας υπόψη τους χρονικούς περιορισμούς και τις δυσκολίες που ενέχει η υποβρύχια έρευνα, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε απαιτεί τα ελάχιστα τοπογραφικά δεδομένα ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα και η πολυπλοκότητα της πληροφορίας που καταγράφουν οι αυτοδύτες. Έτσι, τα σημεία αναφοράς σε σχέση με τα οποία γίνονται οι μετρήσεις πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο εύκολα αντιληπτά. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς οι αυτοδύτες θα πρέπει ταυτόχρονα να συλλέγουν δεδομένα σε διαφορετικά συστήματα αναφοράς: ένα καρτεσιανό σύστημα που περιγράφει την κατεύθυνση και κλίση των διαδοχικών διατομών (καθώς και τη στιγμιαία θέση του αυτοδύτη εντός αυτών) και ένα πολικό σύστημα αναφοράς, με τον αυτοδύτη στο κέντρο, το οποίο εξυπηρετεί τη μέτρηση ακτινικών αποστάσεων προς τα τοιχώματα του σπηλαίου, σε διαφορετικά σημεία κατά μήκος της υποβρύχιας διαδρομής. Υποθέτοντας ότι τα σπήλαια έχουν κάποια κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, προκύπτει ένα σύστημα με 6 βαθμούς ελευθερίας το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη από τον αυτοδύτη σε περιορισμένο χρόνο και συνθήκες ορατότητας. Η προτεινόμενη μέθοδος σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να απαιτεί ελάχιστες μετρήσεις που να μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα από τον αυτοδύτη ενώ το περίπλοκο μέρος της διαδικασίας, δηλαδή η απεικόνιση των σπηλαίων, γίνεται αυτόματα από το νέο λογισμικό *cavetoro*²¹ στα επόμενα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων. Η μέθοδος στηρίζεται στην υποβρύχια εγκατάσταση ενός συστήματος αναφοράς που αποτελείται από ένα βαθμονομημένο νήμα με διακριτή σήμανση της απόστασης, που τοποθετείται τεντωμένο από την είσοδο προς το εσωτερικό του σπηλαίου (Εικόνα 3.1).

²¹ Το λογισμικό *cavetoro* σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στην πλατφόρμα MATLAB από τον Βασίλη Τρυγόνη (μεταδιδακτορικός ερευνητής του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας Πανεπιστημίου Αιγαίου) στο πλαίσιο επιστημονικής συνεργασίας και είναι διαθέσιμο στο ηλεκτρονικό παράρτημα της δημοσίευσης Gerovasileiou *et al.* (2013) (www.int-res.com/articles/suppl/m486p013_supp/).



Εικόνα 3.1 Διαδικασία ή εγκατάστασης του κύριου συστήματος συντεταγμένων στην είσοδο του σπηλαίου (Α-Ε). Διακρίνονται δύο νήματα: το νήμα αναφοράς που διατρέχει το σπήλαιο και ένα κάθετο νήμα από την επιφάνεια της θάλασσας (πλωτήρας) μέχρι τον πυθμένα της εισόδου, το οποίο χρησιμοποιείται για την πρόσδεση του σημείου εκκίνησης του νήματος αναφοράς. Το άλλο άκρο του νήματος προσδένεται στο εσωτερικό άκρο του σπηλαίου (ΣΤ). Στη φωτογραφία Δ, ο δύτης που βρίσκεται σε πρώτο πλάνο μετρά την απόσταση από την αρχή του οριζώντιου σκοινιού (απόσταση στο σκοινί = 0 m) προς την οροφή του σπηλαίου (γωνία = 0°) με φορητό ηχοβολιστικό. Ο δύτης στο βάθος σημειώνει τη μέτρηση του ηχοβολιστικού σε καταδυτική πινακίδα.

Figure 3.1 Set up of the main coordinate system at the cave entrance (A-E). Two ropes are visible: the reference rope that runs across the cave and a secondary vertical line that spans from the sea surface to the entrance's floor, used only to provide a mounting basis. In image Δ, the diver on the left is acquiring a radial measurement at 0 m (distance on rope) and 90° angle (left) using the handheld echosounder. In image ΣΤ, the diver secures the end of the reference rope on the inner cave edge.

Εάν η τοπογραφία και το μήκος του σπηλαίου δεν επιτρέπουν τη χρήση ενός μόνο νήματος, τότε η διαδικασία γίνεται σταδιακά: μετά τη χαρτογράφηση του πρώτου τμήματος του σπηλαίου, τοποθετείται δεύτερο νήμα με σημείο πρόσδεσης το τέλος του πρώτου νήματος. Ο αυτοδύτης, καθώς κολυμπά δίπλα από το νήμα, πραγματοποιεί ακτινικές μετρήσεις της απόστασής του από τα τοιχώματα του σπηλαίου με ένα φορητό ηχοβολιστικό, σε διαφορετικές γωνίες που μπορούν να καθοριστούν εμπειρικά (π.χ. επάνω, αριστερά, κάτω, δεξιά, που αντιστοιχούν σε 0°, 90°, 180° και 270°).

3.2.2. Εξοπλισμός χαρτογράφησης

Για τη χαρτογράφηση των σπηλαίων, πέρα από τη χρήση κλασσικού καταδυτικού εξοπλισμού, όπως καταδυτικού υπολογιστή και μαγνητικής πυξίδας, χρησιμοποιήθηκε (α) βαθμονομημένο νήμα (μίτος) ουδέτερης πλευστότητας με διακριτή σήμανση κάθε 1 m, (β) ηχοβολιστικό χειρός Hondex PS-7 200 kHz, (γ) εφεδρική μετροταινία και (δ) καταδυτικές πινακίδες (dive slates). Για τα ημβυθισμένα σπήλαια χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον πλωτήρες και τηλέμετρο. Μετά από κάθε κατάδυση, στην επιφάνεια, καταγράφηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής εισόδου των σπηλαίων με συσκευή GPS.

3.2.3. Περιγραφή διαδικασίας

Η μέθοδος χαρτογράφησης εφαρμόστηκε στο πεδίο σε 3 υποθαλάσσια σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου. Η τρισδιάστατη απεικόνιση των σπηλαίων Φτελιό, Φαρά και Άγιος Βασίλειος²² παρουσιάζεται στα Αποτελέσματα (3.3). Λόγω της μορφολογίας των συγκεκριμένων σπηλαίων, χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα νήμα σε κάθε ένα από αυτά. Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται βήμα προς βήμα η εφαρμογή της μεθόδου, βασισμένη σε δεδομένα προσομοίωσης ενός ιδεατού σπηλαίου, με στόχο την παρουσίαση όλων των απαιτήσεων και δυνατοτήτων της μεθόδου, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που δεν χρησιμοποιήθηκαν σε συνθήκες πεδίου.

Το σενάριο προσομοίωσης περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση εντελώς βυθισμένου σπηλαίου μήκους 30 m, με μία είσοδο, που αποτελείται από 2 τμήματα με διαφορετικό προσανατολισμό. Η χαρτογράφηση πραγματοποιείται από 2 αυτοδύτες εντός 2 καταδύσεων. Το δειγματοληπτικό σχέδιο απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2Α και στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται τα δεδομένα των τοπογραφικών μετρήσεων, ακριβώς όπως απαιτεί το λογισμικό cavetoro. Αναλυτική περιγραφή των όρων και μονάδων μέτρησης των δεδομένων δίνονται στον Πίνακα 3.2. Η πρώτη κατάδυση είναι επί της ουσίας αναγνωριστική. Δεδομένου ότι στο σπήλαιο δεν γίνεται να εγκατασταθεί ένα μόνο τεντωμένο νήμα από την είσοδο μέχρι το εσωτερικό του άκρο, εξαιτίας της αλλαγής του προσανατολισμού της σήραγγας, η χαρτογράφηση γίνεται με χρήση 2 νημάτων (Εικόνα 3.2). Ένα ενδιάμεσο σημείο κατά μήκος του σπηλαίου επιλέγεται ως ο διαχωριστικός κόμβος ανάμεσα στα 2 νήματα, σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια: (α) από το σημείο αυτό φαίνονται σε ευθεία γραμμή και τα 2 άκρα του σπηλαίου, (β) είναι κατάλληλο

²² Η σύνθετη μορφολογία της Τρύπιας Σπηλιάς δεν επέτρεψε την ακριβή απεικόνιση της μορφής του σπηλαίου με τη συγκεκριμένη μέθοδο.

για πρόσδεση του νήματος στα τοιχώματα του σπηλαίου και (γ) η επιλογή της θέσης του σημείου γίνεται με τρόπο ώστε να μην αλληλεπικαλύπτονται οι τοπογραφικές μετρήσεις. Επίσης, στην πρώτη κατάδυση γίνεται εκτίμηση της πολυπλοκότητας της δομής του σπηλαίου, ώστε να εντοπιστούν πιθανά σημεία απότομων μεταβολών όπου απαιτείται μεγαλύτερη ανάλυση, άρα και αριθμός μετρήσεων/διατομών.

Στη δεύτερη κατάδυση η χαρτογράφηση ξεκινά από την είσοδο, όπου πρέπει να τοποθετηθεί το μηδενικό σημείο αναφοράς. Έτσι, κατά τη διάρκεια της κατάδυσης εγκαθίσταται ένα νήμα, από την επιφάνεια (πλωτήρας) έως τον πυθμένα της εισόδου του σπηλαίου (βαρίδι), το οποίο θα αποτελέσει σημείο πρόσδεσης για το αρχικό νήμα αναφοράς (Εικόνα 3.1). Εναλλακτικά, το νήμα πρόσδεσης θα μπορούσε να τοποθετηθεί τεντωμένο σε δύο αντιδιαμετρικά σημεία της εισόδου του σπηλαίου. Ο ένας αυτοδύτης ασφαλίζει το ένα άκρο του νήματος στο σημείο πρόσδεσης και ο άλλος κολυμπά προς το εσωτερικό του σπηλαίου και δένει το άλλο άκρο στο προκαθορισμένο ενδιάμεσο κόμβο, έτσι ώστε το νήμα να παραμένει τεντωμένο.

Μετά την εγκατάσταση του αρχικού νήματος αναφοράς (Rope ID: 1, Parent ID: 0) χρειάζονται μόνο 4 μετρήσεις για τον καθορισμό της θέσης του νήματος στον τρισδιάστατο χώρο (Πίνακας 3.1): ο ένας δύτης καταγράφει το βάθος στο σημείο εκκίνησης (-5 m) και τον προσανατολισμό από το μαγνητικό βορά (10°), ενώ ο άλλος καταγράφει το βάθος στο τέλος του νήματος (-15 m) και το συνολικό του μήκος (20 m). Το μήκος μπορεί να υπολογιστεί εύκολα καθότι το νήμα είναι βαθμονομημένο με διακριτές σημάσεις κάθε 1 m. Εφόσον έχει εγκατασταθεί στο χώρο το σύστημα συντεταγμένων, οι δύτες συναντώνται στην είσοδο και αρχίζουν την καταγραφή των ακτινικών μετρήσεων. Αυτές πραγματοποιούνται καθώς ο δύτης κολυμπά κατά μήκος του νήματος (ακολουθώντας την κλίση αυτού), σε διαφορετικές αποστάσεις, βάσει της επιθυμητής χωρικής ανάλυσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 6 διατομές κατά μήκος του πρώτου νήματος (Εικόνα 3.2A), τοποθετημένες κάθε 1-5 m. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η τελευταία διατομή βρισκόταν 1 m πριν το τέλος του νήματος (Distance on rope = 19 m, Πίνακας 3.1), ώστε να αποφευχθεί η αλληλοεπικάλυψη των μετρήσεων με αυτές της πρώτης διατομής του επόμενου «θυγατρικού» νήματος. Όλες οι ακτινικές μετρήσεις γίνονται σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια της θάλασσας, άσχετα από την κλίση του νήματος ή του σπηλαίου (Εικόνα 3.2A, κάτοψη). Η μέτρηση με το φορητό ηχοβολιστικό θα πρέπει να γίνεται κάθετα προς τα τοιχώματα για κάθε γωνία. Μπορούν να μετρηθούν αποστάσεις μέχρι και για 8 διαφορετικές γωνίες που είναι δυνατό να εκτιμηθούν εύκολα από τον αυτοδύτη (Πίνακας 3.2). Μπορεί να επιλεγεί οποιοσδήποτε συνδυασμός γωνιών, ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση για κάθε διατομή, όπως φαίνεται στον Πίνακας 3.1. Έτσι, για κάθε διατομή απαιτούνται μόνο οι τιμές των ακτινικών μετρήσεων προς τα τοιχώματα του σπηλαίου και η απόσταση από το σημείο εκκίνησης του νήματος.

Μετά τη χαρτογράφηση του πρώτου τμήματος του σπηλαίου, ένα «θυγατρικό» νήμα (Rope ID: 2, Parent ID: 1) τοποθετείται στο δεύτερο τμήμα του σπηλαίου (Εικόνα 3.2) με τρόπο ώστε το σημείο εκκίνησης του να συμπίπτει με το τέλος του αρχικού νήματος. Αυτή η ιεραρχία των νημάτων ελαχιστοποιεί τον αριθμό των απαιτούμενων μετρήσεων για τον καθορισμό της θέσης του νέου νήματος στον τρισδιάστατο χώρο, χρησιμοποιώντας την είσοδο του σπηλαίου ως σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις στις νέες διατομές. Ωστόσο, για κάθε «θυγατρικό» νήμα θα πρέπει να μετρηθεί ο νέος προσανατολισμός (20°), το βάθος στο τέλος του νήματος (-10 m) και το μήκος του (14 m, Πίνακας 3.1). Το βάθος της αρχής του νήματος υπολογίζεται

αυτόματα από το λογισμικό βάσει των δεδομένων που καταγράφηκαν για το προηγούμενο νήμα. Η χαρτογράφηση κατά μήκος του «θυγατρικού» νήματος γίνεται με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Τέλος, μετά την κατάδυση, στην επιφάνεια, θα πρέπει να γίνει καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων της εισόδου του σπηλαίου, όπου βρίσκεται ο πλωτήρας που χρησιμοποιήθηκε για τη στερέωση του νήματος πρόσδεσης της εισόδου, με χρήση συσκευής GPS.

3.2.4. Διαδικασία τρισδιάστατης απεικόνισης

Η επεξεργασία των δεδομένων και η τρισδιάστατη απεικόνιση των σπηλαίων γίνονται αυτόματα από το λογισμικό *cadetoro*. Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι αυτά του Πίνακα 3.1, με την ίδια ακριβώς διαμόρφωση, περιλαμβανομένων των επικεφαλίδων της κάθε στήλης, σε ένα απλό αρχείο MS Excel. Εάν στο χαρτογραφημένο υποθαλάσσιο σπήλαιο χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα νήμα, μπορούν να διαγραφούν οι γραμμές που αφορούν στο δεύτερο νήμα, ενώ αν χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 2 νήματα, μπορούν να προστεθούν επιπλέον γραμμές με την ίδια διαμόρφωση. Το αρχικό νήμα αναφοράς που τοποθετήθηκε στο σπήλαιο πρέπει να παρατίθεται πρώτο και τα «θυγατρικά» νήματα να ακολουθούν ιεραρχικά. Η ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων γίνεται σε 3 βασικά στάδια που περιλαμβάνουν: (α) την κατασκευή της βασικής γεωμετρίας του σπηλαίου (Εικόνα 3.2A) βάσει των μετρήσεων, (β) την παρεμβολή (interpolation) των μετρήσεων ώστε να δημιουργηθεί η βάση (Εικόνα 3.2B, πράσινοι κύκλοι) για το εξωτερικό τρισδιάστατο πλέγμα και (γ) την τελική απεικόνιση της τρισδιάστατης τοπογραφίας του σπηλαίου συμπεριλαμβανομένων όλων των ενδιάμεσων σταδίων και δομικών στοιχείων. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται αυτόματα από το λογισμικό και δεν απαιτείται παρέμβαση του χρήστη.

Το λογισμικό αρχικά φορτώνει τα δεδομένα του πίνακα του αρχείου MS Excel και αναγνωρίζει το συνολικό αριθμό των νημάτων, τον προσανατολισμό, την κλίση και τον ενδιάμεσο κόμβο σύνδεσής τους. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπου ο θετικός άξονας x δείχνει ανατολικά, ο θετικός y προς μαγνητικό βορά και ο z αναπαριστά το βάθος, με τιμή 0 στην επιφάνεια της θάλασσας και αρνητικές τιμές προς τον πυθμένα (Εικόνα 3.2B). Το σημείο εκκίνησης του αρχικού νήματος αναφοράς τοποθετείται στο σημείο $(x, y, z) = (0, 0, z_s)$, όπου z_s είναι το βάθος του σημείου εκκίνησης των μετρήσεων (Start depth) και τα νήματα τοποθετούνται διαδοχικά στο χώρο σύμφωνα με τον προσανατολισμό, το μήκος, την κλίση και τη διασύνδεσή τους. Έτσι, προκύπτει μια απλή γραμμή που απεικονίζει το σπήλαιο ως μια σειρά επιμέρους γραμμών που συνδέονται μεταξύ τους (Εικόνα 3.2A, μπλε γραμμή). Με αφετηρία εκκίνησης την είσοδο του σπηλαίου, το λογισμικό κατασκευάζει τη γεωμετρία των ακτινικών μετρήσεων κατά μήκος του κάθε νήματος διαδοχικά και τοποθετεί τις διατομές στο χώρο (Εικόνα 3.2A, κόκκινες επιφάνειες). Έπειτα, σε κάθε διατομή γίνεται παρεμβολή με τμηματικές πολυωνυμικές συναρτήσεις (splines) και προκύπτει μια ομαλή κλειστή καμπύλη περιμετρικά των ακτινικών μετρήσεων. Αυτές οι καμπύλες χρησιμοποιούνται ως δομικά συστατικά για τη δημιουργία ενός εξωτερικού τρισδιάστατου πλέγματος (3D mesh) γύρω από το σπήλαιο που συνδέει τις διαδοχικές διατομές. Με κατάλληλη απεικόνιση του πλέγματος προκύπτει η τελική τρισδιάστατη απεικόνιση του σπηλαίου (Εικόνα 3.2B).

Πίνακας 3.1 Δεδομένα για τη δημιουργία της απεικόνισης του σπηλαίου της Εικόνα 5.2 (προσομοίωση). Οι πρώτες 7 στήλες περιλαμβάνουν μεταδεδομένα (metadata) που αφορούν στα νήματα. Οι τελευταίες 8 στήλες περιλαμβάνουν ακτινικές μετρήσεις του ηχοβολιστικού σε 8 διαφορετικές γωνίες. Οι απολύτως απαραίτητες μετρήσεις σε διαφορετικές αποστάσεις κατά μήκος του νήματος είναι 4 (προς τα επάνω, αριστερά, κάτω και δεξιά, που αντιστοιχούν σε 0°, 90°, 180° και 270°). Αναλυτική περιγραφή των όρων του Πίνακα 3.1 δίνεται στον Πίνακα 3.2.

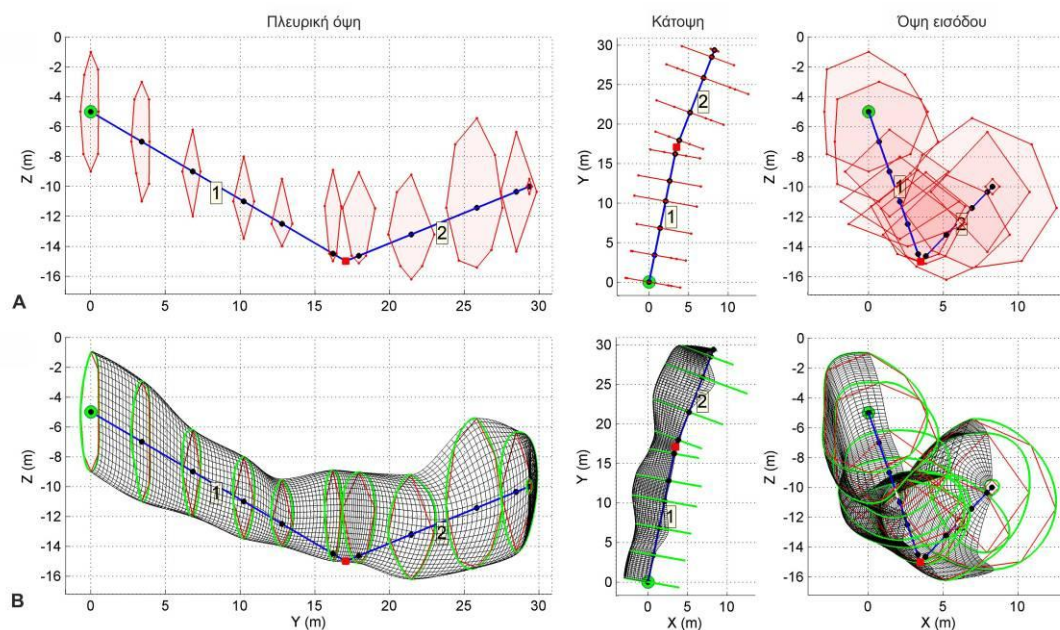
Table 3.1 Source data for creating the cave model depicted in Figure 5.2 (simulated cave). The first 7 columns include rope metadata. The last 8 columns include the echosounder radial measurements across 8 possible angles. The documentation and definitions of topographic source data are given in Table 3.2.

Rope ID	Start depth	End depth	Bearing (North)	Parent ID	Rope length	Distance on rope	0	45	90	135	180	225	270	315
1	-5	-15	10	0	20	0	4	4	3	4	4	4	4	3.5
1						4	4	4	3	4	4	3	4	4
1						8	2.8		3		3		4	
1						12	3		4		2.5		4	
1						15	3		4		1.5		4	
1						19	5.6	4.5	1.4		0.5		1.4	4.5
2		-10	20	1	14	1	5.6	4.5	1.4		0.5		1.4	4.5
2						5	4		4.5	3	3	3	4.5	4
2						10	6	5	5	4	4	5	6	6
2						13	4		4		4		3	
2						14	0.1		0.1		0.1		0.1	

Πίνακας 3.2 Περιγραφή των όρων που περιγράφουν τα τοπογραφικά δεδομένα του Πίνακα 3.1.

Table 3.2 Documentation and definitions of topographic source data presented in Table 3.1.

Παράμετρος	Μονάδες	Περιγραφή
Rope ID	-	Ακέραιος αριθμός > 0, μοναδικός για κάθε νήμα. Πάντα 1 για το αρχικό νήμα. Το αρχικό νήμα θα πρέπει να παρατίθεται στον πίνακα πριν από τα «θυγατρικά».
Start depth	m	Βάθος στο σημείο εκκίνησης του αρχικού νήματος (θετικό προς την επιφάνεια). Απαιτείται μόνο για το αρχικό νήμα.
End depth	m	Βάθος στο τέλος του νήματος. Παίρνει θετικές τιμές προς τα επάνω και έχει τιμή 0 στην επιφάνεια. Υποχρεωτικό για όλα τα νήματα.
Bearing (North)	deg	Προσανατολισμός του νήματος σε σχέση με το μαγνητικό βορά (0°-359°, 0°: Βοράς, 90°: Ανατολή). Υποχρεωτικό για όλα τα νήματα.
Parent ID	-	Αριθμός νήματος. Έχει πάντα τιμή 0 για το αρχικό νήμα. Υποχρεωτικός για όλα τα νήματα.
Rope length	m	Μήκος νήματος. Υποχρεωτικό για όλα τα νήματα.
Distance on rope	m	Απόσταση κατά μήκος του νήματος όπου πραγματοποιήθηκαν ακτινικές μετρήσεις.
[0...315]	m	Τιμή μέτρησης της απόστασης του νήματος από τα τοιχώματα του σπηλαίου. Ο ελάχιστος αριθμός μετρήσεων είναι 4 ενώ μπορούν να μετρηθούν μέχρι 8 γωνίες (επάνω = 0°, κάτω = 180°, αριστερά = 90°, δεξιά = 270° καθώς και οι ενδιάμεσες γωνίες 45°, 135°, 225° και 315°). Εάν δεν έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις στις ενδιάμεσες γωνίες τότε τα αντίστοιχα πεδία μένου κενά.



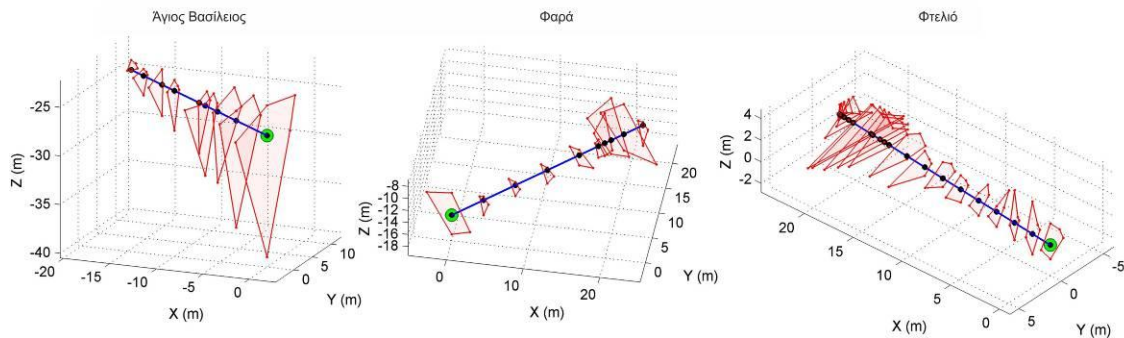
Εικόνα 3.2 Γραφική αναπαράσταση της προσομοίωσης χαρτογράφησης ενός ιδεατού σπηλαίου. (Α) Η μπλε γραμμή αναπαριστά τα 2 νήματα (1: αρχικό, 2: θυγατρικό) και οι μαύρες τελείες τις αποστάσεις κατά μήκος των νημάτων όπου έγιναν μετρήσεις. Με πράσινο κύκλο απεικονίζεται το σημείο εκκίνησης του αρχικού νήματος στην είσοδο και με κόκκινο τετράγωνο ο κόμβος ένωσης των διαδοχικών νημάτων. Οι κόκκινες επιφάνειες απεικονίζουν τις διατομές και οι ακμές τους τις γωνίες όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις (4-8 ακμές). (Β) Κατά τη διαδικασία τρισδιάστατης απεικόνισης, το λογισμικό δημιουργεί αυτόματα ένα τρισδιάστατο πλέγμα, βάσει των τοπογραφικών δεδομένων, διατηρώντας την κλίμακα, το βάθος, το αζιμούθιο και την κλίση του σπηλαίου. Τα δεδομένα για τη δημιουργία των απεικονίσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 ενώ οι όροι και οι μονάδες μέτρησης παρατίθεται στον Πίνακα 3.2.

Εικόνα 3.2 Survey methods for rapidly mapping an underwater cave (simulated data). (A) The rope used for establishing the coordinate system is deployed in a ‘broken stick’ fashion (blue line), and cross-sectional measurements are acquired at chosen longitudinal intervals using the handheld echosounder (red patches). The green marker denotes the cave entrance and the red square represents the splitting node. Annotation numbers “1” and “2” are the unique rope IDs, marking the different ropes used. (B) The processing software parses the survey data and automatically creates the 3D mesh, while preserving the scale, depth, azimuth, and inclination of cave passages. Source data are listed in Table 3.2.

3.3. Αποτελέσματα

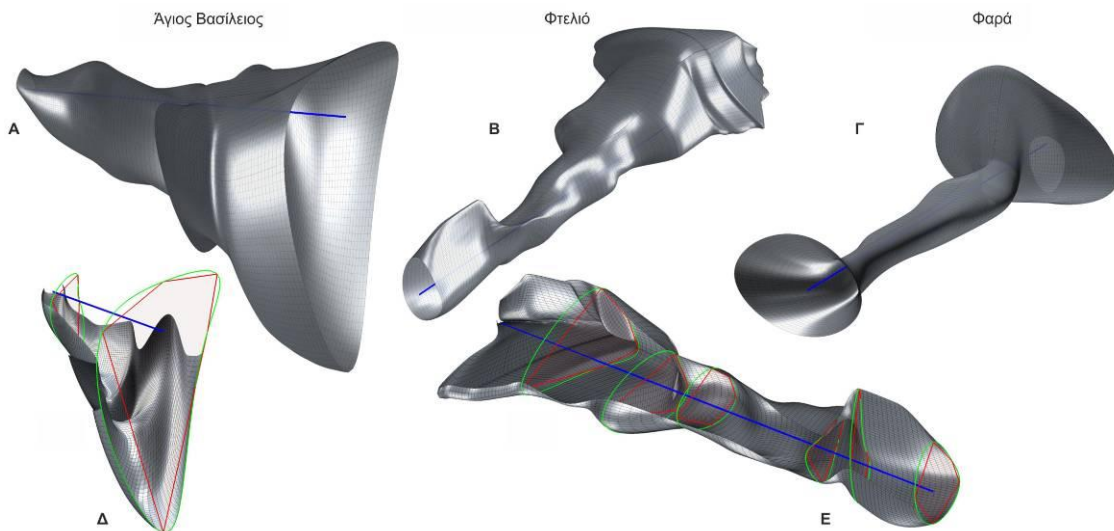
Η μέθοδος χαρτογράφησης εφαρμόστηκε σε 2 εντελώς βυθισμένα σπήλαια της Λέσβου με μέσο βάθος 30 και 14 m (Άγιος Βασίλειος και Φαρά) και στο ρηχό ημιβυθισμένο σπήλαιο Φτελιό του Αγίου Ευστρατίου με τη στενή είσοδο που οδηγούσε σε εσωτερική παραλία (Εικόνα 3.3 Α-Γ). Για τη χαρτογράφηση του κάθε σπηλαίου χρειάστηκαν 2 καταδύσεις. Το νήμα αναφοράς στο ημιβυθισμένο σπήλαιο τοποθετήθηκε στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας και η μέτρηση της απόστασης προς την οροφή έγινε με τηλέμετρο. Σε όλα τα σπήλαια, ο μέγιστος αριθμός ακτινικών μετρήσεων ανά διατομή ήταν 5, ενώ οι μετρήσεις

πραγματοποιήθηκαν ανά 0,5-5 m, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μορφολογίας του σπηλαίου. Συνολικά έγιναν μετρήσεις σε 9, 10 και 19 διατομές για τον Άγιο Βασίλειο, τα Φαρά και το Φτελιό αντίστοιχα (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3 Γραφική αναπαράσταση των τοπογραφικών μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των 3 σπηλαίων που μελετήθηκαν στο Βόρειο Αιγαίο. Το κύριο νήμα, κατά μήκος του οποίου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, απεικονίζεται με μπλε χρώμα. Οι κόκκινες επιφάνειες απεικονίζουν τις ακτινικές μετρήσεις σε κάθε διατομή. Με πράσινο κύκλο απεικονίζεται η είσοδος των σπηλαίων. Ο άξονας +y βλέπει προς βορά. Οι απεικονίσεις των σπηλαίων δεν είναι στην ίδια κλίμακα.

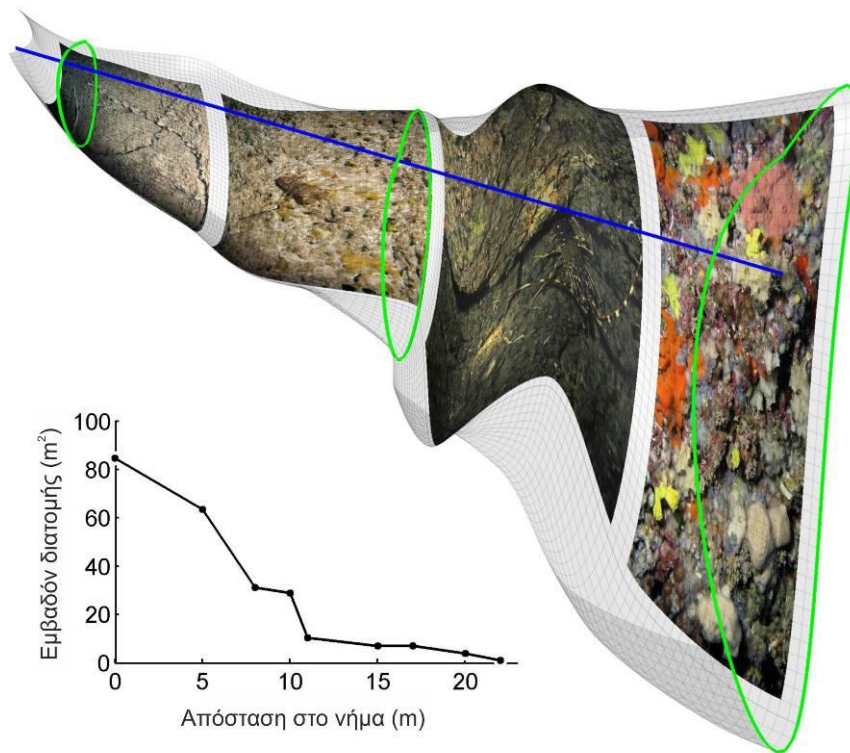
Figure 3.3 Topographic measurements used for mapping the 3 studied marine caves of the North Aegean. The single rope used for establishing the coordinate system is denoted by the blue line. The red patches indicate the cross-sectional measurements, and the green marker shows the cave entrance. The positive y-axis points to the north. Scale differs among subplots.



Εικόνα 3.4 Τρισδιάστατες απεικονίσεις των σπηλαίων που μελετήθηκαν (Α-Γ) και εγκάρσιες τομές των σπηλαίων που απεικονίζουν λεπτομέρειες της εσωτερικής μορφολογίας (Δ-Ε). Το μήκος του νήματος αναφοράς (μπλε γραμμή) είναι 22, 23,5 και 30 m για τα σπήλαια του Αγίου Βασιλείου, του Φτελιού και των Φαρών αντίστοιχα. Οι απεικονίσεις των σπηλαίων δεν είναι στην ίδια κλίμακα.

Figure 3.4 Three-dimensional models (A-Γ) of the surveyed marine caves (Δ-E) sliced to illustrate details of the internal morphology. Rope length (blue line) is 22, 23.5, and 30 m for Agios Vasileios, Ftelio, and Fara, respectively. Scale differs among models.

Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις των σπηλαίων που προέκυψαν με τη χρήση του λογισμικού *canetoro* παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.4. Κάθε απεικόνιση είναι σε κλίμακα και μπορεί να περιστραφεί ή να τεμαχιστεί (π.χ. εγκάρσια) για την απεικόνιση της εσωτερικής μορφολογίας του σπηλαίου (Εικόνα 3.4Δ-Ε). Επίσης μπορούν να εμφανιστούν επιμέρους δομικά στοιχεία της απεικόνισης (π.χ. νήμα αναφοράς, ακτινικές μετρήσεις διατομές, καμπύλες, αρχικό πλέγμα). Πέρα από την τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας των σπηλαίων, η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει τη δυνατότητα να απεικονιστούν με φωτογραφικό τρόπο βιοκοινότητες ή γεωλογικές δομές σε συγκεκριμένες ζώνες των σπηλαίων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα οικολογικής ζώνωσης των κοινοτήτων, κατά μήκος του άξονα εισόδου-εσωτερικού ενός σπηλαίου, φαίνεται στην Εικόνα 3.5. Οι τελικές απεικονίσεις της οικολογικής ζώνωσης στα σπήλαια που μελετήθηκαν για τη διαβάθμιση των βιοκοινοτήτων τους παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Επίσης, το εμβαδό των διατομών στις διαφορετικές αποστάσεις των νημάτων υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό (Εικόνα 3.5, ένθετο).



Εικόνα 3.5 Εγκάρσια τομή σπηλαίου που απεικονίζει ενδεικτικά τη ζώνωση των βενθικών κοινοτήτων. Σε κάθε ζώνη της τρισδιάστατης απεικόνισης έχει υπερτεθεί αντιπροσωπευτική φωτογραφία της αντίστοιχης κοινότητας. Το ένθετο γράφημα κάτω αριστερά απεικονίζει το εμβαδό διατομής σε διαφορετικές αποστάσεις του νήματος (22 m), κατά μήκος του οποίου πραγματοποιήθηκαν ακτινικές μετρήσεις.

Figure 3.5 Sliced model of Agios Vasiliios cave showing the horizontal zonation in benthic assemblages. Different zones are denoted by a representative image that is superimposed on the 3D surface. The inset graph shows the cross-sectional area for longitudinal intervals along the rope at which radial measurements were acquired.

3.4. Συζήτηση

Η τοπογραφική πολυπλοκότητα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη χωρική κατανομή των οργανισμών στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα, τα υποθαλάσσια σπήλαια συχνά αποτελούν οικολογικούς θύλακες που φιλοξενούν είδη που απουσιάζουν ή σπανίζουν σε γειτονικές περιοχές (Roff & Zacharias 2011). Η ύπαρξη απότομων αβιοτικών διαβαθμίσεων αντανακλάται στα πρότυπα χωρικής ετερογένειας των βιοκοινοτήτων με τη μορφή διακριτών οικολογικών ζωνών στο εσωτερικό των σπηλαίων (Riedl 1966). Ωστόσο, τα πρότυπα συνήθως διαφέρουν ανάμεσα σε διαφορετικά σπήλαια, προσδίδοντάς τους ιδιαιτερότητα (Bussotti *et al.* 2006 και εκεί αναφορές). Κατά συνέπεια, το δειγματοληπτικό σχέδιο που χρησιμοποιείται συνήθως στην οικολογική μελέτη των σπηλαίων, κατά μήκος του άξονα εισόδου-εσωτερικού, μπορεί να μην είναι κατάλληλο για όλους τους μορφολογικούς τύπους σπηλαίων (Parravicini *et al.* 2010). Έτσι, η περιγραφή της εσωτερικής τοπογραφίας του σπηλαίου θα μπορούσε να συμβάλει καθοριστικά στο δειγματοληπτικό σχεδιασμό. Οι Martí *et al.* (2004a) έδειξαν ότι, ενώ η διαθεσιμότητα του φωτός είναι ο κύριος αβιοτικός παράγοντας που καθορίζει τη χωρική κατανομή των μακροφυκών στην είσοδο των σπηλαίων, οι ζωικές κοινότητες των εσωτερικών ζωνών επηρεάζονται κυρίως από την εσωτερική γεωμορφολογία κάθε σπηλαίου. Η μεταβολή των αβιοτικών παραμέτρων, της παροχής θρεπτικών και προνυμφών μέσω των ρευμάτων από το εξωτερικό των σπηλαίων, που σχετίζονται με την τοπογραφία, επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την κατανομή των εδραίων βενθικών ειδών (Riedl 1966) καθώς και τη μορφολογία ή τη δομική τους πολυπλοκότητα εντός των σπηλαίων (Pouliquen 1972, Zibrowius 1978, Bell 2002). Οι ακριβείς μηχανισμοί που επηρεάζουν τη χωρική ετερογένεια των βενθικών κοινοτήτων δεν είναι κατανοητοί (Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b, Martí *et al.* 2004a) αλλά είναι γενικά αποδεκτό ότι οι οικολογικές αλληλεπιδράσεις εντός των σπηλαίων θα πρέπει να μελετώνται με βάση τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε σπηλαίου. Η παρούσα μέθοδος μπορεί να συμβάλει προς αυτή την κατεύθυνση παρέχοντας έναν απλό, γρήγορο και οικονομικό τρόπο για τη ρεαλιστική απεικόνιση της μορφολογίας των σπηλαίων. Όπως φάνηκε από την εφαρμογή στο πεδίο, η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ημιβυθισμένα όσο και σε εξολοκλήρου βυθισμένα υποθαλάσσια σπήλαια και έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε ότι αφορά τον απαραίτητο εξοπλισμό και τον αριθμό καταδύσεων. Οι τελικές τρισδιάστατες απεικονίσεις των σπηλαίων μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση πιθανών τοπογραφικών χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να διαμορφώνουν ιδιαίτερα χωρικά πρότυπα στις κοινότητες. Για παράδειγμα, ο Fichez (1990) πρότεινε ότι υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στην κλίση των σπηλαίων και στη διαστρωμάτωση του νερού στο εσωτερικό τους, δημιουργώντας έτσι ολιγοτροφικές συνθήκες σε συγκεκριμένους τομείς των σπηλαίων. Μετέπειτα έρευνες έδειξαν ότι η καθοδική κλίση του πυθμένα των σπηλαίων θα μπορούσε να υποδεικνύει την παγίδευση ψυχρών μαζών νερού, η οποία σε συνδυασμό με τις συνθήκες σκοτεινότητας προσομοιάζουν τις συνθήκες που επικρατούν στη βαθιά θάλασσα (Vacelet *et al.* 1994, Harmelin & Vacelet 1997). Αυτά τα χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να απεικονιστούν με τη βοήθεια της προτεινόμενης μεθοδολογίας, δεδομένου ότι το σπήλαιο αποτυπώνεται σε φυσική κλίμακα και κλίση, ενώ τα βαθυμετρικά στοιχεία της οροφής ή του πυθμένα μπορούν εύκολα να υπολογιστούν από κάθε διατομή (Εικόνα 3.2B). Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις μπορούν να αποτυπώσουν καλύτερα εάν κάποιο τμήμα ενός σπηλαίου ή ακόμη και ολόκληρο

το σπήλαιο θα μπορούσε να λειτουργεί ως «παγίδα ιζήματος», γεγονός που επηρεάζει τη σύνθεση των βενθικών κοινοτήτων (Zabala & Gili 1985, Bibiloni *et al.* 1989). Επίσης, τα δεδομένα εμβαδού διατομών και κλίσης θα μπορούσαν να συνδυαστούν με μετρήσεις ροής ή έντασης φωτισμού για τη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των αβιοτικών παραμέτρων με την τοπογραφία του σπηλαίου και την εξήγηση των παρατηρούμενων οικολογικών προτύπων. Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις των σπηλαίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη συγκεκριμένων κοινοτήτων που αναπτύσσονται σε διαφορετικές ζώνες (Εικόνα 3.5) ή ακόμη και λεπτομερειών της εσωτερικής μορφολογίας των σπηλαίων που δύσκολα μπορούν να αποτυπωθούν σε δύο διαστάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ύπαρξη υπόστεγων ή τοίχων με αρνητική κλίση που επηρεάζουν τοπικά τις συνθήκες φωτισμού και φιλοξενούν περισσότερο σκιοφίλες κοινότητες σε σύγκριση με γειτονικούς κάθετους τοίχους (Laborel & Vacelet 1958). Τέλος, οι τρισδιάστατες απεικονίσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στα σπήλαια με την πάροδο του χρόνου αλλά και στη διάχυση των αποτελεσμάτων επιστημονικών ερευνών στο ευρύτερο κοινό.

Τα απαραίτητα τοπογραφικά δεδομένα έχουν επιλεγεί προσεκτικά ώστε να μπορούν εύκολα να καταγραφούν από τον αυτοδύτη. Το σύστημα αναφοράς καθορίζεται κυρίως με μετρήσεις βάθους και μηκών, που μπορούν εύκολα να καταγραφούν με καταδυτικό υπολογιστή και οπτικά, μέσω των σημάσεων μήκους στο βαθμονομημένο νήμα αντίστοιχα. Η μόνη μέτρηση γωνίας που χρειάζεται είναι αυτή του προσανατολισμού του νήματος που γίνεται με την πυξίδα. Η κλίση του νήματος υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό, μέσω των βαθών στα δύο άκρα του νήματος και του μήκους του. Επιπρόσθετα, το νήμα αναφοράς δεν χρειάζεται να είναι τοποθετημένο κατά μήκος του κεντρικού άξονα του σπηλαίου ούτε να ακολουθεί την πραγματική κλίση του σπηλαίου (Εικόνα 3.2). Έτσι, οι αυτοδύτες είναι ελεύθεροι να εγκαταστήσουν το νήμα ανάλογα με τις απαιτήσεις της υποβρύχιας έρευνας, αφήνοντας όλους τους γεωμετρικούς υπολογισμούς για το λογισμικό. Το φορητό ηχοβολιστικό παρέχει ευκολία στη μέτρηση των αποστάσεων αλλά θα μπορούσε να αντικατασταθεί με μετροταινία σε τμήματα του σπηλαίου, στα οποία η αδρή επιφάνεια των τοιχωμάτων εμποδίζει τις ακουστικές μετρήσεις. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι η προτεινόμενη μέθοδος χαρτογράφησης επιτρέπει στον αυτοδύτη να καθορίσει *in situ* την απαιτούμενη χωρική ανάλυση, ανάλογα με την τοπογραφική πολυπλοκότητα του σπηλαίου (π.χ. αποστάσεις κατά μήκος του νήματος όπου πρέπει να γίνουν μετρήσεις, γωνίες ακτινικών μετρήσεων). Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, 9-19 διατομές και ένα μέγιστο 5 γωνιών ακτινικών μετρήσεων ανά διατομή ήταν επαρκείς για την απεικόνιση των σπηλαίων. Η χωρική ανάλυση των μετρήσεων ήταν μεγαλύτερη (κάθε 1 m) σε τμήματα των σπηλαίων όπου υπήρχαν απότομες μεταβολές της τοπογραφίας και μικρότερη (κάθε 4-5 m) σε πιο ομαλά τμήματα.

Οι διατομές που απαιτούν περισσότερη προσοχή από τον αυτοδύτη για την αποφυγή λαθών είναι αυτή στον τοίχο του εσωτερικού άκρου του σπηλαίου, αυτές των ενδιάμεσων κόμβων (όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα νήματα) και σε σημεία με απότομη μεταβολή του προσανατολισμού. Συγκεκριμένα, απαιτείται μια εικονική διατομή με μικρές τιμές των ακτινικών μετρήσεων (π.χ. 0,1 m) στο εσωτερικό άκρο του σπηλαίου (τελευταία γραμμή στον Πίνακα 3.1) ώστε να «κλείσει» το τρισδιάστατο πλέγμα του σπηλαίου. Επιπλέον, οι ακτινικές μετρήσεις κοντά στους κόμβους διαδοχικών νημάτων θα πρέπει να γίνουν αρκετά κοντά ώστε

να προκύψουν ρεαλιστικές απεικονίσεις, χωρίς όμως να αλληλεπικαλύπτονται οι μετρήσεις, καθώς το πλέγμα δημιουργείται με την ένωση διαδοχικών διατομών. Αυτοί οι περιορισμοί θα πρέπει να εκτιμηθούν κατά τη διάρκεια της αναγνωριστικής κατάδυσης, αν και θα μπορούσαν να γίνουν διορθώσεις και μετέπειτα, κατά τη διαδικασία τρισδιάστατης απεικόνισης.

Παρόλο που η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί συμβάλει στην ταχεία χαρτογράφηση σπηλαίων στο πλαίσιο οικολογικών μελετών, οι τελικές τρισδιάστατες απεικονίσεις δεν χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια. Έτσι, η μέθοδος είναι ευάλωτη σε λάθη που σχετίζονται με τη θέση του αυτοδύτη εντός του σπηλαίου καθώς και των οργάνων μέτρησης (ηχοβολιστικό, μετροταινία ή τηλέμετρο) σε σχέση με τον άξονα του νήματος. Επίσης σφάλματα μπορούν να προκύψουν από λανθασμένη εκτίμηση της απόστασης κατά μήκος του νήματος ή όταν το νήμα δεν είναι καλά τεντωμένο. Θεωρητικά, με την παρούσα μέθοδο είναι εφικτή η μέτρηση σπηλαίων με πολύ μεγάλο μήκος. Ενέχει, ωστόσο, δυσκολίες σε ότι αφορά την τοποθέτηση και τη μεταχείριση πολλών διαδοχικών νημάτων και είναι ευάλωτη σε λάθη κατά τη διαδικασία εγκατάστασης. Αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα μόνο της παρούσας μεθόδου αλλά είναι γενικότερο πρόβλημα σε κάθε προσπάθεια χαρτογράφησης σπηλαίων όπου δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος για τη διασφάλιση σημείων αναφοράς. Ο Am Ende (2001) χρησιμοποίησε μαγνητικούς σημαντήρες και ομάδες επιφανείας για την περιοδική διόρθωση τέτοιων λαθών, αποκλίνοντας όμως κατά πολύ από το σκεπτικό της ταχείας και οικονομικής μεθόδου. Μελλοντικά πειράματα, στα οποία θα ελέγχεται η μεταβλητότητα του δειγματοληπτικού σχεδιασμού, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ποσοτικοποίηση της σημασίας των προαναφερθέντων παραμέτρων.

Η ακρίβεια των εικονιζόμενων διατομών εξαρτάται από τον αριθμό των ακτινικών μετρήσεων που δεν ξεπερνά τις 8 διαφορετικές γωνίες ανά διατομή. Ο αριθμός αυτός επιλέχθηκε για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της ταχείας λήψης μετρήσεων από τους αυτοδύτες υπό γωνίες που μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα εμπειρικά αλλά ταυτόχρονα θέτει περιορισμό στη μέγιστη χωρική ανάλυση. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο πλάτος της ακουστικής δέσμης των φορητών ηχοβολιστικών (20-30°) και το γεγονός ότι η δέσμη μεγαλώνει με την αύξηση της απόστασης, μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων δε θα βελτιώνει απαραίτητα την ανάλυση. Έτσι, αν οι μετρήσεις δεν πραγματοποιηθούν σε κοντινή απόσταση από τα τοιχώματα, οι πυκνές διαδοχικές μετρήσεις θα μπορούσαν να αλληλεπικαλύπτονται.

Η μέθοδος θα μπορούσε να βελτιωθεί με προσαρμογές που να επιτρέπουν τη χαρτογράφηση κατακόρυφων σπηλαίων και σπηλαίων με πιο σύνθετη μορφολογία (π.χ. με διακλαδώσεις). Για τη δεύτερη περίπτωση απαιτείται πιο περίπλοκη υποβρύχια διαδικασία από τον αυτοδύτη αλλά και διαφορετική προσέγγιση στη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Στην παρούσα μέθοδο, το τρισδιάστατο πλέγμα δημιουργείται με την ένωση διαδοχικών διατομών που διευκολύνει μεν την αυτόματη απεικόνιση της μορφής του σπηλαίου, όμως δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε διακλαδισμένα σπήλαια. Αν και υπάρχουν πειραματικοί αλγόριθμοι που επιτρέπουν την κατασκευή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου από ένα νέφος μη συνδεδεμένων σημειακών μετρήσεων (π.χ. Bernardini & Bajaj 1997, Bernardini *et al.* 1999, Amenta *et al.* 2001, Holenstein *et al.* 2011), η εφαρμογή τους δεν είναι εύκολη όταν τα αρχικά δεδομένα δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια ή όταν είναι εξαιρετικά αραιά. Επιπλέον, τα πολύπλοκα σπήλαια απαιτούν μεγαλύτερο βαθμό παρέμβασης από το χρήστη κατά τη διάρκεια της αυτοματοποιημένης διαδικασίας δημιουργίας της τρισδιάστατης απεικόνισης. Παρόλο που η

προτεινόμενη μέθοδος χαρτογράφησης δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους υποθαλάσσιων σπηλαίων, παρέχει μια εύκολη και ταχεία λύση για τους πιο κοινούς τύπους σπηλαίων, διευκολύνοντας σημαντικά τη μελέτη των κοινοτήτων που αυτά φιλοξενούν.

3.4.1. Κύρια συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε τα εξής σχετικά με τη νέα μέθοδο χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης σπηλαίων που προτείνεται:

- Πρόκειται για μια νέα ταχεία και οικονομική μέθοδο, προσαρμοσμένη στις ιδιαίτερες ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας στο περιβάλλον των σπηλαίων, αφού έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε απαραίτητο εξοπλισμό και αριθμό καταδύσεων εξοικονομώντας πόρους και χρόνο υποβρύχιας εργασίας.
- Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ημιβυθισμένα όσο και σε εξολοκλήρου βυθισμένα σπήλαια.
- Το αποτέλεσμα είναι μια ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση του υπό μελέτη σπηλαίου σε κλίμακα, με δυνατότητα προβολής τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο ή σε πλάγια τομή.
- Οι απεικονίσεις των σπηλαίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη συγκεκριμένων βιοκοινοτήτων που αναπτύσσονται σε διαφορετικές ζώνες ή και λεπτομερειών της εσωτερικής μορφολογίας των σπηλαίων που δύσκολα μπορούν να αποτυπωθούν σε δύο διαστάσεις.
- Θα μπορούσε να συμβάλει (α) στο δειγματοληπτικό σχεδιασμό βιολογικών ερευνών, (β) στην ανάδειξη τοπογραφικών χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να διαμορφώνουν ιδιαίτερα χωρικά πρότυπα στις βιοκοινότητες (π.χ. κλίση σπηλαίου, κοιλάτες και τοίχοι με αρνητική κλίση), και (γ) στη διάχυση των αποτελεσμάτων επιστημονικών ερευνών στο ευρύτερο κοινό.

4. ΔΟΜΗ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΒΕΝΘΙΚΩΝ ΒΙΟΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ



4.1. Εισαγωγή

4.1.1. Οικολογική διαβάθμιση βιοκοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων

Τα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου φιλοξενούν διαφορετικούς τύπους βιοκοινοτήτων που συνήθως διαδέχονται η μια την άλλη δημιουργώντας χαρακτηριστικά πρότυπα ζώνωσης μέσα σε κλίμακα ελάχιστων μόνο μέτρων (Riedl 1966, Pérès 1967). Ωστόσο, η πλειοψηφία των ερευνών που έχουν μελετήσει αυτές τις βιοκοινοότητες περιλαμβάνουν μόνο ποιοτικά στοιχεία σχετικά με την οργανισμική τους σύνθεση και σπανιότερα ημιποσοτικά ή ποσοτικά στοιχεία σχετικά με την κάλυψη επιφάνειας των κυρίαρχων ειδών, συνήθως των σπόγγων (π.χ. Laborel & Vacelet 1959, Russ & Rützler 1959, Sarà 1962b, Pouliquen 1972, Bibiloni *et al.* 1989). Σε ένα μικρό αριθμό μελετών έχουν διερευνηθεί ποσοτικά τα πρότυπα διαβάθμισης της βιοποικιλότητας των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων (Cinelli *et al.* 1977, Pansini *et al.* 1977, Gili *et al.* 1982, Balduzzi *et al.* 1989, Corriero *et al.* 2000, Martí *et al.* 2004a-b, Bussotti *et al.* 2006). Οι παραπάνω έρευνες καταλήγουν στο γενικό συμπέρασμα ότι το οικοσύστημα των υποθαλάσσιων σπηλαίων χαρακτηρίζεται από μεγάλη ετερογένεια και πως παρόλο που η χωρική κατανομή των κοινοτήτων του ακολουθεί μια γενική αρχή, μπορεί να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις ανάλογα την τοπογραφία του σπηλαίου.

Είναι, λοιπόν, μέχρι στιγμής γενικά αποδεκτό ότι οι οικολογικές αλληλεπιδράσεις εντός των σπηλαίων θα πρέπει να μελετώνται με βάση τα μοναδικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε σπηλαίου τα οποία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαβάθμιση των αβιοτικών παραμέτρων και κυρίως εκείνων που καθορίζουν την οικολογική ζώνωση, δηλαδή (α) τη διείσδυση του φωτός και (β) την ένταση του υδροδυναμισμού. Ειδικότερα η διείσδυση του φωτός εξαρτάται από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σπήλαιο, τον προσανατολισμό της εισόδου και την κλίση της εισόδου και του σπηλαίου γενικότερα, ενώ ο υδροδυναμισμός επηρεάζεται από το βαθμό έκθεσης και το προφίλ της ακτής, καθώς και από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σπήλαιο και τη μορφή του (Riedl 1966, Pouliquen 1972, Harmelin *et al.* 1985, Martí *et al.* 2004a).

Όπως αναφέρθηκε και στην γενική Εισαγωγή της μελέτης, οι έρευνες που αφορούν στην οικολογική διαβάθμιση των κοινοτήτων έχουν λάβει χώρα σε ημιβυθισμένα και ρηχά σπήλαια της βορειοδυτικής Μεσογείου, των Ιταλικών ακτών του Ιονίου Πελάγους και της Αδριατικής Θάλασσας, ενώ δεν υπάρχουν ποσοτικά στοιχεία για σπήλαια της ανατολικής Μεσογειακής λεκάνης αλλά και της κατώτερης υποπαραλιακής ζώνης της Μεσογείου γενικότερα.

4.1.2. Δυσκολίες ποσοτικής μελέτης των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων και η δυνατότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών

Καθοριστικό ρόλο στην ποσοτική μελέτη των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων έπαιξε η ανάπτυξη φωτογραφικών μεθόδων ποσοτικής ανάλυσης. Σύμφωνα με τους Bianchi *et al.* (2004), βασικά πλεονεκτήματα των φωτογραφικών μεθόδων είναι τα ακόλουθα: (α) αντικειμενική εκτίμηση, (β) επαναληψιμότητα, (γ) εν δυνάμει σημεία αναφοράς για παρακολούθηση (monitoring), (δ) δυνατότητα αυτοματοποίησης, (ε) ταχύτητα δειγματοληψίας, (στ) μεγάλη δειγματοληπτική επιφάνεια και (ζ) απουσία αρνητικών επιπτώσεων στο οικοσύστημα. Μειονεκτήματα των

μεθόδων αυτών αποτελούν οι δυσκολίες που θα μπορούσαν να εμφανιστούν κατά τον ταξινομικό προσδιορισμό των ειδών και την επεξεργασία και ανάλυση των φωτογραφιών (Bianchi *et al.* 2004, Zarata-Ramírez *et al.* 2013). Λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων τους, οι φωτογραφικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων που αναπτύσσονται σε ευαίσθητους και προστατευόμενους τύπους οικοσυστημάτων (π.χ. υποθαλάσσια σπήλαια και κοραλλιγενείς κοινότητες) που επιπρόσθετα χαρακτηρίζονται από δυσκολίες πρόσβασης και συνθήκες περιορισμένου χώρου, ορατότητας και παραμονής (Gili *et al.* 1982, Balduzzi *et al.* 1985, Garrabou *et al.* 1998, 2002, Teixidó *et al.* 2002, Martí *et al.* 2004a·b, Antoniadou *et al.* 2006, Bussotti *et al.* 2006, Kipson *et al.* 2011, Teixidó *et al.* 2011b, 2013). Επίσης, οι Balduzzi *et al.* (1989), που μελέτησαν τις βιοκοινότητες του υποθαλάσσιου σπηλαίου Mitigliano στην Τυρρηνική Θάλασσα, επεσήμαναν ότι η χρήση κλασικών μεθόδων απόξεσης πλαισίων οδήγησε σε υποεκτίμηση της βιοποικιλότητας της εδραιωμένης πανίδας και ειδικότερα της επιφάνειας κάλυψης των σπόγγων και των βρυοζών τα οποία σχημάτιζαν φάσεις που ήταν εμφανείς μόνο *in situ* και στα φωτογραφικά πλαίσια. Αιτία του προβλήματος ήταν η ανομοιόμορφη, συχνά συσσωματική κατανομή των οργανισμών αυτών στο εσωτερικό των σπηλαίων (Balduzzi *et al.* 1989).

Για την αντιμετώπιση των πιθανών προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένες μέθοδοι και λογισμικά για την επεξεργασία και ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων (π.χ. Kohler & Gill 2006, Teixidó *et al.* 2011a, Trygonis & Sini 2012), ενώ για τον ταξινομικό προσδιορισμό των ειδών, συχνά πραγματοποιείται συμπληρωματική ποιοτική δειγματοληψία και φωτογράφιση των χαρακτηριστικών ειδών και προσδιορισμός των οργανισμών σε ανώτερες ταξινομικές και μορφολογικές κατηγορίες όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο (π.χ. Teixidó *et al.* 2002, Martí *et al.* 2004a·b, Bussotti *et al.* 2006, Kipson *et al.* 2011, Holon *et al.* 2014).

Μια ακόμη πιθανή λύση για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων θα μπορούσε να είναι η χρήση της επικρατέστερης ταξινομικής ομάδας (Olsgard & Somerfield 2000, Olsgard *et al.* 2003, Chintiroglou *et al.* 2006) ή κάποιων κοινών μορφοτύπων των ειδών (Bell & Barnes 2001, Bell 2007) ως υποκαταστατών (surrogates) για την εκτίμηση των προτύπων ποικιλότητας του συνόλου της βιοκοινότητας. Ωστόσο, δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα προσπάθεια εφαρμογής του πρώτου μοντέλου σε υποθαλάσσια σπήλαια ενώ το μοντέλο χρήσης της μορφολογικής ποικιλότητας ως υποκαταστάτη έχει εφαρμοστεί για τις κοινότητες σπόγγων σε σπήλαια του Ινδικού Ωκεανού, ωστόσο χωρίς στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα (Bell & Barnes 2002b). Η εφαρμογή των παραπάνω μοντέλων σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου θα μπορούσε να υποβοηθήσει σημαντικά τη μελέτη των βιοκοινοτήτων τους, οι οποίες συχνά φιλοξενούν σπάνια, άγνωστα για την επιστήμη είδη οργανισμών ή αποχρωματισμένα άτομα από ομάδες με μεγάλο βαθμό δυσκολίας ταξινομικού προσδιορισμού (π.χ. σπόγγοι και βρυόζωα).

Οι σπόγγοι αποτελούν την επικρατέστερη ομάδα οργανισμών στα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου από πλευράς βιοποικιλότητας, κάλυψης επιφάνειας και βιομάζας διότι είναι κατά βάση σκιοφιλά ζώα που ευνοούνται αφενός από τη μείωση του φωτισμού και αφετέρου από τη συνακόλουθη υποχώρηση των μακροφυκών με τα οποία ανταγωνίζονται για ζωτικό χώρο (Sarà 1968, Sarà & Vacelet 1973, Corriero *et al.* 2000). Επιπλέον, αποτελούν το καλύτερα μελετημένο φύλο στα Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια (βλέπε Κεφάλαιο 5 για εκτεταμένη ανασκόπηση).

Οι σπόγγοι συνεισφέρουν σημαντικά στη λειτουργία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων μέσα από διαφορετικούς λειτουργικούς ρόλους (Bell 2008 και εκεί αναφορές). Μεταξύ άλλων, αποτελούν «μηχανικούς οικοσυστήματος»²³, αφού μια από τις κυριότερες λειτουργίες τους είναι ότι αποτελούν μικρο-ενδιαιτήματα που φιλοξενούν μεγάλη ποικιλία μακροπανιδικών ειδών (π.χ. Bacescu 1971, Frith 1976, Koukouras *et al.* 1985, 1992, 1996, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987, Duarte & Nalesso 1996, Ribeiro *et al.* 2003, Wulff 2006), και για αυτό από πολύ νωρίς είχαν χαρακτηριστεί «ζωντανά ξενοδοχεία» (Pearse 1950). Η πανίδα που σχετίζεται με τους σπόγγους έχει μελετηθεί σε ποικιλία οικοσυστημάτων σε ολόκληρο τον κόσμο, όπως είναι ρηχοί βραχώδεις βυθοί σε εύκρατες περιοχές (π.χ. Koukouras *et al.* 1985, 1992, 1996), τροπικοί κοραλλιογενείς ύφαλοι (π.χ. Villamizar & Lauchlin 1991, Bahrndorff & Løfstedt 2004), λειμώνες φανερόγαμων (π.χ. Çinar *et al.* 2002, Huang *et al.* 2008), πολικά οικοσυστήματα (π.χ. Kunzmann 1996, Amsler *et al.* 2009) και μεγάλα ωκεάνια βάθη (π.χ. Klitgaard 1991, 1995). Επίσης, έχει προταθεί ότι οι σπόγγοι αυξάνουν τη δομική πολυπλοκότητα των ενδιαιτημάτων (Voultziadou *et al.* 2010), γεγονός που θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τύπους ενδιαιτημάτων που χαρακτηρίζονται από περιορισμένη διαθεσιμότητα χώρου, όπως τα υποθαλάσσια σπήλαια. Ωστόσο, η λειτουργία των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος δεν έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα στο συγκεκριμένο οικοσύστημα.

4.1.3. Σκοπός της μελέτης

Βασικοί στόχοι αυτού του κεφαλαίου της διατριβής είναι η ποσοτική μελέτη (α) της σύνθεσης των βιοκοινοτήτων και (β) των προτύπων χωρικής ετερογένειας της βιοποικιλότητάς σε σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά, εκ των οποίων το ένα στην κατώτερη υποπαραλιακή ζώνη. Επίσης, στο πλαίσιο της αντιμετώπισης των δυσκολιών στη μελέτη των υποθαλάσσιων σπηλαίων και δεδομένου ότι οι σπόγγοι αποτελούν την κυρίαρχη ομάδα στα υπό μελέτη σπήλαια, διερευνήθηκαν: (α) η δυνατότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών για την εκτίμηση της χωρικής ετερογένειας της βιοποικιλότητας στα υποθαλάσσια σπήλαια και (β) η μελέτη της οικολογικής σημασίας των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος στο συγκεκριμένο τύπο ενδιαιτήματος.

4.2. Υλικά και μέθοδοι

4.2.1. Ποσοτική μελέτη οικολογικής διαβάθμισης βενθικών κοινοτήτων

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν τα πρότυπα διαβάθμισης των βενθικών κοινοτήτων δύο υποθαλάσσιων σπηλαίων του Βόρειου Αιγαίου (Φ: Φαρά και ΑΒ: Άγιος Βασίλειος). Αναλυτική περιγραφή της τοπογραφίας και της μεθόδου χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης των σπηλαίων δόθηκε στα Κεφάλαια που προηγήθηκαν (2 και 3).

²³ Ως «μηχανική οικοσυστήματος» νοείται η δημιουργία, καταστροφή ή τροποποίηση του ενδιαιτήματος από ζωντανούς οργανισμούς που μπορεί να έχει πολύπλοκη επίδραση στη δομή των βιοκοινοτήτων (Jones *et al.* 1994) ή αλλιώς η τροποποίηση της φυσικής δομής των αβιωτικών και βιοτικών στοιχείων του οικοσυστήματος και κατά συνέπεια η τροποποίηση των διαθέσιμων πόρων για άλλα είδη (Coleman & Williams 2002).

Δειγματοληπτικό σχέδιο

Για την ποσοτική μελέτη της οικολογικής διαβάθμισης των βιοκοινοτήτων των δύο σπηλαίων χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφικές, μη καταστρεπτικές μέθοδοι. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε φωτογραφικό πλαίσιο (photoquadrat) διαστάσεων 25 x 25 cm (Εικόνα 4.1). Η συγκεκριμένη δειγματοληπτική επιφάνεια έχει προταθεί ως κατάλληλη για τη μελέτη σκιοφύλων μακρο- και μεγαβενθικών κοινοτήτων σκληρού υποστρώματος της Μεσογείου (Kipson *et al.* 2011) καθώς εξασφαλίζει (α) ευελιξία υποβρύχιας μετακίνησης των δυτών σε συνθήκες περιορισμένου χώρου (π.χ. υποθαλάσσια σπήλαια και κοιλοότητες) και (β) χωρική ανάλυση που επιτρέπει τη διάκριση και τον ταξινομικό προσδιορισμό ειδών στο κατώτερο δυνατό ταξινομικό επίπεδο. Για την υποβρύχια φωτογράφιση χρησιμοποιήθηκε φωτογραφική μηχανή Canon G9 (ανάλυση 12,1 megapixel) σε θήκη στεγανοποίησης IKELITE με εξωτερικό flash (INON Z-240).

Στα δύο υπό μελέτη σπήλαια φωτογραφήθηκαν 3 επαναληπτικά πλαίσια (replicates) ανά 5 m, κατά μήκος 3 οριζόντιων διατομών (transects), από την είσοδο μέχρι το σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων: στην οροφή (C) και στους δύο απέναντι κάθετους τοίχους (L: αριστερός και R: δεξιός τοίχος). Κατά την προκαταρκτική επιτόπια διερεύνηση των σπηλαίων, παρατηρήθηκε ότι εξαιτίας του κωνικού σχήματος και των μικρών διαστάσεων της εισόδου του σπηλαίου Φ (7 m x 10 m) υπήρχε έντονη διαφοροποίηση της σύνθεσης των κοινοτήτων της εισόδου σε σύγκριση με αυτές της παρακείμενης εξωτερικής ζώνης μέσα σε απόσταση ελάχιστων μέτρων. Έτσι, για λόγους σύγκρισης σε αυτό το σπήλαιο πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και στα τοιχώματα της εξωτερικής ζώνης της εισόδου. Αντίθετα, στο σπήλαιο AB εξαιτίας της μορφής και των μεγάλων διαστάσεων της εισόδου (16 m x 7 m) δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο φαινόμενο και δεν έγινε δειγματοληψία στην παρακείμενη εξωτερική ζώνη.

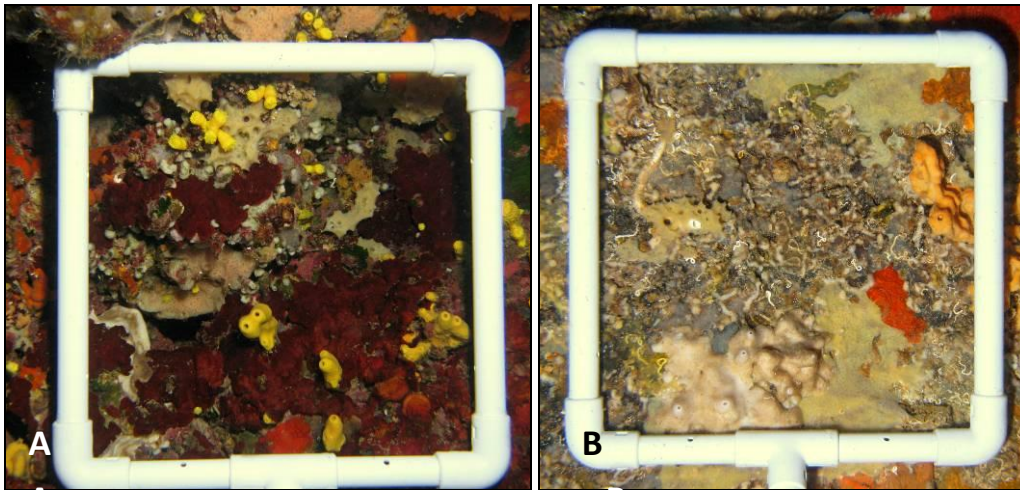
Συνολικά φωτογραφήθηκαν 117 πλαίσια, 72 στο σπήλαιο Φ (8 επίπεδα απόστασης, ανά 5 m, από το εξωτερικό έως τα 30 m από την είσοδο) και 45 στο σπήλαιο AB (5 επίπεδα απόστασης, ανά 5 m, από την είσοδο έως τα 20 m). Η συνολική δειγματοληπτική επιφάνεια που προέκυψε ήταν 45.000 και 28.125 cm² αντίστοιχα για τα δύο σπήλαια. Οι επιφάνειες που μελετήθηκαν ξεπερνούν κατά πολύ την ελάχιστη επιφάνεια που έχει προταθεί από τον Weinberg (1978) για τη μελέτη των βενθικών ασπόνδυλων (ανθόζων) σε οριζόντια και κατακόρυφα βραχώδη υποστρώματα (20.000 cm²) και σκοτεινά σπήλαια (4.000 cm²) αλλά και των Kipson *et al.* (2011) για την ταχεία αποτίμηση της βιοποικιλότητας (rapid biodiversity assessment) σε κοραλλιγενείς κοινότητες που αναπτύσσονται σε ανοιχτούς κάθετους τοίχους και σε εισόδους υποθαλάσσιων σπηλαίων της βορειοδυτικής Μεσογείου (5.000 cm²).

Επεξεργασία φωτογραφικών πλαισίων

Για την ψηφιακή ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων χρησιμοποιήθηκε το εξειδικευμένο λογισμικό επεξεργασίας υποβρύχιων εικόνων photoQuad (Trygonis & Sini 2012). Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής περισσότερων τρόπων υπολογισμού επιφάνειας κάλυψης και παρουσίας/απουσίας ειδών, που μπορούν να εφαρμοστούν παράλληλα σε ένα πολυεπίπεδο περιβάλλον, όπως: (α) μέτρηση τυχαία διατεταγμένων σημείων (random point counts), (β) μέτρηση κελιών συγκεκριμένων διαστάσεων ύστερα από υπέρθεση πλέγματος (grid cell counts), (γ) χειροκίνητη σχεδίαση περιοχών ενδιαφέροντος (freehand regions) και (δ) κατακερματισμός χρωματικών περιοχών (segmentation-based regions) (Trygonis & Sini 2012). Επιπλέον, οι παραπάνω τρόποι υποστηρίζονται από μεγάλο αριθμό βοηθητικών εργαλείων

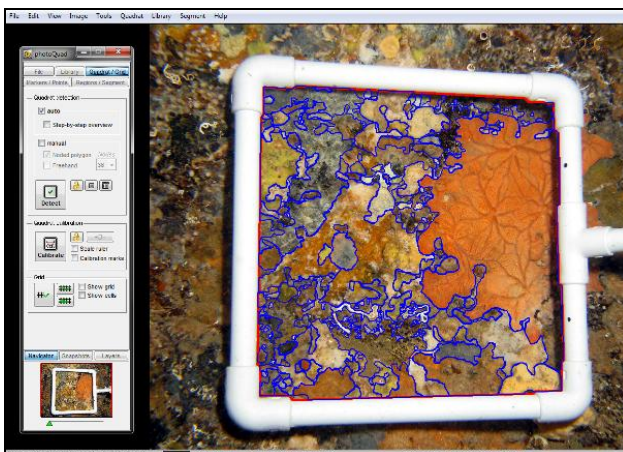
(π.χ. βελτίωση εικόνας, βαθμονόμηση αποστάσεων, ανίχνευση ορίων πλαισίου) στο συγκεκριμένο λογισμικό.

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόστηκε. Αρχικά, κάθε πλαίσιο βαθμονομήθηκε ώστε να αντιστοιχηθούν τα φωτογραφικά ρixel σε εκατοστά (cm). Ακολούθησε χειροκίνητη ψηφιοποίηση του περιγράμματος κάθε οργανισμού μέσω της εφαρμογής “species region analysis” και το φωτογραφικό πλαίσιο διαχωρίστηκε σε «περιοχές ενδιαφέροντος» (ROI: Regions of interest) που αντιστοιχούσαν στην επιφάνεια κάλυψης του κάθε είδους (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.1 Φωτογραφικά πλαίσια από τη ζώνη εισόδου του σπηλαίου AB (A) και το ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου Φ (B).

Figure 4.1 Photoquadrats from the entrance zone of Agios Vasiliou cave (A) and the middle zone of Fara cave (B).

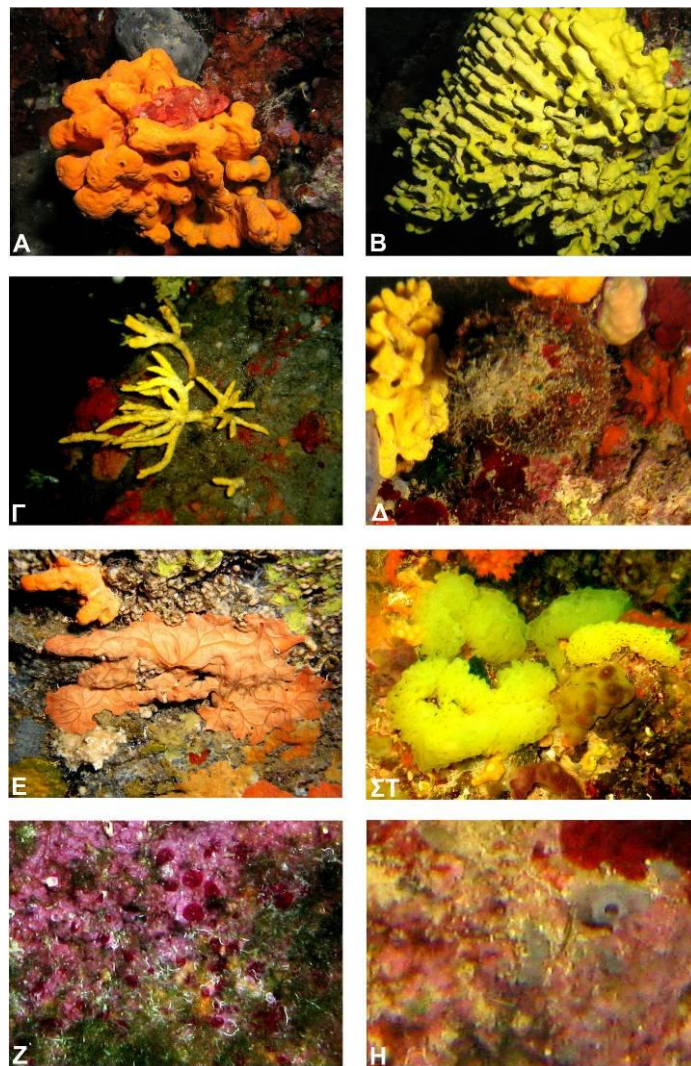


Εικόνα 4.2 Χειροκίνητη σχεδίαση του περιγράμματος των βενθικών ειδών για τον υπολογισμό της επιφάνειας κάλυψής τους σε φωτογραφικό πλαίσιο από το ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου Φ με το λογισμικό photoQuad.

Figure 4.2 Manual drawing of the outline around different benthic species on a photoquadrat from the intermediate zone of Fara cave, with photoQuad image processing software.

Επιπλέον, για την εκτίμηση της μορφολογικής ποικιλότητας των σπόγγων (MD), οι σπόγγοι κάθε φωτογραφικού πλαισίου καταχωρίστηκαν σε 8 μορφότυπους που επιλέχθηκαν με βάση τη σχετική βιβλιογραφία (Boury-Esnault & Rützler 1997, Bell & Barnes 2001, 2002b), τους εξής: συμπαγείς (massive), συμπαγείς-σωληνοειδείς (massive-tubular), δενδροειδείς (arborescent), σφαιρικοί (globular), κρουστώδεις (encrusting), δικτυωτοί (clathrate), διατρητικοί (boring) και έρποντες (repent) (Εικόνα 4.3).

Τέλος, δημιουργήθηκε λίστα (species library) με τα είδη/ομάδες/μορφότυπους που υπήρχαν στο σύνολο των πλαισίων. Κάθε ROI καταχωρήθηκε στο αντίστοιχο είδος/ομάδα/μορφότυπο ώστε να μετατραπεί σε «περιοχή είδους» (species region). Το εμβαδόν για κάθε περιοχή (cm²) και το ποσοστό κάλυψης (%) επί της συνολικής επιφάνειας του πλαισίου (%) υπολογίστηκε αυτόματα από το λογισμικό.



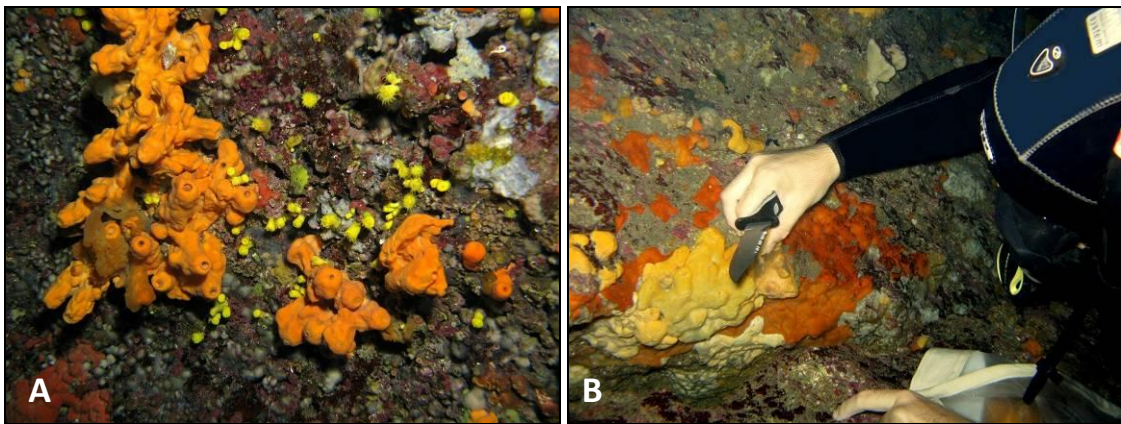
Εικόνα 4.3 Οι σπόγγοι που παρατηρήθηκαν στα φωτογραφικά πλαίσια των υπό μελέτη σπηλαίων καταχωρίστηκαν σε 8 μορφότυπους: Α. συμπαγείς, Β. συμπαγείς-σωληνοειδείς, Γ. δενδροειδείς, Δ. σφαιρικοί. Ε. κρουστώδεις, ΣΤ. δικτυωτοί, Ζ. διατρητικοί και Η. έρποντες.

Figure 4.3 Sponge specimens in the photoquadrats of the surveyed caves were assigned into 8 morphological types: Α. massive, Β. massive-tubular, Γ. arborescent, Δ. globular, Ε. encrusting, ΣΤ. clathrate, Ζ. boring, and Η. repent.

4.2.2. Διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως «μηχανικών οικοσυστήματος»

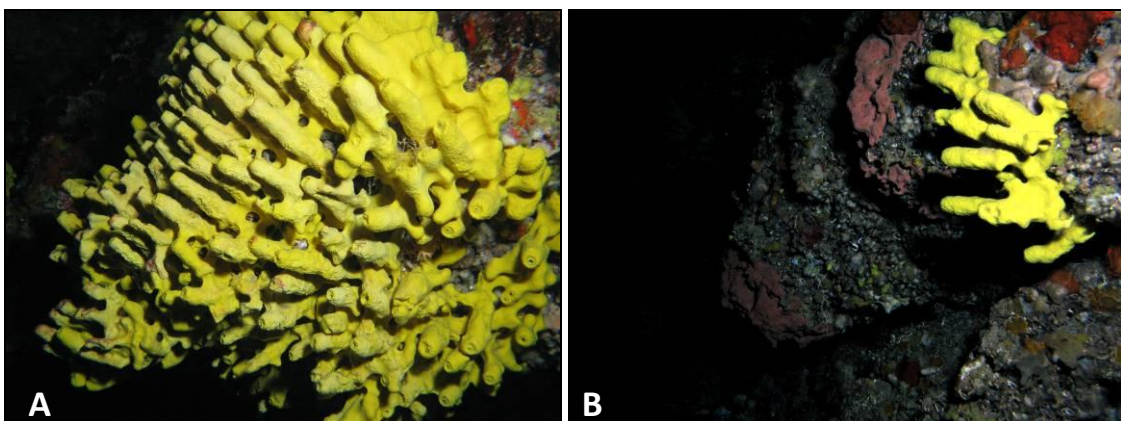
Δειγματοληψία σπόγγων για μελέτη της ενδοπανίδας τους

Για τη διερεύνηση του ρόλου των σπόγγων ως «μηχανικών οικοσυστήματος» στα υπό μελέτη σπήλαια επιλέχθηκαν είδη με συμπαγή ή συμπαγή-σωληνοειδή μορφή και μεγάλο σωματικό μέγεθος, με οριζόντια εξάπλωση σε όλο το μήκος των σπηλαίων. Τα είδη που κάλυπταν τις παραπάνω προϋποθέσεις ήταν το *Agelas oroides* στο σπήλαιο Φ (Εικόνα 4.4) και το *Aplysina aerophoba* στο σπήλαιο AB (Εικόνα 4.5). Προηγούμενες μελέτες σε ρηχούς βραχώδεις βυθούς του Βόρειου Αιγαίου (3-10 m) έχουν δείξει ότι αυτά τα είδη φιλοξενούν πλούσια ενδοπανίδα (Koukouras *et al.* 1985, Voultsiadou-Koukoura *et al.* 1987, Koukouras *et al.* 1992, 1996). Ο ρόλος των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος σε υποθαλάσσια σπήλαια διερευνάται για πρώτη φορά.



Εικόνα 4.4 Ο σπόγγος *Agelas oroides* στην είσοδο του σπηλαίου Φ (A) και δειγματοληψία για τη μελέτη της ενδοπανίδας του με χρήση μαχαιριού και ειδικού σάκου (B).

Figure 4.4 The sponge *Agelas oroides* at the entrance zone of Fara cave (A) and sponge sampling for the study of its associated fauna (B).



Εικόνα 4.5 Σπόγγος *Aplysina aerophoba* στην είσοδο (A) και στο μεσαίο τμήμα του σπηλαίου AB (B).

Figure 4.5 The sponge *Aplysina aerophoba* at the entrance (A) and the middle zone (B) of Agios Vasilius cave.

Στο σπήλαιο Φ συλλέχθηκαν 9 δείγματα *Agelas oroides* από 3 διαφορετικές θέσεις: ζώνη εισόδου, ενδιάμεσο τμήμα και σκοτεινό εσωτερικό τμήμα του σπηλαίου (3 επαναληπτικά δείγματα σε κάθε θέση). Αντίστοιχα, στο σπήλαιο AB συλλέχθηκαν 6 δείγματα *Aplysina aerophoba* από δύο θέσεις: ζώνη εισόδου και ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου (στο εσωτερικό του σπηλαίου υπήρχαν ελάχιστα μικρά άτομα). Οι σπόγγοι φωτογραφήθηκαν και στη συνέχεια, αφού καλύφθηκαν με ειδικούς σάκους, για να μην υπάρχουν απώλειες, αποσπάστηκαν με μαχαίρι (Εικόνα 4.4B). Οι σάκοι ήταν από δίχτυ ανοίγματος ματιού 0,5 mm και διαστάσεων 40 x 40 cm. Όλα τα δείγματα συντηρήθηκαν σε διάλυμα φορμαλδεΐδης 10%.

Διαλογή των δειγμάτων και ταξινομικός προσδιορισμός της ενδοπανίδας

Στο εργαστήριο, τα δείγματα των σπόγγων αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τους σάκους φύλαξης και πλύθηκαν σχολαστικά με νερό για την απομάκρυνση της σχετικής πανίδας σε κόσκινο διαμέτρου ανοίγματος 0,5 mm. Στη συνέχεια, τα δείγματα ογκομετρήθηκαν μέσω της ποσότητας του εκτοπιζόμενου νερού και τεμαχίστηκαν σε μικρά κομμάτια, κατά μήκος των καναλιών και των κοιλοτήτων τους, για τη συλλογή της ενδοπανίδας (Εικόνα 4.6 & 4.7). Το εκτοπιζόμενο νερό κοσκινίστηκε και τα κομμάτια των σπόγγων πλύθηκαν στο κόσκινο για τη συλλογή των συμβιωτικών οργανισμών.

Ακολούθησε διαλογή (sorting) της πανίδας σε κύριες ταξινομικές ομάδες. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο ταξινομικός προσδιορισμός των συμβιωτικών οργανισμών στο κατώτερο ταξινομικό επίπεδο, σε στερεοσκόπιο και μικροσκόπιο, με τη βοήθεια των κατάλληλων επιστημονικών συγγραμμάτων για κάθε ομάδα (π.χ. Fauvel 1923, 1927, Day 1967a-b, Fauchald 1977, Bellan-Santini *et al.* 1982, 1989, 1993) και η καταμέτρηση της αφθονίας (αριθμός ατόμων) για κάθε είδος ανά δείγμα.

Επειδή τα επαναληπτικά δείγματα σπόγγων είχαν διαφορετικό όγκο, έγινε εκτίμηση της πυκνότητας των ατόμων κάθε είδους ανά κυβικό εκατοστό (cm^3) σπόγγου ώστε να μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις.



Εικόνα 4.6 Δείγμα σπόγγου *Agelas oroides* με συμπαγή-σωληνοειδή μορφή από την είσοδο του Φ (A) και κομμάτια σπόγγου μετά τον τεμαχισμό κατά μήκος των σωλήνων και κοιλοτήτων του για διαλογή της ενδοπανίδας (B).

Figure 4.6 *Agelas oroides* with massive-tubular form from the entrance of Fara cave (A) and cutting up of the sponge along its tubes and cavities during infaunal sorting (B).



Εικόνα 4.7 Τεμαχισμένο δείγμα σπόγγου *Aplysina aerophoba* με συμπαγή-σωληνοειδή μορφή από την είσοδο του AB (A) και εγκάρσια τεμαχισμένοι σωλήνες για τη διαλογή της ενδοπανίδας (B).

Figure 4.7 Cutting up of *Aplysina aerophoba* samples with massive-tubular form from the entrance of Agios Vasilios cave (A) and cut tubes of the sponge during infaunal sorting (B).

4.2.3. Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά PRIMER-E v6 (Clarke & Gorley 2006), συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής PERMANOVA+ (Anderson *et al.* 2008) και το λογισμικό IBM SPSS Statistics 21.

Δεδομένα βιοτικής κάλυψης επιφάνειας

Τα δεδομένα κάλυψης επιφάνειας των ειδών στα φωτογραφικά πλαίσια των δύο σπηλαίων χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση 3 δεικτών ποικιλότητας: (α) πλούτος ειδών (S), (β) δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') και (γ) δείκτης ομοιομορφίας κατανομής των ειδών (J') που είναι γνωστός και ως δείκτης Pielou. Οι παραπάνω δείκτες υπολογίστηκαν για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας των φωτογραφικών πλαισίων και ξεχωριστά για τη σπογγοπανίδα. Για τους σπόγγους που, όπως αναφέρθηκε, αποτελούσαν την επικρατέστερη ομάδα από πλευράς αριθμού ειδών και κάλυψης στο μεγαλύτερο τμήμα των σπηλαίων, υπολογίστηκαν επιπλέον η μορφολογική (MD) και η ταξινομική ποικιλότητα (PD). Η MD των σπόγγων υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης του δείκτη Shannon-Wiener, όπου αντί για είδη λήφθηκαν υπόψη οι μορφότυποι (Maldonado & Young 1996). Για την εκτίμηση της PD, η οποία αντανάκλα τη φυλογενετική ποικιλότητα (Clarke & Warwick 1999), χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ταξινομικής διακριτότητας (Δ^*) (Warwick & Clarke 1995, Clarke & Warwick 1998).

