



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΙΧΘΥΩΝ ΥΠΟΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ:  
ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ»**



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Δ. ΚΟΚΚΟΡΗΣ

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2019

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία είναι μια προσπάθεια να αναλυθούν δεδομένα αφθονίας ειδών ιχθύων σε ρηχό βραχώδες υπόστρωμα στο Αιγαίο πέλαγος, με τη χρήση 14 δεικτών α-ποικιλότητας, 4 μοντέλων κατανομής αφθονίας και 3 δεικτών β-ποικιλότητας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν μέρος από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των προγραμμάτων *MARISCA* και *PROTOMEDEA*. Το ευρύ γεωγραφικό πλαίσιο, καθώς και οι πρότυπες μέθοδοι συλλογής δεδομένων που εφαρμόστηκαν στα προγράμματα αυτά, είχαν ως αποτέλεσμα να συγκεντρωθεί μεγάλος όγκος αξιόπιστων πρωτογενών δεδομένων.

Η ομαδοποίηση των δεδομένων έγινε με δύο τρόπους, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα, αφενός μεταξύ των δύο βαθών (5m και 15m) στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες και αφετέρου μεταξύ τεσσάρων γεωγραφικών περιοχών. Οι τιμές των δεικτών α ποικιλότητας ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα των κατανομών τους και εφαρμόστηκε σε αυτές η μέθοδος bootstrap. Οι συγκρίσεις μεταξύ των δύο βαθών στο πρώτο μέρος της ανάλυσης έγιναν με δοκιμές t-test ή Mann-Whitney, ανάλογα με τον εάν έγινε δεκτή ή υπόθεση της κανονικότητας των κατανομών τους. Στο δεύτερο μέρος, οι συγκρίσεις των δεικτών έγιναν ανά ζεύγη περιοχών με δοκιμές Mann-Whitney.

Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο βαθών και ότι η βιοποικιλότητα φαίνεται να αυξάνεται με το βάθος, για μικρά βάθη. Αυτό ενισχύει την υπόθεση ότι η σταθερότητα των συνθηκών είναι σημαντικός παράγοντας της βιοποικιλότητας. Για τις περιοχές, σημαντική διαφοροποίηση έδειξε η περιοχή της Μακεδονίας σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες περιοχές, αλλά η μεταβολή της ποικιλότητας μεταξύ των σταθμών κάθε περιοχής εμφανίστηκε εντονότερη στην περιοχή Κυκλάδων και Καλύμνου. Η περιεκτικότητα των υδάτων σε θρεπτικά υλικά και η ποικιλομορφία του περιβάλλοντος αντίστοιχα, φαίνεται να είναι οι κύριοι παράγοντες.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|  |           |
|--|-----------|
| Εισαγωγή .....   | 5         |
| <b>1. Βιολογική ποικιλότητα .....</b>                                      | <b>6</b>  |
| 1.1. Γενικά .....  | 6         |
| 1.2. Ορισμός της βιοποικιλότητας .....                                     | 8         |
| <b>2. Ποσοτικοποίηση της βιοποικιλότητας .....</b>                         | <b>9</b>  |
| 2.1. Εισαγωγή .....  | 9         |
| 2.2. Πλούτος ειδών και αφθονία .....                                       | 10        |
| 2.3. Προϋποθέσεις μέτρησης της βιοποικιλότητας .....                       | 11        |
| 2.4. Η βιοποικιλότητα στο χώρο (και στο χρόνο) – α, β, γ ποικιλότητα ..... | 12        |
| 2.5. Δειγματοληπτική προσπάθεια .....                                      | 13        |
| <b>3. Μεθοδολογία .....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1. Εκτίμηση του πλούτου ειδών .....                                      | 14        |
| 3.2. Δείκτες ετερογένειας .....  | 15        |
| 3.3. Δείκτες ισομέρειας .....  | 18        |
| 3.4. Μοντέλα κατανομής αφθονίας .....                                      | 21        |
| 3.5. Μέθοδος Bootstrap .....   | 24        |
| 3.6. Πρόγραμμα PAST .....  | 25        |
| 3.7. Δείκτες β ποικιλότητας .....  | 26        |

|  |    |
|--|----|
| 4. Περιοχή μελέτης και δεδομένα .....      | 28 |
| 4.1. Περιοχή μελέτης .....                 | 28 |
| 4.2. Δεδομένα .....                        | 30 |
| 4.3. Πρόγραμμα <i>MARISCA</i> .....        | 30 |
| 4.4. Πρόγραμμα <i>PROTOMEDEA</i> .....     | 32 |
| 5. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων ..... | 34 |
| 5.1. Α΄ μέρος ανάλυσης .....               | 36 |
| 5.2. Β΄ μέρος ανάλυσης.....                | 37 |
| 6. Αποτελέσματα .....                      | 40 |
| 6.1. Γενικά .....                          | 40 |
| 6.2. Α΄ μέρος αποτελεσμάτων .....          | 41 |
| 6.3. Β΄ μέρος αποτελεσμάτων .....          | 51 |
| 7. Συμπεράσματα - Συζήτηση.....            | 57 |
| Βιβλιογραφικές αναφορές.....               | 59 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....                             | 62 |

## Εισαγωγή

“πολλά γὰρ περὶ ἕκαστον γένος λάβοι τις  
ἂν τῶν ὑπαρχόντων βουλόμενος διαπονεῖν ἰκανῶς”

Αριστοτέλης

Η αστείρευτη ποικιλομορφία της ζωής στον πλανήτη υπήρξε ανέκαθεν αντικείμενο θαυμασμού για τον άνθρωπο, καθώς όντας μέρος της, είναι άμεσα συνυφασμένη με την επιβίωση, την ευημερία και την εξέλιξή του. Ιστορικά, ο πρώτος που συστηματοποίησε τη μελέτη και καταγραφή ζωντανών οργανισμών ήταν ο Αριστοτέλης (4<sup>ος</sup> αι. π.Χ.), ο οποίος όχι άδικα, θεωρείται ο ιδρυτής της επιστήμης της βιολογίας, καθώς και πατέρας της βιολογικής ταξινόμησης. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο Κάρολος Δαρβίνος, όταν διάβασε την εισαγωγή στο «*Περὶ ζῶων μορίων*», έγραψε το 1882 στον William Ogle που είχε επιμεληθεί την αγγλική μετάφραση: «Ο Linnaeus και ο Cuvier υπήρξαν οι δύο Θεοί μου ... όμως δεν είναι παρά απλά μαθητούδια του γερο-Αριστοτέλη». (Gotthelf, 1999).

Εκτιμάται ότι το ένα τέταρτο του εκτενέστατου επιστημονικού και φιλοσοφικού έργου του Αριστοτέλη αφορά στην επιστήμη της βιολογίας, μεγάλο μέρος του οποίου εκπόνησε κατά την πενταετή παραμονή του στο νησί της Λέσβου