Για τη διερεύνηση της χωρικής μεταβλητότητας των παραπάνω δεικτών ποικιλότητας σε κάθε σπήλαιο, εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης ως προς δύο παράγοντες (two-way ANOVA). Εξετάστηκαν δύο «τοπογραφικοί» παράγοντες: (α) η απόσταση από την είσοδο του σπηλαίου (Di) με 8 προκαθορισμένα (fixed) επίπεδα για το σπήλαιο Φ (Εξωτερικό/Out, 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 m) και 5 προκαθορισμένα επίπεδα για το σπήλαιο AB (0, 5, 10, 15 και 20 m) και (β) η θέση εντός του σπηλαίου (Po), με 3 προκαθορισμένα επίπεδα (C: οροφή, L: αριστερός τοίχος και R: δεξιός τοίχος) και για τα δύο σπήλαια. Συνεπώς, ο δειγματοληπτικός σχεδιασμός ήταν «ισόρροπος» (balanced design) με 3 επαναληπτικά δείγματα για κάθε επίπεδο των παραπάνω παραγόντων και «διασταυρωμένος» (crossed design) από τη στιγμή που σε κάθε επίπεδο του

παράγοντα D_i αντιστοιχούσαν όλα τα επίπεδα του παράγοντα P_0 και αντίστροφα (Anderson *et al.* 2008). Στις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε σημαντική μεταβλητότητα των δεικτών ποικιλότητας σε σχέση με τους παραπάνω παράγοντες έγιναν εκ των υστέρων πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων όρων ανά ζεύγη με το κριτήριο Tukey (Tukey's range Post-hoc test).

Πριν την εφαρμογή της ANOVA, ελέγχτηκε η κανονικότητα και ομοσκεδαστικότητα των τιμών των δεικτών ποικιλότητας με τις δοκιμασίες Kolmogorov-Smirnov και Levene's test αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις που δεν πληρούνταν οι δύο παραπάνω προϋποθέσεις έγιναν κατάλληλοι μετασχηματισμοί των δεδομένων.

Για τη διερεύνηση της πιθανής σχέσης της MD των σπόγγων με τον πλούτο ειδών και την ποικιλότητα Shannon-Wiener υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Spearman (r_s) ως μη-παραμετρικό μέτρο της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών.

Τα πρότυπα ομαδοποίησης των φωτογραφικών πλαισίων σε κάθε σπήλαιο διερευνήθηκαν με τη μέθοδο της πολυδιάστατης χωρικής ταξινόμησης (MDS). Για αυτόν το σκοπό, τα δεδομένα κάλυψης των ειδών για κάθε σπήλαιο αρχικά μετασχηματίστηκαν με διπλή τετραγωνική ρίζα και δημιουργήθηκε τριγωνικός πίνακας ομοιότητας με βάση τον δείκτη Bray-Curtis (Clarke & Gorley 2006). Για τη διερεύνηση της πιθανής επίδρασης της απόστασης (D_i) από την είσοδο, της θέσης (P_0) αλλά και της συνδυαστικής επίδρασης των δυο αυτών παραγόντων στα πρότυπα ομοιότητας, εφαρμόστηκε η δοκιμασία PERMANOVA ως προς δύο παράγοντες (two-way), με το σχεδιασμό που περιγράφηκε παραπάνω για την ANOVA, λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες των Anderson *et al.* (2008). Οι αναλύσεις αυτές εφαρμόστηκαν για το σύνολο των φυτικών και ζωικών οργανισμών αλλά και για τους σπόγγους ξεχωριστά και η πιθανή συσχέτιση των τριγωνικών πινάκων ομοιότητας που προέκυψαν σε κάθε περίπτωση υπολογίστηκε βάσει του συντελεστή του Spearman, με την εφαρμογή RELATE. Τέλος, η συνεισφορά των διαφορετικών τάξεων στη διαμόρφωση της ανομοιότητας, βάσει του δείκτη Bray-Curtis, μεταξύ των ομάδων που προέκυψαν από την MDS, διερευνήθηκε με την ανάλυση SIMPER (SIMilarity PERcentages), ως προς δύο παράγοντες (two-way crossed) (Clarke & Warwick 1994).

Η απεικόνιση των προτύπων οικολογικής διαβάθμισης που προέκυψαν για τα δύο σπήλαια έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού *cavetopo* που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.

Δεδομένα αφθονίας συμβιωτών σπόγγων

Τα δεδομένα αφθονίας συμβιωτών ανά cm^3 στα δείγματα των σπόγγων *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση 3 δεικτών ποικιλότητας: (α) πλούτος ειδών (S), (β) δείκτης ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') και (γ) δείκτης ομοιομορφίας κατανομής των ειδών (J'). Για τη διερεύνηση της μεταβλητότητας των παραπάνω δεικτών ανάμεσα στα δείγματα της εισόδου, του ενδιάμεσου και του εσωτερικού τμήματος των δύο σπηλαίων εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA). Πριν την εφαρμογή της ANOVA, ελέγχτηκε η κανονικότητα και ομοσκεδαστικότητα των τιμών των δεικτών ποικιλότητας με τις δοκιμασίες Kolmogorov-Smirnov και Levene's test αντίστοιχα και στις περιπτώσεις που δεν πληρούνταν οι παραπάνω προϋποθέσεις έγιναν μετασχηματισμοί των δεδομένων. Τέλος, για την αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ του όγκου των σπόγγων και της αφθονίας των συμβιωτών τους, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Spearman.

4.3. Αποτελέσματα

4.3.1. Χλωριδική και πανιδική σύνθεση βενθικών βιοκοινοτήτων

Η ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων σε συνδυασμό με την ταυτοποίηση των ποιοτικών δειγμάτων από τα δύο σπήλαια, έφεραν στο φως 84 τάξα από 9 ανώτερες ταξινομικές ομάδες (Πίνακας 4.1). Από αυτά, 75 προσδιορίστηκαν σε επίπεδο είδους ή γένους, ενώ τα υπόλοιπα τοποθετήθηκαν σε ανώτερα τάξα στις κατηγορίες της οικογένειας (Serpulidae και Vermetidae), της τάξης (Ostreoida), της κλάσης (Hydrozoa), του φύλου (other Brachiopoda) και σε 4 ταξινομικές ομάδες με κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά, δηλαδή νηματοειδή μακροφύκη που σχηματίζουν τάπητα (Turf-forming algae), κρουστώδη ενασβεστωμένα ροδοφύκη (Encrusting calcareous Rhodophyta), μη ενασβεστωμένα βρυόζωα (Non-calcified Bryozoa) και κρουστώδη βρυόζωα (Encrusting Bryozoa). Ποιοτικά δείγματα από τις 3 τελευταίες ομάδες έδειξαν ότι αυτές συγκροτούνται κατά βάση από τα είδη *Peyssonnelia rosa-marina* και *Mesophyllum* sp. (Encrusting calcareous Rhodophyta), βρυόζωα των γενών *Bugula* και *Crisia* (Non-calcified Bryozoa), *Hippaliosina depressa* και *Onychocella marioni* (Encrusting Bryozoa).

Η ανώτερη ταξινομική ομάδα με τα περισσότερα τάξα ήταν τα Porifera (50) ενώ ακολουθούσαν τα Bryozoa (8) και τα Cnidaria (8) (Πίνακας 4.2). Στο σπήλαιο Φ βρέθηκαν 72 τάξα και στο AB 64. Συνολικά, 52 τάξα καταγράφηκαν και στα δύο σπήλαια ενώ τα υπόλοιπα 32 μόνο σε ένα από τα δύο (Φ: 20 και AB: 12). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα χλωροφύκη *Codium bursa* και *Flabellia petiolata* βρέθηκαν μόνο σε πλαίσια από την εξωτερική ζώνη του σπηλαίου Φ.

4.3.2. Βιοτική κάλυψη υποστρώματος – χωρικά πρότυπα

Η συνολική κάλυψη από ζωντανούς οργανισμούς (βιοτική κάλυψη) μειωνόταν από το 100% στο εξωτερικό τμήμα και στην είσοδο των σπηλαίων προς το εσωτερικό (Εικόνες 4.8 και 4.9). Στο Φ, μικρότερο ποσοστό βιοτικής κάλυψης παρατηρήθηκε στο σταθμό 25C (10.9%) και στο AB στον 20L (10%). Και στα δύο σπήλαια, έως τα 15 m, το τμήμα του υποστρώματος που δεν καλυπτόταν από ζωντανούς οργανισμούς ήταν κατά βάση βιογενούς προέλευσης (νεκρά ασβεστιτικά μέρη ροδοφυκών, ανθόζωνων, πολύχαιτων και βρυοζώνων) ενώ από τα 20 m και πέρα παρατηρήθηκε γυμνό βραχώδες υπόστρωμα. Ωστόσο, ενώ στο Φ το γυμνό βραχώδες υπόστρωμα καλυπτόταν από ένα μαύρο επίχρισμα οξειδίων Fe και Mn, στο AB η παρουσία του επιχρίσματος αυτού περιοριζόταν σε κάποιες σκοτεινές μικρο-κοιλότητες της οροφής, σε απόσταση 10-15 m από την είσοδο. Τέλος, σε κάποια σημεία των τοίχων των σπηλαίων, το υπόστρωμα καλυπτόταν από ένα στρώμα ιζήματος, εξαιτίας της τοπικά μεγαλύτερης ιζηματοπόθεσης (Φ: 5L και 10L, AB: 10R και 10R).

Πίνακας 4.1 Τάξα που βρέθηκαν στα υπό μελέτη σπήλαια (Φ: Φαρά, AB: Άγιος Βασίλειος).

Table 4.1 Taxa recorded in the surveyed caves (Φ: Fara cave; AB: Agios Vasilios cave).

Macroalgae	<i>Plakina trilopha</i> Schulze, 1880 ^{AB}
<i>Codium bursa</i> (Olivi) C.Agardh ^Φ	<i>Plakina</i> sp. ^Φ
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin ^Φ	<i>Pleraplysilla spinifera</i> (Schulze, 1879) ^{Φ, AB}
<i>Palmophyllum crassum</i> (Naccari) Rabenhorst ^{Φ, AB}	<i>Pseudocorticium jarrei</i> Boury-Esnault <i>et al.</i> , 1995 ^{Φ, AB}
Encrusting Calcareous Rhodophyta ^{Φ, AB}	<i>Raspaciona aculeata</i> (Johnston, 1842) ^{Φ, AB}
Turf-forming algae ^{Φ, AB}	<i>Sarcotragus foetidus</i> Schmidt, 1862 ^{AB}
Foraminifera	<i>Spirastrella cunctatrix</i> Schmidt, 1868 ^{Φ, AB}
<i>Miniacina miniacea</i> (Pallas, 1766) ^Φ	<i>Spongia</i> (<i>Spongia</i>) <i>virgultosa</i> (Schmidt, 1868) ^Φ
Porifera	<i>Terpios gelatinosa</i> (Bowerbank, 1866) ^{Φ, AB}
<i>Aaptos aaptos</i> (Schmidt, 1864) ^{Φ, AB}	<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766) ^Φ
<i>Acanthella acuta</i> Schmidt, 1862 ^Φ	<i>Thymosiopsis cuticulatus</i> Vacelet & Pérez, 1998 ^Φ
<i>Agelas oroides</i> (Schmidt, 1864) ^{Φ, AB}	<i>Timea unistellata</i> (Topsent, 1892) ^{Φ, AB}
<i>Aplysilla rosea</i> (Barrois, 1876) ^{Φ, AB}	Cnidaria
<i>Aplysina aerophoba</i> Nardo, 1833 ^{AB}	Hydrozoa spp. ^{Φ, AB}
<i>Axinella cannabina</i> (Esper, 1794) ^Φ	<i>Caryophyllia</i> (<i>Caryophyllia</i>) <i>inornata</i> (Duncan, 1878) ^{Φ, AB}
<i>Axinella damicornis</i> (Esper, 1794) ^{Φ, AB}	<i>Ceratotrochus magnaghii</i> Cecchini, 1914 ^{Φ, AB}
<i>Axinella verrucosa</i> (Esper, 1794) ^Φ	<i>Hoplangia durotrix</i> Gosse, 1860 ^{Φ, AB}
<i>Clathrina clathrus</i> (Schmidt, 1864) ^{Φ, AB}	<i>Leptopsammia pruvoti</i> Lacaze-Duthiers, 1897 ^{Φ, AB}
<i>Cliona celata</i> Grant, 1826 ^Φ	<i>Madracis pharensis</i> (Heller, 1868) ^{Φ, AB}
<i>Cliona schmidti</i> (Ridley, 1881) ^{Φ, AB}	<i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842) ^Φ
<i>Cliona viridis</i> (Schmidt, 1862) ^{Φ, AB}	<i>Phyllangia americana mouchezii</i> (Lacaze-Duthiers, 1897) ^{Φ, AB}
<i>Crella</i> sp. ^{AB}	Polychaeta
<i>Dendroxea lenis</i> (Topsent, 1892) ^{Φ, AB}	Serpulidae ^{Φ, AB}
<i>Dictyonella incisa</i> (Schmidt, 1880) ^{Φ, AB}	Mollusca
<i>Diplastrella bistellata</i> (Schmidt, 1862) ^Φ	<i>Bryopa melitensis</i> (Broderip, 1834) ^{Φ, AB}
<i>Dysidea fragilis</i> (Montagu, 1818) ^Φ	<i>Rocellaria dubia</i> (Pennant, 1777) ^{Φ, AB}
<i>Penares euastrum</i> (Schmidt, 1868) ^{Φ, AB}	<i>Lithophaga lithophaga</i> (Linnaeus, 1758) ^{AB}
<i>Eurypon clavatum</i> (Bowerbank, 1866) ^{Φ, AB}	Ostreoida sp. ^{Φ, AB}
<i>Eurypon</i> sp.1 ^{Φ, AB}	Vermetidae ^{AB}
<i>Fasciospongia cavernosa</i> (Schmidt, 1862) ^{Φ, AB}	Brachiopoda
<i>Haliclona</i> (<i>Halichoelona</i>) <i>fulva</i> (Topsent, 1893) ^{Φ, AB}	<i>Novocrania anomala</i> (Müller, 1776) ^{Φ, AB}
<i>Haliclona</i> (<i>Reniera</i>) <i>mediterranea</i> Griessinger, 1971 ^{Φ, AB}	Other Brachiopoda ^{Φ, AB}
<i>Haliclona</i> (<i>Soestella</i>) <i>mucosa</i> (Griessinger, 1971) ^{Φ, AB}	Bryozoa
<i>Hexadella pruvoti</i> Topsent, 1896 ^{Φ, AB}	<i>Adeonella pallasii</i> (Heller, 1867) ^{Φ, AB}
<i>Hexadella racovitzae</i> Topsent, 1896 ^{Φ, AB}	Non-calcified Bryozoa ^{Φ, AB}
<i>Hexadella</i> sp. ^{Φ, AB}	Encrusting Bryozoa ^{Φ, AB}
<i>Ircinia oros</i> (Schmidt, 1864) ^Φ	<i>Fron dipora verrucosa</i> (Lamouroux, 1821) ^{AB}
<i>Ircinia paucifilamentosa</i> Vacelet, 1961 ^{Φ, AB}	<i>Rhynchozoon neapolitanum</i> Gautier, 1962 ^{Φ, AB}
<i>Ircinia variabilis</i> (Schmidt, 1862) ^Φ	<i>Schizomavella</i> sp. ^{AB}
<i>Jaspis johnstonii</i> (Schmidt, 1862) ^Φ	<i>Reteporella</i> sp. ^{AB}
<i>Myrmekioderma spelaum</i> (Pulitzer-Finali, 1983) ^Φ	<i>Turbicellepora coronopus</i> (Wood, 1844) ^{Φ, AB}
<i>Oscarella balibalo</i> Pérez <i>et al.</i> , 2011 ^{Φ, AB}	Tunicata
<i>Oscarella microlobata</i> Muricy <i>et al.</i> , 1996 ^{Φ, AB}	<i>Halocynthia papillosa</i> (Linnaeus, 1767) ^{AB}
<i>Oscarella tuberculata</i> (Schmidt, 1868) ^{Φ, AB}	<i>Microcosmus</i> sp. ^Φ
<i>Petrosia</i> (<i>Petrosia</i>) <i>ficiformis</i> (Poiret, 1789) ^{Φ, AB}	Tunicata sp.1 ^{AB}
<i>Phorbas tenacior</i> (Topsent, 1925) ^{Φ, AB}	Tunicata sp.2 ^{AB}
<i>Plakina bowerbanki</i> (Sarà, 1960) ^{Φ, AB}	

Πίνακας 4.2 Αριθμός τάξεων ανά ανώτερη ταξινομική ομάδα στα δύο σπήλαια.

Table 4.2 Number of taxa per taxonomic group in the surveyed caves.

Ανώτερες ομάδες	Σύνολο	Σπήλαιο Φ	Σπήλαιο AB	Αποκλειστικά σπηλαίου Φ	Αποκλειστικά σπηλαίου AB	Κοινά
Macroalgae	5	5	3	2	-	3
Foraminifera	1	1	1	-	-	1
Porifera	50	46	34	16	4	30
Cnidaria	8	8	7	1	-	7
Polychaeta	1	1	1	-	-	1
Mollusca	5	3	5	-	2	3
Brachiopoda	2	2	2	-	-	2
Bryozoa	8	5	8	-	3	5
Tunicata	4	1	3	1	3	-
Σύνολο	84	72	64	20	12	52

Από την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων προέκυψε ότι οι σπόγγοι ήταν η ομάδα με το μεγαλύτερο ποσοστό επί του συνόλου της βιοτικής κάλυψης. Ακολουθούσαν τα μακροφύκη, τα κνιδόζωα (κυρίως ανθόζωα), οι πολύχαιτοι και τα βρυόζωα και στα δύο σπήλαια (Εικόνα 4.10). Ωστόσο, το ποσοστό κάλυψης για κάθε ομάδα διέφερε ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις από την είσοδο αλλά και στις διαφορετικές θέσεις (οροφή και τοίχοι) των δύο σπηλαίων (Εικόνες 4.11 και 4.12).

Επικρατέστερα τάξα

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα τάξα με το μεγαλύτερο ποσοστό βιοτικής κάλυψης καθώς και η εξάπλωσή τους κατά μήκος των σπηλαίων. Τα κρουστώδη ροδοφύκη (Encrusting calcareous Rhodophyta), που εμφάνιζαν το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης και στα δύο σπήλαια, παρατηρήθηκαν μόνο στα πρώτα 5 m του σπηλαίου Φ και στα πρώτα 15 m του σπηλαίου AB. Το ανθόζωο *Madracis pharensis* και οι πολύχαιτοι Serpulidae ήταν τα επικρατέστερα τάξα μετά τα ροδοφύκη, με εξάπλωση σε όλο το μήκος των σπηλαίων. Οι σπόγγοι *Spirastrella cunctatrix*, *Dendroxea lenis* και *Hexadella prunoti* είχαν σημαντική κάλυψη και στα δύο σπήλαια. Ωστόσο, κάποια είδη με μεγάλη κάλυψη σε ένα σπήλαιο καταλάμβαναν μικρότερη επιφάνεια στο άλλο (π.χ. *Agelas oroides*, *Plakina bowerbankii*, *Hexadella racovitzai*, *Timea unistellata*, *Oscarella tuberculata*) ή απουσίαζαν εντελώς (π.χ. *Diplastrella bistellata*, *Acanthella acuta*, *Aplysina aerophoba*). Επίσης, στο σπήλαιο Φ ο σπόγγος *S. cunctatrix* εξαπλωνόταν μέχρι το μέσο του σπηλαίου και στη συνέχεια τον αντικαθιστούσε μέχρι το εσωτερικό το είδος *D. bistellata* που ανήκει στην ίδια οικογένεια (Spirastrellidae).

Μακροφύκη

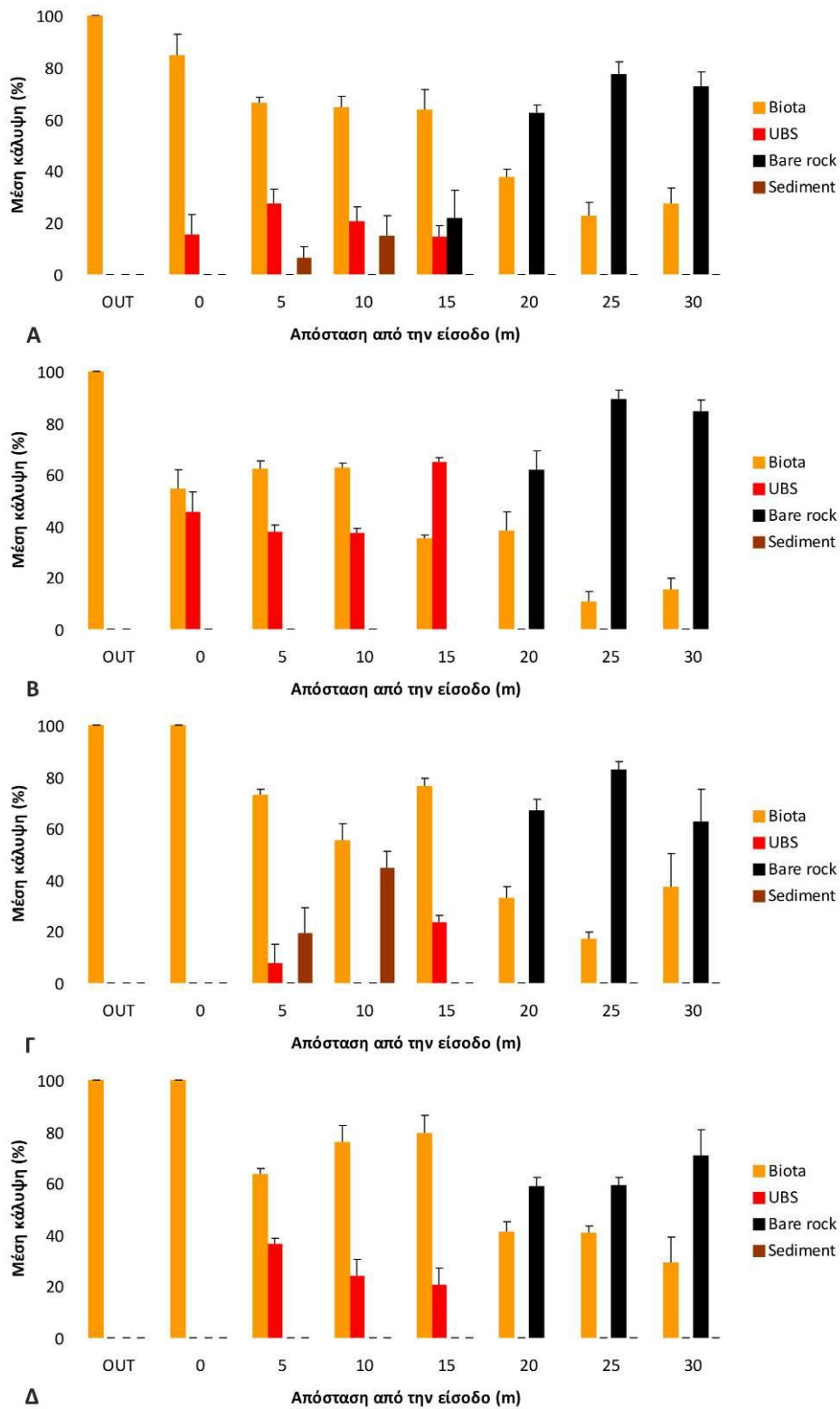
Τα μακροφύκη παρουσίαζαν μεγαλύτερη κάλυψη στο εξωτερικό και στην είσοδο των δύο σπηλαίων (Εικόνες 4.11 και 4.12) ενώ μειώνονταν προς το εσωτερικό και εξαφανίζονταν, προφανώς λόγω της έλλειψης φωτισμού. Έτσι, στο σπήλαιο Φ τα μακροφύκη εξαφανίζονταν μετά τα 5 m ενώ στο AB διείσδυαν μέχρι τους τοίχους που απείχαν 15 m από την είσοδο. Ωστόσο, στην οροφή του AB, τα μακροφύκη διείσδυαν μόνο μέχρι τα 5 m από την είσοδο. Τέλος, η κάλυψη των μακροφυκών στην είσοδο του AB ήταν μικρότερη σε σχέση με την

είσοδο του Φ ενώ και στα δύο σπήλαια το ποσοστό κάλυψης στην οροφή ήταν πάντα πολύ μικρότερο από αυτό των αντίστοιχων κατακόρυφων τοίχων.

Πίνακας 4.3 Τάξα με το μεγαλύτερο ποσοστό μέσης βιοτικής κάλυψης και η εξάπλωσή τους κατά μήκος των σπηλαίων (OUT: εξωτερική ζώνη σπηλαίου, 0-30: απόσταση από την είσοδο σε m).

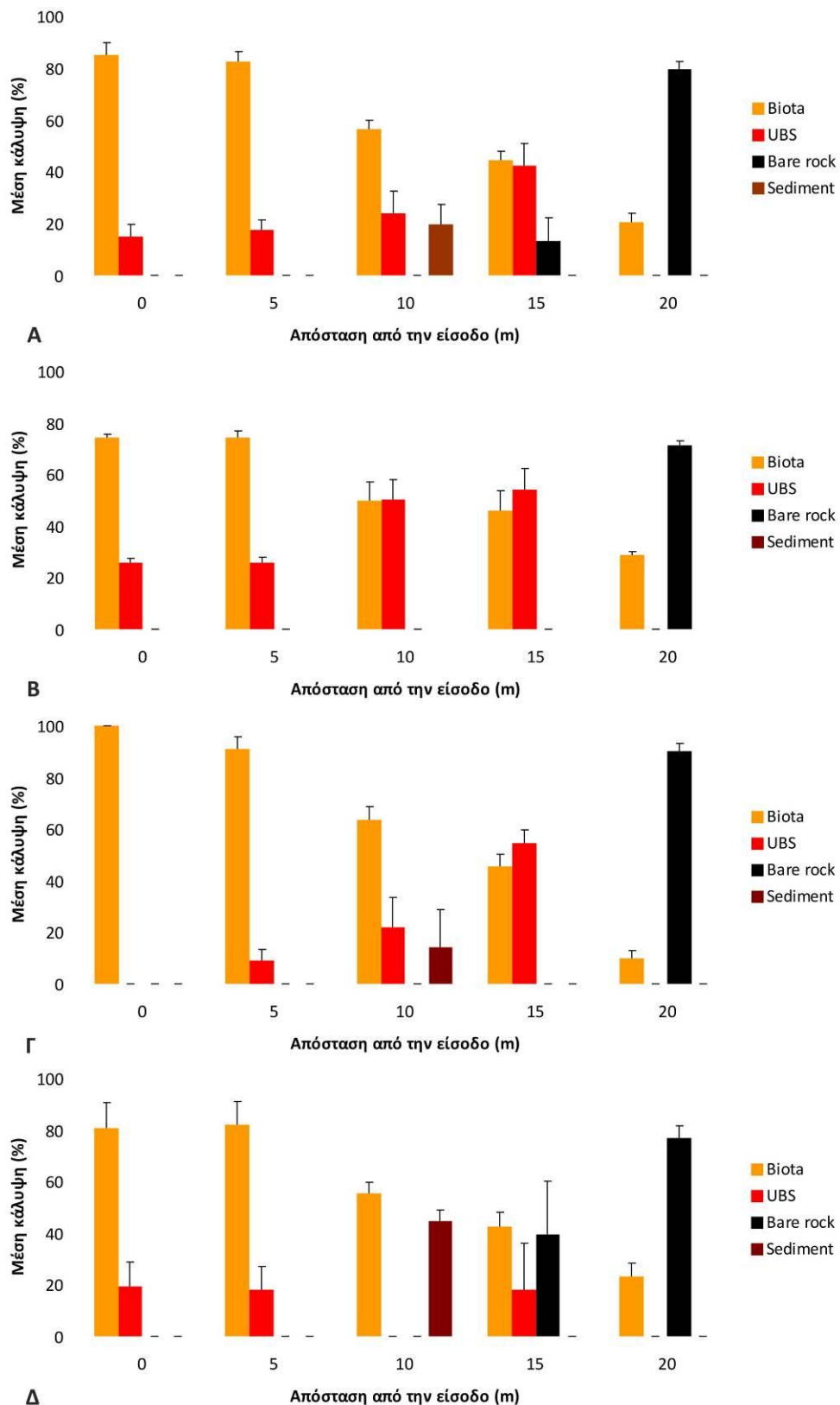
Table 4.3 Dominant taxa in terms of average percent biotic coverage and their distribution across the surveyed caves (OUT: outer zone, 0-30: distance from entrance in meters).

Σπήλαιο Φ (n = 72)		
Τάξα	Ποσοστό μέσης κάλυψης (%)	Εξάπλωση (m)
Encrusting Calcareous Rhodophyta	28,5	OUT-5
<i>Madracis pharensis</i>	12,4	OUT-30
Serpulidae	9,4	OUT-30
<i>Dendroxea lenis</i>	7,4	0-30
<i>Spirastrella cunctatrix</i>	6,5	OUT-15
<i>Agelas oroides</i>	5,9	OUT-20
<i>Phorbas tenacior</i>	5,7	OUT-15
Encrusting Bryozoa	4	0-30
Turf-forming algae	2,5	OUT-5
<i>Diplastrella bistellata</i>	2,4	15-30
<i>Hexadella pruvoti</i>	1,8	OUT-30
<i>Ircinia paucifilamentosa</i>	1	15-25
<i>Penares euastrum</i>	1	5-15
<i>Palmophyllum crassum</i>	1	OUT-5
<i>Acanthella acuta</i>	0,7	OUT-10
<i>Haliclona (Soestella) mucosa</i>	0,7	OUT-30
<i>Plakina bowerbankii</i>	0,7	20-30
Σπήλαιο AB (n = 45)		
Encrusting Calcareous Rhodophyta	24,7	0-15
Serpulidae	9,1	0-20
<i>Madracis pharensis</i>	9	0-20
<i>Spirastrella cunctatrix</i>	6,5	0-10
<i>Plakina bowerbankii</i>	6,3	0-20
<i>Dendroxea lenis</i>	5,6	0-15
<i>Hexadella racovitzai</i>	4,8	0-15
<i>Hexadella pruvoti</i>	3	0-15
<i>Aplysina aerophoba</i>	2,9	0-15
Turf-forming algae	2,8	0-10
<i>Oscarella tuberculata</i>	2,7	0-15
<i>Timea unistellata</i>	2,7	0-20
<i>Eurypon</i> sp.1	2,4	0-20
Encrusting Bryozoa	2,3	0-20
<i>Hoplania durotrix</i>	2,2	0-20



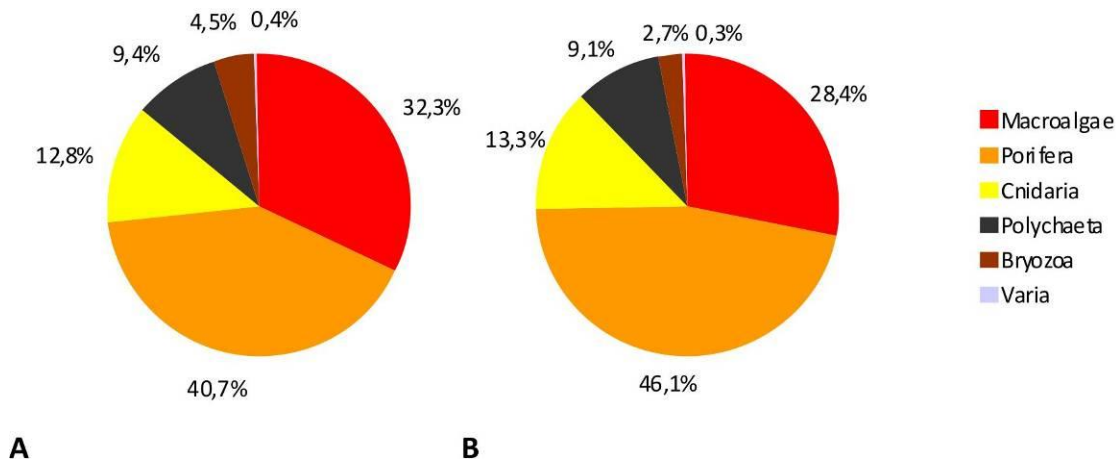
Εικόνα 4.8 Μέση κάλυψη κατά μήκος του σπηλαιού Φ, από ζωντανούς οργανισμούς (Biota), βιογενές υπόστρωμα (UBS), γυμνό βραχώδες υπόστρωμα (Bare rock) και ίζημα (Sediment) (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος). Απεικονίζεται το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου των πλαισίων.

Figure 4.8 Mean percent coverage across F cave (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall, UBS: Unidentified biogenic substrate). Standard error of mean is presented in error bars.



Εικόνα 4.9 Μέση κάλυψη κατά μήκος του σπηλαιίου AB, από ζωντανούς οργανισμούς (Biota), βιογενές υπόστρωμα (UBS), γυμνό βραχώδες υπόστρωμα (Bare rock) και ίζημα (Sediment) (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος). Απεικονίζεται το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου των πλαισίων.

Figure 4.9 Mean percent coverage across AB cave (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall; UBS: Unidentified biogenic substrate). Standard error of mean is presented in error bars.



Εικόνα 4.10 Μέση κάλυψη ανά ταξινομική ομάδα επί του συνόλου της βιοτικής επιφάνειας (A) στο σπήλαιο Φ και (B) στο AB. Στην ομάδα Varia συμπεριλαμβάνονται οι ταξινομικές ομάδες Foraminifera, Mollusca, Brachiopoda και Tunicata που είχαν πολύ μικρή συμμετοχή.

Figure 4.10 Mean percent biotic coverage per taxonomic group for caves F (A) and AB (B). The group Varia includes Foraminifera, Mollusca, Brachiopoda and Tunicata.

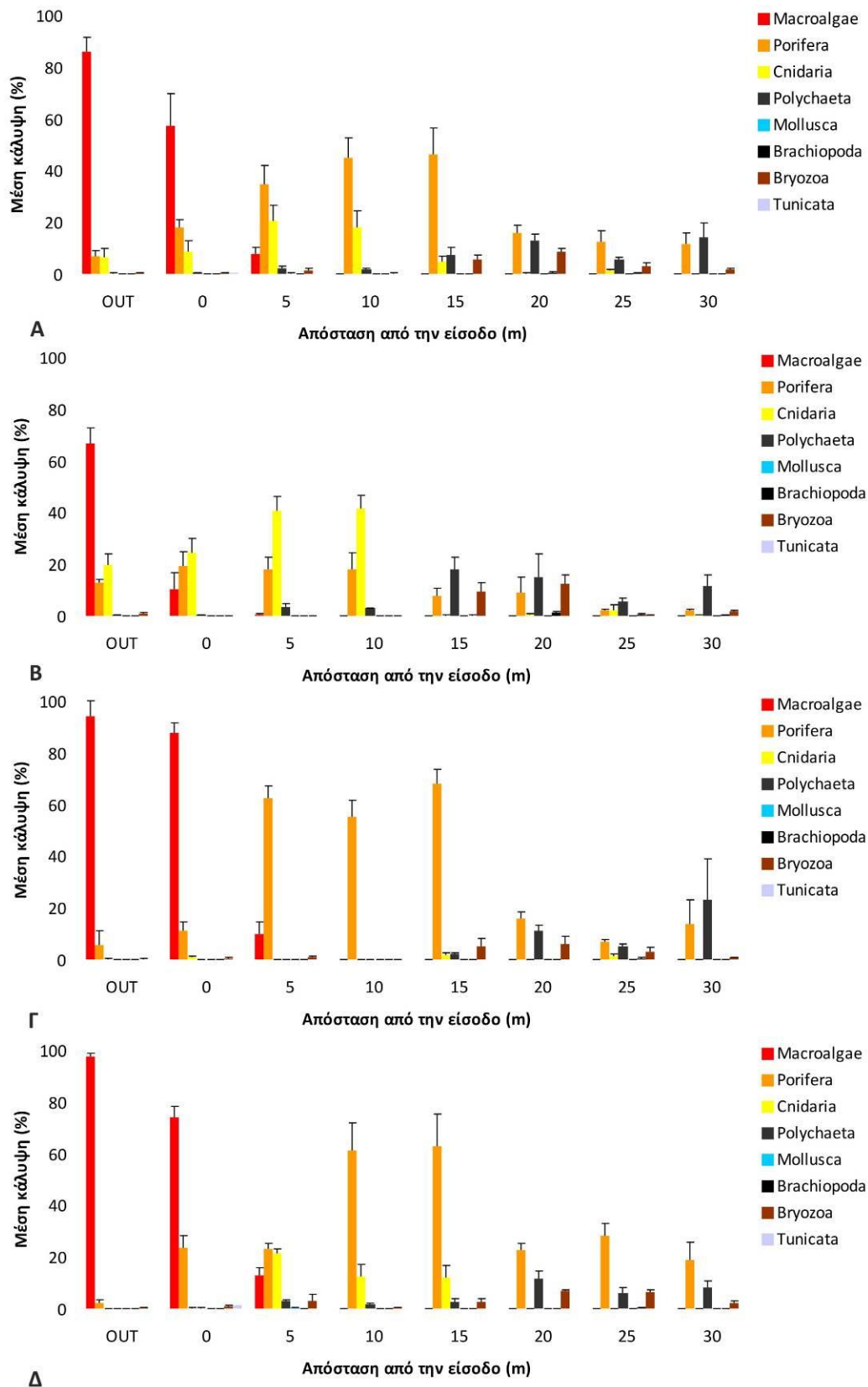
Σπόγγοι

Στους κατακόρυφους τοίχους του εξωτερικού και της εισόδου των σπηλαίων, οι σπόγγοι ήταν η δεύτερη κυρίαρχη ομάδα μετά τα μακροφύκη (Εικόνες 4.11 και 4.12). Το ποσοστό κάλυψης των σπόγγων στην είσοδο του AB ήταν ως και 3 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό της εισόδου του Φ (π.χ. Φ-0L: 10,9% και AB-0L:30,5%), όμως στην οροφή της εισόδου του Φ, αναπτύσσονταν φάσεις του ανθόζωου *Madracis pharensis*, καθιστώντας τοπικά κυρίαρχη ομάδα τα κνιδόζωα (24%), τα οποία εδώ ακολουθούνταν από τους σπόγγους (19,2%) και τα μακροφύκη (10,3%). Αντίθετα, στην οροφή της εισόδου του AB, οι σπόγγοι παρουσίαζαν μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης (38,2%) σε σχέση με τα κνιδόζωα (19,8%).

Οι σπόγγοι ήταν η κυρίαρχη ομάδα στους κατακόρυφους τοίχους του μεγαλύτερου τμήματος και των δύο σπηλαίων, με εξαίρεση το σταθμό 30L στο Φ και τη ζώνη των 20 m του AB, όπου κυριαρχούσαν οι πολύχαιτοι. Μεγαλύτερη κάλυψη σπόγγων παρατηρήθηκε στα ενδιάμεσα τμήματα και των δύο σπηλαίων (Φ: 67,8% στον σταθμό 15L, AB: 46,8% στον σταθμό 10L). Γενικά, η κάλυψη των σπόγγων στους τοίχους του μεσαίου τμήματος του Φ ήταν πολύ μεγαλύτερη (σχεδόν διπλάσια σε κάποιες περιπτώσεις) σε σχέση με τους αντίστοιχους σταθμούς του AB, ενώ στο σκοτεινό εσωτερικό και των δύο σπηλαίων (Φ: 20-30 m και AB: 20 m) μειωνόταν κατά πολύ.

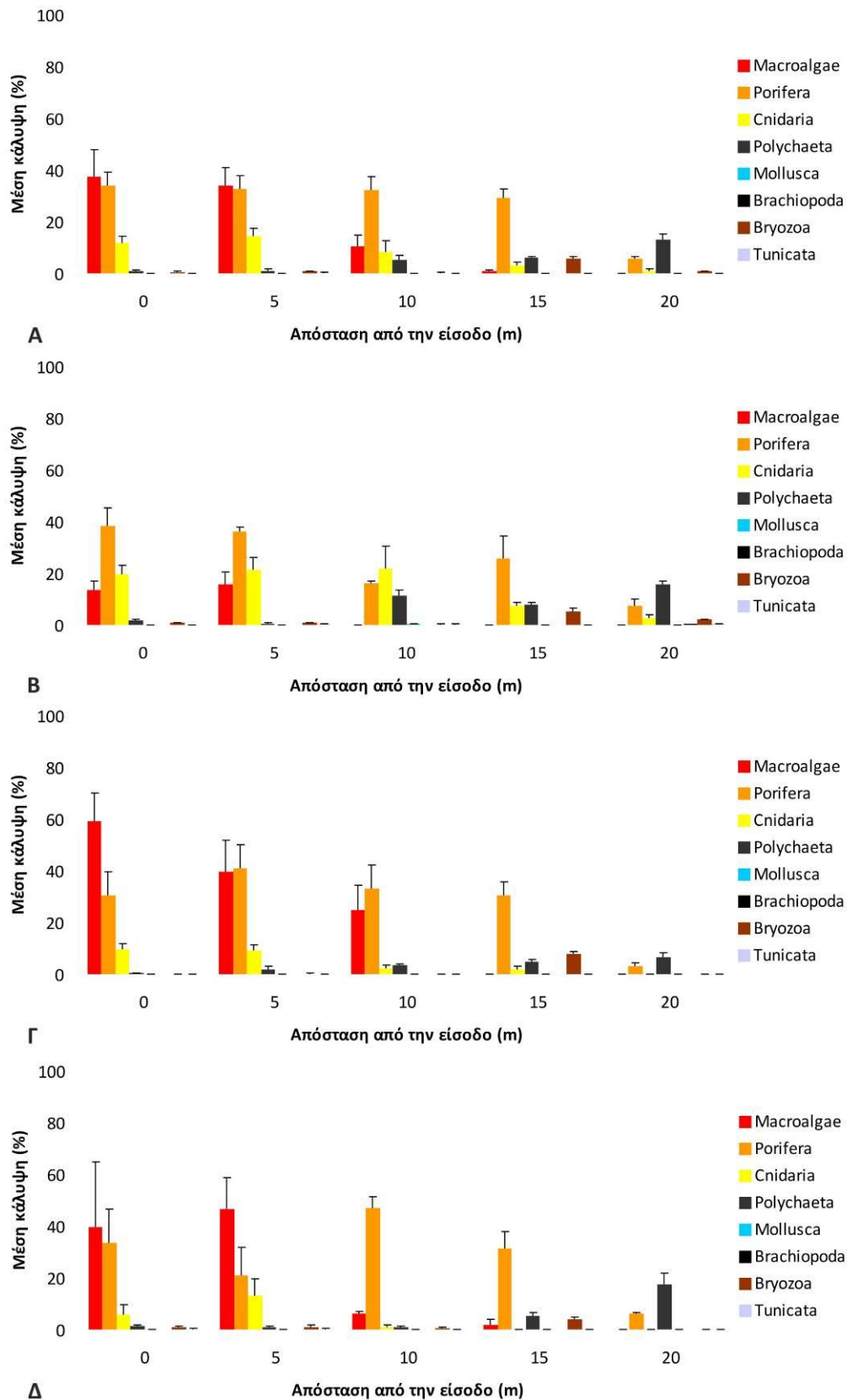
Κνιδόζωα

Τα κνιδόζωα, ήταν η δεύτερη κυρίαρχη ζωική ομάδα στα υπό μελέτη σπήλαια τόσο από πλευράς πλούτου ειδών όσο και κάλυψης επιφάνειας (Εικόνες 4.11 και 4.12). Κατά βάση, πρόκειται για είδη της τάξης Scleractinia καθώς τα υδρόζωα καταλαμβάνουν πολύ μικρή επιφάνεια (μέγιστη τιμή 0,4% στο σταθμό OUT-C στο Φ). Επιπλέον τα υδρόζωα παρατηρήθηκαν μόνο στην οροφή, στο εξωτερικό τμήμα και στα πρώτα 5 m από την είσοδο (Φ: OUT-C, 5C και AB: 0C, 5C).



Εικόνα 4.11 Μέση κάλυψη ανά ομάδα κατά μήκος του σπηλαιού Φ (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος). Απεικονίζεται το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου των πλαισίων.

Figure 4.11 Mean percent coverage per group across Φ cave (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall). Standard error of mean is presented in error bars.



Εικόνα 4.12 Μέση κάλυψη ανά ομάδα κατά μήκος του σπηλαιίου AB (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος). Απεικονίζεται το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου των πλαισίων.

Figure 4.12 Mean percent coverage per group across cave AB (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall). Standard error of mean is presented in error bars.

Τα ανθόζωα ήταν η δεύτερη κυρίαρχη ομάδα μετά τα μακροφύκη στην οροφή του εξωτερικού τμήματος του Φ και κυρίαρχη στους σταθμούς της οροφής έως και 10 m από την είσοδο, με μέγιστη κάλυψη 41,7% στο σταθμό 10C. Στους κατακόρυφους τοίχους του ίδιου σπηλαίου παρουσίαζαν πολύ μικρότερη κάλυψη, με μέγιστη 1,6% στον αριστερό τοίχο (15L) και 21,3% στο δεξιό τοίχο (5R).

Στο AB, δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο πρότυπο κυριαρχίας των ανθόζωων κατά μήκος της οροφής αλλά ήταν δεύτερη κυρίαρχη ομάδα μετά τους σπόγγους στους σταθμούς 0C και 5C και επικρατούσαν μόνο στο σταθμό 10C με ποσοστό κάλυψης 21,7%, δηλαδή πολύ μικρότερο σε σχέση με αυτό στον αντίστοιχο σταθμό του Φ. Στους τοίχους τα ποσοστά κάλυψης ήταν πολύ μικρότερα, με μέγιστη τιμή στο σταθμό 5R (13,1%).

Το *Madracis pharensis* ήταν το είδος που σχημάτιζε τις πιο εκτεταμένες φάσεις στα δύο σπήλαια. Παρατηρήθηκε σε όλο το μήκος των σπηλαίων και σχημάτιζε φάσεις στην οροφή (OUT-C, 0C, 5C και 10C) και στο δεξί τοίχο (5R, 10R και 15R) του Φ, στη ζώνη εισόδου (0C, 0L, 0R, 5C, 5L, 5R) και στην οροφή των 10 m (10C) στο AB. Γενικά, καταλάμβανε πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια στο Φ από ότι στο AB, με μέγιστο μέσο ποσοστό κάλυψης 41,6% στο σταθμό 10C του πρώτου (έως και 51,1% σε ένα από τα επαναληπτικά πλαίσια) και 19% στο δεύτερο (έως και 33,8% σε ένα από τα επαναληπτικά πλαίσια).

Δεύτερο κυρίαρχο είδος από πλευράς κάλυψης επιφάνειας ήταν το *Hoplangia durotrix* που σχημάτιζε φάσεις στο σπήλαιο AB, με μέγιστο ποσοστό κάλυψης στην οροφή της εισόδου και των 5 m (5,5%) και μικρότερα ποσοστά στους σταθμούς 0L, 5L και 20C. Αντίθετα, στο σπήλαιο Φ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές φάσεις του είδους, με εξαίρεση το σταθμό OUT-C (1%).

Το *Leptopsammia pruvoti* παρατηρήθηκε στην οροφή και στους τοίχους των δύο σπηλαίων, με μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης στο AB σε σχέση με το Φ (AB: μέγιστη κάλυψη ίση με 5,7% στο σταθμό 15C, Φ: μέγιστη κάλυψη ίση με 1,2% στο σταθμό 0C).

Τα είδη *Caryophyllia inornata*, *Hoplangia durotrix*, *Leptopsammia pruvoti* και *Madracis pharensis* καταγράφηκαν σε όλο το μήκος και των δύο σπηλαίων. Τα είδη *Ceratotrochus magnaghii* και *Paracyathus pulchellus* βρέθηκαν μόνο στην οροφή του εσωτερικού των δύο σπηλαίων (Φ: 25C, AB: 20C και Φ: 10C, 15C, 25C, AB: 15C, 20C αντίστοιχα) ενώ το *Phyllangia mouchezii* καταγράφηκε μόνο στα πρώτα 10 m του Φ (5C, 5R, 10C, 10R). Ωστόσο, το τελευταίο είδος έχει βρεθεί σε δείγματα που πάρθηκαν από ολόκληρο το μήκος και των δύο σπηλαίων.

Πολύχαιτοι

Η μέση κάλυψη του υποστρώματος από πολύχαιτους αυξανόταν προς το εσωτερικό των σπηλαίων τόσο στην οροφή όσο και στους τοίχους (Εικόνες 4.11 και 4.12). Έτσι, ενώ το μέγιστο ποσοστό κάλυψης στα πρώτα 10 m από την είσοδο του Φ ήταν 3,5% στο σταθμό 5C, στο εσωτερικό έφτανε στο 22,9% της επιφάνειας (30L). Στο AB, στους τοίχους των πρώτων 10 m από την είσοδο, το μέγιστο ποσοστό κάλυψης ήταν 3,3% (10L) ενώ στην οροφή των 10 m ήταν 11,3% και στο εσωτερικό έφτανε το 17,2% στο σταθμό 20R.

Βρυόζωα

Τα βρυόζωα γενικά είχαν μικρή κάλυψη υποστρώματος (Εικόνες 4.11 και 4.12). Στο Φ, μέγιστη κάλυψη από βρυόζωα παρατηρήθηκε στο ενδιάμεσο και στο εσωτερικό τμήμα του σπηλαίου, με μεγαλύτερα ποσοστά στους σταθμούς της οροφής 20C (12,3%) και 15C (9,3%). Στους

τοιχους, το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης καταγράφηκε στο σταθμό 20R (6,9%). Στο AB, η κάλυψη του υποστρώματος από βρυόζωα ήταν μικρότερη σε σχέση με αυτήν του Φ. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε στην οροφή του σταθμού 15C (5,2%) και στους τοίχους του 15L (8%). Στο ενδιάμεσο και στο εσωτερικό των δύο σπηλαίων παρατηρήθηκαν σχηματισμοί υπό μορφή κονδύλων από τα βρυόζωα των ειδών *Hippaliosina depressa* και *Onychocella marioni*.

Μαλάκια

Γενικά τα μαλάκια είχαν πολύ μικρή κάλυψη επιφάνειας και στα δύο σπήλαια (Εικόνες 4.11 και 4.12). Στο Φ καταγράφηκαν 3 τάξα μόνο στο εξωτερικό τμήμα και στα πρώτα 5 m από την είσοδο του σπηλαίου, με μέγιστο ποσοστό κάλυψης μόλις 1% στο σταθμό 5L. Στο AB καταγράφηκαν περισσότερα τάξα (5), από την είσοδο έως και τα πρώτα 15 m, τόσο στην οροφή όσο και στους τοίχους. Το διατρητικό δίθυρο *Rocellaria dubia* παρατηρήθηκε μόνο από το εξωτερικό έως τα πρώτα 5 m από την είσοδο των σπηλαίων, που καλύπτονται από κοραλλιγενές υπόστρωμα. Το επίσης διατρητικό δίθυρο *Lithophaga lithophaga* βρέθηκε μόνο σε πλαίσια από την οροφή του AB (0C και 15C). Ωστόσο, στη διάρκεια των καταδύσεων παρατηρήθηκαν αρκετές τρύπες στην οροφή από την είσοδο έως τα 20 m του Φ και στο σκοτεινό εσωτερικό (τοίχοι και οροφή στα 20 m) του AB που ανήκαν σε *L. lithophaga*.

Βραχιόποδα

Τα βραχιόποδα είχαν επίσης πολύ μικρή κάλυψη επιφάνειας (Εικόνες 4.11 και 4.12). Το μέγιστο ποσοστό και στα δύο σπήλαια καταγράφηκε στο σταθμό 20C (Φ: 1,2% και AB: 0,3%). Καταγράφηκαν στους περισσότερους σταθμούς της οροφής των σπηλαίων (Φ: 0-30 m, AB: 0 και 10-20 m) και έπειτα στους τοίχους, κυρίως του εσωτερικού τμήματος (Φ: 0 και 15-30 m, AB: 10-20 m).

Τρηματοφόρα

Το βενθικό τρηματοφόρο *Miniacina miniacina* είχε πολύ μικρή κάλυψη επιφάνειας (μέγιστη τιμή ίση με 0,09% στο σταθμό 15R του AB) και για το λόγο αυτό δεν απεικονίζεται στα ιστογράμματα των Εικόνων 4.11 και 4.12. Καταγράφηκε στους σταθμούς 5C, 5L, 5R, 10R και 15L στο Φ και στους 0C, 0R, 10R, 15L και 15R στο AB.

Ασκίδια

Τα ασκίδια παρουσίασαν επίσης πολύ μικρά ποσοστά κάλυψης (Εικόνες 4.11 και 4.12). Ενώ στο σπήλαιο Φ καταγράφηκε μόνο το είδος *Microcosmus* sp. στο σταθμό 0R (1,5%), στο AB βρέθηκαν 3 διαφορετικά είδη που εξαπλώνονταν μέχρι το σκοτεινό εσωτερικό, τόσο στην οροφή όσο και στους τοίχους, με μέγιστο ποσοστό κάλυψης στο σταθμό 5C (0,4%).

Εκτός από τα παραπάνω είδη, κατά τη διάρκεια των καταδύσεων καταγράφηκαν στο Φ αρκετά άτομα των ειδών *Halocynthia papillosa* και *Microcosmus* sp. στο εξωτερικό και στην είσοδο, ένα *Microcosmus* sp. στο ενδιάμεσο και ένα μικρό διάφανο ασκίδιο (πιθανότατα του γένους *Clavelina*) στο σκοτεινό εσωτερικό (30 m από την είσοδο). Επίσης, στο δεξιό τοίχο έξω από το σπήλαιο AB υπήρχαν πολλά *Microcosmus* sp. Ωστόσο, τα είδη αυτά δε βρέθηκαν εντός των φωτογραφικών πλαισίων.

4.3.3. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας

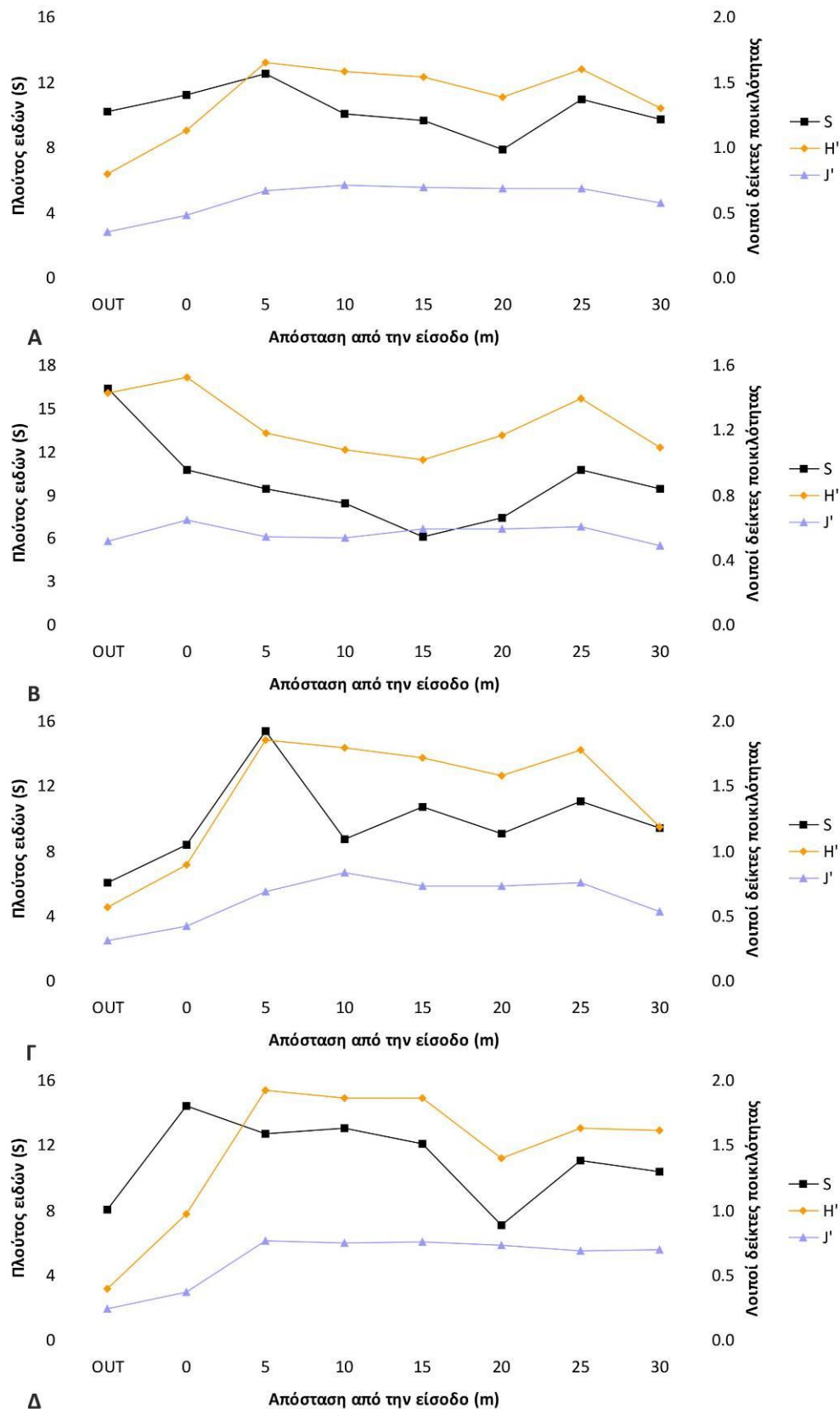
Στο σπήλαιο Φ, τόσο ο πλούτος όσο και η ποικιλότητα ειδών αυξάνονταν από το εξωτερικό έως τα 5 m από την είσοδο, όπου έπαιρναν μέγιστες τιμές, στη συνέχεια παρουσίαζαν μείωση έως τα 20 m και μικρή αύξηση στο εσωτερικό άκρο του σπηλαίου (Εικόνα 4.13Α). Επίσης, η ομοιομορφία κατανομής των ειδών στις κοινότητες των τοίχων, ήταν μεγαλύτερη εντός του σπηλαίου, σε σύγκριση με το εξωτερικό και τη ζώνη εισόδου. Γενικά, η ποικιλότητα, έτσι όπως αποτυπώνεται από τους παραπάνω δείκτες, ήταν μεγαλύτερη στο εσωτερικό του σπηλαίου.

Αντίστοιχα πρότυπα παρατηρήθηκαν στους κατακόρυφους τοίχους του σπηλαίου (Εικόνα 4.13Γ-Δ), ενώ στην οροφή του ο πλούτος και η ποικιλότητα ειδών μειώνονταν έως τα 15 m από την είσοδο, που αποτελούν το στενότερο σημείο της σήραγγας του σπηλαίου και έπειτα παρουσίαζαν μικρή αύξηση στον εσωτερικό του θάλαμο (Εικόνα 4.13Β). Μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κατανομή των ειδών στην οροφή παρατηρήθηκε στην είσοδο και στον εσωτερικό θάλαμο (20-25 m). Γενικά, στην οροφή του σπηλαίου καταγράφηκαν μικρότερες τιμές για όλους τους δείκτες ποικιλότητας σε σχέση με τους τοίχους, με εξαίρεση το εξωτερικό και τη ζώνη εισόδου.

Στο σπήλαιο ΑΒ, συνολικά ο πλούτος ειδών μειωνόταν προς το εσωτερικό ενώ η ποικιλότητα ειδών αυξανόταν έως τα 15 m και στη συνέχεια μειωνόταν απότομα στα 20 m (Εικόνα 4.14Α). Η ομοιομορφία κατανομής ειδών παρουσίαζε μικρή αύξηση προς το εσωτερικό. Διαφορετικά πρότυπα παρατηρήθηκαν ανάμεσα στους τοίχους και στη οροφή του σπηλαίου (Εικόνες 4.14Β-Δ). Έτσι ενώ στους κατακόρυφους τοίχους παρατηρήθηκε το παραπάνω πρότυπο, στην οροφή ο πλούτος και η ποικιλότητα ειδών μειώνονταν μέχρι τα 10 m, αυξάνονταν στα 15 m και τέλος μειώνονταν απότομα στα 20 m. Επίσης, στην οροφή η ομοιομορφία κατανομής των ειδών δεν μεταβαλλόταν σημαντικά.

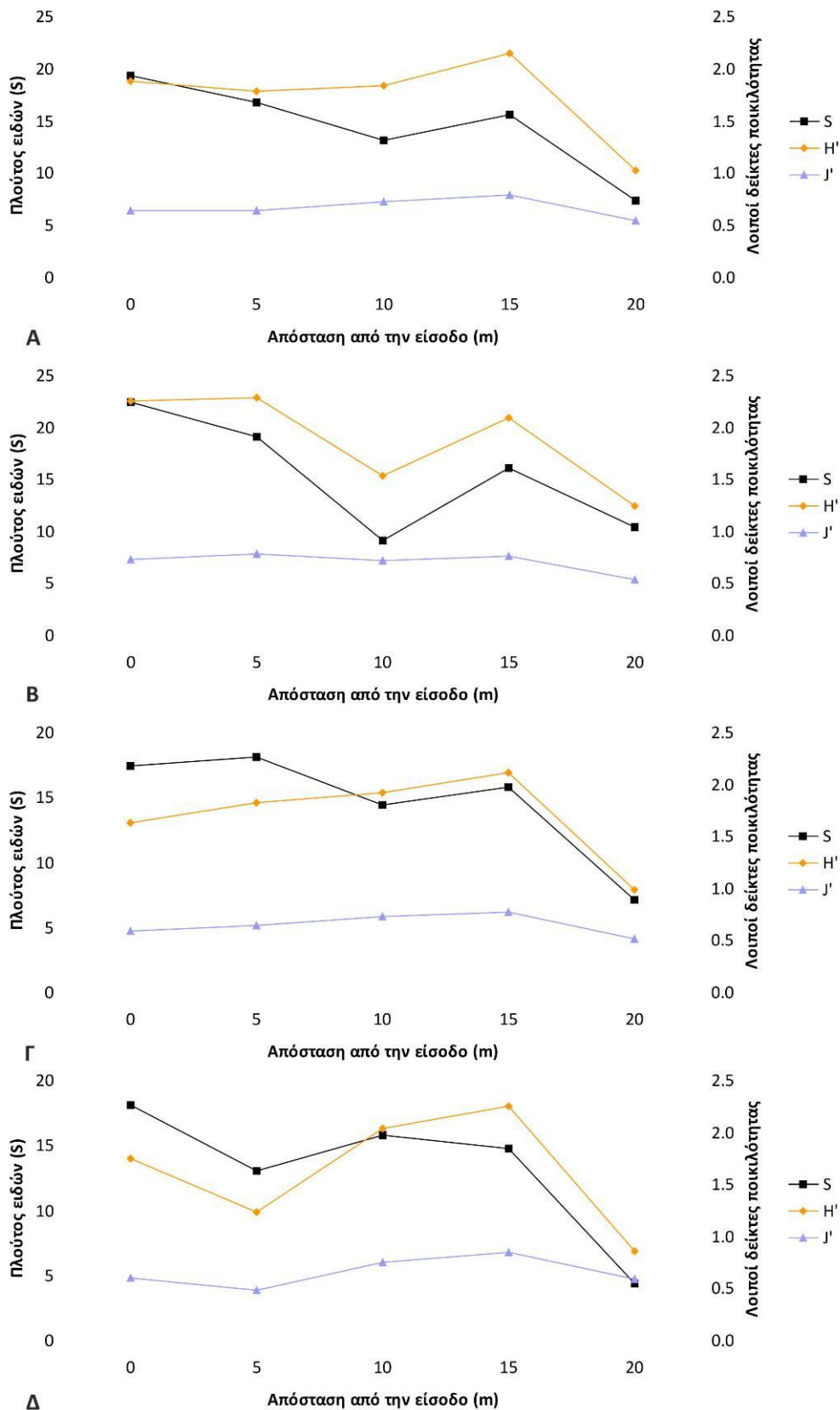
Παρά το γεγονός ότι ο συνολικός πλούτος ειδών ήταν ελαφρώς μεγαλύτερος στο σπήλαιο Φ (72) σε σχέση με το ΑΒ (64) (Πίνακας 4.2), ο πλούτος, η ποικιλότητα και η ομοιομορφία κατανομής των ειδών είχαν τοπικά μεγαλύτερες τιμές στους περισσότερους σταθμούς του ΑΒ. Επίσης, στην οροφή του σπηλαίου παρατηρήθηκε μεγαλύτερος πλούτος ειδών σε σχέση με τους τοίχους, με εξαίρεση τα 10 m, ενώ μεγαλύτερη ποικιλότητα καταγράφηκε στην είσοδο, στα 5 m και στα 20 m και ομοιομορφία κατανομής στην είσοδο και στα 5 m.

Ο πλούτος, η ποικιλότητα και η ομοιομορφία κατανομής των ειδών στο σπήλαιο Φ, βρέθηκαν να μεταβάλλονται στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με την απόσταση από την είσοδο αλλά και τη θέση (οροφή, δεξιός και αριστερός τοίχος) μέσα σε κάθε απόσταση (Πίνακας 4.4). Πηγή της μεταβλητότητας του πλούτου ειδών ως προς την απόσταση ήταν η διαφορά ανάμεσα στα 15 m και στους σταθμούς του εξωτερικού, καθώς και της εισόδου με τα 20 m. Πηγή της μεταβλητότητας των δεικτών ποικιλότητας και ομοιομορφίας κατανομής των ειδών ως προς την απόσταση ήταν η διαφορά ανάμεσα στο εξωτερικό και το εσωτερικό του σπηλαίου (5-30 m), και της εισόδου με τα 5 και 10 m (αποτελέσματα των αναλύσεων Post-hoc παρατίθενται στο Παράρτημα Β – Πίνακες Β1-2).



Εικόνα 4.13 Πλούτος (S), ποικιλότητα (H') και ομοιομορφία κατανομής ειδών (J') κατά μήκος του σπηλαιού Φ (Α: σύνολο, Β: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος).

Figure 4.13 Diversity indices across the horizontal axis of Φ (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall).



Εικόνα 4.14 Πλούτος (S), ποικιλότητα (H') και ομοιομορφία κατανομής ειδών (J') κατά μήκος του σπηλαιού AB (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος).

Figure 4.14 Diversity indices across the horizontal axis of AB (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall).

Και στο σπήλαιο AB, ο πλούτος, η ποικιλότητα και η ομοιομορφία κατανομής των ειδών μεταβάλλονταν στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με την απόσταση από την είσοδο ενώ μόνο για τους πρώτους δύο δείκτες παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική μεταβολή για τη θέση σε κάθε απόσταση (Πίνακας 4.4). Ο πλούτος ειδών διέφερε σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις (0 με 10, 15, 20 m, 5 με 10, 20 m, 10 με 20 m και 15 με 20 m) ενώ πηγή της μεταβλητότητας για την ποικιλότητα ειδών ήταν η διαφοροποίηση των 20 m από το υπόλοιπο σπήλαιο (0-15 m) και για την ομοιομορφία κατανομής των 5 από τα 15 m και των 20 από τα 10-15 m (Παράρτημα Β – Πίνακας Β3).

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ως προς δύο παράγοντες, την απόσταση και τη θέση για τους δείκτες ποικιλότητας στα δύο σπήλαια (d.f.: βαθμοί ελευθερίας, F: τιμή της κατανομής F, p: επίπεδο σημαντικότητας, S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα ειδών, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών, ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05).

Table 4.4 Summary of results of two-way ANOVA for the factors Distance (Di) and Position (Po), for each diversity measure of the studied caves (d.f.: degrees of freedom; F: F-statistic; p: p-value; S: species richness; H': Shannon-Wiener diversity; J': species evenness; ** significance at the 0.01 level; * significance at the 0.05 level).

Σπήλαιο Φ		S		H'		J'	
Πηγή μεταβλητότητας	d.f.	F	p	F	p	F	p
Θέση (Po)	2	3,042	0,057	3,054	0,056	1,169	0,319
Απόσταση (Di)	7	3,920	0,002**	7,285	0,001**	6,414	0,001**
Po x Di	14	6,266	0,001**	4,118	0,001**	1,908	0,049*
Σύνολο	72						
Σπήλαιο AB							
Πηγή μεταβλητότητας	d.f.	F	p	F	p	F	p
Θέση (Po)	2	2,842	0,074	2,482	0,101	1,164	0,326
Απόσταση (Di)	4	30,308	0,001**	14,534	0,001**	6,085	0,001**
Θέση (Po)	8	4,168	0,002**	2,858	0,017*	1,594	0,169
Σύνολο	45						

4.3.4. Χωρικά πρότυπα οικολογικής διαβάθμισης

Οι πολυδιάστατες αναλύσεις έδειξαν επίσης διαφοροποίηση στη δομή των κοινοτήτων κατά μήκος των υπο μελέτη σπηλαίων. Η ανάλυση MDS έδειξε ότι τα δείγματα του εξωτερικού και της ζώνης εισόδου του σπηλαίου Φ διαφοροποιούνταν από αυτά που προέρχονταν από το εσωτερικό τμήμα (Εικόνα 4.15). Έτσι, 3 δείγματα από τους εξωτερικούς τοίχους ομαδοποιήθηκαν με ομοιότητα 46,6% (ομάδα 1), ενώ τα υπόλοιπα δείγματα του εξωτερικού μαζί με αυτά από την είσοδο του σπηλαίου σχημάτισαν μία δεύτερη ομάδα (ομάδα 2) με ομοιότητα 47,7%. Η ομοιότητα ανάμεσα σε αυτές τις δύο ομάδες ήταν 38,5%. Το γεγονός ότι τα δείγματα του εξωτερικού του σπηλαίου μοιράστηκαν σε δύο ομάδες φανερώνει την ετερογένεια του εξωτερικού περιβάλλοντος, λόγω κυριαρχίας της χλωρίδας.

Η ανάλυση SIMPER έδειξε ότι η ανομοιογένεια ανάμεσα στις δύο αυτές ομάδες οφειλόταν κατά 50% σε 7 τάξα. Έτσι, στην ομάδα 1 είχαν μεγαλύτερη κάλυψη τα μακροφύκη Turf-forming algae ενώ στη 2 κυριαρχούσαν σκιόφιλα είδη, όπως το χλωροφύκος *Palmophyllum crassum*, οι

σπόγγοι *Spirastrella cunctatrix*, *Agelas oroides* και *Phorbas tenacior* καθώς και το σκληρακτίδιο *Madracis pharensis*. Επίσης, το φωτόφιλο χλωροφύκος *Codium bursa* βρέθηκε μόνο στα δείγματα της ομάδας 1.

Τα δείγματα των σταθμών που βρίσκονταν στο αριστερό τοίχο, σε απόσταση 5 και 10 m από την είσοδο (5L και 10L), συγκρότησαν ξεχωριστή ομάδα, με ομοιότητα 52% (ομάδα 3), ενώ τα υπόλοιπα δείγματα από το ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου (5-15 m), μαζί με αυτά από την οροφή της εισόδου (0C) σχημάτισαν άλλη ομάδα με ομοιότητα 37% (ομάδα 4). Τέλος, τα δείγματα από το σκοτεινό εσωτερικό του σπηλαίου (20-30 m) ομαδοποιήθηκαν με ομοιότητα 50% (ομάδα 5). Στην τελευταία συμπεριλήφθηκαν και τα δείγματα από την οροφή των 15 m (15C), σε αντίθεση με τους τοίχους των 15 m (15L και 15R) που τοποθετήθηκαν στην ομάδα 4. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα της ομάδας 5 παρουσίαζαν μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους, όπως φάνηκε από την πυκνότερη διάταξη τους στο διάγραμμα MDS (Εικόνα 4.15).

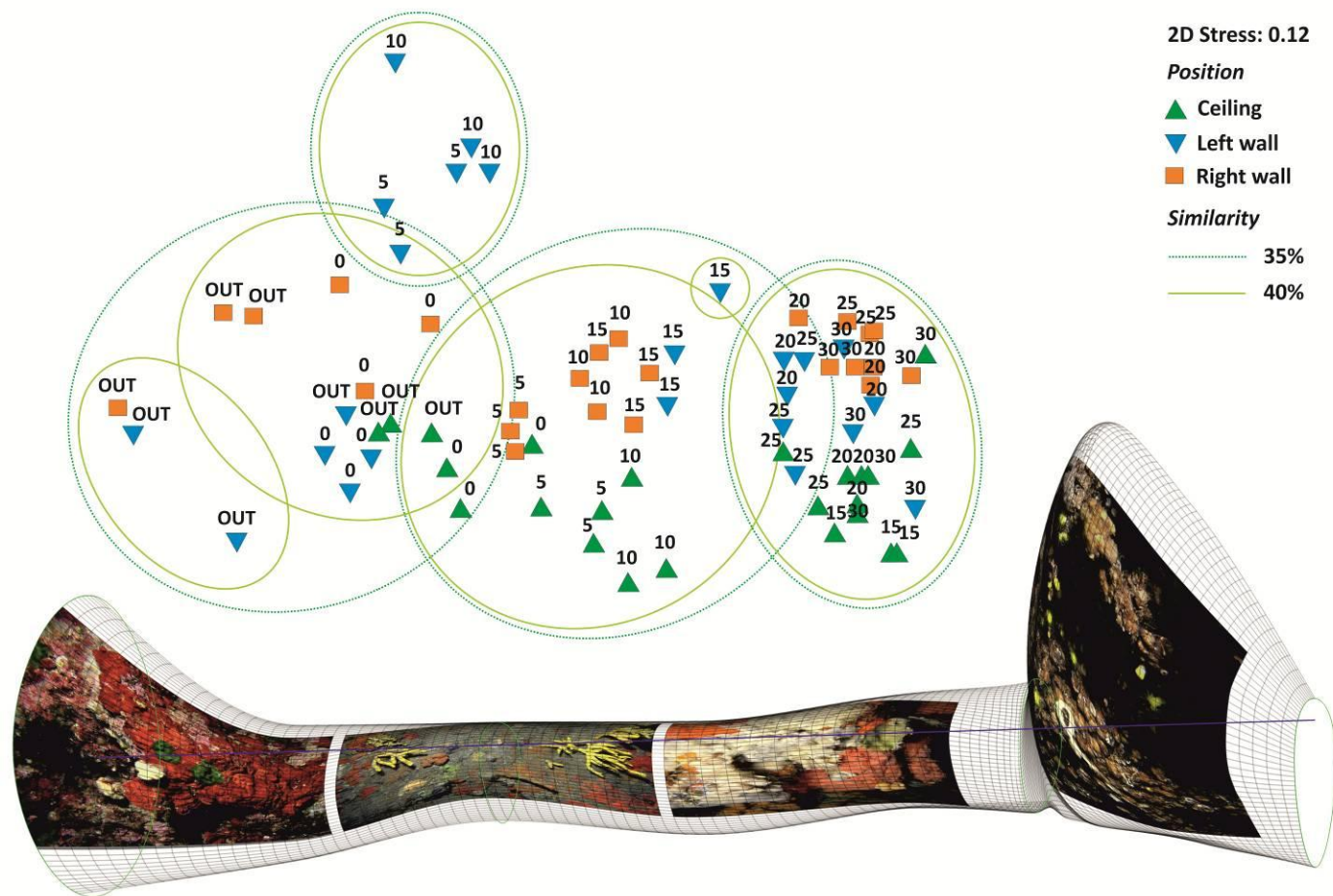
Η ανομοιότητα της ομάδας 2 από την 3 οφειλόταν κατά 50% σε 9 τάξα. Έτσι, ενώ στην ομάδα 2 της εισόδου, επικρατούσαν τα μακροφύκη Encrusting Calcareous Rhodophyta και *Palmophyllum crassum* και το σκληρακτίδιο *Madracis pharensis*, στην ομάδα 3 (σταθμοί 5L και 10L), μεγαλύτερη κάλυψη είχαν οι σπόγγοι *Acanthella acuta*, *Agelas oroides*, *Axinella damicornis* και *Phorbas tenacior*. Οι σπόγγοι *Penares euastrum* και *Axinella verrucosa* υπήρχαν μόνο στα δείγματα της ομάδας 3.

Η ανομοιότητα ανάμεσα στις ομάδες 3 και 4 (ενδιάμεσο τμήμα σπηλαίου), οφειλόταν κυρίως στους σπόγγους *Axinella damicornis*, *Phorbas tenacior*, *Penares euastrum* και *Spirastrella cunctatrix*, που επικρατούσαν στην 3, ενώ στην 4 επικρατούσαν ο σπόγγος *Hexadella pruvoti* και το σκληρακτίδιο *Madracis pharensis*. Οι σπόγγοι *Acanthella acuta* και *Axinella verrucosa* υπήρχαν μόνο στην ομάδα 3 και το *Dendroxea lenis* μόνο στην 4.

Η ανομοιότητα μεταξύ των ομάδων 2 και 4 οφειλόταν κατά βάση στο γεγονός ότι στην πρώτη είχαν μεγαλύτερη κάλυψη τα μακροφύκη Encrusting Calcareous Rhodophyta και *Palmophyllum crassum* και ο σπόγγος *Spirastrella cunctatrix* ενώ στη δεύτερη επικρατούσαν το σκληρακτίδιο *Madracis pharensis*, οι σπόγγοι *Agelas oroides*, *Dendroxea lenis*, *Hexadella pruvoti* και *Phorbas tenacior* και οι πολύχαιτοι Serpulidae.

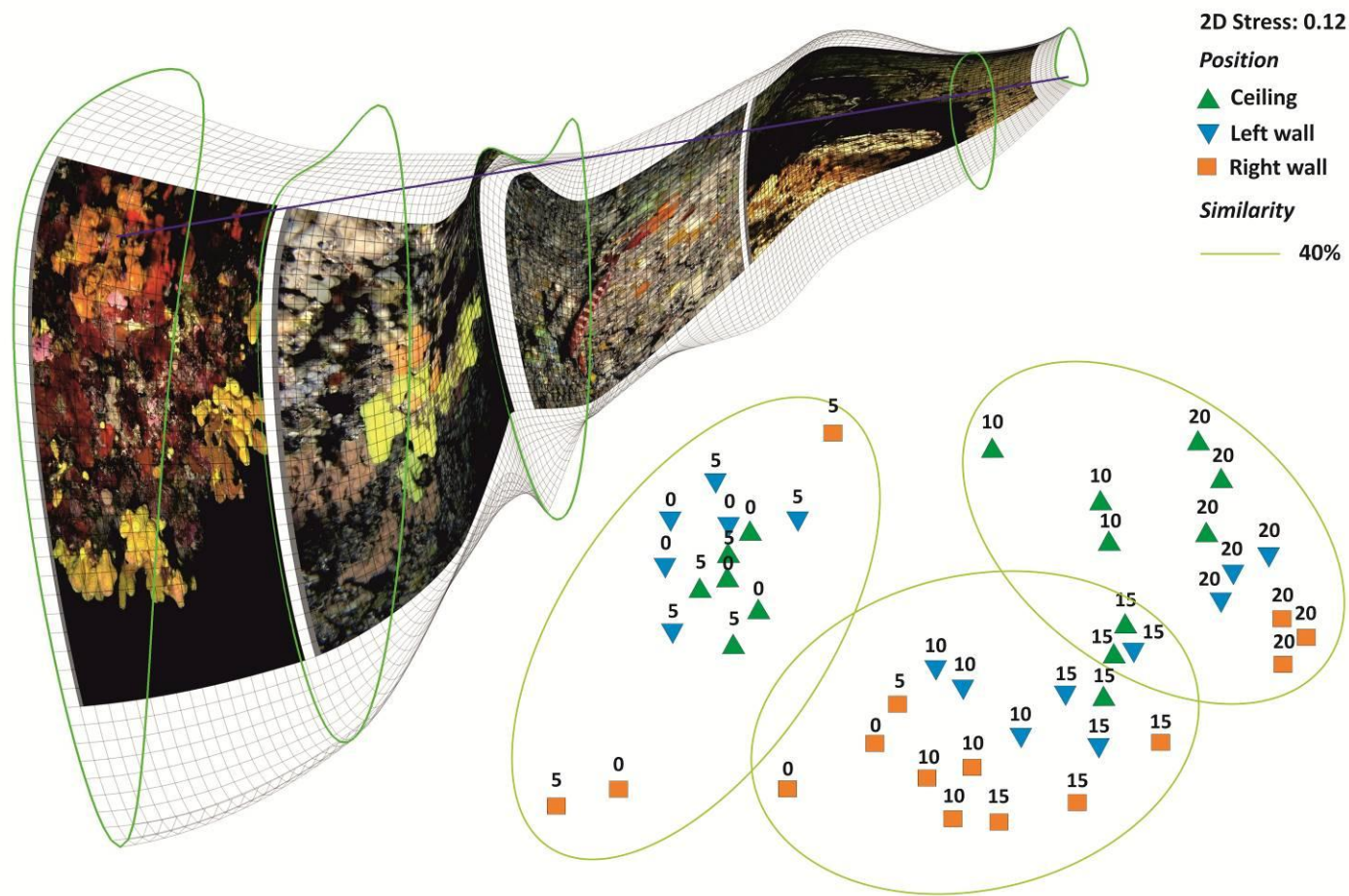
Τέλος, η διαφοροποίηση των δειγμάτων των ομάδων 4 και 5 (σκοτεινό εσωτερικό) οφειλόταν κατά 50% σε 9 τάξα. Από αυτά, το σκληρακτίδιο *M. pharensis* και οι σπόγγοι *Agelas oroides*, *Dendroxea lenis* και *Hexadella pruvoti* είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στην 4, ενώ τα Encrusting Bryozoa και ο σπόγγος *Diplastrella bistellata* στην 5. Τέλος, οι σπόγγοι *Spirastrella cunctatrix* και *Phorbas tenacior* υπήρχαν μόνο στα δείγματα της ομάδας 4 ενώ το *Plakina bowerbankii* μόνο στην ομάδα 5.

Για το σπήλαιο AB προέκυψαν 3 ομάδες δειγμάτων από την MDS (Εικόνα 4.16). Τα περισσότερα δείγματα από την είσοδο (0) και τα 5 m ομαδοποιήθηκαν με ομοιότητα 46% (ομάδα 1) ενώ τα κάποια άλλα ομαδοποιήθηκαν με αυτά από το ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου (10-15 m) με ομοιότητα 47,5% (ομάδα 2). Τέλος, τα δείγματα των 20 m, μαζί με αυτά από την οροφή των 10 m (10C), συγκρότησαν μια τελευταία ομάδα με ομοιότητα 43,6% (ομάδα 3).



Εικόνα 4.15 Διάγραμμα MDS και φωτογραφική απεικόνιση των κοινοτήτων κατά μήκος οριζόντιας τομής του σπηλαίου Φ με χρήση του λογισμικού cavetopo. Οι αριθμοί υποδηλώνουν την απόσταση από την είσοδο (m). Όπου Ceiling: οροφή, Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος και Similarity: δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis.

Figure 4.15 MDS plot demonstrating resemblance of Fara cave assemblages and sliced model of the cave, on which the ecological zonation along the entrance-interior axis was visualized with cavetopo software. Numbers indicate distance from cave entrance.



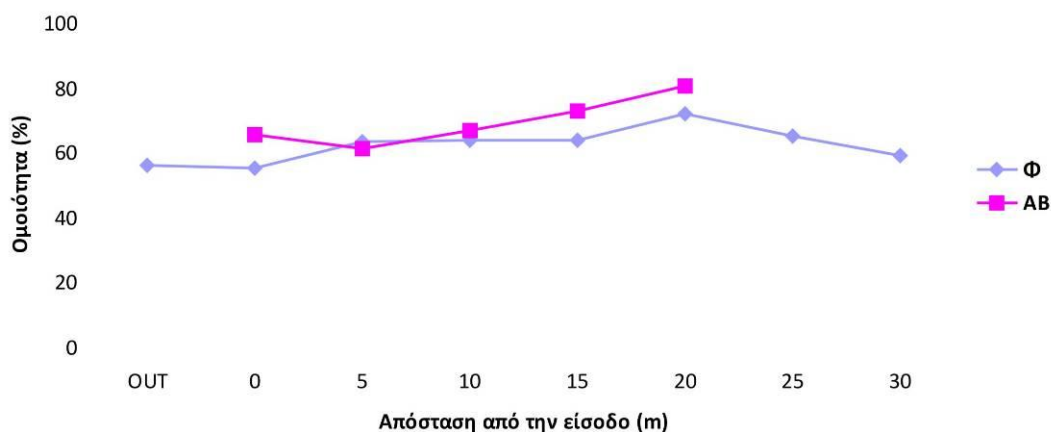
Εικόνα 4.16 Διάγραμμα MDS και φωτογραφική απεικόνιση των κοινοτήτων κατά μήκος οριζόντιας τομής του σπηλαίου AB με χρήση του λογισμικού cavetopo. Οι αριθμοί υποδηλώνουν την απόσταση από την είσοδο (m). Όπου Ceiling: οροφή, Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος και Similarity: δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis.

Figure 4.16 MDS plot demonstrating resemblance of Agios Vasilios cave assemblages and sliced model of the cave, on which the ecological zonation along the entrance-interior axis was visualized with cavetopo software. Numbers indicate distance from cave entrance.

Η ανάλυση SIMPER για τις διαφορετικές ομάδες που προέκυψαν από την MDS για το σπήλαιο AB έδειξε ότι το 50% της ανομοιότητας ανάμεσα στις ομάδες 1 και 2 οφειλόταν σε 12 τάξα. Τα μακροφύκη Encrusting Calcareous Rhodophyta και Turf-forming algae, οι σπόγγοι *Aplysina aerophoba* και *Spirastrella cunctatrix* και τα σκληρακτίνια *Madracis pharensis* και *Hoplangia durotrix* είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στην πρώτη ομάδα ενώ οι σπόγγοι *Dendroxea lenis*, *Hexadella racovitzai*, *Raspaciona aculeata* και *Timea unistellata* και τα Encrusting Bryozoa επικρατούσαν στην ομάδα 2. Τέλος, ο σπόγγος *Plakina bowerbankii* υπήρχε μόνο στα δείγματα της ομάδας 2.

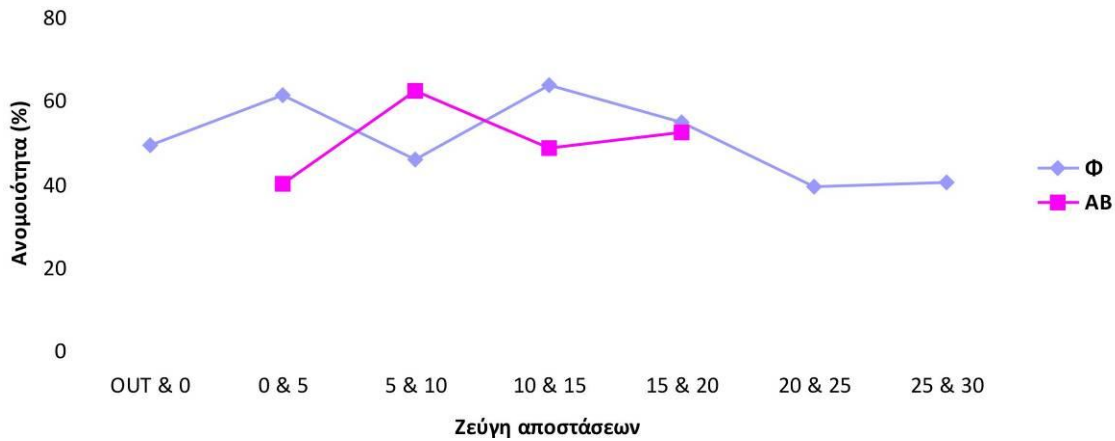
Το 50% της ανομοιότητας ανάμεσα στις ομάδες 2 και 3 οφειλόταν στα Encrusting Calcareous Rhodophyta και τους σπόγγους *Raspaciona aculeata* και *Hexadella racovitzai* που υπήρχαν μόνο στα δείγματα της ομάδας 2 και απουσίαζαν από το εσωτερικό του σπηλαίου AB και στα κοινά είδη *Dendroxea lenis*, *Timea unistellata*, *Hexadella pruvoti*, *Plakina bowerbankii*, Encrusting Bryozoa και *Madracis pharensis* που όμως είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στα δείγματα της ομάδας 2.

Η ομοιότητα ανάμεσα στις κοινότητες των τοίχων και της οροφής αυξανόταν από την είσοδο προς το εσωτερικό και στα δύο σπήλαια (Εικόνα 4.17). Τα αποτελέσματα της SIMPER από τη σύγκριση των κοινοτήτων σε διαδοχικές αποστάσεις (Εικόνα 4.18), έδειξαν ότι στο σπήλαιο Φ, μεγαλύτερη ανομοιότητα υπήρχε ανάμεσα στα 0 και 5 m (61%), στα 10 και 15 m (63,4%) και στα 15 και 20 m (54,7%). Στο σπήλαιο AB, μεγαλύτερο ποσοστό ανομοιότητας παρατηρήθηκε μεταξύ των 5 και 10 m (62%) και των 15 και 20 m (52,2%) (Εικόνα 4.18). Τα παραπάνω σημεία ανταποκρίνονται στα όρια των ομάδων δειγμάτων που περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 4.17 Ομοιότητα βάσει του δείκτη Bray-Curtis ανάμεσα στις κοινότητες των διαφορετικών θέσεων (τοίχοι και οροφή) σε κάθε απόσταση προς το εσωτερικό των δύο σπηλαίων.

Figure 4.17 Similarity (Bray-Curtis index) of communities among the three positions (ceiling and vertical walls) at each distance level towards the interior of Fara (Φ) and Agios Vasiliios cave (AB).



Εικόνα 4.18 Ανομοιότητα (δείκτης Bray-Curtis) των κοινοτήτων για ζεύγη διαδοχικών αποστάσεων στα υπό μελέτη σπήλαια.

Figure 4.18 Dissimilarity (Bray-Curtis index) of communities between successive distance levels towards the interior of Fara (Φ) and Agios Vasilios cave (AB).

Η σημαντική επίδραση της απόστασης από την είσοδο στη δομή των βιοκοινοτήτων του σπηλαίου Φ φάνηκε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης PERMANOVA (Πίνακας 4.5). Εξαιρέση αποτελούσαν οι θέσεις των 25 και 30 m, που παρουσίαζαν παρόμοια σύνθεση βιοκοινοτήτων. Η θέση φάνηκε επίσης να έχει σημαντική επίδραση στη δομή των κοινοτήτων. Έτσι, οι κοινότητες της οροφής διαφοροποιούνταν σημαντικά από εκείνες των τοίχων ενώ υπήρχε διαφοροποίηση ακόμα και ανάμεσα στις κοινότητες των απέναντι τοίχων. Επίσης, η συνδυαστική δράση της απόστασης και της θέσης έπαιξε σημαντικό ρόλο στη δομή των κοινοτήτων.

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα της PERMANOVA ως προς δύο παράγοντες, την απόσταση και τη θέση για τη διαφοροποίηση των κοινοτήτων στα υπό μελέτη σπήλαια (d.f.: βαθμοί ελευθερίας, SS: άθροισμα των τετραγώνων, MS: μέση τιμή των τετραγώνων, F: pseudo-F, P: επίπεδο σημαντικότητας, ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table 4.5 Summary of results of two-way PERMANOVA for the factors Distance (Di) and Position (Po) for the variation in community structure of the studied caves (d.f.: degrees of freedom; SS: sum of squares; MS: mean of sum squares; F: pseudo-F; P: p-value; * significance at the 0.01 level).

Σπήλαιο		Φ			
Πηγή μεταβλητότητας	d.f.	SS	MS	F	P
Απόσταση (Di)	7	97715,2687	13959,3241	17,6504	0,0001**
Θέση (Po)	2	12258,4211	6129,2106	7,7499	0,0001**
Di x Po	14	43637,7441	3116,9817	3,9412	0,0001**
Residual	48	37962,2111	790,8794		
Σύνολο	71	191573,6451			
Σπήλαιο		AB			
Distance (Di)	4	55523	13881	25,456	0,0001**
Position (Po)	2	8813,2	4406,6	8,0813	0,0001**
Di x Po	8	13007	1625,09	2,9817	0,0001**
Residual	30	26359	545,28		
Σύνολο	44	93701			

Αντίστοιχα και στο σπήλαιο AB παρατηρήθηκε έντονη διαβάθμιση της δομής των κοινοτήτων σύμφωνα με την απόσταση, τη θέση και το συνδυασμό των δύο αυτών παραγόντων (Πίνακας 4.5). Εξαίρεση αποτελούσαν οι κοινότητες των 0 και 5 m που είχαν παρόμοια σύνθεση (αναλυτικά αποτελέσματα της PERMANOVA δίνονται στο Παράρτημα Β – Πίνακες Β4-7).

4.3.5. Οι σπόγγοι ως υποκαταστάτες για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων

Τα συνολικά χωρικά πρότυπα μεταβολής του πλούτου, της ποικιλότητας Shannon-Wiener και της ομοιομορφίας κατανομής των ειδών σπόγγων ήταν παρόμοια και για τους 3 δείκτες σε κάθε σπήλαιο (Εικόνα 4.19Α, Ε). Το ενδιαφέρον ήταν ότι όλα πρότυπα της ποικιλότητας των σπόγγων ήταν παρόμοια με αυτά που παρατηρήθηκαν για το σύνολο της βιοκοινότητας των δύο σπηλαίων (σύγκρινε την Εικόνα 4.19 με τις Εικόνες 4.13-14). Η συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές των 3 δεικτών ποικιλότητας των σπόγγων με τις αντίστοιχες τιμές για το σύνολο της βιοκοινότητας ήταν θετική και στατιστικά σημαντική για όλους τους δείκτες και στα δύο σπήλαια (Πίνακας 4.6)· μεγαλύτερη συσχέτιση βρέθηκε για τον πλούτο ειδών και την ποικιλότητα Shannon-Wiener.

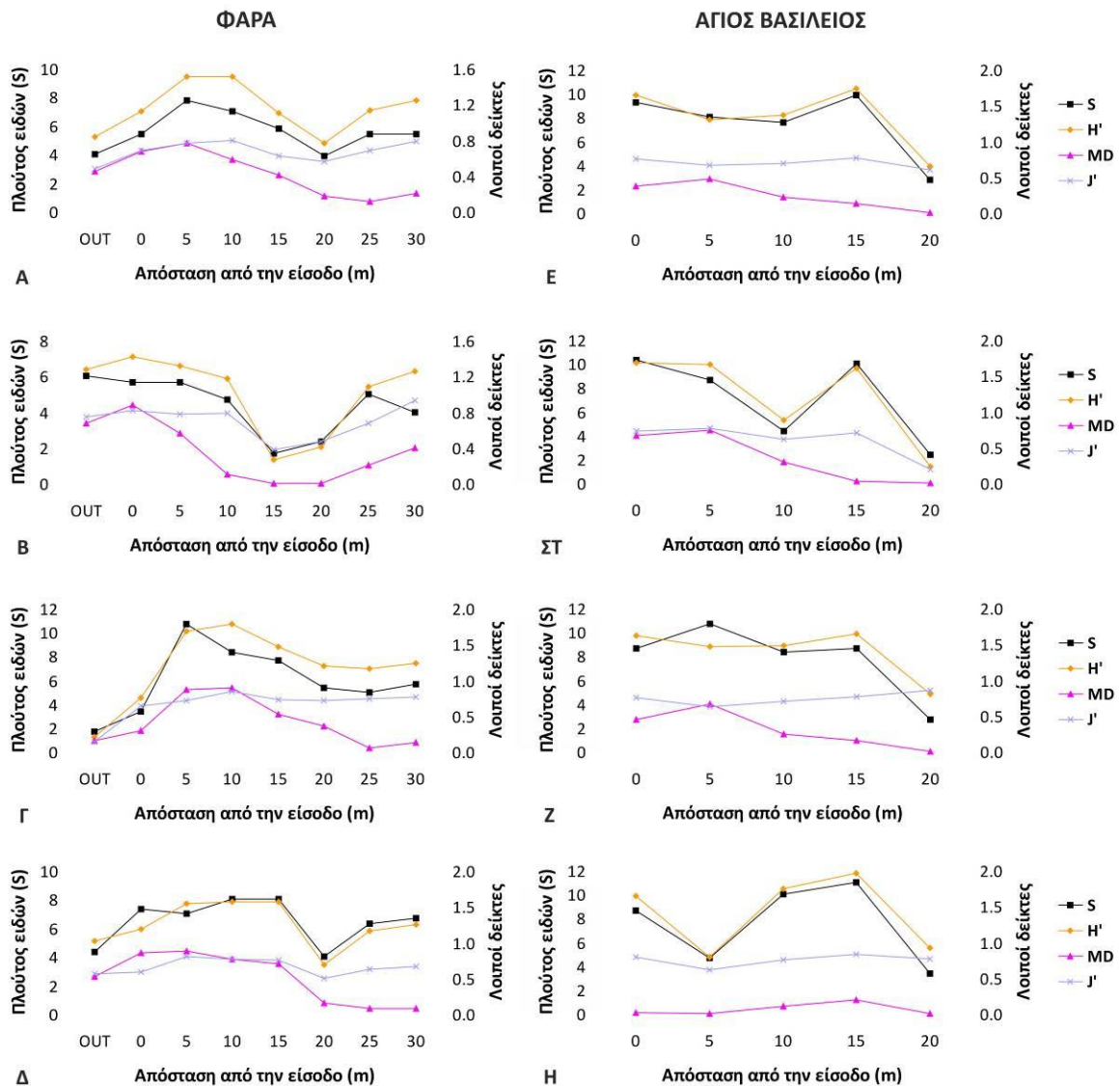
Πίνακας 4.6 Συντελεστής συσχέτισης Spearman ανάμεσα στις τιμές των δεικτών πλούτος ειδών (S), ποικιλότητα Shannon-Wiener (H') και ομοιομορφία κατανομής ειδών (J') για το σύνολο της βιοκοινότητας και τις τιμές των ίδιων δεικτών για τη συνεύρεση των σπόγγων (S-P, H'-P και J'-P αντίστοιχα) (** επίπεδο σημαντικότητας 0,01, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05).

Table 4.6 Spearman's rank correlation coefficient of species richness (S), diversity (H') and evenness for the whole cave community with the equivalent index values for the sponge assemblages (S-P, H'-P and J'-P respectively) (** significance at the 0.01 level; * significance at the 0.05 level).

Σπήλαιο	Φ			AB		
	S & S-P	H' & H'-P	J' & J'-P	S & S-P	H' & H'-P	J' & J'-P
Spearman's rho	0,713	0,585	0,272	0,813	0,822	0,326
Sig. (2-tailed)	0,000**	0,000**	0,021*	0,000**	0,000**	0,029*
N	72	72	72	45	45	45

Αντίστοιχο πρότυπο μεταβολής με αυτό των παραπάνω δεικτών παρατηρήθηκε και για τη μορφολογική ποικιλότητα των σπόγγων. Έτσι, στο Φ αυτή αυξανόταν από το εξωτερικό μέχρι τα 5 m, στη συνέχεια μειωνόταν καθώς επικρατούσαν είδη με μορφή κρούστας ενώ στο εσωτερικό άκρο του σπηλαίου παρουσίασε μικρή αύξηση εξαιτίας της ανάπτυξης κάποιων ειδών με μορφή συμπαγή ή δικτύου. Στο σπήλαιο AB η μορφολογική ποικιλότητα παρουσίασε μικρή αύξηση έως τα 5 m και στη συνέχεια μειωνόταν προς το εσωτερικό όπου επικρατούσαν είδη με μορφή κρούστας.

Γενικά, ενώ στο σπήλαιο Φ καταγράφηκαν περισσότερα είδη σπόγγων σε σχέση με το AB (46 και 34 αντίστοιχα), οι τιμές πλούτου και ποικιλότητας ειδών ήταν τοπικά μεγαλύτερες στα περισσότερα πλαίσια του AB. Στο Φ, ο πλούτος ειδών ήταν μεγαλύτερος στους κάθετους τοίχους (L: 34, R: 36) σε σχέση με την οροφή (C: 27) ενώ στο AB παρατηρήθηκε περίπου ίδιος αριθμός ειδών σε όλες τις θέσεις (C: 25, L: 24, R: 21). Η μορφολογική ποικιλότητα των σπόγγων ήταν μεγαλύτερη στο Φ όπου καταγράφηκαν 8 μορφότυποι (C: 5, L: 6, R: 7) ενώ στο AB βρέθηκαν 5 μορφότυποι (C: 5, L: 4, R: 3).



Εικόνα 4.19 Πλούτος (S), ποικιλότητα (H') και ομοιομορφία κατανομής ειδών (J') κατά μήκος του σπηλαίου Φ (A: σύνολο, B: οροφή, Γ: αριστερός τοίχος, Δ: δεξιός τοίχος) και του σπηλαίου AB (E: σύνολο, ΣΤ: οροφή, Z: αριστερός τοίχος, H: δεξιός τοίχος).

Figure 4.19 Diversity indices across the horizontal axis of cave Φ (A: total, B: ceiling, Γ: left wall, Δ: right wall) and cave AB (E: total, ΣΤ: ceiling, Z: left wall, H: right wall).

Η συσχέτιση της μορφολογικής ποικιλότητας με τον πλούτο και την ποικιλότητα ειδών σπόγγων ήταν θετική και στατιστικά σημαντική και για τα δύο σπήλαια (Πίνακας 4.7). Ωστόσο, ήταν μεγαλύτερη στο σπήλαιο Φ σε σχέση με το AB. Το ίδιο πρότυπο συσχέτισης παρατηρήθηκε και για τη μορφολογική ποικιλότητα των σπόγγων με τον πλούτο ειδών και την ποικιλότητα Shannon-Wiener για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας των δύο σπηλαίων (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7 Συντελεστής συσχέτισης Spearman της μορφολογικής ποικιλότητας των σπόγγων με τον πλούτο ειδών και την ποικιλότητα Shannon-Wiener για το σύνολο της βιοκοινότητας (S και H' αντίστοιχα) και για τη συνεύρεση των σπόγγων (S-P και H'-P αντίστοιχα) στα υπό μελέτη σπήλαια (** επίπεδο σημαντικότητας 0,01, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05).

Table 4.7 Spearman's rank correlation coefficient of sponge morphological diversity with species richness and Shannon-Wiener diversity for the whole cave community (S and H' respectively) and for the sponge assemblages (S-P and H'-P respectively) in the studied caves (** significance at the 0.01 level; *significance at the 0.05 level).

Σπήλαιο	Φ				AB			
	S	H'	S-P	H'-P	S	H'	S-P	H'-P
Spearman's rho	0,519	0,361	0,669	0,7	0,638	0,528	0,556	0,477
Sig. (2-tailed)	0,000**	0,002**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,001**
N	72	72	72	72	45	45	45	45

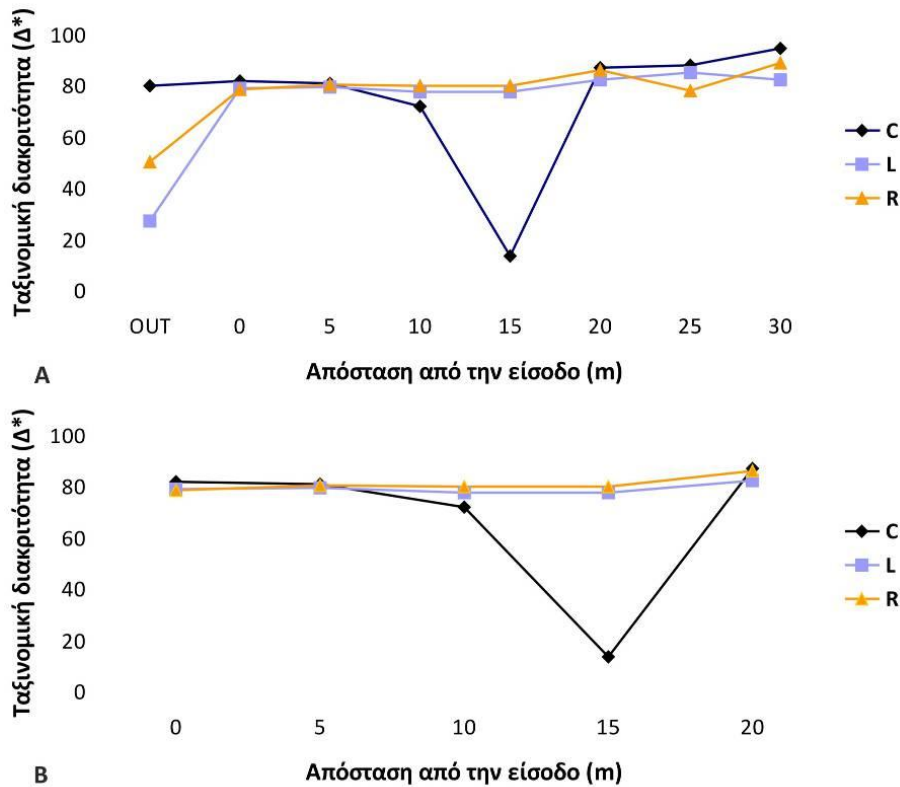
Στο σπήλαιο Φ ο πλούτος, η ποικιλότητα, η ομοιομορφία κατανομής ειδών και η μορφολογική ποικιλότητα μεταβάλλονταν στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με την απόσταση από την είσοδο και με το συνδυασμό των παραγόντων απόστασης και θέσης (Πίνακας 4.8). Ωστόσο, μόνο ο πλούτος ειδών σπόγγων μεταβαλλόταν σημαντικά σε σχέση με τη θέση. Στο σπήλαιο AB, μόνο ο πλούτος και η ποικιλότητα ειδών σπόγγων μεταβάλλονταν στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με την απόσταση από την είσοδο και με το συνδυασμό των παραγόντων απόστασης και θέσης. Ωστόσο, η ομοιομορφία κατανομής των ειδών φάνηκε να μεταβάλλεται σημαντικά σε σχέση με τη θέση και το συνδυασμό της με την απόσταση. Αναλυτικά αποτελέσματα των αναλύσεων Post-hoc για τα δύο σπήλαια παρατίθενται στο Παράρτημα Β (Πίνακες Β8-11).

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για τους δείκτες ποικιλότητα των σπόγγων ως προς δύο παράγοντες (d.f.: βαθμοί ελευθερίας, F: τιμή της κατανομής F, p: επίπεδο σημαντικότητας, S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα ειδών, MD: μορφολογική ποικιλότητα, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών, Δ*: ταξινομική διακριτικότητα, ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05).

Table 4.8 Summary of results of two-way ANOVA for the factors Distance (Di) and Position (Po), for each diversity measure of the studied caves (d.f.: degrees of freedom; F: F-statistic; p: p-value; S: species richness; H': Shannon-Wiener diversity; MD: morphological diversity; J': species evenness; Δ*: taxonomic distinctness; **significance at the 0.01 level; *significance at the 0.05 level).

Σπήλαιο Φ		S		H'		MD		J'		Δ*	
Πηγή	d.f.	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
μεταβλητότητας											
Θέση (Po)	2	11,68	0,001**	2,705	0,077	1,818	0,173	0,365	0,696	0,521	0,597
Απόσταση (Di)	7	6,504	0,001**	5,699	0,001**	7,020	0,001**	3,192	0,007**	7,809	0,000**
Po x Di	14	4,856	0,001**	4,130	0,001**	3,061	0,002**	2,293	0,017*	4,600	0,000**
Total	72										
Σπήλαιο AB											
Πηγή	d.f.	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
μεταβλητότητας											
Θέση (Po)	2	0,487	0,619	2,369	0,111	1,186	0,319	3,795	0,034*	2,068	0,144
Απόσταση (Di)	4	20,266	0,001**	20,258	0,001**	2,327	0,079	0,379	0,822	1,077	0,385
Po x Di	8	4,285	0,02*	4,746	0,001**	0,737	0,658	2,320	0,045*	1,783	0,120
Total	45										

Η ταξινομική διακριτότητα (Δ^*) των σπόγγων παρουσίασε μικρή αύξηση προς το εσωτερικό των δύο σπηλαίων ενώ στο επίπεδο της οροφής μειωνόταν απότομα στα 15 m και στα δύο σπήλαια (Εικόνα 4.20). Ωστόσο, στατιστικά σημαντική μεταβολή της μορφολογικής ποικιλότητας σε σχέση με την απόσταση και το συνδυασμό θέσης και απόστασης βρέθηκε μόνο στο σπήλαιο Φ (Πίνακας 4.8).

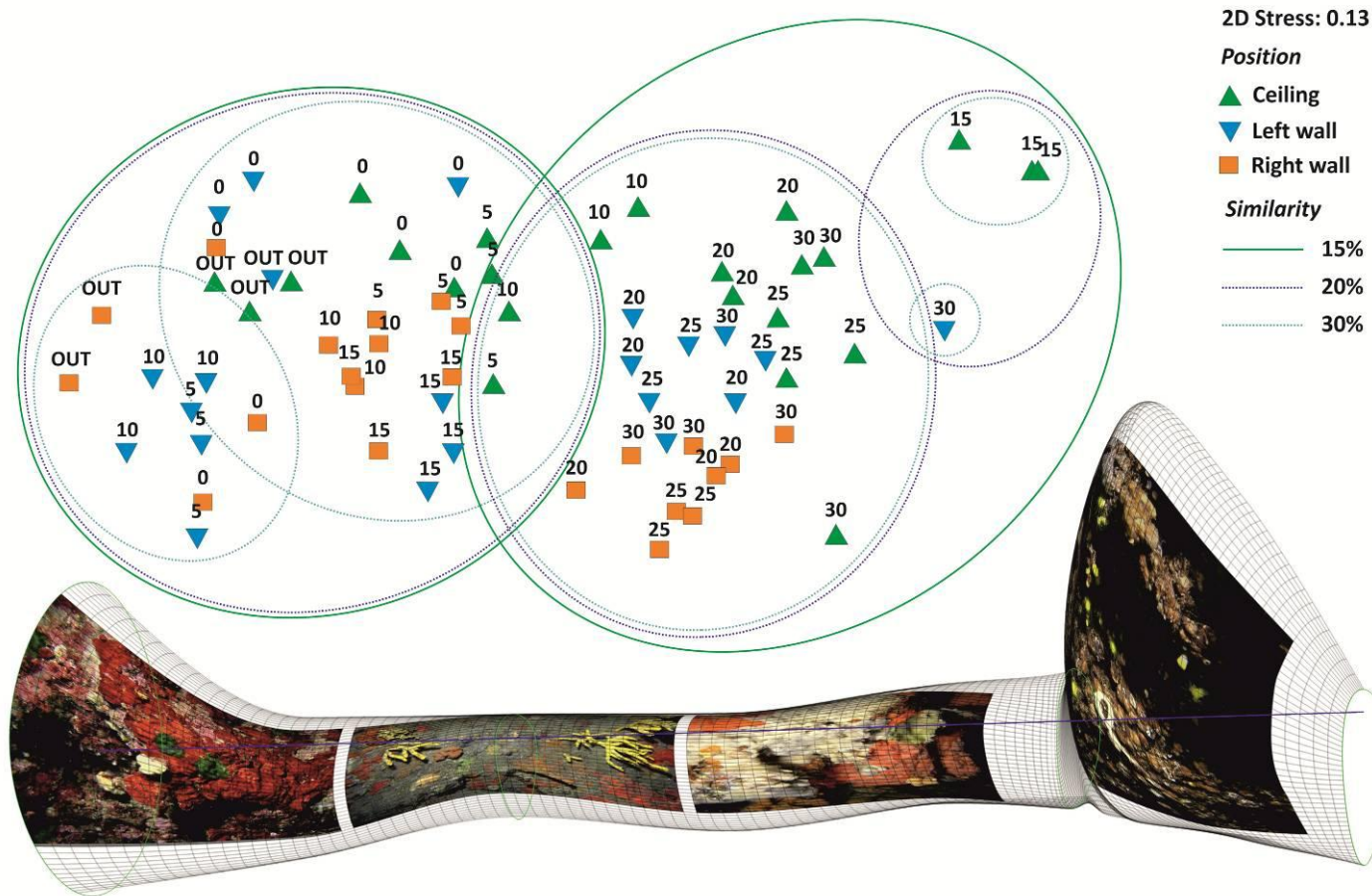


Εικόνα 4.20 Ταξινομική διακριτότητα σπόγγων (Δ^*) κατά μήκος των σπηλαίων Φ (A) και AB (B). Όπου C: οροφή, L: αριστερός τοίχος, R: δεξιός τοίχος.

Figure 4.20 Taxonomic distinctness (Δ^*) along Fara (A) and Agios Vasilios caves (B) (C: ceiling, L: left wall, R: right wall).

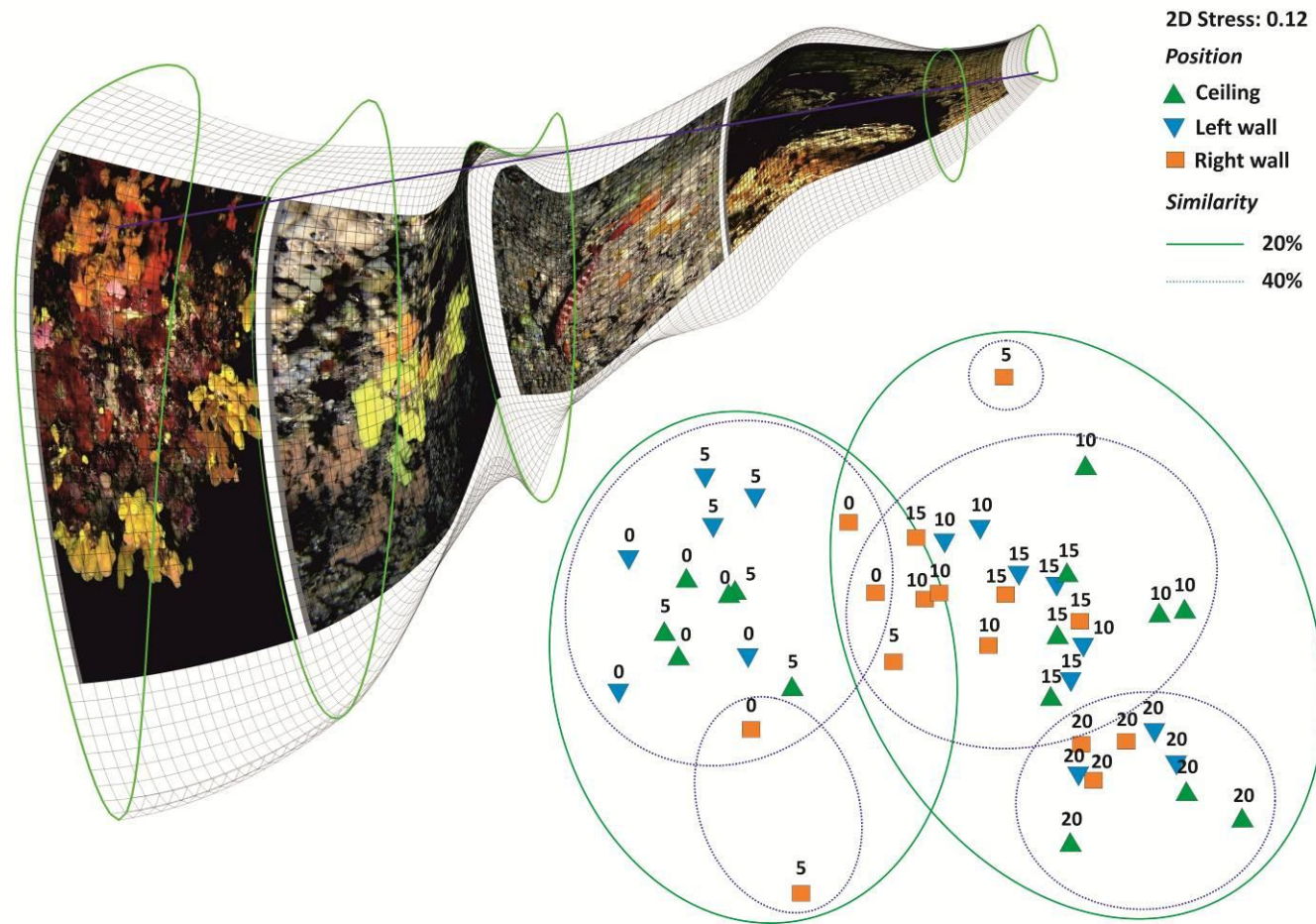
Η πολυδιάστατη χωρική ταξιθέτηση (MDS) με χρήση μόνο των δεδομένων για τους σπόγγους έδειξε ότι γενικά και στα δύο σπήλαια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δύο μεγάλες ομάδες (επίπεδο ομοιότητας 15-20%) που αντιστοιχούσαν (α) στη ζώνη που βρισκόταν κοντά στην είσοδο και (β) στο εσωτερικό τμήμα (Εικόνες 4.21 και 4.22). Εντός των ομάδων αυτών παρατηρήθηκαν μικρότερες ομάδες που περιγράφονται παρακάτω.

Η MDS για τους σπόγγους του σπηλαίου Φ έδειξε ελαφρώς διαφοροποιημένη ομαδοποίηση των δειγμάτων σε σχέση με αυτήν που καταγράφηκε για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας. Τα δείγματα από το εξωτερικό, με εξαίρεση 3 δείγματα στα οποία δεν υπήρχαν σπόγγοι (ομάδα 1 συνόλου χλωρίδας και πανίδας – ενότητα 4.3.4), μέχρι τους τοίχους των 15 m τοποθετήθηκαν σε 2 επιμέρους ομάδες που είχαν μεταξύ τους ομοιότητα 26,9% (Εικόνα 4.21). Τα δείγματα από τον αριστερό τοίχο των 5 και 10 m μαζί με κάποια από το δεξιό τοίχο, στο εξωτερικό και στην είσοδο, συγκρότησαν ομάδα με ομοιότητα 38,4% (ομάδα 1-P).



Εικόνα 4.21 Διάγραμμα MDS και φωτογραφική απεικόνιση των συνευρέσεων των σπόγγων κατά μήκος οριζόντιας τομής του σπηλαίου Φ με το λογισμικό cavetopo. Οι αριθμοί υποδηλώνουν την απόσταση από την είσοδο (m). Ceiling: οροφή, Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Similarity: δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis.

Figure 4.21 MDS plot demonstrating resemblance of Fara cave sponge assemblages and sliced model of the cave, on which the benthic zonation along the entrance-interior axis is visualized with cavetopo software. Numbers indicate distance from cave entrance.



Εικόνα 4.22 Διάγραμμα MDS και φωτογραφική απεικόνιση των συνευρέσεων των σπόγγων κατά μήκος οριζόντιας τομής του σπηλαίου AB με το λογισμικό cavetopo. Οι αριθμοί υποδηλώνουν την απόσταση από την είσοδο (m). Ceiling: οροφή, Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Similarity: δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis.

Figure 4.22 MDS plot demonstrating resemblance of Agios Vasilios cave sponge assemblages and sliced model of the cave, on which the benthic zonation along the entrance-interior axis is visualized with cavetopo software. Numbers indicate distance from cave entrance.

Τα υπόλοιπα δείγματα έως τους τοίχους των 15 m σχημάτισαν ομάδα με ομοιότητα 31,2% (ομάδα 2-P). Τα δείγματα από την οροφή των 15 m είχαν ομοιότητα 29,1% (ομάδα 3-P) και τέλος αυτά από το εσωτερικό του σπηλαίου (20-30 m) συγκρότησαν ομάδα με ομοιότητα 31% (ομάδα 4-P).

Η ανάλυση SIMPER έδειξε ότι η ανομοιότητα ανάμεσα στις ομάδες 1-P και 2-P οφειλόταν κατά 50% στα είδη *Axinella damicornis*, *Phorbas tenacior* και *Spirastrella cunctatrix* που είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στην 1-P, στα *Agelas oroides*, *Dendroxea lenis* και *Hexadella pruvoti* που έχουν μεγαλύτερη κάλυψη στη 2-P και στο *Acanthella acuta* που υπήρχε μόνο στην πρώτη.

Η ανομοιότητα ανάμεσα στις ομάδες 2-P και 3-P οφειλόταν κατά 50% στα είδη *Agelas oroides*, *Dendroxea lenis* και *Spirastrella cunctatrix* που απουσίαζαν από την 3-P και στο *Euryron* sp.1 που υπήρχε μόνο στην τελευταία. Αντίστοιχα, το 50% της ανομοιότητας ανάμεσα στην 1-P και 3-P οφειλόταν στα είδη *Acanthella acuta*, *Axinella damicornis*, *Phorbas tenacior* και *Spirastrella cunctatrix* που υπήρχαν μόνο στην 1-P και στο *Euryron* sp.1 που υπήρχε μόνο στην 3-P. Τέλος, η ανομοιότητα ανάμεσα στις ομάδες 3-P και 4-P οφειλόταν κατά 50% στο είδος *Euryron* sp.1 που είχε μεγαλύτερη κάλυψη και στο *Euryron clavatum* που υπήρχε μόνο στην πρώτη και στο *Dendroxea lenis* που υπήρχε μόνο στην 4-P.

Η ανάλυση MDS για τους σπόγγους του ΑΒ ανέδειξε 3 κύριες ομάδες σταθμών (Εικόνα 4.22). Στην πρώτη περιλαμβάνονταν τα περισσότερα δείγματα από την είσοδο και τα 5 m, με ομοιότητα 36,4% (ομάδα 1-P), όπως αντίστοιχα συνέβη και για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας. Από την ομάδα αυτή διαχωρίστηκαν δύο δείγματα από το δεξιό τοίχο στην είσοδο και στα 5 m. Στη δεύτερη (ομάδα 2-P), συγκεντρώθηκαν τα δείγματα από το ενδιάμεσο τμήμα του σπηλαίου (10-15 m), με ομοιότητα 40,17% και στην τρίτη (ομάδα 3-P) αυτά από τα 20 m, με ομοιότητα 53,18%. Η ομοιότητα ανάμεσα στις ομάδες 2-P και 3-P ήταν 29,86%.

Η ανάλυση SIMPER για τις διαφορετικές ομάδες που προέκυψαν από την MDS για το σπήλαιο ΑΒ έδειξε ότι το 50% της ανομοιότητας ανάμεσα στις ομάδες 1-P και 2-P οφειλόταν στα είδη *Aplysina aerophoba*, *Oscarella tuberculata*, *Phorbas tenacior* και *Spirastrella cunctatrix* που είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στην 1-P, στα *Dendroxea lenis* και *Euryron* sp.1 που παρουσίαζαν μεγαλύτερη κάλυψη στη 2-P και στο *Plakina bowerbankii* που υπήρχε μόνο στην τελευταία. Το 50% της ανομοιότητας ανάμεσα στις ομάδες 2-P και 3-P οφειλόταν στους σπόγγους *Plakina bowerbankii* και *Timea unistellata* που είχαν μεγαλύτερη κάλυψη στη 2-P καθώς και στα *Dendroxea lenis*, *Hexadella pruvoti* και *Raspaciona aculeata* που υπήρχαν μόνο στη 2-P.

Τα αποτελέσματα της PERMANOVA για τις κοινότητες των σπόγγων των δύο σπηλαίων ήταν αντίστοιχα με αυτά που προέκυψαν για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας (αναλυτικά δίνονται στο Παράρτημα Β – Πίνακες Β12-15). Έτσι, για το Φ φάνηκε ότι η απόσταση από την είσοδο είχε σημαντική επίδραση στη δομή των συνευρέσεων των σπόγγων (Πίνακας 4.9). Εξαίρεση αποτελούσαν τα 5 με τα 10 m και τα 25 με 30 m, που δε διέφεραν σημαντικά. Η θέση είχε επίσης σημαντική επίδραση στη δομή των συνευρέσεων, με αυτές των τοίχων να διαφέρουν σημαντικά τόσο μεταξύ τους όσο και με εκείνες της οροφής. Τέλος, σημαντικό ρόλο στα πρότυπα ομαδοποίησης έπαιξε η συνδυαστική δράση της απόστασης και της θέσης. Αντίστοιχα και στο σπήλαιο ΑΒ παρατηρήθηκε έντονη διαβάθμιση της δομής των συνευρέσεων των σπόγγων σύμφωνα με την απόσταση, τη θέση και το συνδυασμό των δύο αυτών παραγόντων (Πίνακας 4.9). Εξαίρεση αποτελούσαν οι συνευρέσεις των 0 και 5 m που δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα της PERMANOVA ως προς δύο παράγοντες, την απόσταση και τη θέση για τις συνευρέσεις των σπόγγων στα υπό μελέτη σπήλαια (d.f.: βαθμοί ελευθερίας, SS: άθροισμα των τετραγώνων, MS: μέση τιμή των τετραγώνων, F: pseudo-F, P: επίπεδο σημαντικότητας, ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table 4.9 Summary of results of two-way PERMANOVA for the factors Distance (Di) and Position (Po) for the sponge assemblages of the studied caves (d.f.: degrees of freedom; SS: sum of squares; MS: mean of sum squares; F: pseudo-F; P: p=value; ** significance at the 0.01 level).

Σπήλαιο		Φ			
Πηγή μεταβλητότητας	d.f.	SS	MS	F	P
Απόσταση (Di)	7	85633	12233	9,0503	0,001**
Θέση (Po)	2	14319	7159,3	5,2966	0,001**
Di x Po	14	61342	4381,6	3,2415	0,001**
Residual	48	64881	1351,7		
Σύνολο	71	2,26 x 10 ⁵			
Σπήλαιο		AB			
Πηγή μεταβλητότητας	d.f.	SS	MS	F	P
Distance (Di)	4	63265	15816	18,586	0,001**
Position (Po)	2	6394,8	3197,4	3,7574	0,001**
Di x Po	8	14557	1819,7	2,1384	0,001**
Residual	30	25529	850,96		
Σύνολο	44	1,10 x 10 ⁵			

Η συσχέτιση βάσει του συντελεστή του Spearman ανάμεσα στους τριγωνικούς πίνακες ομοιότητας (RELATE) για τη συνεύρεση των σπόγγων και το σύνολο της βιοκοινότητας, ήταν θετική και στατιστικά σημαντική και για τα δύο σπήλαια (Rho: 0,851, P: 0,001 στο Φ και Rho: 0,899, P: 0,001 στο AB).

4.3.6. Οι σπόγγοι ως μηχανικοί οικοσυστήματος σε υποθαλάσσια σπήλαια

Στα κανάλια και τις κοιλότητες των σπόγγων που εξετάστηκαν για την πανίδα που φιλοξενούν συνολικά βρέθηκαν 3.037 άτομα μακροπανιδικών συμβιωτών, 450 άτομα στο είδος *Agelas oroides* και 2.587 άτομα στο είδος *Aplysina aerophoba*. Τα άτομα αυτά ταξινομήθηκαν σε 86 τάξα από 8 ανώτερες ομάδες (Πίνακας 4.10). Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονταν 6 είδη τα οποία αναφέρονται για πρώτη φορά ως συστατικά της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου και 12 είδη που αναφέρονται για πρώτη φορά ως συμβιώτες σπόγγων (Πίνακας 4.10).

Στον σπόγγο *Agelas oroides* καταγράφηκαν 56 και στο *Aplysina aerophoba* 57 τάξα συμβιωτών, 27 από τα οποία βρέθηκαν και στα δύο είδη σπόγγων (Πίνακας 4.11). Τα καρκινοειδή (κυρίως Amphipoda και Isopoda) κυριαρχούσαν από πλευράς αφθονίας (65% των συμβιωτών του *Agelas oroides* και 91% του *Aplysina aerophoba*) ενώ οι πολύχαιτοι υπερτερούσαν από πλευράς πλούτου ειδών (65% και 51% των ειδών συμβιωτών αντίστοιχα) και στα δύο είδη σπόγγων (Εικόνες 4.23 και 4.24).

Πίνακας 4.10 Τάξα μακροπανιδικών συμβιωτών που βρέθηκαν στα δείγματα των σπόγγων *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* από τα υπό μελέτη σπήλαια (CE: είσοδος, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη, † πρώτη αναφορά από Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια, * πρώτη αναφορά ως συμβιώτες σπόγγων).

Table 4.10 Macrofaunal symbionts found in *Agelas oroides* and *Aplysina aerophoba* specimens in the studied caves (CE: entrance, SD: semidark zone, D: dark zone, † first record from Mediterranean marine caves, * first record as sponge symbionts).

Τάξα συμβιωτικών οργανισμών	<i>Agelas oroides</i>			<i>Aplysina aerophoba</i>	
	CE	SD	D	CE	SD
Φύλο Nemertea					
Nemertea indet.			+	+	+
Φύλο Nematoda					
Nematoda indet.			+	+	+
Φύλο Arthropoda					
Κλάση Maxillopoda					
Τάξη Copepoda					
Copepoda sp. 1				+	+
Copepoda sp. 2				+	
Κλάση Malacostraca					
Τάξη Decapoda					
Anomura sp.					+
Οικογένεια Alpheidae					
<i>Athanas nitescens</i> (Leach, 1813 [in Leach, 1813-1814])	+			+	
Οικογένεια Hippolytidae					
<i>Eualus occultus</i> (Lebour, 1936)	+			+	+
Τάξη Tanaidacea					
Οικογένεια Apseudidae					
<i>Paradoxapseudes intermedius</i> (Hansen, 1895) † *	+		+	+	+
Οικογένεια Leptocheliidae					
<i>Leptochelia savignyi</i> (Krøyer, 1842)			+	+	+
Τάξη Isopoda					
Οικογένεια Gnathiidae					
<i>Gnathia vorax</i> (Lucas, 1849)	+	+	+		
Οικογένεια Janiridae					
<i>Janira maculosa</i> Leach, 1814	+	+	+	+	+
Τάξη Amphipoda					
Οικογένεια Caprellidae					
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769				+	+
Οικογένεια Colomastigidae					
<i>Colomastix pusilla</i> Grube, 1861	+	+	+	+	+
Οικογένεια Corophiidae					
<i>Leptocheirus bispinosus</i> Norman, 1908 *	+		+	+	+
Οικογένεια Leucothoidae					
<i>Leucothoe spinicarpa</i> (Abildgaard, 1789)	+			+	+
Οικογένεια Liljeborgiidae					
<i>Liljeborgia dellavallei</i> Stebbing, 1906				+	+
Οικογένεια Stenothoidae					
<i>Stenothoe</i> sp. 1					+
Τάξη Cumacea					
Cumacea sp. 1				+	
Φύλο Annelida					
Κλάση Polychaeta					
Polychaeta indet. sp. 1				+	

Υποκλάση Scolecida				
Οικογένεια Capitellidae				
<i>Notomastus latericeus</i> Sars, 1851		+		
Οικογένεια Opheliidae				
<i>Polyophthalmus pictus</i> (Dujardin, 1839)		+		
Τάξη Amphinomida				
Οικογένεια Amphinomidae				
<i>Amphinome</i> sp. 1				+
Τάξη Eunicida				
Οικογένεια Eunicidae				
<i>Leodice torquata</i> (Quatrefages, 1866)		+		
<i>Lumbrineris funchalensis</i> (Kinberg, 1865)				+
<i>Lysidice ninetta</i> Audouin & Milne-Edwards, 1833		+		+
<i>Palola siciliensis</i> (Grube, 1840)			+	
Τάξη Phyllodocida				
Οικογένεια Aphroditidae				
<i>Pontogenia chrysocoma</i> (Baird, 1865)				+
Οικογένεια Chrysopetalidae				
<i>Chrysopetalum debile</i> (Grube, 1855)				+
Οικογένεια Glyceridae				
<i>Glycera tridactyla</i> Schmarda, 1861 † *		+		+
Οικογένεια Hesionidae				
<i>Oxydromus</i> sp. 1				+
<i>Syllidia armata</i> Quatrefages, 1866		+		
Οικογένεια Nereididae				
<i>Ceratonereis (Composetia) costae</i> (Grube, 1840)				+
<i>Neanthes caudata</i> (Delle Chiaje, 1827) †				+
<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867			+	+
<i>Perinereis</i> sp. 1		+		+
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1834)			+	
Οικογένεια Phyllodocidae				
<i>Phyllodoce</i> sp. 1				+
Phyllodocidae sp. 1			+	
Οικογένεια Polynoidae				
<i>Harmothoe spinifera</i> (Ehlers, 1864)		+		+
<i>Subadyte pellucida</i> (Ehlers, 1864)				+
Οικογένεια Syllidae				
<i>Exogone (Exogone) naidina</i> Örsted, 1845		+		
<i>Exogone</i> sp. 1			+	
<i>Myrianida</i> sp. 1				+
<i>Salvatoria</i> sp. 1				+
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i> Southern, 1914 *				+
<i>Sphaerosyllis hystrix</i> Claparède, 1863			+	+
<i>Syllis amica</i> Quatrefages, 1866		+	+	+
<i>Syllis armillaris</i> (O.F. Müller, 1776)		+		
<i>Syllis gracilis</i> Grube, 1840				+
<i>Syllis hyalina</i> Grube, 1863		+		+
<i>Syllis variegata</i> Grube, 1860		+		+
Τάξη Sabellida				
Οικογένεια Sabellidae				
<i>Amphiglena mediterranea</i> (Leydig, 1851)		+		
<i>Branchiomma bombyx</i> (Dalyell, 1853)				+
<i>Chone collaris</i> Langerhans, 1881				+
<i>Potamilla torelli</i> (Malmgren, 1866)		+		

<i>Pseudopotamilla reniformis</i> (Bruguière, 1789)	+	+	+	+	
<i>Placostegus tridentatus</i> (Fabricius, 1779)				+	
<i>Spirobranchus polytrema</i> (Philippi, 1844)	+			+	+
<i>Spirorbis</i> sp. 1	+				+
<i>Vermiliopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)			+		
<i>Vermiliopsis labiata</i> (O. G. Costa, 1861) *					+
<i>Vermiliopsis monodiscus</i> Zibrowius, 1968 *	+				+
Τάξη Spionida					
Οικογένεια Spionidae					
<i>Boccardia polybranchia</i> (Haswell, 1885) † *	+	+	+	+	+
<i>Dipolydora armata</i> (Langerhans, 1880) *			+		
<i>Polydora hoplura</i> Claparède, 1869 †			+	+	
<i>Prionospio malmgreni</i> Claparède, 1869 † *	+				
<i>Spio filicornis</i> (Müller, 1776)	+	+			
<i>Spiophanes</i> sp. 1				+	
Τάξη Terebellida					
Οικογένεια Cirratulidae					
<i>Dodecaceria concharum</i> Örsted, 1843				+	
Οικογένεια Terebellidae					
<i>Amphitrite</i> sp. 1	+				
<i>Eurpolymnia nebulosa</i> (Montagu, 1818)	+				
<i>Eurpolymnia nesidensis</i> (Delle Chiaje, 1828)				+	
Φύλο Sipuncula					
Κλάση Phascolosomatidea					
Τάξη Aspidosiphonida					
Οικογένεια Aspidosiphonidae					
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i> Diesing, 1851	+	+		+	+
Κλάση Phascolosomatidea					
Τάξη Phascolosomatida					
Οικογένεια Phascolosomatidae					
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) granulatum</i> Leuckart, 1828			+		
Φύλο Mollusca					
Κλάση Gastropoda					
Τάξη Caenogastropoda					
Οικογένεια Cerithiidae					
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)			+		
Οικογένεια Eulimidae					
<i>Vitreolina incurva</i> (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1883) *	+				
Τάξη Littorinimorpha					
Vermetidae sp. 1				+	
Τάξη Neogastropoda					
Οικογένεια Raphitomidae					
<i>Raphitoma</i> sp.	+				
Τάξη Umbraculida					
Οικογένεια Tylodinidae					
<i>Tyrodina perversa</i> (Gmelin, 1791)				+	+
Κλάση Bivalvia					
Τάξη Euheterodonta					
Οικογένεια Hiatellidae					
<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767)	+	+		+	+
Τάξη Mytiloidea					
Οικογένεια Mytilidae					
<i>Lithophaga lithophaga</i> (Linnaeus, 1758)					+
<i>Modiolus barbatus</i> (Linnaeus, 1758)				+	

Κλάση Ophiuroidea					
Τάξη Ophiurida					
Οικογένεια Amphiuridae					
<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)				+	
Οικογένεια Ophiotrichidae					
<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard, in O.F. Müller, 1789)					+
Φύλο Chordata					
Κλάση Actinopterygii					
Τάξη Perciformes					
Οικογένεια Gobiesocidae					
<i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810 *					+
Οικογένεια Gobiidae					
<i>Corcyrogobius liechtensteini</i> (Kolombatovic, 1891) *	+				
Πλούτος ειδών / είδος σπόγγου / ζώνη σπηλαίου	37	21	18	44	36

Η συσχέτιση ανάμεσα στον όγκο των δειγμάτων σπόγγων και την αφθονία των συμβιωτών ήταν θετική και για τα δύο είδη (Πίνακας 4.12). Εντούτοις, ήταν στατιστικά σημαντική μόνο για το *Agelas oroides* και για το σύνολο των δειγμάτων των δύο ειδών. Αντίστοιχα, η συσχέτιση ανάμεσα στον όγκο των δειγμάτων σπόγγων και στον αριθμό ειδών συμβιωτών ήταν θετική και στατιστικώς σημαντική μόνο για το σύνολο των δειγμάτων των δύο ειδών. Η αθροιστική καμπύλη του αριθμού ειδών συμβιωτών σε σχέση με τον όγκο των σπόγγων που μελετήθηκαν δεν έγινε ασυμπτωτική για κανένα από τα δύο είδη σπόγγων (Εικόνα 4.25).

Ο συνολικός πλούτος ειδών συμβιωτών μειωνόταν από την είσοδο προς το εσωτερικό των σπηλαίων και για τα δύο είδη σπόγγων (Πίνακας 4.11). Το φαινόμενο αυτό ήταν πιο έντονο στο *Agelas oroides* για το οποίο παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα που συλλέχθηκαν από το σκοτεινό εσωτερικό του σπηλαίου φιλοξενούσαν τα μισά είδη συμβιωτών (18) σε σχέση με αυτά της εισόδου (37). Ωστόσο, η σύνθεση της κοινότητας των συμβιωτών μεταβαλλόταν προς το εσωτερικό του σπηλαίου καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης αφθονίας των πολύχαιτων, των οφίουρων και των νημερτίνων και παράλληλη μείωση των καρκινοειδών (Εικόνα 4.26).

Γενικά, τα δείγματα του σπόγγου *Aplysina aerophoba* παρουσίασαν μεγαλύτερη αφθονία ατόμων και πλούτο ειδών συμβιωτών σε σχέση με αυτά του *Agelas oroides*, ενώ το αντίθετο συνέβη για την ποικιλότητα (H') και την ομοιομορφία κατανομής (J') των ειδών συμβιωτών (Εικόνα 4.27). Η πυκνότητα των συμβιωτών παρέμενε σταθερή προς το εσωτερικό των σπηλαίων και για τα δύο είδη (Εικόνα 4.27A) ενώ ο μέσος πλούτος ειδών μειωνόταν (Εικόνα 4.27B). Οι τιμές των δεικτών Shannon-Wiener (Εικόνα 4.27Γ) και ομοιομορφίας κατανομής ειδών (Εικόνα 4.27Δ) αυξάνονταν προς το εσωτερικό των σπηλαίων για το *Agelas oroides*, ενώ μειωνόταν για το *Aplysina aerophoba*. Ωστόσο, η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι οι παραπάνω μεταβολές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Πίνακας 4.11 Τάξα συμβιωτών ανά ανώτερη ταξινομική ομάδα για τους σπόγγους *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* στα υπό μελέτη σπήλαια (CE: είσοδος, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη).

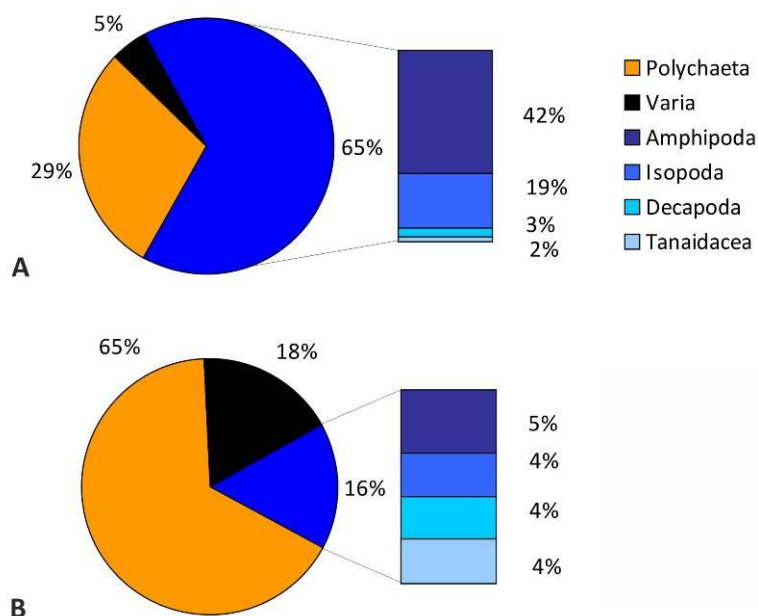
Table 4.11 Taxa of symbionts per taxonomic group for the sponges *Agelas oroides* and *Aplysina aerophoba* in the studied caves (CE: entrance, SD: semidark zone, D: dark zone).

	<i>Agelas oroides</i>				<i>A. aerophoba</i>						
	Σύνολο	Κοινά είδη	Αποκλειστικά	Σύνολο	CE	SD	D	Αποκλειστικά	Σύνολο	CE	SD
Nemertea	1	1		1			1		1	1	1
Nematoda	1	1		1			1		1	1	1
Crustacea	16	8	1	9	8	3	6	7	15	13	12
Amphipoda	6	3		3	3	1	2	3	6	5	6
Copepoda	2							2	2	2	1
Cumacea	1							1	1	1	
Decapoda	3	2		2	2			1	3	2	2
Isopoda	2	1	1	2	2	2	2		1	1	1
Tanaidacea	2	2		2	1		2		2	2	2
Polychaeta	54	15	22	37	24	14	9	17	32	23	17
Sipuncula	2	1	1	2	1	2			1	1	1
Mollusca	8	1	3	4	3	2		4	5	4	3
Gastropoda	5		3	3	2	1		2	2	2	1
Bivalvia	3	1		1	1	1		2	3	2	2
Echinodermata	2		1	1			1	1	1	1	
Pisces	2		1	1	1			1	1		1
Σύνολο	86	27	29	56	37	21	18	30	57	44	36

Πίνακας 4.12 Συντελεστής συσχέτισης του Spearman μεταξύ του όγκου των δειγμάτων σπόγγων και της αφθονίας των συμβιωτών (** επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

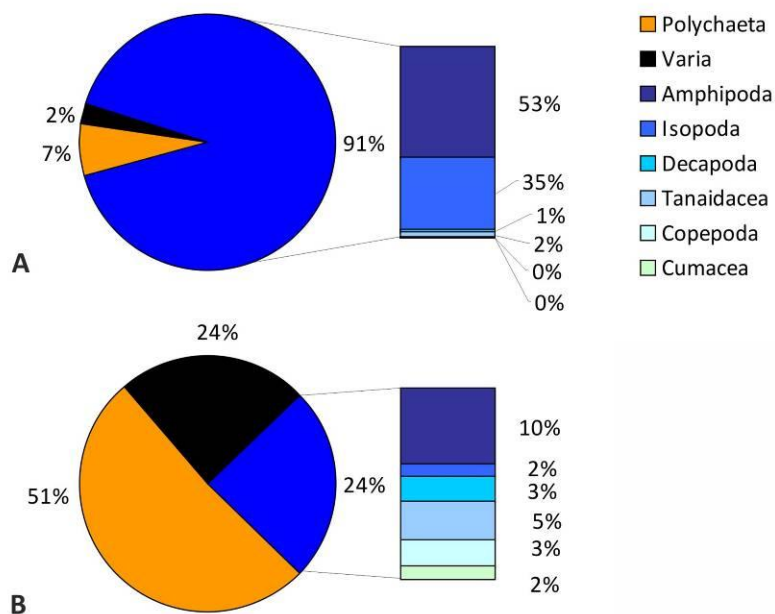
Table 4.12 Spearman's rank correlation coefficient between sponge volume and abundance of symbionts (** significance at the 0.01 level).

	<i>Agelas oroides</i>		<i>Aplysina aerophoba</i>		Σύνολο σπόγγων	
	N	S	N	S	N	S
Spearman's rho	0,899	0,252	0,714	0,377	0,809	0,599
Sig. (2-tailed)	0,001**	0,513	0,111	0,461	0,000**	0,018*
N	9	9	6	6	15	15



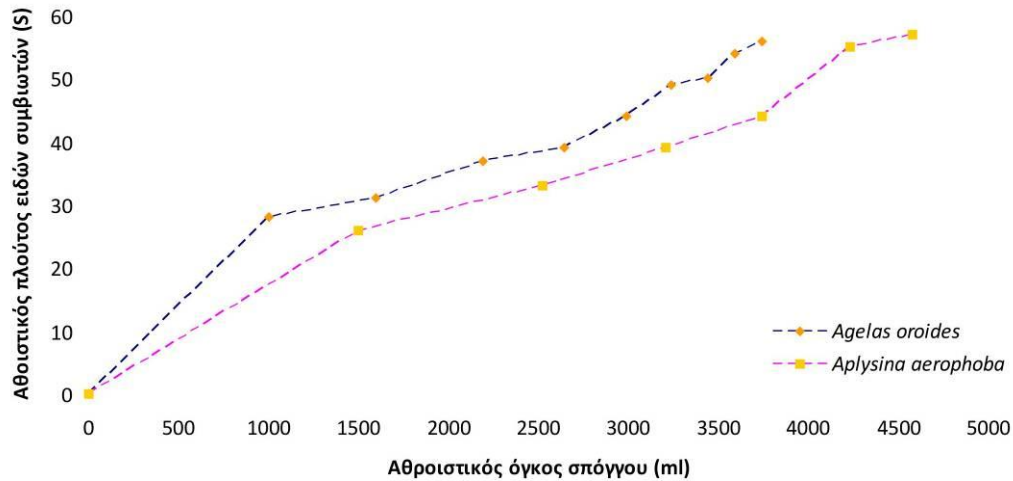
Εικόνα 4.23 Αφθονία (A) και πλούτος ειδών (B) ανά ομάδα συμβιωτών στα δείγματα του είδους *Agelas oroides* από τα υπό μελέτη σπήλαια. Στην ομάδα *Varia* συμπεριλαμβάνονται *Nemertea*, *Nematoda*, *Sipuncula*, *Mollusca*, *Echinodermata* και *Pisces*.

Figure 4.23 Abundance (A) and species richness (B) per symbiont group in the specimens of *Agelas oroides* from the studied caves. *Varia* include *Nemertea*, *Nematoda*, *Sipuncula*, *Mollusca*, *Echinodermata*, and *Pisces*.



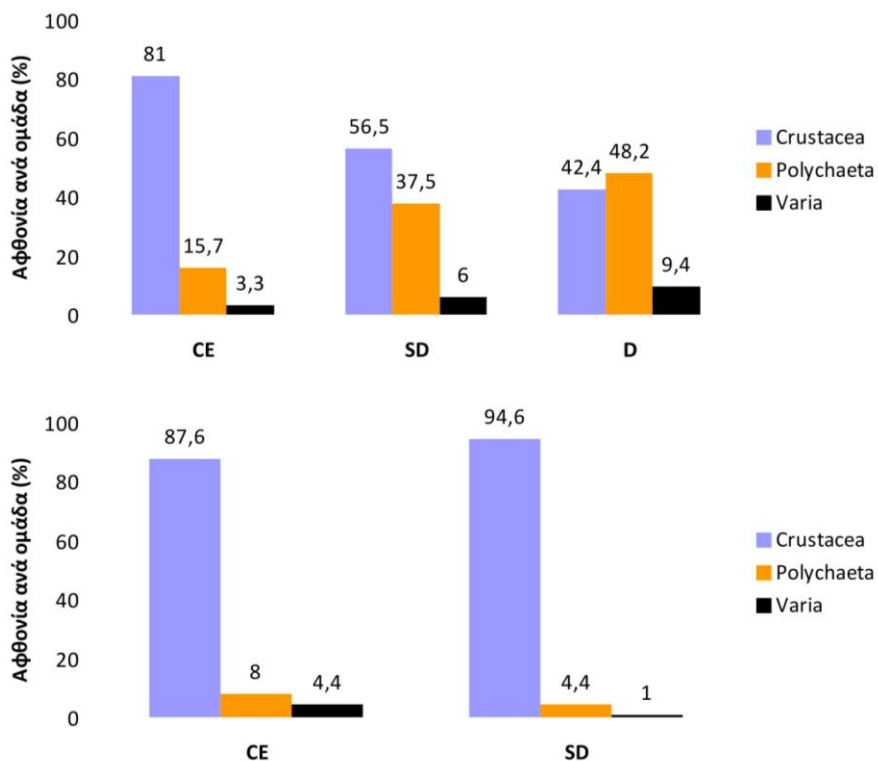
Εικόνα 4.24 Αφθονία (A) και πλούτος ειδών (B) ανά ομάδα συμβιωτών στα δείγματα του είδους *Aplysina aerophoba* από τα υπό μελέτη σπήλαια. Στην ομάδα *Varia* συμπεριλαμβάνονται *Nemertea*, *Nematoda*, *Sipuncula*, *Mollusca*, *Echinodermata* και *Pisces*.

Figure 4.24 Abundance (A) and species richness (B) per symbiont group in the specimens of *Aplysina aerophoba* from the studied caves. *Varia* include *Nemertea*, *Nematoda*, *Sipuncula*, *Mollusca*, *Echinodermata*, and *Pisces*.



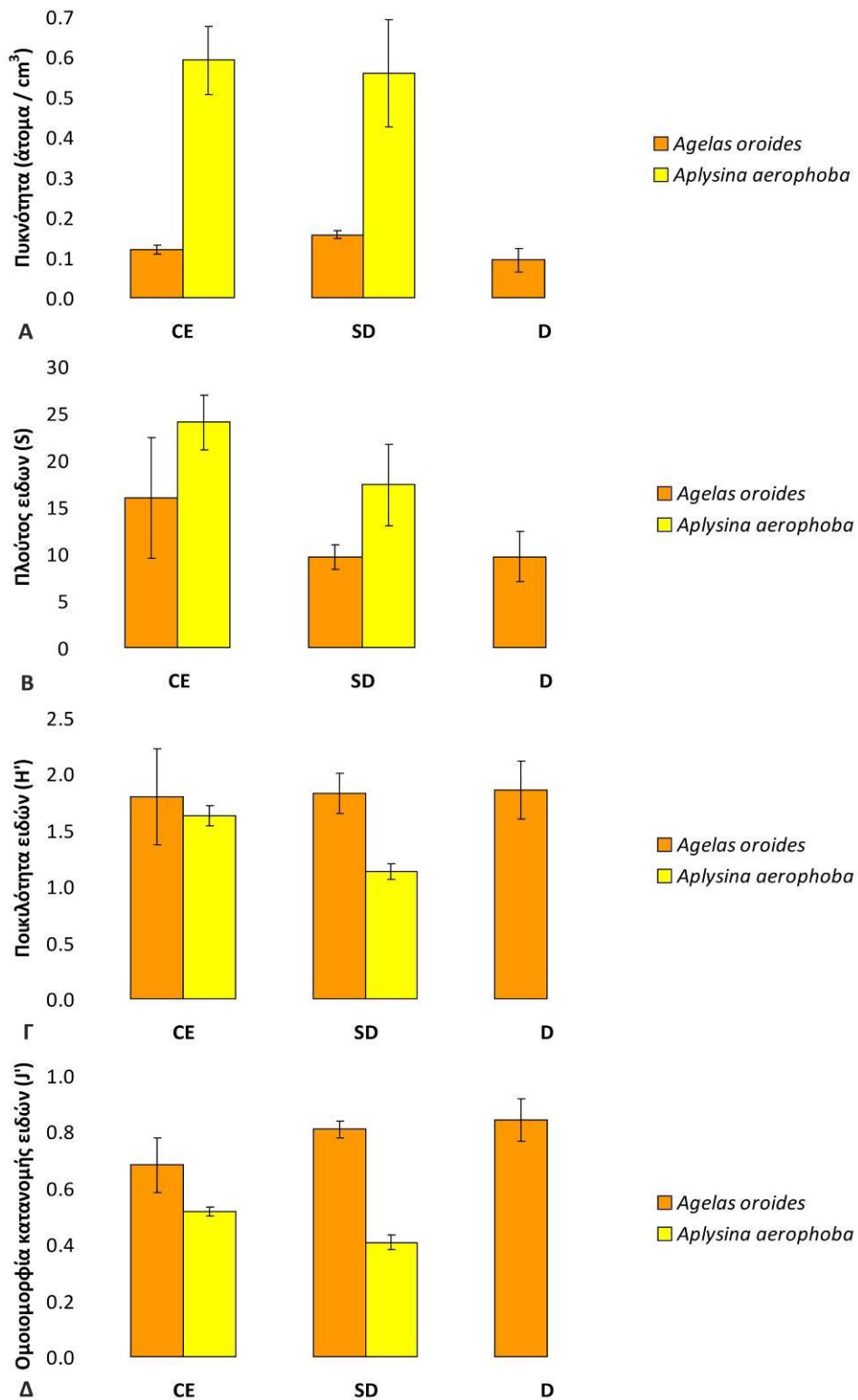
Εικόνα 4.25 Αθροιστική καμπύλη του πλούτου συμβιωτικών ειδών σε σχέση με τον όγκο των σπόγγων για τα είδη *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba*.

Figure 4.25 Cumulative curves of symbiont species richness per sponge volume for *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba*.



Εικόνα 4.26 Αφθονία συμβιωτών ανά ταξινομική ομάδα στα δείγματα των σπόγγων *Agelas oroides* (A) και *Aplysina aerophoba* (B) κατά μήκος των υπό μελέτη σπηλαίων (CE: είσοδος, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη).

Figure 4.26 Abundance of symbionts per taxonomic group found in the examined specimens of *Agelas oroides* (A) and *Aplysina aerophoba* (B) across the surveyed caves (CE: entrance, SD: semidark zone, D: dark zone).



Εικόνα 4.27 Πυκνότητα (Α), πλούτος ειδών (Β), ποικιλότητα Shannon-Wiener (Γ) και ομοιομορφία κατανομής ειδών (Δ) συμβιωτών στους σπόγγους *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba*, κατά μήκος των υπό μελέτη σπηλαίων (CE: είσοδος, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη).

Figure 4.27 Density (A), species richness (B), Shannon-Wiener diversity (Γ) and evenness (Δ) of symbionts for the sponges *Agelas oroides* and *Aplysina aerophoba* across the surveyed caves (CE: entrance, SD: semidark zone, D: dark zone).

4.4. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων προέκυψε μεγάλος αριθμός βενθικών ειδών, συμπεριλαμβανομένων πολλών ενδημικών και προστατευόμενων ειδών, με αποτέλεσμα τα υπό μελέτη σπήλαια να συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πλουσιότερα από τα μελετημένα Μεσογειακά σπήλαια, όπως θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 5. Είναι αξιοσημείωτο, ότι σημαντικός αριθμός ειδών (38%), βρέθηκε μόνο σε ένα σπήλαιο παρά το γεγονός ότι αυτά βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα δύο σπήλαια χαρακτηρίζονται από διαφορετική τοπογραφία, διαφορετικό βάθος και βρίσκονται σε νησίδες που απέχουν μεταξύ τους 6 km. Τα υποθαλάσσια σπήλαια θεωρούνται γεωγραφικά κατακερματισμένα περιβάλλοντα (Harmelin *et al.* 1985), ενώ τα σπήλαια που βρίσκονται σε νησιά θεωρούνται διπλά απομονωμένα οικοσυστήματα (Bibiloni *et al.* 1989). Οι Bussotti *et al.* (2006) μελέτησαν ημιβυθισμένα σπήλαια των δυτικών ακτών του Ιονίου και βρήκαν ότι διαφορετικά είδη επικρατούσαν σε αντίστοιχες ζώνες γειτονικών σπηλαίων. Αυτό το γεγονός, μεταξύ άλλων, αναδεικνύει τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε σπηλαίου και την ιδιαίτερη αξία διατήρησής τους.

4.4.1. Σύνθεση και πρότυπα οικολογικής διαβάθμισης βενθικών βιοκοινοτήτων

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προέκυψε ότι διαφορετικές ταξινομικές ομάδες επικρατούσαν σε διαφορετικές ζώνες των υπό μελέτη σπηλαίων (π.χ. μακροφύκη στη ζώνη εισόδου, σπόγγοι στο μεσαίο τμήμα και στο εσωτερικό, πολύχαιτοι *Serpulidae* στο εσωτερικό) ενώ η συνολική βιοτική κάλυψη μειωνόταν από 100% της επιφάνειας στην είσοδο σε μόλις 10% στο εσωτερικό. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με αντίστοιχες έρευνες σε σπήλαια της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου (π.χ. Gili *et al.* 1982, Harmelin *et al.* 1985, Martí *et al.* 2004a). Ωστόσο, η παρούσα μελέτη επεκτείνει την υπάρχουσα επιστημονική γνώση στην ανατολική λεκάνη αλλά και στην κατώτερη υποπαραλιακή ζώνη της Μεσογείου που δεν είχαν διερευνηθεί μέχρι σήμερα ως προς τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων τους.

Από την ανάλυση των φωτογραφικών πλαισίων προέκυψαν διαφορές τόσο μεταξύ των δύο σπηλαίων όσο και μεταξύ των θέσεων (οροφή και κάθετοι τοίχοι) και των αποστάσεων από την είσοδο μέσα σε κάθε σπήλαιο, αντανακλώντας διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι για παράδειγμα, η μείωση του φωτισμού με την αύξηση του βάθους, της απόστασης από την είσοδο και με την αλλαγή της κλίσης (οροφή σε σύγκριση με κάθετους τοίχους), συνέβαλε στη σταδιακή εξαφάνιση των μακροφυκών και στην επικράτηση των εδραίων ασπόνδυλων που επωφελούνται από την απουσία των πρώτων, με τα οποία ανταγωνίζονται για χώρο (Riedl 1966, Cinelli *et al.* 1977, Corriero *et al.* 2000, Martí *et al.* 2004a). Ειδικότερα, η κάλυψη των μακροφυκών στην είσοδο του σπηλαίου AB, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος (24-40 m), ήταν μικρότερη σε σχέση με αυτή του Φ (14-18 m), ενώ και στα δύο σπήλαια η κάλυψη των μακροφυκών στο επίπεδο της οροφής ήταν μικρότερη από αυτή των τοίχων. Αντίθετα, η κάλυψη των σπόγγων στην είσοδο του AB ήταν έως και 3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την είσοδο του σπηλαίου Φ. Από τα παραπάνω φαίνεται πως η γεωμορφολογία των σπηλαίων αντανακλά συνθήκες όπως το φως που διαφοροποιούνται κατά τόπους εντός των σπηλαίων και με τη σειρά τους επιδρούν στη σύνθεση των αντίστοιχων κοινοτήτων. Με την ίδια λογική,

η μεγαλύτερη διείσδυση των μακροφυκών στο εσωτερικό του AB πιθανότατα οφείλεται στις μεγάλες διαστάσεις της εισόδου (16 m x 7 m) σε σχέση με την είσοδο του Φ (7 m x 10 m). Ωστόσο, στο επίπεδο της συγκριτικά σκοτεινότερης οροφής του AB, τα μακροφύκη διείσδυσαν ελάχιστα μέτρα από την είσοδο.

Οι πολυδιάστατες αναλύσεις ομοιότητας στα υπό μελέτη σπήλαια ανέδειξαν την παρουσία 3 κύριων βενθικών βιοκοινοτήτων που αντιστοιχούν: (α) στην κοραλλιγενή βιοκοινότητα (C) της εισόδου, (β) στη βιοκοινότητα των ημισκοτεινών σπηλαίων (GSO) του μεσαίου τμήματος και (γ) στη βιοκοινότητα των σκοτεινών σπηλαίων και σηράγγων του εσωτερικού (GO). Η σύνθεση των βιοκοινοτήτων αυτών στα υπό μελέτη σπήλαια συμφωνεί ως ένα βαθμό με τις βιονομικές περιγραφές του Pérès (1967). Εντούτοις, παρατηρήθηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις πιθανότατα επειδή ο τελευταίος ερευνητής βασίστηκε κυρίως σε ποιοτικές μελέτες που έλαβαν χώρα σε σπήλαια της βορειοδυτικής Μεσογείου.

Συγκεκριμένα, στα υπό μελέτη σπήλαια του Αιγαίου επικρατούσαν γενικά οι σπόγγοι ενώ σε συγκεκριμένες ζώνες παρατηρήθηκαν τοπικά φάσεις σκληρακτινίων, βρουζών και πολύχαιτων *Serpulidae* που συζητιούνται αναλυτικά παρακάτω. Οι κοινότητες της οροφής και των δύο σπηλαίων εμφανίστηκαν διαφοροποιημένες σε σχέση με αυτές των τοίχων λόγω της τοπικής επικράτησης σκληρακτινίων των ειδών *Madracis pharensis* και *Leptopsammia pruvoti*. Η ανάπτυξη πυκνών φάσεων σκληρακτινίων στην οροφή σπηλαίων και σηράγγων έχει καταγραφεί και στη δυτική Μεσόγειο και φαίνεται να σχετίζεται με τη μείωση του φωτισμού και την εντονότερη περιδίνηση των ρευμάτων νερού (Laborel & Vacelet 1958, Zibrowius 1978, Gili *et al.* 1982). Επίσης, και στα δύο σπήλαια, τα φωτογραφικά πλαίσια από την οροφή του μεσαίου ημισκοτεινού τμήματος ομαδοποιήθηκαν με αυτά του σκοτεινότερου εσωτερικού, όπως έχει παρατηρηθεί σε άλλα σπήλαια της δυτικής Μεσογείου· ο φωτισμός στο επίπεδο της οροφής μειώνεται γρηγορότερα σε σχέση με τους κατακόρυφους τοίχους, επιδρώντας ανάλογα στη σύνθεση των κοινοτήτων (Bianchi & Morri 1994). Έρευνες για τις σκιοφιλικές βενθικές κοινότητες σκληρού υποστρώματος του Βόρειου Αιγαίου έχουν δείξει ότι η κλίση του υποστρώματος μπορεί να επηρεάσει τόσο τη σύνθεση των κοινοτήτων όσο και τα πρότυπα χωροδιάταξης των κύριων ειδών (Antoniadou *et al.* 2006).

Στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στις βιοκοινότητες GSO και GO των δύο σπηλαίων (Φ: 15-20 m, AB: 15 m) και ιδίως στο επίπεδο της οροφής, παρατηρήθηκαν φάσεις κρουστωδών βρουζών που σχημάτιζαν κονδύλους, όπως έχουν καταγράψει οι Harmelin *et al.* (1985) σε σπήλαια των Μεσογειακών ακτών της Γαλλίας. Από τα είδη βρουζών που βρέθηκαν σε αυτή τη ζώνη, το *Onychocella marioni* θεωρείται το βασικό είδος που σχηματίζει αποθέσεις κονδύλων (Harmelin 1985, 1986) ενώ το *Hippaliosina depressa* είναι ενδημικό είδος της ανατολικής Μεσογείου. Το τελευταίο είδος έχει βρεθεί να σχηματίζει λεπτές κρούστες σε σπήλαια του δυτικού Ιονίου (Bussotti *et al.* 2006). Ο Hayward (1974) αναφέρει ότι το *H. depressa* ήταν το κυρίαρχο είδος βρουζών στο γειτονικό νησί της Χίου, όπου βρέθηκε να σχηματίζει αποικίες με τη μορφή εκτεταμένων λεπτών επιστρώσεων, επικαλύπτοντας πολλές φορές άλλα είδη βρουζών. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και στα υπό μελέτη σπήλαια όπου το *H. depressa* συχνά επικάλυπτε κονδύλους του *O. marioni*.

Στην ίδια οικολογική ζώνη και στα τοιχώματα του εσωτερικού των σπηλαίων παρατηρήθηκαν επίσης φάσεις του βραχιόποδου *Novocrania anomala* που συχνά σχηματίζει βιοαποθέσεις σε σπήλαια της Μεσογείου και του βορειοανατολικού Ατλαντικού (Logan *et al.* 2004).

Στο σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων παρατηρήθηκαν φάσεις πολύχαιτων Serpulidae που σε ορισμένα σημεία σχημάτιζαν βιογενή σπηλαιοθέματα (ψευδοσταλακτίτες), παρόμοια με αυτά που έχουν βρεθεί σε κάποια σπήλαια της Καραϊβικής (Macintyre *et al.* 1982), της Τυρρηνικής Θάλασσας (Antonoli *et al.* 2001) και των Ιταλικών ακτών του Ιονίου (Belmonte *et al.* 2009). Η δημιουργία βιογενών σχηματισμών από ευκαιριακά ευρύοικα είδη της οικογένειας Serpulidae έχει αναφερθεί από φυσικά πιεσμένα περιβάλλοντα και πιθανώς αποτελεί προσαρμογή στις επικρατούσες συνθήκες ανταγωνισμού ή/και θήρευσης (Belmonte *et al.* 2009 και εκεί αναφορές).

Το λεπτό μαύρο επίχρισμα από οξείδια Mn και Fe που εναποτίθενται με αργούς ρυθμούς στο υπόστρωμα και τείνει να καλύψει τα νεκρά ασβεστιτικά μέρη οργανισμών (π.χ. σωλήνες των Serpulidae), που παρατηρήθηκε στη σκοτεινή ζώνη των υπό μελέτη σπηλαίων και κατά βάση στο σπήλαιο Φ, έχει περιγραφεί από υποθαλάσσια σπήλαια και κοιλότητες κοραλλιγενών βυθών της βορειοδυτικής Μεσογείου (Laborel & Vacelet 1959, Pérès 1967, Allouc & Harmelin 2001), ενώ έχει επίσης παρατηρηθεί στις βιοκοινότητες των βράχων και κοραλλιών της βαθύαλης ζώνης αλλά και με τη μορφή κονδύλων σε μεγάλα ωκεάνια βάθη (Pérès 1967).

Από την άλλη μεριά, κάποιες φάσεις που έχουν περιγραφεί ως χαρακτηριστικές των σπηλαίων της βορειοδυτικής Μεσογείου απουσίαζαν από τα υπό μελέτη σπήλαια. Έτσι, από την κοραλλιγενή είσοδο των σπηλαίων απουσίαζαν οι φάσεις των γοργονιών *Paramuricea clavata* και *Eunicella cavolini*, ενώ από το εσωτερικό απουσίαζαν οι φάσεις των ανθόζων *Parazoanthus axinellae* και *Corallium rubrum*, που επικρατούν στο ημισκοτεινό τμήμα σπηλαίων της Μασσαλίας (Pérès 1967). Ωστόσο, σύμφωνα με τον Rouliquen (1972), η φάση του ζωνθάρου *P. axinellae*, δεν πρέπει να θεωρείται χαρακτηριστική της βιοκοινότητας GSO καθώς συνήθως αναπτύσσεται σε κοραλλιγενείς βυθούς και τοίχους, με σκιερές συνθήκες και υδροδυναμισμό μεσαίας έντασης. Γενικά στο Αιγαίο, οι φάσεις αυτών των ανθόζων είναι πιο σπάνιες σε σχέση με τη δυτική Μεσόγειο και παρατηρούνται στην κοραλλιγενή βιοκοινότητα, συνήθως σε βάθη μεγαλύτερα των 25-30 m, σε περιοχές με έντονο υδροδυναμισμό, για την περίπτωση των γοργονιών και του *P. axinellae* (Sini *et al.* 2014), ενώ το *C. rubrum* παρατηρείται σε βάθη μεγαλύτερα των 50-70 m (Dounas *et al.* 2010). Αντίστοιχες διαφορές, σε σύγκριση με τις φάσεις των σπηλαίων της ηπειρωτικής βορειοδυτικής Μεσογείου, παρατηρήθηκαν σε σπήλαια των Βαλεαρίδων Νήσων όπου από τη ζώνη εισόδου απουσίαζαν οι φάσεις γοργονιών ενώ από το εσωτερικό απουσίαζε η φάση του *C. rubrum* (Uriz *et al.* 1993). Επιπλέον, στη ζώνη εισόδου αυτών των σπηλαίων καταγράφηκαν δύο επιπλέον φάσεις: (α) των ειδών *Leptopsammia pruvoti*, *Agelas oroides* και *Spirastrella cunctatrix* και (β) του βρυοζώου *Reteporella grimaldii* (Bibiloni *et al.* 1984, Uriz *et al.* 1993). Πιθανή αιτία για τη αυτή τη διαφοροποίηση αποτελούν τα θερμότερα ολιγοτροφικά νερά της περιοχής των Βαλεαρίδων Νήσων σε σχέση με αυτά των γειτονικών ηπειρωτικών ακτών (Bibiloni & Gili 1982). Αντίστοιχες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικά μειωμένων θρεπτικών επικρατούν στα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου (Lykousis *et al.* 2002, Skliris *et al.* 2011) γεγονός που καθιστά πολύ ενδιαφέρουσα μια μελλοντική σύγκριση σπηλαίων που βρίσκονται σε νησιά του βόρειου και νότιου συμπλέγματος του Αρχιπελάγους του Αιγαίου με άλλα από τις ηπειρωτικές ακτές, για παράδειγμα τις ακτές της Χαλκιδικής.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάποια από τα είδη που δε βρέθηκαν στα φωτογραφικά πλαίσια των σπηλαίων Φ (*Lithophaga lithophaga*, *Halocynthia papillosa*) και AB (*Aaptos aaptos*,

Jaspis johnstonii, *Spongia virgultosa*, *Phyllangia americana mouchezii*, *Microcosmus* sp.) έχουν καταγραφεί σε αυτά κατά την ποιοτική δειγματοληψία. Για παράδειγμα, το διατρητικό δίθυρο *Lithophaga lithophaga*, αν και βρέθηκε μόνο σε πλαίσια από την οροφή του σπηλαίου AB (0 και 15 m), στην πραγματικότητα φαίνεται ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη εξάπλωση στα υπό μελέτη σπήλαια, καθώς κατά τη διάρκεια των καταδύσεων παρατηρήθηκαν αρκετές τρύπες στην οροφή του Φ (0-20 m) και στο σκοτεινό εσωτερικό του AB (τοιχοί και οροφή στα 20 m) που σχηματίστηκαν από αυτό. Το είδος αυτό έχει καταγραφεί να σχηματίζει τρύπες στην οροφή του σκοτεινού εσωτερικού πολλών σπηλαίων της βορειοδυτικής Μεσογείου (π.χ. Laborel 1960, Riedl 1966). Τα διατρητικά είδη, ιδιαίτερα οι σπόγγοι της οικογένειας Clionaidae, μπορεί να αποτελούν σημαντικό μέρος της βιομάζας των βενθικών κοινοτήτων σε Μεσογειακά σπήλαια (Sarà 1968, Balduzzi *et al.* 1989, Corriero *et al.* 2000). Στην παρούσα μελέτη, ορισμένα είδη με διατρητική δράση (σπόγγοι *Cliona* spp. και δίθυρο *Rocellaria dubia*) βρέθηκαν στα πρώτα 10 m του σπηλαίου Φ και στα πρώτα 5 m του AB, δηλαδή στις ζώνες που καλύπτονταν κυρίως από κρουστώδη ενασβεστωμένα ροδοφύκη. Προηγούμενες έρευνες σε σπήλαια έχουν δείξει ότι η οριζόντια εξάπλωση των σπόγγων της οικογένειας Clionaidae σε υποθαλάσσια σπήλαια σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα βιογενούς υποστρώματος (π.χ. ενασβεστωμένα μακροφύκη, κελύφη από *Balanus* και *Ostrea*) στα τοιχώματα των σπηλαίων (Sarà 1962b, Pansini *et al.* 1977).

4.4.2. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας

Από τα αποτελέσματα της μελέτης φάνηκε ότι τα δύο υπό μελέτη σπήλαια χαρακτηρίζονται από διαφορετικά χωρικά πρότυπα ποικιλότητας. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει αντίστοιχα ότι σε σπήλαια της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου έχουν καταγραφεί δύο διαφορετικά χωρικά πρότυπα ποικιλότητας: σε ορισμένα σπήλαια ο πλούτος ειδών και η ποικιλότητα Shannon-Wiener (H') μειώνονται προς το εσωτερικό (Pansini *et al.* 1977, Balduzzi *et al.* 1989, Martí *et al.* 2004a-b) ενώ σε άλλες περιπτώσεις αυξάνονται από την είσοδο έως το μεσαίο τμήμα (Sarà 1962b, Cinelli *et al.* 1977, Corriero *et al.* 1997a, 2000, Bell 2002) ή και μέχρι το εσωτερικό των σπηλαίων (Martí *et al.* 2004a-b). Οι παραπάνω ερευνητές γενικά συμφωνούν ότι η αύξηση της ποικιλότητας στο ενδιάμεσο τμήμα των σπηλαίων σχετίζεται με την αύξηση των ειδών εδραίων ασπόνδυλων λόγω της μείωσης του φωτισμού και της επακόλουθης εξαφάνισης των μακροφυκών. Αντίθετα, η μείωση της ποικιλότητας προς το εσωτερικό σε κάποια σπήλαια πιθανότατα οφείλεται στην ελάττωση των διαθέσιμων πόρων τροφής, εξαιτίας της ασθενούς ανανέωσης του νερού. Επιπρόσθετα, διαφοροποιήσεις στα χωρικά πρότυπα ποικιλότητας ανάμεσα σε διαφορετικά σπήλαια θα μπορούσαν να αποδοθούν στα μοναδικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά του κάθε σπηλαίου που δημιουργούν διαβάθμιση των κύριων αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων (Balduzzi *et al.* 1989, Bell 2002, Martí *et al.* 2004a-b, Bussotti *et al.* 2006).

Τα υπό μελέτη σπήλαια του Αιγαίου παρουσίαζαν διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά (π.χ. βάθος, σχήμα και διαστάσεις εισόδου), τα οποία πιθανότατα επηρεάζουν τη διείσδυση του φωτός και την κυκλοφορία του νερού στο εσωτερικό τους. Έτσι, στο σπήλαιο Φ, που έχει τη μορφή σήραγγας, όλοι οι δείκτες ποικιλότητας αυξάνονταν έως τα 5 m, έπειτα μειώνονταν μέχρι τα 20 m και παρουσίαζαν μικρή αύξηση στο εσωτερικό. Το τμήμα του σπηλαίου που

βρίσκεται στα 5-20 m αποτελεί έναν στενό διάδρομο που διαχωρίζει το σπήλαιο σε δύο κύριους θαλάμους: έναν ημισκοτεινό θάλαμο στη ζώνη εισόδου και έναν σκοτεινό στο εσωτερικό του σπηλαίου, που συνδέεται μέσω μιας στενής σχισμής με μια μικρή σπηλιά στην άλλη πλευρά της νησίδας. Οι υποθαλάσσιες σήραγγες χαρακτηρίζονται από πιο έντονη κυκλοφορία νερού στο εσωτερικό τους, σε σχέση με τα αδιέξοδα σπήλαια²⁴, η οποία και αποτυπώνεται στη δομή των κοινοτήτων που φιλοξενούν (Riedl 1966, Harmelin 1969, Vacelet 1976, Harmelin *et al.* 1985). Πράγματι, κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, ήταν αισθητή η ύπαρξη ρεύματος προς το εσωτερικό του σπηλαίου Φ, κυρίως όταν επικρατούσε δυνατός νότιος άνεμος. Οι Pansini *et al.* (1977) πρότειναν ότι η επικράτηση λίγων ειδών σπόγγων με μορφή κρούστας στον ενδιάμεσο διάδρομο ενός ημιβυθισμένου σπηλαίου στη νήσο Ischia (Τυρρηνική Θάλασσα) καταδεικνύει την αύξηση της έντασης του υδροδυναμισμού λόγω του φαινομένου Venturi²⁵. Αντίστοιχα, ο Bell (2002) μελέτησε τις κοινότητες σπόγγων σε ένα ημιβυθισμένο σπήλαιο της Ιρλανδίας και βρήκε ότι η χωρική μεταβολή του πλούτου ειδών (S), της ποικιλότητας Shannon-Wiener (H') και της μορφολογικής ποικιλότητας σπόγγων οφειλόταν ως ένα βαθμό στην έντονη κυκλοφορία του νερού εξαιτίας του στενώματος του σπηλαίου. Συνεπώς, τα χωρικά πρότυπα ποικιλότητας που καταγράφηκαν στο σπήλαιο Φ θα μπορούσαν να σχετίζονται με τη διαφοροποίηση του εμβαδού διατομής και τις πιθανές επιπτώσεις της στην κυκλοφορία του νερού.

Αντίστοιχα, στο σπήλαιο AB που έχει μορφή χοάνης, οι δείκτες ποικιλότητας παρουσίαζαν τάση μείωσης προς το εσωτερικό, σε αντιστοιχία με προηγούμενες μελέτες σε υποθαλάσσια σπήλαια με παρόμοια μορφολογία (Martí *et al.* 2004a·b). Τα αδιέξοδα σπήλαια γενικά χαρακτηρίζονται από μείωση των τροφικών πόρων προς το εσωτερικό εξαιτίας της ασθενούς ανανέωσης του νερού που έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της βιοτικής κάλυψης, της βιομάζας, της ποικιλότητας και την εξαφάνιση των ασπόνδυλων ειδών με συμπαγή μορφή (Bianchi & Morri 1994).

Στην παρούσα μελέτη, τα πρότυπα χωρικής ετερογένειας των κοινοτήτων των σπηλαίων διερευνήθηκαν σε σχέση τόσο με την απόσταση από την είσοδο όσο και με τη θέση εντός των διαφορετικών αποστάσεων (οροφή και κατακόρυφοι τοίχοι), φανερώνοντας στατιστικά σημαντική μεταβολή σε σχέση και με τους δύο παραπάνω τοπογραφικούς παράγοντες. Η ετερογένεια μικρής κλίμακας εντός συγκεκριμένων τμημάτων των σπηλαίων έχει μελετηθεί ελάχιστα καθώς στην πλειοψηφία τους οι διαθέσιμες ποσοτικές μελέτες διερευνούν τα πρότυπα χωρικής ετερογένειας των κοινοτήτων των σπηλαίων μόνο σε σχέση με την απόσταση από την είσοδο. Οι ελάχιστες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα έχουν παρατηρήσει διαφοροποίηση των βενθικών κοινοτήτων ανάμεσα (α) σε απέναντι τοίχους (Dellow & Cassie 1955), (β) στον πυθμένα σε σχέση με τους τοίχους των σπηλαίων (Russ & Rützler 1959), (γ) σε διαφορετικά βάθη του ίδιου κατακόρυφου τοίχου (Bell 2002) και (δ) σε διαφορετικά σημεία των τοίχων που βρίσκονται στην ίδια ζώνη των σπηλαίων (Bussotti *et al.* 2006). Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις, το επίπεδο των διαφοροποιήσεων αυτών ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό μεταξύ διαφορετικών γειτονικών σπηλαίων (Dellow &

²⁴ Στην βιβλιογραφία τα σπήλαια αυτά είναι γνωστά ως “blind caves” (αγγλικά), “cul-de-sac” (γαλλικά) και “sackhöhle” (γερμανικά).

²⁵ Η ταχύτητα ενός ρευστού αυξάνεται με τη μείωση του εμβαδού διατομής.

Cassie 1955, Bussotti *et al.* 2006) δείχνοντας έτσι το ρόλο της εσωτερικής μικρο-τοπογραφίας των σπηλαίων στη διαμόρφωση της δομής των κοινοτήτων που φιλοξενούν.

Ο δείκτης ομοιομορφίας κατανομής των ειδών (J') είχε μεγαλύτερες τιμές στο εσωτερικό των σπηλαίων που μελετήθηκαν σε σχέση με τη ζώνη εισόδου, όπου επικρατούσαν συγκεκριμένα είδη ροδοφυκών, σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες (Balduzzi *et al.* 1989, Bell 2000, Barnes & Bell 2002b), υποδεικνύοντας την απουσία επικρατούντων ειδών.

4.4.3. Οι σπόγγοι ως υποκατάστατες για τη μελέτη των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων

Στα υποθαλάσσια σπήλαια που μελετήθηκαν καταγράφηκε πλούσια εδραία πανίδα με τους σπόγγους να αποτελούν κυρίαρχη ομάδα από πλευράς πλούτου ειδών και καλυπτικότητα. Η επικράτηση των σπόγγων στο εν λόγω ενδιαίτημα επιβεβαιώνεται από πολλές έρευνες σε σπήλαια της Μεσογείου (π.χ. Sarà 1968, Corriero *et al.* 2000, Martí *et al.* 2004a, Bussotti *et al.* 2006). Σύμφωνα με τους Bibiloni *et al.* (1989), που μελέτησαν τις κοινότητες σπηλαίων των Βαλεαρίδων Νήσων, οι σπόγγοι έχουν δυνατότητα προσαρμογής σε εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών, λόγω του αργού ρυθμού ανάπτυξης που τους χαρακτηρίζει. Έτσι, μπορούν να προσαρμοστούν σε ακραία περιβάλλοντα όπως είναι τα σπήλαια, αναπτύσσοντας ιδιαίτερες προσαρμογές ως προς τη μορφή, το χρώμα και τις αναπαραγωγικές στρατηγικές.

Στην παρούσα μελέτη, η μικρή αύξηση της ταξινομικής ποικιλότητας των σπόγγων προς το εσωτερικό των σπηλαίων πιθανώς υποδεικνύει ότι αυτό το ενδιαίτημα ευνοεί την επιβίωση ταξινομικά ευρύτερης κοινότητας σε σχέση με γειτονικές εκτεθειμένες βραχώδεις περιοχές. Σε ότι αφορά τους υπόλοιπους δείκτες ποικιλότητας που μελετήθηκαν, φάνηκε ότι τα χωρικά πρότυπα της ποικιλότητας των σπόγγων ήταν αντίστοιχα με αυτά που καταγράφηκαν για το σύνολο της χλωρίδας και πανίδας των σπηλαίων. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι σπόγγοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως υποκαταστάτες για τη μελέτη των κοινοτήτων των σπηλαίων, τουλάχιστον σε περιοχές με χαρακτηριστικά ανάλογα της μελετηθείσας στο Αιγαίο. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από τη στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση των τριγωνικών πινάκων ομοιότητας των δειγμάτων που προέκυψαν για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις στην πολυδιάστατη χωρική ταξινόμηση των δειγμάτων που βρίσκονταν κοντά στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων που οφείλονται στην τοπική επικράτηση των ροδοφυκών.

Η χρήση συγκεκριμένων ταξινομικών ομάδων που κυριαρχούν σε κάποια ενδιαίτηματα, ως υποκαταστατών για την ταχεία εκτίμηση των χωρικών προτύπων βιοποικιλότητας του συνόλου της κοινότητας, έχει προταθεί από επιστήμονες και σε άλλες περιπτώσεις· ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η χρήση των πολυχαίτων ή ακόμη και συγκεκριμένων τάξεων της κλάσης (π.χ. Terebellida), ως υποκαταστατών για τη μελέτη των κοινοτήτων κινητού υποστρώματος στον Ατλαντικό (Olsgard & Somerfield 2000, Olsgard *et al.* 2003) και στη Μεσόγειο (Chintiroglou *et al.* 2006).

Ο πλούτος ειδών (S) και η ποικιλότητα Shannon-Wiener (H') της συνεύρεσης των σπόγγων παρουσίασαν στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση με τη μορφολογική ποικιλότητα και στα δύο υπό μελέτη σπήλαια, παρά το γεγονός ότι καταγράφηκαν διαφορετικά χωρικά πρότυπα ποικιλότητας στο καθένα. Ωστόσο, οι Bell & Barnes (2002b) δεν βρήκαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση των παραπάνω δεικτών ποικιλότητας σε σπήλαια του Δυτικού Ινδικού, εξαιτίας της

επικράτησης αποκλειστικά κρουστωδών μορφών στο εσωτερικό τους. Η επικράτηση ειδών με μορφή κρούστας στο σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων έχει καταγραφεί σε πολλές μελέτες (π.χ. Harmelin *et al.* 1985, Barnes & Bell 2002a, Bussotti *et al.* 2006, παρούσα μελέτη) και οφείλεται στις έντονα ολιγοτροφικές συνθήκες που επικρατούν στο σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων (Bibiloni *et al.* 1989, Bianchi & Morri 1994). Οι σπόγγοι με μορφή λεπτής κρούστας παρουσιάζουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο που επιτρέπει αποτελεσματικότερη διήθηση του νερού οπότε και δυνατότητα αξιοποίησης του λιγοστού σωματιδιακού οργανικού υλικού (Bibiloni *et al.* 1989). Από την άλλη μεριά, σπόγγοι με ανορθωμένη μορφή επικρατούν σε περιοχές με αυξημένη ιζηματοπόθεση καθώς ο συγκεκριμένος μορφότυπος εμποδίζει τη συσσώρευση ιζήματος και την επακόλουθη φραγή των καναλιών του σπόγγου (Bell *et al.* 2002 και εκεί αναφορές). Στην παρούσα μελέτη, οι σπόγγοι με δενδροειδή μορφή *Axinella cannabina* και *A. verrucosa* καταγράφηκαν μόνο στον αριστερό τοίχο του σπηλαίου Φ, σε απόσταση 5-10 m από την είσοδο, όπου παρατηρήθηκε μια λεπτή επίστρωση ιζήματος, πιθανότατα εξαιτίας της εγγύτητας με τον ιλυώδη πυθμένα και της θετικής κλίσης των τοιχωμάτων του σπηλαίου. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε σε ζώνες άλλων σπηλαίων με αυξημένη ιζηματοπόθεση (Bibiloni *et al.* 1989). Κατά συνέπεια, η επικράτηση συγκεκριμένων μορφότυπων σπόγγων μπορεί να συμβάλει σε κάποιο βαθμό στην περιγραφή διαφοροποιήσεων μικρής κλίμακας που παρατηρούνται στο εσωτερικό των Μεσογειακών υποθαλάσσιων σπηλαίων.

Το μοντέλο χρήσης της μορφολογικής ποικιλότητας ως υποκαταστάτη για τη μελέτη των γενικών χωρικών προτύπων των συνευρέσεων των σπόγγων δεν είχε εφαρμοστεί μέχρι σήμερα σε υποθαλάσσια σπήλαια εύκρατων θαλασσών παρά μόνο σε τροπικές περιοχές του Ινδικού, ωστόσο χωρίς στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα (Bell & Barnes 2002b). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η μορφολογική ποικιλότητα των σπόγγων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αυτόν το σκοπό σε Μεσογειακά σπήλαια, τουλάχιστον της ανατολικής λεκάνης. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα χωρικά πρότυπα ποικιλότητας των σπόγγων ήταν παρόμοια με αυτά του συνόλου της κοινότητας, η μορφολογική ποικιλότητα της ομάδας αυτής πιθανότατα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υποκαταστάτης για την περιγραφή των συνολικών χωρικών προτύπων ποικιλότητας των βενθικών κοινοτήτων των σπηλαίων. Εντούτοις, μελλοντικά θα πρέπει να πραγματοποιηθούν αντίστοιχες έρευνες και σε άλλα υποθαλάσσια σπήλαια με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά από διαφορετικές περιοχές ώστε να επιβεβαιωθεί η ισχύς του μοντέλου και σε άλλες περιπτώσεις.

4.4.4. Οι σπόγγοι ως μηχανικοί οικοσυστήματος σε υποθαλάσσια σπήλαια

Παρόλο που οι σπόγγοι κυριαρχούν στα υποθαλάσσια σπήλαια, δεν είχε μελετηθεί μέχρι σήμερα ο ρόλος τους ως μηχανικών στο συγκεκριμένο οικοσύστημα. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι οι σπόγγοι *Aplysina aerophoba* και *Agelas oroides* στα υπό μελέτη σπήλαια φιλοξενούν πλούσια συμβιωτική πανίδα. Και στα δύο είδη βρέθηκε ίδιος αριθμός ειδών συμβιωτών παρόλο που προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι το *Aplysina aerophoba* φιλοξενεί πολύ περισσότερα είδη σε σχέση με το *Agelas oroides* (104 vs. 61 είδη, σύμφωνα με τους Koukouras *et al.* 1985, 1992). Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στις

μελέτες αυτές τα δείγματα πάρθηκαν από ρηχές περιοχές (3-10 m) της Χαλκιδικής. Επίσης, περίπου το 30% των συμβιωτικών ειδών που βρέθηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν κοινά ανάμεσα στα δύο είδη σπόγγων ενώ τα υπόλοιπα διέφεραν επιβεβαιώνοντας προηγούμενες μελέτες σχετικά με τη διαφορετική σύνθεση της συμβιωτικής πανίδας αυτών των σπόγγων που σχετίζεται με διαφορές στη μορφολογία τους (Koukouras *et al.* 1985, 1992, 1996).

Η μελέτη της πανίδας των σπόγγων στα σπήλαια ανέδειξε έναν αριθμό ειδών που αναφέρονται για πρώτη φορά ως συμβιώτες του *Agelas oroides* (22), του *Aplysina aerophoba* (17) αλλά και των σπόγγων γενικότερα (11). Τα περισσότερα από αυτά έχουν καταγραφεί σε σπήλαια της Μεσογείου, περιλαμβανομένων κάποιων ειδών που θεωρούνται χαρακτηριστικά κρυπτικών ενδιαιτημάτων (π.χ. κοιλότητες βράχων). Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν ο πολύχαιτος *Vermiliopsis monodiscus* που θεωρείται τυπικό είδος της βιοκοινότητας των σκοτεινών σπηλαίων της βορειοδυτικής Μεσογείου (Zibrowius 1968) και ο γοβίος *Corcyrogobius liechtensteini*. Το τελευταίο είδος είναι κρυπτοβενθικό και έχει βρεθεί σε σπήλαια ανάμεσα σε θαλλούς του ροδοφύκου *Peyssonnelia squamaria*, σε διακλαδώσεις του βρυσώου *Myriapora truncata* και μέσα σε άδειες τρύπες του διατρητικού δίθυρου *Lithophaga lithophaga* (Herler *et al.* 1999). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει αφενός την προτίμησή τους για σκιοφιλά ενδιαιτήματα και αφετέρου την άποψη των Koukouras *et al.* (1996) ότι ο τύπος της ευρύτερης βιοκοινότητας στην οποία ζει ο σπόγγος επηρεάζει τη σύνθεση της συμβιωτικής του πανίδας, καθώς αυτή φαίνεται ότι σε μεγάλο ποσοστό προέρχεται από γειτονικά ενδιαιτήματα. Οι Gherardi *et al.* (2001) μελέτησαν τη συμβιωτική πανίδα του σπόγγου *Geodia cydonium* και βρήκαν ότι τα δείγματα που προέρχονταν από τη βιοκοινότητα των φωτόφιλων μακροφυκών φιλοξενούσαν φωτόφιλα είδη πολύχαιτων ενώ δείγματα από λειμώνες *Posidonia oceanica* φιλοξενούσαν σκιοφιλά είδη.

Το γεγονός ότι η αθροιστική καμπύλη του πλούτου ειδών συμβιωτών σε σχέση με τον όγκο των σπόγγων που μελετήθηκαν δεν έγινε ασυμπτωτική, δείχνει ότι περαιτέρω δειγματοληψία σπόγγων στα υπό μελέτη σπήλαια ενδεχομένως θα αποκάλυπτε την παρουσία και άλλων ειδών συμβιωτών.

Κανένα από τα είδη συμβιωτών που βρέθηκαν τόσο στην παρούσα όσο και σε προηγούμενες μελέτες για αυτά τα είδη σπόγγων δεν αποτελεί αποκλειστικό συμβιώτη σπόγγων αλλά στην πλειοψηφία τους αποτελούν σκιοφιλά είδη που αφθονούν σε κρυπτικά μικρο-ενδιαιτήματα ή ευρύοικα είδη που απαντούν σε μεγάλο φάσμα ενδιαιτημάτων (Koukouras *et al.* 1985, Voultsiadou-Koukoura *et al.* 1987, Koukouras *et al.* 1996). Ωστόσο, ορισμένα από τα είδη των συμβιωτών σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αφθονούν σε σπόγγους είτε ως ενδοβιώτες (π.χ. *Colomastix pusilla*, *Janira maculosa*, *Hiatella arctica*, *Leucothoe spinicarpa*) είτε ως επιβιώτες (π.χ. *Ophiothrix fragilis*). Η μεγάλη αφθονία κάποιων από αυτά τα είδη έχει αποδοθεί σε σχέσεις παρασιτισμού (π.χ. το αμφίποδο *C. pusilla* σύμφωνα με τους Connes 1967 και Costello & Myers 1987) ή με συγκεκριμένα στάδια του κύκλου ζωής των ειδών όπως είναι η αναπαραγωγή (π.χ. επιλεκτική εγκατάσταση προνυμφών *Ophiothrix fragilis* σε συγκεκριμένα είδη σπόγγων σύμφωνα με τους Turon *et al.* 2000). Γενικά, οι σπόγγοι έχουν αναφερθεί ως τόποι αναπαραγωγής για πολλά μακροπανιδικά είδη (Shuster 1989, Klitgaard 1991, Turon *et al.* 2000, Huang *et al.* 2008). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την παρούσα μελέτη, καθώς σε δείγματα του είδους *Agelas oroides* που συλλέχθηκαν από την είσοδο του σπηλαίου Φ, υπήρχαν νεαρά αμφίποδα *Colomastix pusilla* και ταναϊδώδη *Paradoxapseudes intermedius*

που έφεραν αυγά ενώ σε δείγματα του *Aplysina aerophoba* από την είσοδο του AB αντίστοιχα, τα δεκάποδα *Athanas nitescens* και *Eualus occultus* έφεραν αυγά.

Η κυριαρχία από άποψη αφθονίας των καρκινοειδών και κυρίως των αμφιπόδων και ισοπόδων στα δύο είδη σπόγγων, με δεύτερους τους πολύχαιτους είναι σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες που έχουν εξετάσει τη συμβιωτική πανίδα διάφορων ειδών σπόγγων (Pansini 1970, Bacescu 1971, Frith 1976, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987, Koukouras *et al.* 1992, 1996, Çinar *et al.* 2002, Ribeiro *et al.* 2003). Οι Koukouras *et al.* (1985) μελέτησαν την ενδοπανίδα 7 ειδών σπόγγων σε ρηχές περιοχές της Χαλκιδικής και βρήκαν ότι στα 6 από αυτά, συμπεριλαμβανομένου του *Aplysina aerophoba* κυριαρχούσαν τα καρκινοειδή (κυρίως αμφίποδα) από πλευράς αφθονίας, ενώ στο *Agelas oroides* τα καρκινοειδή και οι πολύχαιτοι κάλυπταν περίπου ίδιο ποσοστό των ενδοβιωτών. Η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που παρατηρήθηκε ανάμεσα στην αφθονία των πολύχαιτων και των αμφιπόδων που συμβιώνουν με σπόγγους στην παρούσα μελέτη πιθανότατα αποτελεί ένδειξη ανταγωνισμού για τροφικούς πόρους ή/και σχέσης θηρευτή-λείας ανάμεσα στις δύο ομάδες (Koukouras *et al.* 1992). Η αριθμητική κυριαρχία των αμφιπόδων στους σπόγγους πιθανώς οφείλεται στο μικρό τους μέγεθος που τους επιτρέπει να κινούνται στα κανάλια των σπόγγων (Koukouras *et al.* 1985, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987).

Οι διαφορές στη σύνθεση της πανίδας των δύο σπόγγων πιθανώς καταδεικνύουν διαφορές στην καταλληλότητα των ειδών για εγκατάσταση που σχετίζονται με τη μορφολογία τους. Ο Rützler (1976) σε μια μελέτη της συμβιωτικής πανίδας 6 ειδών σπόγγων από τις ακτές της Τυνησίας συμπέρανε ότι οι σπόγγοι που διαθέτουν μεγάλα κανάλια είναι κατελιημμένοι από λίγους και μεγάλους ενδοβιώτες ενώ αντίθετα οι σπόγγοι με μικρά κανάλια φιλοξενούν μεγάλο αριθμό ενδοβιωτών μικρού μεγέθους. Επίσης, οι σπόγγοι με διακλαδώσεις και δακτυλοειδείς προεξοχές (fistulose) έχει βρεθεί ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αφθονία και αριθμό ειδών συμβιωτών καθώς διαθέτουν περισσότερες εσωτερικές κοιλότητες παρέχοντας ενδιαίτημα σε ενδοβιώτες (Frith 1976, Duarte & Nalesso 1996). Οι Koukouras *et al.* (1996) βρήκαν ότι ο πλούτος ειδών και η σύνθεση της συμβιωτικής πανίδας των σπόγγων *Aplysina aerophoba* και *Agelas oroides* διέφεραν μεταξύ τους. Ο σπόγγος *Aplysina aerophoba* διαθέτει επιμήκη αλλά μικρής διαμέτρου κανάλια που επιτρέπουν τη μετακίνηση σε μικρόσωμα αμφίποδα (κυρίως του είδους *Colomastix rusilla*) ενώ εμποδίζουν την είσοδο σε μεγάλωσους συμβιώτες όπως οι πολύχαιτοι (Koukouras *et al.* 1985, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987, Koukouras *et al.* 1992). Το αντίθετο συμβαίνει με τον σπόγγο *Agelas oroides* που έχει συμπαγή μορφή και διαθέτει λίγα κανάλια που διακλαδίζονται, φαρδαινούν και διακόπτονται απότομα προς το εσωτερικό, παίρνοντας μορφή κοιλοτήτων που επιτρέπουν την είσοδο περισσότερο στους πολύχαιτους (Koukouras *et al.* 1992, 1996). Ωστόσο οι διαφορές ανάμεσα στη συμβιωτική πανίδα των δύο ειδών σπόγγων θα μπορούσαν να οφείλονται και σε άλλους παράγοντες που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης (π.χ. βιοχημικές ουσίες, συμβιωτικά βακτήρια).

Η μέση πυκνότητα συμβιωτών στο *Aplysina aerophoba* ήταν έως 5-6 φορές μεγαλύτερη από αυτή του *Agelas oroides*, σε πλήρη συμφωνία με προηγούμενες μελέτες (Koukouras *et al.* 1992, 1996). Η θετική συσχέτιση που βρέθηκε για τον όγκο των δειγμάτων σπόγγων με την αφθονία και τον πλούτο ειδών των συμβιωτών συμφωνεί επίσης με έρευνες στις οποίες εξετάστηκαν τα ίδια (Koukouras *et al.* 1992) και άλλα είδη σπόγγων (Labate & D'Addabo Gallo

1974, Frith 1976, Westinga & Hoetjes 1981, Duarte & Nalesso 1996, Çinar & Ergen 1998, Çinar *et al.* 2002, Ribeiro *et al.* 2003, Gherardi *et al.* 2001). Ωστόσο, σε κάποιες μελέτες του αφορούσαν στα είδη *Agelas oroides* και *Aplysina aerophoba* (Koukouras *et al.* 1985, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987) δεν βρέθηκε συσχέτιση για τις παραπάνω παραμέτρους, γεγονός που αποδόθηκε σε διαφορές της μορφολογικής δομής των σπόγγων και κυρίως μεταξύ των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από διαφορετικές περιοχές. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, παράγοντες που σχετίζονται με το εξωτερικό περιβάλλον των σπόγγων θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποικιλότητα της συμβιωτικής πανίδας που φιλοξενούν. Έτσι, ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν ότι σπόγγοι που προέρχονταν από περιοχές με μεγάλη κάλυψη από μακροφύκη ή βρίσκονταν σε λειμώνες *Posidonia oceanica*, χαρακτηρίζονταν από μεγαλύτερη αφθονία, πλούτο ειδών ή ποικιλότητα Shannon-Wiener σε σχέση με δείγματα από άλλες περιοχές που δεν πληρούσαν τα παραπάνω χαρακτηριστικά (Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987, Çinar & Ergen 1998, Çinar *et al.* 2002). Οι Voultziadou-Koukoura *et al.* (1987) βρήκαν επιπλέον ότι δείγματα του σπόγγου *Aplysina aerophoba* από εκτεθειμένες περιοχές παρουσίαζαν μικρότερες τιμές ποικιλότητας Shannon-Wiener σε σχέση με αυτά που συλλέχθηκαν από προφυλαγμένες περιοχές.

Παρόλο που η πυκνότητα και ο πλούτος ειδών στα δείγματα του *Aplysina aerophoba* είχαν τιμές μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του *Agelas oroides*, οι δείκτες ποικιλότητας Shannon-Wiener και ομοιομορφίας κατανομής ειδών είχαν πολύ μεγαλύτερες τιμές στο δεύτερο είδος σε συμφωνία με τη μελέτη των Koukouras *et al.* (1992). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επικράτηση μεγάλου αριθμού ατόμων των καρκινοειδών *Colomastix pusilla* και *Janira maculosa* στο *Aplysina aerophoba*. Η συμφωνία των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης σχετικά με τη σύνθεση και τα πρότυπα αφθονίας και ποικιλότητας της συμβιωτικής πανίδας των δύο ειδών σπόγγων με προηγούμενες μελέτες από διαφορετικές περιοχές του Βόρειου Αιγαίου, βάθη και ενδιαιτήματα (Koukouras *et al.* 1985, Voultziadou-Koukoura *et al.* 1987, Koukouras *et al.* 1992, 1996) επιβεβαιώνει την άποψη των προηγούμενων ερευνητών ότι οι σπόγγοι φιλοξενούν «σταθερές» κοινότητες συμβιωτικής πανίδας που αποτελούνται από είδη με συγκεκριμένες οικολογικές προτιμήσεις.

Ο συνολικός αριθμός ειδών συμβιωτών των δύο σπόγγων μειωνόταν προς το εσωτερικό των σπηλαίων επιβεβαιώνοντας τη γενικότερη τάση που παρατηρείται στα υποθαλάσσια σπήλαια για μείωση του αριθμού των ειδών από το εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα τους (π.χ. Harmelin *et al.* 1985, Balduzzi *et al.* 1989, Bianchi & Morri 1994, Martí *et al.* 2004a, Bussotti *et al.* 2006, παρούσα μελέτη). Ωστόσο, ο μέσος πλούτος ειδών, η πυκνότητα ατόμων και οι δείκτες ποικιλότητας Shannon-Wiener και ομοιομορφίας κατανομής ειδών δε μεταβάλλονταν στατιστικά σημαντικά από την είσοδο προς το εσωτερικό των σπηλαίων, καταδεικνύοντας ότι οι σπόγγοι διατηρούν τη λειτουργία τους ως μηχανικοί οικοσυστήματος σε όλες τις ζώνες των σπηλαίων.

Πρόσφατες μελέτες έχουν επισημάνει τη σημασία ανορθωμένων και διακλαδισμένων ειδών βενθικών ασπόνδυλων που προσθέτουν τρισδιάστατη πολυπλοκότητα στο οικοσύστημα των σπηλαίων ως καταφύγια για καρκινοειδή (π.χ. σπόγγος *Ircinia variabilis*, υδρόζωο *Eudendrium* sp., ανθόζωο *Astroides calycularis* και *Parazoanthus axinellae*, πολύχαιτος *Filograna implexa*, βρούζωο *Alcionella calveti* και *Pentapora fascialis*) (Navarro-Barranco *et al.* 2014a-b). Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, στο εσωτερικό των σπηλαίων η βιοτική

κάλυψη μειώνεται και αποτελείται κυρίως από Serpulidae και σπόγγους με μορφή κρούστας ενώ σπανίζουν ή απουσιάζουν τρισδιάστατες δομές (π.χ. μακροφύκη, σπόγγοι με συμπαγή ή σωληνοειδή μορφή) που θα μπορούσαν να αποτελέσουν καταφύγιο για μακροασπόνδυλα με δυνατότητα μετακίνησης. Έτσι, η παρουσία σπόγγων με συμπαγή ή/και σωληνοειδή μορφή που αποτελούν «ζωντανά ξενοδοχεία» στο εσωτερικό των υποθαλάσσιων σπηλαίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για το εν λόγω οικοσύστημα.

4.4.5. Κύρια συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα αυτού του κεφαλαίου, μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Η δημιουργία βάσης αναφοράς από φωτογραφικά πλαίσια που αποτυπώνουν τη δομή των ενδιαιτημάτων των υποθαλασσιών σπηλαίων στο Βόρειο Αιγαίο, θέτουν για πρώτη φορά τα θεμέλια για (α) ποσοτικές συγκρίσεις των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων της ανατολικής λεκάνης με εκείνα άλλων περιοχών της Μεσογείου αλλά και (β) για μελλοντική βιο-παρακολούθηση. Οι δράσεις αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία ενόψει της επίδρασης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της εισβολής αλλόχθονων ειδών, ειδικά στην ανατολική Μεσόγειο.
- Παρόλο που τα υπό μελέτη σπήλαια παρουσίασαν ομοιότητες στη σύνθεση και την κατανομή των βιοκοινοτήτων τους με σπήλαια που έχουν περιγραφεί από τη βορειοδυτική Μεσόγειο, παρατηρήθηκαν διαφορές (π.χ. παρουσία ενδημικών ειδών της ανατολικής Μεσογείου, απουσία φάσεων οκτωκοραλλίων, εντονότερη επικράτηση σπόγγων) που φαίνεται ότι σχετίζονται με βιογεωγραφικούς παράγοντες, καταδεικνύοντας ιδιαιτερότητες ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου.
- Τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε σπηλαίου παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των χωρικών προτύπων οικολογικής διαβάθμισης των κοινοτήτων που φιλοξενούν. Συνεπώς, η αναλυτική απεικόνιση της τοπογραφίας των σπηλαίων μπορεί να συμβάλει πολύ στην κατανόηση των παραγόντων που διαμορφώνουν τα παραπάνω πρότυπα. Η παρούσα εργασία συνέβαλε προς αυτή την κατεύθυνση με τη φωτογραφική αποτύπωση της διαβάθμισης των κοινοτήτων με τη χρήση του νέου λογισμικού (βλέπε Κεφάλαιο 3).
- Τα διαφορετικά πρότυπα ποικιλότητας ανάμεσα στα σπήλαια είναι ενδεικτικά του μοναδικού τους χαρακτήρα, ο οποίος διαμορφώνεται τόσο από την ιδιαίτερη τοπογραφία τους όσο και από τη γεωγραφική τους θέση. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει τη μεγάλη αξία διατήρησης των σπηλαίων και τη σημασία συνεκτίμησης του τοπογραφικών και γεωγραφικών παραγόντων στη θέσπιση κριτηρίων προστασίας (π.χ. προστασία σπηλαίων από διαφορετικούς μορφολογικούς τύπους).
- Οι σπόγγοι αποτελούν βασικό συστατικό των βιοκοινοτήτων στα υπό μελέτη σπήλαια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκαταστάτες για τη μελέτη της δομής και των χωρικών προτύπων κατανομής των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων, τουλάχιστον στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου.
- Ειδικότερα, η μορφολογική ποικιλότητα σπόγγων λειτούργησε πολύ καλά ως υποκαταστάτης για την εκτίμηση των χωρικών προτύπων της συνολικής ποικιλότητας

των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων. Η χρήση μιας τέτοιας προσέγγισης θα διευκόλυνε σημαντικά την ποσοτική μελέτη των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων καθώς βοηθά στην αντιμετώπιση των περιορισμών που προκύπτουν κατά τη χρήση φωτογραφικών μεθόδων, και δεν απαιτεί εξειδικευμένες ταξινομικές γνώσεις. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα χρήσης της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι θα μπορούσε να εφαρμοστεί από το ευρύτερο κοινό (π.χ. προσωπικό φορέων διαχείρισης θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών, εθελοντές δύτες) στο πλαίσιο προγραμμάτων παρακολούθησης (monitoring) ή «επιστήμης των πολιτών» (citizen science). Προτείνεται, ωστόσο, η πραγματοποίηση αντίστοιχων ερευνών και σε άλλα σπήλαια με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και από άλλες περιοχές, ώστε να επιβεβαιωθεί η γενικότερη ισχύς της προτεινόμενης μεθόδου.

- Οι σπόγγοι αποτελούν σημαντικούς μηχανικούς οικοσυστήματος στα υποθαλάσσια σπήλαια διατηρώντας αυτό το λειτουργικό ρόλο στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων. Έτσι, η παρουσία σπόγγων με συμπαγή ή/και σωληνοειδή μορφή που αποτελούν «ζωντανά ξενοδοχεία» στο εσωτερικό των υποθαλάσσιων σπηλαίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για το εν λόγω οικοσύστημα παρέχοντας καταφύγιο σε πλήθος συμβιωτών.
- Ο ρόλος των σπόγγων ως μηχανικών οικοσυστήματος χρήζει περαιτέρω διερεύνησης στη Μεσόγειο γενικότερα, με ιδιαίτερη έμφαση σε ανεξερεύνητα ενδιαιτήματα όπως είναι τα υποθαλάσσια σπήλαια που δυνητικά μπορεί να οδηγήσει σε ενδιαφέρουσες αποκαλύψεις.

5. ΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΠΗΛΑΙΑ ΩΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ



5.1. Εισαγωγή

5.1.1. Η μελέτη της βιοποικιλότητας των Μεσογειακών σπηλαίων

Παρά το γεγονός ότι τα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου έχουν γενικά αναγνωριστεί ως ένα οικοσύστημα με μοναδική, πλούσια βιοποικιλότητα, που περιλαμβάνει ενδημικά και σπάνια είδη (Harmelin *et al.* 1985, Bianchi 2003, UNEP-MAP-RAC/SPA 2013). Ωστόσο, δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα κάποια προσπάθεια αποτίμησης της σημασίας και της αντιπροσωπευτικότητας αυτού του ιδιαίτερου τύπου ενδιαιτήματος για το Μεσογειακό οικοσύστημα.

Γενικά οι βραχώδεις ακτές χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη οικολογική, επιστημονική και οικονομική αξία εξαιτίας της μεγάλης δομικής πολυπλοκότητας που συμβάλει στην ανάπτυξη πλούσιων βιοκοινοτήτων. Η μεγάλη βιοποικιλότητα των σκιοφίλων κοινοτήτων της Μεσογείου και ιδιαίτερα αυτών των υποθαλάσσιων σπηλαίων προσέλκυσαν από νωρίς το επιστημονικό ενδιαφέρον των ερευνητών (π.χ. Drach 1948, Pérès & Picard 1949, Laborel & Vacelet 1958).

Η πρώτη οργανωμένη αποστολή με στόχο την εξερεύνηση και καταγραφή του βιόκοσμου των Μεσογειακών υποθαλάσσιων σπηλαίων, με όνομα “Tyrrhenia-Expedition”, ξεκίνησε το 1952 με επικεφαλής τον Αυστριακό ζωολόγο Rupert Riedl. Στο πλαίσιο της αποστολής, μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε σε επιλεγμένα σπήλαια της Τυρρηνικής Θάλασσας, της Βόρειας Αδριατικής και ορισμένα σπήλαια άλλων περιοχών της Μεσογείου. Συνολικά καταγράφηκαν 529 είδη από 32 ταξινομικές ομάδες που δημοσιεύτηκαν μέσα στην επόμενη δεκαετία σε μια σειρά από ταξινομικές και οικολογικές μελέτες (Starmühlner 1955a·b, Abel 1959, Banse 1959, Riedl 1959a·b·c·d·e, Ruffo 1959, Russ & Rützler 1959, Rützler 1965). Το 1966 ο Riedl συγκέντρωσε την υπάρχουσα επιστημονική γνώση σχετικά με το βιόκοσμο των σπηλαίων της Μεσογείου στη μονογραφία του «Biologie der Meereshöhlen». Εκεί απαρίθμησε 905 είδη οργανισμών ενώ εκτίμησε ότι ο συνολικός αριθμός ειδών των σπηλαίων της Μεσογείου θα πρέπει να προσεγγίζει τα 2000 είδη.

Έκτοτε, πλήθος ερευνητών μελέτησαν σπήλαια κυρίως από τις βόρειες ακτές της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου προσθέτοντας νέες αναφορές για την πανίδα των σπηλαίων (π.χ. Pouliquen 1972, Zibrowius 1978, Gili *et al.* 1982, Bibiloni *et al.* 1984, Corriero *et al.* 2000, Harmelin *et al.* 2003, Bussotti *et al.* 2006). Σε αυτές περιλαμβάνονται σπάνια ή κρυπτικά, νέα για την επιστήμη είδη (π.χ. Voultziadou-Koukoura *et al.* 1991, Corriero *et al.* 1996, 1997b, Vacelet & Pérez 1998, Pérez *et al.* 2011), βαθύβια (Pouliquen 1969, Vacelet *et al.* 1994, Harmelin & Vacelet 1997) και υπολειμματικά είδη (relict species) ή «ζωντανά απολιθώματα» (Vacelet & Lévi 1958, Pérez *et al.* 2004, Manconi & Serusi 2008). Ωστόσο, στην πλειοψηφία τους τα είδη αυτά δεν ήταν αποκλειστικοί κάτοικοι σπηλαίων με ιδιαίτερες προσαρμογές για σπηλαιόβια διαβίωση, αλλά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως συγρόφιλα ή συγρόξενα. Οι Balduzzi *et al.* (1989) διέκριναν τα είδη των σκοτεινών σπηλαίων σε (α) τυχαία, (β) κρυπτικά, που ζουν σε σχισμές και μικροκοιλότητες βράχων, (γ) βαθύβια και (δ) υπολειμματικά είδη τα οποία μπορεί να είναι κρυπτικά ή βαθύβια. Οι παραπάνω ερευνητές επισήμαναν πως καθότι τα είδη αυτά είναι χαρακτηριστικά άλλων ενδιαιτημάτων, ο βασικός βιοκοινοτικός ταμιευτήρας από όπου έχουν προέλθει οι πληθυσμοί των σπηλαίων θα πρέπει να είναι

κρυπτικά περιβάλλοντα όπως υπόστεγα και μικρο-κοιλότητες σε κάθετους τοίχους. Για αυτό πρότειναν να επανεξεταστεί η ονομασία των βιοκοινοτήτων των ημισκοτεινών (GSO) και των σκοτεινών σπηλαίων (GO).

Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά είδη που μέχρι σήμερα έχουν βρεθεί αποκλειστικά σε σπήλαια και κυρίως από το σκοτεινό τμήμα των αγχιάλων σπηλαίων (π.χ. Fransen 1991, Carola & Razouls 1996, Jaume & Boxshall 1996, Jaume 1997, Pansini & Pesce 1998, Jaume *et al.* 1999, Todaro & Shirley 2003, Wittmann 2004, Krsinic 2005, George & Tiltack 2009). Τα σπήλαια της τελευταίας κατηγορίας γενικά φιλοξενούν ποικιλία ενδημικών στυγόβιων ειδών (Iliffe & Kornicker 2009). Τα είδη αυτά συχνά παρουσιάζουν ασυνεχή γεωγραφική εξάπλωση και για αυτό έχουν αποτελέσει αντικείμενο βιογεωγραφικών ερευνών (Iliffe *et al.* 1983, Hobbs 1994, Stock 1994). Παρά το γεγονός ότι, τουλάχιστον για τα σπήλαια της δυτικής και κεντρικής λεκάνης της Μεσογείου υπάρχει αρκετή πληροφορία από τις έρευνες των τελευταίων 60 ετών, η πληροφορία αυτή είναι κατακερματισμένη και δεν υπάρχει κάποια σύγχρονη προσπάθεια αποτίμησής της, ώστε να αναδειχτεί και να τεκμηριωθεί η οικολογική αξία αυτών των ενδιατημάτων για το Μεσογειακό οικοσύστημα. Επίσης, ενώ έχουν επισημανθεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σύνθεση των βιοκοινοτήτων σε σπήλαια διαφορετικών περιοχών εντός της δυτικής Μεσογείου, οι οποίες θα μπορούσαν να αποδοθούν σε βιογεωγραφικούς παράγοντες (Bibiloni *et al.* 1989, Uriz *et al.* 1992, Bianchi & Morri 1994), οι ελάχιστες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για αυτά τα οικοσυστήματα στην ανατολική Μεσόγειο δεν επιτρέπουν να γίνουν συγκρίσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα.

5.1.2. Παρούσα κατάσταση και απειλές για τη βιοποικιλότητα των Μεσογειακών σπηλαίων

Τα υποθαλάσσια σπήλαια φιλοξενούν διαφορετικούς τύπους σκιοφίλων βιοκοινοτήτων που κατανέμονται χωρικά ανάλογα με την εσωτερική τοπογραφία και την επακόλουθη διαβάθμιση των αβιοτικών παραγόντων (Riedl 1966). Λόγω της πλούσιας και μοναδικής βιοποικιλότητας που φιλοξενούν καθώς και της μεγάλης αξίας περιβαλλοντικής διατήρησης, προστατεύονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία²⁶ (92/43/EEC) ενώ πρόσφατα ψηφίστηκαν δύο Σχέδια Δράσης (Action Plans) για την προστασία των κοινοτήτων τους από το Περιφερειακό Κέντρο Δράσης για τις Ειδικά Προστατευόμενες Περιοχές του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ (UNEP-MAP-RAC/SPA 2008 και 2013).

Ιδιαίτερα στη Μεσόγειο, όπου έχει καταγραφεί μεγάλος αριθμός σπηλαίων (βλέπε Κεφάλαιο 1.2), η κρισιμότητα για την προστασία τους γίνεται ακόμα πιο επιτακτική, καθώς ολόκληρη η περιοχή έχει αναγνωριστεί ως πυρήνας βιοποικιλότητας (biodiversity hotspot), καθώς: (α) φιλοξενεί το 7% της παγκόσμιας θαλάσσιας βιοποικιλότητας ενώ καταλαμβάνει μόλις 0,82% της επιφάνειας των ωκεανών, (β) φιλοξενεί μεγάλο αριθμό ενδημικών ειδών και (γ) δέχεται έντονες ανθρωπογενείς πιέσεις που αυξάνονται ολοένα και περισσότερο (Coll *et al.* 2010). Τα δεδομένα αυτά αποτέλεσαν κίνητρο για την ίδρυση πολυάριθμων Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών (ΘΠΠ). Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες έχουν επισημάνει ότι το υπάρχον δίκτυο ΘΠΠ στη Μεσόγειο δεν είναι αποτελεσματικό καθώς δεν καλύπτει επαρκώς

²⁶ Κωδικός Οικοτόπου 8330: «Θαλάσσια σπήλαια εξ ολοκλήρου ή κατά το ήμισυ κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας».

ορισμένες περιοχές και τύπους ενδιαιτημάτων, συμπεριλαμβανομένων των υποθαλάσσιων σπηλαίων (Abdulla *et al.* 2009, Giakoumi *et al.* 2013).

Γενικά, τα υποθαλάσσια σπήλαια θεωρούνται ενδιαιτήματα με μικρή δυνατότητα ανάκαμψης (Harmelin *et al.* 1985) και παρά το γεγονός ότι είναι σχετικά απομονωμένα και δυσπρόσιτα, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν ενδείξεις επιπτώσεων στις κοινότητές τους από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Di Franco *et al.* 2009) καθώς και την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής (Chevaldonné & Lejeusne 2003, Parravicini *et al.* 2010). Μεταξύ των κύριων απειλών για τις κοινότητες που φιλοξενούν περιλαμβάνονται επίσης οι επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη καταδυτική δραστηριότητα (π.χ. μηχανική καταστροφή εύθραυστων και βραδέως αναπτυσσόμενων βενθικών ειδών), η αυξανόμενη δόμηση στην παράκτια ζώνη και η θαλάσσια ρύπανση (Giakoumi *et al.* 2013 και εκεί αναφορές).

Η επίπτωση από την εισβολή αλλόχθονων ειδών έχει μελετηθεί μόνο σε χερσαία σπήλαια, φανερώνοντας πως αυτά μπορεί να καταλαμβάνουν σημαντικά ποσοστά της σπηλαιόβιας πανίδας σε ορισμένες περιοχές όπου συχνά ανταγωνίζονται με ενδημικά είδη (Reeves 1999). Ωστόσο, δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα αντίστοιχη προσπάθεια αποτίμησης των επιπτώσεων για τα υποθαλάσσια σπήλαια παρά το γεγονός ότι έχουν παρατηρηθεί σε αυτά αλλόχθονα είδη (π.χ. Riedl 1966, Cantone *et al.* 1980, Morri *et al.* 2009, Alongi *et al.* 2012). Γενικά, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει καταγραφεί στη Μεσόγειο Θάλασσα και ιδίως στη νοτιοανατολική της λεκάνη σημαντικός αριθμός αλλόχθονων ειδών που αυξάνεται συνεχώς (Raitsos *et al.* 2010, Zenetos *et al.* 2010, 2012, Tzomos *et al.* 2012). Τα αλλόχθονα είδη έχουν εγκατασταθεί επιτυχώς σε ποικιλία τύπων ενδιαιτημάτων. Παρόλα αυτά, ελάχιστες μελέτες σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν συγκεντρώσει τις επιμέρους πληροφορίες για την παρουσία αλλόχθονων ειδών σε συγκεκριμένους τύπους ενδιαιτημάτων (π.χ. Olenin & Leppäkoski 1999, Coles & Eldredge 2002). Τέτοιου είδους μελέτες θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες για την παρακολούθηση των επιπτώσεων της εισβολής αλλόχθονων ειδών, ιδιαιτέρως για ευαίσθητα ενδιαιτήματα που φιλοξενούν μεγάλο αριθμό ενδημικών και προστατευόμενων ειδών. Τέλος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη της πιθανής επέκτασης της γεωγραφικής εξάπλωσης των αλλόχθονων ειδών σε άλλες περιοχές μέσα από την παρουσία ενδιαιτημάτων που ευνοούν την επιτυχημένη εγκατάσταση.

5.1.3. Επιλογή υποκαταστατών για τη μελέτη των βιογεωγραφικών προτύπων της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων

Από το πρώτα κιάλας στάδια συγκέντρωσης της επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων ήταν εμφανές ότι δεν έχουν μελετηθεί εξίσου καλά όλες οι ταξινομικές ομάδες στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητο για τη μελέτη των βιογεωγραφικών προτύπων βιοποικιλότητας των σπηλαίων να επιλεγεί μια αντιπροσωπευτική ταξινομική ομάδα που (α) να έχει μελετηθεί ικανοποιητικά στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου, (β) να αποτελεί χαρακτηριστική ομάδα των βιοκοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων τόσο από πλευράς αριθμού ειδών όσο και άποψη αφθονίας και (γ) να θεωρείται κατάλληλη για βιογεωγραφικές έρευνες.

Οι σπόγγοι είναι κυρίαρχη ζωική ομάδα στις κοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων από πλευράς αριθμού ειδών, κάλυψης και βιομάζας (Sarà 1968, Corriero *et al.* 2000). Ως σκιάφιλα κατά βάση ζώα (Sarà & Vacelet 1973), οι σπόγγοι ευνοούνται από τη μείωση του φωτισμού και τη συνακόλουθη υποχώρηση των μακροφυκών με τα οποία ανταγωνίζονται για ζωτικό χώρο. Οι έρευνες σχετικά με τους σπόγγους των υποθαλάσσιων σπηλαίων έχει επικεντρωθεί κυρίως σε ημιβυθισμένα σπήλαια της Μεσογείου (π.χ. Sarà 1958, Russ & Rützler 1959, Labate 1965, Rützler 1965) και σε κοιλάδες των κοραλλιογενών υφάλων του δυτικού Ινδικού (Vacelet & Vasseur 1965), ενώ υπάρχουν ελάχιστες μελέτες από άλλες εύκρατες θαλάσσιες περιοχές του κόσμου (Bell 2002). Μια ταχεία εκτίμηση της ερευνητικής προσπάθειας για τους σπόγγους των υποθαλάσσιων σπηλαίων μέσω του “ISI Web of Science”, χρησιμοποιώντας τις λέξεις κλειδιά ‘sponge’ και ‘cave’, αποκάλυψε περίπου 100 σχετικές μελέτες, εκ των οποίων το 65% πραγματοποιήθηκε στη Μεσόγειο ενώ μόλις 15% έλαβε χώρα στον Ατλαντικό και 20% στον Ινδο-Ειρηνικό Ωκεανό.

Επίσης, οι σπόγγοι, ως προσκολλημένοι οργανισμοί με περιορισμένη δυνατότητα διασποράς, έχουν χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο σε βιογεωγραφικές έρευνες στη Μεσόγειο, τον Ατλαντικό (π.χ. Maldonado & Uriz 1995, Carballo *et al.* 1997, Pansini & Longo 2003, Voultziadou 2009, Xavier & van Soest 2011) και άλλες περιοχές του κόσμου (π.χ. Hooper *et al.* 2002, Samaai 2006). Η πανίδα σπόγγων της Μεσογείου και των υποθαλάσσιων σπηλαίων στις περισσότερες βιογεωγραφικές περιοχές της έχει μελετηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Για την περιοχή του Αιγαίου, για την οποία υπήρχαν ελάχιστα στοιχεία μέχρι σήμερα, το κενό έρχεται να καλύψει η παρούσα έρευνα. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, αυτή η ταξινομική ομάδα μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική και να αποτελέσει υποκαταστάτη για τη μελέτη των βιογεωγραφικών προτύπων της βιοποικιλότητας στον εν λόγω τύπο οικοσυστήματος.

5.1.4. Σκοπός της μελέτης

Με βάση τα παραπάνω, αλλά και όσα ειπώθηκαν στο Κεφάλαιο 1, σκοπός της μελέτης ήταν: (α) η αποτίμηση της συνολικής βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου, (β) η διερεύνηση πιθανών ζωογεωγραφικών προτύπων των κοινοτήτων τους ανάμεσα στις διαφορετικές βιογεωγραφικές ζώνες της Μεσογείου, (γ) η λεπτομερής αποτίμηση της σημασίας των σπηλαίων για το Μεσογειακό οικοσύστημα, (δ) η ανάδειξη πιθανών επιπτώσεων από την παρουσία αλλόχθονων ειδών καθώς και της σημασίας των σπηλαίων για την εξάπλωσή τους στη Μεσόγειο και (ε) η ανάδειξη κενών στην επιστημονική γνώση της βιοποικιλότητας των σπηλαίων καθώς και πιθανών κατευθύνσεων για τη μελλοντική τους μελέτη.

Οι παραπάνω στόχοι προσεγγίστηκαν (α) μέσω της ανάλυσης της πληροφορίας που συγκεντρώθηκε από τη βιβλιογραφία για όλες τις ταξινομικές ομάδες που έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα σε σπήλαια της Μεσογείου και πρωτογενή έρευνα στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης σε υποθαλάσσια σπήλαια του Αιγαίου και (β) μέσω της διεξοδικής ανάλυσης της καταγεγραμμένης βιοποικιλότητας των σπόγγων, οι οποίοι αποτελούν την πλέον αντιπροσωπευτική ομάδα οργανισμών των Μεσογειακών σπηλαίων, όπως αποκαλύφτηκε από τη συνολική μελέτη της σπηλαιόβιας πανίδας.

5.2. Υλικά και μέθοδοι

5.2.1. Συλλογή, ταξινομικός έλεγχος και επεξεργασία δεδομένων βιοποικιλότητας

Για την αποτίμηση της βιοποικιλότητας που έχει καταγραφεί στα Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια συγκεντρώθηκε σχετική επιστημονική βιβλιογραφία με αναζήτηση στις βιβλιοθήκες του εργαστηρίου ζωολογίας του Τμήματος Βιολογίας του ΑΠΘ, του Station Marine d'Endoume της Μασσαλίας (κυρίως παλιές δημοσιεύσεις σε έντυπη μορφή), προσωπική επικοινωνία με συγγραφείς και διαδικτυακή αναζήτηση μέσω του ISI Web of Science και του Google Scholar. Συνολικά συγκεντρώθηκαν 307 μελέτες που δημοσιεύτηκαν μέσα στα τελευταία 65 χρόνια και συμπεριλάμβαναν άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά, μονογραφίες, πρακτικά συνεδρίων, τεχνικές εκθέσεις ερευνητικών προγραμμάτων και ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων.

Τα δεδομένα βιοποικιλότητας από τη βιβλιογραφία μαζί με αυτά που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα στα σπήλαια του Αιγαίου καταχωρίστηκαν σε βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα MS Excel. Για κάθε είδος συμπληρώθηκαν στα αντίστοιχα πεδία χωρικές και οικολογικές πληροφορίες για την περιοχή, τον τύπο του υποστρώματος και τη ζώνη του σπηλαίου όπου βρέθηκε (CE: είσοδος σπηλαίου, SD: ημισκοτεινή και D: σκοτεινή ζώνη). Η εγκυρότητα του επιστημονικού ονόματος κάθε είδους ελέγχθηκε μέσω της διαδικτυακής βάσης World Register of Marine Species (WoRMS Editorial Board 2014). Πολλά τάξα που έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου από τη βιβλιογραφία είχαν προσδιοριστεί σε ανώτερο ταξινομικό επίπεδο (π.χ. γένος, οικογένεια). Αυτά συμπεριλήφθηκαν στη βάση δεδομένων αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις παρά μόνο εάν επρόκειτο για νέες αναφορές για τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων. Επίσης, από τις αναλύσεις εξαιρέθηκαν και όλα τα είδη που αποτελούσαν τμήμα της θανατοκοινωνίας του κινητού υποστρώματος. Για την εκτίμηση της αντιπροσωπευτικότητας της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων επί του συνόλου της Μεσογειακής θαλάσσιας βιοποικιλότητας, για κάθε ταξινομική ομάδα υπολογίστηκε το αντίστοιχο ποσοστό με βάση τα πρόσφατα στοιχεία που δημοσίευσαν οι Coll *et al.* (2010).

Για την αποτίμηση της μέχρι σήμερα ερευνητικής προσπάθειας στο συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο, οι μελέτες ταξινομήθηκαν με βάση το έτος δημοσίευσης, την περιοχή, τις ταξινομικές ομάδες που εξετάζαν και την ερευνητική προσέγγιση. Η ερευνητική προσπάθεια για κάθε περιοχή εκτιμήθηκε με βάση το πλήθος των μελετών και των σπηλαίων που είχαν διερευνηθεί σε αυτήν. Για τη διερεύνηση της πιθανής σχέσης της ερευνητικής προσπάθειας με τον πλούτο ειδών που έχει καταγραφεί σε κάθε περιοχή, επιλέχτηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Spearman, ως μη-παραμετρικό μέτρο της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών, με χρήση του στατιστικού πακέτου ανάλυσης δεδομένων IBM SPSS Statistics.

Τέλος, ο βιογεωγραφικός διαχωρισμός της Μεσογείου έγινε με βάση τη Voultziadou (2009), με κάποιες τροποποιήσεις και προέκυψαν οι παρακάτω περιοχές (Εικόνα 5.1): Θάλασσα του Αλμποράν (AL), Ισπανικές ακτές (SC)²⁷, Γαλλικές ακτές (FC), Θάλασσα της Λιγουρίας (LS), Τυρρηνική Θάλασσα (TS), Θάλασσα της Σαρδηνίας (SS), στενό Τυνησίας-Σικελίας (TC), Βόρεια

²⁷ Συμπεριλήφθηκαν οι ακτές της Καταλονίας (CC) και η Θάλασσα των Βαλεαρίδων (BS).

Αδριατική (AN), Νότια Αδριατική (AS), Ιόνιο Πέλαγος (IS), Βόρειο Αιγαίο (NA), Νότιο Αιγαίο (SA) και Λεκάνη της Λεβαντίνης (LB).



Εικόνα 5.1 Περιοχές της Μεσογειακής λεκάνης που ορίστηκαν για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης.
Figure 5.1 Biogeographical division of the Mediterranean basin followed in the present study.

Για τη μελέτη των βιογεωγραφικών προτύπων στις κοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου αναλύθηκαν τα δεδομένα ποικιλότητας της ταξινομικής ομάδας των σπόγγων. Για τις ανάγκες της έρευνας επιλέχθηκαν οι κλάσεις του φύλου Porifera Homoscleromorpha και Demospongiae, γνωστοί από κοινού ως «δημόσπογγιοι» που συγκροτούν το 84% της ποικιλότητας των σπόγγων παγκοσμίως (van Soest *et al.* 2012) και έχουν μελετηθεί περισσότερο μεταξύ των διαφορετικών περιοχών της Μεσογειακής λεκάνης. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 11 περιοχές της Μεσογείου (SC, FC, LS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA και LB) για τις οποίες έχει πραγματοποιηθεί συνολική βιογεωγραφική μελέτη των σπόγγων πρόσφατα από τη Voultziadou (2009), ώστε να υπάρχει δυνατότητα για συγκρίσεις.

Η παρουσία των ειδών σε κάθε περιοχή καταγράφηκε σε έναν πίνακα μορφής παρουσίας / απουσίας, όπου επιπρόσθετα σημειώθηκε η οικολογική ζώνη του σπηλαίου όπου βρέθηκαν. Για λόγους σύγκρισης, δημιουργήθηκε ένας αντίστοιχος πίνακας για τη συνολική ποικιλότητα σπόγγων της Μεσογείου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι υπάρχοντες κατάλογοι (Pansini & Longo 2003, Voultziadou 2009) και προστέθηκαν όλες οι μετέπειτα αναφορές από το Βόρειο (παρούσα έρευνα) και Νότιο Αιγαίο (Voultziadou *et al.* 2010, Vacelet *et al.* 2008, παρούσα έρευνα), τη Λεβαντίνη (Vacelet *et al.* 2008), το Ιόνιο (Mastrototaro *et al.* 2010), την Αδριατική (Bakran-Perticioli *et al.* 2012), την Τυρρηνική Θάλασσα (Bianchi *et al.* 2010, Bo *et al.* 2011) και τις Γαλλικές ακτές (Reveillaud *et al.* 2012).

Πέρα από τον πλούτο ειδών, για κάθε περιοχή υπολογίστηκαν δύο δείκτες οι οποίοι εκφράζουν τη φυλογενετική ή ταξινομική ποικιλότητα και δεν επηρεάζονται από την ένταση της δειγματοληπτικής προσπάθειας: η μέση ταξινομική διακριτότητα (AvTD ή Δ+) και η μεταβλητότητα της ταξινομικής διακριτότητας (VarTD ή Λ+). Ο πρώτος δείκτης υπολογίζει το μέσο βαθμό στον οποίο τα είδη μιας περιοχής σχετίζονται ταξινομικά μεταξύ τους, δηλαδή το ταξινομικό εύρος της κοινότητας, με τις μεγαλύτερες τιμές να υποδεικνύουν μεγαλύτερη φυλογενετική ποικιλότητα η «εξελικτική ιστορία» (Clarke & Warwick 1998). Ο δεύτερος δείκτης υπολογίζει την ομοιομορφία κατανομής των ειδών στο φυλογενετικό δέντρο, με τις

μεγαλύτερες τιμές να φανερώνουν ότι ορισμένα τάξα εκπροσωπούνται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στη δεξαμενή ειδών της περιοχής (Clarke & Warwick 2001). Οι τιμές των δεικτών για κάθε περιοχή απεικονίζονται γραφικά σε σχέση με τον αριθμό των ειδών ως σημεία σε μία χοάνη κατανομής του 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης (confidence funnels), μαζί με τον αναμενόμενο θεωρητικό μέσο (Clarke & Warwick 1998). Οι δείκτες αυτοί θεωρούνται ιδανικοί για τη μελέτη των προτύπων βιοποικιλότητας σε μεγάλη χρονική και γεωγραφική κλίμακα και για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα σε δύο βιογεωγραφικές έρευνες που μελετούν τους σπόγγους στη Μεσόγειο και τον Ατλαντικό (Voultsiadou 2009, Xavier & van Soest 2011). Για τον υπολογισμό τους, πέρα από τον πίνακα παρουσίας / απουσίας των ειδών σε κάθε περιοχή, δημιουργήθηκε πίνακας που απεικονίζει την ταξινόμηση των ειδών (η οποία αντανακλά τη φυλογένεση τους) σε 5 επίπεδα (κλάση, τάξη, οικογένεια, γένος και είδος). Η ταξινόμηση των ειδών έγινε σύμφωνα με τη διαδικτυακή βάση World Porifera Database (WPD) (van Soest *et al.* 2012), που τροφοδοτεί με τα στοιχεία τα σχετικά με τους σπόγγους την ευρύτερη βάση WoRMS.

Η σχέση ανάμεσα στην πανίδα των σπόγγων των 11 περιοχών της Μεσογείου διερευνήθηκε με τις πολυμεταβλητές μεθόδους της ιεραρχικής ομαδοποίησης (hierarchical clustering) και πολυδιάστατης χωρικής ταξιθέτησης (MDS), βάσει του δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis (Clarke & Gorley 2006). Οι αναλύσεις εφαρμόστηκαν ξεχωριστά για τα είδη των σπηλαίων αλλά και για το σύνολο της πανίδας των σπόγγων σε κάθε περιοχή, για λόγους σύγκρισης. Επίσης, έγινε διερεύνηση της ομοιότητας της πανίδας των επιμέρους οικολογικών ζωνών, με τις παραπάνω μεθόδους, για τις 6 περιοχές για τις οποίες ήταν διαθέσιμα τα αντίστοιχα οικολογικά στοιχεία (SC, FC, TS, AN, AS και NA). Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού PRIMER-E v6 (Clarke & Gorley 2006).

Για τη διερεύνηση των βιογεωγραφικών σχέσεων της πανίδας των σπόγγων σε κάθε περιοχή, τα είδη καταχωρίστηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με (α) την παγκόσμια γεωγραφική τους εξάπλωση και (β) την κλιματική ζώνη στην οποία αναπτύσσονται. Τελικά προέκυψαν 5 κατηγορίες με βάση τη γεωγραφική εξάπλωση, όπως αυτή αποτυπώνεται στη WPD: (1) ενδημικά της Μεσογείου, (2) Ατλαντο-Μεσογειακά, (3) Αμφι-Ατλαντικά, (4) Ινδο-Μεσογειακά και (5) Κοσμοπολιτικά. Επιπλέον, τα Ατλαντο-Μεσογειακά είδη τοποθετήθηκαν σε 3 βιοκλιματικές κατηγορίες σύμφωνα με την εξάπλωση τους στις κύριες κλιματικές ζώνες που προτείνουν οι Briggs & Bowen (2012) σε ψυχρόφιλα, θερμόφιλα και ευρύθερμα είδη. Τα ενδημικά είδη της Μεσογείου θεωρήθηκαν *a priori* θερμόφιλα.

Για τον έλεγχο της πιθανής παρουσίας αλλόχθονων ειδών στις κοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων, τα δεδομένα της συνολικής βιοποικιλότητας που συγκεντρώθηκαν διασταυρώθηκαν με πρόσφατες απογραφές των αλλόχθονων ειδών της Μεσογείου (Zenetos *et al.* 2009, 2010, 2012, Gravili *et al.* 2013) και σχετικές διαδικτυακές βάσεις (ELNAIS 2014, EASIN 2014). Επιπλέον, ελέγχθηκαν για πιθανές καταγραφές από υποθαλάσσια σπήλαια μονογραφίες και επιστημονικά άρθρα σχετικά με την αλλόχθονη βιοποικιλότητα της Μεσογείου (π.χ. Galil *et al.* 2002, Golani *et al.* 2002, Zenetos *et al.* 2004, Bilecenoğlu 2010).

Για τη διερεύνηση των ζωογεωγραφικών προτύπων και των πιθανών τάσεων σε ότι αφορά τους τρόπους εισόδου τους, τα αλλόχθονα είδη των σπηλαίων καταχωρίστηκαν στις αντίστοιχες κατηγορίες, σύμφωνα με τη σχετική επιστημονική βιβλιογραφία (EASIN 2014, Katsanevakis *et al.* 2012, Zenetos *et al.* 2012). Προκειμένου να γίνουν εφικτές γεωγραφικές

συγκρίσεις, οι περιοχές της Μεσογείου που αναφέρθηκαν παραπάνω συγχωνεύτηκαν σε 4 ευρύτερες περιοχές σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τη θαλάσσια στρατηγική (Marine Strategy Framework Directive - EU 2008) και τη μελέτη των Zenetos *et al.* (2012) για το σύνολο των Μεσογειακών αλλόχθονων ειδών: (i) Δυτική Μεσόγειος (WMED), (ii) Κεντρική Μεσόγειος (CMED), (iii) Αδριατική (ADRIA), και (iv) Ανατολική Μεσόγειος (EMED).

5.3. Αποτελέσματα

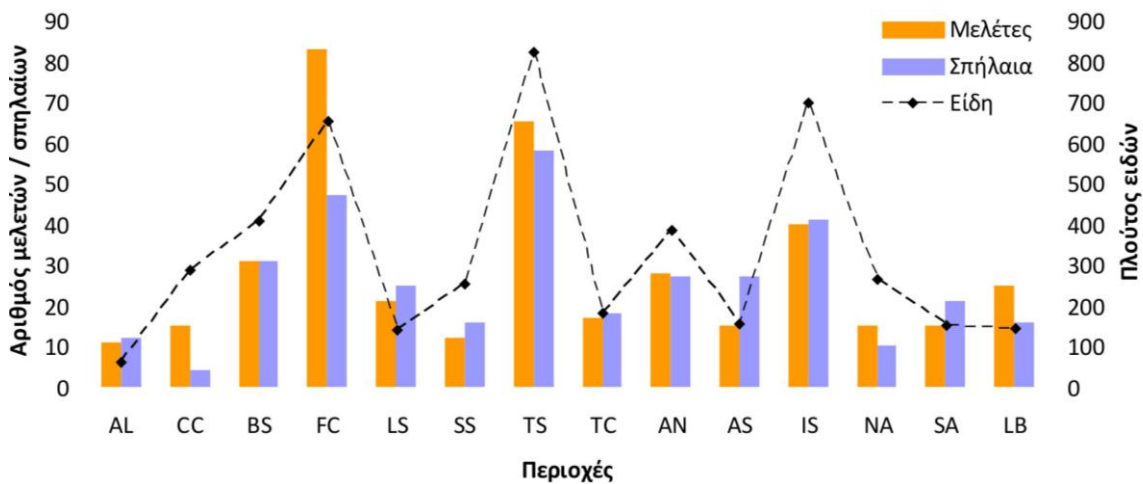
5.3.1. Βιοποικιλότητα Μεσογειακών σπηλαίων και σχετική ερευνητική προσπάθεια

Κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας συγκεντρώθηκαν 307 μελέτες οι οποίες ερευνούν σπήλαια έχοντας κατά βάση οικολογική (58%) και ταξινομική (36%) προσέγγιση. Περισσότερες από τις μισές μελέτες (55,4%) είχαν ως αποκλειστικό αντικείμενο τα υποθαλάσσια σπήλαια, ενώ οι υπόλοιπες μελετούσαν και άλλους τύπους ενδιαιτημάτων (π.χ. κοραλλιγενή). Συνολικά, έχουν μελετηθεί πάνω από 350 σπήλαια, κατά βάση ημιβυθισμένα και ρηχά, σε 15 χώρες. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα σπήλαια αυτά (93%) βρίσκονται στις βόρειες ακτές της Μεσογείου.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση σε συνδυασμό με τα νέα δεδομένα βιοποικιλότητας από τα υποθαλάσσια σπήλαια του Αιγαίου που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας έφεραν στο φως 2.167 τάξα από 58 κύριες ταξινομικές ομάδες (Πίνακας 5.1). Ο αριθμός ειδών για κάθε ομάδα παρουσίασε θετική συσχέτιση με τον αριθμό των σχετικών μελετών ($r_s = 0,84$, $P < 0,01$, $n = 57$) και τον αριθμό των περιοχών που μελετήθηκαν ($r_s = 0,825$, $P < 0,01$, $n = 55$). Ο συνολικός πλούτος ειδών των υποθαλάσσιων σπηλαίων διέφερε ανάμεσα στις περιοχές της Μεσογείου (Εικόνα 5.2) παρουσιάζοντας θετική συσχέτιση με τον αριθμό των μελετών ($r_s = 0,696$, $P < 0,01$, $n = 14$) και των σπηλαίων σε κάθε περιοχή ($r_s = 0,604$, $P < 0,05$, $n = 14$). Η Τυρρηνική Θάλασσα, το Ιόνιο και οι Γαλλικές ακτές παρουσίασαν το μεγαλύτερο πλούτο ειδών (822, 696 και 650 τάξα αντίστοιχα) και τη μεγαλύτερη ερευνητική προσπάθεια ενώ η Θάλασσα του Αλμποράν ήταν η λιγότερο μελετημένη περιοχή με το μικρότερο πλούτο ειδών (59). Η Θάλασσα των Βαλεαρίδων, η Βόρεια Αδριατική, οι Καταλανικές ακτές, το Βόρειο Αιγαίο και η Θάλασσα της Σαρδηνίας παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές (252-405 τάξα). Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι σε κάποιες από τις περιοχές αυτές (π.χ. CC, SS, NA), ο πλούτος ειδών ήταν αξιοσημείωτα μεγάλος σε σχέση με τον περιορισμένο αριθμό μελετών και σπηλαίων. Στα σπήλαια των υπόλοιπων περιοχών της Μεσογείου βρέθηκαν λιγότερα από 180 τάξα. Οι χώρες στις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί οι περισσότερες μελέτες σχετικά με το βιόκοσμο των υποθαλάσσιων σπηλαίων ήταν η Ιταλία, η Γαλλία και η Ισπανία (120, 86 και 52 μελέτες αντίστοιχα).

Οι σπόγγοι ήταν η καλύτερα μελετημένη ομάδα στα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου (156 μελέτες / 14 περιοχές), ενώ ακολουθούσαν τα ανθόζωα (87 / 14), οι πολύχαιτοι (62 / 13), τα βρυόζωα (59 / 13), τα δεκάποδα (42 / 13), τα δίθυρα (42 / 11) και τα ψάρια (40 / 13). Οι περισσότερες ομάδες έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε λιγότερες από 10 μελέτες ή περιοχές (36 και 42 ομάδες αντίστοιχα). Μικρός αριθμός ερευνών έχουν μελετήσει βακτήρια, πλαγκτικούς οργανισμούς και μικρού μεγέθους ζωικούς οργανισμούς όπως είναι η μειοπανίδα στα κινητά υποστρώματα.

Τα υποθαλάσσια σπήλαια φιλοξενούν σημαντικό ποσοστό της Μεσογειακής βιοποικιλότητας για ορισμένες ομάδες όπως είναι τα βραχιόποδα (64,3%), τα βρυόζωα (56,4%), οι σπόγγοι (46,7%) και τα βραδύπορα (40,3%). Μεταξύ των 3 οικολογικών ζωνών των σπηλαίων, το ημισκοτεινό τμήμα παρουσίασε το μεγαλύτερο πλούτο ειδών (1.120 τάξα) ενώ ακολουθούσαν η είσοδος (888) και το σκοτεινό τμήμα των σπηλαίων (844) (Πίνακας 5.2). Ωστόσο, για 570 τάξα δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία στη βιβλιογραφία σχετικά με τη ζώνη του σπηλαίου στην οποία έχουν βρεθεί. Οι σπόγγοι κυριαρχούσαν από πλευράς αριθμού ειδών και στις 3 ζώνες (CE: 15,4%, D: 22,4% και SD: 19% των ειδών). Τα βρυόζωα και οι πολύχαιτοι περιλαμβάνονταν επίσης ανάμεσα στις πιο πλούσιες ομάδες σε όλες τις ζώνες, ενώ τα μακροφύκη παρουσίαζαν μεγάλο αριθμό ειδών μόνο στην είσοδο. Ωστόσο, τα παραπάνω πρότυπα θα μπορούσαν σε κάποιο βαθμό να μεταβληθούν εάν υπήρχαν διαθέσιμα οικολογικά στοιχεία για όλα τα είδη. Έτσι, κάνοντας την παραδοχή ότι όλα τα μακροφύκη αναπτύσσονται στην καλύτερα φωτισμένη ζώνη εισόδου, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των ειδών για τα οποία δεν υπήρχαν στοιχεία εξάπλωσης (90 τάξα), τότε αυτά αποτελούν την κυρίαρχη ομάδα στην είσοδο (23,2% των ειδών) και ο πλούτος ειδών της εισόδου αυξάνεται σε 985 τάξα (Πίνακας 5.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρόλο που στη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων βρέθηκε ο μικρότερος πλούτος ειδών, ο αριθμός των ανώτερων ταξινομικών ομάδων αυξανόταν από την είσοδο προς το σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων (CE: 33, SD: 38 και D: 43 ομάδες) (Πίνακας 5.2).



Εικόνα 5.2 Αριθμός ειδών και ερευνητική προσπάθεια σε υποθαλάσσια σπήλαια διαφορετικών περιοχών της Μεσογείου.

Figure 5.2 Research effort compared to species number in marine caves of different Mediterranean regions.

Σχετικά λίγες (45) είναι οι μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την ποικιλότητα του κινητού υποστρώματος που συσσωρεύεται στον πυθμένα των υποθαλάσσιων σπηλαίων. Συνολικά 332 τάξα βρέθηκαν σε ιζήματα, κατά βάση βρυόζωα, πολύχαιτοι, δίθυρα (ωστόσο δε διευκρινιζόταν πάντα εάν ήταν ζωντανά ή νεκρά), αμφίποδα και βραδύπορα (Πίνακας 5.2).

Τέλος, σε αγχίαλα σπήλαια της Μεσογείου έχουν καταγραφεί 53 είδη²⁸, κυρίως κωπήποδα και σπόγγι (Πίνακας 5.2). Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται αρκετά αποκλειστικά σπηλαιόβια είδη (15).

Συνολικά, 68 είδη έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα αποκλειστικά σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου (3,1% της συνολικής βιοποικιλότητάς των Μεσογειακών σπηλαίων), κυρίως σπόγγι (35) και κωπήποδα (15) (Πίνακας 5.3). Τα περισσότερα έχουν βρεθεί στη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων (CE: 3, SD: 20 και D: 42 είδη), ενώ για 15 δεν υπήρχαν σχετικά στοιχεία. Τα περισσότερα είδη είχαν εξαιρετικά περιορισμένη γεωγραφική εξάπλωση σε μικρό αριθμό βιογεωγραφικών περιοχών και σπηλαίων (52 σε μία μόνο περιοχή και 45 σε ένα μόνο σπήλαιο) (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.1 Ερευνητική προσπάθεια (αριθμός περιοχών και μελετών), αριθμός ειδών και αντιπροσωπευτικότητα επί του συνόλου της Μεσογειακής βιοποικιλότητας για τις ταξινομικές ομάδες που έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου.

Table 5.1 Research effort metrics, species number and representativeness in the total diversity for each group recorded in Mediterranean marine caves.

Ταξινομική ομάδα	Περιοχές	Αριθμός περιοχών	Αριθμός μελετών	Αριθμός ειδών	Ποσοστό (%) Μεσογειακής βιοποικιλότητας
Bacteria	TS, AN	2	7	12	-
Bacillariophyceae	TS	1	1	5	0,7
Foraminifera	CC, BS, FC, SS, TS, IS, NA, SA	8	17	14	2,3
Myzozoa	IS	1	1	1	-
Ciliophora	IS	1	2	20	-
Radiozoa	IS	1	1	2	-
Phaeophyceae	BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA	10	19	33	12,2
Chlorophyta	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA	12	24	27	14,2
Rhodophyta	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	12	31	169	25,7
Porifera	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	14	156	318	46,7
Hydrozoa	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, LB	10	33	108	23,6
Scyphozoa	CC, BS, AN, NA	4	2	4	20
Anthozoa	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	14	87	49	29,7
Ctenophora	LS, NA	2	3	1	3,3
Platyhelminthes	TS, AN, NA	3	2	36	4
Nemertea	TS, AN, IS	3	2	9	5,2
Nematoda	unspecified		3	37	5,3
Rotifera	unspecified		1	2	3,4
Kinorhyncha	TS, AN	2	1	1	3,6
Priapulida	IS	1	1	1	20

²⁸ Λήφθηκαν υπόψη μόνο τα είδη θαλάσσιας προέλευσης και των υφάλμυρων υδάτων (brackish) και όχι αυτά του γλυκού νερού.

Gastrotricha	AS, IS	2	2	16	9,7
Entoprocta	FC, AN, IS	3	4	4	21,1
Copepoda	BS, FC, SS, AN, IS	5	17	113	28
Ostracoda	FC, TS	2	4	8	1,6
Cirripedia	FC, LS, TS, AN, IS	5	13	7	17,5
Decapoda	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	13	42	73	19,1
Mysida	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, SA	11	22	21	20,6
Thermosbaenacea	BS	1	1	1	20
Facetotecta	IS	1	1	1	-
Tanaidacea	AL, FC, TS, AN, NA	5	6	6	14
Pentastomida	IS	1	1	1	-
Isopoda	AL, FC, TS, AN, IS, NA	6	11	15	9,1
Leptostraca	BS	1	2	1	16,7
Amphipoda	AL, CC, BS, FC, LS, TS, NA	7	18	83	18,5
Cumacea	AL, FC, TS	3	6	6	6,1
Branchiopoda	IS	1	1	4	-
Pycnogonida	FC, TS	2	3	9	20
Acari	TS	1	2	5	-
Insecta (marine)	IS	1	1	1	0,4
Oligochaeta	TS	1	4	2	-
Polychaeta	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	13	62	261	23,3
Sipuncula	FC, TS, AN, NA	4	9	6	16,7
Echiura	BS, LS, AN, NA	4	3	1	16,7
Polyplacophora	FC, TS	2	7	7	22,6
Gastropoda	CC, BS, FC, LS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	11	37	134	8,6
Bivalvia	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, LB	11	42	90	22,5
Caudofoveata	TS	1	1	1	3,4
Cephalopoda	LS, AN, NA	3	3	3	4,6
Tardigrada	FC, TS, AS, IS	4	3	31	40,3
Bryozoa	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	13	59	219	56,4
Brachiopoda	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TC, AN, AS, NA, LB	11	20	9	64,3
Phoronida	NA	1	1	1	20
Chaetognatha	FC, SS, IS	3	3	5	25
Pterobranchia	FC	1	1	1	20
Echinodermata	CC, BS, FC, LS, TS, TC, AN, IS, NA, SA	10	29	34	22,1
Tunicata	CC, BS, FC, SS, TS, TC, AN, IS, NA, SA, LB	11	34	41	17,9
Pisces	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	13	40	96	14,8
Mammalia	AL, IS, NA, SA, LB	5		1	4,3
Chromista				75	1,7
Plantae				196	23
Animalia				1.884	16,2
Σύνολο		14	307	2.167	12,9

Πίνακας 5.2 Αριθμός ειδών κάθε ταξινομικής ομάδας και ποσοστό επί του συνολικού πλούτου ειδών που έχει βρεθεί (α) σε κάθε μια από τις 3 οικολογικές ζώνες των σπηλαίων, (β) στις κοινότητες κινητού υποστρώματος του πυθμένα των σπηλαίων και (γ) στα αγχίαλα σπήλαια της Μεσογείου. Εκείνα τα μακροφύκη (Phaeophyceae, Chlorophyta και Rhodophyta) για τα οποία δεν υπήρχαν πληροφορίες χωρικής εξάπλωσης στο εσωτερικό των σπηλαίων τοποθετήθηκαν στην καλύτερα φωτισμένη ζώνη της εισόδου.

Table 5.2 Number of species for each taxonomic group and percentage of the total diversity (%) found in (a) the three ecological cave zones, (b) the soft substrate communities of the cave bottom, and (c) the anchihaline caves of the Mediterranean Sea (CE: cave entrance, SD: semidark zone, D: dark zone, S: soft substrate communities, A: Anchihaline caves). Macroalgae (Phaeophyceae, Chlorophyta, and Rhodophyta) for which cave zone was not specified in the literature were included in the well lit cave entrance zone.

Ζώνη εισόδου (CE)		Ημισκοτεινή ζώνη (SD)		Σκοτεινή ζώνη (D)		Κοινότητες κινητού υποστρώματος (S)		Αγχίαλα σπήλαια (A)	
Ταξινομική ομάδα	Αριθμός ειδών (ποσοστό %)	Ταξινομική ομάδα	Αριθμός ειδών (ποσοστό %)	Ταξινομική ομάδα	Αριθμός ειδών (ποσοστό %)	Ταξινομική ομάδα	Αριθμός ειδών (ποσοστό %)	Ταξινομική ομάδα	Αριθμός ειδών (ποσοστό %)
Algae	229 (23,2)	Porifera	213 (19)	Porifera	189 (22,4)	Bryozoa	79 (23,8)	Copepoda	12 (22,6)
Porifera	137 (13,9)	Polychaeta	186 (16,6)	Bryozoa	132 (15,6)	Polychaeta	59 (17,8)	Porifera	9 (17)
Bryozoa	121 (12,3)	Bryozoa	168 (15)	Polychaeta	113 (13,4)	Bivalvia	48 (14,5)	Bivalvia	7 (13,2)
Polychaeta	86 (8,7)	Gastropoda	76 (6,8)	Copepoda	53 (6,3)	Amphipoda	33 (9,9)	Polychaeta	5 (9,4)
Gastropoda	68 (6,9)	Hydrozoa	60 (5,4)	Gastropoda	39 (4,6)	Tardigrada	31 (9,3)	Pisces	4 (7,5)
Copepoda	49 (5)	Amphipoda	59 (5,3)	Decapoda	34 (4)	Copepoda	23 (6,9)	Gastropoda	3 (5,7)
Hydrozoa	49 (5)	Pisces	46 (4,1)	Amphipoda	30 (3,6)	Gastrotricha	16 (4,8)	Tunicata	3 (5,7)
Pisces	45 (4,6)	Decapoda	43 (3,8)	Bivalvia	29 (3,4)	Gastropoda	13 (3,9)	Decapoda	2 (3,8)
Bivalvia	31 (3,1)	Bivalvia	41 (3,7)	Pisces	29 (3,4)	Echinodermata	6 (1,8)	Isopoda	2 (3,8)
Amphipoda	26 (2,6)	Copepoda	38 (3,4)	Anthozoa	25 (3)	Sipuncula	5 (1,5)	Mysida	2 (3,8)
Anthozoa	24 (2,4)	Algae	36 (3,2)	Echinodermata	17 (2)	Chaetognatha	4 (1,2)	Amphipoda	1 (1,9)
Ascidiacea	24 (2,4)	Anthozoa	26 (2,3)	Hydrozoa	17 (2)	Cumacea	3 (0,9)	Leptostraca	1 (1,9)
Decapoda	23 (2,3)	Tunicata	24 (2,1)	Gastrotricha	16 (1,9)	Tanaidacea	3 (0,9)	Algae	1 (1,9)
Echinodermata	17 (1,7)	Echinodermata	21 (1,9)	Ciliophora	15 (1,8)	Anthozoa	2 (0,6)	Thermosbaenacea	1 (1,9)
Ciliophora	11 (1,1)	Ciliophora	16 (1,4)	Tunicata	13 (1,5)	Decapoda	2 (0,6)		
Foraminifera	7 (0,7)	Foraminifera	8 (0,7)	Bacteria	10 (1,2)	Isopoda	2 (0,6)		
Mysida	6 (0,6)	Brachiopoda	7 (0,6)	Foraminifera	10 (1,2)	Brachiopoda	1 (0,3)		
Polyplacophora	5 (0,5)	Isopoda	7 (0,6)	Brachiopoda	8 (0,9)	Caudofoveata	1 (0,3)		
Branchiopoda	3 (0,3)	Mysida	6 (0,5)	Mysida	7 (0,8)	Priapulida	1 (0,3)		

Cephalopoda	3 (0,3)	Sipuncula	5 (0,4)	Isopoda	6 (0,7)
Nemertea	3 (0,3)	Branchiopoda	4 (0,4)	Bacillariophyceae	5 (0,6)
Platyhelminthes	3 (0,3)	Platyhelminthes	4 (0,4)	Chaetognatha	5 (0,6)
Isopoda	2 (0,2)	Nemertea	3 (0,3)	Cumacea	5 (0,6)
Radiozoa	2 (0,2)	Pycnogonida	3 (0,3)	Cirripedia	4 (0,5)
Scyphozoa	2 (0,2)	Tanaidacea	3 (0,3)	Tanaidacea	4 (0,5)
Sipuncula	2 (0,2)	Cephalopoda	2 (0,2)	Branchiopoda	3 (0,4)
Chaetognatha	1 (0,1)	Cumacea	2 (0,2)	Nemertea	3 (0,4)
Cirripedia	1 (0,1)	Radiozoa	2 (0,2)	Platyhelminthes	3 (0,4)
Insecta	1 (0,1)	Scyphozoa	2 (0,2)	Sipuncula	3 (0,4)
Echiura	1 (0,1)	Bacteria	1 (0,1)	Entoprocta	2 (0,2)
Mammalia	1 (0,1)	Caudofoveata	1 (0,1)	Ostracoda	2 (0,2)
Phoronida	1 (0,1)	Chaetognatha	1 (0,1)	Radiozoa	2 (0,2)
Pycnogonida	1 (0,1)	Cirripedia	1 (0,1)	Echiura	1 (0,1)
		Ctenophora	1 (0,1)	Leptostraca	1 (0,1)
		Insecta	1 (0,1)	Mammalia	1 (0,1)
		Mammalia	1 (0,1)	Myzozoa	1 (0,1)
		Myzozoa	1 (0,1)	Pentastomida	1 (0,1)
		Ostracoda	1 (0,1)	Priapulida	1 (0,1)
				Pterobranchia	1 (0,1)
				Pycnogonida	1 (0,1)
				Scyphozoa	1 (0,1)
				Tardigrada	1 (0,1)
				Thermosbaenacea	1 (0,1)
Σύνολο	985		1.120		332
					53

Πίνακας 5.3 Αποκλειστικά είδη των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου (AL: Θάλασσα του Αλμποράν, CC: Καταλανικές ακτές, BS: Θάλασσα των Βαλεαρίδων, FC: Γαλλικές ακτές, LS: Θάλασσα της Λιγουρίας, TS: Τυρρηνική Θάλασσα, SS: Θάλασσα της Σαρδηνίας, TC: Στενό Τυνησίας-Σικελίας, AN: Βόρεια Αδριατική, AS: Νότια Αδριατική, IS: Ιόνιο Πέλαγος, NA: Βόρειο Αιγαίο, SA: Νότιο Αιγαίο, LB: Λεκάνη της Λεβαντίνης, CE: είσοδος σπηλαίου, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη, H: σκληρό υπόστρωμα, S: μαλακό υπόστρωμα, Un: άγνωστο, † αγχίαλα σπήλαια).

Table 5.3 Mediterranean cave-exclusive species (AL: Alboran Sea, CC: Catalan coast, BS: Balearic Sea, FC: French coast, LS: Ligurian Sea, TS: Tyrrhenian Sea, SS: Sardinian Sea, TC: Siculo-Tunisian Strait, AN: North Adriatic, AS: South Adriatic, IS: Ionian S, NA: North Aegean, SA: South Aegean, LB: Levantine Basin, CE: cave entrance, SD: semidark zone, D: dark zone, H: hard substrate, S: soft substrate, Un: unspecified, † anchihaline caves).

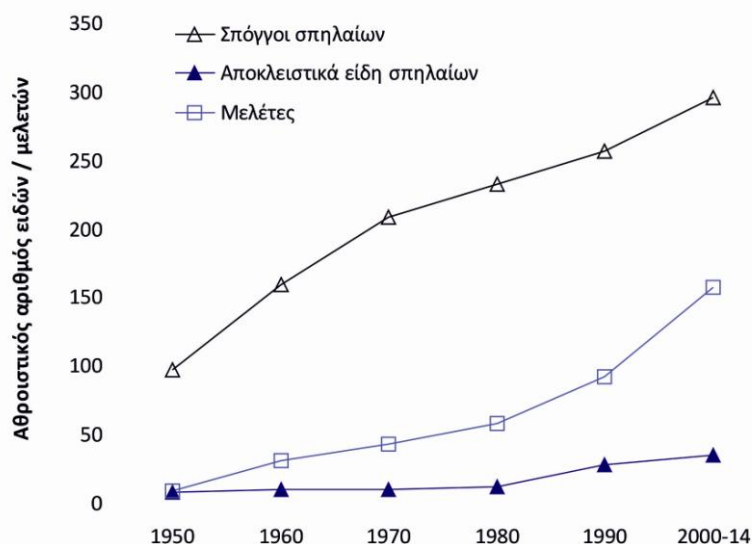
Ταξινομικές ομάδες / Είδη	Περιοχές	Αριθμός περιοχών	Αριθμός σπηλαίων	Ζώνη σπηλαίου	Τύπος υποστρώματος
Φύλο Porifera					
<i>Acanthella annulata</i> Sarà, 1958	TS	1	1	SD	H
<i>Aciculites mediterranea</i> Manconi, Serusi & Pisera, 2006	SS	1	1	D	H
<i>Crella (Yvesia) nodulosa</i> Sarà, 1959	TS	1	1	SD	H
<i>Delectona madreporica</i> Bavestrello, Calcinaï, Cerrano, Sarà, 1997	LS, IS	2	2	SD	H
<i>Dendrectilla tremitensis</i> Pulitzer-Finali, 1983	AS	1	1	Un	H
<i>Dendroxea adumbrata</i> Corriero, Scalera-Liaci & Pronzato, 1996	FC, TS, AN	3	4	SD	H
<i>Dercitus (Stoeba) dissimilis</i> (Sarà, 1959)	SS, TS	2	2	SD	H
<i>Didiscus pseudodidiscoides</i> (Corriero, Scalera-Liaci & Pronzato, 1996)	AS	1	1	SD, D	H
<i>Euryspongia raouchensis</i> Vacelet, Bitar, Carteron, Zibrowius & Pérez, 2007	LB	1	1	Un	H
<i>Gastrophanella phoeniciensis</i> Pérez, Vacelet, Bitar & Zibrowius, 2004	LB	1	1	D	H
<i>Higginsia ciccaresei</i> Pansini & Pesce, 1998 †	IS	1	1	D	H
<i>Hymedesmia (Hymedesmia) rectirhaphis</i> (Pulitzer-Finali, 1983)	TS	1	1	Un	H
<i>Microscleroderma lamina</i> Pérez, Vacelet, Bitar & Zibrowius, 2004	LB	1	1	D	H
<i>Mycale (Paresperella) dentata</i> Sarà, 1958	TS	1	1	SD	H
<i>Neophrissospongia endoumensis</i> Pisera & Vacelet, 2011	FC	1	1	SD	H
<i>Neophrissospongia nana</i> Manconi & Serusi 2008	SS, NA	2	2	SD, D	H
<i>Neophrissospongia radjae</i> Pisera & Vacelet, 2011	AN	1	1	Un	H
<i>Oceanapia constructa</i> (Rützler, 1965)	AN	1	1	D	H
<i>Oceanapia minor</i> (Sarà, 1958)	TS	1	1	SD	H
<i>Oceanapia vacua</i> (Sarà, 1961)	FC, AS	2	2	CE, D	H
<i>Oscarella microlobata</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1996	FC, NA, LB	3	4	D	H

<i>Oscarella viridis</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1996	FC	1	2	SD, D	H
<i>Petrobiona massiliana</i> Vacelet & Lévi, 1958	FC, LS, SS, TS, ST, IS, SA	7	29	SD, D	H
<i>Petrosia pulitzeri</i> Pansini, 1996	TS, SA	2	2	Un	H
<i>Plakina crypta</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1998	FC	1	1	D	H
<i>Plakina endoumensis</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1998	FC	1	1	SD	H
<i>Plakina jani</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1998	FC	1	1	SD	H
<i>Plakina weinbergi</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1998	SA, LB	2	2	Un	H
<i>Pseudocortidium jarrei</i> Boury-Esnault, Muricy, Gallissian & Vacelet, 1995	FC, NA, SA, LB	4	5	CE, SD, D	H
<i>Raspaciona calva</i> Sarà, 1958	TS	1	1	CE, SD	H
<i>Scopalina azurea</i> Bibiloni, 1993	BS	1	1	D	H
<i>Spongosorites cavernicola</i> Bibiloni, 1993	BS	1	1	D	H
<i>Tetilla repens</i> (Sarà, 1958)	TS	1	1	SD	H
<i>Thymosiopsis cuticulatus</i> Vacelet & Pérez, 1998	FC, AN, NA, SA	4	9	SD, D	H
<i>Torpsentia garciae</i> Bibiloni, 1993	CC, BS	2	3	SD, D	H
Φύλο Cephalorhyncha					
Κλάση Priapulida					
<i>Tubiluchus troglodytes</i> Todaro & Shirley, 2003	IS	1	1	D	S
Φύλο Gastrotricha					
<i>Urodasys acanthostylis</i> Fregni, Tongiorgi & Faienza, 1998	AS, IS	2	2	D	S
Φύλο Arthropoda					
Κλάση Maxillopoda					
Υποκλάση Copepoda					
<i>Ancorabolina cavernicola</i> George & Tiltack, 2009	FC	1	1	D	S
<i>Exumella mediterranea</i> Jaume & Boxshall, 1995 †	BS	1	1	D	
<i>Intercrusia garciai</i> Jaume, 1997 †	BS	1	1	D	
<i>Neoechinophora xoni</i> Jaume, 1997 †	BS	1	1	D	
<i>Paramisophria intermedia</i> Jaume, Cartes & Boxshall, 2000 †	BS	1	1	D	
<i>Ridgewayia marki minorcaensis</i> Razouls & Carola, 1996	FC	1	1	D	
<i>Speleohvarella gamulini</i> Krsinic, 2005 †	AN	1	1	D	
<i>Speleophria gymnesica</i> Jaume & Boxshall, 1996 †	BS	1	1	D	
<i>Speleophriopsis balearicus</i> Jaume & Boxshall, 1996 †	BS	1	1	D	
<i>Stephos margalefi</i> Riera, Vives & Gili, 1991 †	BS	1	6	D	
<i>Stephos vivesi</i> Jaume, Boxshall & Gràcia, 2008 †	BS	1	1	D	

<i>Stygocyclopia balearica</i> Jaume & Boxshall, 1995	BS	1	1	D	
<i>Superornatiremis mendai</i> Jaume, 1997 †	BS	1	1	D	
<i>Thompsonopia mediterranea</i> Jaume, Fosshagen & Iliffe, 1999 †	BS	1	1	D	
<i>Troglocyclopina balearica</i> Jaume & Boxshall, 1996 †	BS	1	11	D	
Κλάση Malacostraca					
Τάξη Decapoda					
<i>Odontozona addaia</i> Pretus, 1990	BS	1	1	D	
<i>Salmoneus sketi</i> Fransen, 1991a	AN	1	1	D	
Τάξη Mysida					
<i>Hemimysis margalefi</i> Alcaraz, Riera & Gili, 1986 †	AL, BS, FC, LS, SS, TS, ST, IS	8	39	SD, D	
<i>Hemimysis</i> sp. n. 1	SA	1	3	Un	
<i>Hemimysis</i> sp. n. 2	AN	1	4	Un	
<i>Hemimysis</i> sp. n. 3	AS, IS	2	4	Un	
<i>Hemimysis</i> sp. n. 4	SA	1	1	Un	
Τάξη Thermosbaenacea					
<i>Tethysbaena scabra</i> (Pretus, 1991) †	BS	1	1	D	
Φύλο Mollusca					
Κλάση Gastropoda					
<i>Hyalogyra zibrowii</i> Warén in Warén, Carrozza & Rocchini, 1997	FC	1	1	D	S
Φύλο Tardigrada					
<i>Parastygarctus mediterranicus</i> Gallo D'Addabbo, Grimaldi de Zio & Sandulli, 2001	AS	1	2	Un	S
<i>Pseudostygarctus rugosus</i> Gallo D'Addabbo, de Zio Grimaldi & Sandulli, 2001	AS	1	1	Un	S
<i>Tragloarctus trionyches</i> Villora-Moreno, 1996	FC	1	1	D	S
Φύλο Bryozoa					
<i>Reteporellina delicatula</i> Hayward, 1974	NA	1	1	Un	H
Φύλο Brachiopoda					
<i>Tethyrhynchia mediterranea</i> Logan & Zibrowius, 1994	FC, TS, AN	3	10	D	H
Φύλο Chaetognatha					
<i>Spadella ledoyeri</i> Casanova, 1986	FC	1	3	D	S
Φύλο Chordata					
Υπερκλάση Pisces					
Κλάση Actinopterygii					
<i>Speleogobius trigloides</i> Zander & Jelinek, 1976	AN		1	Un	

5.3.2. Ποικιλότητα σπόγγων των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψε ότι οι σπόγγοι ήταν η καλύτερα μελετημένη ομάδα οργανισμών στα υποθαλάσσια σπήλαια αφού εμφανίστηκαν σε 156 δημοσιεύσεις που αντιστοιχούσαν στο 51% των μελετών που συγκεντρώθηκαν. Τα διαθέσιμα στοιχεία για τους σπόγγους προέρχονται από περίπου 200 υποθαλάσσια σπήλαια, στην πλειοψηφία τους (70%) ημιβυθισμένα και ρηχά (σε βάθη μικρότερα από 15 m). Μόλις 25% των σπηλαίων βρισκόταν σε μεγαλύτερο βάθος, με μέγιστο τα 40 m, ενώ για τα υπόλοιπα σπήλαια δεν δίνονταν βαθυμετρικά στοιχεία. Τα περισσότερα βαθιά σπήλαια (30%) έχουν μελετηθεί στις ακτές της Γαλλίας (56% των σπηλαίων της περιοχής). Αντίθετα, στη Νότια Αδριατική, την Τυρρηνική Θάλασσα και τη Λεβαντίνη έχουν μελετηθεί αποκλειστικά ημιβυθισμένα και ρηχά σπήλαια. Ο αριθμός των σπόγγων που έχει καταγραφεί σε σπήλαια, συμπεριλαμβανομένων και των αποκλειστικά σπηλαιόβιων ειδών, παρουσίασε αύξηση με την αύξηση των σχετικών μελετών (Εικόνα 5.3).

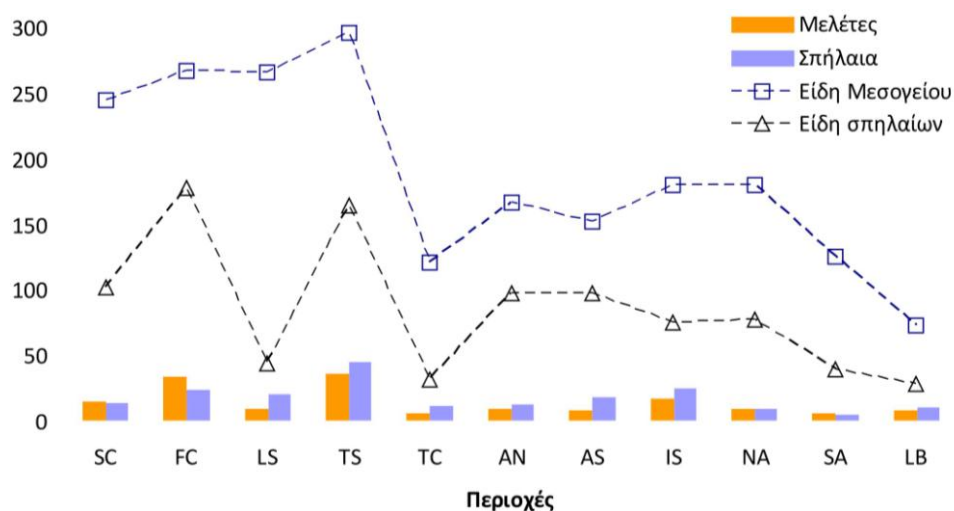


Εικόνα 5.3 Αριθμός ειδών σπόγγων που βρέθηκαν σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου σε σχέση με την ερευνητική προσπάθεια (αριθμός μελετών) από το 1950 μέχρι σήμερα.

Figure 5.3 Number of sponge species recorded from Mediterranean marine caves through time, alongside with research effort.

Όπως φάνηκε για τη συνολική βιοποικιλότητα των Μεσογειακών σπηλαίων, έτσι και για τους σπόγγους, ο αριθμός ειδών ανά περιοχή παρουσίασε στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση με τον αριθμό των μελετών ($r_s = 0,769$, $P < 0,01$, $n = 11$), όχι όμως και με τον αριθμό των σπηλαίων. Ο αριθμός ειδών, όπως και η ερευνητική προσπάθεια, διέφεραν ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές και στις περισσότερες από αυτές κυμαινόταν στα 70-100 είδη (Εικόνα 5.4). Τα περισσότερα είδη καταγράφηκαν σε σπήλαια των Γαλλικών και Τυρρηνικών ακτών (177 και 164 αντίστοιχα), όπου πραγματοποιήθηκαν και οι περισσότερες μελέτες, ενώ τα λιγότερα (<40) βρέθηκαν στις νοτιοανατολικές περιοχές της Μεσογείου και συγκεκριμένα στις ακτές της Λεβαντίνης, στο Στενό Τυνησίας-Σικελίας και στο Νότιο Αιγαίο. Ωστόσο, στα

σπήλαια ορισμένων περιοχών (π.χ. Αδριατική και Βόρειο Αιγαίο) βρέθηκε μεγάλος αριθμός ειδών σε σύγκριση με τη σχετική ερευνητική προσπάθεια. Γενικά, τα παρατηρούμενα πρότυπα ήταν σε αντιστοιχία με αυτά που ισχύουν για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας, με εξαίρεση τα σπήλαια της Λιγουρίας και του Ιονίου στα οποία βρέθηκαν συγκριτικά λιγότερα είδη σε σχέση με τη συνολική σπογγοπανίδα.

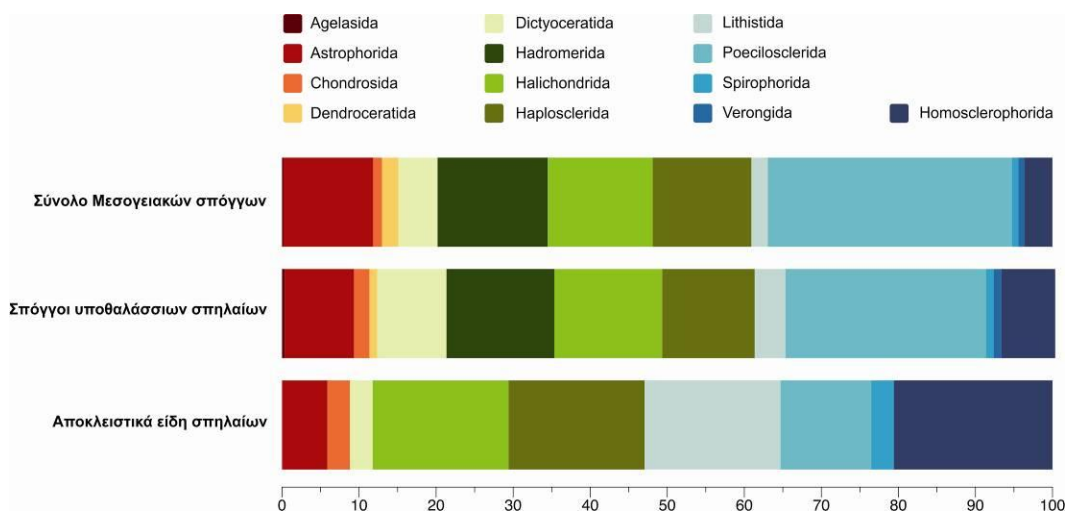


Εικόνα 5.4 Αριθμός ειδών σπόγγων και ερευνητική προσπάθεια σε διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου.

Figure 5.4 Research effort (number of studies) compared to sponge species number in the Mediterranean subareas.

Συνολικά έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια 318 είδη σπόγγων από όλες τις κλάσεις του φύλου (278 Demospongiae, 20 Homoscleromorpha, 20 Calcarea και 1 Hexactinellida) που αντιστοιχούν στο 46,7% των Μεσογειακών ειδών σπόγγων. Τα Homoscleromorpha εκπροσωπούνταν σε σημαντικό ποσοστό στα υποθαλάσσια σπήλαια (91% των ειδών), ενώ ακολουθούσαν οι κλάσεις Demospongiae (46%), Calcarea (33%) και Hexactinellida (9%). Πιο αναλυτικά, για τις δύο πρώτες κλάσεις, προέκυψε ότι και οι 13 τάξεις που τις απαρτίζουν έχουν βρεθεί σε σπήλαια. Τα γενικά πρότυπα κατανομής του αριθμού ειδών των σπηλαίων στις παραπάνω τάξεις ήταν παρόμοια με αυτά για το σύνολο των Μεσογειακών σπόγγων (Εικόνα 5.5). Ωστόσο, φάνηκε ότι το περιβάλλον των σπηλαίων είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό για τους σπόγγους των τάξεων Dictyoceratida, Lithistida και Homosclerophorida, ενώ αντίθετα τα Astrophorida και τα Roecilosclerida είχαν μικρή αντιπροσωπευτικότητα σε αυτό το οικοσύστημα. Επίσης, σε σπήλαια έχει καταγραφεί το 88% των Μεσογειακών οικογενειών σπόγγων ενώ κάποιες απουσίαζαν τελείως (Azoricidae, Desmacellidae, Desmacididae, Esperiopsidae, Latrunculidae, Niphatidae, Podospongiidae και Stylocordylidae). Τέλος, σε σπήλαια έχει καταγραφεί το 70% των γενών των σπόγγων της Μεσογείου. Επιπλέον, 114 τάξεις των κλάσεων Demospongiae και Homoscleromorpha που καταγράφηκαν σε σπήλαια έχουν

προσδιοριστεί σε επίπεδο γένους/οικογένειας και 8 θεωρούνται μη έγκυρες αναφορές για την πανίδα της Μεσογείου σύμφωνα με τη WPD²⁹.



Εικόνα 5.5 Ποσοστιαία σύνθεση της πανίδας των σπόγγων σε επίπεδο τάξης στα υποθαλάσσια σπήλαια και στη Μεσόγειο συνολικά.

Figure 5.5 Order composition of marine cave and overall Mediterranean Demospongiae and Homoscleromorpha.

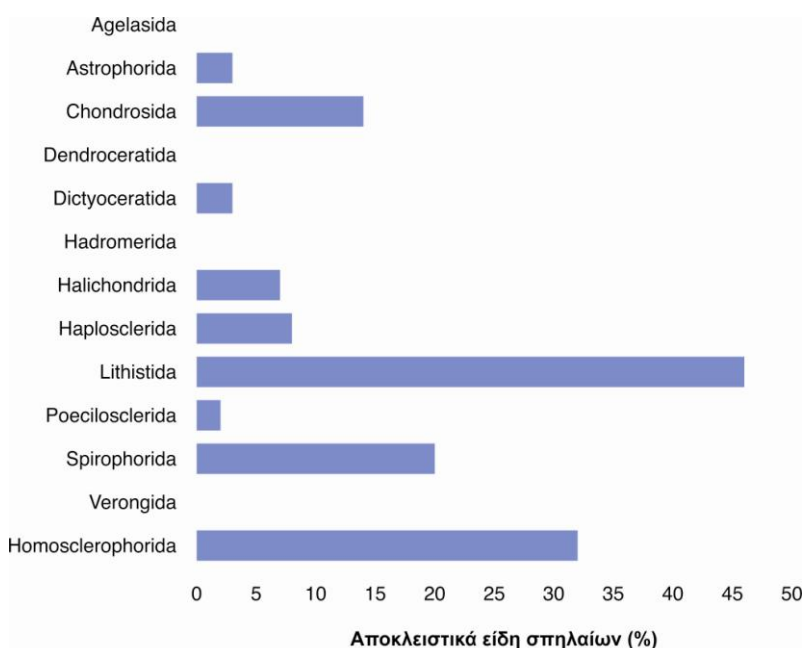
Από τα είδη των σπόγγων, 34 έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα αποκλειστικά σε σπήλαια (Πίνακας 5.3), αποτελώντας το 10,7% της σπογγοπανίδας των σπηλαίων και το 5,6% της γνωστής Μεσογειακής σπογγοπανίδας. Στην πλειοψηφία τους πρόκειται για σπάνια είδη που έχουν βρεθεί μόνο σε ένα σπήλαιο ή σε μικρό αριθμό σπηλαίων. Τα περισσότερα ανήκουν στην τάξη Homosclerophorida ενώ ακολουθούν οι τάξεις Lithistida, Halichondrida και Haplosclerida (Εικόνα 5.5). Επιπρόσθετα, ορισμένες τάξεις σπόγγων, όπως τα Lithistida, τα Homosclerophorida και τα Spirophorida, φαίνεται να προτιμούν το περιβάλλον των υποθαλάσσιων σπηλαίων καθώς το 46, 32 και 20% των ειδών τους αντίστοιχα, έχουν καταγραφεί αποκλειστικά σε σπήλαια (Εικόνα 5.6). Τέλος, 17 βαθύβια είδη³⁰ έχουν καταγραφεί στο σκοτεινό τμήμα υποθαλάσσιων σπηλαίων, ανεξάρτητα από το βάθος στο οποίο βρισκόταν το σπήλαιο.

Πέρα από τον πλούτο ειδών και η μέση ταξινομική διακριτότητα διέφερε ανάμεσα στις περιοχές της Μεσογείου (Εικόνα 5.7A). Οι τιμές του δείκτη ήταν κοντά στον αναμενόμενο θεωρητικό μέσο για τα σπήλαια του Στενού Τυνησίας-Σικελίας και της Λιγουρίας και πάνω από το ανώτερο όριο της χοάνης κατανομής για τα σπήλαια των υπόλοιπων περιοχών.

²⁹ Πρόκειται για τα είδη *Aka labyrinthica*, *Desmanthus incrustans*, *Erylus expletus*, *Eurypon viride*, *Gelliodes luridus*, *Lissodendoryx isodictyalis*, *Rhabderemia indica* και *Rhabderemia minutula*.

³⁰ Πρόκειται για τα είδη *Asbestopluma hypogea*, *Calthropella pathologica*, *Discodermia polymorpha*, *Eurypon clavatum*, *Hamacantha (Hamacantha) papillata*, *Merlia normani*, *Monocrepidium vermiculatum*, *Neoschrammeniella bowerbanki*, *Petromica (Petromica) grimaldii*, *Petrosia (Strongylophora) vansoesti*, *Protosuberites rugosus*, *Pseudotrachya hystrix*, *Rhizaxinella pyrifer*, *Spiroxya levispira*, *Thenia muricata* και *Thrombus abyssii* από την κλάση Demospongiae και το *Oopsacas minuta* από την κλάση Hexactinellida.

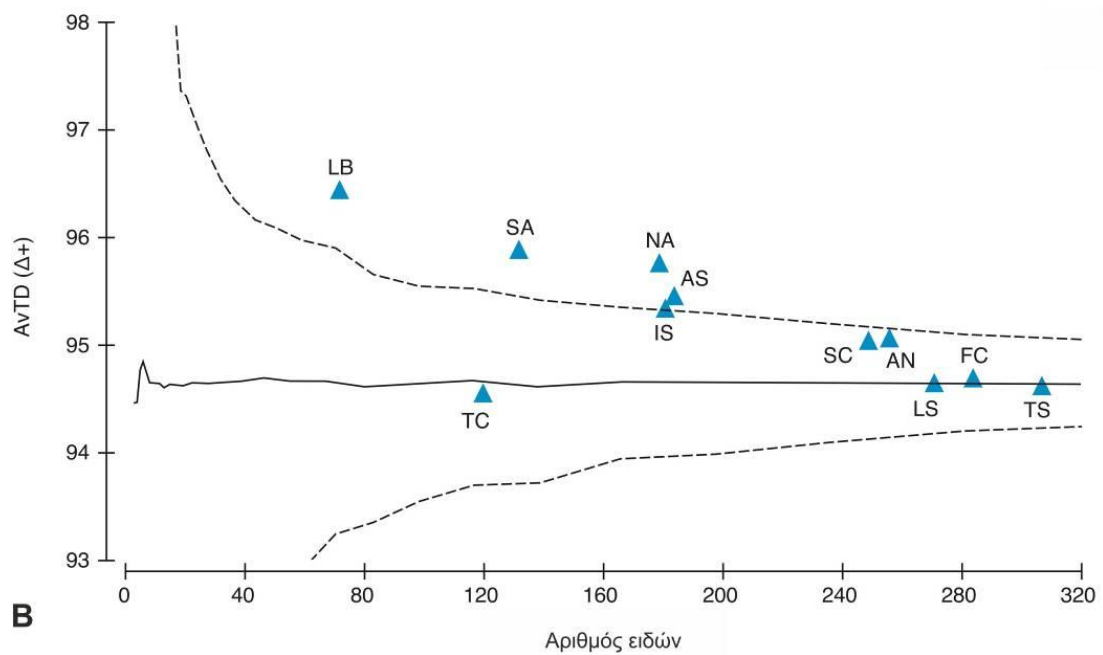
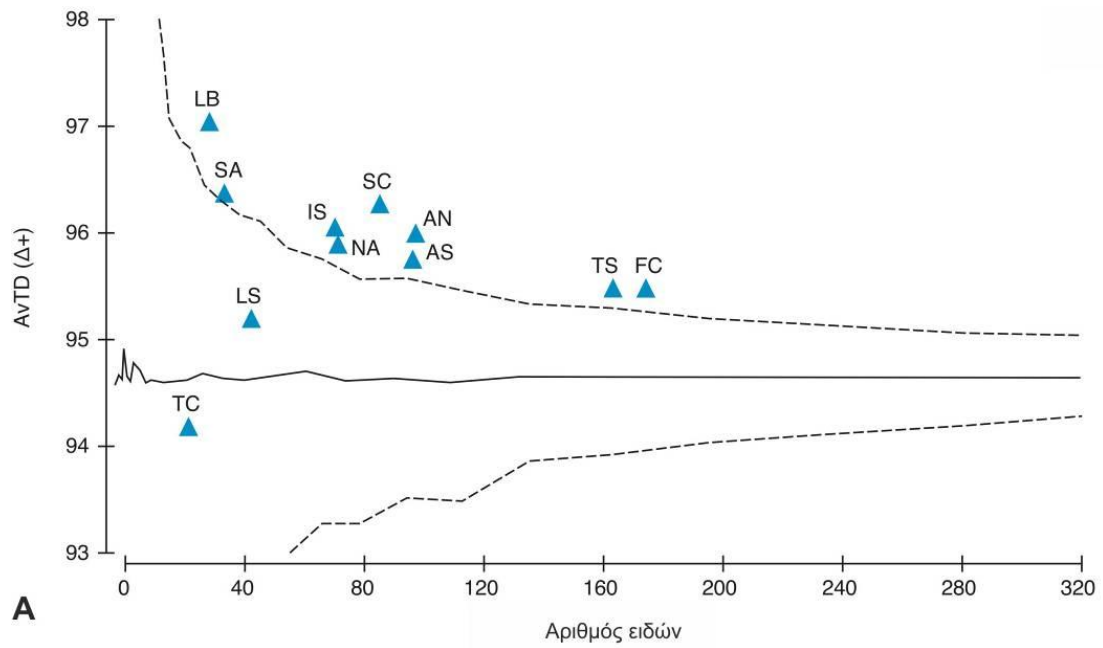
Αντίθετα, για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας, οι περισσότερες περιοχές βρίσκονταν κοντά στο θεωρητικό μέσο, ενώ η τιμή του δείκτη AvTD για τη Λεβαντίνη, το Νότιο και το Βόρειο Αιγαίο ήταν πάνω από το ανώτερο όριο (Εικόνα 5.7B). Η μεταβλητότητα της ταξινομικής διακριτότητας για τους σπόγγους των σπηλαίων κυμαινόταν γενικά εντός των ορίων της χοάνης κατανομής (Εικόνα 5.8A), με τις περισσότερες περιοχές να έχουν τιμές κατώτερες του θεωρητικού μέσου και μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές για το σύνολο της σπογγοπανίδας (Εικόνα 5.8B). Για τις δύο περιοχές του Αιγαίου οι τιμές του δείκτη VarTD βρίσκονταν κοντά στο θεωρητικό μέσο για την πανίδα των σπηλαίων ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το σύνολο των σπόγγων ήταν κάτω από το κατώτερο όριο της χοάνης κατανομής.



Εικόνα 5.6 Ποσοστό αποκλειστικά σπηλαιόβιων ειδών σπόγγων στη Μεσόγειο.
Figure 5.6 Percentages of Mediterranean cave-exclusive species of sponges.

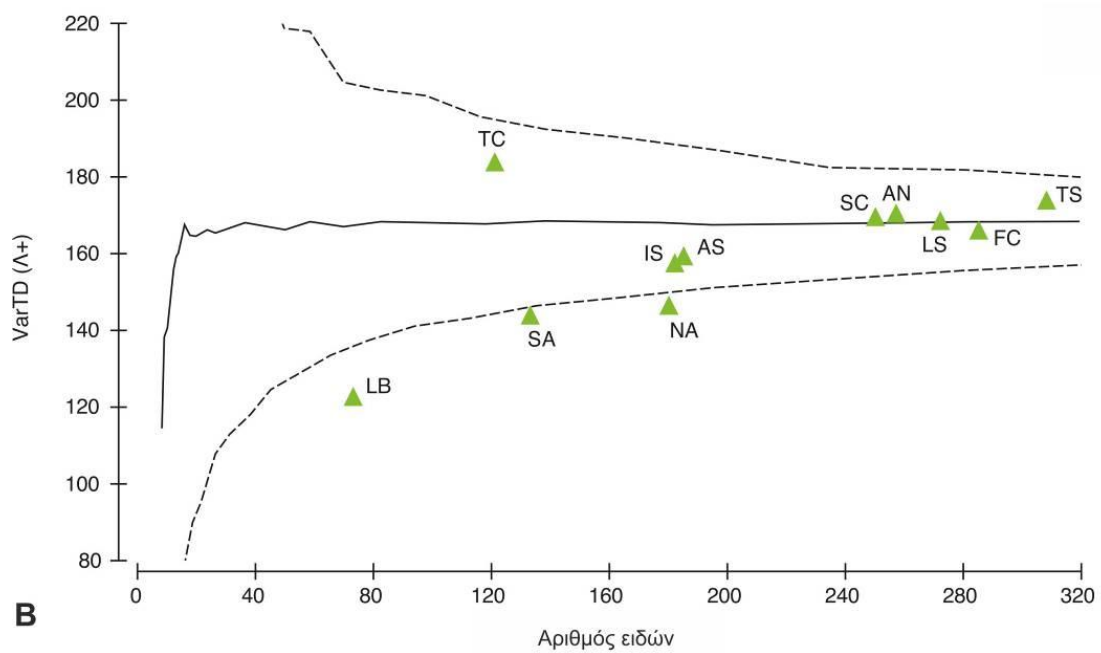
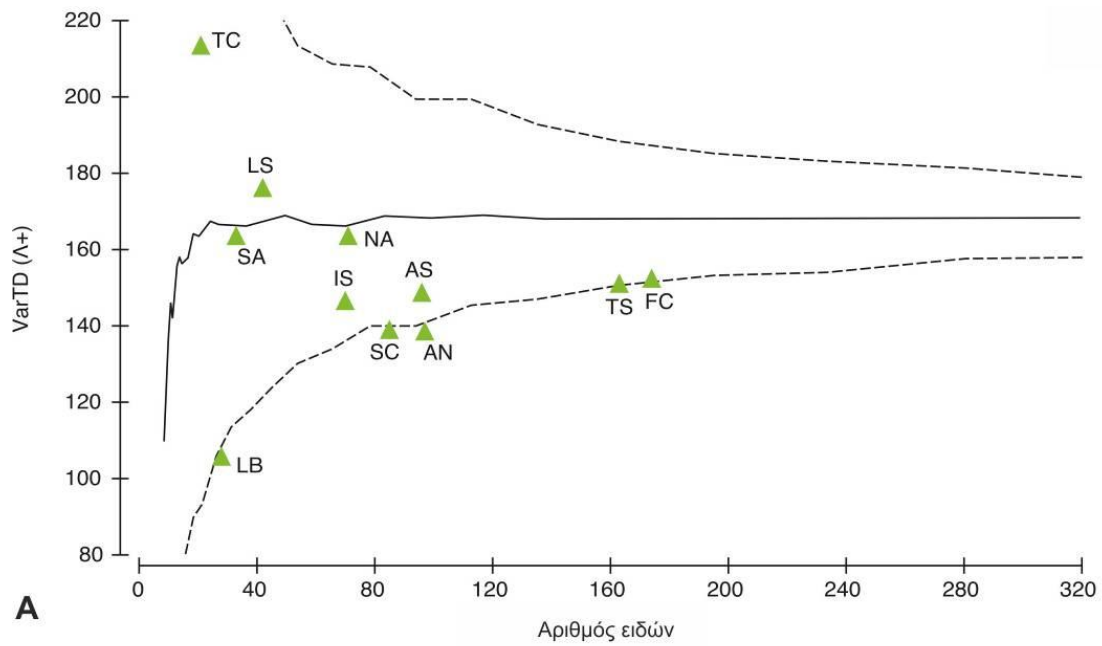
Από την πολυδιάστατη στατιστική ανάλυση για τους σπόγγους των υποθαλάσσιων σπηλαίων από τις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου προέκυψαν 3 ομάδες με επίπεδο ομοιότητας 33% (Εικόνα 5.9A-B). Η πρώτη ομάδα συμπεριλάμβανε όλες τις περιοχές της Βόρειας Μεσογείου εκτός από τη Θάλασσα της Λιγουρίας που συγκρότησε ξεχωριστή ομάδα μαζί με το Στενό Τυνησίας-Σικελίας. Εντός της πρώτης ομάδας, οι Γαλλικές και Τυρρηνικές ακτές διαχωρίστηκαν από τις άλλες υπόλοιπες περιοχές με ομοιότητα 50%. Τέλος, το Νότιο Αιγαίο και η Λεβαντίνη αποτέλεσαν διαφορετική ομάδα με ομοιότητα 43%.

Ένα ελαφρώς διαφοροποιημένο πρότυπο ομαδοποίησης παρατηρήθηκε για το σύνολο της πανίδας σπόγγων της Μεσογείου (Εικόνα 5.9C-D). Συγκεκριμένα, οι περιοχές της βορειοδυτικής λεκάνης (Γαλλικές και Ισπανικές ακτές, Θάλασσα Λιγουρίας και Τυρρηνική) ομαδοποιήθηκαν μαζί, όπως και εκείνες της βορειοανατολικής Μεσογείου (Νότια και Βόρεια Αδριατική, Ιόνιο και Βόρειο Αιγαίο) με επίπεδο ομοιότητας 60%. Το Νότιο Αιγαίο και το Στενό Τυνησίας-Σικελίας διαχωρίστηκαν από όλες τις παραπάνω περιοχές, ενώ η Λεβαντίνη ήταν τόσο διαφοροποιημένη που δε συμπεριλήφθηκε στην ανάλυση.



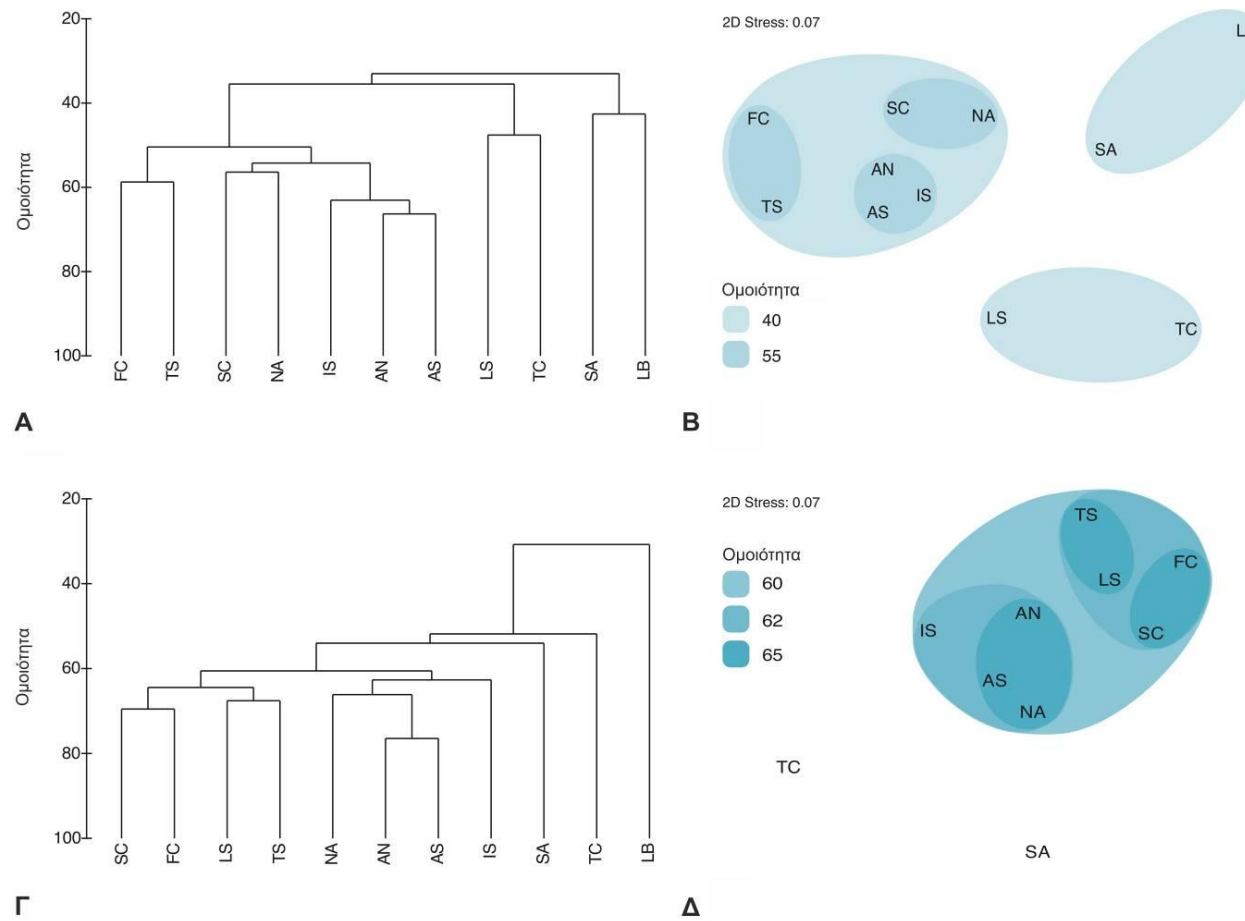
Εικόνα 5.7 Μέση ταξινομική διακριτότητα (AvTD) στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. (A) για τη σπογγοπανίδα των υποθαλάσσιων σπηλαίων και (B) για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας. Η γραμμή στο κέντρο αντιστοιχεί στη μέση τιμή και η χοάνη δείχνει τα όρια εντός των οποίων βρίσκεται η αναμενόμενη τιμή της AvTD. Για τις συντομογραφίες βλέπε τη Μεθοδολογία.

Figure 5.7 Average taxonomic distinctness (AvTD) for the Mediterranean subareas. (A) cave sponge fauna, (B) overall Mediterranean sponge fauna. The central line represents the mean value and the funnel curve shows the limits for its expected values. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.



Εικόνα 5.8 Μεταβλητότητα της ταξινομικής διακριτότητας (VarTD) στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. (A) για τη σπογγοπανίδα των υποθαλάσσιων σπηλαίων και (B) για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας. Η γραμμή στο κέντρο αντιστοιχεί στη μέση τιμή και η χοάνη δείχνει τα όρια εντός των οποίων βρίσκεται η αναμενόμενη τιμή της VarTD. Για τις συντομογραφίες βλέπε τη Μεθοδολογία.

Figure 5.8 Variation in taxonomic distinctness (VarTD) for the Mediterranean subareas. (A) cave sponge fauna, (B) overall Mediterranean sponge fauna. The central line represents the mean value and the funnel curve shows the limits for its expected values. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.



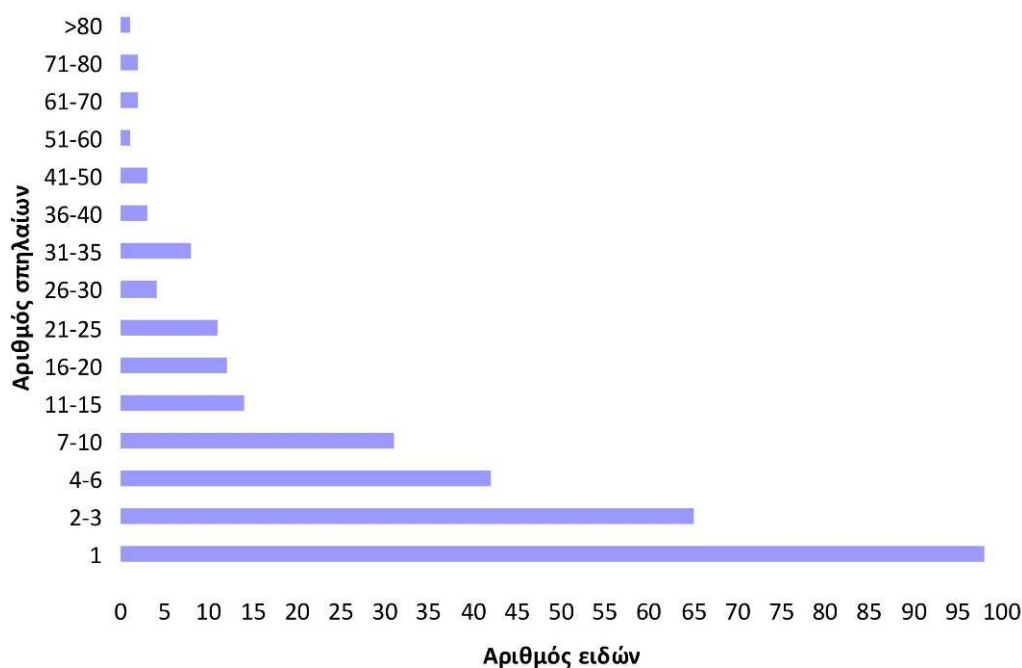
Εικόνα 5.9 Ομοιότητα της σπογγοπανίδας στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου σε δενδρόγραμμα και διάγραμμα MDS (A, B) για τη σπογγοπανίδα των υποθαλάσσιων σπηλαίων και (Γ, Δ) για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας. Για τις συντομογραφίες βλέπε τη Μεθοδολογία.

Figure 5.9 Resemblance of sponge assemblages in the Mediterranean subareas demonstrated in dendrograms and non-metric MDS plots. (A, B) cave assemblages, (Γ, Δ) overall Mediterranean assemblages. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.

Λίγα είδη σπόγγων ήταν κοινά μεταξύ των σπηλαίων, με μόλις 5 να έχουν βρεθεί στο 30-40% των μελετημένων σπηλαίων της Μεσογείου και συγκεκριμένα τα κοινά είδη *Agelas oroides*, *Petrosia ficiformis*, *Spirastrella cunctatrix*, *Ircinia variabilis* και *Phorbas tenacior*. Αντίθετα, 61% των ειδών έχουν βρεθεί σε λιγότερα από 5 σπήλαια (Εικόνα 5.10). Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονταν αρκετά σπάνια είδη σπόγγων, όπως τα *Cinachyrella levantinensis*, *Coscinoderma sporadense*, *Hemiasterella aristoteliana*, *Didiscus spinoxeatus* και *Polymastia harmelini*, τα οποία μέχρι σήμερα έχουν βρεθεί μόνο σε μία βιογεωγραφική περιοχή της Μεσογείου.

Ο πλούτος ειδών διέφερε μεταξύ των μελετημένων σπηλαίων (Πίνακας 5.4). Τα πλουσιότερα σπήλαια (Figuiet και Endoume) που βρίσκονται στις Γαλλικές ακτές βρέθηκαν να φιλοξενούν περισσότερα από 70 είδη σπόγγων και ήταν από τα καλύτερα μελετημένα. Τα σπήλαια των Φαρών και του Αγίου Βασιλείου που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας συμπεριλήφθηκαν στα 10 και 20 πλουσιότερα σπήλαια αντίστοιχα.

Σε ότι αφορά την εξάπλωση των σπόγγων στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων, μεγαλύτερος πλούτος ειδών καταγράφηκε στην ημισκοτεινή ζώνη (213), ακολούθησε το σκοτεινό τμήμα (189) και η είσοδος (137) (Πίνακας 5.2), ενώ δεν υπήρχαν σχετικά στοιχεία για 47 είδη. Η ανάλυση ιεραρχικής ομαδοποίησης που εφαρμόστηκε στη σπογγοπανίδα των 3 οικολογικών ζωνών των διαφορετικών περιοχών της Μεσογείου έδειξε ομαδοποίηση με βάση τη γεωγραφική περιοχή (Εικόνα 5.11) με εξαίρεση τη ζώνη εισόδου των Γαλλικών ακτών και του Βόρειου Αιγαίου που διαχωρίστηκαν από τις άλλες δύο ζώνες των περιοχών τους (επίπεδο ανομοιότητας >70%). Σε όλες τις περιοχές οι δύο εσωτερικές ζώνες (SD και D) παρουσίασαν μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους (που έφτανε το 75%) από ότι με την ζώνη της εισόδου.



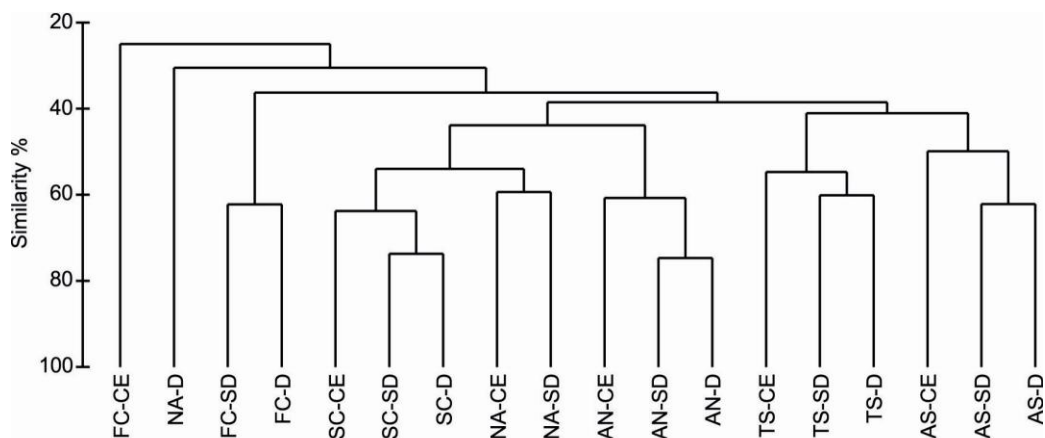
Εικόνα 5.10 Συχνότητα εμφάνισης ειδών σπόγγων στα Μεσογειακά σπήλαια που μελετήθηκαν.
Figure 5.10 Frequency of appearance of sponges species in the studied Mediterranean caves.

Πίνακας 5.4 Υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου με το μεγαλύτερο αριθμό καταγεγραμμένων ειδών σπόγγων και τη μεγαλύτερη σχετική ερευνητική προσπάθεια (αριθμός μελετών). Ο πλούτος ειδών για κάθε σπήλαιο παρουσιάζεται με τη μορφή εύρους τιμών, όπου κατώτερη τιμή εκφράζει τον αριθμό έγκυρων ειδών ενώ η μεγαλύτερη συμπεριλαμβάνει αμφίβολα είδη και τάξα προσδιορισμένα σε επίπεδο γένους/οικογένειας, γεγονός που υπαινίσσεται την ύπαρξη άδηλης ποικιλότητας. Για τις συντομογραφίες των περιοχών βλέπε τη Μεθοδολογία.

Table 5.4 Mediterranean caves presenting the highest number of recorded Poriferan species. Species richness is presented as a range, the lower value indicating the number of valid species and the higher including dubious species or taxa identified to the family or generic level, which imply hidden diversity.

Σπήλαιο (Περιοχή)	Πλούτος ειδών	Αριθμός μελετών	Μελέτες
Grotte du Figuier (FC)	80-87	7	Vacelet 1967, Pouliquen 1969, Griessinger 1971, Pouliquen 1972, Vacelet & Boury-Esnault 1982, Pansini 1984, Pisera & Vacelet 2011
Grotte d' Endoume (FC)	77-78	5	Pouliquen 1972, Muricy <i>et al.</i> 1996b, Muricy <i>et al.</i> 1998, Vishnyakov & Ereskovsky 2009, Pisera & Vacelet 2011
Grotta della Gaiola (TS)	59-63	5	Sarà 1959b, 1960, 1961b, 1962a-b
Grotta di Mitigliano (TS)	58-75	6	Pansini & Pronzato 1982, Pulitzer-Finali 1983, Balduzzi <i>et al.</i> 1985, 1989, Bianchi & Morri 1994, Pansini 1996
Grotte des Trémies (FC)	58-62	3	Pouliquen 1969, 1972, Pisera & Vacelet 2011
Grotta dei Misteri (TS)	54-56	6	Sarà 1958, 1959a, 1959b, 1960, 1961b, 1962b
Bue Marino (AS)	54-59	4	Sarà 1961a, Bianchi & Morri 1994, Corriero <i>et al.</i> 1996, 2000
Φαρά (NA)	53-64	1	Παρούσα μελέτη
Grotta del Mago (TS)	47-51	5	Pulitzer-Finali 1970, Cinelli <i>et al.</i> 1977, Pansini <i>et al.</i> 1977, Pulitzer-Finali & Pronzato 1977, Pulitzer-Finali 1978
Tuffo Tuffo (TS)	45-46	2	Russ & Rützler 1959, Rützler 1965
Grotte de Niolon (FC)	44-50	8	Pérès & Picard 1949, Laborel & Vacelet 1958, 1959, Vacelet 1959, Laborel 1960, Vacelet 1964, True 1970, Griessinger 1971
Grotta Verde (TS)	43-45	2	Corriero <i>et al.</i> 1997a, 1999
Catedral (SC)	41-44	3	Bibiloni & Gili 1982, Bibiloni <i>et al.</i> 1989, Bibiloni 1993
Bagaud (FC)	39-47	2	Muricy <i>et al.</i> 1996a, Harmelin <i>et al.</i> 2003
Grotta delle Viole (AS)	39-43	3	Sarà 1961a, Pulitzer-Finali & Pronzato 1981, Pulitzer-Finali 1983
Άγιος Βασίλειος (NA)	39-47	1	Παρούσα μελέτη
Túnel Llarg (SC)	33-38	2	Gili <i>et al.</i> 1982, Bibiloni <i>et al.</i> 1984
Misidacis (SC)	30-44	1	Martí <i>et al.</i> 2004a
Stražica Cape (AN)	30-32	1	Novosel <i>et al.</i> 2002

Cova Blava (SC)	29-39	3	Uriz <i>et al.</i> 1992, Martí <i>et al.</i> 2004a, Turon <i>et al.</i> 2009
Cala Tonda (AS)	29-32	3	Sarà 1961a, 1962b, Pulitzer-Finali 1983
Porto Cesareo (IS)	28-29	1	Corriero <i>et al.</i> 2004
Γιούρα (NA)	26	6	Βουλτσιάδου-Κούκουρα 1986, Voultsiadou-Koukoura & Soest 1991, Voultsiadou-Koukoura <i>et al.</i> 1991, Voultsiadou-Koukoura & Koukouras 1993, Voultsiadou & Vafidis 2004, Voultsiadou 2005b
Grotta Azzurra (TS)	25	7	Sarà 1962a, Bianchi & Morri 1994, Morri <i>et al.</i> 1994, Benedetti-Cecchi <i>et al.</i> 1996a-b, Southward <i>et al.</i> 1996, Benedetti-Cecchi <i>et al.</i> 1998
Trois Pépés (FC)	24	14	Vacelet <i>et al.</i> 1994, Corriero <i>et al.</i> 1996, Muricy <i>et al.</i> 1996a-b, Vacelet 1996, Vacelet & Boury-Esnault 1996, Muricy <i>et al.</i> 1998, Vacelet & Pérez 1998, Vacelet <i>et al.</i> 2000, Boury-Esnault 2002a-b, Boury-Esnault & Bézac 2007, Bakran-Petricioli <i>et al.</i> 2007, Pisera & Vacelet 2011
Τρύπια Σπηλιά (NA)	23-27	1	Παρούσα μελέτη
Grotta Galatea (SS)	23	2	MIATT-CoNISMa 2010, Manconi <i>et al.</i> 2013
Grotta della Regina (AS)	22-25	1	Labate 1965
Leuca E. (IS)	22-24	2	Pulitzer-Finali & Pronzato 1981, Pulitzer-Finali 1983
Grotta del Bisbe (SS)	22	2	MIATT-CoNISMa 2010, Manconi <i>et al.</i> 2013
Grotta delle Pecore (AS)	20-22	1	Sarà 1961a
Monte Vico (Ischia) (TS)	20-21	3	Pulitzer-Finali 1970, Pulitzer-Finali & Pronzato 1977, Pulitzer-Finali 1978
J-1 (SC)	20-21	1	Bibiloni <i>et al.</i> 1989
Piccola grotta ad W di Bonassola (LS)	19-23	1	Sarà 1964
Grotte de la Triperie (FC)	19-22	2	Vacelet 1964, Pouliquen 1969
Φτελιό (NA)	18-19	1	Παρούσα μελέτη
J-2 (SC)	18-19	2	Bibiloni <i>et al.</i> 1989, Bibiloni 1993
Grotta dell'Arenile (AS)	17-18	1	Sarà 1961a
Grotta delle Rondinelle (AS)	17-18	1	Sarà 1961a
Columbera cave (AN)	15	1	Faresi <i>et al.</i> 2006
Secca delle Formiche di Vivara (TS)	15	3	Pulitzer-Finali 1970, Pulitzer-Finali & Pronzato 1977, Pulitzer-Finali 1978
Grotta delle Mazzeri (IS)	15	2	MIATT-CoNISMa 2010, Manconi <i>et al.</i> 2013
Grotte del Coccodrillo (AS)	14-15	1	Sarà 1961a



Εικόνα 5.11 Ομοιότητα της σπογγοπανίδας στις οικολογικών ζωνών των σπηλαίων (CE: είσοδος, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη) διαφορετικών περιοχών της Μεσογείου. Για τις συντομογραφίες βλέπε τη Μεθοδολογία.

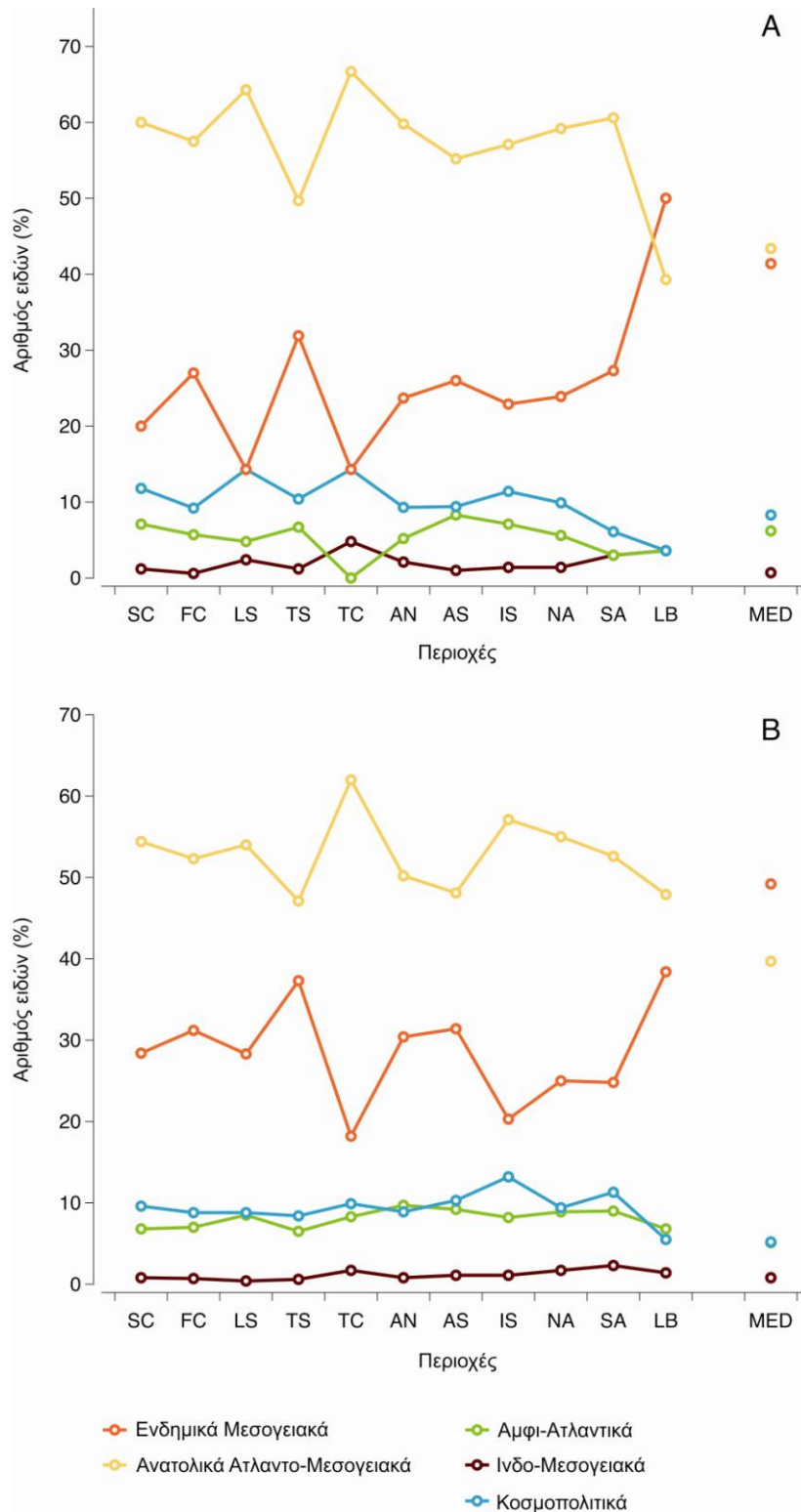
Figure 5.11 Resemblance of sponge assemblages from cave zones (CE: cave entrance, SD: semidark zone, D: dark zone) of Mediterranean subareas. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.

Βιογεωγραφικά πρότυπα

Το 43,4% των ειδών των σπόγγων που καταγράφηκαν σε Μεσογειακά σπήλαια είχαν Ατλαντο-Μεσογειακή εξάπλωση ενώ το 41,4% ήταν ενδημικά είδη της Μεσογείου (Εικόνα 5.12A). Ελάχιστα από τα Ατλαντο-Μεσογειακά είδη, είχαν Αμφι-Ατλαντική εξάπλωση. Επίσης μικρός ήταν και ο αριθμός των Κοσμοπολιτικών και Ινδο-Μεσογειακών ειδών. Σε ότι αφορά το σύνολο των σπόγγων της Μεσογείου, τα ενδημικά είδη επικρατούσαν (περίπου 50%) ενώ τα Ατλαντο-Μεσογειακά και τα Κοσμοπολιτικά είδη είχαν ελαφρώς μικρότερα ποσοστά σε σύγκριση με αυτά των σπηλαίων (Εικόνα 5.12B). Τα Ινδο-Μεσογειακά είδη ήταν ελάχιστα και στις δύο περιπτώσεις.

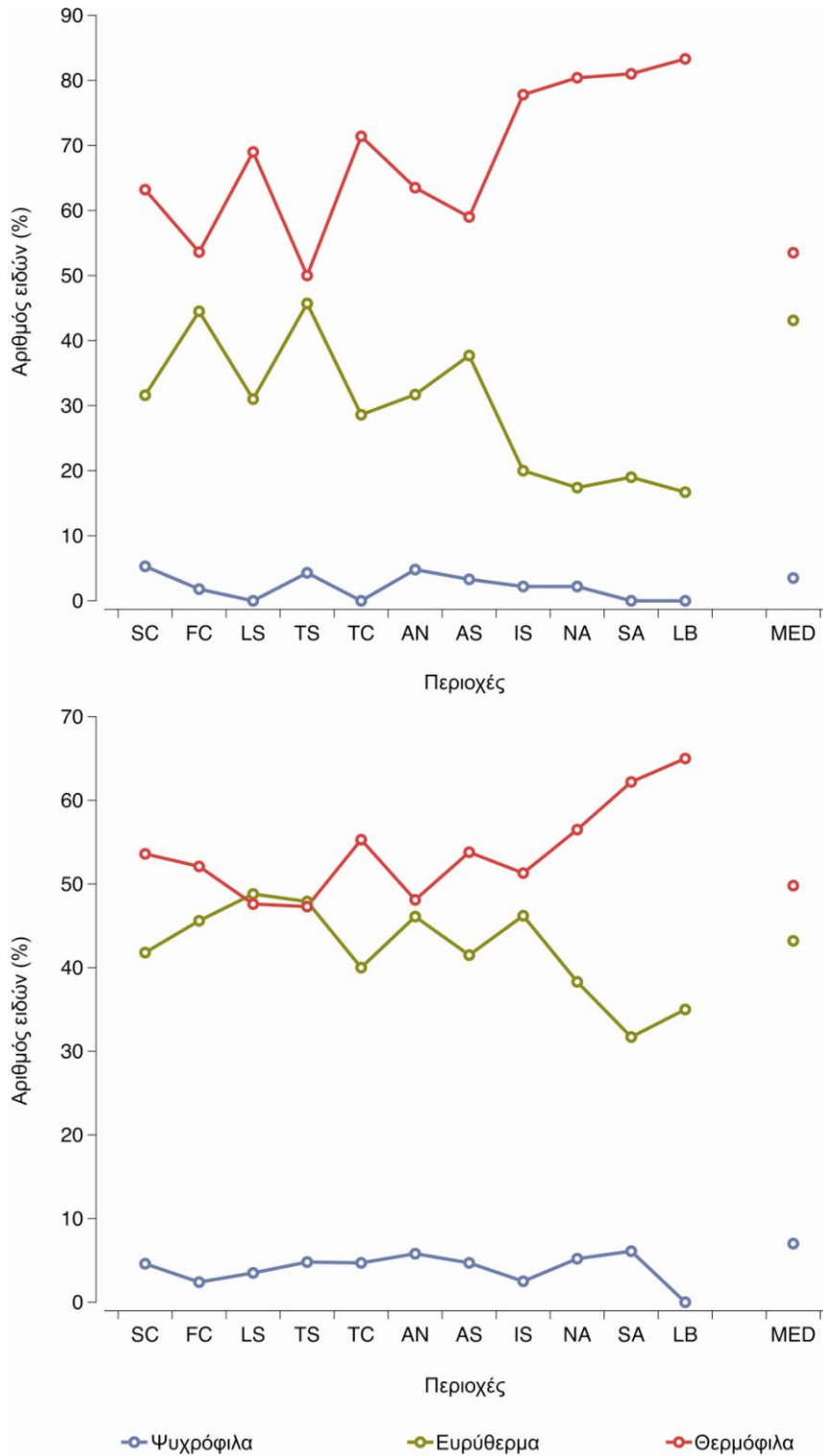
Τα ποσοστά των Ατλαντο-Μεσογειακών και Κοσμοπολιτικών ειδών παρουσίασαν σταδιακή μείωση από βορειοδυτική προς τη νοτιοανατολική Μεσόγειο με παράλληλη αύξηση των ενδημικών ειδών. Το ποσοστό των ενδημικών ειδών ήταν μεγαλύτερο στα σπήλαια της Λεβαντίνης όπου τα είδη με Ατλαντο-Μεσογειακή εξάπλωση ήταν λιγότερα σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές. Επιπλέον, στα σπήλαια της Λεβαντίνης και του Στενού Τυνησίας-Σικελίας βρέθηκαν τα μεγαλύτερα ποσοστά ειδών με Ινδο-Μεσογειακή εξάπλωση. Αυτό το πρότυπο ήταν παρόμοιο με τα αντίστοιχα για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας (Εικόνα 5.12B).

Η περαιτέρω ζωογεωγραφική ανάλυση για τα είδη σπόγγων με Ατλαντο-Μεσογειακή εξάπλωση που έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια έδειξε ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (53,5%) ήταν θερμόφιλα, ελάχιστα ήταν ψυχρόφιλα (3,5%) ενώ τα υπόλοιπα ήταν ευρύθερμα είδη (Εικόνα 5.13A). Στο σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας με Ατλαντο-Μεσογειακή εξάπλωση, τα θερμόφιλα είδη καταλάμβαναν ελαφρώς μικρότερο ποσοστό (49,8%) ενώ τα ψυχρόφιλα μεγαλύτερο (7%) (Εικόνα 5.13A). Το ποσοστό των ψυχρόφιλων ειδών μειωνόταν προς τη νοτιοανατολική Μεσόγειο ενώ παράλληλα αυξανόταν αυτό των θερμόφιλων, τόσο για τα είδη των σπηλαίων όσο και για τη συνολική Μεσογειακή πανίδα (Εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.12 Ζωογεωγραφικός χαρακτηρισμός των ειδών των σπόγγων στις διάφορες περιοχές της Μεσογείου ξεχωριστά και στο σύνολο της Μεσογείου. (A) για την σπογγοπανίδα που έχει βρεθεί σε υποθαλάσσια σπήλαια και (B) για τη συνολική σπογγοπανίδα της Μεσογείου. Για τις συντομώσεις των περιοχών βλέπε στη Μεθοδολογία.

Figure 5.12 Zoogeographic characterization of sponge species in Mediterranean subareas and throughout the Mediterranean. (A) cave sponge fauna, (B) overall Mediterranean sponge fauna. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.



Εικόνα 5.13 Βιοκλιματικές κατηγορίες των ειδών των σπόγγων στις διάφορες περιοχές της Μεσογείου ξεχωριστά και στο σύνολο της Μεσογείου. (A) για την σπογγοπανίδα που έχει βρεθεί σε υποθαλάσσια σπήλαια και (B) για τη συνολική σπογγοπανίδα της Μεσογείου. Για τις συντομεύσεις των περιοχών βλέπε στη Μεθοδολογία.

Figure 5.13 Bioclimatic categories of sponge species in Mediterranean subareas and throughout the Mediterranean. (A) cave sponge fauna, (B) overall Mediterranean sponge fauna. For abbreviations of Mediterranean areas see Methods.

5.3.3. Αλλόχθονα είδη σε Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια

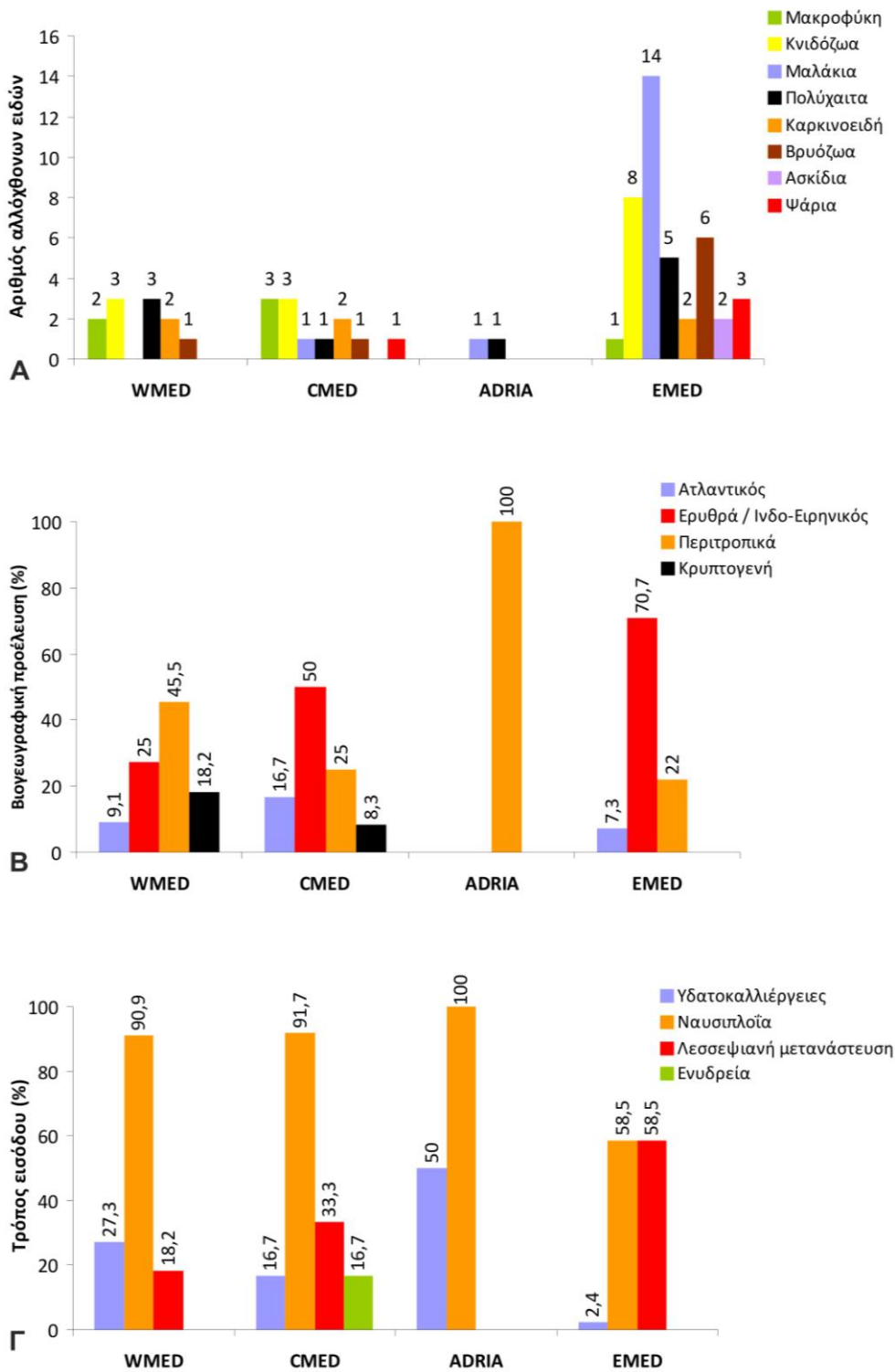
Μέχρι σήμερα έχουν βρεθεί 56 αλλόχθονα είδη σε 50 υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου (Παράρτημα Γ – Πίνακας Γ1). Σε αυτά περιλαμβάνονται 5 μακροφύκη, 9 κνιδόζωα, 15 μαλάκια, 9 πολύχαιτοι, 6 καρκινοειδή, 7 βρυόζωα, 2 ασκίδια και 3 ψάρια. Η πλειοψηφία (43 είδη) έχει αναφερθεί από σπήλαια μόνο μίας βιογεωγραφικής περιοχής. Τα περισσότερα είδη έχουν βρεθεί στις ακτές της Λεβαντίνης (37) και στο Ιόνιο (11) (Εικόνα 5.14). Η μεταφορά μέσω της ναυσιπλοΐας και η Λεσσεψιανή μετανάστευση ήταν οι κυριότεροι τρόποι εισόδου των ειδών στη Μεσόγειο (67,9 και 46,4% αντίστοιχα) ενώ ακολουθούσαν η υδατοκαλλιέργεια (7,1%) και τα ενυδρεία (3,6%). Η έρευνα μας έδειξε ότι η πλειοψηφία των ειδών (62,5%) έχει εισέλθει από την Ερυθρά Θάλασσα και τον Ινδο-Ειρηνικό Ωκεανό, ακολουθούν τα είδη με περιτροπική γεωγραφική εξάπλωση (23,2%) από τον Ατλαντικό Ωκεανό (10,73%), ενώ 2 είναι κρυπτογενή.

Η ταξινομική σύνθεση των αλλόχθονων ειδών διέφερε ανάμεσα στις ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές της Μεσογείου (Εικόνα 5.15). Έτσι, στην ανατολική Μεσόγειο έχουν βρεθεί 8 ομάδες, με κυρίαρχα τα μαλάκια (14), τα κνιδόζωα (8) και τα βρυόζωα (6). Στις υπόλοιπες 3 περιοχές της Μεσογείου τα αλλόχθονα είδη ήταν περισσότερο ομοιόμορφα κατανομημένα ανάμεσα στις ομάδες. Στα υποθαλάσσια σπήλαια της Αδριατικής έχουν βρεθεί τα λιγότερα αλλόχθονα είδη (2). Η σύγκριση ανάμεσα στην αλλόχθονη βιοποικιλότητα των σπηλαίων και τη συνολική αλλόχθονη βιοποικιλότητα των 4 υπο-περιοχών της Μεσογείου φανέρωσε παρόμοια πρότυπα σε ότι αφορά τον αριθμό ειδών (Εικόνα 5.16). Επίσης, η μεταφορά μέσω ναυσιπλοΐας ήταν ο κύριος τρόπος εισαγωγής των αλλόχθονων ειδών στα σπήλαια όλων των περιοχών με εξαίρεση την ανατολική Μεσόγειο όπου επικρατούσε με μικρή διαφορά η Λεσσεψιανή μετανάστευση.



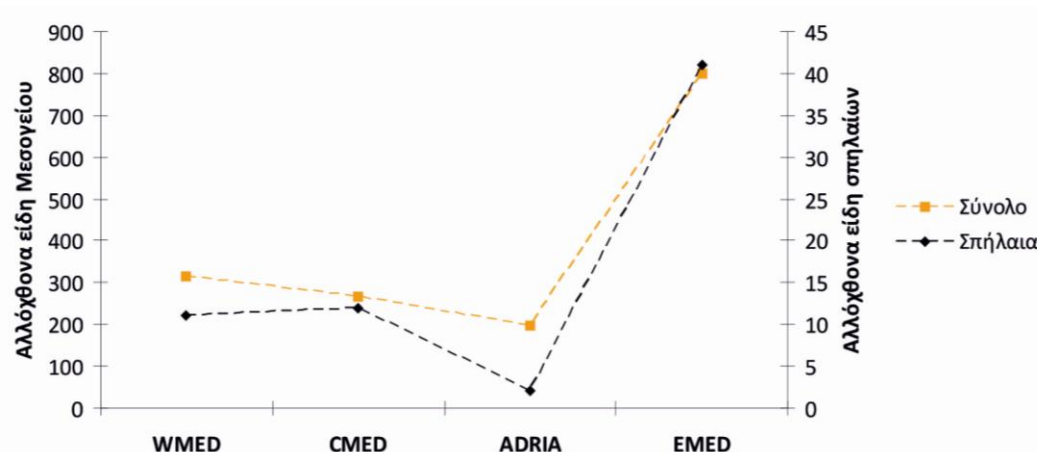
Εικόνα 5.14 Αριθμός αλλόχθονων ειδών που έχουν καταγραφεί στις διάφορες περιοχές της Μεσογείου. Η Θάλασσα των Βαlearίδων (BA) συμπεριλαμβάνει τις δυτικές ακτές της Σαρδηνίας και τις Βαlearίδες Νήσους. Με LC σημειώνονται οι ακτές της Λιβύης. Για τις συντομεύσεις των υπόλοιπων περιοχών βλέπε στη Μεθοδολογία. Ο αριθμός των αλλόχθονων ειδών σημειώνεται στην παρένθεση.

Figure 5.14 Number of alien species recorded in different Mediterranean areas. Balearic Sea (SA) includes the western coasts of Sardinia and the Balearic Islands. Libyan coasts are indicated with LC. For abbreviations of the rest Mediterranean areas see Methods. Number of alien species is indicated in parenthesis.



Εικόνα 5.15 Χωρικά πρότυπα (Α) της ταξινομικής σύνθεσης, (Β) βιογεωγραφικής προέλευσης και (Γ) του τρόπου εισόδου των αλλόχθονων ειδών στα Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια. Στο τελευταίο γράφημα το άθροισμα των ποσοστών ξεπερνά το 100% καθώς για ορισμένα είδη έχουν προταθεί περισσότεροι του ενός τρόποι εισόδου στη Μεσόγειο.

Figure 5.15 Regional patterns for the taxonomic composition (Α), origin (Β), and pathway of introduction (Γ) of non-indigenous species in Mediterranean marine caves. In the latter graph, percentages add to more than 100% as far as some species are linked to more than one pathway.



Εικόνα 5.16 Αριθμός αλλόχθονων ειδών στις διάφορες περιοχές της Μεσογείου.
Figure 5.16 Number of alien species in different Mediterranean areas.

Στην πλειοψηφία τους, τα αλλόχθονα είδη έχουν παρατηρηθεί στη ζώνη εισόδου (25 είδη) και στο ημισκοτεινό τμήμα (43 είδη) ρηχών και ημιβυθισμένων σπηλαίων και σηράγγων. Μόνο 12 είδη έχουν αναφερθεί από τη σκοτεινή ζώνη σπηλαίων, 4 είδη από αγχίαλα σπήλαια και 2 είδη έχουν βρεθεί στο σκοτεινό τμήμα ενός σπηλαίου με υδροθερμικές πηγές (Πίνακας Γ1).

5.4. Συζήτηση

Τα σπήλαια που έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα αποτελούν μόλις το 12,3% των σπηλαίων που έχουν καταγραφεί στις ακτές της Μεσογείου (Giakoumi *et al.* 2013). Ωστόσο, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, φιλοξενούν σημαντικά ποσοστά της συνολικής Μεσογειακής βιοποικιλότητας για ορισμένες ταξινομικές ομάδες, γεγονός που επιβεβαιώνει τη μεγάλη σημασία αυτών των ενδιατημάτων για κάποιες ομάδες σκιοφίλων βενθικών ασπόνδυλων και κυρίως για τα Brachioroda (Logan *et al.* 2004), τα Bryozoa (Harmelin 1985, 1986), τα Porifera (παρούσα μελέτη), τα Anthozoa (Zibrowius 1978, Gili & Ballesteros 1991) και τα Tardigrada (de Zio Grimaldi & Gallo D'Addabbo 2001). Σε ότι αφορά τους σπόγγους, στις κοινότητες των σπηλαίων εκπροσωπούνται όλες οι κλάσεις και οι τάξεις, το 88% των οικογενειών, το 70% των γενών και το 46,7% των Μεσογειακών ειδών του φύλου. Επίσης, τα σπήλαια αποτελούν ευνοϊκό ενδιαίτημα για συγκεκριμένες ομάδες σπόγγων, φιλοξενώντας πάνω από το 70% της κλάσης Homoscleromorpha και των τάξεων Dictyoceratida και Lithistida της Μεσογείου. Μάλιστα το 20% της παγκόσμιας ποικιλότητας της πρώτης κλάσης έχει βρεθεί σε σπήλαια της Μεσογείου. Οι αθροιστικές καμπύλες του αριθμού των ειδών σπόγγων που έχουν καταγραφεί σε σπήλαια, συμπεριλαμβανομένων των αποκλειστικά σπηλαιόβιων ειδών, δεν έχουν γίνει ακόμα ασυμπτωτικές, πράγμα που σημαίνει ότι νέα είδη αναμένεται να βρεθούν με την αύξηση της ερευνητικής προσπάθειας. Επιπλέον, κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση καταγράφηκε μεγάλος αριθμός τάξεων που έχουν προσδιοριστεί μόνο σε ανώτερο ταξινομικό επίπεδο (π.χ. γένος, οικογένεια), που πιθανότατα σημαίνει ότι η περαιτέρω μελέτη των αντίστοιχων δειγμάτων από ειδικούς μπορεί να αποκαλύψει την ύπαρξη νέων ειδών για την επιστήμη.

5.4.1. Χωρικά πρότυπα ποικιλότητας

Ο πλούτος ειδών και η ταξινομική σύνθεση των κοινοτήτων των σπηλαίων διέφεραν ανάμεσα στις περιοχές της Μεσογείου αντικατοπτρίζοντας διαφορές στην ερευνητική προσπάθεια και τα επιστημονικά ενδιαφέροντα των ερευνητών. Ωστόσο, ο μεγαλύτερος αριθμός ειδών που έχει καταγραφεί στις βόρειες ακτές της Μεσογείου πιθανότατα δεν οφείλεται μόνο στη μεγαλύτερη ερευνητική προσπάθεια, αλλά και στο μεγαλύτερο αριθμό υποθαλάσσιων σπηλαίων που έχουν βρεθεί στις βραχώδεις ακτές της περιοχής (97% των καταγεγραμμένων σπηλαίων και 92,3% των βραχωδών ακτών της Μεσογείου – Giakoumi *et al.*, 2013). Επιπλέον, σε ορισμένες περιοχές ο πλούτος ειδών ήταν αυξημένος παρόλο που η ερευνητική προσπάθεια, όπως αυτή αποτυπώνεται μέσα από τον αριθμό μελετών και σπηλαίων, ήταν σχετικά μικρή. Αυτή η απόκλιση πιθανώς οφείλεται σε παράγοντες όπως είναι το εύρος, η εμβάθυνση, ο σκοπός και η προσέγγιση των μελετών, η διάρκεια της υποβρύχιας έρευνας, η εξειδίκευση των επιστημονικών ομάδων, κλπ. Οι παράγοντες αυτοί δεν ήταν ομοιογενείς στις Μεσογειακές περιοχές και δύσκολα μπορούν να αποτυπωθούν ποσοτικά.

Σε ότι αφορά την ποικιλότητα των σπόγγων, ο αριθμός των ειδών και η ομοιότητα ανάμεσα στις διαφορετικές Μεσογειακές περιοχές ακολουθούσαν παρόμοια πρότυπα τόσο για τη σπογγοπανίδα των σπηλαίων όσο και για το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας. Έτσι, και για τις δύο περιπτώσεις, οι βόρειες περιοχές ομαδοποιήθηκαν με εξαίρεση τις ακτές της Λιγουρίας, πιθανότατα εξαιτίας των περιορισμένων καρστικών σχηματισμών στην περιοχή (Cicogna *et al.* 2003) αλλά και του μικρού αριθμού ερευνών στα σπήλαια σε σύγκριση με τις γειτονικές περιοχές. Η ομαδοποίηση του Βόρειου Αιγαίου με τις Ισπανικές ακτές πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι και στις δύο περιοχές έχουν μελετηθεί κυρίως σπήλαια σε νησιωτικές περιοχές. Συγκριμένα, τα περισσότερα σπήλαια που έχουν μελετηθεί στην Ισπανία βρίσκονται στη Θάλασσα των Βαλεαρίδων που παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το Αιγαίο, καθώς βρίσκεται μακριά από τις ηπειρωτικές ακτές, παρουσιάζει ολιγοτροφικό χαρακτήρα και μεγαλύτερες θερμοκρασίες που ευνοούν την ανάπτυξη υποτροπικών, θερμόφιλων ειδών όπως είναι οι κερατόσπογγοι (Bibiloni *et al.* 1984, Bibiloni *et al.* 1989, Uriz *et al.* 1993). Η μεγάλη αντιπροσωπευτικότητα της Μεσογειακής σπογγοπανίδας στα υποθαλάσσια σπήλαια σε συνδυασμό με την κυριαρχία τους σε αυτά από πλευράς αριθμού ειδών επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών για τη μελέτη των σπηλαίων, ενισχύοντας τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου.

Οι τιμές του δείκτη μέσης ταξινομικής διακριτικότητας (AvTD) της σπογγοπανίδας των σπηλαίων ακολούθησαν διαφορετικό χωρικό πρότυπο από ότι ο αριθμός των ειδών καθώς ήταν μεγαλύτερες στις νοτιοανατολικές περιοχές της Μεσογείου και χαμηλότερες στις βορειοδυτικές (π.χ. FC και TS). Σε μια παρόμοια μελέτη για την ποικιλότητα της συνολικής σπογγοπανίδας της Ατλαντο-Μεσογειακής περιοχής, οι Xavier & van Soest (2011), απέδωσαν τις αυξημένες τιμές που παρατήρησαν στην νοτιοανατολική Μεσόγειο για το συγκεκριμένο δείκτη, στη σχετική κλιματική σταθερότητα που επικρατούσε στην περιοχή αυτή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 5 εκατομμυρίων χρόνων και στις μικρότερες θερμοκρασιακές ανωμαλίες που συνέβησαν εδώ σε σύγκριση με τη βορειοδυτική Μεσόγειο. Επιπλέον, οι τιμές κοντά στο μέσο όρο του δείκτη VarTD για τα σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου αντανακλούν κατά κάποιο τρόπο τη στοχευμένη έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε αυτά,

και που έχει ως αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη εκπροσώπηση των ανώτερων ταξινομικών ομάδων σπόγγων· είναι ενδιαφέρον ότι το 45% των οικογενειών και το 54% των γενών της σπογγοπανίδας του Βόρειου Αιγαίου απουσίαζε από σπήλαια της περιοχής αυτής ενώ αντίθετα ορισμένες οικογένειες (π.χ. Chalinidae, Irciniidae) και γένη (π.χ. *Oscarella*) εκπροσωπούνταν με πολλά είδη στο συγκεκριμένο οικοσύστημα. Από την άλλη μεριά, οι χαμηλές τιμές του δείκτη VarTD για τη συνολική ποικιλότητα των σπόγγων του Βόρειου Αιγαίου πιθανότατα οφείλονται στο γεγονός ότι στην περιοχή έχουν γίνει κυρίως πανιδικές έρευνες που δεν αποσκοπούσαν στη μελέτη συγκεκριμένων τύπων υποπαραλιακών ενδιαιτημάτων. Το αντίθετο παρατηρείται στη βορειοδυτική Μεσόγειο (χαμηλές τιμές του VarTD στα σπήλαια και μεγαλύτερες για το σύνολο της σπογγοπανίδας) όπου έχουν πραγματοποιηθεί εκτενείς έρευνες σε διάφορους τύπους ενδιαιτημάτων (π.χ. Boury-Esnault 1971, Uriz *et al.* 1992).

Ο δείκτης AvTD είχε γενικά μεγαλύτερες τιμές για τη σπογγοπανίδα των σπηλαίων σε σχέση με τη συνολική σπογγοπανίδα σχεδόν σε όλες τις περιοχές της Μεσογείου, αντανακλώντας κυρίως τη μικρότερη αναλογία ειδών προς γένη (2,2 / 3,2) στην περίπτωση των σπηλαίων. Για παράδειγμα σε σπήλαια έχουν βρεθεί τα μισά ή μόλις το 1/3 των ειδών κάποιων Μεσογειακών γενών που περιλαμβάνουν πολλά είδη (π.χ. *Axinella*, *Clathria*, *Haliclona* και *Hymedesmia*). Φαίνεται ότι το περιβάλλον των σπηλαίων ευνοεί την ανάπτυξη ειδών από ποικίλα γένη και οικογένειες, γεγονός που αντανακλάται στην αυξημένη ταξινομική διακρίσιμότητα. Η διασπορά των προνυμφών των εδραίων ασπόνδυλων από τα πατρικά τους ενδιαιτήματα, που μπορεί να είναι λίγο ή πολύ απομακρυσμένα από τα σπήλαια, καθορίζεται τόσο από περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. υδροδυναμισμός) όσο και από την οικολογία των προνυμφών (π.χ. δυνατότητα κολύμβησης, φωτοταξία) (Mariani *et al.* 2006). Στη συνέχεια, πολλοί άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες (π.χ. φωτισμός, διαθεσιμότητα τροφής και ανταγωνισμός για χώρο) επηρεάζουν τη θνησιμότητα των προνυμφών και των εκβλαστημάτων προώθησης των γεννητικών προϊόντων μετά την εγκατάστασή τους σε ημισκοτεινά και σκοτεινά σπήλαια (Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b, Denitto *et al.* 2007). Το περιβάλλον των υποθαλάσσιων σπηλαίων πιθανότατα ευνοεί την ανάπτυξη πλούσιων συνευρέσεων σπόγγων με μεγάλο ταξινομικό εύρος, λόγω των συγκριτικά σταθερότερων περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε σχέση με ανοιχτές περιοχές, εκτεθειμένες σε περιβαλλοντικές (Bell *et al.* 2003, Pérez *et al.* 2000) και ανθρωπογενείς διαταραχές (Terlizzi *et al.* 2002). Τέτοιες αντιθέσεις στα πρότυπα ποικιλότητας, δηλαδή μικρός πλούτος ειδών και ταυτόχρονα μεγάλη ταξινομική διακρίσιμότητα έχουν παρατηρηθεί σε ενδιαιτήματα που παρουσιάζουν έντονες και διαβαθμισμένες φυσικές πιέσεις, όπως είναι οι υδροθερμικές αναβλύσεις, σε σύγκριση με τις γειτονικές τους περιοχές (Price 2002). Αξίζει να αναφερθεί ότι και στην παρούσα μελέτη φάνηκε ότι, ενώ στη σκοτεινή ζώνη των σπηλαίων έχει βρεθεί μικρότερος πλούτος ειδών, ο αριθμός των κύριων ταξινομικών ομάδων αυξανόταν από την είσοδο προς το σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων (CE: 33, SD: 38 και D: 43 ομάδες).

Τέλος, το ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των διαφορετικών περιοχών ήταν μικρότερο για τη σπογγοπανίδα των σπηλαίων από ότι για τη συνολική Μεσογειακή σπογγοπανίδα, αντανακλώντας το γεγονός ότι τα σπήλαια αποτελούν ένα κατακερματισμένο ενδιαίτημα με ασυνεχή γεωγραφική εξάπλωση κατά μήκος των Μεσογειακών ακτών και με βιογεωγραφικά διαφοροποιημένη πανίδα. Τα κατακερματισμένα ενδιαιτήματα φιλοξενούν είδη με αυστηρές

οικολογικές απαιτήσεις και φιλοπατρική διασπορά προνυμφών (Blanquer & Uriz 2010), ενώ ορισμένα από τα είδη τους έχουν αναπτύξει ιδιαίτερους τρόπους διασποράς για αποίκιση νέων περιοχών (Maldonado & Uriz 1999). Ο κατακερματισμός του ενδιαιτήματος των σπηλαίων έχει αποδειχθεί ότι επιδρά σημαντικά στη γενετική διαφοροποίηση και την ισχυρή γενετική συγκρότηση των πληθυσμών που φιλοξενεί (Lejeusne & Chevaldonné 2006, Rastorgueff *et al.* 2014b).

5.4.2. Ενδημισμός και ζωογεωγραφικές σχέσεις της σπογγοπανίδας των σπηλαίων

Τα υποθαλάσσια σπήλαια φιλοξενούν πάνω από το 40% των ενδημικών ειδών σπόγγων της Μεσογείου. Ωστόσο, το ποσοστό ενδημικών ειδών σε κάθε περιοχή είναι μικρότερο καθότι τα περισσότερα ενδημικά είδη (πάνω από 70%) παρουσιάζουν μικρή γεωγραφική εξάπλωση (σε 1-2 περιοχές), σε αντίθεση με τα Ατλαντικο-Μεσογειακά είδη που εξαπλώνονται ευρέως σε ολόκληρη τη Μεσόγειο. Το αυξημένο ποσοστό ενδημικών ειδών σε κάποιες περιοχές πιθανότατα να σχετίζεται με την ερευνητική προσπάθεια που έχει προσφάτως λάβει χώρα σε αυτές, με στόχο την περιγραφή νέων ειδών (π.χ. Pérez *et al.* 2004, Vacelet *et al.* 2007, Pisera & Vacelet 2011). Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη της Voultziadou (2005a) ότι η μελέτη της ποικιλότητας των σπόγγων σε ελάχιστα μελετημένες περιοχές (π.χ. ανατολική Μεσόγειος) και τύπους ενδιαιτημάτων (π.χ. βαθιά θάλασσα, υποθαλάσσια σπήλαια) αναμένεται να φέρει στο φως νέα ενδημικά είδη.

Το ποσοστό των Ατλαντο-Μεσογειακών και Κοσμοπολιτικών ειδών σπόγγων ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο στα σπήλαια σε σχέση με το σύνολο της Μεσογειακής σπογγοπανίδας, πιθανώς επειδή τα ευρύοικα είδη μπορούν να εγκατασταθούν επιτυχώς με μεγαλύτερη ευκολία σε ενδιαιτήματα όπου επικρατούν ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες, αν και σταδιακά μπορεί να αναπτύξουν πληθυσμούς με στενό εύρος οικολογικών απαιτήσεων (van Straalen & Roelofs 2012). Ωστόσο, ο κοσμοπολιτικός χαρακτήρας των προσκολλημένων ειδών, όπως είναι οι σπόγγοι, έχει αμφισβητηθεί στη βάση πρόσφατων μοριακών αναλύσεων και η μελλοντική ταξινομική έρευνα αναμένεται να αυξήσει το ποσοστό των ενδημικών ειδών της Μεσογείου (Boury-Esnault & Solé-Cava 2004).

Η ζωογεωγραφική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη φανέρωσε ότι οι συννευρέσεις σπόγγων των Μεσογειακών σπηλαίων ακολουθούν αντίστοιχα πρότυπα με αυτά που ισχύουν για το σύνολο της Μεσογειακής πανίδας σε ότι αφορά βιοκλιματικές κατηγορίες. Ωστόσο, τα ψυχρόφιλα είδη ήταν ελαφρώς λιγότερα στα σπήλαια που φάνηκε να αποτελούν περισσότερο ευνοϊκό περιβάλλον για τα θερμόφιλα είδη στα οποία συμπεριλαμβάνονταν τα ενδημικά και τα περισσότερα Ατλαντο-Μεσογειακά είδη (οι δύο αυτές ομάδες καταλάμβαναν το 70% των ειδών των σπηλαίων). Το γεγονός αυτό ενισχύεται από τη σημαντική εκπροσώπηση σπόγγων των τάξεων Dictyoceratida και Homosclerophorida στα υποθαλάσσια σπήλαια, οι οποίοι στη Μεσόγειο αντιπροσωπεύονται από γένη και είδη με υποτροπική και τροπική εξάπλωση (van Soest 1994). Η παρουσία των θερμόφιλων ειδών στα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου αναμένεται να ενισχυθεί με την εγκατάσταση αλλόχθονων ειδών σε αυτά και με την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας (Por 2009).

5.4.3. Ζώνωση των κοινοτήτων των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου

Ο μεγάλος αριθμός κοινών ειδών ανάμεσα στα υποθαλάσσια σπήλαια και άλλους τύπους ενδιαιτημάτων οδήγησε ορισμένους ερευνητές στο να εκφράσουν αμφιβολίες για το αν θα έπρεπε οι κοινότητες των σπηλαίων να θεωρηθούν διακριτές βιοκοινότητες. Έτσι, αρχικά θεωρήθηκαν ως ένας τύπος της κοραλλιγενούς βιοκοινότητας με την ονομασία "*Le coralligène de grottes*" (Pérès & Picard 1951, 1955). Επίσης, ο Vacelet (1964) χαρακτήρισε τις κοινότητες των σκοτεινών σπηλαίων ως μια «υποβαθμισμένη όψη» της κοραλλιγενούς βιοκοινότητας, αποδίδοντας την τοπική διαφοροποίηση της πανίδας στη μείωση του υδροδυναμισμού, την απουσία φωτός και ίσως τη δημιουργία επιστρώματος οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στο υπόστρωμα. Η σαφής διάκριση των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων από την κοραλλιγενή ή προκοραλλιγενή κοινότητα της ζώνης εισόδου έγινε με γνώμονα την κυριαρχία ζωικών ομάδων σε αντίθεση με την επικράτηση των μακροφυκών στην είσοδο (Laborel & Vacelet 1959, Vacelet 1959, Laborel 1960, 1961). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνουν και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Έτσι, ενώ στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων επικρατούσαν τα μακροφύκη από άποψη πλούτου ειδών (23,2% των ειδών), με την εξασθένιση του φωτός αυτά ελαττώνονταν σημαντικά στην ημισκοτεινή ζώνη (3,2% των ειδών) όπου επικρατούσαν οι σπόγγοι. Ο Pérès (1967), πέρα από την κοραλλιγενή βιοκοινότητα (C) που μπορεί να αναπτύσσεται στη ζώνη εισόδου των σπηλαίων, διέκρινε δύο ξεχωριστές βιοκοινότητες, αυτή των ημισκοτεινών σπηλαίων (GSO) από όπου απουσιάζουν τα μακροφύκη ενώ επικρατούν οι σπόγγοι και τα ανθόζωα και αυτή των εντελώς σκοτεινών σπηλαίων και σπήραγγων (GO). Ο Pérès επισήμανε ότι η ανακάλυψη τεράστιων ολοσκοτεινών θαλάμων (π.χ. τερματικές σπήραγγες σπηλαίων) με πλούσια ξεχωριστή πανίδα, αποτελούμενη κυρίως από σπόγγους και κνιδόζωα, τον οδήγησε στη θεώρηση μιας διακριτής βιοκοινότητας σε αντίθεση με τους προηγούμενους ερευνητές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο Ballesteros (2006), σε μια συντηρητική πρώτη εκτίμηση της βιοποικιλότητας που φιλοξενούν τα κοραλλιγενή ενδιαιτήματα της Μεσογείου καταμέτρησε 1666 είδη, με κυρίαρχες ομάδες τα μακροφύκη (315 είδη), τους πολύχαιτους (191), τα βρυόζωα (171) και τους σπόγγους (142). Πρόσφατα, οι Bertolino *et al.* (2013) πραγματοποίησαν λεπτομερή απογραφή των σπόγγων των κοραλλιγενών κοινοτήτων της Μεσογείου, καταμετρώντας 273 είδη και αναδεικνύοντας έτσι τους σπόγγους ως την πλουσιότερη ζωική ομάδα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, οι ίδιες ταξινομικές ομάδες παρουσίασαν μεγαλύτερο αριθμό ειδών στη ζώνη εισόδου των Μεσογειακών σπηλαίων (229 μακροφύκη, 137 σπόγγοι, 121 βρυόζωα και 86 πολύχαιτοι) όπου κατά βάση αναπτύσσονται κοραλλιγενείς σχηματισμοί. Οι σπόγγοι, τα βρυόζωα και οι πολύχαιτοι ήταν οι κυριότερες ομάδες και στις 3 οικολογικές ζώνες των σπηλαίων, πιθανότατα εξαιτίας των σκιοφιλων προτιμήσεων μεγάλου αριθμού ειδών αυτών των ομάδων, με τους σπόγγους να βρίσκονται πάντα στην πρώτη θέση. Η ομαδοποίηση με βάση την ποικιλότητα σπόγγων των 3 οικολογικών ζωνών που ορίστηκαν στην παρούσα μελέτη (σε αντιστοιχία με τις παραπάνω κοινότητες ως ένα βαθμό) έδειξε ότι ο παράγοντας της βιογεωγραφικής διαφοροποίησης επιδρά σημαντικότερα στην ομαδοποίηση των κοινοτήτων σε σύγκριση με τις συνθήκες φωτισμού. Επίσης, οι δύο εσωτερικές ζώνες (SD και D) ήταν περισσότερο όμοιες μεταξύ τους παρά με την είσοδο, όπου αναπτύσσονταν κυρίως κοραλλιγενείς κοινότητες. Η έντονη διαφοροποίηση της ζώνης εισόδου των Γαλλικών

ακτών (FC) θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα διαθέσιμα στοιχεία προέρχονται από ένα μόνο σπήλαιο (Niolon), στην είσοδο του οποίου ήταν κυρίαρχα τα μακροφύκη, οι γοργονίες και ελάχιστα είδη σπόγγων (Laborel & Vacelet 1958). Στο Βόρειο Αιγαίο, η ημισκοτεινή ζώνη παρουσίασε μεγαλύτερη ομοιότητα με την είσοδο σε αντίθεση με ότι συνέβαινε στις υπόλοιπες περιοχές. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι οι κοραλλιγενείς βιοκοινότητες της ανατολικής Μεσογείου διαφέρουν από αυτές της βορειοδυτικής λεκάνης, κυρίως ως προς την επικράτηση των σπόγγων και τη μειωμένη παρουσία των οκτωκοραλλίων (Péregès & Picard 1958). Η διαφοροποίηση της σκοτεινής ζώνης του Βόρειου Αιγαίου ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι τα σπήλαια στα οποία μελετήθηκε η συγκεκριμένη ζώνη βρίσκονται στη νοτιανατολική Λέσβο που επηρεάζεται από τα ρεύματα που μεταφέρουν θερμό, φτωχό σε θρεπτικά νερό από τη Λεβαντίνη προς τα βόρεια, κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου (Zervakis *et al.* 2005, Olson *et al.* 2007).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο διαχωρισμός στις 3 οικολογικές ζώνες έγινε με βάση τα στοιχεία για το φωτισμό που ήταν διαθέσιμα στη βιβλιογραφία. Η ένταση του φωτισμού στο εσωτερικό των σπηλαίων παρουσιάζει εποχικές διακυμάνσεις ενώ μπορεί να επηρεάζεται και από τη μικρο-τοπογραφία που συμβάλλει στη χωρική ετερογένεια των βενθικών κοινοτήτων (Harmelin *et al.* 1985). Επίσης, ο ορισμός της «σκοτεινότητας» μπορεί να είναι υποκειμενικός. Έτσι, για παράδειγμα ο Rouliquen (1972) διαχώρισε δύο ζώνες σκοτεινότητας³¹. Εκτός από το φωτισμό, η διαβάθμιση των κοινοτήτων των σπηλαίων επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι οι τροφικές συνθήκες και η ένταση του υδροδυναμισμού (Harmelin *et al.* 1985), για τους οποίους δεν υπήρχαν πάντα στοιχεία στη βιβλιογραφία.

5.4.4. Μοναδικά χαρακτηριστικά της βιοποικιλότητας των σπηλαίων της Μεσογείου

Πέρα από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η σημασία των υποθαλασσίων σπηλαίων για το Μεσογειακό οικοσύστημα φαίνεται και από κάποια μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που αφορούν στη βιοποικιλότητά τους και που για πρώτη φορά παρουσιάζονται συστηματικά στη μελέτη αυτή.

Παρότι κάποιοι ερευνητές διατύπωσαν την άποψη ότι σημαντικό ποσοστό της ποικιλότητας των σπηλαίων προέρχεται από κοραλλιγενή ενδιαιτήματα ή αποτελείται από είδη ευρύοικα, βαθύβια και τυχαία (Vacelet 1964, Zabala & Gili 1985, Balduzzi *et al.* 1989), η βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας μελέτης έφερε στο φως μεγάλο αριθμό ειδών (68) που μέχρι σήμερα δεν έχουν αναφερθεί από άλλο τύπο ενδιαιτήματος και θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως αποκλειστικά των σπηλαίων (στυγόβια). Σε αυτά περιλαμβάνονται 35 είδη Porifera, 23 Crustacea (15 Copepoda, 2 Decapoda, 5 Mysida³² και 1 Thermosbaenacea), 3 Tardigrada και από 1 είδος των ομάδων Priapulida, Gastrotricha, Gastropoda, Bryozoa, Brachiopoda, Chaetognatha και Pisces (Πίνακας 5.3). Μάλιστα, σημαντικό ποσοστό των σπόγγων των τάξεων Lithistida και Homosclerophorida της Μεσογείου (46% και 32%

³¹ Πρόκειται για τη «ζώνη σκοτεινότητας 01», με χαρακτηριστικό είδος το *Petrobiona massiliana*, που αντιστοιχεί σε εκείνο το τμήμα του σπηλαίου όπου αμυδρό φως (λυκόφως) είναι ακόμα αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι και τη «ζώνη σκοτεινότητας 02» στο πιο απομακρυσμένο τμήμα των σπηλαίων όπου επικρατούν συνθήκες απόλυτου σκότους και υδροδυναμικής ηρεμίας.

³² Τα 4 από αυτά είναι κρυπτικά είδη που δεν έχουν περιγραφεί ακόμη (Rastorgueff *et al.* 2014b).

αντίστοιχα) έχει βρεθεί μόνο σε σπήλαια, γεγονός που δείχνει τη σημασία του οικοσυστήματος για αυτές τις τάξεις. Η περιορισμένη γεωγραφική εξάπλωση των περισσότερων στυγών ειδών (η συντριπτική πλειοψηφία έχει βρεθεί σε μικρό αριθμό σπηλαίων – 68% των σπόγγων σε ένα μόνο σπήλαιο) επιβεβαιώνει την άποψη ότι τα σπήλαια λειτουργούν ως «οικολογικά νησιά» που φιλοξενούν απομονωμένους πληθυσμούς (Harmelin *et al.* 1985, Muricy *et al.* 1996b). Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται υπολειμματικά είδη, γνωστά και ως «ζωντανά απολιθώματα», όπως είναι ο σπόγγος *Petrobiona massiliana*, η ανακάλυψη του οποίου οδήγησε στην περιγραφή ενός νέου μονοτυπικού γένους, συγγενικού με τα μέλη της τάξης Pharetronida που ήταν γνωστή μόνο από απολιθώματα του Μεσοζωικού (Vacelet & Lévi 1958). Η ασυνεχής γεωγραφική εξάπλωση του είδους αυτού σε καρστικές ακτές της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου είναι χαρακτηριστική των πληθυσμών κρυπτικών ενδιατημάτων (Manconi *et al.* 2009). Πολλά νέα είδη της τάξης Lithistida που ανακαλύφθηκαν πρόσφατα σε ρηχά σπήλαια της κεντρικής και νοτιοανατολικής Μεσογείου, θεωρούνται παλαιοενδημικά ή υπολειμματικά είδη των υποτροπικών/τροπικών κοινοτήτων που υπήρχαν στη Μεσόγειο κατά τη διάρκεια θερμών περιόδων της γεωλογικής της ιστορίας και κατάφεραν να επιβιώσουν στο εσωτερικό σπηλαίων (Pérez *et al.* 2004, Manconi & Serusi 2008, Manconi *et al.* 2006).

Ωστόσο, ορισμένα είδη που βρέθηκαν και περιγράφηκαν για πρώτη φορά από υποθαλάσσια σπήλαια ίσως έχουν μεταφερθεί σε αυτά από μεγαλύτερα βάθη με τη βοήθεια ανοδικών ρευμάτων (Vacelet *et al.* 1994, Harmelin 1997). Χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή του σαρκοφάγου σπόγγου *Asbestopluma hypogea* που ενώ αρχικά βρέθηκε σε σκοτεινά σπήλαια της Μασσαλίας και θεωρήθηκε ενδημικό Μεσογειακό είδος (Vacelet & Boury-Esnault 1996), πρόσφατα καταγράφηκε εκτός σπηλαίων σε βάθη 100-700 m στη δυτική Μεσόγειο (Aguilar *et al.* 2011) αλλά και σε συνθήκες αυξημένης θολερότητας, σε βάθη 5-50 m³³ των Ατλαντικών ακτών της Γαλλίας και της Ιβηρικής χερσονήσου (Chevaldonné *et al.* 2014).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που συχνά επικρατούν στο σκοτεινό εσωτερικό των σπηλαίων (π.χ. απουσία φωτός, ολιγοτροφικές συνθήκες και σε ορισμένες περιπτώσεις σταθερά χαμηλή θερμοκρασία) προσομοιάζουν με αυτές που επικρατούν σε μεγαλύτερα βάθη (Harmelin *et al.* 1985). Έτσι, πολλά ευρυβαθή και βαθύβια είδη έχουν βρεθεί σε σπήλαια της Μεσογείου, από τις ταξινομικές ομάδες Porifera (Pouliquen 1969, Vacelet 1969, Pouliquen 1972, Vacelet *et al.* 1994, Vacelet & Boury-Esnault 1996), Scleractinia (Zibrowius 1971, 1978), Copepoda (Janssen *et al.* 2013), Decapoda (Laborel & Vacelet 1959, Harmelin *et al.* 2003), Polychaeta (Zibrowius 1968), Sipuncula (Monteiro-Marques 1981), Mollusca (Warén *et al.* 1997), Bryozoa (Harmelin 1997), Brachiopoda (Logan *et al.* 2004) και Pisces (Harmelin *et al.* 2003). Για αυτόν το λόγο τα σπήλαια έχουν χαρακτηριστεί από κάποιους ερευνητές ως «βαθύαλα νησιά» ή «μεσόκοσμοι» της βαθιάς θάλασσας στην παραλιακή ζώνη της Μεσογείου, προσφέροντας τη δυνατότητα άμεσης υποβρύχιας παρατήρησης και επιστημονικής μελέτης των βαθύβιων ειδών εντός των βαθυμετρικών ορίων αυτόνομης κατάδυσης (Vacelet *et al.* 1994, Harmelin & Vacelet 1997).

³³ Το ρηχότερο σημείο όπου έχει βρεθεί το είδος ήταν ένα μικρό υποθαλάσσιο σπήλαιο στο νησί Groix των Ατλαντικών ακτών της Γαλλίας (5-10 m). Πρόκειται για το μικρότερο βάθος όπου έχει ποτέ καταγραφεί σαρκοφάγο είδος σπόγγου. Εκτός σπηλαίων το είδος έχει καταγραφεί στις Ατλαντικές ακτές της Γαλλίας και της Ιβηρικής χερσονήσου σε βάθη 19-50 m.

5.4.5. Αξία και μέτρα προστασίας της βιοποικιλότητας των σπηλαίων της Μεσογείου

Τα υποθαλάσσια σπήλαια αποτελούν χαρακτηριστικό ενδιαίτημα της Μεσογειακής παράκτιας ζώνης λόγω της εκτεταμένης εξάπλωσης καρστικών σχηματισμών (Lewin & Woodward 2009). Ως κοινό γεωλογικό χαρακτηριστικό των ασβεστολιθικών βραχωδών ακτών, τα περισσότερα σπήλαια εντοπίζονται στις βόρειες ακτές της Μεσογείου (Giakoumi *et al.* 2013) οι οποίες δέχονται τις εντονότερες ανθρωπογενείς πιέσεις σε αυτή την ημίκλειστη θάλασσα (Coll *et al.* 2012). Αν και τα υποθαλάσσια σπήλαια προστατεύονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (92/43/EEC), ο αριθμός των σπηλαίων που εμπερικλείονται σε Θαλάσσιες Προστατευόμενες Περιοχές (ΘΠΠ) δεν είναι γνωστός. Σε μία πρόσφατη μελέτη, οι Abdulla *et al.* (2008) εκτίμησαν ότι μόνο το 30% των Μεσογειακών ΘΠΠ για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τα ενδιαίτηματα που εμπεριέκλειαν, συμπεριλαμβάνουν υποθαλάσσια σπήλαια.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φάνηκε ότι τα Μεσογειακά σπήλαια αποτελούν ταμειυτήρες βιοποικιλότητας³⁴ που φιλοξενούν σπάνια είδη, πολλά από τα οποία δεν έχουν ακόμη περιγραφεί, καθώς και είδη με μεγάλο οικολογικό και εξελικτικό ενδιαφέρον. Φάνηκε ακόμη, ότι τα πρότυπα ποικιλότητας και η σύνθεση των κοινοτήτων των σπηλαίων διαφέρουν ανάμεσα στις βιογεωγραφικές περιοχές της Μεσογείου. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την αναγκαιότητα προστασίας σπηλαίων σε κάθε περιοχή ώστε να διασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητα αυτού του ενδιαίτηματος στη Μεσόγειο. Επίσης, καθότι τα υποθαλάσσια σπήλαια αποτελούν oligοτροφικά οικοσυστήματα που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τροφικές εισροές (Harmelin *et al.* 1985, Fichez 1990, 1991, Coma *et al.* 1997) και τη μεταφορά προνυμφών από τις γειτονικές περιοχές (Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b), η διατήρηση της διασύνδεσης με τα παρακείμενα ενδιαίτηματα είναι καθοριστική για την αποτελεσματική διατήρησή τους. Σύμφωνα με τους Roberts *et al.* (2003), η προστασία πολλών μικρών εκτάσεων που περιλαμβάνουν το ίδιο ενδιαίτημα είναι περισσότερο αποτελεσματική για τη βιωσιμότητά του από ότι οι μεμονωμένες μεγάλες εκτάσεις των οποίων η επιβίωση διατρέχει μεγαλύτερο κίνδυνο. Μια τέτοια μορφή προστασίας, λοιπόν, είναι καθοριστικής σημασίας για γεωγραφικά κατακερματισμένα ενδιαίτηματα, όπως τα υποθαλάσσια σπήλαια.

Μεγάλος αριθμός ειδών (201) που έχουν καταγραφεί σε σπήλαια προστατεύονται με βάση τη διεθνή, Ευρωπαϊκή ή εθνική νομοθεσία των Μεσογειακών χωρών (Παράρτημα Γ – Πίνακας Γ2). Η Μεσογειακή φώκια *Monachus monachus* αποτελεί εμβληματικό είδος καθώς κατατάσσεται στα «κρίσιμωσ κινδυνεύοντα» θηλαστικά της Κόκκινης Λίστας απειλούμενων ειδών της IUCN. Η επιβίωση της, κυρίως στην ανατολική Μεσόγειο, συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη σπηλαίων κατάλληλων για ανάπαυση και αναπαραγωγή (Dendrinos *et al.* 2007, Voultziadou *et al.* 2013 και εκεί αναφορές). Τα Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια αποτελούν κύριο ή αποκλειστικό ενδιαίτημα για 4 ενδημικά είδη ψαριών (*Corcyrogobius liechtensteini*, *Didogobius splechnai*, *Gammogobius steinitzi* και *Speleogobius trigloides*) με μικρή γεωγραφική εξάπλωση, που έχουν συμπεριληφθεί στη Κόκκινη Λίστα απειλούμενων ειδών της IUCN (Francour *et al.* 2013a·b·c·d, Herler *et al.* 1999). Το γεγονός αυτό ενισχύει την κρισιμότητα προστασίας του οικοσυστήματος των σπηλαίων για τη διατήρηση των

³⁴ Ο αντίστοιχος επιστημονικός όρος στα αγγλικά αποδίδεται ως “biodiversity reservoir”.

πληθυσμών αυτών των ειδών. Για παράδειγμα, ενώ τα κοραλλιγενή ενδιαιτήματα της Μεσογείου θεωρούνται ως οι σημαντικότεροι πυρήνες της Μεσογειακής θαλάσσιας βιοποικιλότητας μετά τους λειμώνες της *Posidonia oceanica* (Boudouresque 2004), δεν αποτελούν αποκλειστικό ενδιαιτήμα για κανένα απειλούμενο είδος (Ballesteros 2006). Επίσης, τα υποθαλάσσια σπήλαια αποτελούν σημαντικό ενδιαιτήμα για πολλά βενθικά είδη με εμπορική σημασία για τον άνθρωπο όπως είναι το πολύτιμο κόκκινο κοράλλι (*Corallium rubrum*), τα 4 Μεσογειακά είδη εμπορικών σπόγγων (με πιο κοινά τα *Spongia officinalis* και *Hippospongia communis* που έχουν βρεθεί σε 30 και 11 Μεσογειακά σπήλαια αντίστοιχα) και πλήθος σπόγγων, ασκιδίων και ανθόζων που αποτελούν πηγές βιοδραστικών ουσιών (δευτερογενείς μεταβολίτες) (π.χ. Audoin *et al.* 2013).

Τα υποθαλάσσια σπήλαια αποκτούν ιδιαίτερη σημασία και για ένα ακόμη λόγο. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν παρατηρηθεί στη βορειοδυτική (Cerrano *et al.* 2000, Cebrian *et al.* 2011) και στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου (Voultsiadou *et al.* 2011) φαινόμενα ασθενειών και μαζικής θνησιμότητας των εδραίων βενθικών ασπόνδυλων, εξαιτίας της επίδρασης θερμικών ανωμαλιών. Το περιβάλλον των υποθαλάσσιων σπηλαίων θα μπορούσε να παρέχει ως ένα βαθμό φυσική προστασία στους βενθικούς πληθυσμούς που φιλοξενεί, περιορίζοντας τις επιπτώσεις από θερμικές ανωμαλίες, ανθρωπογενείς δράσεις και έκθεση σε παθογόνους μικροοργανισμούς και ρυπαντές, σε σχέση με εκτεθειμένες περιοχές, όπως έχει αποδειχθεί για πληθυσμούς του κόκκινου κοραλλίου στη νότια Γαλλία (Garrabou *et al.* 2001). Μάλιστα, σε ορισμένες περιοχές οι πληθυσμοί εμπορικών σπόγγων των σπηλαίων θα μπορούσαν να αποτελέσουν δυνητική πηγή αναγέννησης των πληθυσμών των γειτονικών περιοχών. Τον ίδιο ρόλο έχει προταθεί ότι μπορεί να έχουν και οι πληθυσμοί των ειδών αυτών που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη, οι οποίοι μπορούν να αποτελέσουν πηγή αναγέννησης των πληθυσμών στα μικρά βάθη που δέχονται μεγάλη φυσική και αλιευτική πίεση (Dailianis *et al.* 2011). Πειράματα καλλιέργειας εμπορικών ειδών σπόγγων στο εσωτερικό σπηλαίων έδειξαν ότι οι σπόγγοι στο περιβάλλον αυτό παρουσίασαν μικρή θνησιμότητα καθώς ήταν προστατευμένοι από την ιζηματοπόθεση και το δυνατό φωτισμό, αν και ο ρυθμός ανάπτυξής τους ήταν χαμηλός εξαιτίας της μειωμένης ή μη σταθερής κυκλοφορίας του νερού (Verdenal & Vacelet 1985).

Επίσης, τα υποθαλάσσια σπήλαια μπορούν να αποτελέσουν καταφύγιο ή τόπο αναπαραγωγής και ανάπτυξης των προνυμφικών σταδίων για πολλά είδη με δυνατότητα μετακίνησης που έχουν εμπορική αξία, όπως είναι το καλαμάρι *Loligo vulgaris* (Starmühlner 1968, Bianchi & Morri 1994), τα δεκάποδα *Palinurus elephas* και *Scyllarides latus* (Laborel & Vacelet 1959, Ledoyer 1965, Gili & Macpherson 1987, παρούσα μελέτη) και πολλά είδη ψαριών (π.χ. *Diplodus sargus*, *D. vulgaris*, *Epinephelus marginatus*, Mugilidae, *Mullus surmuletus*, *Oblada melanura*, *Sciaena umbra*), ιδίως κατά τη διάρκεια ψυχρών εποχών (Bussotti *et al.* 2002, Bussotti & Guidetti 2009).

Η παρουσία σπηλαίων στην παράκτια ζώνη θεωρείται ότι συμβάλει στην αύξηση της πολυπλοκότητας και της διαθεσιμότητας σκληρού υποστρώματος ανά μονάδα μήκους της ακτογραμμής, ευνοώντας έτσι την παρουσία ενδιαιτημάτων με ιδιαίτερες αβιοτικές συνθήκες και παρέχοντας στα ψάρια επιπρόσθετους πόρους από πλευράς τροφής και καταφυγίου απέναντι στους θηρευτές (Bussotti & Guidetti 2009).

Πέρα, όμως, από την ιδιαίτερη βιολογική αξία τους, τα υποθαλάσσια σπήλαια παρουσιάζουν παλαιοντολογικό³⁵ (Συμεωνίδης κ.α. 2000), αρχαιολογικό³⁶ (Collina-Girard 2004) και παλαιοκλιματολογικό³⁷ ενδιαφέρον (Antonioli *et al.* 2001).

Τέλος, εξαιτίας της γεωμορφολογίας, του βιολογικού πλούτου και της μεγάλης αισθητικής αξίας, τα σπήλαια συχνά αποτελούν πόλους ανάπτυξης καταδυτικού τουρισμού και συνεπώς δυνητικές πηγές εισοδήματος για παράκτιες περιοχές (Gerovassileiou *et al.* 2009). Αν και ο καταδυτικός τουρισμός γενικά αποτελεί φιλική προς το περιβάλλον δραστηριότητα, όταν πραγματοποιείται ανεξέλεγκτα θα μπορούσε να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στις κοινότητες των σπηλαίων. Σε αυτές περιλαμβάνονται (α) η μηχανική καταστροφή εύθραυστων ειδών που παρουσιάζουν βραδείς ρυθμούς ανάπτυξης (π.χ. *Corallium rubrum*, *Adeonella* spp., *Myriapora truncata*, *Reteporella* spp., *Smittina* spp.), εξαιτίας της επαφής των αυτοδυτών με το υπόστρωμα (Lloret *et al.* 2006, Di Franco *et al.* 2009, Guarnieri *et al.* 2012), (β) η πιθανή επίπτωση της επαναιώρησης του ιζήματος από τους αυτοδύτες για τους ευαίσθητους διηθηματοφάγους οργανισμούς (Di Franco *et al.* 2010) και (γ) η συσσώρευση των φυσαλίδων του αέρα εκπνοής των αυτοδυτών στην οροφή, η οποία συχνά φιλοξενεί πλούσιες βενθικές κοινότητες (Milazzo *et al.* 2002). Ωστόσο, προς το παρόν φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες επιπτώσεις οφείλονται στην επαφή με το υπόστρωμα (Guarnieri *et al.* 2012), ενώ δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία που να δείχνουν σημαντικές επιπτώσεις από τις δύο τελευταίες περιπτώσεις (Di Franco *et al.* 2010, UNEP-MAP-RAC/SPA 2013). Για την αντιμετώπιση των πιθανών επιπτώσεων από την καταδυτική δραστηριότητα έχουν προταθεί μέτρα όπως η επιβολή ορίων σχετικά με το μέγιστο αριθμό αυτοδυτών / καταδύσεων σε κάθε σπήλαιο/περιοχή, η κατάλληλη ενημέρωση σχετικά με την καταδυτική συμπεριφορά πριν από κάθε κατάδυση και η περιβαλλοντική ενημέρωση της καταδυτικής κοινότητας (Gerovassileiou *et al.* 2009, Giakoumi *et al.* 2013 και εκεί αναφορές).

Σύμφωνα με τους Giakoumi *et al.* (2013), ως μέγιστο χωρικό επίπεδο για τον προσδιορισμό περιοχών προτεραιότητας με στόχο την αποτελεσματική διατήρηση της βιοποικιλότητας (οικοσυστημάτων, ειδών και γονιδίων) έχει προταθεί αυτό της «οικοπεριοχής» (ecoregion), έτσι όπως ορίζεται από τους Spalding *et al.* (2007). Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προτείνεται η υποδιαίρεση των οικοπεριοχών σε μικρότερες

³⁵ Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υποθαλάσσιο «Σπήλαιο των Ελεφάντων» στο Βάμο Χανίων όπου βρέθηκαν απολιθωμένα οστά του άγνωστου μέχρι τότε είδους ελέφαντα *Elephas chaniensis* που έζησε στην Κρήτη στη διάρκεια του Ανώτερου Πλειστόκαινου καθώς και οστά ελαφιών *Candiacervus* sp. (Συμεωνίδης κ.α. 2000).

³⁶ Χαρακτηριστικό παράδειγμα, μοναδικό στον κόσμο, αποτελεί το υποθαλάσσιο σπήλαιο Cosquer στις ακτές της Γαλλίας που εμπερικλείει εσωτερικούς θύλακες αέρα όπου έχουν βρεθεί 500 τοιχογραφίες παλαιολιθικής τέχνης (Collina-Girard 2004).

³⁷ Στο σκοτεινό εσωτερικό υποθαλάσσιων σπηλαίων του Ιονίου και της Τυρρηνικής Θάλασσας έχουν ανακαλυφθεί βιογενείς «ψευδο-σταλακτίτες» από ασβεστιτικούς σωλήνες πολύχαιτων της οικογένειας Serpulidae, ηλικίας έως 5000 ετών (Antonioli *et al.* 2001, Belmonte *et al.* 2009). Η ραδιοχρονολόγηση του άνθρακα του ασβεστίτη των σωλήνων Serpulidae που έχουν βρεθεί σε σπήλαια έχει συμβάλει στη μελέτη της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο τα τελευταία 10.000 χρόνια, κατά τρόπο αντίστοιχο όπως και οι ασβεστιτικές αποθέσεις των κοραλλιογενών υφάλων των τροπικών θαλασσών (Antonioli *et al.* 2001).

βιογεωγραφικές περιοχές και η προστασία τουλάχιστον του 40%³⁸ των σπηλαίων σε κάθε βιογεωγραφική περιοχή για τη διασφάλιση της αντιπροσωπευτικότητας της βιοποικιλότητας των Μεσογειακών υποθαλάσσιων σπηλαίων.

Επιπλέον, για τη διασφάλιση της ετερογένειας που σχετίζεται με την τοπογραφία, προτείνεται η εκπροσώπηση όλων των μορφολογικών τύπων σπηλαίων σε κάθε περιοχή. Επίσης, θα πρέπει να συνεκτιμηθούν παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με τη διασύνδεση των ενδιαιτημάτων (π.χ. ύπαρξη πολλών σπηλαίων κατά μήκος της ακτογραμμής), την εισροή θρεπτικών, οργανικής ύλης και προνυμφών από παρακείμενες περιοχές και ενδιαιτήματα (π.χ. ύπαρξη λειμώνων φανερόγαμων, κοραλλιγενών κοινοτήτων, εκβολών, ανοδικών θαλάσσιων ρευμάτων ή πηγών γλυκού νερού σε μικρή απόσταση) και τη γεωγραφική απομόνωση που μπορεί να ευνοεί την ύπαρξη απομονωμένων πληθυσμών (π.χ. νησιωτικές περιοχές). Τέλος, προτείνεται να δοθεί προτεραιότητα στην επιλογή των σπηλαίων με βάση τα κριτήρια:

- Ιδιαίτεροι τύποι σπηλαίων που θα μπορούσαν να φιλοξενούν μοναδικές κοινότητες (π.χ. σπήλαια αγχίαλα, με υδροθερμικές πηγές, με καθοδική ή κάθετη κλίση)
- Αποδεδειγμένη παρουσία αποκλειστικών (στυγόβιων), υπολειμματικών, σπάνιων (με περιορισμένη γεωγραφική εξάπλωση) και κρίσιμω κινδυνευόντων ειδών
- Ύπαρξη μεγάλου αριθμού προστατευόμενων ειδών
- Παρουσία εδραίων ειδών με εμπορική αξία (π.χ. *Corallium rubrum*, *Spongia officinalis*) και ειδών που αποτελούν αποδεδειγμένες ή δυνητικές πηγές βιοδραστικών ουσιών
- Οικολογική κατάσταση κοινοτήτων σπηλαίων (π.χ. μεγάλη λειτουργική / μορφολογική ποικιλότητα ή τρισδιάστατη δομική πολυπλοκότητα, ύπαρξη ευαίσθητων ειδών).

Ωστόσο, για την εκτίμηση των παραπάνω κριτηρίων απαιτούνται επιστημονικά δεδομένα τα οποία δεν είναι διαθέσιμα για όλες τις περιοχές. Επίσης, ενώ σε ορισμένα σπήλαια της δυτικής Μεσογείου υπάρχουν ενδείξεις μεταβολών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της θάλασσας (Chevaldonné & Lejeune 2003, Parravicini *et al.* 2010) μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί μόνο ένας δείκτης για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του οικοσυστήματος των σπηλαίων (Rastorgueff *et al.* 2014a). Ωστόσο, ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε πρόσφατα και δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα σε σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου. Τέλος, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη μελέτη της παρουσίας των αλλόχθονων ειδών, τα οποία αποτελούν απειλή για τη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων, ιδίως στις νοτιοανατολικές περιοχές της Μεσογείου.

³⁸ Σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ (ETC/BD 2010) για την αξιολόγηση των προτεινόμενων Περιοχών Κοινοτικού Ενδιαφέροντος (Sites of Community Importance – SCIs) του δικτύου Natura 2000 για θαλάσσια ενδιαιτήματα και είδη «όταν υπάρχουν διαθέσιμα ποσοτικά δεδομένα για την εξάπλωση των ενδιαιτημάτων, προτείνεται ως επαρκές επίπεδο προστασίας το >60% της κάλυψης των οικοτόπων προτεραιότητας (π.χ. λειμώνες *Posidonia oceanica*) και 20-60% για τους υπόλοιπους τύπους ενδιαιτημάτων που δεν αποτελούν οικότοπους προτεραιότητας». Παρόλο που τα υποθαλάσσια σπήλαια δεν αποτελούν οικότοπους προτεραιότητας με βάση την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, εντούτοις αναγνωρίζονται ως τέτοιοι από τη Σύμβαση της Βαρκελώνης (UNEP-MAP-RAC/SPA 2008 και 2013).

5.4.6. Αλλόχθονη βιοποικιλότητα στα υποθαλάσσια σπήλαια

Τα περισσότερα αλλόχθονα είδη (43) που έχουν καταγραφεί σε Μεσογειακά σπήλαια έχουν βρεθεί σε μία μόνο βιογεωγραφική περιοχή ενώ ελάχιστα παρουσίασαν ευρεία εξάπλωση. Το γεγονός αυτό πιθανώς σχετίζεται με την ερευνητική προσπάθεια αλλά και με το γεωγραφικό κατακερματισμό των σπηλαίων. Η μεγαλύτερος αριθμός αλλόχθονων ειδών σε σπήλαια των ακτών της Λεβαντίνης (37) και του Ιονίου (11) μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι αυτές οι περιοχές αποτελούν τις κύριες οδούς διασποράς των Λεσσειψιανών μεταναστών προς τη δυτική λεκάνη της Μεσογείου (Nunes *et al.* 2014). Ο μικρός αριθμός αλλόχθονων ειδών σε σπήλαια της Αδριατικής ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα σπήλαια της περιοχής ανήκουν σε τύπους σπηλαίων με ψυχρές μάζες νερού, όπως είναι τα αγχίαλα, οι πηγές γλυκού νερού που εκβάλλουν στη θάλασσα και τα κατακόρυφα πηγάδια (Suric *et al.* 2010). Τα χωρικά πρότυπα του αριθμού, της βιογεωγραφικής προέλευσης και των τρόπων εισόδου των αλλόχθονων ειδών στα σπήλαια βρέθηκαν αντίστοιχα με αυτά που ισχύουν για το σύνολο της Μεσογειακής αλλόχθονης βιοποικιλότητας (Zenetos *et al.* 2010, 2012), με μόνη εξαίρεση την Αδριατική.

Τα περισσότερα αλλόχθονα είδη έχουν βρεθεί στην είσοδο (25) και στο ημισκοτεινό τμήμα (43) υποθαλάσσιων σπηλαίων που δέχονται πιο έντονο υδροδυναμισμό (Riedl 1966). Ο μικρός αριθμός ειδών που έχει βρεθεί στο σκοτεινό τμήμα σπηλαίων (12) θα μπορούσε να αποδοθεί στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο συγκεκριμένο περιβάλλον, όπως είναι τα ολιγοτροφικά νερά και ο μεγάλος βαθμός αποκλεισμού (Harmelin *et al.* 1985, Bianchi & Morri 1994). Η διασπορά των προνυμφών στο εσωτερικό των σπηλαίων εξαρτάται από την κυκλοφορία του νερού αλλά έπειτα ποικίλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν την επιβίωσή τους, αποκλείοντας έτσι πολλά είδη (Benedetti-Cecchi *et al.* 1996b, Harmelin 1997, Denitto *et al.* 2007). Φαίνεται ότι οι ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στα σπήλαια παρέχουν, ως ένα βαθμό, φυσική προστασία από την εγκατάσταση ευκαιριακών αλλόχθονων ειδών. Αντίστοιχα, έχει προταθεί για τα χερσαία σπήλαια ότι η μικρή παραγωγικότητα που τα χαρακτηρίζει λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας για την εξάπλωση αλλόχθονων ειδών (Reeves 1999).

Από την άλλη πλευρά, στο εσωτερικό ορισμένων υποθαλάσσιων σπηλαίων υπάρχουν πηγές ψυχρού γλυκού νερού ή υδροθερμικές αναβλύσεις που συμβάλουν στην αύξηση της πολυπλοκότητας του οικοσυστήματος μέσα από τη δημιουργία περιβαλλοντικών διαβαθμίσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αγχίαλα σπήλαια που φιλοξενούν ιδιαίτερες κοινότητες (Iliffe & Kornicker 2009) καθώς και το σπήλαιο Grotta Azzurra στην Τυρρηνική Θάλασσα που φιλοξενεί ένα μοναδικό χημειοσυνθετικό οικοσύστημα (Southward *et al.* 1996). Είναι αξιοσημείωτο, ότι τα αλλόχθονα είδη *Ficopomatus enigmaticus*, *Brachidontes pharaonis*, *Pempheris vanicolensis* και *Teredo navalis* έχουν βρεθεί σε αγχίαλα σπήλαια με εισροές γλυκού νερού (το τελευταίο μάλιστα βρέθηκε σε σπήλαιο που δε διαθέτει άμεση σύνδεση με την ανοιχτή θάλασσα) ενώ οι πολύχαιτοι *Capitellethus dispar* και *Notomastus aberans* βρέθηκαν στο ίζημα του ημισκοτεινού και σκοτεινού τμήματος του σπηλαίου Grotta Azzurra (Πίνακας Γ1 και εκεί αναφορές). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει τη μεγάλη δυνατότητα προσαρμογής ορισμένων αλλόχθονων ειδών σε εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών (Cukrov *et al.* 2010).

Η αλλόχθονη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου πιθανότατα είναι μεγαλύτερη από όσο γνωρίζουμε. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από τις δυσκολίες που ενέχει η ταυτοποίηση ορισμένων ταξινομικών ομάδων και έτσι ορισμένοι ερευνητές έχουν προτείνει ότι μέρος του απροσδιόριστου βιολογικού υλικού που έχουν συλλέξει από σπήλαια ενδεχομένως να είναι αλλόχθονης προέλευσης (π.χ. Rosso *et al.* 2013). Πολλά αλλόχθονα είδη μπορεί να μην είχαν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα λόγω του μικρού σωματικού μεγέθους τους (Denitto *et al.* 2010). Επίσης, τα περισσότερα αλλόχθονα είδη που καταγράφηκαν σε σπήλαια (78,6%) έχουν βρεθεί σε σκληρά υποστρώματα. Παρόλο που ελάχιστες έρευνες έχουν μελετήσει τις κοινότητες κινητού υποστρώματος των Μεσογειακών σπηλαίων (π.χ. Bianchi & Morri 2003, Akoumianaki & Hughes 2004, Navarro-Barranco *et al.* 2012), εντούτοις 11 αλλόχθονα είδη έχουν βρεθεί σε αυτές.

Επιπλέον, η πανίδα της νοτιοανατολικής Μεσογειακής λεκάνης, που είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε βιολογικές εισβολές μέσω της Λεσσεψιανής μετανάστευσης (Nunes *et al.* 2014) παραμένει σε μεγάλο βαθμό άγνωστη σε ότι αφορά τα σκιοφιλα εδραία είδη. Πολλά αλλόχθονα εδραία είδη που εισήλθαν στη Μεσόγειο διαμέσου της ναυσιπλοΐας, εγκαταστάθηκαν αρχικά σε τεχνητές επιφάνειες και στη συνέχεια ανέπτυξαν πληθυσμούς σε φυσικά υποστρώματα σε ρηχές και βαθύτερες περιοχές (Gewing *et al.* 2014). Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πολλά ημιβυθισμένα σπήλαια της Μεσογείου δέχονται συχνές επισκέψεις από τουριστικά σκάφη και σκάφη αναψυχής τα οποία θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μεταφορά αλλόχθονων ειδών από λιμάνια. Ένα τέτοιο παράδειγμα πιθανότατα αποτελεί το σπήλαιο Grotta Azzurra, όπου έχουν βρεθεί αλλόχθονα είδη (Akoumianaki & Hughes 2004) και το οποίο επισκέπτονται πολλά τουριστικά σκάφη από το γειτονικό λιμάνι Palinuro, όπου έχει καταγραφεί η παρουσία αλλόχθονων ειδών (Gambi *et al.* 2008).

Πρόσφατες έρευνες σε ρηχά ημισκοτεινά σπήλαια και τούνελ του Λιβάνου έφεραν στο φως πολλά νέα, ενδημικά και αλλόχθονα είδη (Harmelin *et al.* 2007, Morri *et al.* 2009, Crocetta *et al.* 2013a-b). Η μελέτη των βρυοζώων της περιοχής φανέρωσε μεγάλη εκπροσώπηση ειδών από γένη τυπικά των τροπικών και υπο-τροπικών περιοχών, που εν μέρει αποδίδεται στην παρουσία αλλόχθονων ειδών (Harmelin *et al.* 2009, 2011). Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα ζωογεωγραφικών μελετών για εδραία ασπόνδυλα σκληρού υποστρώματος, όπως τα υδρόζωα (Boero & Bouillon 1993) και οι σπόγγοι (ενότητα 5.3.2. της παρούσας μελέτης), οι οποίες έδειξαν ότι το ποσοστό των θερμόφιλων ειδών αυξάνεται από τη βορειοδυτική προς την νοτιοανατολική λεκάνη της Μεσογείου. Ταξινομικές δυσκολίες στον προσδιορισμό ορισμένων ομάδων (π.χ. Foraminifera, Porifera, Hydrozoa, Bryozoa) ενδεχομένως οδηγούν σε υποεκτίμηση της βιοποικιλότητας των περιοχών αυτών, καθώς αποτελούν εμπόδιο για τον εντοπισμό ενδημικών και αλλόχθονων ειδών. Η απουσία σπόγγων από τη λίστα αλλόχθονων ειδών των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Λεβαντίνης είναι αξιοπρόσεκτη, δεδομένου ότι οι σπόγγοι αποτελούν την κυρίαρχη ομάδα σε αυτό το οικοσύστημα. Ωστόσο, όπως επισημάνθηκε σε προηγούμενη ενότητα, σε σπήλαια της Λεβαντίνης έχουν καταγραφεί θερμόφιλα, παλαιοενδημικά είδη σπόγγων (Pérez *et al.* 2004). Τα παραπάνω στοιχεία συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι ο πραγματικός αριθμός αλλόχθονων ειδών στα Μεσογειακά σπήλαια είναι μεγαλύτερος από αυτόν που γνωρίζουμε.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, αλλόχθονα είδη έχουν βρεθεί τουλάχιστον σε 11 σπήλαια των νοτιοανατολικών ακτών της Λεβαντίνης, δηλαδή στο 80% των καταμετρημένων σπηλαίων

της περιοχής (Giakoumi *et al.* 2013). Σε μια πρόσφατη συγκριτική μελέτη ιστορικών και σύγχρονων στοιχείων σχετικά με τα μαλάκια της περιοχής, συμπεριλαμβανομένων των ειδών που έχουν βρεθεί σε σπήλαια, βρέθηκε ότι ορισμένα δίθυρα που υπήρχαν στην περιοχή και λειτουργούσαν ως «μηχανικοί οικοσυστήματος», είναι πλέον σπάνια ή έχουν αντικατασταθεί από τα αλλόχθονα *Brachidontes pharaonis*, *Spondylus spinosus* και *Chama pacifica* (Crocetta *et al.* 2013a). Στο παρελθόν έχουν σημειωθεί και άλλες περιπτώσεις ανταγωνιστικού αποκλεισμού των πληθυσμών Μεσογειακών ειδών από βιολογικούς εισβολείς σε περιοχές του Αιγαίου και της Λεβαντίνης (Voultsiadou *et al.* 2013 και εκεί αναφορές).

Η απότομη μείωση του φωτισμού προς το εσωτερικό των υποθαλάσσιων σπηλαίων αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την εξάπλωση μακροφυκών. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί 5 είδη αλλόχθονων μακροφυκών σε εισόδους σπηλαίων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται είδη που έχουν καταγραφεί στην κοραλλιγενή βιοκοινότητα, όπως είναι τα *Womersleyella setacea*, *Acrothamnion preissii* και *Caulerpa cylindracea*, από τα οποία το πρώτο θεωρείται το πιο επιβλαβές για αυτά τα ενδιαίτηματα (Ballesteros 2006). Σύμφωνα με τους Alongi *et al.* (2012) που μελέτησαν την ποικιλότητα μακροφυκών σε σπήλαια των νήσων Σικελία, Σαρδηνία και Λαμπεντούζα, η παρουσία των αλλόχθονων ειδών *Acrothamnion preissii*, *Asparagopsis armata* και *Caulerpa cylindracea* στις εισόδους των σπηλαίων δεν φάνηκε να επηρεάζει την αυτόχθονη χλωρίδα. Από υποβρύχιες παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνεται ότι το χλωροφύκος *C. cylindracea*, που συχνά αναπτύσσεται σε κοραλλιγενείς κοινότητες της περιοχής μελέτης (Gerovasileiou *et al.* 2009) εξαφανίζεται κοντά στην είσοδο των σπηλαίων εξαιτίας της απότομης μείωσης του φωτισμού. Σε ότι αφορά την ιχθυοπανίδα των υποθαλάσσιων σπηλαίων, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν ενδείξεις ανταγωνισμού ανάμεσα σε Μεσογειακά (π.χ. *Arogon imberbis*) και αλλόχθονα είδη (Otero *et al.* 2013). Ωστόσο, πέρα από τα 3 αλλόχθονα είδη ψαριών που έχουν καταγραφεί σε σπήλαια, τα είδη *Arogonichthyoides pharaonis*, *Diodon hystrix*, *Priacanthus sagittarius* και *Synanceia verrucosa* που έχουν εισέλθει στη νοτιοανατολική Μεσόγειο βρίσκουν καταφύγιο σε σπήλαια και κοιλότητες κοραλλιογενών υφάλων στις περιοχές προέλευσής τους (Golani *et al.* 2002, Froese & Pauly 2014). Προς το παρόν δεν υπάρχουν στοιχεία παρουσίας αυτών των ειδών σε Μεσογειακά σπήλαια αλλά δεδομένων των οικολογικών τους συνηθειών αποτελούν δυνητικούς κατοίκους σπηλαίων της περιοχής. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που πιθανώς σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή και έχει βρεθεί να επηρεάζει αρνητικά τις βιοκοινότητες των σπηλαίων της βορειοδυτικής Μεσογείου (Chevaldonné & Lejeune 2003, Parravicini *et al.* 2010) θα μπορούσε να ευνοήσει την εγκατάσταση θερμόφιλων αλλόχθονων ειδών ψαριών στο μέλλον.

Επίσης, πρόσφατες αναφορές των αλλόχθονων ψαριών *Sargocentron rubrum* και *Pempheris vanicolensis* στην Κυρηναϊκή χερσόνησο της Λιβύης (Bazairi *et al.* 2013) και στο νοτιοανατολικό Αιγαίο (Bilecenoglu 2010), περιοχές που φιλοξενούν πολυάριθμα σπήλαια, υποδεικνύουν ότι η διεύρυνση της κατανομής τους πιθανώς σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα κατάλληλων ενδιαιτημάτων. Τα δύο αυτά είδη καθώς και τα *Arogonichthyoides pharaonis* και *Diodon hystrix* είναι νυκτόβια, βρίσκουν καταφύγιο κατά τη διάρκεια της ημέρας σε μικρές σπηλιές και εξέρχονται τη νύχτα για να τραφούν (Froese & Pauly 2014). Αυτές οι οριζόντιες μετακινήσεις, ιδίως για τα είδη που σχηματίζουν μεγάλα κοπάδια (π.χ. *Pempheris vanicolensis*), θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις βιοκοινότητες των σπηλαίων αυξάνοντας τις

εισροές οργανικής ύλης στα φυσικώς ολιγοτροφικά αυτά οικοσύστημα (Otero *et al.* 2013). Αντίστοιχες μετακινήσεις από ενδημικά μυσιδώδη που σχηματίζουν σμήνη επηρεάζουν σημαντικά τη ροή ενέργειας από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό των Μεσογειακών σπηλαίων (Coma *et al.* 1997).

Από τα αλλόχθονα είδη που έχουν καταγραφεί σε Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια, πολλά (34%) θεωρούνται ότι έχουν σημαντική επίπτωση στη βιοποικιλότητα της Μεσογείου (EASIN 2014). Επιπλέον, 16 είδη περιλαμβάνονται στους χειρότερους βιολογικούς εισβολείς της Μεσογείου (Streftaris & Zenetos 2006) και 13 στα αλλόχθονα με τις χειρότερες επιπτώσεις σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (Katsanevakis *et al.* 2014b). Τα υπόλοιπα είδη έχουν μικρές ή άγνωστες επιπτώσεις στο Μεσογειακό οικοσύστημα (EASIN 2014). Μέχρι σήμερα, πάντως, δεν υπάρχουν ενδείξεις για αρνητικές επιπτώσεις, τουλάχιστον σε σπήλαια της βόρειας και δυτικής Μεσογείου. Παρόλα αυτά, ο μεγάλος αριθμός αλλόχθονων ειδών σε σπήλαια της νοτιοανατολικής λεκάνης θα μπορούσε να αποτελέσει δυνητική απειλή.

Δεδομένης της έλλειψης στοιχείων που απεικονίζουν την κατάσταση του οικοσυστήματος των σπηλαίων της νοτιοανατολικής Μεσογείου στο παρελθόν, είναι δύσκολο να γίνει εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων. Ποσοτικές μελέτες σε σπήλαια τα οποία φιλοξενούν αλλόχθονα είδη και σύγκριση με παλαιότερα στοιχεία, όπως γκρίζα βιβλιογραφία και φωτογραφικό ή βιντεοσκοπημένο υλικό (Bianchi *et al.* 2014) ή με σπήλαια από γειτονικές περιοχές (π.χ. Κύπρος, νότιες ακτές Τουρκίας, Νότιο Αιγαίο, Λιβύη) είναι απαραίτητες για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων και τη θέσπιση κριτηρίων προστασίας.

5.4.7. Επιστημονικά κενά και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Οι βιοκοινότητες των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου έχουν μελετηθεί περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη, πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι σε αυτή την περιοχή έλαβαν χώρα οι πρώτες υποβρύχιες επιστημονικές έρευνες με χρήση αυτόνομης καταδυτικής συσκευής (π.χ. Drach 1948). Επιπλέον, τα σπήλαια αποτελούν χαρακτηριστικό ενδιαίτημα της Μεσογειακής παράκτιας ζώνης, λόγω της εκτεταμένης εξάπλωσης καρστικών συστημάτων (Lewin & Woodward 2009).

Ωστόσο, από τη μελέτη και αξιολόγηση της βιβλιογραφίας που συγκεντρώθηκε, διαπιστώθηκαν αρκετές ελλείψεις και προβλήματα σε ότι αφορά τα διαθέσιμα δεδομένα βιοποικιλότητας των Μεσογειακών σπηλαίων, όπως:

- έλλειψη χωρικών (συντεταγμένες) και οικολογικών πληροφοριών (π.χ. βάθος, τμήμα σπηλαίου),
- σπήλαια με το ίδιο τοπωνύμιο (π.χ. Grotta Azzurra) ή περιοχές με πολλαπλά σπήλαια,
- έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τον τύπο του σπηλαίου,
- ταξινομικές ασυνέπειες (π.χ. συνωνυμίες και πιθανοί λανθασμένοι προσδιορισμοί),
- έλλειψη ή περιορισμένα δεδομένα για κάποιες ταξινομικές ομάδες, κοινότητες, τύπους σπηλαίων και περιοχές.

Τα προβλήματα αυτά θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ως ένα βαθμό με τη μελλοντική ανάπτυξη δομών πληροφορικής για τη βιοποικιλότητα³⁹ (π.χ. LifeWatch) οι οποίες υποστηρίζουν τη δυνατότητα δημοσίευσης δεδομένων βιοποικιλότητας (π.χ. ταξινομικά επικαιροποιημένες λίστες ειδών που συνοδεύονται από σχετικά μετα-δεδομένα και γεωγραφικές συντεταγμένες). Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη σχετικών δεδομένων, προτείνεται η μελλοντική έρευνα για τη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων να επικεντρωθεί στις νότιες και ανατολικές περιοχές της Μεσογείου (π.χ. ακτές Θάλασσας του Αλμποράν, βόρειας Αφρικής, Αιγαίου και Λεβαντίνης), σε ανεπαρκώς μελετημένες ταξινομικές ομάδες, κοινότητες και σχηματισμούς (π.χ. μειοπανιδικοί οργανισμοί, μικροβιακοί τάπητες, κοινότητες κινητού υποστρώματος και βιογενείς αποθέσεις), σε βαθιά σπήλαια (>30 m) και σε ιδιαίτερους τύπους σπηλαίων (π.χ. αγχίαλα και σπήλαια με υδροθερμικές πηγές). Η χρήση σύγχρονων τεχνικών στην ταξινόμηση των ειδών (π.χ. χρήση μοριακών δεικτών) θα μπορούσε να συμβάλει στην περιγραφή των νέων ειδών που ανακαλύπτονται και στη διάκριση συγγενικών και κρυπτικών ειδών με παρόμοιο μορφότυπο⁴⁰. Τέλος, αντίστοιχες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις για άλλους τύπους Μεσογειακών ενδιατημάτων θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην ανάδειξη πιθανών χωρικών προτύπων κατανομής της βιοποικιλότητας, κενών στην επιστημονική γνώση, κατευθύνσεων για μελλοντική έρευνα και προτεραιοτήτων αποτελεσματικής προστασίας.

5.5. Κύρια συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανασκόπηση και αποτίμηση της βιοποικιλότητας των υποθαλάσσιων σπηλαίων σε επίπεδο Μεσογείου, μπορούμε να πούμε ότι τα Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια:

- Αποτελούν ταμειυτήρες βιοποικιλότητας καθώς φιλοξενούν μεγάλο πλούτο ειδών και σημαντικό ποσοστό της Μεσογειακής ποικιλότητας για πολλές ταξινομικές ομάδες. Η μεγάλη αντιπροσωπευτικότητα της Μεσογειακής πανίδας σπόγγων στα σπήλαια σε συνδυασμό με την κυριαρχία τους στο εσωτερικό τους από πλευράς αριθμού ειδών καταδεικνύουν την καταλληλότητα χρήσης των σπόγγων ως υποκαταστατών για τη μελέτη των σπηλαίων.
- Αποτελούν ιδιαίτερα οικοσυστήματα με μεγάλη αξία διατήρησης καθώς φιλοξενούν είδη αποκλειστικά (στυγόβια), σπάνια, υπολειμματικά, βαθύβια, προστατευόμενα και εμπορικά.
- Αποτελούν ένα γεωγραφικά κατακερματισμένο ενδιαίτημα και πιθανώς εξαιτίας αυτού οι βιοκοινότητές τους διαφέρουν ανάμεσα στις βιογεωγραφικές περιοχές της Μεσογείου. Αυτή η γεωγραφική διαφοροποίηση, σε συνδυασμό με την αυξημένη χωρική ετερογένεια λόγω των μοναδικών τοπογραφικών χαρακτηριστικών κάθε

³⁹ Ο αντίστοιχος όρος στα αγγλικά αποδίδεται ως “biodiversity informatics infrastructures”.

⁴⁰ Χαρακτηριστικές περιπτώσεις περιγραφής νέων ειδών από υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου με χρήση μοριακών και κυττολογικών μεθόδων αποτελούν αυτές των σπόγγων *Thymosiopsis cuticulatus*, *Myceliospongia araneosa*, που δε διαθέτουν σκελετό, και η διάκριση νέων ειδών του γένους *Oscarella* (Muricy *et al.* 1996a, Vishnyakov & Ereskovsky 2009, Pérez *et al.* 2011).

σπηλαίου που συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 4, δείχνει την αναγκαιότητα προστασίας διαφορετικών μορφολογικών τύπων σπηλαίων σε κάθε βιογεωγραφική περιοχή.

- Εκτός από τη μεγάλη βιολογική τους σημασία ως ταμειυτήρες βιοποικιλότητας, τα υποθαλάσσια σπήλαια παρουσιάζουν και οικονομικό ενδιαφέρον (π.χ. εμπορικά είδη και καταδυτικός / θαλάσσιος τουρισμός) που αξίζει να διερευνηθεί.
- Μπορούν να αποτελέσουν καταφύγιο για ευαίσθητα είδη παρέχοντας, ως ένα βαθμό, φυσική προστασία απέναντι σε ανθρωπογενείς πιέσεις και βιολογικές εισβολές.
- Η παρουσία αρκετών αλλόχθονων ειδών σε σπήλαια, κυρίως της νοτιοανατολικής Μεσογείου, σε συνδυασμό με την έλλειψη προηγούμενων στοιχείων αναφοράς από αυτή την περιοχή, καταδεικνύει την αναγκαιότητα: (α) συνεχούς μελέτης, (β) ανάπτυξης μεθόδων παρακολούθησης των πιθανών επιπτώσεων και (γ) εφαρμογής δεικτών για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των κοινοτήτων των σπηλαίων.
- Η έλλειψη επιστημονικών δεδομένων για τα σπήλαια των νότιων και ανατολικών ακτών της Μεσογείου, για συγκεκριμένες ταξινομικές ομάδες και για ιδιαίτερες κοινότητες και τύπους σπηλαίων, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα για συνέχιση της επιστημονικής έρευνας σχετικά με αυτά τα ζητήματα στο μέλλον.

6. ΣΥΝΟΨΗ & ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



6.1. Γενικό σκεπτικό της μελέτης

Από τα πρώτα κιόλας στάδια της βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν εμφανές ότι η επιστημονική πληροφορία σχετικά με τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων της Μεσογείου είναι κατακερματισμένη, ενώ υπάρχουν ελάχιστα στοιχεία για τα σπήλαια της ανατολικής λεκάνης. Επίσης, φάνηκε ότι η πλειοψηφία των μελετών σχετικά με τις βιοκοινότητες των σπηλαίων της Μεσογείου παρέχουν κατά βάση ποιοτικά στοιχεία, ενώ ελάχιστες έχουν διερευνήσει ποσοτικά τα χωρικά πρότυπα κατανομής τους και κυρίως σε ημιβυθισμένα και ρηχά σπήλαια, προφανώς επειδή είναι ευκολότερα προσπελάσιμα. Για την ποσοτική μελέτη των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων έχουν χρησιμοποιηθεί κατά βάση φωτογραφικές, μη καταστρεπτικές μέθοδοι, οι οποίες έχουν πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα για την έρευνα σε ευαίσθητα ενδιαιτήματα όπως τα σπήλαια, τα οποία, επιπρόσθετα, χαρακτηρίζονται από αυξημένες δυσκολίες σε ότι αφορά τις συνθήκες πρόσβασης και υποβρύχιας έρευνας. Ωστόσο, κατά την ανάλυση των φωτογραφικών δειγμάτων προκύπτουν δυσκολίες στον ταξινομικό προσδιορισμό των ειδών. Οι δυσκολίες αυτές μπορεί να μεγεθύνονται σε οικοσυστήματα όπως τα σπήλαια που συχνά φιλοξενούν είδη σπάνια ή νέα για την επιστήμη ή ακόμη είδη που στο περιβάλλον των σπηλαίων παρουσιάζουν ιδιαίτερες μορφολογικές προσαρμογές, όπως ο αποχρωματισμός (π.χ. σπόγγοι και βρυόζωα).

Οι μέχρι τώρα έρευνες έχουν καταλήξει στο γενικό συμπέρασμα ότι αν και η χωρική κατανομή των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων ακολουθεί μια γενική αρχή, μπορεί να παρατηρούνται διαφοροποιήσεις, καθώς τα μοναδικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε σπηλαίου δημιουργούν διαβάθμιση των αβιοτικών παραμέτρων και κυρίως εκείνων που καθορίζουν την οικολογική ζώνωση. Συνεπώς δεν είναι παράξενο που κάθε προσπάθεια μελέτης των βιοκοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια περιλαμβάνει και μια συνιστώσα που αφορά στην περιγραφή ή αναπαράσταση του σπηλαίου, ώστε να γίνεται περισσότερο κατανοητή η διαβάθμιση των αβιοτικών και βιοτικών του χαρακτηριστικών. Ωστόσο, οι υπάρχουσες μέθοδοι για την αναπαράσταση και χαρτογράφηση των σπηλαίων δεν έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα για τις ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας, στην οποία ο διαθέσιμος εξοπλισμός, ο χρόνος και τα σημεία αναφοράς είναι περιορισμένα. Έτσι, μέχρι στιγμής, οι επιστήμονες σχεδιάζουν με το χέρι δισδιάστατες, συνήθως, διατομές των σπηλαίων και σπάνια απεικονίζουν τα σπήλαια σε τρισδιάστατη οπτική.

Στην παρούσα διατριβή έγινε μια προσπάθεια να συμπληρωθούν τα παραπάνω κενά μέσα από την έρευνα σε υποθαλάσσια σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Η έρευνα κινήθηκε σε τρεις κύριους άξονες που περιλάμβαναν (α) την ανάπτυξη νέας μεθοδολογίας για την ταχεία και οικονομική χαρτογράφηση και τρισδιάστατη απεικόνιση των σπηλαίων, (β) την ποιοτική και ποσοτική μελέτη της βιοποικιλότητας των σπηλαίων σε μια βιογεωγραφική περιοχή αμελέτητη ως προς αυτή την πτυχή και (γ) τη συλλογή, σύνθεση και μετα-ανάλυση της κατακερματισμένης πληροφορίας για τη βιοποικιλότητα των υποθαλάσσιων σπηλαίων της Μεσογείου, με στόχο την ανάδειξη της σημασίας τους για το θαλάσσιο οικοσύστημα, των κενών στην επιστημονική γνώση και πιθανών κατευθύνσεων για τη μελλοντική τους μελέτη.

6.2. Σύνοψη και συμπεράσματα επιμέρους στόχων

Συνοψίζοντας, τα κύρια συμπεράσματα αυτής της μελέτης με βάση τους επιμέρους στόχους που τέθηκαν, μπορούμε να πούμε τα εξής:

6.2.1. Χαρτογράφηση και αποτύπωση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών των σπηλαίων

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, η τοπογραφική πολυπλοκότητα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη χωρική κατανομή των βενθικών ειδών στα θαλάσσια οικοσυστήματα και ιδιαίτερα στα υποθαλάσσια σπήλαια. Η νέα μέθοδος χαρτογράφησης και τρισδιάστατης απεικόνισης σπηλαίων που προτείνεται αποτελεί προϊόν επιστημονικής συνεργασίας που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης αυτής, ως απόρροια της αναγκαιότητας για ρεαλιστική απεικόνιση της μορφολογίας των σπηλαίων, ώστε να γίνεται περισσότερο κατανοητή η διαβάθμιση των βιοτικών τους χαρακτηριστικών. Πρόκειται για μια ταχεία και οικονομική μέθοδο, προσαρμοσμένη στις ιδιαίτερες ανάγκες της υποβρύχιας βιολογικής έρευνας σε αυτό το ιδιαίτερο περιβάλλον. Όπως φάνηκε από την έρευνα πεδίου στα υπό μελέτη σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ημιβυθισμένα όσο και σε εξολοκλήρου βυθισμένα σπήλαια, ενώ έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε απαραίτητο εξοπλισμό και αριθμό καταδύσεων, εξοικονομώντας πόρους και χρόνο υποβρύχιας έρευνας. Το αποτέλεσμα είναι μια ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση του υπό μελέτη σπηλαίου σε κλίμακα, με δυνατότητα προβολής τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο ή σε πλάγια τομή. Επιπλέον, οι απεικονίσεις των σπηλαίων που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη συγκεκριμένων βιοκοινοτήτων που αναπτύσσονται σε διαφορετικές ζώνες ή και λεπτομερειών της εσωτερικής μορφολογίας των σπηλαίων που δύσκολα μπορούν να αποτυπωθούν σε δύο διαστάσεις. Έτσι, η μέθοδος που περιγράφεται θα μπορούσε να συμβάλει (α) στο δειγματοληπτικό σχεδιασμό βιολογικών ερευνών, (β) στην ανάδειξη τοπογραφικών χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να διαμορφώνουν ιδιαίτερα χωρικά πρότυπα των βιοκοινοτήτων στα σπήλαια (π.χ. κλίση σπηλαίου, κοιλότητες και τοίχοι με αρνητική κλίση), και (γ) στη διάχυση των αποτελεσμάτων επιστημονικών ερευνών στο ευρύτερο κοινό.

6.2.2. Μελέτη της βιοποικιλότητας και των προτύπων χωρικής ετερογένειας των βιοκοινοτήτων σε υποθαλάσσια σπήλαια της ανατολικής Μεσογείου

Από την ποιοτική και ποσοτική μελέτη στα επιλεγμένα υποθαλάσσια σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου καταγράφηκε πλούσια βιοποικιλότητα (296 είδη – Πίνακας Α1 παραρτήματος), ενώ σημαντικό ποσοστό των ειδών που βρέθηκαν (60%) αποτελούν νέες αναφορές για τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων της περιοχής. Έτσι, παρόλο που η συγκεκριμένη περιοχή ήταν μέχρι σήμερα από τις λιγότερο μελετημένες της Μεσογείου ως προς τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων, μετά την παρούσα έρευνα ορισμένα από τα σπήλαια που διερευνήθηκαν συγκαταλέγονται στα πλουσιότερα σε αριθμό ειδών, μελετημένα σπήλαια της Μεσογείου.

Σε ότι αφορά τη σύνθεση (ποιοτική και ποσοτική) και τη διαβάθμιση των βιοκοινοτήτων στα σπήλαια που μελετήθηκαν, τα αποτελέσματα της έρευνας συμφωνούν γενικά με εκείνα

σχετικών μελετών από τη δυτική και κεντρική Μεσόγειο· εντούτοις προέκυψαν διαφορές που φαίνεται να σχετίζονται με βιογεωγραφικούς παράγοντες (π.χ. παρουσία ενδημικών ειδών της ανατολικής λεκάνης, απουσία φάσεων οκτωκοραλλίων, εντονότερη επικράτηση σπόγγων), καταδεικνύοντας ιδιαιτερότητες ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. Έτσι, η δημιουργία βάσης αναφοράς από φωτογραφικά πλαίσια που αποτυπώνουν τη δομή αυτών των ενδιαιτημάτων στο Βόρειο Αιγαίο, θέτουν για πρώτη φορά τα θεμέλια για (α) ποσοτικές συγκρίσεις των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων της ανατολικής λεκάνης με εκείνα άλλων περιοχών της Μεσογείου αλλά και (β) για μελλοντική βιοπαρακολούθηση. Οι δράσεις αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία ενόψει της επίδρασης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της εισβολής αλλόχθονων ειδών, ειδικά στην ανατολική Μεσόγειο.

Η διερεύνηση των χωρικών προτύπων διαβάθμισης των βιοκοινοτήτων σε συνδυασμό με τα μοντέλα από την τρισδιάστατη απεικόνιση των υπό μελέτη σπηλαίων ανέδειξαν τη χωρική ετερογένεια που παρατηρείται σε αυτά τα οικοσυστήματα και τη σημασία της τοπογραφίας στη δημιουργία αυτών των προτύπων. Ενδεικτικά, η επίδραση της τοπογραφίας (π.χ. βάθος, μορφολογία σπηλαίου, διαστάσεις εισόδου) στη διαμόρφωση των κοινοτήτων των σπηλαίων που μελετήθηκαν φαίνεται από (α) τη διαφοροποίηση κατά μήκος του άξονα εισόδου-εσωτερικού, (β) τις διαφορές ανάμεσα στην οροφή και τους κατακόρυφους τοίχους, ιδίως στη ζώνη εισόδου και στο μεσαίο τμήμα των σπηλαίων, ή ακόμη και ανάμεσα σε απέναντι τοίχους που ισαπέχουν από την είσοδο, και (γ) τα διαφορετικά πρότυπα βιοποικιλότητας ανάμεσα σε σπήλαια με διαφορετική μορφολογία. Τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύουν τα γενικά συμπεράσματα προηγούμενων μελετών σχετικά με το ρόλο της τοπογραφίας στη διαμόρφωση του μοναδικού χαρακτήρα των σπηλαίων, ενώ παράλληλα επεκτείνουν την υπάρχουσα επιστημονική γνώση στην κατώτερη υποπαραλιακή ζώνη της Μεσογείου που δεν είχε διερευνηθεί μέχρι σήμερα ως προς τη βιοποικιλότητα των σπηλαίων της.

Συμπερασματικά, και στο πλαίσιο της διατήρησης των ενδιαιτημάτων των σπηλαίων, οι παραπάνω διαπιστώσεις καταδεικνύουν τη σημασία συνεκτίμησης τοπογραφικών και γεωγραφικών παραγόντων στη θέσπιση κριτηρίων προστασίας (π.χ. προστασία διαφορετικών μορφολογικών τύπων σπηλαίων από διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου).

6.2.3. Χρήση υποκαταστατών για τη μελέτη της βιοποικιλότητας των σπηλαίων

Οι σπόγγοι αποτελούν βασικό συστατικό των βιοκοινοτήτων των υπό μελέτη σπηλαίων από πλευράς αριθμού ειδών και κάλυψης του υποστρώματος. Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φάνηκε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκαταστάτες για τη μελέτη της δομής και των χωρικών προτύπων κατανομής των κοινοτήτων των σπηλαίων, τουλάχιστον στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Ειδικότερα, η μορφολογική ποικιλότητα σπόγγων λειτούργησε πολύ καλά ως υποκαταστάτης για την εκτίμηση των χωρικών προτύπων της συνολικής ποικιλότητας των βιοκοινοτήτων των σπηλαίων. Η χρήση μιας τέτοιας προσέγγισης θα διευκόλυνε σημαντικά την ποσοτική μελέτη των κοινοτήτων των σπηλαίων καθώς βοηθά στην αντιμετώπιση των περιορισμών που προκύπτουν κατά τη χρήση φωτογραφικών μεθόδων, και δεν απαιτεί εξειδικευμένες ταξινομικές γνώσεις. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα χρήσης της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι θα μπορούσε να

εφαρμοστεί από το ευρύτερο κοινό (π.χ. προσωπικό φορέων διαχείρισης θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών, εθελοντές δύτες) στο πλαίσιο προγραμμάτων παρακολούθησης (monitoring) ή «επιστήμης των πολιτών» (citizen science). Προτείνεται, ωστόσο, η πραγματοποίηση αντίστοιχων ερευνών και σε άλλα σπήλαια με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και από άλλες περιοχές, ώστε να επιβεβαιωθεί η γενικότερη ισχύς της προτεινόμενης μεθόδου.

Οι σπόγγοι, πέρα από το ότι αποτελούν κυρίαρχη ομάδα στα υποθαλάσσια σπήλαια, φαίνεται ότι διατηρούν το λειτουργικό τους ρόλο ως μηχανικοί οικοσυστήματος στις διαφορετικές οικολογικές ζώνες των σπηλαίων. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, στο εσωτερικό των σπηλαίων η βιοτική κάλυψη μειώνεται και αποτελείται κυρίως από σπόγγους με μορφή κρούστας ενώ σπανίζουν ή απουσιάζουν τρισδιάστατες δομές (π.χ. μακροφύκη, σπόγγοι με συμπαγή μορφή) που θα μπορούσαν να αποτελέσουν καταφύγιο για μακροασπόνδυλα με δυνατότητα μετακίνησης. Έτσι, η παρουσία σπόγγων με συμπαγή ή/και σωληνοειδή μορφή που αυξάνουν τη δομική πολυπλοκότητα των ενδιαιτημάτων στο εσωτερικό των σπηλαίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για το εν λόγω οικοσύστημα αφού παρέχει ενδιαίτημα σε πλήθος συμβιωτών.

6.2.4. Εκτίμηση της οικολογικής σημασίας των υποθαλάσσιων σπηλαίων για τη βιοποικιλότητα της Μεσογείου

Τα αποτελέσματα της εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης για τα υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου, σε συνδυασμό με τα δεδομένα που προέκυψαν από την έρευνα πεδίου στο Βόρειο Αιγαίο, έδειξαν ότι τα σπήλαια αποτελούν «ταμειυτήρες βιοποικιλότητας» καθώς φιλοξενούν μεγάλο πλούτο ειδών και σημαντικό ποσοστό της Μεσογειακής θαλάσσιας βιοποικιλότητας για πολλές ταξινομικές ομάδες. Ειδικότερα, η μεγάλη αξία διατήρησης αυτών των οικοσυστημάτων ενισχύεται από τη διαπίστωση ότι αποτελούν ενδιαίτημα για είδη αποκλειστικά (στυγόβια), σπάνια, υπολειμματικά, βαθύβια, προστατευόμενα και εμπορικά, ενώ μπορούν να αποτελέσουν καταφύγιο για ευαίσθητα είδη παρέχοντας, ως ένα βαθμό, φυσική προστασία απέναντι σε ανθρωπογενείς πιέσεις και βιολογικές εισβολές. Ωστόσο, η καταγραφή της παρουσίας αρκετών αλλόχθονων ειδών σε σπήλαια, κυρίως της νοτιοανατολικής Μεσογείου, σε συνδυασμό με την έλλειψη προηγούμενων στοιχείων αναφοράς από αυτή την περιοχή, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα (α) συνεχούς μελέτης, (β) ανάπτυξης μεθόδων παρακολούθησης των πιθανών επιπτώσεων και (γ) εφαρμογής δεικτών για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των κοινοτήτων των σπηλαίων.

Τα υποθαλάσσια σπήλαια είναι ένα γεωγραφικά κατακερματισμένο ενδιαίτημα και, πιθανώς εξαιτίας αυτού, οι βιοκοινότητές τους διαφέρουν ανάμεσα στις βιογεωγραφικές περιοχές της Μεσογείου. Αυτή η γεωγραφική διαφοροποίηση, σε συνδυασμό με την αυξημένη χωρική ετερογένεια λόγω των μοναδικών τοπογραφικών χαρακτηριστικών κάθε σπηλαίου, που συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, δείχνει την αναγκαιότητα προστασίας διαφορετικών μορφολογικών τύπων σπηλαίων σε κάθε βιογεωγραφική περιοχή.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι εκτός από τη μεγάλη βιολογική τους σημασία ως ταμειυτήρες βιοποικιλότητας, τα υποθαλάσσια σπήλαια παρουσιάζουν και οικονομικό ενδιαφέρον (π.χ. εμπορικά είδη και καταδυτικός / θαλάσσιος τουρισμός) που αξίζει να διερευνηθεί. Τέλος, η

έλλειψη επιστημονικών δεδομένων για τα σπήλαια των νότιων και ανατολικών ακτών της Μεσογειακής λεκάνης, για συγκεκριμένες ταξινομικές ομάδες και για ιδιαίτερες κοινότητες και τύπους σπηλαίων, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα για συνέχιση της επιστημονικής έρευνας σχετικά με αυτά τα ζητήματα στο μέλλον.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



7. Βιβλιογραφία

A

- Abdul Malak D, Livingstone SR, Pollard D, Polidoro BA, Cuttelod A, Bariche M, Bilecenoglu M, Carpenter KE, Collette BB, Francour P, Goren M, Hichem Kara M, Massutí E, Papaconstantinou C, Tunesi L (2011) *Overview of the conservation status of the marine fishes of the Mediterranean Sea*. IUCN, Gland and Malaga, 61 p.
- Abdulla A, Gomei M, Hyrenbach D, Notarbartolo di Sciara G, Agardy T (2009) Challenges facing a network of representative marine protected areas in the Mediterranean: prioritizing the protection of underrepresented habitats. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 22-28.
- Abdulla A, Gomei M, Maison E, Piante C (2008) *Status of Marine Protected Areas in the Mediterranean Sea*, IUCN and WWF, Malaga and France, 152 p.
- Abel E (1959) Zur Kenntnis der marinen Höhlenfauna unter besonderer Berücksichtigung der Anthozoa. *Pubblazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 1-94.
- Aguado MT, San Martin A (2007) Syllidae (Polychaeta) from Lebanon with two new reports for the Mediterranean Sea. *Cahiers de Biologie Marine*, 48: 207-224.
- Aguilar R, Correa ML, Calcinai B, Pastor X, de la Torriente A, Garcia S (2011) First records of *Asbestopluma hypogea* Vacelet and Boury-Esnault, 1996 (Porifera, Demospongiae Cladorhizidae) on seamounts and in bathyal settings of the Mediterranean Sea. *Zootaxa*, 2925: 33-40.
- Akoumianaki I, Hughes JA (2004) The distribution of macroinfauna along a Mediterranean submarine cave with sulphur springs. *Cahiers de Biologie Marine*, 45: 355-364.
- Alcaraz M, Riera T, Gili JM (1986) *Hemimysis margalefi* sp. nov. (Mysidacea) from a submarine cave of Mallorca Island, western Mediterranean. *Crustaceana*, 50: 199-203.
- Allouc J, Harmelin JG (2001) Les dépôts d'enduits manganoferrifères en environnement marin littoral. L'exemple de grottes sous-marines en Méditerranée nord-occidentale. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172: 765-778.
- Alongi G, Cormaci M, Furnari G, Catra M (2012) Floristic macroalgal diversity in selected submarine caves located within two marine protected areas off Lampedusa Island and Sicily (Italy). *Botanica Marina*, 55: 387-397.
- Am Ende BA (2001) 3D mapping of underwater caves. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21: 14-20.
- Amenta N, Choi S, Dey TK, Leekha N (2001) The power crust. *Proceedings of the 6th ACM symposium on solid modelling and applications*, ACM, pp 249-260.
- Amsler MO, McClintock JB, Amsler CD, Angus RA, Baker BJ (2009) An evaluation of sponge-associated amphipods from the Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*, 21: 579-589.
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR (2008) *PERMANOVA for PRIMER: Guide to software and Statistical Methods*. Plymouth: PRIMER - E.
- 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.
- Antonoli F, Silenzi S, Frisia S (2001) Tyrrhenian Holocene paleoclimate trends from spelean serpulids. *Quaternary Science Reviews*, 20: 1661-1670.
- Audoin C, Bonhomme D, Ivanisevic J, de la Cruz M, Cautain B, Cândida Monteiro M, Reyes F, Rios L, Pérez T, Thomas OP (2013) Balibalosides, an original family of glucosylated sesterterpenes produced by the Mediterranean sponge *Oscarella balibalo*. *Marine Drugs*, 11: 1477-1489.

B

- Βουλτσιάδου-Κούκουρα Ε (1986) *Συστηματική ζωογεωγραφική και οικολογική μελέτη των δημόσπογγων της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας του Βόρειου Αιγαίου*. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 493 σελ.
- Bacescu M (1971) Les Spongiaires; un des plus intéressants biotopes benthiques marins. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 20: 239-241.
- Bahrndorff S, Løfstedt M (2004) Commensal amphipods in ascidians and sponges off Phuket Island. *Phuket Marine Biological Center Research Bulletin*, 65: 45-54.
- Bakran-Petricioli T, Radolović M, Petricioli D (2012) How diverse is sponge fauna in the Adriatic Sea? *Zootaxa*, 3172: 20-38.
- Bakran-Petricioli T, Vacelet J, Zibrowius H, Petricioli D, Chevaldonné P, Rađa T (2007) New data on the distribution of the 'deep-sea' sponges *Asbestopluma hypogea* and *Oopsacas minuta* in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology – An Evolutionary Perspective*, 28: 10-23.
- Balduzzi A, Bianchi CN, 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 Internationale de la Mer Méditerranée*, 29: 131-134.
- Ballesteros E (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 44: 123-195.
- Banse K (1959) Über die Polychaeten-Besiedlung einiger submariner Höhlen. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia- Expedition 1952, Teil XII. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 417-469.
- Barnes DKA, Bell JJ (2002a) Coastal sponge communities of the West Indian Ocean: morphological richness and diversity. *The African Journal of Ecology*, 40: 350-359.
- Barnes DKA, Bell JJ (2002b) Coastal sponge communities of the West Indian Ocean: taxonomic affinities, richness and diversity. *The African Journal of Ecology*, 40: 337-349.
- Bavestrello G, Calcinai B, Cerrano C, Sarà M (1997) *Delectona madreporica* n. sp. (Porifera, Demospongiae) boring the corallites of some scleractinians from the Ligurian Sea. *Italian Journal of Zoology*, 64: 273-277.
- Bazairi H, Sghaier YR, Benamer I, Langar H, Pergent G, Bourass EM, Verlaque M, Ben Soussi J, Zenetos A (2013) Alien marine species of Libya: first inventory and new records in El-Kouf National Park (Cyrenaica) and the neighbouring areas. *Mediterranean Marine Science*, 14: 451-462.
- Bell JJ (2002) The sponge community in a semi-submerged temperate sea cave: Density, diversity and richness. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 23: 297-311.
- Bell JJ (2007) The use of volunteers for conducting sponge biodiversity assessments and monitoring using a morphological approach on Indo-Pacific coral reefs. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17: 133-145.
- Bell JJ (2008) The functional roles of marine sponges. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 79: 341-353.
- Bell JJ, Barnes DKA (2000a) The distribution and prevalence of sponges in relation to environmental gradients within a temperate sea lough: inclined cliff surfaces. *Diversity and Distributions*, 6: 305-323.
- Bell JJ, Barnes DKA (2000b) The distribution and prevalence of sponges in relation to environmental gradients within a temperate sea lough: vertical cliff surfaces. *Diversity and Distributions*, 6: 283-303.
- Bell JJ, Barnes DKA (2001) Sponge morphological diversity: a qualitative predictor of species diversity? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11: 109-121.

- Bell JJ, Barnes DKA (2002b) Modelling sponge species diversity using morphological predictor: a tropical test of temperate model. *Journal of Nature Conservation*, 10: 41-50.
- Bell JJ, Barnes DKA, Shaw C (2002) Branching dynamics of two species of arborescent demosponge: the effect of flow regime and bathymetry. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82: 279-294.
- Bell JJ, Barnes DKA, Shaw C, Heally A, Farrell A (2003) Seasonal 'fall out' of sessile macro-fauna from submarine cliffs: quantification, causes and implications. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83: 1199-1208.
- Bell JJ, Smith D (2004) Ecology of sponge assemblages (Porifera) in the Wakatobi region, south-east Sulawesi, Indonesia: richness and abundance. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84: 581-591.
- Bellan-santini D (1982) Family Ampeliscidae. The Amphipoda of the Mediteranean. Part 1. Gammaridea (Acanthonotozomatidae to Gammaridea). *Mémoires de l' Institut Océanographique*, Musée océanographique de Monaco, Monaco, pp 19-69.
- Bellan-Santini D, Diviacco G, Krapp-Schickel G, Ruffo S (1989) The Amphipoda of the Mediterranean. Part 2. Gammaridea (Haustoriidae to Lysianassidae). *Mémoires de l' Institut Océanographique*, Musée océanographique de Monaco, Monaco, 576 p.
- Bellan-Santini D, Karaman G, Krapp-Schickel G, Ledoyer M, Ruffo S (1993) The Amphipoda of the Mediterranean. Part 3: Gammaridea (Melphidippidae to Talitridae), Ingolfiellidea, Caprellidea. *Mémoires de l' Institut Océanographique*, Musée océanographique de Monaco, Monaco, 813 p.
- Belmonte G, Ingrosso G, Poto M, Quarta G, D'Elia M, Onorato R, Calcagnile L (2009) Biogenic stalactites in submarine caves at the Cape of Otranto (SE Italy): dating and hypothesis on their formation. *Marine Ecology*, 30: 376-382.
- Benedetti-Cecchi L, Airoidi L, Abbiati M, Cinelli F (1996a) Estimating the abundance of benthic invertebrates: a comparison of procedures and variability between observers. *Marine Ecology Progress Series*, 138: 93-101.
- Benedetti-Cecchi L, Airoidi L, Abbiati M, Cinelli F (1996b) Exploring the causes of spatial variation in an assemblage of benthic invertebrates from a submarine cave with sulphur springs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 208: 153-168.
- Benedetti-Cecchi L, Airoidi L, Abbiati M, Cinelli F (1998) Spatial variability in the distribution of sponges and cnidarians in a sublittoral marine cave with sulphur-water springs. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78: 43-58.
- Ben-Eliahu MN, ten Hove HA (1992) Serpulids (Annelida: Polychaeta) along the Mediterranean coast of Israel - new population build-ups of Lessepsian migrants. *Israel Journal of Zoology*, 38: 35-53.
- Bernardini F, Bajaj CL (1997) Sampling and reconstructing manifolds using alpha-shapes. *Proceedings of the 9th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG)*. Kingston, pp 193-198.
- Bernardini F, Mittleman J, Rushmeier H, Silva C, Taubin G (1999) The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *IEEE Transactions on Visualization And Computer Graphics*, 5: 349-359.
- Bertolino M, Cerrano C, Bavestrello G, Carella M, Pansini M, Calcinai B (2013) Diversity of Porifera in the Mediterranean coralligenous accretions, with description of a new species. *ZooKeys*, 336: 1-37.
- Bianchi CN (2003) Flora e fauna: lineamenti generali e prospettive. In: Cicogna F, Bianchi CN, Ferrari G, Forti P (Eds) *Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Rome, pp 137-146.
- Bianchi CN, Cevasco M, Diviacco G, Morri C (1986) Primi risultati di una ricerca ecologica sulla grotta marina di Bergeggi (Savona). *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*, 52: 267-293.

- Bianchi CN, Corsini-Foka M, Morri C, Zenetos A (2014) Thirty years after: dramatic change in the coastal marine ecosystems of Kos Island (Greece), 1981-2013. *Mediterranean Marine Science*, 15: 482-497.
- Bianchi CN, Morri C (1994) Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse; definizione di una scala di confinamento. *Memorie dell'Istituto italiano di Speleologia*, 6: 107-123.
- Bianchi CN, Morri C (2003) Comunità dell'infauna. Cicogna F, Bianchi CN, Ferrari G, Forti P (Eds) *Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Rome, pp 267-272.
- Bianchi CN, Morri C, Navone A (2010) I popolamenti delle scogliere rocciose sommerse dell'Area Marina Protetta di Tavolara Punta Coda Cavallo (Sardegna nord-orientale). *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 24: 39-86.
- Bianchi CN, Pronzato R, Cattaneo-Vietti R, Benedetti-Cecchi L, Morri C, Pansini M, Chemello R, Milazzo M, Fraschetti S, Terlizzi A, Peirano A, Salvati E, Benzoni F, Calcinai 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 A, Gili JM (1982) Primera aportación al conocimiento de las cuevas submarinas de la isla de Mallorca. *Oecología Acuática*, 6: 227-234.
- Bibiloni A, Olivella I, Ros J (1984) Les sponges de les illes Medes. In: Ros J, Olivella I, Gili JM (Eds) *Els sistemes naturals de les illes Medes*, Arxius de la Seccio de Ciències, Barcelona, pp 383-405.
- Bibiloni MA (1993) Some new or poorly known sponges of the Balearic Islands (western Mediterranean). *Scientia Marina*, 57: 273-432.
- Bibiloni MA, Uriz MJ, Gili JM (1989) Sponge communities in three submarine caves of the Balearic Islands (western Mediterranean): adaptations and faunistic composition. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 10: 317-334.
- Bilecenoglu M (2010) Alien marine fishes of Turkey - an updated review. In: Golani D, Appelbaum-Golani B (Eds) *Fish Invasions of the Mediterranean Sea: Change and Renewal*, Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, pp 189-217.
- Bilecenoglu M, Taşkavak E (1999) Some observations on the habitat of the Red Sea immigrant sweeper, *Pempheris vanicolensis*, on the Mediterranean coast of Turkey. *Zoology in the Middle East*, 17: 67-70.
- Bitar G, Ocaña O, Ramos-Esplá AA (2007) Contribution of the Red Sea alien species to structuring some benthic biocenosis in the Lebanon coast (Eastern Mediterranean). *Rapport du Commission International de la Mer Meditannée*, 38: 437.
- Blanquer A, Uriz MJ (2010) Population genetics at three spatial scales of a rare sponge living in fragmented habitats. *BMC Evolutionary Biology*, 10: 13.
- Bo M, Bertolino M, Borghini M, Castellano M, Harriague AC, Di Camillo CG, Gasparini G, Misic C, Povero P, Pusceddu A, Schroeder K, Bavestrello G (2011) Characteristics of the mesophotic megabenthic assemblages of the Vercelli Seamount (North Tyrrhenian Sea). *PLoS ONE*, 6: e16357.
- Boero F, Bouillon J (1993) Zoogeography and life cycle patterns of Mediterranean hydromedusae (Cnidaria). *Biological Journal of the Linnean Society*, 48: 239-266.
- Boggus M, Crawfis R (2009) Explicit generation of 3D models of solution caves for virtual environments. In: Arabia HR, Deligiannidis L (Eds) *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics & Virtual Reality (CGVR 2009)*. Las Vegas, Nevada, pp 85-90.
- Boudouresque CF (2004) Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, 20: 97-146.
- Boury-Esnault N (1971) Spongiaires de la zone rocheuse de Banyuls-sur-Mer. I. Ecologie et repartition. *Vie Milieu, Serie B – Oceanographie*, 22: 159-192.

- Boury-Esnault N (2002a) Family Polymastiidae Gray, 1867. In: Hooper JNA, van Soest RWM (Eds) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, pp 201-219.
- Boury-Esnault N (2002b) Order Chondrosida Boury-Esnault & Lopès, 1985. Family Chondrillidae Gray, 1872. In: Hooper JNA, van Soest RWM (Eds) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, pp 291-297.
- Boury-Esnault N, Bézac C (2007) Morphological and cytological descriptions of a new *Polymastia* species (Hadromerida, Demospongiae) from the North-West Mediterranean Sea. In: Custódio MR, Lôbo-Hajdu G, Hajdu E, Muricy G, (Eds) *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*. Museu Nacional, Rio de Janeiro, pp 23-30.
- Boury-Esnault N, Muricy G, Gallissian MF, Vacelet J (1995) Sponges without skeleton: a new Mediterranean genus of Homoscleromorpha (Porifera, Demospongiae). *Ophelia*, 43: 25-43.
- Boury-Esnault N, Rützler K (1997) Thesaurus of sponge morphology. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 596: 1-55.
- Boury-Esnault N, Solé-Cava AM (2004) Recent contribution of genetics to the study of sponge systematics and biology. *Bolletino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*, 68: 3-18.
- Briggs JC, Bowen BW (2012) A realignment of marine biogeographic provinces with particular reference to fish distributions. *Journal of Biogeography*, 39: 12-30.
- Bussotti S, Denitto F, Guidetti P, Belmonte G (2002) Fish assemblages in shallow marine caves of the Salento Peninsula (Southern Apulia, SE Italy). *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 23: 11-20.
- Bussotti S, Guidetti P (2009) Do Mediterranean fish assemblages associated with marine caves and rocky cliffs differ? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 81: 65-73.
- 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.
- C**
- Cantone G, Fassari G, Brigandi S (1980) Ricerche sui policheti e molluschi di una grotta semisommersa del litorale Catanese. *Animalia*, 6: 127-141.
- Carballo JL, Naranjo S, García-Gómez JC (1997) Where does the Mediterranean Sea begin? Zoogeographical affinities of the littoral sponges of the Straits of Gibraltar. *Journal of Biogeography*, 24: 223-232.
- Carola M, Razouls C (1996) Two new species of Calanoida from a marine cave on Minorca Island, Mediterranean Sea. *Stephos balearensis* new species (Stephidae) and *Paracyclopia gitana* new species (Pseudocyclopiidae). *Bulletin of Marine Science*, 58: 344-352.
- Casanova JP (1986) *Spadella ledoyeri*, chaetognathe nouveau de la grotte sous-marine obscure des Trémies (Calanques de Cassis). *Rapport et Procès-verbeaux des Réunions de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 30: 196.
- Cebrian E, Uriz MJ, Garrabou J, Ballesteros E (2011) Sponge mass mortalities in a warming Mediterranean Sea: are cyanobacteria-harboring species worse off? *PLoS ONE*, 6: e20211.
- Cerrano C, Bavestrello G, Bianchi CN, Cattaneo-Vietti R, Bava S, Morganti C, Morri C, Picco P, Sara G, Schiaparelli S, Siccardi A, Sponga F (2000) A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 3: 284-293.
- Chevaldonné P, Lejeusne C (2003) Regional warming-induced species shift in north-west Mediterranean marine caves. *Ecology Letters*, 6: 371-379.

- Chevaldonné P, Pérez T, Crouzet J-M, Bay-Nouailhat W, Bay-Nouailhat A, Fournier M, Almón B, Pérez J, Aguilar R, Vacelet J (2014) Unexpected records of 'deep-sea' carnivorous sponges *Asbestopluma hypogea* in the shallow NE Atlantic shed light on new conservation issues. *Marine Ecology*, in press.
- Chintiroglou C, Antoniadou C, Krestenitis Y (2006) Can polychaetes be used as a surrogate group in assessing ecological quality of soft substratum communities (NE Thermaikos Gulf)? *Fresenius Environmental Bulletin*, 15: 1199-1207.
- 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 p.
- Çinar ME, Ergen Z (1998) Polychaetes associated with the sponge *Sarcotragus muscarum* Schmidt, 1864 from the Turkish Aegean coast. *Ophelia*, 48: 167-183.
- Çinar ME, Katagan T, Ergen Z, Sezgin M (2002) Zoobenthos-inhabiting *Sarcotragus muscarum* (Porifera: Demospongiae) from the Aegean Sea. *Hydrobiologia*, 484: 107-117.
- Cinelli F, Fresi E, Mazzella L, Pansini M, Pronzato R, Svoboda A (1977) Distribution of benthic phyto- and zoocoenoses along a light gradient in a superficial marine cave. In: Keegan BF, Ceidigh PO, Boaden PJS (Eds) *Proceedings of the 11th European Symposium on Marine Biology*, Pergamon Press, Oxford, pp 173-183.
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth, 192 p.
- Clarke KR, Warwick RM (1994) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144 p.
- Clarke KR, Warwick RM (1998) A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523-531.
- Clarke KR, Warwick RM (1999) The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, 184: 21-29.
- Clarke KR, Warwick RM (2001) A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265-278.
- Coleman F, Williams S (2002) Overexploiting marine ecosystem engineers: potential consequences for biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 17: 40-44.
- Coles SL, Eldredge LG (2002) Nonindigenous species introductions on coral reefs: a need for information. *Pacific Science*, 56: 191-209.
- Coll M, Piroddi C, Albouy C, Ben Rais Lasram F, Cheung WWL, Christensen V, Karpouzi VS, Guilhaumon F, Mouillot D, Paleczny M, Palomares ML, Steenbeek J, Trujillo P, Watson R, Pauly D (2012), The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 465-480.
- Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, Lasram FBR, Aguzzi J, Ballesteros E, Bianchi CN, Corbera J, Dailianis T, Danovaro R, Estrada M, Frogliani C, Galil BS, Gasol JM, Gertwagen R, Gil J, Guilhaumon F, Kesner-Reyes K, Kitsos M-S, Koukouras A, Lampadariou N, Laxamana E, Lopez-Fe de la Quadra CM, Lotze HK, Martin D, Mouillot D, Raicevich S, Rius-Barile J, Saiz-Salinas JI, San Vicente C, Somot S, Templado J, Turon X, Vafidis D, Villanueva R, Voultsiadou E (2010) The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, 5: e11842.
- Collina-Girard J (2004) Prehistory and coastal karstic area : Cosquer cave and the calanques of Marseille, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 2: 1-13.
- Coma R, Carola M, Riera T, Zabala M (1997) Horizontal transfer of matter by a cave-dwelling mysid. *Marine Ecology*, 18: 211-226.
- Connes R (1967) Réactions de défense de l'éponge *Tethya lyncurium* Lamarck, vis-a-vis des micro-organismes et de l'amphipode *Leucothoe spinicarpa* Abildg. *Vie et Milieu*, 18: 281-289.

- Corriero G, Gherardi M, Giangrande A, Longo C, Mercurio M, Musco L, Nonnis Marzano C (2004) Inventory and distribution of hard bottom fauna from the Marine Protected area of Porto Cesareo (Ionian Sea): Porifera and Polychaeta. *Italian Journal of Zoology*, 71: 237-245.
- Corriero G, Liaci LS, Ruggiero D, Pansini M (2000) The sponge community of a semi-submerged Mediterranean cave. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 21: 85-96.
- Corriero G, Scalera Liaci L, Gristina M, Chemello R, Riggio S, Mercurio M (1999) Composizione tassonomica e distribuzione del macrozoobenthos in ambienti di grotta semisommersa della Riserva Naturale Marina "Isola di Ustica". *Biologia Marina Mediterranea*, 6: 250-252.
- Corriero G, Scalera Liaci L, Gristina M, Riggio S, Mercurio M (1997a) Composizione tassonomica e distribuzione della fauna a poriferi e briozoi in una grotta semisommersa della Riserva Naturale Marina "Isola di Ustica". *Biologia Marina Mediterranea*, 4: 34-43.
- Corriero G, Scalera Liaci L, Pronzato R (1996) Two new species of *Dendroxea* Griessinger (Porifera : Desmospongiae) from the Mediterranean Sea. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique : Biologie*, 66: 197-203.
- Corriero G, Scalera-Liaci L, Pronzato R (1997b) *Didiscus spinoxeatus*, a new species of Porifera (Demospongiae) from the Mediterranean Sea. *Ophelia*, 47: 63-70.
- Costello M, Myers A (1987) Amphipod fauna of the sponges *Halichondria panicea* and *Hymeniacidon perleve* in Lough Hyne, Ireland. *Marine Ecology Progress Series*, 41: 115-121.
- Crocetta F, Bitar G, Zibrowius H, Oliverio M (2013a) Biogeographical homogeneity in the eastern Mediterranean Sea. II. Temporal variation in Lebanese bivalve biota. *Aquatic Biology*, 19: 75-84.
- Crocetta F, Russo P (2013) The alien spreading of *Chama pacifica* Broderip, 1835 (Mollusca: Bivalvia: Chamidae) in the Mediterranean Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 37: 92-96.
- Crocetta F, Zibrowius H, Bitar G, Templado J, Oliverio M (2013b) Biogeographical homogeneity in the eastern Mediterranean Sea - I: the opisthobranchs (Mollusca: Gastropoda) from Lebanon. *Mediterranean Marine Science*, 14: 403-408.
- Cukrov M, Manconi R, Cukrov N, Jalžić B, Despalatović M (2010) Biodiversity in anchialine caves: first record of the tubeworm *Ficopomatus enigmaticus* (Annelida, Polychaeta). *Proceedings of the 20th International Conference on Subterranean Biology (ICSB)*, Postojna, pp 73.
- Culver DC, Pipan T (2009) *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press, Oxford, 254 p.

D

- Dailianis T, Tsigenopoulos CS, Dounas C, Voultziadou E (2011) Genetic diversity of the imperilled bath sponge *Spongia officinalis* Linnaeus, 1758 across the Mediterranean Sea: patterns of population differentiation and implications for taxonomy and conservation. *Molecular Ecology*, 20: 3757-3772.
- Day JH (1967a) *Polychaeta of Southern Africa. Part 1. Errantia*. British Museum (Natural History), London, pp 1-458.
- Day JH (1967b) *Polychaeta of Southern Africa. Part 2. Sedentaria*. British Museum (Natural History), London, pp 459-842.
- De Zio Grimaldi S, Gallo D'addabbo M (2001) Further data on the Mediterranean Sea tardigrade fauna. *Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology*, 240: 345-360.
- Dellow V, Cassie RM (1955) Littoral zonation in two caves in the Auckland district. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, 83: 321-331.
- Dendrinis 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.
- Denitto F, Bussotti S, Costantini A, Poto M, Onorato R, Belmonte G (2009) Prima indagine faunistica della Grotta del Sifone (Canale D'Otranto, Salento Meridionale, Italia). *Thalassia Salentina*, 32: 129-138.

- Denitto F, Pastore M, Belmonte G (2010) Occurrence of the Guinean species *Herbstia nitida* Manning & Holthuis, 1981 (Decapoda, Brachyura) in a Mediterranean submarine cave and a comparison with the congeneric *H. condyliata* (Fabricius, 1787). *Crustaceana*, 83: 1017-1024.
- Denitto F, Terlizzi A, Belmonte G (2007) Settlement and primary succession in a shallow submarine cave: spatial and temporal benthic assemblage distinctness. *Marine Ecology – An Evolutionary Perspective*, 28: 35-46.
- Di Franco A, Ferruzza G, Baiata P, Chemello R, Milazzo M (2010) Can recreational scuba divers alter natural gross sedimentation rate? A case study from a Mediterranean deep cave. *ICES Journal of Marine Science*, 67: 871-874.
- 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.
- Diviacco G (1985) I crostacei anfipodi della grotta marina di Bergeggi (Mar Ligure). *Oebalia*, 113: 785-787.
- Dounas C, Koutsoubas D, Salomidi M, Koulouri P, Gerovassileiou V, Sini M (2010) Distribution and fisheries of the red coral *Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758) in the Greek Seas: an overview. In: Bussoletti E, Cottingham D, Bruckner A, Roberts G, Sandulli R (Eds) *Proceedings of the International Workshop on Red Coral Science, Management, and Trade: Lessons from the Mediterranean*. NOAA Technical Memorandum CRCP-13, Silver Spring, pp 106-114.
- Drach P (1948) Premières recherches en scaphandre autonome sur le peuplement de faciès rocheux dans la zone littorale profonde. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 227: 1176-1178.
- Duarte L, Nalesso R (1996) The Sponge *Zygomyscale parishii* (Bowerbank) and its endobiotic fauna. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42: 139-151.

E

- EASIN (2014) *European Alien Species Information Network*. <<http://easin.jrc.ec.europa.eu/>>. (Accessed 3 June 2014)
- ELNAIS (2014) *Ellenic Network of Aquatic Invasive Species*. <<https://services.ath.hcmr.gr>>. (Accessed 3 June 2014)
- ETC/BD (2010) *European Topic Centre on Biological Diversity*. <http://bd.eionet.europa.eu/activities/Natura_2000/pdfs/Additional_marine_guidelines.pdf>. (Accessed 3 June 2014)

F

- Fairfield N, Kantor G, Wettergreen D (2007) Real-time SLAM with octree evidence grids for exploration in underwater tunnels. *Journal of Field Robotics*, 24: 3-21.
- Faresi L, Bettoso N, Aleffi IF (2006) Benthic macrofauna of a submarine cave on the Istrian Peninsula (Croatia). *Annales Series Historia Naturalis*, 16: 9-16.
- Fauchald K (1977) *The polychaete worms, definitions and keys to the orders, families and genera*. Science Series 28. Natural History Museum of Los Angeles County, 188 p.
- Fauvel P (1923) *Polychètes errantes*. *Faune de France*. Volume 5. Librairie de la Faculté des Sciences. Paris, 488 p.
- Fauvel P (1927) *Polychètes sédentaires. Addenda aux errantes, Arachiannélides, Myzostomaires*. *Faune de France*. Volume 16. Paul Lechevalier, Paris, 494 p.
- Fichez R (1990) Decrease in allochthonous organic inputs in dark submarine caves, connection with lowering in benthic community richness. *Hydrobiologia*, 207: 61-69.
- Fichez R (1991) Suspended particulate organic matter in a Mediterranean submarine cave. *Marine Biology*, 108: 167-174.
- Francour P, Bilecenoglu M, Bariche M, Molinari A (2013a) *Speleogobius trigloides*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. (Accessed 3 June 2014)

- Francour P, Bilecenoglu, Bariche M, Tunesi L, Goren M (2013b) *Corcyrogobius liechtensteini*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. (Accessed 3 June 2014)
- Francour P, Bilecenoglu, Bariche M, Tunesi L, Goren M (2013c) *Didogobius splechnai*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 16 August 2014.
- Francour P, Bilecenoglu, Bariche M, Tunesi L, Goren M (2013d) *Gammogobius steinitzi*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. (Accessed 3 June 2014)
- Fransen CHJM (1991) *Salmones sketi*, a new species of alpheid shrimp (Crustacea: Decapoda: Caridea) from a submarine cave in the Adriatic. *Zoologische Mededelingen*, 65: 171-179.
- Fregni E, Tongiorgi P, Faienza MG (1998) Two new species of *Urodasys* (Gastrotricha, Macrodasysidae) with cuticular stylet. *Italian Journal of Zoology*, 65: 377-380.
- Frith D (1976) Animals associated with sponges North Hayling, Hampshire. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 58: 353-362.
- Froese F, Pauly D (2014) *Fish Base*. <http://www.fishbase.org>. (Accessed 3 June 2014)

G

- Galil B, Froglija C, Noël P (2002) *CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. Volume 2. Crustaceans: decapods and stomatopods*. CIESM Publishers, Monaco, 192 p.
- Gambi MC, Barbieri F, Bianchi CN (2008) New record of the alien seagrass *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) in the western Mediterranean: a further clue to changing Mediterranean Sea biogeography. *Biodiversity Records*, 2: e84.
- Garrabou J, Ballesteros E, Zabala M (2002) Structure and dynamics of north-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 55: 493-508.
- Garrabou J, Pérez T, Sartoretto S, Harmelin JG (2001) Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 217: 263-272.
- Garrabou J, Riera J, Zabala M (1998) Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities. *Landscape ecology*, 13: 225-247.
- George KH, Tiltack A (2009) A new species of Ancorabolina (Copepoda, Harpacticoida, Ancorabolidae) from a Mediterranean submarine cave, with a key to species. *Vie et Milieu*, 59: 287-300.
- Gerovasileiou V, Sini MI, Poursanidis D, Koutsoubas D (2009) Contribution to the knowledge of coralligenous communities in the NE Aegean Sea. In: Pergent-Martini C, Bricchet M (Eds) *Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of the coralligenous and other calcareous bio-concretions*. UNEP-MAP-RAC/SPA, Tunis, pp 205-207.
- Gerovasileiou V, Trygonis V, Sini M, Koutsoubas D, Voultziadou E (2013) Three-dimensional mapping of marine caves using a handheld echosounder. *Marine Ecology Progress Series*, 486: 13-22.
- Gerovassileiou V, Koutsoubas D, Sini M, Paikou K (2009) Marine protected areas & diving tourism in the Greek Seas: practices and perspectives. *Tourismos: an International Multidisciplinary Journal of Tourism*, 4: 181-197.
- Gewing MT, Rothman S, Rajman Nagar L, Shenkar N (2014) Early stages of establishment of the non-indigenous ascidian *Herdmania momus* (Savigny, 1816) in shallow and deep water environments on natural substrates in the Mediterranean Sea. *BioInvasions Records*, 3, in press.
- Gherardi M, Giangrande A, Corriero G (2001) Epibiotic and endobiotic polychaetes of *Geodia cydonium* (Porifera, Demospongiae) from the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 443: 87-101.
- Giakoumi S, Sini M, Gerovasileiou V, Mazor T, Beher J, Possingham HP, Abdulla A, Çinar ME, Dendrinis P, Gucu AC, Karamanlidis AA, Rodic P, Panayotidis P, Taskin E, Jaklin A, Voultziadou E, Webster Ch, Zenetos A, Katsanevakis S (2013) Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. *PLoS ONE*, 8: e76449.

- Gili JM, Ballesteros E (1991) Structure of cnidarian populations in Mediterranean sublittoral benthic communities as a result of adaptations to different environmental conditions. *Oecología Acuática*, 10: 243-254.
- Gili JM, García-Rubies A (1985) Contribution à la connaissance de la faune d'hydropolipes de l'île de Majorque. *Anales de Biología: Sección Biología Animal*, 3: 37-53.
- Gili JM, Macpherson E (1987) Crustáceos decápodos capturados en cuevas submarinas del litoral Balear. *Investigación Pesquera*, 51: 285-291.
- Gili JM, Olivella I, Zabala M, Ros JD (1982) Primera contribución al conocimiento del poblamiento de las cuevas submarinas del litoral catalán. In: Niell FX, Ros JD (Eds) *Actas del Ier simposio Ibérico de estudios del bentos marino*, San Sebastián, pp 818-836.
- Golani D, Orsi-Relini L, Massutí E, Quignard JP (2002) *CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. Volume 1. Fishes*. CIESM Publishers, Monaco, 254 p.
- Gravili C, Di Camillo CG, Piraino S, Boero F (2013). Hydrozoan species richness in the Mediterranean Sea: past and present. *Marine Ecology*, 34: 41-62.
- Griessinger JM (1971) Étude des Réniérides de Méditerranée (Démospoges, Haplosclérides). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 3: 97-182.
- 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: 1155-1164.
- Guelorget O, Perthuisot JP (1983) Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Travaux du Laboratoire de Géologie*, 16: 1-136.
- Guelorget O, Perthuisot JP (1992) Paralic ecosystems. Biological organization and functioning. *Vie et Milieu*, 42: 215-251.
- Gunn J (2004) *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York, 902 p.

H

- Habitat Italia (2014) *Italian interpretation manual of the 92/43/CEE Directive habitats*. <<http://vnr.unipg.it/habitat/>>. (Accessed 3 June 2014)
- Harmelin JG (1969) Bryozoaires des grottes sous-marines obscures de la région marseillaise, faunistique et écologie. *Téthys*, 1: 793-806.
- Harmelin JG (1985) Bryozoan dominated assemblages in Mediterranean cryptic environments. In: Nielsen C, Larwood GP (Eds) *Bryozoa: Ordovician to recent*. Olsen & Olsen, Fredensborg, pp 135-143.
- Harmelin JG (1986) Patterns in the distribution of bryozoans in the Mediterranean marine caves. *Stygologia*, 2: 10-25.
- Harmelin JG (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 JG, Bitar G, Zibrowius H (2007) *Schizoretepora hassi* sp. nov. (Bryozoa: Phidoloporidae) from Lebanon (Eastern Mediterranean) and reappraisal of *Schizotheca serratimargo* (Hincks, 1886). *Cahiers de Biologie Marine*, 48: 179-186.
- Harmelin JG, Bitar G, Zibrowius H (2009) Smittinidae (Bryozoa, Cheilostomata) from coastal habitats of Lebanon (Mediterranean Sea), including new and non-indigenous species. *Zoosystema*, 31: 163-187.
- Harmelin JG, Boury-Esnault N, Fichez R, Vacelet J, Zibrowius H (2003) Peuplement de la grotte sous-marine de l'île de Bagaud (Parc national de Port-Cros, France, Méditerranée). *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 19: 117-134.

- Harmelin JG, Ostrovsky A, Cáceres-Chamizo J, Sanner J (2011) Bryodiversity in the tropics: taxonomy of *Microporella* species (Bryozoa, Cheilostomata) with personate maternal zooids from Indian Ocean, Red Sea and southeast Mediterranean. *Zootaxa*, 2798: 1-30.
- Harmelin JG, Vacelet J (1997) Clues to deep-sea biodiversity in a nearshore cave. *Vie et Milieu*. 47: 351-354.
- Harmelin JG, Vacelet J, Vasseur P (1985) Les grottes sous-marines obscures: un milieu extrême et un remarquable biotope refuge. *Téthys*, 11: 214-229.
- Hayward PJ (1974) Studies on the cheilostome bryozoan fauna of the Aegean island of Chios. *Journal of Natural History*, 8: 369-402.
- Herler J, Patzner RA, Ahnelt H, Hilgers H (1999) Habitat selection and ecology of two speleophilic gobiid fishes (Pisces: Gobiidae) from the western Mediterranean Sea. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 20: 49-62.
- Hobbs HH (1994) Biogeography of subterranean decapods in North and Central America and the Caribbean region (Caridea, Astacidea, Brachyura). *Hydrobiologia*, 287: 95-104.
- Holenstein C, Zlot R, Bosse M (2011) Watertight surface reconstruction of caves from 3D laser data. *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent RObots and Systems (IROS 2011)*. San Francisco, pp 3830-3837.
- Holon F, Boissery P, Deter J (2014) Environmental factors explaining taxonomic heterogeneity of coralligenous outcrops across France (northwestern Mediterranean). In: Bouafif C, Langar H, Ouerghi A (Eds) *Proceedings of the 2nd Mediterranean symposium on the conservation of coralligenous and other calcareous bio-Concretions*. RAC/SPA, Tunis, pp 78-83.
- Hooper JNA (2000) 'Sponguide'. *Guide to sponge collection and identification*. Available at <<http://www.qmuseum.qld.gov.au/organisation/sections/SessileMarineInvertebrates>>.
- Hooper JNA, Kennedy JA, Quinn RJ (2002) Biodiversity 'hotspots', patterns of richness and endemism, and taxonomic affinities of tropical Australian sponges (Porifera). *Biodiversity and Conservation*, 11: 851-885.
- Hooper JNA, van Soest RWM (2002) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 1708 p.
- Huang JP, McClintock JB, Amsler CD, Huang YM (2008) Mesofauna associated with the marine sponge *Amphimedon viridis*. Do its physical or chemical attributes provide a prospective refuge from fish predation? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 362: 95-100.
- I**
- Iliffe TM, Bowen C (2001) Scientific cave diving. *Marine Technology Society Journal*, 35: 36-41.
- Iliffe TM, Hart CW, Manning RB (1983) Biogeography and the caves of Bermuda. *Nature*, 302: 141-142.
- Iliffe TM, Kornicker LS (2009) Worldwide diving discoveries of living fossil animals from the depths of anchialine and marine caves. *Smithsonian contributions to the marine sciences*, 38: 269-280.
- J**
- Janssen A, Chevaldonné P, Arbizu PM (2013) Meiobenthic copepod fauna of a marine cave (NW Mediterranean) closely resembles that of deep-sea communities. *Marine Ecology Progress Series*, 479: 99-113.
- Jaubert J (1971) Benthos: étude et mesure de l'éclairement. Etude et mesure d'un facteur écologique: l'éclairement Réalisation d'un appareil enregistreur. *Téthys*, 3: 205-246.
- Jaume D (1997) First record of Superornatiremidiae (Copepoda: Harpacticoida) from Mediterranean waters, with description of three new species from Balearic anchihaline caves. *Scientia Marina*, 61: 131-152.
- Jaume D, Boxshall GA (1996) Rare cyclopoid copepods (Crustacea) from Mediterranean littoral caves. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology*, 62: 83-99.

Jaume D, Fosshagen A, Iliffe TM (1999) New cave-dwelling pseudocyclopiids (Copepoda: Calanoida: Pseudocyclopiidae) from the Balearic, Canary and Philippine archipelagos. *Sarsia*, 84: 391-417.

Jones CG, Lawton JH, Shachak M (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373-386.

K

Katsanevakis S, Acar Ü, Ammar I, Balci BA, Bekas P, Belmonte M, Chintiroglou CC, Consoli P, Dimiza M, Fryganiotis K, Gerovasileiou V, Gnisci V, Gülşahin N, Hoffman R, Issaris Y, Izquierdo-Gomez D, Izquierdo-Muñoz A, Kavadas S, Koehler L, Konstantinidis E, Mazza G, Nowell G, Önal U, Özen MR, Pafilis P, Pastore M, Perdikaris C, Poursanidis D, Prato E, Russo F, Sicuro B, Tarkan AN, Thessalou-Legaki M, Tiralongo F, Triantaphyllou M, Tsiamis K, Tunçer S, Turan C, Türker A, Yapici S (2014a) New Mediterranean Biodiversity Records (October, 2014). *Mediterranean Marine Science*, 15: 667-687.

Katsanevakis S, Bogucarskis K, Gatto F, Vandekerkhove J, Deriu I, Cardoso AC (2012) Building the European Alien Species Information Network (EASIN): a novel approach for the exploration of distributed alien species data. *Bioinvasions Records*, 1: 235-245.

Katsanevakis S, Wallentinus I, Zenetos A, Leppäkoski E, Çınar ME, Oztürk B, Grabowski M, Golani D, Cardoso AC (2014b) Impact of marine invasive alien species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. *Aquatic Invasions*, 9: 391-423.

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: e27103.

Klitgaard A (1991) *Gnathia abyssorum* (GO Sars, 1872) (Crustacea, Isopoda) associated with sponges. *Sarsia*, 76: 33-39.

Klitgaard A (1995) The fauna associated with outer shelf and upper slope sponges (Porifera, Demospongiae) at the Faroe Islands, northeastern Atlantic. *Sarsia*, 80: 1-22.

Kohler KE, Gill SM (2006) Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences*, 32: 1259-1269.

Koukouras A, Russo A, Voultziadou-Koukoura E, Arvanitidis C, Stefanidou D (1996) Macrofauna associated with sponge species of different morphology. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 17: 569-582.

Koukouras A, Russo A, Voultziadou-Koukoura E, Dounas C, Chintiroglou C (1992) Relationship of sponge macrofauna with the morphology of their hosts in the north Aegean Sea. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 77: 609-619.

Koukouras A, Voultziadou-Koukoura E, Chintiroglou H, Dounas C (1985) Benthic bionomy of the North Aegean Sea, III. A comparison of the macrobenthic animal assemblages associated with seven sponge species. *Cahiers de Biologie Marine*, 26: 301-319.

Kovačić M (1999) *Gammogobius steinitzi* Bath, 1971, a fish new to the Adriatic Sea. *Natura Croatica*, 8: 1-7.

Krsinic F (2005) *Speleohvarella gamulini* gen. et sp. nov., a new copepod (Calanoida, Stephidae) from an anchialine cave in the Adriatic Sea. *Journal of Plankton Research*, 27: 607-615.

Kunzmann K (1996) Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna. *Berichte zur Polarforschung*, 210: 1-93.

Λ

Λεγάκις Α, Μαραγκού Π (2009) *Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας*. Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα, 528 σελ.

L

- Labate M (1965) Ecologia dei Poriferi della grotta della Regina (Adriatico meridionale). *Bollettino di Zoologia*, 32: 541-553.
- Labate M, D'Addabbo Gallo M (1974) Sur l'inquinisme chez *Petrosia ficiformis* Poiret et chez *Stelletta grubii* Schmidt (Porifera, Demospongia) de la cote adriatique de la Pouille. Analyses quantitatives et qualitatives. *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 22: 49.
- Laborel J (1960) Contribution a l'étude des peuplements benthiques sciaphiles sur substrat rocheux en Méditerranée. *Recueil des travaux de la Station marine d'Endoume*, 33: 117-173.
- Laborel J (1961) Le concretionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Recueil des travaux de la Station marine d'Endoume*, 23: 37-60.
- Laborel J, Vacelet J (1958) Étude des peuplements d'une grotte sous-marine du Golfe de Marseille. *Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco*, 1120: 1-20.
- Laborel J, Vacelet J (1959) Les grottes sous-marines obscures en Méditerranée. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 248: 2619-2621.
- Ledoyer M (1965) Note sur la faune vagile des grottes sous-marines obscures. *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 18: 121-124.
- Lejeusne C, Chevaldonné P (2006) Brooding crustaceans in a highly fragmented habitat: the genetic structure of Mediterranean marine cave-dwelling mysid populations. *Molecular Ecology*, 15: 4123-4140.
- Lewin J, Woodward JC (2009) Karst geomorphology and environmental change. In: Woodward JC (Ed) *The physical geography of the Mediterranean*. Oxford University Press, Oxford, pp 287-317.
- Lloret J, Marín A, Marín-Guirao L, Carreño FM (2006) An alternative approach for managing scuba diving in small marine protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 579-591.
- Logan A, Bianchi CN, Morri C, Zibrowius H (2004) The present-day Mediterranean brachiopod fauna diversity, life habits, biogeography and paleobiogeography. *Scientia Marina*, 68: 163-170.
- Logan A, Zibrowius H (1994) A new genus and species of rhynchonellid (Brachiopoda, recent) from submarine caves in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 15: 77-88.
- Lykousis V, Chronis G, Tselepides A, Price NB, Theocharis A, Siokou-Frangou I, Van Wambeke F, Danovaro R, Stavrakakis S, Duineveld G, Georgopoulos D, Ignatiades L, Souvermezoglou A, Voutsinou-Taliadouri F (2002) Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 33-34: 313-334.

M

- Macintyre IG, Rützler K, Norris JN, Fauchald K (1982) A submarine cave near Columbus Cay, Belize: A bizarre cryptic habitat. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*, 12: 12-141.
- Maldonado M, Uriz MJ (1995) Biotic affinities in a transitional zone between the Atlantic and the Mediterranean - a biogeographical approach based on sponges. *Journal of Biogeography*, 22: 89-110.
- Maldonado M, Uriz MJ (1999) Sexual propagation by sponge fragments. *Nature*, 398: 476.
- Maldonado M, Young CM (1996) Bathymetric patterns of sponge distribution on the Bahamian slope. *Deep Sea Research*, 43: 897-915.
- Manconi R, Cadeddu B, Ledda F, Pronzato R (2013) An overview of the Mediterranean cave-dwelling horny sponges (Porifera, Demospongiae). *Zookeys*, 281: 1-68.

- Manconi R, Ledda FD, Serusi A, Corso G, Stocchino GA (2009) Sponges of marine caves: notes on the status of the Mediterranean palaeoendemic *Petrobiona massiliana* (Porifera: Calcarea: Lithonida) with new records from Sardinia. *Italian Journal of Zoology*, 76: 306-315.
- Manconi R, Serusi A (2008) Rare sponges from marine caves: discovery of *Neophrissospongia nana* nov sp (Demospongiae, Corallistidae) from Sardinia with an annotated checklist of Mediterranean lithistids. *Zookeys*, 4: 71-87.
- Manconi R, Serusi A, Pisera A (2006) A new Mediterranean 'lithistid' sponge, *Aciculites mediterranea* sp nov (Porifera : Demospongiae) from a dark marine cave in Sardinia. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86: 691-698.
- Mariani S, Uriz MJ, Turón X, Alcoverro T (2006) Dispersal strategies in sponge larvae: integrating the life history of larvae and the hydrologic component. *Oecologia*, 149: 174-184.
- Martí R, Uriz MJ, Ballesteros E, Turón X (2004a) 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 United Kingdom* 84: 557-572.
- Martí R, Uriz MJ, Ballesteros E, Turón X (2004b) Temporal variation of several structure descriptors in animal dominated benthic communities in two Mediterranean caves. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84, 573 - 580.
- Mastrototaro F, D'Onghia G, Corriero G, Matarrese A, Maiorano P, Panetta P, Gherardi M, Longo C, Rosso A, Sciuto F, Sanfilippo R, Gravili C, Boero F, Taviani M, Tursi A (2010) Biodiversity of the white coral bank off Cape Santa Maria di Leuca (Mediterranean Sea): an update. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57: 412-430.
- MIATT-CoNISMa (2010) *Studio degli ambienti di grotte marine sommerse (codice Habitat 8330) nelle aree marine protette di Pelagie, Plemmirio e Capo Caccia*. MIATT-CoNISMa Technical report, Rome, 337 p.
- Micael J, Azevedo JMN, Costa AC (2006) Biological characterisation of a subtidal tunnel in São Miguel Island (Azores). *Biodiversity and Conservation*, 15: 3675-3684.
- Milazzo M, Chemello R, Badalamenti F, Camarda R, Riggio S (2002) The impact of human recreational activities in Marine Protected Areas: what lessons should be learnt in the Mediterranean Sea? *Marine Ecology*, 23: 280-290.
- Monteiro-Marques V (1981) Peuplements des planchers envasés de trois grottes sous-marines de la région de Marseille. Étude préliminaire. *Téthys*, 10: 89-96.
- Morri C, Cinelli F, Bianchi CN (1994) Sessile epifauna gigantism in a submarine cave with sulphur springs. *Cave Diving*, 6: 4-9.
- Morri C, Puce S, Bianchi CN, Bitar G, Zibrowius H, Bavestrello G (2009) Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the Levant Sea (mainly Lebanon), with emphasis on alien species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89: 49-62.
- Moscatello S, Belmonte G (2007) The plankton of a shallow submarine cave ('Grotta di Ciolo', Salento Peninsula, SE Italy). *Marine Ecology*, 28: 47-59.
- Muricy G, Boury-Esnault N, Bézac C, Vacelet J (1996a) Cytological evidence for cryptic speciation in Mediterranean *Oscarella* species (Porifera, Homoscleromorpha). *Canadian Journal of Zoology*, 74: 881-896.
- Muricy G, Boury-Esnault N, Bézac C, Vacelet J (1998) Taxonomic revision of the Mediterranean *Plakina* Schulze (Porifera, Demospongiae, Homoscleromorpha). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 124: 169-203.
- Muricy G, Solé-Cava AM, Thorpe JP, Boury-Esnault N (1996b) 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.

N

- Navarro-Barranco C, Guerra-García JM, Sánchez-Tocino L, García-Gómez JC (2014a) Mobile epifaunal community in marine caves: does it differ from open habitats? *Aquatic Biology*, 20: 101-109.
- Navarro-Barranco C, Guerra-García JM, Sánchez-Tocino L, García-Gómez JC (2014b) Unnoticed inhabitants of marine caves: amphipod assemblages in caves of the Alboran sea. In: Bouafif C, Langar H, Ouerghi A (Eds) *Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of dark habitats*. RAC/SPA, Tunis, pp 51-56.
- Navarro-Barranco C, Guerra-García JM, Sánchez-Tocino L, García-Gómez JC (2012) Soft-bottom crustacean assemblages in Mediterranean marine caves: the cave of Cerro-Gordo (Granada, Spain) as case study. *Helgoland Marine Research*, 6: 567-576.
- 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.
- Novosel M, Jalžić B, Novosel A, Pasaric M, Požar-Domac A, Radic I (2007) Ecology of an anchialine cave in the Adriatic Sea with special reference to its thermal regime. *Marine Ecology*, 28: 3-9.
- Nunes AL, Katsanevakis S, Zenetos A, Cardoso AC (2014) Gateways to alien Invasions in the European Seas. *Aquatic Invasions*, 9: 133-144.

O

- OCEANA (2009) *Threatened species. Proposal for their protection in Europe and Spain*. Oceana-Obra Social La Caixa, 120 p.
- Olenin S, Leppäkoski E (1999) Non-native animals in the Baltic Sea: alteration of benthic habitats in coastal inlets and lagoons. *Hydrobiologia*, 393: 233-243.
- Olsford F, Brattegard T, Holthe T (2003) Polychaetes as surrogates for marine biodiversity: lower taxonomic resolution and indicator groups. *Biodiversity & Conservation*, 12: 1033-1049.
- Olsford F, Somerfield PJ (2000) Surrogates in marine benthic investigations-which taxonomic unit to target? *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7: 25-42.
- Olson DB, Kourafalou VH, Johns WE, Samuels G, Veneziani M (2007) Aegean surface circulation from a satellite-tracked drifter array. *Journal of Physical Oceanography*, 37: 1898-1917.
- Onorato R, Denitto F, Belmonte G (1999) Le grotte marine del Salento: classificazione, localizzazione e descrizione. *Thalassia Salentina*, 23: 67-116.
- Otero M, Cebrian E, Francour P, Galil B, Savini D (2013) *Monitoring marine invasive species in Mediterranean marine protected areas (MPAs): a strategy and practical guide for managers*. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, MedPAN Collection, Malaga, 136 p.

P

- Pansini M (1970) Inquilinismo in *Spongia officinalis*, *Ircinia fasciculata* e *Petrosia ficiformis* della Riviera Ligure di Levante. *Bolletino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*, 38: 5-17.
- Pansini M (1984) Notes on some Mediterranean *Axinella* with description of two new species. *Bolletino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*, 50-51: 79-98.
- Pansini M (1996) *Petrosia pulitzeri* n. sp. (Porifera, Demospongiae) from Mediterranean caves. *Italian Journal of Zoology*, 63: 169-172.
- Pansini M, Longo C (2003) A review of the Mediterranean sea sponge biogeography with, in appendix, a list of the demosponges hitherto recorded from this sea. *Biogeographia*, 24: 59-90.
- Pansini M, Pesce GL (1998) *Higginsia ciccaresei* sp. nov. (Porifera: Demospongiae) from a marine cave on the Apulian coast (Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78: 1083-1091.
- Pansini M, Pronzato R (1982) Distribuzione ed ecologia dei Poriferi nella grotta di Mitigliano (Penisola Sorrentina). *Bolletino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*, 50: 287-293.

- Pansini M, Pronzato R, Fresi E, Cinelli F, Mazzella L, Ponticelli M (1977) Evoluzione delle biocenosi bentoniche di substrato duro lungo un gradiente di luce in una grotta marina superficiale. In: Fresi E, Cinelli F (Eds) *Atti del IX Congresso della Società Italiana di Biologia Marina*, Lacco Ameno d'Ischia, La Seppia, Firenze, pp 315-330.
- Parravicini V, Guidetti P, Morri C, Montefalcone M, Donato M, Bianchi CN (2010) Consequences of sea water temperature anomalies on a Mediterranean submarine cave ecosystem. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 86: 276-282.
- Pastore M, Denitto F (2002) Occurrence of *Herbstia nitida* Manning & Holthuis, 1981 in the Otranto Channel. *Proceedings of the 8th Colloquium Crustacea Decapoda Mediterranea*, Corfu, pp 80.
- Pearse AS (1950) Notes on the inhabitants of certain sponges at Bimini. *Ecology*, 31: 149-150.
- Pérès JM (1967) Mediterranean Benthos. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 5: 449-533.
- Pérès JM, 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 JM, Picard J (1951) Nouvelle carte des fonds du Golfe de Marseille. *Vie et Milieu*, 1-7.
- Pérès JM, 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.
- Pérès JM, Picard J (1958) Recherches sur les peuplements benthiques de la Méditerranée nord-orientale. *Annales de l'Institut océanographique*, 34: 213-291.
- Pérès JM, Picard J (1964) Nouveau manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 47: 3-137.
- Pérez T, Garrabou J, Sartoretto S, Harmelin JG, Francour P, Vacelet J (2000) Mortalité massive d'invertébrés marins : un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323: 853-865.
- Pérez T, Ivanisevic J, Dubois M, Pedel L, Thomas OP, Tokina D, Ereskovsky AV (2011) *Oscarella balibaloï*, a new sponge species (Homoscleromorpha: Plakinidae) from the Western Mediterranean Sea: cytological description, reproductive cycle and ecology. *Marine Ecology – An Evolutionary Perspective*, 32: 174-187.
- Pérez T, Vacelet J, Bitar G, Zibrowius H (2004) Two new lithistids (Porifera : Demospongiae) from a shallow eastern Mediterranean cave (Lebanon). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84: 15-24.
- Pisera A, Vacelet J (2011) Lithistid sponges from submarine caves in the Mediterranean: taxonomy and affinities. *Scientia Marina*, 75: 17-40.
- Poole DR, Abbot BA, Green RT (2011) Mapping borehole-accessed karst solutional features and culvert conduits using remote sensor technology. *Proceedings of the IEEE Sensors Applications Symposium*, San Antonio, pp 29-33.
- Por DF (2009) Tethys returns to the Mediterranean: success and limits of tropical re-colonization. *BioRisk*, 3: 5-19.
- Pouliquen L (1969) Remarques sur la présence d'éponges de l'étage bathyal dans les grottes sous-marines obscures en Méditerranée. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences - Série C*, 268: 1324-1326.
- Pouliquen L (1972) Les spongiaires des grottes sous-marines de la région de Marseille. Ecologie et systématique. *Téthys*, 3: 717-758.
- Pretus JL (1990) Description of *Odontozona addaia* spec. nov. (Crustacea: Decapoda: Stenopodidae) from a marine cave in the island of Minorca, western Mediterranean. *Zoologische Mededelingen*, 63: 343-357.

- Price ARG (2002) Simultaneous 'hotspots' and 'coldspots' of marine biodiversity and implications for global conservation. *Marine Ecology Progress Series*, 241: 23-27.
- Proctor CJ, Smart PL (1989) A new survey of Kent's cavern, Devon. *Proceedings of the University of Bristol Speleological Society*, 18: 422-429.
- Pulitzer-Finali G (1970) Report on a collection of sponges from the Bay of Naples. I. Sclerospongiae, Lithistida, Tetractinellida, Epipolasida. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 38: 328-354.
- Pulitzer-Finali G (1978) Report on a collection of sponges from the Bay of Naples. III. Hadromerida, Axinellida, Poecilosclerida, Halichondrida, Haplosclerida. *Bolletino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*, 45: 7-89.
- Pulitzer-Finali G (1983) A collection of Mediterranean Demospongiae (Porifera) with, in appendix, a list of the Demospongiae hitherto recorded from the Mediterranean Sea. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale 'Giacomo Doria'*, 84: 445-621.
- Pulitzer-Finali G, Pronzato R (1977) Report on a collection of sponges from the Bay of Naples. II. Keratosa. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 40: 83-104.
- Pulitzer-Finali G, Pronzato R (1981) The Keratosa in a collection of Mediterranean sponges mainly from the Italian coasts. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale 'Giacomo Doria'*, 83: 127-158.

R

- Raitsos D, Beaugrand G, Georgopoulos D, Zenetos A, Pancucci-Papadopoulou M, Theocharis A, Papatthanasiou E (2010) Global climate change amplifies the entry of tropical species into the Eastern Mediterranean Sea. *Limnology and oceanography*, 55: 1478-1484.
- Rastorgueff PA, Bellan-Santini D, Bianchi CN, Bussotti S, Chevaldonne P, Guidetti P, Harmelin JG, Montefalcone M, Morri C, Pérez T, Ruitton S, Vacelet J, Personnic S (2014a) An ecosystem-based approach to evaluate the ecological quality of Mediterranean undersea caves. In: Bouafif C, Langar H, Ouerghi A (Eds) *Proceedings of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of dark habitats*. RAC/SPA, Tunis, pp 57-62.
- Rastorgueff PA, Chevaldonné P, Arslan D, Verna C, Lejeusne C (2014b) Cryptic habitats and cryptic diversity: unexpected patterns of connectivity and phylogeographical breaks in a Mediterranean endemic marine cave mysid. *Molecular Ecology*, 23: 2825-2843.
- Reeves W (1999) Exotic species in North American caves. *Proceedings of the 14th national cave and karst management symposium*, Southeastern Cave Conservancy, Chattanooga, Tennessee, pp 164-166.
- Reveillaud J, Allewaert C, Pérez T, Vacelet J, Banaigs B, Vanreusel A (2012) Relevance of an integrative approach for taxonomic revision in sponge taxa: case study of the shallow-water Atlanto-Mediterranean *Hexadella* species (Porifera: Ianthellidae: Verongida). *Invertebrate Systematics*, 26: 230-248.
- Ribeiro SM, Omena EP, Muricy G (2003) Macrofauna associated to *Mycale microsigmatosa* (Porifera, Demospongiae) in Rio de Janeiro State, SE Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 951-959.
- Riedl R (1959a) Turbellarien aus submarinen Höhlen. 1. Archoophora. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil VII. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 178-208.
- Riedl R (1959b) Turbellarien aus submarinen Höhlen. 2. Prolecithophora. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil VIII. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 209-304.
- Riedl R (1959c) Turbellarien aus submarinen Höhlen. 3. Seriata und Neorhabdoceola. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil IX. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 305-332.

- Riedl R (1959d) Turbellarien aus submarinen Höhlen. 4. Faunistik und Ökologie. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil X. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 331-401.
- Riedl R (1959e) Das Vorkommen von Nemertinen in unterseeischen Höhlen. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil XV. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 527-590.
- Riedl R (1966) Biologie der Meereshöhlen. Paul Parey, Hamburg, 636 p.
- Riedl R, Ozretić B (1969) Hydrobiology of marginal caves. Part I. General problems and introduction. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 54: 661-683.
- Riera T, Vives F, Gili JM (1991) *Stephos margalefi* sp. nov. (Copepoda: Calanoida) from a submarine cave of Majorca Island (western Mediterranean). *Oecología Aquática*, 10: 317-323.
- Roberts CM, Andelman S, Branch G, Bustamante RH, Castilla JC, Dugan J, Halpern BS, Lafferty KD, Leslie H, Lubchenco J, McArdle D, Possingham HP, Ruckelshaus M, Warner RW (2003) Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. *Ecological Applications*, 13: 199-214.
- Roff JC, Zacharias MA (2011) *Marine conservation ecology*. Earthscan Ltd, London, 440 p.
- Romero A (2009) *Cave biology: life in darkness*. Cambridge University Press, New York, 306 p.
- Rosell D, Uriz MJ (2002) Excavating and endolithic sponge species (Porifera) from the Mediterranean: species descriptions and identification key. *Organisms Diversity & Evolution*, 2: 55-86.
- Rosso A, Di Martino E, Sanfilippo R, Di Martino V (2013) Bryozoan communities and thanatocoenoses from submarine caves in the Plemmirio Marine Protected Area (SE Sicily). In: Ernst A, Schäfer P, Scholz J (Eds). *Bryozoan studies 2010. Lecture notes in earth system sciences*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp 251-269.
- Rützler K (1965) Die Poriferen einer sorrentiner Höhle. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia Expedition 1952 Teil XVIII. *Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology*, 176: 303-319.
- Rützler K (1976) Ecology of Tunisian commercial sponges. *Téthys*, 7: 249-264.
- Rützler K, Sarà M (1962) *Diplastrella ornata*, eine neue mediterrane Art der Familie Spirastrellidae (Demospongiae). *Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology*, 169: 231-236.
- Ruffo S (1959) Contributo alla conoscenza degli amfipodi delle grotte sottomarine. Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil XI. *Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 1-15.
- Russ K, Rützler K (1959) Zur Kenntnis der Schwammfauna unterseeischer Höhlen. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 30: 756-787.

Σ

- Συμεωνίδης Ν, Θεοδώρου Γ, Γιαννόπουλος Β (2000) Το νέο είδος *Elephas chaniensis* n. sp στις υποθαλάσσιες πλειστοκαινικές αποθέσεις του σπηλαιού Βάμου Χανίων Κρήτης. *Δελτίο Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας*, 22: 95-108.

S

- Salomidi M, Katsanevakis S, Issaris Y, Tsiamis K, Katsiaras N (2013) Anthropogenic disturbance of coastal habitats promotes the spread of the introduced scleractinian coral *Oculina patagonica* in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, 15: 1961-1971.
- Samaai T (2006) Biodiversity “hotspots” Patterns of richness and endemism, and distribution of marine sponges in South Africa based on actual and interpolation data: A comparative approach. *Zootaxa*, 1358: 1-37.
- Sarà M (1958) Studio sui Poriferi di una grotta di marea del Golfo di Napoli. *Archivio Zoologico Italiano*, 43: 203-281.
- Sarà M (1959a) Considerazioni sulla distribuzione ed ecologia dei Poriferi nelle grotte. *Annuario dell'Istituto e Museo de Zoologia dell'Università di Napoli*, 11: 1-7.

- Sarà M (1959b) Specie nuove di Demospongie provenienti da acque superficiali del golfo di Napoli. *Annuario dell'Istituto e Museo de Zoologia dell'Università di Napoli*, 11: 1-22.
- Sarà M (1960) Aspetti e problemi di una ricerca sinecologica sui Poriferi del Golfo di Napoli. *Bollettino di Zoologia*, 27: 51-65.
- Sarà M (1961a) La fauna di Poriferi delle grotte delle isole Tremiti. Studio ecologico e sistematico. *Archivio Zoologico Italiano*, 46: 1-59.
- Sarà M (1961b) Zonazione dei poriferi nella grotta della "Gaiola". *Annuario dell'Istituto e Museo de Zoologia dell'Università di Napoli*, 13: 1-32.
- Sarà M (1962a) Distribuzione ed ecologia dei Poriferi in acque superficiali del Golfo di Policastro (Mar Tirreno). *Annali del Pontificio Istituto Superiore di Scienze e Lettere S. Chiara*, 12: 191-214.
- Sarà M (1962b) Zonazione dei Poriferi in biotopi litorali. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 32: 44-57.
- Sarà M (1964) Distribuzione ed ecologia dei Poriferi in acque superficiali della Riviera Ligure di Levante. *Archivio Zoologico Italiano*, 49: 181-248.
- Sarà M (1968) Stratification des peuplements d'éponges à recouvrement total dans certaines grottes du niveau superficiel. *Rapport du Commission International de la Mer Méditerranée*, 19: 83-85.
- Sarà M, Siribelli L (1960) La fauna di Poriferi delle 'secche' del Golfo di Napoli. 1. La 'secca' della Gaiola. *Annuario dell'Istituto e Museo de Zoologia dell'Università di Napoli*, 12: 1-93.
- Sarà M, Vacelet J (1973) Écologie des Démosponges. In: Grassé PP (Ed), *Masson et Cie*, Paris, pp 462-576.
- Scheffers SR, de Goeij J, van Duyl FC, Bak RPM (2003) The cave-profiler: a simple tool to describe the 3-D structure of inaccessible coral reef cavities. *Coral Reefs*, 22: 49-53.
- Sellers WI, Chamberlain AT (1998) Ultrasonic cave mapping. *Journal of Archaeological Science*, 25: 867-873.
- Shuster S (1989) Male alternative reproductive strategies in a marine isopod crustacean (*Paracerceis sculpta*): the use of genetic markers to measure differences in fertilization success among α -, β -, and γ -males. *Evolution*, 43: 1683-1698.
- Silén L, Harmelin JG (1976) *Haplopoma sciaphilum* sp.n., a cave-living bryozoan from the Skagerrak and the Mediterranean. *Zoologica Scripta*, 5: 61-66.
- Sini M, Garrabou J, Koutsoubas D (2014) Diversity and structure of coralligenous assemblages dominated by *Eunicella cavolini* (Koch, 1887) in the Aegean Sea. In: Bouafif C, Langar H, Ouerghi A (Eds) *Proceedings of the 2nd Mediterranean symposium on the conservation of coralligenous and other calcareous bio-concretions*. RAC/SPA, Tunis, pp 171-176.
- Skliris N, Sofianos SS, Gkanasos A, Axaopoulos P, Mantziafou A, Vervatis V (2011) Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. *Advances in Oceanography and Limnology*, 2: 125-139.
- Slattery M, Gochfeld DJ, Easson CG, O'Donahue LRK (2013) Facilitation of coral reef biodiversity and health by cave sponge communities. *Marine Ecology Progress Series*, 476: 71-86.
- Southward AJ, Kennicutt MC, Alcalà-Herrera J, Abbiati M, Airoidi L, Cinelli F, Bianchi CN, Morri C, Southward EC (1996) On the biology of submarine caves with sulphur springs: appraisal of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios as a guide to trophic relations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 76: 265-285.
- Spalding MD, Fox HE, Allen GR, Davidson N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Halpern BS, Jorge MA, Lombana A, Lourie SA, Martin KD, McManus E, Molnar J, Recchia CA, Robertson J (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57: 573-583.
- Starmühlner F (1955a) Zur Molluskenfauna des Felslitorals und submariner Höhlen am Capo di Sorrento (1. Teil). Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952. Teil IV. *Österreichische Zoologische Zeitschrift*, 6: 147-249.

- Starmühlner F (1955b) Zur Molluskenfauna des Felslitorals und submariner Höhlen am Capo di Sorrento (2. Teil). Ergebnisse der Österreichischen Tyrrhenia-Expedition 1952, Teil IV. *Zoologische Zeitschrift*, 6: 631-713.
- Starmühlner F (1968) Investigations about the mollusc fauna in submarine caves. *Proceedings of the Symposium on Mollusca, Part. 1*. Marine Biological Association of India, Ernakulam, Cochin, pp 137-163.
- Stewart IS, Morhange C (2009) Coastal geomorphology and sea-level change. In: Woodward JC (Ed) *The physical geography of the Mediterranean*. Oxford University Press, Oxford, pp 385-413.
- Stock JH (1994) Biogeographic synthesis of the insular groundwater faunas of the (sub)tropical Atlantic. *Hydrobiologia*, 287: 105-117.
- Stock JH, Illiffe TM, Williams D (1986) The concept "anchialine" reconsidered. *Stygologia*, 2: 90-92.
- Streftaris N, Zenetos A (2006) Alien marine species in the Mediterranean - the 100 'worst invasives' and their impact. *Mediterranean Marine Science*, 7: 87-118.
- Surić M (2005) Submerged karst - dead or alive? Examples from the eastern Adriatic coast (Croatia). *Geoadria*, 10: 5-19.
- Surić M, Lončarić R, Lončar N (2010) Submerged caves of Croatia: distribution, classification and origin. *Environmental Earth Sciences*, 61: 1473-1480.

T

- Teixidó N, Albajes-Eizagirre A, Bolbo D, Le Hir E, Demestre M, Garrabou J, Guigues L, Gili JM, Piera J, Prelot T, Soria-Frisch A (2011a) Hierarchical segmentation-based software for cover classification analyses of seabed images (Seascape). *Marine Ecology Progress Series*, 431: 45-53.
- Teixidó N, Casas E, Cebrián E, Linares C, Garrabou J (2013) Impacts on coralligenous outcrop biodiversity of a dramatic coastal storm. *PLoS ONE*, 8: e53742.
- Teixidó N, Garrabou J, Arntz WE (2002) Spatial pattern quantification of Antarctic benthic communities using Landscape indices. *Marine Ecology Progress Series*, 242: 1-14.
- Teixidó N, Garrabou J, Harmelin JG (2011b) Low dynamics, high longevity and persistence of sessile structural species dwelling on Mediterranean coralligenous outcrops. *PLoS ONE*, 6: e23744.
- Terlizzi A, Fraschetti S, Guidetti P, Boero F (2002) The effects of sewage discharge on shallow hard substrate sessile assemblages. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 544-550.
- Todaro AM, Shirley TC (2003) A new meiobenthic priapulid (Priapulida, Tubiluchidae) from a Mediterranean submarine cave. *Italian Journal of Zoology*, 70: 79-87.
- True MA (1970) Étude quantitative de quatre peuplements sciaphiles sur substrat rocheux dans la région marseillaise. *Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco*, 69: 1-48.
- 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.
- Tsiakkuros L, Zenetos A (2011) Further additions to the alien mollusc fauna along the Cypriot coast: new opisthobranchia species. *Acta Adriatica*, 52: 115-124.
- Turon X, Coldina M, Tarjuelo I, Uriz MJ, Becerro MA (2000) Mass recruitment of *Ophiothrix fragilis* (Ophiuroidea) on sponges: settlement patterns and post-settlement dynamics. *Marine Ecology Progress Series*, 200: 201-212.
- Turon X, Martí R, Uriz MJ (2009) Chemical bioactivity of sponges along an environmental gradient in a Mediterranean cave. *Scientia Marina*, 73: 387-397.
- Tzomos T, Kitsos MS, Koutsoubas D, Koukouras A (2012) Evolution of the entrance rate and of the spatio-temporal distribution of Lessepsian Mollusca in the Mediterranean Sea. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 17: 81-96.

U

- UNEP-MAP-RAC/SPA (2008) *Action plan for the conservation of the coralligenous and other calcareous bio-concretions in the Mediterranean Sea*. RAC/SPA, Tunis, 21 p.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2013) *Draft action plan for the conservation of dark assemblages of the Mediterranean Sea*. RAC/SPA, Tunis, 14 p.
- Uriz MJ (1986) Clave de la identificación de las esponjas más frecuentes de la Península Ibérica. *Miscellanea Zoológica*, 10: 7-22.
- Uriz MJ, Rosell D, Martin D (1992) The sponge population of the Cabrera Archipelago (Balearic Islands): characteristics, distribution, and abundance of the most representative species. *Marine Ecology-Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 13: 101-117.
- Uriz MJ, Zabala M, Ballesteros E, Garcia-Rubies A, Turón X (1993) El bentos: les coves. In: Alcover JA, Ballesteros E, Fornós JJ (Eds) *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. CSIC-Moll, Palma de Mallorca, pp 731-748.

V

- 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.
- Vacelet J (1967) Quelques éponges Pharetronides et "Silico-Calcaires" de grottes sous-marines obscures. *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 42: 121-132.
- Vacelet J (1969) Eponges de la roche du large et de l'étage bathyal de Méditerranée. *Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, 59: 145-219.
- Vacelet J (1976) Les Spongiaires des grottes sous-marines obscures de la Méditerranée et des régions tropicales. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 40, 506-515.
- Vacelet J (1996) Nouvelle signalisation d'éponges profondes en Méditerranée. *Mésogée*, 55: 107-114.
- Vacelet J, Bitar G, Carteron S, Zibrowius H, Pérez T (2007) Five new sponge species (Porifera : Demospongiae) of subtropical or tropical affinities from the coast of Lebanon (eastern Mediterranean). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: 1539-1552.
- Vacelet J, Bitar G, Dailianis T, Zibrowius H, Pérez T (2008) A large encrusting clionaid sponge in the Eastern Mediterranean Sea. *Marine Ecology – An Evolutionary Perspective*, 29: 237-246.
- Vacelet J, Borchiellini C, Pérez T, Butel-Poncé V, Brouard JP, Guyot M (2000) Morphological, chemical and biochemical characterization of a new species of sponge without skeleton (Porifera, Demospongiae) from the Mediterranean Sea. *Zoosystema*, 22: 313-326.
- Vacelet J, Boury-Esnault N (1982) Une nouvelle éponge du genre *Crambe* (Demospongiae, Poecilosclerida) de Méditerranée, *C. tailliezi* n. sp. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, 8: 107-113.
- Vacelet J, Boury-Esnault N (1996) A new species of carnivorous sponge (Demospongiae: Cladorhizidae) from a Mediterranean cave. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, 66: 109-115.
- Vacelet J, Boury-Esnault N, Harmelin JG (1994) Hexactinellid cave, a unique deep-sea habitat in the scuba zone. *Deep Sea Research Part I*, 41: 965-973.
- Vacelet J, Lévi C (1958) Un cas de survivance, en Méditerranée, du groupe d'éponges fossiles des Pharétronides. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 246: 318-320.

- Vacelet J, Pérez T (1998) Two new genera and species of sponges (Porifera, Demospongiae) without skeleton from a Mediterranean cave. *Zoosystema*, 20: 5-22.
- Vacelet J, Vasseur P (1965) Spongiaires des grottes et surplombs des récifs de Tuléar (Madagascar). *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 4: 71-123.
- van Soest (1994) Demosponge distribution patterns. In: van Soest RWM, van Kempen TMG, Braekman JC (Eds) *Sponges in time and space*, Balkema Rotterdam, pp 213-223.
- van Soest RWM, Boury-Esnault N, Hooper JNA, Rützler K, de Voogd NJ, Alvarez de Glasby B, Hajdu E, Pisera AB, Manconi R, Schoenberg C, Janussen D, Tabachnick KR, Klautau M, Picton B, Kelly M, Vacelet J, Dohrmann M, Cristina Díaz M, Cárdenas P (2014) *World Porifera Database*. <<http://www.marinespecies.org/porifera>>. (Accessed 10 August 2014)
- van Soest RWM, Boury-Esnault N, Vacelet J, Dohrmann M, Erpenbeck D, De Voogd NJ, Santodomingo N, Vanhoorne B, Kelly M, Hooper JNA (2012) Global Diversity of Sponges (Porifera). *PLoS ONE*, 7: e35105.
- van Straalen NM, Roelofs D (2012) *An Introduction to Ecological Genomics*. Oxford University Press, Oxford, 363 p.
- Verdenal B, Vacelet J (1985) Sponge culture on vertical ropes in the Northwestern Mediterranean Sea. In: Rützler K (Ed) *New perspectives in sponge biology*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, pp 416-424.
- Villamizar E, Laughlin RA (1991) Fauna associated with the sponges *Aplysina archeri* and *Aplysina lacunosa* in a coral reef of the Archipiélago de Los Roques, National Park, Venezuela. In: Reitner J, Keupp H (Eds) *Fossil and recent sponges*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 522-542.
- Villora-Moreno S (1996) A new genus and species of the deep-sea family Coronarctidae (Tardigrada) from a submarine cave with a deep-sea like condition. *Sarsia*, 81: 275-283.
- Virgilio M, Airoidi L, Abbiati M (2006) Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs*, 25: 265-272.
- Vishnyakov AE, Ereskovsky AV (2009) Bacterial symbionts as an additional cytological marker for identification of sponges without a skeleton. *Marine Biology*, 156: 1625-1632.
- Voultsiadou E (2005a) Demosponge distribution in the eastern Mediterranean: a NW-SE gradient. *Helgoland Marine Research*, 59: 237-251.
- Voultsiadou E (2005b) Sponge diversity in the Aegean Sea: check list and new information. *Italian Journal of Zoology*, 72: 53-64.
- Voultsiadou E (2009) Reevaluating sponge diversity and distribution in the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 628: 1-12.
- Voultsiadou E, Dailianis T, Antoniadou C, Vafidis D, Dounas C, Chintiroglou C (2011) Aegean Bath Sponges: Historical Data and Current Status. *Reviews in Fisheries Science*, 19: 34-51.
- Voultsiadou E, Kyrodinou M, Antoniadou C, Vafidis D (2010) Sponge epibionts on ecosystem-engineering ascidians: The case of *Microcosmus sabatieri*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 86: 598-606.
- Voultsiadou E, Vafidis D (2004) Rare sponge (Demospongiae, Porifera) from the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84: 593-598.
- Voultsiadou E, Gerovasileiou V, Dailianis T (2013) Extinction trends of marine species and populations in the Aegean and adjacent ecoregions. In: Briand F (Ed) *Marine extinctions - patterns and processes, CIESM Workshop Monograph n°45*. CIESM Publisher, Monaco, pp 59-74.
- Voultsiadou-Koukoura E, Koukouras A, Eleftheriou A (1987) Macrofauna associated with the sponge *Verongia aerophoba* in the north Aegean Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 24: 265-278.

- Voultsiadou-Koukoura E, Koukouras A. (1993) Contribution to the knowledge of Keratose sponges (Dictyoceratida, Dendroceratida, Verongida: Demospongiae, Porifera) of the Aegean Sea. *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin*, 69: 57-72.
- Voultsiadou-Koukoura E, van Soest RWM (1991) *Hemiasterella aristoteliana* n. sp. (Porifera, Hadromerida) from the Aegean Sea with a discussion of the family Hemiasterellidae. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 61: 43-49.
- Voultsiadou-Koukoura E, van Soest RWM, Koukouras A (1991) *Coscinoderma sporadense* sp. n. from the Aegean Sea with comments on *Coscinoderma confragosum* (Porifera, Dictyoceratida). *Zoologica Scripta*, 20: 195-199.

W

- Ward MA (1992) Distribution of sessile marine organisms on the wall of a littoral limestone cave at Barafundle Bay, South Pembrokeshire. *Field Studies*, 8: 77-88.
- Warén A, Carrozza F, Rocchini R (1997) Description of two new species of Hyalogyrinidae (Gastropoda, Heterobranchia) from the Mediterranean. *Bollettino Malacologico*, 32: 57-66.
- Warwick RM, Clarke KR (1995) New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129: 301-305.
- Weinberg S (1975) Écologie des octocoralliaires communs du substrat dur dans la région de Banyuls-sur-Mer. *Bijdragen Tot de Dierkunde*, 45: 50-70.
- Weinberg S (1978) The minimal area problem in invertebrate communities of Mediterranean rocky substrata. *Marine Biology*, 49: 33-40.
- Westinga E, Hoetjes PC (1981) The intrasponge fauna of *Sphaciospongia vesparia* (Porifera, Demospongiae) at Curacao and Bonaire. *Marine Biology*, 62: 139-150.
- Wittmann KJ (2004) *Retromysis nura* new genus and species (Mysidacea, Mysidae, Heteromysini) from a superficial marine cave in Minorca (Balearic Islands, Mediterranean Sea). *Crustaceana*, 77: 769-783.
- WoRMS Editorial Board (2014) *World Register of Marine Species*. <<http://www.marinespecies.org>>. (Accessed 3 June 2014)
- Worthington S (1987) Review of cave surveying techniques. *Transactions of the British cave Research Association*, 14: 56-59.
- Wulff J (2006) Ecological interactions of marine sponges. *Canadian Journal of Zoology*, 84: 146-166.
- Wunsch M, Richter C (1998) The CaveCam-an endoscopic underwater videosystem for the exploration of cryptic habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 277-282.

X

- Xavier JR, van Soest RWM (2011) Diversity patterns and zoogeography of the Northeast Atlantic and Mediterranean shallow-water sponge fauna. *Hydrobiologia*, Online First.

Y

- Yokes B, Galil BS (2006) New records of alien decapods (Crustacea) from the Mediterranean coast of Turkey, with a description of a new palaemonid species. *Zoosystema*, 28: 747-755.

Z

- Zabala M, Gili JM (1985) Distribution des Bryozoaires le long d'un gradient sédimentaire dans deux grottes sous-marines du littoral de Majorque. *Rapport du Commission Internationale de la Mer Méditerranée*, 29: 137-140.
- Zabala M, Maluquer P (1988) *Illustrated keys for the classification of Mediterranean Bryozoa. Volume 4*. Treballs del Museu de Zoologia, Barcelona, 294 p.
- Zapata-Ramírez PA, Scaradozzi D, Sorbi L, Palma M, Pantaleo U, Ponti M, Cerrano C (2013) Innovative study methods for the Mediterranean coralligenous habitats. *Advances in Oceanography and Limnology*, 4: 102-119.

- Zenetos A, Gofas S, Russo G, Templado J (2004) *CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. Volume 3. Molluscs*. CIESM Publishers, Monaco, 376 p.
- Zenetos A, Gofas S, Verlaque M, Çınar ME, Garcia Raso JE, Bianchi CN, Morri C, Azzurro E, Bilecenoglu M, Froglià C, Siokou I, Violanti D, Sfriso A, San Martin G, Giangrande A, Katağan T, Ballesteros E, Ramos-Esplà A, Mastrototaro F, Ocaña O, Zingone A, Gambi MC, Streftaris N (2010) Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11: 381-493.
- Zenetos A, Pancucci-Papadopoulou MA, Zogaris S, Papastergiadou E, Vardakas L, Aligizaki K, Economou AN (2009) Aquatic alien species in Greece (2009): tracking sources, patterns and effects on the ecosystem. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 12: 135-172.
- Zenetos A, Gofas S, Morri C, Rosso A, Violanti D, Garcia Raso JE, Çınar ME, Almogi-Labin A, Ates AS, Azzurro E, Ballesteros E, Bianchi CN, Bilecenoglu M, Gambi MC, Giangrande A, Gravili C, Hyams-Kaphzan O, Karachle PK, Katsanevakis S, Lipej L, Mastrototaro F, Mineur F, Pancucci-Papadopoulou MA, Ramos-Esplà A, Salas C, San Martin G, Sfriso A, Streftaris N, Verlaque M (2012) Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways. *Mediterranean Marine Science*, 13: 328-352.
- Zervakis V, Theocharis A, Georgopoulos D (2005) Circulation and hydrography of the open seas. In: Papathanasiou E, Zenetos A (Eds) *State of the Hellenic Marine Environment*. Hellenic Center for Marine Research Publications, Athens, pp 104-110.
- Zibrowius H (1968) Étude morphologique, systématique et écologique des Serpulidae (Annelida Polychaeta) de la région de Marseille. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 43: 81-252.
- Zibrowius H (1971) Remarques sur la faune sessile des grottes sous-marines et de l'étage bathyal en Méditerranée. *Rapport du Commission International de la Mer Méditerranée*, 20: 243-245.
- Zibrowius H (1978) Les Scleractiniaires des grottes sous-marines en Méditerranée et dans l'Atlantique nord-oriental (Portugal, Madère, Canaries, Açores). *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, 40: 516-545.
- Zibrowius H (1980) Les scléactiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-oriental. *Mémoires de l'Institut Océanographique*, Musée océanographique de Monaco, Monaco, 196 p.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ



8.1. Παράρτημα Α

Πίνακας Α1 Είδη που καταγράφηκαν στα σπήλαια που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (1: Τρύπια Σπηλιά, 2: Φαρά, 3: Άγιος Βασίλειος, 4: Φτελιό, CE: είσοδος σπηλαίου, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη, †πρώτη αναφορά από Μεσογειακά υποθαλάσσια σπήλαια, *πρώτη αναφορά από υποθαλάσσια σπήλαια του Βόρειου Αιγαίου, ‡αλλόχθονα είδη, ** απειλούμενα/προστατευόμενα είδη και εμπορικά είδη των οποίων η εκμετάλλευση υπόκειται σε διαχειριστικά μέτρα από την εθνική/διεθνή νομοθεσία).

Table A1 List of taxa recorded in the studied marine caves of the North Aegean Sea (1: Trypia Spilia cave, 2: Fara cave, 3: Agios Vasiliios cave, 4: Ftelio cave, CE: cave entrance, SD: semidark zone; D: dark zone, †first record from marine caves, *first record for the marine cave biodiversity of the North Aegean Sea, ‡alien species, ** threatened/protected species and species with exploitation regulated by national / international legislation).

Τάξη	Σπήλαιο	Ζώνη
Βασίλειο Chromista		
Φύλο Ochrophyta		
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V. Lamouroux	1*	CE
<i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy	1*	CE
<i>Zanardinia typus</i> (Nardo) P.C.Silva	1*	CE
Φύλο Foraminifera		
<i>Miniacina miniacea</i> (Pallas, 1766)	1, 2, 3*	CE, SD, D
Βασίλειο Plantae		
Φύλο Chlorophyta		
<i>Codium bursa</i> (Olivi) C.Agardh	2*	CE
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin	1, 2,*	CE
<i>Palmophyllum crassum</i> (Naccari) Rabenhorst	1, 2, 3	CE, SD
<i>Valonia macrophysa</i> Kützting	1, 3*	CE
Φύλο Rhodophyta		
<i>Mesophyllum</i> sp.	2, 3	CE
<i>Peyssonnelia rosa-marina</i> Boudouresque & Denizot **	2, 3	CE
Βασίλειο Animalia		
Φύλο Porifera		
<i>Aaptos aaptos</i> (Schmidt, 1864)	2, 3, 4	CE, SD
<i>Acanthella acuta</i> Schmidt, 1862	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Agelas oroides</i> (Schmidt, 1864)	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Aplysilla rosea</i> (Barrois, 1876)	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Aplysina aerophoba</i> Nardo, 1843 **	3	CE, SD, D
<i>Axinella cannabina</i> (Esper, 1794) **	2	CE, SD
<i>Axinella damicornis</i> (Esper, 1794)	1, 2, 3	CE, SD
<i>Axinella</i> sp.	2, 3	SD
<i>Axinella verrucosa</i> (Esper, 1794)	1, 2	SD
<i>Bubaris</i> sp.	2	SD
<i>Cacospongia mollior</i> Schmidt, 1862	4	SD
<i>Chondrosia reniformis</i> Nardo, 1847	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Clathrina clathrus</i> (Schmidt, 1864)	2, 3	CE, SD, D
<i>Cliona celata</i> Grant, 1826	2	CE, SD

<i>Cliona schmidti</i> (Ridley, 1881)	1, 2, 3	CE, SD
<i>Cliona viridis</i> (Schmidt, 1862)	2*	CE, SD
<i>Coscinoderma sporadense</i> Voultsiadou-Koukoura, van Soest & Koukouras, 1991	2, 3	SD
<i>Crambe crambe</i> (Schmidt, 1862)	4	CE, SD
<i>Crella</i> sp.	3	SD
<i>Dendrilla</i> sp.	2, 3	SD, D
<i>Dendroxea lenis</i> (Topsent, 1892)	2, 3	CE, SD, D
<i>Dictyonella incisa</i> (Schmidt, 1880)	1, 2, 3, 4	SD
<i>Dictyonella obtusa</i> (Schmidt, 1862)	3	SD
<i>Diplastrella bistellata</i> (Schmidt, 1862)	2	SD, D
<i>Dysidea avara</i> (Schmidt, 1862)	2	SD, D
<i>Dysidea fragilis</i> (Montagu, 1818)	2	SD
<i>Eurypon clavatum</i> (Bowerbank, 1866)	2, 3	SD, D
<i>Eurypon</i> sp.	3	D
<i>Fasciospongia cavernosa</i> (Schmidt, 1862)	1, 3	CE, SD
<i>Geodia cydonium</i> (Jameson, 1811) **	4	SD
<i>Halichondria</i> sp.1	3	SD
<i>Halichondria</i> sp.2	4	CE
<i>Halichondrida</i> sp.	2, 3	SD, D
<i>Haliclona (Gellius) microsigma</i> (Babic, 1922)	2	D
<i>Haliclona (Halichoclona) fulva</i> (Topsent, 1893)	2, 3	CE, SD, D
<i>Haliclona (Halichoclona) perlucida</i> (Griessinger, 1971)	2	SD
<i>Haliclona (Reniera) mediterranea</i> Griessinger, 1971	2	CE
<i>Haliclona (Soestella) mucosa</i> (Griessinger, 1971)	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Haliclona</i> sp.1	1	SD, D
<i>Haliclona</i> sp.2	2	SD
<i>Haliclona</i> sp.3	2	D
<i>Haliclona</i> sp.4	1	SD, D
<i>Hexadella</i> sp.	2, 3	SD, D
<i>Hexadella pruvoti</i> Topsent, 1896	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Hexadella racovitzae</i> Topsent, 1896	2, 3	CE, SD, D
<i>Hyrtilis collectrix</i> (Schulze, 1880)	2	CE
<i>Ircinia oros</i> (Schmidt, 1864)	1, 2, 4	CE, SD
<i>Ircinia paucifilamentosa</i> Vacelet, 1961	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Ircinia variabilis</i> (Schmidt, 1862)	1, 2, 4	CE, SD
<i>Jaspis johnstonii</i> (Schmidt, 1862)	1, 2, 3, 4	CE, SD
<i>Jaspis</i> sp.	3	D
<i>Myrmekioderma spelaeum</i> (Pulitzer-Finali, 1983)	1, 2	SD, D
<i>Lithistida</i> sp.	1*	SD
<i>Oceanapia</i> sp.	2	SD
<i>Oscarella balibalo</i> Pérez, Ivanisevic, Dubois, Pedel, Thomas, Tokina & Ereskovsky, 2011	2, 3	CE, SD
<i>Oscarella microlobata</i> Muricy, Boury-Esnault, Bézac & Vacelet, 1996	2	D
<i>Oscarella tuberculata</i> (Schmidt, 1868)	2, 3	CE, SD
<i>Penares euastrum</i> (Schmidt, 1868)	2, 3	CE, SD, D
<i>Penares helleri</i> (Schmidt, 1864)	2	SD
<i>Petrosia (Petrosia) ficiformis</i> (Poiret, 1789) **	1, 2, 4	CE, SD, D
<i>Petrosia (Strongylophora) vansoesti</i> Boury-Esnault, Pansini & Uriz, 1994	1	SD, D
<i>Phorbis tenacior</i> (Topsent, 1925)	1, 2, 3, 4	CE, SD
<i>Phorbis topsenti</i> Vacelet & Pérez, 2008	3	CE
<i>Plakina bowerbanki</i> (Sarà, 1960)	2, 3	CE, SD, D
<i>Plakina monolopha</i> Schulze, 1880	3	SD, D
<i>Plakina</i> sp.1	2, 3	SD, D

<i>Plakina trilopha</i> Schulze, 1880	3	CE, SD, D
Plakinidae sp.1	2	D
<i>Pleraplysilla spinifera</i> (Schulze, 1879)	1, 2, 3	CE, SD
<i>Protosuberites rugosus</i> (Topsent, 1893)	2	D
<i>Pseudocortidium jarrei</i> Boury-Esnault, Muricy, Gallissian & Vacelet, 1995	2, 3	CE, SD, D
<i>Raspaciona aculeata</i> (Johnston, 1842)	2, 3*	CE, SD
<i>Sarcotragus foetidus</i> Schmidt, 1862 **	1, 2, 3	CE, SD
<i>Sarcotragus spinosulus</i> Schmidt, 1862	4	SD
<i>Spirastrella cunctatrix</i> Schmidt, 1868	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Spongia (Spongia) nitens</i> (Schmidt, 1862)	2, 3	SD
<i>Spongia (Spongia) officinalis</i> Linnaeus, 1759 **	1, 2, 4	CE, SD
<i>Spongia (Spongia) virgultosa</i> (Schmidt, 1868)	2, 3	CE, SD, D
<i>Spongionella pulchella</i> (Sowerby, 1804)	2	SD
<i>Spongisorites</i> sp.1	2	CE, SD
<i>Sycon elegans</i> (Bowerbank, 1845)	3*	SD, D
<i>Terpios gelatinosa</i> (Bowerbank, 1866)	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766) **	2	CE
<i>Thymosiopsis cuticulatus</i> Vacelet & Pérez, 1998	1, 2	CE, SD, D
<i>Timea geministellata</i> Pulitzer-Finali, 1978	4	CE
<i>Timea</i> sp.1	3	D
<i>Timea unistellata</i> (Topsent, 1892)	2, 3	CE, SD, D
Φύλο Cnidaria		
<i>Actinia prasina</i> Gosse, 1860 †	4*	SD
<i>Calliactis parasitica</i> (Couch, 1842)	1*	SD
<i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878) **	2, 3*	CE, SD, D
<i>Ceratotrochus magnaghii</i> Cecchini, 1914 **	2, 3*	D
<i>Cerianthus membranaceus</i> (Spallanzani, 1784)	2	CE, SD, D
<i>Eudendrium</i> sp.	2, 3	CE
<i>Hoplanguia durotrix</i> Gosse, 1860	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Leptopsammia pruvoti</i> Lacaze-Duthiers, 1897 **	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Madracis pharensis</i> (Heller, 1868) **	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842) **	2, 3*	SD, D
<i>Phyllangia americana mouchezii</i> (Lacaze-Duthiers, 1897) **	2*	CE, SD, D
<i>Polycyathus muelleriae</i> (Abel, 1959) **	1, 2*	SD, D
<i>Rhizostoma pulmo</i> (Macri, 1778) †	1*	SD
Φύλο Ctenophora		
Ctenophora indet.	1*	SD
Φύλο Platyhelminthes		
<i>Stylochus</i> sp.	2	SD
Φύλο Nemertea		
Nemertea indet.	2, 3*	SD, D
Φύλο Nematoda		
Nematoda indet.	2, 3*	SD, D
Φύλο Arthropoda		
Υποφύλο Crustacea		
Anomura sp.1	2, 3*	SD
<i>Athanas nitescens</i> (Leach, 1814)	2, 3*	SD

<i>Chthamalus</i> sp.	1*	CE, SD
<i>Colomastix pusilla</i> Grube, 1861	2, 3*	CE, SD, D
Copepoda sp.1	3*	SD
Copepoda sp.2	3*	SD
Cumacea sp.	2, 3*	SD, D
<i>Dardanus calidus</i> (Risso, 1827)	1*	SD
<i>Dromia personata</i> (Linnaeus, 1758)	2*	D
<i>Eualus occultus</i> (Lebour, 1936)	2, 3*	SD
<i>Eurynome aspera</i> (Pennant, 1777)	2*	CE
<i>Galathea strigosa</i> (Linnaeus, 1761)	2	SD
<i>Gammarus subtypicus</i> Stock, 1966 †	3*	SD
<i>Gnathia vorax</i> (Lucas, 1849)	2*	CE, SD, D
<i>Herbstia condyliata</i> (Fabricius, 1787)	2, 3*	CE, SD
<i>Janira maculosa</i> Leach, 1814	2, 3*	CE, SD, D
<i>Leptocheirus bispinosus</i> Norman, 1908	2, 3*	SD, D
<i>Leptochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)	2, 3*	SD, D
<i>Leucothoe spinicarpa</i> (Abildgaard, 1789)	2, 3*	SD, D
<i>Liljeborgia dellavallei</i> Stebbing, 1906	2, 3*	CE, SD
<i>Lysianassa caesarea</i> Ruffo, 1987	2*	CE, SD
<i>Mysida</i> spp. indet.	1, 2, 3, 4*	SD, D
<i>Palaemon serratus</i> (Pennant, 1777) **	1, 4*	SD, D
<i>Palinurus elephas</i> (Fabricius, 1787) **	1, 2, 3*	CE, SD, D
<i>Paradoxapseudes intermedius</i> (Hansen, 1895) †	2, 3*	SD, D
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769	3*	SD
<i>Pilumnus minutus</i> De Haan, 1835 †	2	CE
<i>Plesionika narval</i> (Fabricius, 1787)	2, 3	D
<i>Scyllarides latus</i> (Latreille, 1802) **	2*	D
<i>Scyllarus arctus</i> (Linnaeus, 1758) **	3*	D
<i>Stenopus spinosus</i> Risso, 1826	2, 3, 4	SD, D
<i>Stenothoe</i> sp.	3*	SD
<i>Tanais dulongii</i> (Audouin, 1826)	2*	D
Φύλο Annelida		
Κλάση Polychaeta		
<i>Amphiglena mediterranea</i> (Leydig, 1851)	2*	SD
<i>Amphinome</i> sp.	3*	CE
<i>Amphitrite</i> sp.	2*	CE
<i>Boccardia polybranchia</i> (Haswell, 1885) †	2, 3*	SD, D
<i>Branchiomma bombyx</i> (Dalyell, 1853)	3*	SD
<i>Ceratonereis (Composetia) costae</i> (Grube, 1840)	3*	SD
<i>Chone collaris</i> Langerhans, 1881	2, 3*	SD, D
<i>Chrysopetalum debile</i> (Grube, 1855)	3*	SD
<i>Dipolydora armata</i> (Langerhans, 1880)	2*	SD
<i>Dodecaceria concharum</i> Örsted, 1843	3*	SD
<i>Eupolymnia nebulosa</i> (Montagu, 1818)	2*	SD
<i>Eupolymnia nesidensis</i> (Delle Chiaje, 1828)	2*	D
<i>Exogone (Exogone) naidina</i> Örsted, 1845	2*	SD
<i>Exogone</i> sp.	2*	CE
<i>Filograna</i> sp.	3*	SD
<i>Glycera tridactyla</i> Schmarda, 1861 †	2, 3*	SD
<i>Harmothoe spinifera</i> (Ehlers, 1864)	2, 3*	SD
<i>Hermodice carunculata</i> (Pallas, 1766)	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Leodice torquata</i> (Quatrefages, 1866)	2*	SD

<i>Lumbrineris funchalensis</i> (Kinberg, 1865)	3*	SD
<i>Lysidice ninetta</i> Audouin & Milne-Edwards, 1833	2*	SD
<i>Myrianida</i> sp.	3*	CE
<i>Neanthes caudata</i> (Delle Chiaje, 1827) †	3*	SD
<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	2, 3*	SD, D
<i>Notomastus latericeus</i> Sars, 1851	2*	SD
<i>Oxydromus</i> sp.	3*	SD
<i>Palola siciliensis</i> (Grube, 1840)	2*	SD
<i>Perinereis</i> sp.	2, 3*	CE
<i>Phyllodoce</i> sp.	3*	CE
Phyllodocidae sp.	2*	CE
<i>Placostegus tridentatus</i> (Fabricius, 1779)	2, 3*	SD
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1834)	2*	SD
Polychaeta sp. indet.	3*	CE
<i>Polydora hoplura</i> Claparède, 1869 †	2, 3*	SD
<i>Polyopthalmus pictus</i> (Dujardin, 1839)	2*	SD
<i>Pontogenia chrysocoma</i> (Baird, 1865)	3*	SD
<i>Potamilla torelli</i> (Malmgren, 1866)	2*	SD
<i>Prionospio malmgreni</i> Claparède, 1869 †	2*	SD
<i>Protula tubularia</i> (Montagu, 1803)	2, 3*	CE, SD, D
<i>Pseudopotamilla reniformis</i> (Bruguière, 1789)	2, 3*	SD, D
<i>Sabella spallanzanii</i> (Gmelin, 1791)	3*	CE, SD
<i>Salvatoria</i> sp.	3*	CE
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i> Southern, 1914	3*	SD
<i>Sphaerosyllis hystrix</i> Claparède, 1863	2, 3*	SD
<i>Spio filicornis</i> (Müller, 1776)	2*	SD
<i>Spiophanes</i> sp.	3*	CE
<i>Spirobranchus polytrema</i> (Philippi, 1844)	2, 3*	SD
<i>Spirorbis</i> sp.	2, 3*	CE
<i>Subadyte pellucida</i> (Ehlers, 1864)	3*	SD
<i>Syllidia armata</i> Quatrefages, 1866	2*	SD
<i>Syllis amica</i> Quatrefages, 1866	2, 3*	SD, D
<i>Syllis armillaris</i> (O.F. Müller, 1776)	2*	SD
<i>Syllis gracilis</i> Grube, 1840	3*	SD
<i>Syllis hyalina</i> Grube, 1863	2, 3*	SD
<i>Syllis variegata</i> Grube, 1860	2*	SD, D
<i>Vermiliopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)	2*	SD
<i>Vermiliopsis labiata</i> (O. G. Costa, 1861)	3*	SD
<i>Vermiliopsis monodiscus</i> Zibrowius, 1968	2, 3*	SD
Φύλο Sipuncula		
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i> Diesing, 1851	2, 3*	SD
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) granulatum</i> Leuckart, 1828	2*	SD
Φύλο Echiura		
<i>Bonellia viridis</i> Rolando, 1821	2*	D
Φύλο Mollusca		
<i>Acar clathrata</i> (Defrance, 1816)	3*	CE
<i>Barbatia barbata</i> (Linnaeus, 1758) **	2*	CE, SD
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	2*	SD
<i>Bryopa melitensis</i> (Broderip, 1834) †	2, 3*	CE, SD
<i>Chama gryphoides</i> Linnaeus, 1758	2*	SD

<i>Diodora</i> sp.	2, 3*	SD, D
<i>Felimare picta</i> (Schultz in Philippi, 1836)	3*	CE
<i>Flabellina affinis</i> (Gmelin, 1791)	1*	CE
<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767)	2, 3*	CE, SD
<i>Lithophaga lithophaga</i> (Linnaeus, 1758) **	2, 3*	CE, SD, D
<i>Luria lurida</i> (Linnaeus, 1758) **	2*	D
<i>Manupecten pesfelis</i> (Linnaeus, 1758)	2	SD
<i>Mitra</i> sp.	2	SD
<i>Modiolus barbatus</i> (Linnaeus, 1758) **	3*	CE
<i>Neopycnodonte cochlear</i> (Poli, 1795)	2, 3*	CE, SD
<i>Peltodoris atromaculata</i> Bergh, 1880	1, 2	CE, SD
<i>Pinna nobilis</i> Linnaeus, 1758 **	2*	SD
<i>Raphitoma</i> sp.	2*	CE
<i>Rocellaria dubia</i> Pennant, 1777	2, 3*	CE, SD
<i>Thuridilla hopei</i> (Vérany, 1853)	2*	CE
<i>Tylodina perversa</i> (Gmelin, 1791)	3*	CE, SD
<i>Umbraculum umbraculum</i> (Lightfoot, 1786)	1*	CE, SD
Vermetidae	3*	SD
Φύλο Bryozoa		
<i>Adeonella pallasii</i> (Heller, 1867)	1, 2, 3*	CE, SD
<i>Bugula</i> sp.	1, 2, 3*	CE, SD
<i>Crisia</i> sp.	1, 2, 3*	CE, SD
<i>Fron dipora verrucosa</i> (Lamouroux, 1821)	3*	CE, SD
<i>Hippaliosina depressa</i> (Busk, 1854)	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Myriapora truncata</i> (Pallas, 1766)	3	CE, SD
<i>Onychocella marioni</i> (Jullien, 1882)	2	D
<i>Reteporella</i> sp.	3*	CE, SD, D
<i>Rhynchozoon neapolitanum</i> Gautier, 1962	2, 3*	CE, SD
<i>Schizomavella</i> sp.	3*	CE, SD
<i>Turbicellepora coronopus</i> (Wood, 1844) †	2, 3*	CE, SD
Φύλο Brachiopoda		
<i>Novocrania anomala</i> (Müller, 1776)	2, 3*	SD, D
Φύλο Phoronida		
<i>Phoronis australis</i> Haswell, 1883 †	2*	CE
Φύλο Echinodermata		
<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)	2*	D
<i>Arbacia lixula</i> (Linnaeus, 1758)	1, 2, 3, 4*	CE, SD, D
<i>Centrostephanus longispinus</i> (Philippi, 1845) **	2, 3	CE, SD, D
<i>Hacelia attenuata</i> Gray, 1840 **	1, 2, 3	CE, SD
<i>Holothuria (Platyperona) sanctori</i> Delle Chiaje, 1823 **	1, 2, 3*	CE, SD, D
<i>Marthasterias glacialis</i> (Linnaeus, 1758)	3*	CE
<i>Ophidiaster ophidianus</i> (Lamarck, 1816) **	1, 3*	CE
<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard, 1789)	1, 2, 3*	CE, SD
<i>Peltaster placenta</i> (Müller & Troschel, 1842) †	3*	D
<i>Sphaerechinus granularis</i> (de Lamarck, 1816)	3*	CE
Φύλο Chordata		
Υποφύλο Tunicata		
<i>Didemnum</i> sp.	1*	CE, SD

<i>Halocynthia papillosa</i> (Linnaeus, 1767) **	2, 3	CE, SD
<i>Microcosmus vulgaris</i> Heller, 1877	2, 3	CE, SD
Salpidae	1*	SD
Tunicata sp.1	3*	D
Tunicata sp.2	3*	CE, SD
Υποφύλο Vertebrata		
Κλάση Actinopterygii		
<i>Anthias anthias</i> (Linnaeus, 1758) **	2, 3	CE, SD
<i>Apogon (Apogon) imberbis</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758) **	3	CE
<i>Bothus podas</i> (Delaroche, 1809) **	2*	SD
<i>Chromis chromis</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 3*	CE, SD
<i>Corcyrogobius liechtensteini</i> (Kolombatovic, 1891) **	2*	CE
<i>Coris julis</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 3	CE, SD
<i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758) **	1*	CE, SD
<i>Diplodus sargus sargus</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 2	CE, SD
<i>Diplodus vulgaris</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817) **	1, 2*	CE, SD, D
<i>Epinephelus costae</i> (Steindachner, 1878) **	2*	D
<i>Epinephelus marginatus</i> (Lowe, 1834) **	2*	CE
<i>Gobius auratus</i> Risso, 1810 †**	2, 3*	CE, SD
<i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810 **	3*	SD
<i>Mugil</i> sp. **	1, 4*	CE
<i>Mullus surmuletus</i> Linnaeus, 1758 **	1, 2*	CE, SD
<i>Muraena helena</i> Linnaeus, 1758 **	1, 3*	CE, SD
<i>Oblada melanura</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 4	CE, SD
<i>Parablennius gattorugine</i> (Linnaeus, 1758) **	4*	CE, SD
<i>Parablennius rouxi</i> (Cocco, 1833) **	2*	SD
<i>Phycis phycis</i> (Linnaeus, 1766) **	2, 3, 4	CE, SD, D
<i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus, 1758) **	2*	CE
<i>Sciaena umbra</i> Linnaeus, 1758 **	1, 2	SD, D
<i>Scorpaena maderensis</i> Valenciennes, 1833 **	2*	CE, SD
<i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758 **	2, 4*	CE, SD
<i>Scorpaena scrofa</i> Linnaeus, 1758 **	3*	CE, SD
<i>Serranus cabrilla</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 2, 3	CE, SD, D
<i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758) **	1, 2*	CE, SD, D
<i>Sparisoma cretense</i> (Linnaeus, 1758) **	1*	CE
<i>Spicara maena</i> (Linnaeus, 1758) **	3*	CE
<i>Symphodus mediterraneus</i> (Linnaeus, 1758) **	1*	SD
<i>Thorogobius ephippiatus</i> (Lowe, 1839) **	2*	CE, SD, D
<i>Tripterygion delaisi</i> Cadenat & Blache, 1970 **	4*	CE
Κλάση Aves		
<i>Alcedo atthis</i> (Linnaeus, 1758) **	1*	
Κλάση Mammalia		
<i>Monachus monachus</i> (Hermann, 1779) **	1, 4	CE, SD, D

8.2. Παράρτημα Β

Πίνακας Β1 Δείκτες ποικιλότητας που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές θέσεις (Position) του σπηλαίου Φ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, H': ποικιλότητα Shannon-Wiener).

Table B1 Diversity indices which presented statistically significant difference among different positions of Fara cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (H': Shannon-Wiener diversity).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall			
Ceiling		H'	

Πίνακας Β2 Δείκτες ποικιλότητας που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις (Distance) από την είσοδο του σπηλαίου Φ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα Shannon-Wiener, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών).

Table B2 Diversity indices which presented statistically significant difference among different distance levels from the entrance of Fara cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (S: species richness, H': Shannon-Wiener diversity, J': species evenness).

Distance	Outside	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m
Outside								
0 m								
5 m	H', J'	H'						
10 m	H', J'	J'						
15 m	H', J', S	S						
20 m	H', J'				S			
25 m	H', J'							
30 m	H'							

Πίνακας Β3. Δείκτες ποικιλότητας που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις (Distance) από την είσοδο του σπηλαίου AB σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα Shannon-Wiener, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών).

Table B3. Diversity indices which presented statistically significant difference among different distance levels from the entrance of Agios Vasilios cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (S: species richness, H': Shannon-Wiener diversity, J': species evenness).

Distance	0 m	5 m	10 m	15 m
0 m				
5 m				
10 m	S	S		
15 m	S	J'		
20 m	H', S	H', S	H', J', S	H', J', S

Πίνακας B4 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα θέση για τις κοινότητες του σπηλαίου Φ (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B4 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Position for benthic communities of Fara cave (**significance at the 0.01 level).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall	$p = 0,0047^{**}$		
Ceiling	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	

Πίνακας B5 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα της απόστασης από την είσοδο για τις κοινότητες του σπηλαίου Φ (*επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01)

Table B5 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Distance for benthic communities of Fara cave (*significance at the 0.01 level, **significance at the 0.01 level).

Distance	Outside	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m
Outside								
0 m	$p = 0,01^*$							
5 m	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0003^{**}$						
10 m	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,003^{**}$					
15 m	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0003^{**}$				
20 m	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0004^{**}$			
25 m	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0008^{**}$		
30 m	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0002^{**}$	$p = 0,0003^{**}$	$p = 0,0008^{**}$	$p = 0,07$	

Πίνακας B6 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα θέση για τις κοινότητες του σπηλαίου AB (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B6 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Position for benthic communities of Agios Vasilius cave (**significance at the 0.01 level).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall	$p = 0,0001^{**}$		
Ceiling	$p = 0,0001^{**}$	$p = 0,0001^{**}$	

Πίνακας Β7 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα της απόστασης από την είσοδο για τις κοινότητες του σπηλαίου AB (*επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01)

Table B7 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Distance for benthic communities of Agios Vasilios cave (*significance at the 0.05 level, **significance at the 0.01 level).

	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m
0 m					
5 m	p = 0,11				
10 m	p = 0,0001**	p = 0,0001**			
15 m	p = 0,0002**	p = 0,0001**	p = 0,0001**		
20 m	p = 0,0001**	p = 0,0001**	p = 0,0001**	p = 0,0003**	

Πίνακας Β8 Δείκτες ποικιλότητας των σπόγγων που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές θέσεις (Position) του σπηλαίου Φ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, S: πλούτος ειδών).

Table B8 Diversity indices which presented statistically significant difference among different positions of Fara cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test (S: species richness).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall			
Ceiling	S	S	

Πίνακας Β9 Δείκτες ποικιλότητας των σπόγγων που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις (Distance) από την είσοδο του σπηλαίου Φ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα Shannon-Wiener, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών, MD: μορφολογική ποικιλότητα).

Table B9 Sponge diversity indices which presented statistically significant difference among different distance levels from the entrance of Fara cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (S: species richness, H': Shannon-Wiener diversity, J': species evenness, MD: morphological diversity).

Distance	Outside	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m
0 m								
5 m	H', J', S, MD	H', S						
10 m	H', J', S	H', S						
15 m	S	MD	H', S, MD	H', J'				
20 m	MD	H', S, MD	H', J', S, MD	H', J', S, MD	H', S			
25 m	MD	MD	H', S, MD	H', S, MD	MD	H', S		
30 m	H', J'	MD	S, MD	S, MD	J'	H', J'		

Πίνακας B10 Δείκτες ποικιλότητας των σπόγγων που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές θέσεις (Position) του σπηλαίου AB σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, J': ομοιομορφία κατανομής ειδών).

Table B10 Sponge diversity indices which presented statistically significant difference among different positions of Agios Vasilios cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (J': species evenness).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall			
Ceiling	J'		

Πίνακας B11 Δείκτες ποικιλότητας των σπόγγων που διέφεραν στατιστικά σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές αποστάσεις (Distance) από την είσοδο του σπηλαίου AB σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Tukey's range Post-hoc test της δοκιμασίας ANOVA (S: πλούτος ειδών, H': ποικιλότητα Shannon-Wiener).

Table B11 Sponge diversity indices which presented statistically significant difference among different distance levels from the entrance of Agios Vasilios cave, based on the results of Tukey's range Post-hoc test of ANOVA (S: species richness, H': Shannon-Wiener diversity).

Distance	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m
0 m					
5 m	H'				
10 m	H'				
15 m		H', S	H', S		
20 m	H', S	H', S	H', S	H', S	

Πίνακας B12 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα θέση για τις κοινότητες σπόγγων του σπηλαίου Φ (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, *επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B12 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Position for the sponge assemblages of Fara cave (*significance at the 0.01 level, **significance at the 0.01 level).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall	p = 0,011*		
Ceiling	p = 0,001**	p = 0,001**	

Πίνακας B13 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα της απόστασης από την είσοδο για τις κοινότητες σπόγγων του σπηλαίου Φ (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, *επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B13 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Distance for the sponge assemblages of Fara cave (*significance at the 0.01 level, **significance at the 0.01 level).

Distance	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m
0 m							
5 m	$p = 0,004^{**}$						
10 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,314$					
15 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$				
20 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,002^{**}$			
25 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,006^{**}$		
30 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,002^{**}$	$p = 0,109$	
Outside	$p = 0,042^*$	$p = 0,004^{**}$	$p = 0,002^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$

Πίνακας B14 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα θέση για τις κοινότητες σπόγγων του σπηλαίου AB (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, *επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B14 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Position for the sponge assemblages of Agios Vasilios cave (*significance at the 0.01 level, **significance at the 0.01 level).

Position	Left wall	Right wall	Ceiling
Left wall			
Right wall	$p = 0,012^*$		
Ceiling	$p = 0,018^*$	$p = 0,001^{**}$	

Πίνακας B15 Αποτελέσματα των Pair-wise *a posteriori* tests της PERMANOVA ως τον παράγοντα της απόστασης από την είσοδο για τις κοινότητες σπόγγων του σπηλαίου AB (Left wall: αριστερός τοίχος, Right wall: δεξιός τοίχος, Ceiling: οροφή, *επίπεδο σημαντικότητας 0,05, **επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Table B15 Summary of Pair-wise *a posteriori* tests of PERMANOVA for the factor Distance for the sponge assemblages of Agios Vasilios cave (*significance at the 0.01 level, **significance at the 0.01 level).

	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m
0 m					
5 m	$p = 0,247$				
10 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,002^{**}$			
15 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,002^{**}$		
20 m	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	$p = 0,001^{**}$	

8.3. Παράρτημα Γ

Πίνακας Γ1 Αλλόχθονα είδη που έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου. Για κάθε είδος παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το όνομα του σπηλαίου, την τοποθεσία, τη βιβλιογραφική πηγή, τη γεωγραφική περιοχή, τη ζώνη του σπηλαίου, τον τύπο υποστρώματος, την προέλευση, το μέγεθος των επιπτώσεων και τον τρόπο εισόδου (BA: Θάλασσα Βαλεαρίδων, LS: Θάλασσα Λιγουρίας, TS: Τυρρηνική Θάλασσα, TC: Στενό Σικελίας-Τυνησίας, IS: Ιόνιο Πέλαγος, AN: Βόρεια Αδριατική, LC: Ακτές Λιβύης, NA: Βόρειο Αιγαίο, SA: Νότιο Αιγαίο, LB: Λεκάνη της Λεβαντίνης, CE: είσοδος σπηλαίου, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη, TR: μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε ημισκοτεινή και σκοτεινή, H: σκληρό υπόστρωμα, S: μαλακό υπόστρωμα, Atl: Ατλαντικός Ωκεανός, IP: Ινδο-Ειρηνικός Ωκεανός/Ερυθρά Θάλασσα, Ct: περι(υπο)τροπικό είδος, Cr: κρυπτογενές είδος, Hi: μεγάλες επιπτώσεις, L/U: μικρές/άγνωστες επιπτώσεις, Ac: υδατοκαλλιέργειες, Aq: ενυδρεία, Sh: ναυσιπλοΐα, Lm: Λεσσεψιανή μετανάστευση, Un: άγνωστο, †εύρεση σε αγχίαλα σπήλαια, *εμφάνιση με τη μορφή πλαγκτικών πολυπόδων).

Table G1 Alien species reported from Mediterranean marine caves. For each species data are given regarding the cave name, location, literature source, geographic area, cave zone, substrate type, origin, impact, and pathway of introduction (BA: Balearic Sea; LS: Ligurian Sea; TS: Tyrrhenian Sea; TC: Siculo-Tunisian Strait; IS: Ionian Sea; AN: North Adriatic; LC: Libyan Coast; NA: North Aegean; SA: South Aegean; LB: Levantine Basin; CE: cave entrance, SD: semidark zone; D: dark zone, TR: transitional zone between semidark and dark; H: hard substrate, S: soft substrate; Atl: Atlantic Ocean; IP: Red Sea/Indo-Pacific Ocean; Ct: Circum(sub)tropical; Cr: Cryptogenic; Hi: High impact, L/U: Low/Unknown impact; Ac: aquaculture; Aq: aquarium; Sh: Shipping; Lm: Lessepsian migrant; Un: unspecified; †recorded in anchihaline caves; * recorded as planktonic polyyps).

Ταξινομική ομάδα / Είδος	Σπήλαιο & Περιοχή	Βιβλιογραφική πηγή	Βιογεωγραφική περιοχή	Ζώνη σπηλαίου	Υπόστρωμα	Προέλευση	Επιπτώσεις	Τρόπος Εισόδου
Φύλο Ochrophyta								
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngbye	Cabirol, Falco και Soffio (Σαρδηνία)	MIATT-CoNISMα (2010)	BA	CE	H	Atl	Hi	Ac, Sh
Φύλο Chlorophyta								
<i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder	Scoglio di Fora (Lampedusa)	Alongi <i>et al.</i> (2012)	TC	CE	H	IP	Hi	Ac, Sh, Lm
Φύλο Rhodophyta								
<i>Acrothamnion preissii</i> (Sonder)	Granchi (Σικελία)	Alongi <i>et al.</i> (2012)	IS	CE	H	IP	Hi	Aq, Sh
<i>Asparagopsis armata</i> Harvey	Cabrera, Bisbe, Cabirol και Falco (Σαρδηνία), Granchi,	Uriz <i>et al.</i> (1993), MIATT-	BA, TC, IS, SA	CE, SD	H	IP	Hi	Ac, Sh

	Gymnasium και Mazzere (Σικελία), Scoglio di Fora και Taccio Vecchio (Lampedusa), Μικρά σπήλαια στο Σαρωνικό Κόλπο	CoNISMa (2010), Alongi <i>et al.</i> (2012), Γιάννης Ίσσαρης (προσωπική επικοινωνία)	Habitat Italia (2014)	Un	CE	H	IP	Hi	Sh	
<i>Womersleyella setacea</i> (Hollenberg)	Ιταλία									
Φύλο Cnidaria										
Κλάση Anthozoa										
<i>Oculina patagonica</i> de Angelis 1908	Σπήλαια στο Λίβανο, Bergeggi (Λιγουρία), Μικρά σπήλαια στο Σαρωνικό Κόλπο	Bitar <i>et al.</i> (2007), Salomidi <i>et al.</i> (2013)		LB, SA	CE, SD, D	H	Atl	Hi	Sh	
Κλάση Hydrozoa										
<i>Clytia linearis</i> (Thorneley 1900)	Sa Catedral και Es Faralló (Μαγιόρκα), Bisbe, Falco και Galatea (Σαρδηνία), Mitigliano cave (Κόλπος Νάπολης), Madonna, Scoglio di Fora και Taccio Vecchio (Lampedusa), Corvine, Granchi, Gymnasium, Lingua del Gigante και Mazzere (Σικελία); Ciolo και Sifone (Apulia); Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	Gili & García-Rubies (1985), MIATT-CoNISMa (2010), Balduzzi <i>et al.</i> (1989), Moscatello & Belmonte (2007), Denitto <i>et al.</i> (2007), Morri <i>et al.</i> (2009)		BA, TS, TC, IS, LB	CE, SD, D*	H	Ct	L/U	Sh, Lm	
<i>Dynamena quadridentata</i> (Ellis & Solander 1786)	Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	Morri <i>et al.</i> (2009)		LB	CE, SD	H	Ct	L/U	Lm	
<i>Eudendrium carneum</i> Clarke 1882	Σπήλαια και σήραγγες στο	Morri <i>et al.</i>		LB	CE, SD	H	Ct	L/U	Sh, Lm	

<i>Eudendrium merulum</i> Watson 1985	Λίβανο Falco (Σαρδηνία), Madonna (Lampedusa), Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	(2009) MIATT- CoNISMa (2010), Morri <i>et al.</i> (2009)	BA, IS, LB	CE, SD	H	Ct	L/U	Sh	
<i>Filellum serratum</i> (Clarke 1879)	Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	Morri <i>et al.</i> (2009)	LB	CE, SD	H	Ct	L/U	Sh	
<i>Mitrocomium medusifera</i> (Torrey 1902)	Falco (Σαρδηνία); Corvine, Gymnasium και Lingua del Gigante (Σικελία); Ciolo (Apulia)	MIATT- CoNISMa (2010), Denitto <i>et al.</i> (2009)	BA, IS	CE, SD	H	Ct	L/U	Sh	
<i>Sertularia marginata</i> (Kirchenpauer 1864)	Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	Morri <i>et al.</i> (2009)	LB	CE, SD	H	Ct	L/U	Sh, Lm	
<i>Sertularia tongensis</i> (Stechow 1919)	Σπήλαια και σήραγγες στο Λίβανο	Morri <i>et al.</i> (2009)	LB	CE, SD	H	IP	L/U	Sh, Lm	
Φύλο Mollusca									
Κλάση Bivalvia									
<i>Afrocardium richardi</i> (Audouin 1826)	Selaata cave (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	LB	Un (SD)	S	IP	L/U	Lm	
<i>Brachidontes pharaonis</i> (P. Fischer 1870) †	Catania (Σικελία), Ramkine Island, Ras El Chakaa, Selaata και Tablieh (Λίβανος)	Cantone <i>et al.</i> (1980), Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	IS, LB	CE, SD	H, S	IP	Hi	Sh, Lm	
<i>Chama asperella</i> Lamarck 1819	Jbail (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	LB	Un (SD)	S	IP	L/U	Sh	
<i>Chama pacifica</i> Broderip 1835	Ramkine Island, Ras El Chakaa, Chak El Hatab, Selaata, Kfar Abida και Jbail (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013a), Crocetta & Russo (2013)	LB	Un (SD)	H, S	IP	Hi	Sh	
<i>Malleus regula</i> (Forsskål in Niebuhr 1775)	Ramkine Island, Ras El Chakaa, Chak El Hatab, Selaata, Kfar Abida και Jbail	Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	LB	Un (SD)	H, S	IP	L/U	Sh, Lm	

	(Λίβανος)								
<i>Sphenia ruePELLII</i> A. Adams 1851	Kfar Abida (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Sh	
<i>Spondylus spinosus</i> Schreibers 1793	Selaata (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013a)	LB	Un (SD)	H	IP	Hi	Sh	
<i>Teredo navalis</i> Linnaeus 1758 †	Ziva Voda (Κροατία)	Novosel <i>et al.</i> (2007)	AN	D	S	Ct	Hi	Sh	
Κλάση Gastropoda									
<i>Acteocina mucronata</i> (Philippi 1849)	Selaata (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013b)	LB	Un (SD)	S	IP	L/U	Lm	
<i>Aplysia dactylomela</i> Rang 1828	Saadiyat (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013b)	LB	Un (SD)	H	Ct	Hi	Sh	
<i>Chelidonura fulvipunctata</i> Baba, 1938	Σπηλιά του Κύκλωπα (Πρωταράς, Κύπρος)	Tsiakkios & Zenetos (2011)	LB	Un (CE)	H	IP	L/U	Lm	
<i>Goniobranchus annulatus</i> (Eliot 1904)	Ras El Chakaa και Raoucheh (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013b)	LB	CE	H	IP	L/U	Sh, Lm	
<i>Hypselodoris infucata</i> (Rüppell & Leuckart, 1830)	Σπήλαια στο Λίβανο	Bitar <i>et al.</i> (2007)	LB	SD, D	Un	IP	L/U	Lm	
<i>Pleurobranchus forskalii</i> Rüppell & Leuckart 1828	Chak El Hatab (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013b)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Lm	
<i>Pyrunculus fourierii</i> (Audouin 1826)	Jbail (Λίβανος)	Crocetta <i>et al.</i> (2013b)	LB	Un (SD)	S	IP	L/U	Lm	
Φύλο Annelida									
Κλάση Polychaeta									
<i>Capitellethus dispar</i> (Ehlers 1907)	Grotta Azzurra (Capo Palinuro)	Akoumianaki & Hughes (2004)	TS	SD	S	IP	L/U	Sh	
<i>Ficopomatus enigmaticus</i> (Fauvel 1923) †	Orljak (Κροατία), Bue Marino (Σαρδηνία)	Cukrov <i>et al.</i> (2010)	AN, TS	D	H	Ct	Hi	Ac, Sh	
<i>Hydroides heterocerus</i> (Grube, 1868)	Rosh Haniqra (Λίβανος)	Ben-Eliahu & ten Hove (1992)	LB	CE	H	IP	L/U	Sh	
<i>Hydroides minax</i> (Grube, 1878)	Rosh Haniqra (Λίβανος)	Ben-Eliahu &	LB	CE	H	IP	L/U	Sh	

		ten Hove (1992)							
<i>Lysidice collaris</i> Grube 1870	Catania (Σικελία)	Cantone <i>et al.</i> (1980)	IS	CE	H	IP	L/U	Sh	
<i>Notomastus aberans</i> Day 1957	Grotta Azzurra (Capo Palinuro)	Akoumianaki & Hughes (2004)	TS	SD, D	S	IP	L/U	Lm	
<i>Eusyllis kupfferi</i> Langerhans, 1879	Selaata και Ramkine Island (Λίβανος)	Aguado & San Martín (2007)	LB	Un (SD)	H	Atl	L/U	Sh	
<i>Spirobranchus kraussii</i> (Baird, 1865)	Σπήλαια στο Λίβανο	Bitar <i>et al.</i> (2007)	LB	SD, D	Un	IP	L/U	Sh	
<i>Syllis cf. mayeri</i> Musco & Giangrande, 2005	Selaata και Ras el Chakaa (Λίβανος)	Aguado & San Martín (2007)	LB	Un (SD)	H	Atl	L/U	Sh	
Φύλο Arthropoda									
Κλάση Malacostraca									
Τάξη Amphipoda									
<i>Monocorophium sextonae</i> (Crawford 1937)	Bergeggi (Λιγουρία)	Diviacco (1985)	LS	SD	H	Cr	Hi	Sh	
Τάξη Decapoda									
<i>Carupa tenuipes</i> Dana, 1852	Dalyan (Τουρκία)	Yokes & Galil (2006)	SA	Un (SD)	H	IP	L/U	Lm	
<i>Herbstia nitida</i> Manning & Holthuis 1981	Ciolo (Apulia)	Pastore & Denitto (2002), Denitto <i>et al.</i> (2010)	IS	SD	H	Atl	L/U	Sh	
<i>Percnon gibbesi</i> (H. Milne Edwards 1853)	Μικρά ημιβυθισμένα σπήλαια στη Ζάκυνθο	Βασίλης Γεροβασίλειου (αδημοσίευτα στοιχεία)	IS	CE, SD	H, S	Atl	Hi	Aq, Sh	
<i>Pilumnus minutus</i> De Haan 1835	Φαρά (Λέσβος)	Παρούσα μελέτη	NA	CE	H	IP	L/U	Lm	
Κλάση Maxillopoda									
Υποκλάση Cirripedia									

<i>Balanus trigonus</i> Darwin 1854	Bergeggi (Λιγουρία)	Bianchi <i>et al.</i> (1986)	LS	TR	H	Ct	L/U	Sh
Φύλο Bryozoa								
<i>Bugula fulva</i> Ryland 1960	Verde cave (Ustica), Granchi και Mazzere (Σικελία)	Corriero <i>et al.</i> (1997a), Rosso <i>et al.</i> (2013)	TS, IS	CE, SD, D	H	Cr	L/U	Sh
<i>Microporella coronata</i> (Audouin & Savigny 1826)	Ramkine Island και Chak El Hatab (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2011)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Lm
<i>Microporella harmeri</i> Hayward 1988	Selaata (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2011)	LB	Un (SD)	H	Ct	L/U	Lm
<i>Parasmittina egyptiaca</i> (Waters 1909)	Ramkine Island, Chak El Hatab, Selaata, Kafar Abida και Tablieh shoal (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2009)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Lm
<i>Parasmittina serruloides</i> Harmelin, Bitar & Zibrowius 2009	Chak El Hatab και Selaata (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2009)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Lm
<i>Schizoretepora hassi</i> Harmelin, Bitar & Zibrowius 2007	Ras El Chakaa, Ramkine Island, Selaata, Chak El Hatab, Kafar Abida και Tablieh (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2007)	LB	SD	H	IP	L/U	Lm
<i>Smittina nitidissima</i> (Hincks 1880)	Ramkine Island, Ras El Chakaa και Selaata (Λίβανος)	Harmelin <i>et al.</i> (2009)	LB	Un (SD)	H	IP	L/U	Sh
Φύλο Chordata								
Κλάση Ascidiacea								
<i>Herdmania momus</i> (Savigny 1816)	Λίβανος; Akhziv (Ισραήλ); Μπλε σπηλιά (Καστελόριζο)	Harmelin <i>et al.</i> (2007), Gewing <i>et al.</i> (2014), Katsanevakis <i>et al.</i> (2014a)	SA, LB	SD	H	IP	Hi	Sh
<i>Phallusia nigra</i> Savigny, 1816	Σπήλαια στο Λίβανο	Bitar <i>et al.</i> (2007)	LB	SD, D	H	Ct	L/U	Sh
Κλάση Actinopterygii								
<i>Pempheris vanicolensis</i> Cuvier 1831 †	Ακτές Λεβαντίνης και	Bilecenoglu &	LB, LC, SA	CE, SD, D		IP	Hi	Lm

	νοτιοανατολικού Αιγαίου (Τουρκία), El-Kouf National Park (Κυρηναϊκή, Λιβύη); Μικρά σπήλαια στο Καστελόριζο	Taşkanak (1999), Bilecenoglu (2010), Bazairi <i>et al.</i> (2013), Γιάννης Ίσσαρης (προσωπική επικοινωνία)						
<i>Sargocentron rubrum</i> (Forsskål 1775)	Beirut (Λίβανος), Ακτές Λεβαντίνης και νοτιοανατολικού Αιγαίου (Τουρκία), Μικρά σπήλαια στο Καστελόριζο και στη Ρόδο	Riedl (1966), Bilecenoglu (2010), Katsanevakis <i>et al.</i> (2014a)	LB, SA	CE, SD, D	IP	Hi	Lm	
<i>Siganus luridus</i> (Rüppell 1829)	Taccio Vecchio cave (Lampedusa), Μικρά σπήλαια στο Καστελόριζο, Μικρά ημιβυθισμένα σπήλαια στη Ζάκυνθο	ΜΙΑΤΤ- CoNISMα (2010), Βασίλης Γεροβασίλειου (αδημοσίευτα στοιχεία)	TC, IS, SA	CE, SD	IP	Hi	Lm	

Πίνακας Γ2 Απειλούμενα, προστατευόμενα και εμπορικά είδη των οποίων η εκμετάλλευση υπόκειται σε διαχειριστικά μέτρα από την εθνική και διεθνή νομοθεσία, και τα οποία έχουν καταγραφεί σε υποθαλάσσια σπήλαια της Μεσογείου. Για κάθε είδος παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τις περιοχές στις οποίες έχει βρεθεί, τον αριθμό των σπηλαίων, την ζώνη του σπηλαίου και το καθεστώς προστασίας. AL: Θάλασσα του Αλμποράν, CC: Καταλανικές ακτές, BS: Θάλασσα των Βαlearίδων, FC: Γαλλικές ακτές, LS: Θάλασσα Λιγουρίας, TS: Τυρρηνική Θάλασσα, SS: Θάλασσα της Σαρδηνίας, TC: Στενό Σικελίας-Τυνησίας, AN: Βόρεια Αδριατική, AS: Νότια Αδριατική, IS: Ιόνιο Πέλαγος, NA: Βόρειο Αιγαίο, SA: Νότιο Αιγαίο, LB: Λεκάνη της Λεβαντίνης, CE: είσοδος σπηλαίου, SD: ημισκοτεινή ζώνη, D: σκοτεινή ζώνη, Un: άγνωστο, †εύρεση σε αγχίαλα σπήλαια, *αποκλειστικά είδη σπηλαίων.

Table Γ2 Threatened, protected and commercial species whose exploitation is regulated by national/international legislation, recorded in Mediterranean marine caves. For each species data are given concerning the areas in which it has been found, cave number, cave zone and protection status. AL: Alboran Sea, CC: Catalan coast, BS: Balearic Sea, FC: French coast, LS: Ligurian Sea, TS: Tyrrhenian Sea, SS: Sardinian Sea, TC: Siculo-Tunisian Strait, AN: North Adriatic, AS: South Adriatic, IS: Ionian Sea, NA: North Aegean, SA: South Aegean, LB: Levantine Basin, CE: cave entrance, SD: semidark zone, D: dark zone, Un: unspecified, †recorded in anchihaline caves, *cave-exclusive species.

Ταξινομική ομάδα / είδος	Περιοχές	Αριθμός περιοχών	Αριθμός σπηλαίων	Ζώνες σπηλαίων	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Φύλο Ochrophyta															
<i>Cystoseira amentacea</i> var. <i>stricta</i> Montagne †	IS, SA	2	2	Un	I			II							
<i>Cystoseira spinosa</i> Sauvageau	SA	1	1	Un	I			II							
<i>Cystoseira zosteroides</i> C.Agardh	FC	1	1	CE	I			II							
<i>Sargassum acinarium</i> (Linnaeus) Setchell	SA	1	1	Un										c, d	
Φύλο Rhodophyta															
<i>Alsidium corallinum</i> C.Agardh	SS, TS	2	5	Un										a	
<i>Griffithsia opuntioides</i> J.Agardh	TS, IS	2	3	CE										a	
<i>Lithophyllum byssoides</i> (J.V. Lamouroux) Foslie	FC, SA	2	3	CE	I			II							
<i>Lithothamnion philippii</i> Foslie	TS	1	1	Un										b, c	
<i>Mesophyllum alternans</i> (Foslie) Cabioch & M.L.Mendoza	CC, BS, FC, SS, LB	5	5	CE										b, c	
<i>Mesophyllum expansum</i> (Philippi) Cabioch & M.L.Mendoza	BS, TS, TC, AN, NA, SA	6	8	CE, SD										b, c	
<i>Nemastoma dichotomum</i> J.Agardh	TS	1	1	Un										c	
<i>Neogoniolithon mamillosum</i> (Hauck) Setchell & L.R.Mason	BS, SS, SA	3	5	CE										c	
<i>Osmundaria volubilis</i> (Linnaeus) R.E.Norris	TS	1	1	Un										c	
<i>Peyssonnelia rosa-marina</i> Boudouresque & Denizot	BS, SS, NA	3	6	CE										c	

<i>Phyllophora crispera</i> (Hudson) P.S.Dixon	BS, SS, TS, SA	4	5	CE					b, c
<i>Schizymenia dubyi</i> (Chauvin ex Duby) J.Agardh	IS, SA	2	2	CE					c
Φύλο Porifera									
<i>Aplysina aerophoba</i> Nardo, 1843	CC, TS, AN, AS, NA	5	6	CE, SD, D			II		
<i>Aplysina cavernicola</i> (Vacelet, 1959)	CC, BS, FC, LS, SS, TS, AN	7	18	CE, SD, D	II		II		a
<i>Asbestopluma hypogea</i> Vacelet & Boury-Esnault, 1996	FC, AN	2	3	SD	II		II		
<i>Axinella cannabina</i> (Esper, 1794)	TS, AN, IS, NA, SA	5	8	SD			II		a
<i>Axinella polypoides</i> Schmidt, 1862	FC, TC, NA, LB	4	8	CE, SD	II		II		
<i>Calyx nicaeensis</i> (Risso, 1826)	FC, SS, AS	3	4	Un					a
<i>Geodia cydonium</i> (Jameson, 1811)	CC, BS, FC, TS, AN, AS, NA, SA	8	22	SD, D			II		
<i>Hippospongia communis</i> (Lamarck, 1814)	CC, BS, FC, TS, AN	5	11	CE, SD, D	III		III		ii
<i>Neophrissospongia nolitangere</i> (Schmidt, 1870)	FC	1	2	D					a
<i>Petrobiona massiliana</i> Vacelet & Lévi, 1958 *	FC, LS, SS, TS, TC, IS, SA	7	29	SD, D	II		II		
<i>Petrosia (Petrosia) ficiformis</i> (Poiret, 1789)	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	13	75	CE, SD, D					a
<i>Sarcotragus foetidus</i> Schmidt, 1862	CC, BS, FC, SS, TS, TC, AN, AS, NA	9	14	CE, SD, D			II		
<i>Sarcotragus pipetta</i> (Schmidt, 1868)	TS	1	3	SD			II		
<i>Scopalina lophyropoda</i> Schmidt, 1862	FC	1	1	SD					a
<i>Spongia (Spongia) lamella</i> (Schulze, 1879)	FC, SS, TS	3	6	SD	III		III		a ii
<i>Spongia (Spongia) officinalis</i> Linnaeus, 1759	CC, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA	10	30	CE, SD, D	III		III		ii
<i>Spongia (Spongia) zimocca</i> Schmidt, 1862	SS, TC	2	2	Un	III		III		ii
<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766)	FC, TS, AN, AS, NA	5	18	CE, SD, D			II		a
<i>Tethya citrina</i> Sarà & Melone, 1965 †	BS, TS, AN	3	3	D			II		
Φύλο Cnidaria									
<i>Adamsia palliata</i> (Fabricius, 1779)	CC, IS	2	2	D					b
<i>Anemonia sulcata</i> (Pennant, 1777)	AN	1	Un	Un					b
<i>Astroides calycularis</i> (Pallas, 1766)	AL, TS, TC	3	16	CE, SD, D	II		II II		a

<i>Balanophyllia europaea</i> (Risso, 1826)	BS	1	1	D				II	DD	
<i>Balanophyllia regia</i> Gosse, 1860	CC, BS, FC, TS	4	5	CE, SD, D				II		
<i>Caryophyllia inornata</i> (Duncan, 1878)	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA	12	27	CE, SD, D				II		
<i>Caryophyllia smithii</i> Stokes & Broderip, 1828	CC, BS, FC, SS, TS, TC, IS	7	17	CE, SD, D				II		
<i>Ceratotrochus magnaghii</i> Cecchini, 1914	FC, AN, AS, NA	4	8	D				II		
<i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1758)	TS, TC, AN, IS, NA	5	7	CE, SD				II	DD	
<i>Cladopsammia rolandi</i> Lacaze-Duthiers, 1897	TC, AS	2	2	Un				II		
<i>Corallium rubrum</i> (Linnaeus, 1758)	CC, BS, FC, SS, AN, AS, NA	7	31	CE, SD, D	III	V	III			b, c iii, v
<i>Cribrinopsis crassa</i> (Andrès, 1881)	BS, AN	2	2	CE, SD						a
<i>Dendrophyllia cornigera</i> (Lamarck, 1816)	FC	1	1	D				II		a
<i>Guyonia annulata</i> Duncan, 1872	CC, FC, AN, AS, SA	5	7	D				II		
<i>Hoplangia durotrix</i> Gosse, 1860	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	13	28	CE, SD, D				II		
<i>Leptopsammia pruvoti</i> Lacaze-Duthiers, 1897	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA	12	63	CE, SD, D				II		
<i>Madracis pharensis</i> (Heller, 1868)	CC, BS, FC, LS, SS, TS, TC, AN, AS, IS, NA, SA, LB	13	42	CE, SD, D				II	LC	
<i>Monomyces pygmaea</i> (Risso, 1826)	FC, AN, AS	3	4	D				II		
<i>Oculina patagonica</i> de Angelis, 1908	LS, NA	2	2	CE, SD				II	LC	
<i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842)	CC, FC, LS, TS, AN, AS, NA	7	10	SD, D				II		
<i>Paramuricea clavata</i> (Risso, 1826)	CC, FC, AN	3	3	CE, SD						a
<i>Parazoanthus axinellae</i> (Schmidt, 1862)	AL, CC, BS, FC, LS, SS, TS, AN, AS, IS, NA, SA	12	34	CE, SD, D						a
<i>Phyllangia mouchezii</i> (Lacaze-Duthiers, 1897)	BS, FC, LS, TS, TC, IS, NA, SA, LB	9	14	CE, SD, D				II		a
<i>Polycyathus muelleriae</i> (Abel, 1959)	CC, BS, LS, SS, TS, TC,	11	28	CE, SD, D				II		

	AN, AS, IS, NA, LB										
<i>Thalamophyllia gasti</i> (Döderlein, 1913)	FC, AN, AS	3	6	D			II				
Φύλο Arthropoda											
Τάξη Decapoda											
<i>Cestopagurus timidus</i> (Roux, 1830)	FC	1	2	CE, SD, D							viii
<i>Homarus gammarus</i> (Linnaeus, 1758)	LS, AN	2	2	D	III	III	+	LC	a		vii
<i>Maja squinado</i> (Herbst, 1788)	CC, BS, FC, TS	4	3	CE, SD	III	III			a		
<i>Pagurus anachoretus</i> Risso, 1827	FC, TS, AN	3	3	SD							viii
<i>Pagurus chevreuxi</i> (Bouvier, 1896)	FC, AN	2	3	SD, D							viii
<i>Pagurus prideaux</i> Leach, 1815	CC, AN, IS	3	3	SD, D							viii
<i>Palaemon adspersus</i> Rathke, 1837	Un	Un	Un	Un							viii
<i>Palaemon elegans</i> Rathke, 1837	IS	1	1	SD, D							viii
<i>Palaemon longirostris</i> H. Milne-Edwards, 1837	IS	1	1	SD, D							viii
<i>Palaemon serratus</i> (Pennant, 1777) †	BS, FC, LS, TS, IS, NA	6	17	SD, D							viii
<i>Palaemon xiphias</i> Risso, 1816	IS	1	1	SD, D							viii
<i>Palinurus elephas</i> (Fabricius, 1787)	CC, BS, FC, LS, TC, NA, LB	7	16	CE, SD, D	III	III	+	VU	a		vii
<i>Scyllarides latus</i> (Latreille, 1802)	BS, TC, IS, NA, LB	5	7	CE, SD, D	III	V	III	DD			
<i>Scyllarus arctus</i> (Linnaeus, 1758)	CC, BS, FC, LS, AN, NA	6	10	CE, SD, D	III	III		LC	a		
Φύλο Sipuncula											
<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris vulgaris</i> (De Blainville, 1827)	TS	1	1	Un							viii
<i>Sipunculus (Sipunculus) nudus</i> Linnaeus, 1766	TS	1	1	SD					a		viii
Φύλο Mollusca											
Κλάση Gastropoda											
<i>Charonia variegata</i> (Lamarck, 1816)	SA	1	1	SD	II	II			a		
<i>Conus ventricosus</i> Gmelin, 1791	AN	1	1	CE				LC			
<i>Haliotis tuberculata</i> Linnaeus, 1758	AN	1	2	CE							ix
<i>Hexaplex trunculus</i> (Linnaeus, 1758)	TS, IS	2	2	CE, SD							ix
<i>Luria lurida</i> (Linnaeus, 1758)	BS, FC, LS, TS, IS, NA	6	7	SD, D	II	II			a		iii
<i>Patella caerulea</i> Linnaeus, 1758	AN	1	2	CE							
<i>Patella rustica</i> Linnaeus, 1758	AN	1	2	CE							
<i>Tarantinaea lignaria</i> (Linnaeus, 1758)	TS	1	2	CE, SD					a		

<i>Ophidiaster ophidianus</i> (Lamarck, 1816)	TC, NA	2	3	CE	II	II			a	
<i>Paracentrotus lividus</i> (de Lamarck, 1816)	CC, BS, LS, TS, TC, AN	6	9	CE, SD, D	III	III		VU		x
Φύλο Chordata										
Κλάση Ascidiacea										
<i>Halocynthia papillosa</i> (Linnaeus, 1767)	CC, BS, FC, SS, TC, AN, IS, NA, SA	9	18	CE, SD, D					a	
Υπερκλάση Pisces										
<i>Anthias anthias</i> (Linnaeus, 1758)	CC, BS, IS, NA	4	7	CE, SD, D				LC		
<i>Apogon (Apogon) imberbis</i> (Linnaeus, 1758)	CC, BS, FC, LS, SS, TS, AN, IS, NA, SA	10	29	CE, SD, D				LC		
<i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1761)	Un	Un	Un	Un				LC		
<i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)	AN, IS, NA	3	6	CE, SD				LC		i, vi
<i>Bothus podas</i> (Delaroche, 1809)	IS, NA	2	2	SD				LC		
<i>Chromis chromis</i> (Linnaeus, 1758)	BS, FC, SS, TC, AN, IS, NA, SA	8	23	CE, SD				LC		
<i>Chromogobius quadrivittatus</i> (Steindachner, 1863)	Un			Un				LC LC		a
<i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758) †	CC, BS, FC, TS, TC, AN, IS, NA	8	14	CE, SD, D				LC		
<i>Corcyrogobius liechtensteini</i> (Kolombatovic, 1891)	BS, AN, IS	3	3	CE, SD, D				DD DD		
<i>Coris julis</i> (Linnaeus, 1758)	FC, SS, TC, AN, IS, NA	6	22	CE, SD, D				LC LC		
<i>Ctenolabrus rupestris</i> (Linnaeus, 1758)	CC	1	1	Un				LC LC		
<i>Dasyatis centroura</i> (Mitchill, 1815)	TC	1	1	Un				LC NT		
<i>Didogobius splechnai</i> Ahnelt & Patzner, 1995	BS	1	1	D				DD DD		a
<i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)	TC, AN, NA	3	3	CE, SD			+	LC		vi
<i>Diplodus puntazzo</i> (Cetti, 1777)	SS, AN, IS	3	7	SD			+	LC		
<i>Diplodus sargus sargus</i> (Linnaeus, 1758)	BS, SS, TC, AN, IS, NA	6	16	CE, SD			+	LC		vi
<i>Diplodus vulgaris</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)	CC, BS, SS, TC, AN, IS, NA	7	19	CE, SD, D			+	LC		vi
<i>Epinephelus caninus</i> (Valenciennes, 1843)	Un	Un	Un	Un			+	DD DD		c vi
<i>Epinephelus costae</i> (Steindachner, 1878)	IS, NA	2	2	D			+	DD DD		c
<i>Epinephelus marginatus</i> (Lowe, 1834)	CC, BS, SS, TC, IS, NA, LB	7	13	CE, SD, D	III	III	+	EN EN		vi

<i>Gaidropsarus mediterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	CC	1	1	Un		LC		
<i>Gammogobius steinitzi</i> Bath, 1971	BS, FC, AN	3	7	CE, SD, D		DD	DD	a
<i>Gobius auratus</i> Risso, 1810	NA	1	2	CE, SD		LC		
<i>Gobius bucchichi</i> Steindachner, 1870	BS, AN	2	2	CE		LC	LC	
<i>Gobius cruentatus</i> Gmelin, 1789	BS, AN	2	3	CE			LC	
<i>Gobius geniporus</i> Valenciennes, 1837	SS, AN, IS	3	3	CE		LC	LC	
<i>Gobius niger</i> Linnaeus, 1758	CC, FC	2	2	SD, D			LC	
<i>Gobius vittatus</i> Vinciguerra, 1883	BS, SS, AN	3	3	CE		LC	LC	
<i>Gouania willdenowi</i> (Risso, 1810)	Un	Un	Un	Un		DD	DD	
<i>Grammonus ater</i> (Risso, 1810)	BS, FC, LS, TS, AN, IS	6	9	D		LC	LC	
<i>Helicolenus dactylopterus</i> (Delaroche, 1809)	CC	1	1	Un			LC	
<i>Labrus merula</i> Linnaeus, 1758	AN	1	1	Un		LC	LC	a
<i>Labrus mixtus</i> Linnaeus, 1758	AN	1	3	CE, SD, D		LC	LC	
<i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810	AN	1	1	Un			LC	
<i>Lepadogaster lepadogaster</i> (Bonnaterre, 1788)	Un	Un	Un	Un		LC	LC	
<i>Lichia amia</i> (Linnaeus, 1758)	IS	1	1	Un			DD	
<i>Lipophrys canevae</i> (Vinciguerra, 1880)	AN	1	1	Un			LC	
<i>Lithognathus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)	IS	1	1	SD	+		LC	
<i>Microlipophrys dalmatinus</i> (Steindachner & Kolombatovic, 1883)	AN	1	1	Un		DD	DD	
<i>Microlipophrys nigriceps</i> (Vinciguerra, 1883)	BS, FC, AN, IS	4	6	CE, SD		LC	LC	
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	Un			Un			LC	a vi
<i>Mullus barbatus barbatus</i> Linnaeus, 1758	IS	1	1	SD	+		LC	vi
<i>Mullus surmuletus</i> Linnaeus, 1758	CC, FC, SS, TC, IS, NA	6	12	SD, D	+		LC	vi
<i>Muraena helena</i> Linnaeus, 1758	CC, BS, LS, IS, NA	5	7	CE, SD, D			LC	
<i>Oblada melanura</i> (Linnaeus, 1758)	FC, SS, AS, IS, NA	5	13	CE, SD, D			LC	
<i>Parablennius gattorugine</i> (Linnaeus, 1758)	SS, AN, IS, NA	4	5	CE, SD		LC	LC	
<i>Parablennius incognitus</i> (Bath, 1968)	AN	1	1	Un			LC	
<i>Parablennius rouxi</i> (Cocco, 1833)	SS, TC, AN, NA	4	7	CE, SD		LC	LC	
<i>Parablennius zvonimiri</i> (Kolombatovic, 1892)	SS	1	1	Un		DD	DD	
<i>Phycis phycis</i> (Linnaeus, 1766)	CC, BS, SS, TC, IS, NA	6	10	CE, SD, D			LC	
<i>Polyprion americanus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	Un	Un	Un	Un	+	DD	DD	

<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	Un	0		Un				LC	
<i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus, 1758)	SS, TC, IS, NA	4	8	CE				LC	
<i>Sciaena umbra</i> Linnaeus, 1758	CC, BS, FC, LS, TS, AS, IS, NA, LB	9	12	CE, SD, D	III	III		VU	a
<i>Scorpaena maderensis</i> Valenciennes, 1833	SS, NA	2	2	CE				LC	
<i>Scorpaena notata</i> Rafinesque, 1810	CC, BS, FC, SS, AN, IS	6	9	CE, SD, D				LC	
<i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758	CC, BS, FC, TC, AN, IS, NA	7	12	CE, SD, D				LC	
<i>Scorpaena scrofa</i> Linnaeus, 1758	CC, BS, FC, AN, IS, NA	6	7	CE, SD, D				LC	
<i>Scyliorhinus canicula</i> (Linnaeus, 1758)	FC	1	1	D			LC	LC	
<i>Seriola dumerili</i> (Risso, 1810)	TC, IS, SA	3	4	SD				LC	
<i>Serranus cabrilla</i> (Linnaeus, 1758)	CC, BS, FC, SS, AN, AS, IS, NA	8	19	CE, SD, D				LC	
<i>Serranus hepatus</i> (Linnaeus, 1758)	AN	1	2	CE, SD, D				LC	
<i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758)	BS, SS, TC, AN, AS, IS, NA	7	18	CE, SD, D				LC	
<i>Solea solea</i> (Linnaeus, 1758) †	TS	1	1	D		+		LC	vi
<i>Sparisoma cretense</i> (Linnaeus, 1758)	TC, IS, NA	3	7	CE			LC	LC	iii
<i>Sparus aurata</i> Linnaeus, 1758	AN	1	1	Un		+		LC	i, vi
<i>Speleogobius trigloides</i> Zander & Jelinek, 1976 *	AN	1	1	Un			DD	DD	
<i>Sphyaena viridensis</i> Cuvier, 1829	TC, IS	2	2	SD				LC	
<i>Spicara maena</i> (Linnaeus, 1758)	FC, TC, IS, NA	4	6	CE, SD				LC	
<i>Spondyliosoma cantharus</i> (Linnaeus, 1758)	SS	1	1	Un				LC	
<i>Symphodus (Crenilabrus) doderleini</i> Jordan, 1890	SS	2	3	Un				LC	LC
<i>Symphodus (Crenilabrus) mediterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	SS, AN, IS, NA	4	8	SD				LC	LC
<i>Symphodus (Crenilabrus) melanocercus</i> (Risso, 1810)	SS, AN	2	2	Un				LC	LC
<i>Symphodus (Crenilabrus) ocellatus</i> Forsskål, 1775	TC, AN, IS	3	5	Un				LC	LC
<i>Symphodus (Crenilabrus) roissali</i> (Risso, 1810)	AN	1	1	Un				LC	LC
<i>Symphodus (Crenilabrus) tinca</i> (Linnaeus, 1758)	FC, SS, TC, AN, IS	5	11	SD				LC	LC
<i>Symphodus (Symphodus) rostratus</i> (Bloch, 1791)	TC, AN, IS	3	3	Un				LC	LC
<i>Thalassoma pavo</i> (Linnaeus, 1758)	SS, TC, IS	3	11	SD				LC	LC
<i>Thorogobius ephippiatus</i> (Lowe, 1839)	CC, FC, LS, SS, TS, AN,	8	14	CE, SD, D				LC	

	IS, NA												
<i>Thorogobius macrolepis</i> (Kolombatovic, 1891)	AN	1	2	CE, SD							LC	LC	
<i>Tripterygion delaisi</i> Cadenat & Blache, 1970	TC, AN, NA	3	3	CE								LC	
<i>Tripterygion melanurum</i> Guichenot, 1850	BS, IS	2	1	Un							LC	LC	
<i>Tripterygion tripteronotum</i> (Risso, 1810)	AN, IS	2	2	CE, SD							LC	LC	
<i>Umbrina cirrosa</i> (Linnaeus, 1758)	Un	Un	Un	Un	III			III					VU
<i>Zebrus zebrus</i> (Risso, 1827)	AN	1	1	Un							LC	LC	
<i>Zeugopterus regius</i> (Bonnaterre, 1788)	AN	1	1	SD									DD
Κλάση Mammalia													
<i>Monachus monachus</i> (Hermann, 1779)	IS, NA, SA, LB	4	Un	CE, SD, D	II	II	II, IV	II	I		CR	CR	iii

Υπόμνημα:

1. Σύμβαση της Βέρνης για τη διατήρηση της άγριας ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης (1979), **2.** Σύμβαση της Βόννης σχετικά με τη διατήρηση των μεταναστευτικών ειδών (1979), **3.** Οδηγία των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ), **4.** Σύμβαση της Βαρκελώνης για την προστασία της Μεσογείου (1995), **5.** Σύμβαση για το Διεθνές Εμπόριο των Απειλούμενων με Εξαφάνιση ειδών της άγριας πανίδας και χλωρίδας (ΕΚ 338/1997), **6.** Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1967/2006 του συμβουλίου της 21^{ης} Δεκεμβρίου 2006 σχετικά με μέτρα διαχείρισης για τη βιώσιμη εκμετάλλευση των αλιευτικών πόρων στη Μεσόγειο Θάλασσα, **7.** Κόκκινη Λίστα Απειλούμενων Ειδών της IUCN, **8.** Περιφερειακή Μεσογειακή Κόκκινη Λίστα (Abdul Malak *et al.* 2011), **9.** Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας (Λεγάκις & Μαραγκού 2009); **10.** Είδη που δεν έχουν συμπεριληφθεί σε διεθνείς συμφωνίες αλλά είναι σημαντικά για τα οικοσυστήματα (OCEANA 2009: α. Είδη που απειλούνται τοπικά και έχουν συμπεριληφθεί σε περιφερειακές ή εθνικές λίστες, β. Είδη των οποίων η προστασία έχει προταθεί από επιστήμονες, γ. Είδη που απαιτούν προστασία εξαιτίας της ευαισθησίας ή του σημαντικού τους ρόλου ως δημιουργών ενδιαιτήματος, δ. Είδη που έχουν προταθεί να συμπεριληφθούν σε συμβάσεις), **11.** Ελληνική Νομοθεσία (i. ΒΔ 26-01-1954, ii. ΝΔ 420/1970, iii. Π.Δ. 67/1981, iv. ΠΔ-144/1986, v. Π.Δ. 324/1994, vi. ΑΔ-10/1995, vii. ΠΔ-237/1996, viii. ΠΔ-109/2002, ix. ΠΔ-227-2003, x. Π.Δ. 65/2014); I, II, III, IV, V. Παράρτημα I, II, III, IV, V; DD. Ανεπαρκώς γνωστά; LC. Μειωμένου ενδιαφέροντος; NT: Σχεδόν απειλούμενα, VU. Τρωτά; EN. Κινδυνεύοντα; CR. Κρισίμως κινδυνεύοντα.

Footnote:

1. Bern Convention - Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, Council of Europe, 1979; **2.** Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (Bonn Convention, 1979); **3.** Habitats Directive 92/43/EEC; **4.** Barcelona Convention - Protocol concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean, 1995; **5.** CITES - Convention on International Trade in Endangered Species of Wild fauna and flora, 1973, Council Regulation EC 338/97; **6.** Council Regulation (EC) No. 1967/2006 concerning management measures for the sustainable exploitation of fishery resources in the Mediterranean Sea; **7.** IUCN Red List of Threatened Species; **8.** Mediterranean Regional Red List (Abdul Malak *et al.* 2011); **9.** Greek Red Data Book of Threatened Species (Legakis & Maragou 2009); **10.** Species

not included in international agreements, but of importance to ecosystems (OCEANA 2009) (a. Species that are regionally threatened and included in regional or national lists; b. Species whose protection is recommended by experts; c. Species that require protection due to their fragility or role as essential habitat creators; d. Proposals to be listed in conventions); **11.** Greek national legislation (i. ΒΔ 26-01-1954, ii. ΝΔ 420/1970, iii. Π.Δ. 67/1981, iv. ΠΔ-144/1986, v. Π.Δ. 324/1994, vi. ΑΔ-10/1995, vii. ΠΔ-237/1996, viii. ΠΔ-109/2002, ix. ΠΔ-227-2003, x: Π.Δ. 65/2014); I, II, III, IV, V. Appendix/Annex I, II, III, IV, V; DD. Data Deficient; LC. Least Concern; NT: Near Threatened; VU. Vulnerable; EN. Endangered; CR. Critically Endangered.

ΒΔ 26-01-1954: Απαγόρευση αλιείας και πώλησης ιχθύων ορισμένων διαστάσεων

ΝΔ 420/1970: Αλιευτικός κώδιξ

Π.Δ. 67/1981: Περί προστασίας της αυτοφυούς χλωρίδος και αγρίας πανίδος και καθορισμού διαδικασίας συντονισμού και ελέγχου της ερεύνης επ' αυτών

*ΠΔ-144/1986: Περιορισμοί αλιείας και εμπορίας των χταποδιών (*Octopus vulgaris*)*

Π.Δ. 324/1994: Εκμετάλλευση κοραλλιογενών σχηματισμών

ΑΔ-10/1995: Απαγόρευση εμπορίας και διάθεσης αλιευμάτων κάτω από ορισμένες διαστάσεις και βάρος

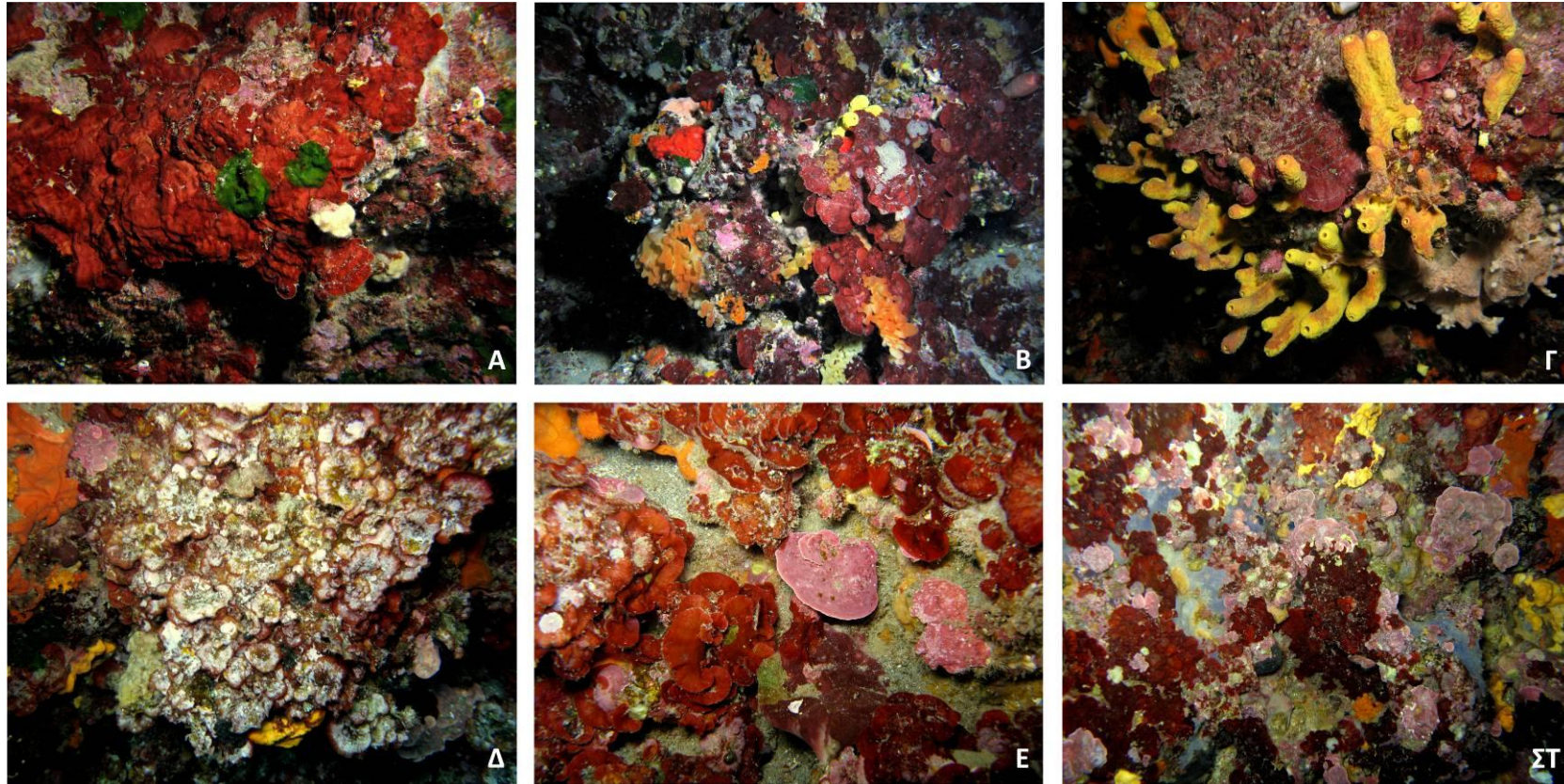
ΠΔ-237/1996: Απαγόρευση αλιείας και πώλησης αστακών

ΠΔ-109/2002: Αλιεία δολωμάτων

ΠΔ-227/2003: Αλιεία οστράκων

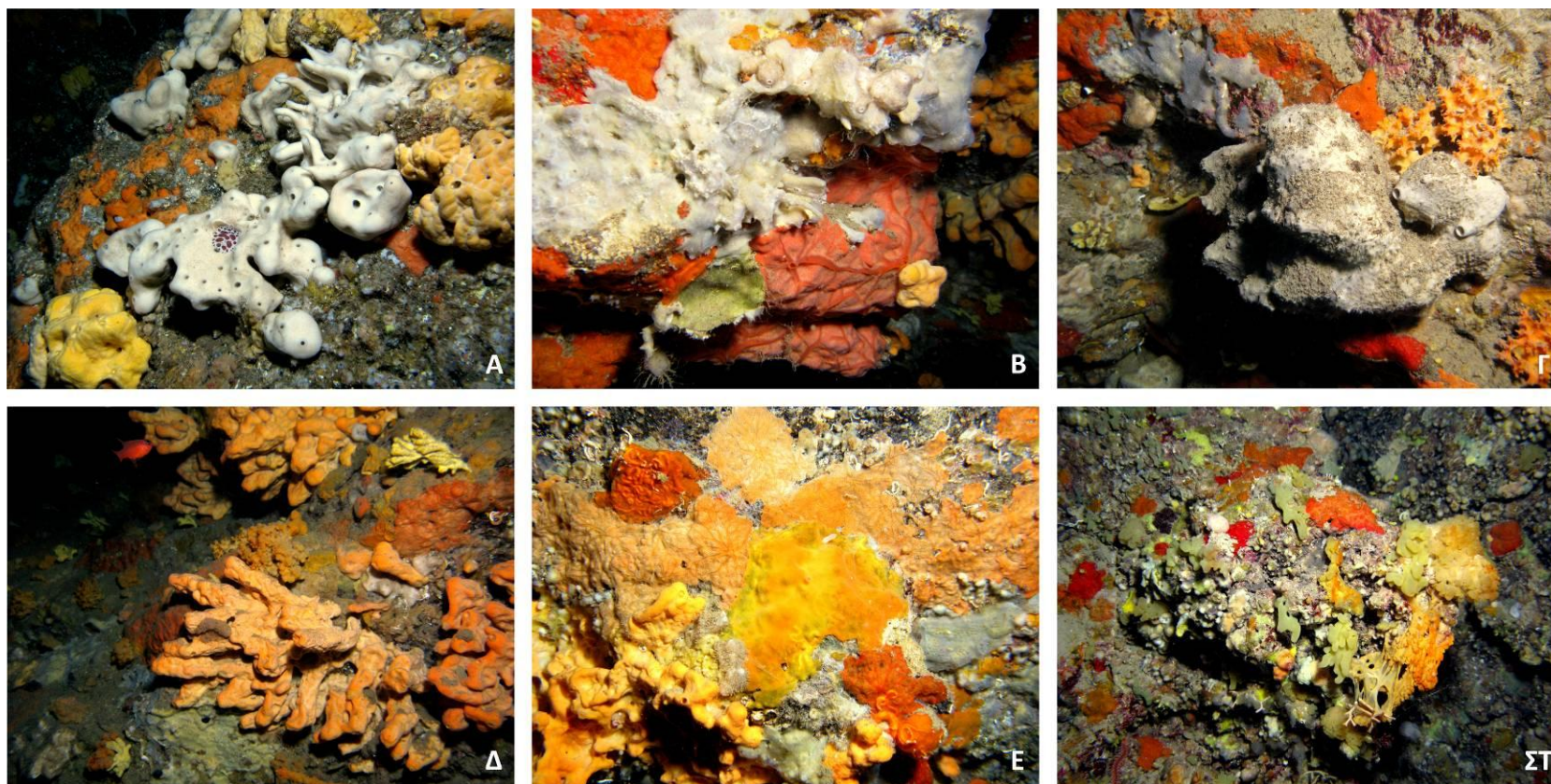
*Π.Δ. 65/2014: Ρυθμιστικά μέτρα για την αλιεία του αχινού του είδους *Paracentrotus lividus**

8.4. Παράρτημα Δ

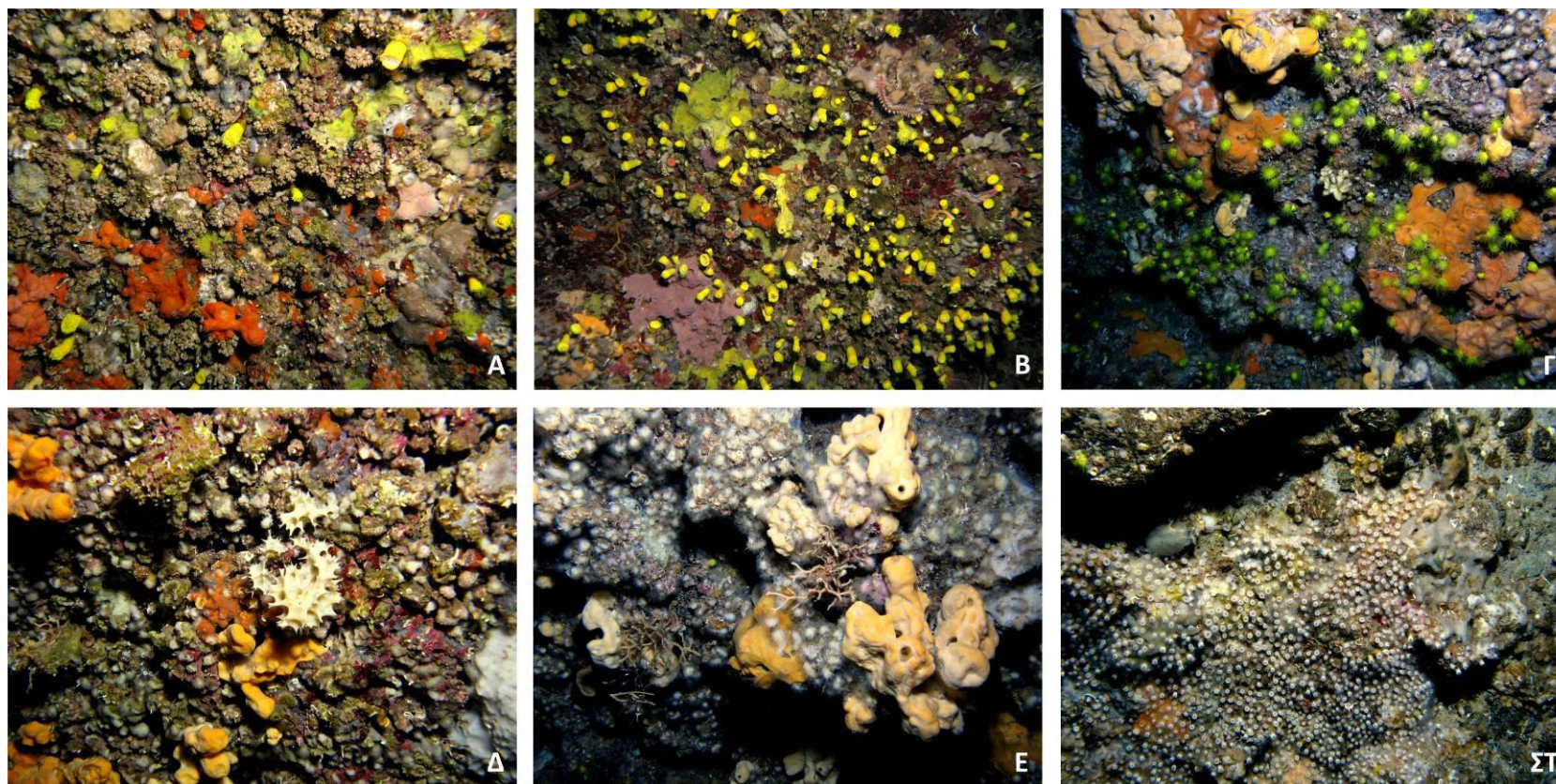


Εικόνα Δ1 Απόψεις της κοραλλιγενούς βιοκοινότητας στη ζώνη εισόδου των υπό μελέτη σπηλαίων όπου επικρατούν σκιοφιλά ροδοφύκη και σπόγγοι (Α: Φαρά, Β-Γ: Άγιος Βασίλειος, Δ-ΣΤ: Τρύπια Σπηλιά).

Figure Δ1 Different views of coralligenous communities at the entrance zone of the surveyed marine caves where sciaphilic rhodophytes and sponges dominate (A: Fara, Β-Γ: Agios Vasilios, Δ-ΣΤ: Trypia Spilia).

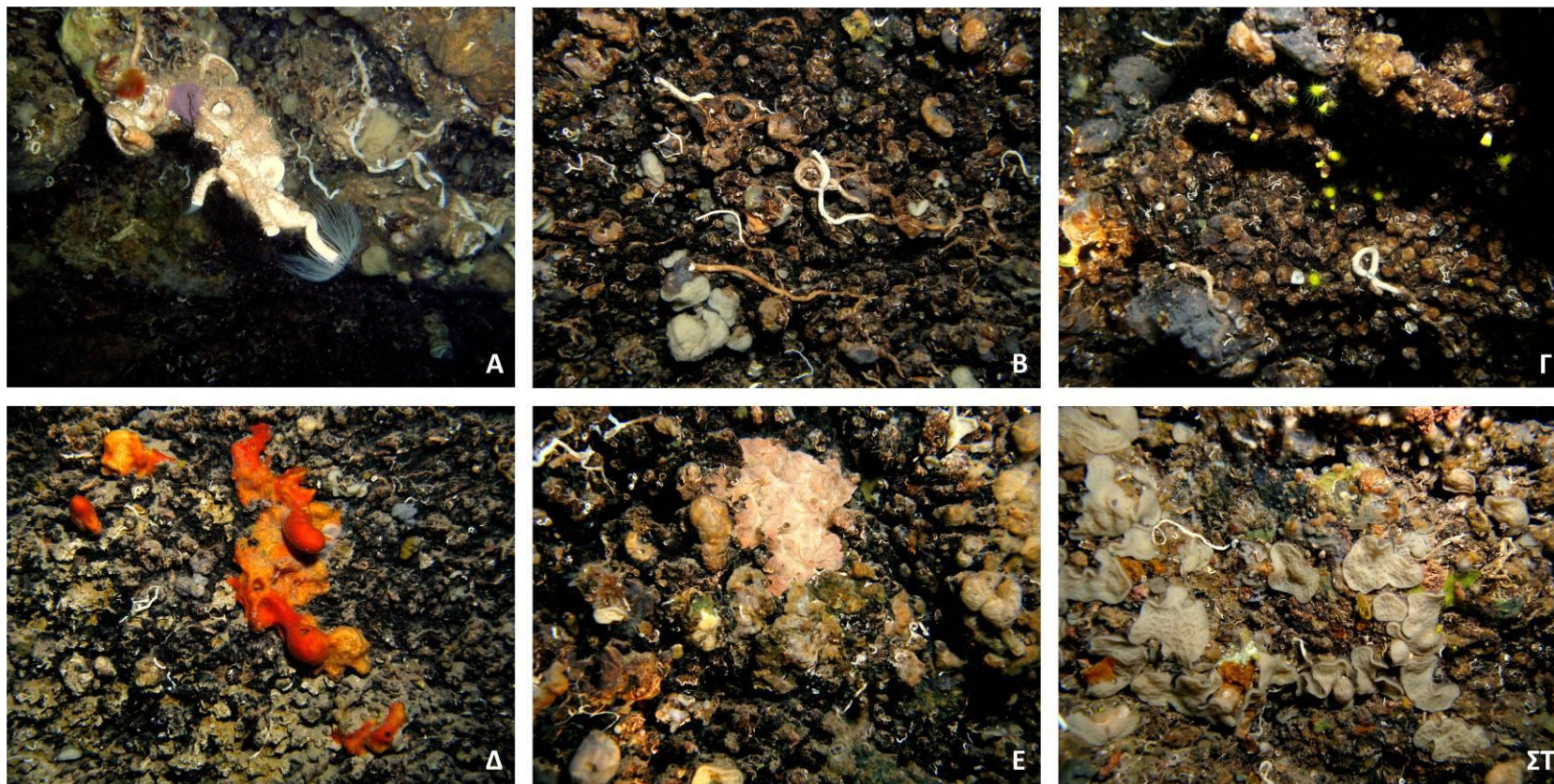


Εικόνα Δ2 Απόψεις της βιοκοινότητας των ημισκοτεινών σπηλαίων στα υπό μελέτη σπήλαια όπου επικρατούν σπόγγοι (Α: Τρύπια Σπηλιά, Β-Ε: Φαρά, ΣΤ: Άγιος Βασίλειος).
Figure Δ2 Different views of semidark cave communities of the surveyed marine caves where sponges dominate (A: Trypia Spilia, B-E: Fara, ΣΤ: Agios Vasilios).



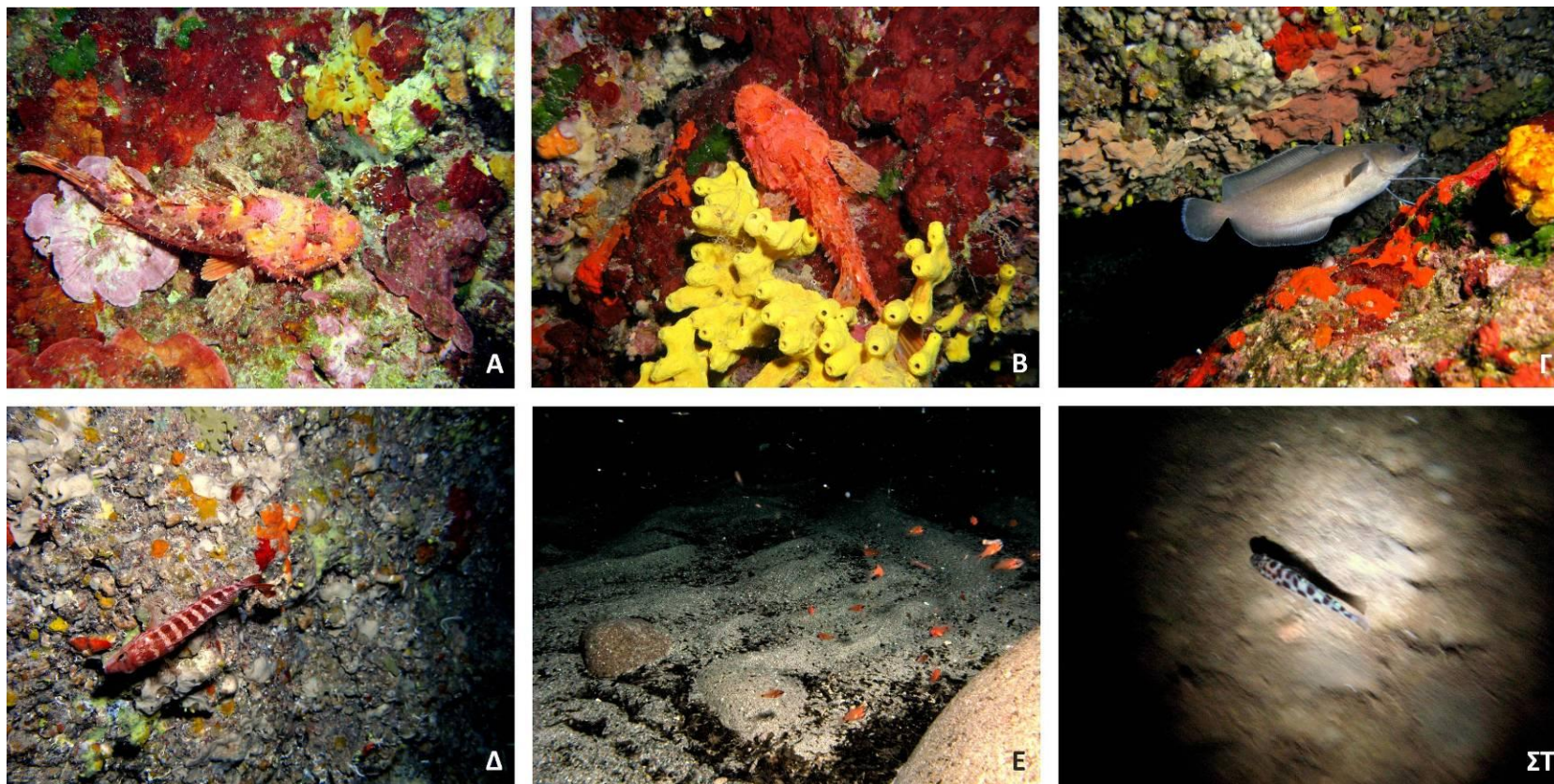
Εικόνα Δ3 Φάσεις σκληρακτινίων *Hoplangia durothrix* (A), *Leptopsammia pruvoti* (B-Γ), *Madracis pharensis* (Δ-E) και *Polycyathus muellerae* (ΣΤ) στη βιοκοινότητα των ημισκοτεινών σπηλαίων στα υπό μελέτη σπήλαια (A: Άγιος Βασίλειος, B & Δ: Φαρά, Γ, E & ΣΤ: Τρύπια Σπηλιά).

Figure Δ3 Facies of the scleractinian corals *Hoplangia durothrix* (A), *Leptopsammia pruvoti* (B-Γ), *Madracis pharensis* (Δ-E) and *Polycyathus muellerae* (ΣΤ) in the semidark cave community of the surveyed marine caves (A: Agios Vasiliou, B & Δ: Fara, Γ, E & ΣΤ: Trypia Spilia).



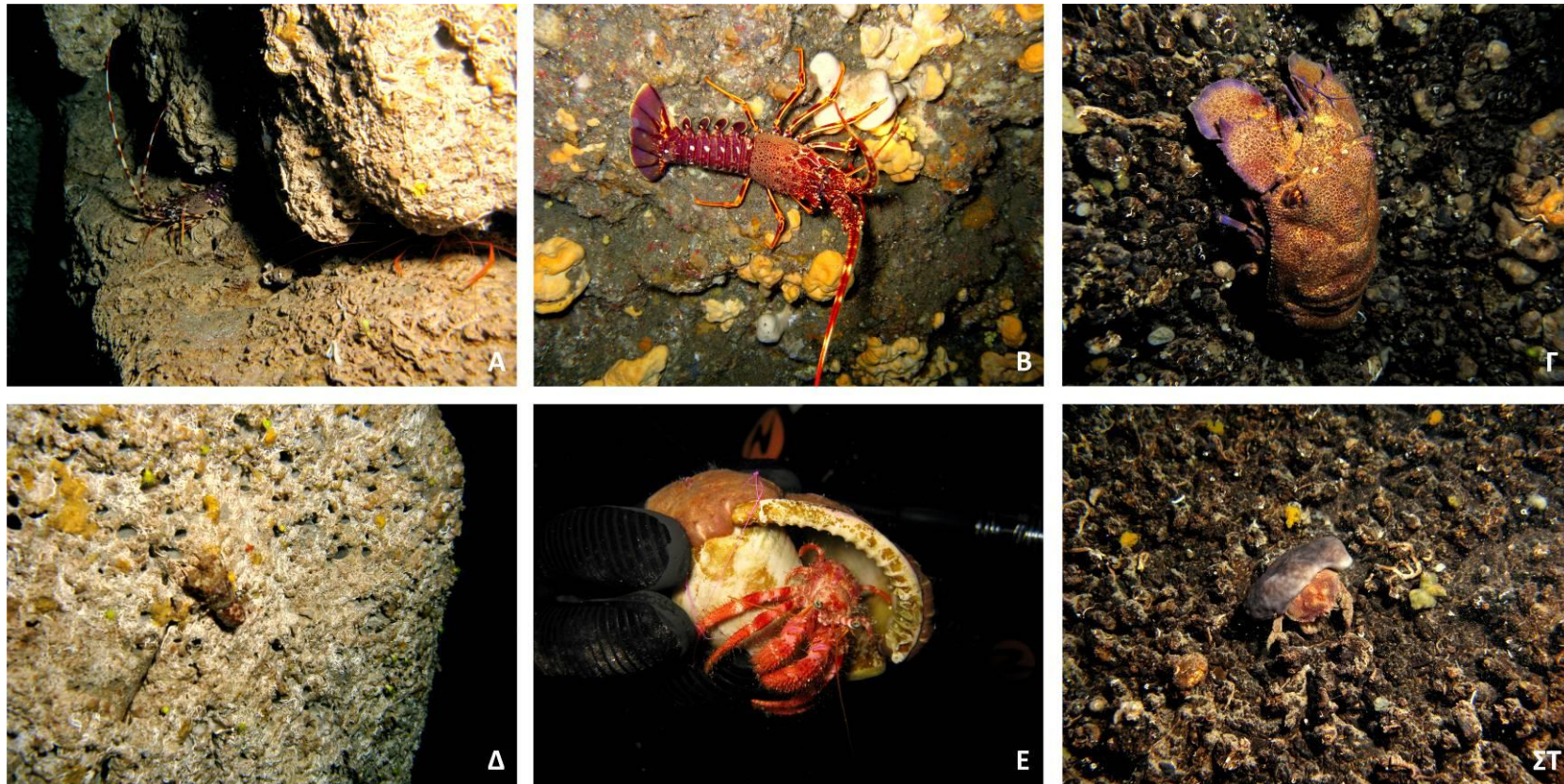
Εικόνα Δ4 Απόψεις της βιοκοινότητας των σκοτεινών σπηλαίων στα υπό μελέτη σπήλαια. Διακρίνονται βιογενείς σταλακτίτες (Α) και τοπική επικράτηση πολύχαιτων Serpulidae (Β), τοπικές φάσεις του βραχιόποδου *Novocrania anomala* (Γ) και περιοχές επικράτησης σπόγγων (Δ-ΣΤ) (Α-Ε: Φαρά, ΣΤ: Άγιος Βασίλειος).

Figure Δ4 Different views of the dark cave communities in the surveyed marine caves; biogenic stalactites (Α) and aggregations of serpulid polychaetes (Β), facies of the brachiopod *Novocrania anomala* (Γ) and sponge dominated assemblages (Δ-ΣΤ) (Α-Ε: Fara, ΣΤ: Agios Vasilios).



Εικόνα Δ5 Ιχθυοπανίδα στα υπό μελέτη σπήλαια: σκορπίνα *Scorpaena scrofa* (Α-Β), σαλούβαρδος *Phycis phycis* (Γ), χάνος *Serranus cabrilla* (Δ), μικροί καρδινάλιοι *Apogon imberbis* (Ε) και γωβιός *Thorogobius ephippiatus* (ΣΤ) (Α-Δ: Άγιος Βασίλειος, Ε: Φτελιό, ΣΤ: Φαρά).

Figure Δ5 Ichthyofauna in the surveyed marine caves: red scorpionfish *Scorpaena scrofa* (Α-Β), forkbeard *Phycis phycis* (Γ), comber *Serranus cabrilla* (Δ), juvenile cardinal fishes *Apogon imberbis* (Ε) and leopard-spotted goby *Thorogobius ephippiatus* (ΣΤ) (Α-Δ: Agios Vasilios, Ε: Ftelio, ΣΤ: Fara).



Εικόνα Δ6 Δεκάποδα καρκινοειδή στα υπό μελέτη σπήλαια: αστακός *Palinurus elephas* (A-B), γαρίδα *Stenopus spinosus* (A), κωλοχτύπα *Scyllarides latus* (Γ), τζιτζίκι *Scyllarus arctus* (Δ), κόκκινος ερημίτης *Dardanus calidus* (E) και κάβουρας πατάτα *Dromia personata* που χρησιμοποιεί τον σπόγγο *Chondrosia reniformis* για καμουφλάζ (ΣΤ) (A & Δ: Άγιος Βασίλειος, B & E: Τρύπια Σπηλιά, Γ & ΣΤ: Φαρά).

Figure Δ6 Decapod crustaceans in the surveyed marine caves: spiny lobster *Palinurus elephas* (A-B), golden coral shrimp *Stenopus spinosus* (A), slipper lobster *Scyllarides latus* (Γ), locust lobster *Scyllarus arctus* (Δ), red hermit crab *Dardanus calidus* (E), and sponge crab *Dromia personata* using the sponge *Chondrosia reniformis* as camouflage (ΣΤ) (A & Δ: Agios Vasilios, B & E: Trypia Spilia, Γ & ΣΤ: Fara).



Εικόνα Δ7 Κινούμενη πανίδα στα υπό μελέτη σπήλαια: σμήνη από μυσιδώδη (Α), γαριδάκι *Palaemon serratus* (Β), ριγωτή ξιφογαρίδα ή Συμιακό γαριδάκι *Plesionika narval* (Γ), γυμνοβράγχιο *Umbraculum umbraculum* (Δ), πολύχαιτος *Hermodice carunculata* (Ε) και ολοθούριο *Holothuria sanctori* (ΣΤ) (Α & Β: Φτελιό, Γ: Άγιος Βασίλειος, Δ-ΣΤ: Τρύπια Σπηλιά).

Figure Δ7 Motile fauna in the surveyed marine caves: mysid swarms (Α), common prawn *Palaemon serratus* (Β), narwal shrimp *Plesionika narval* (Γ), umbrella pleurobranch *Umbraculum umbraculum* (Δ), bearded fireworm *Hermodice carunculata* (Ε), and holothurian *Holothuria sanctori* (ΣΤ) (Α & Β: Ftelio, Γ: Agios Vasilios, Δ-ΣΤ: Trypia Spilia).



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.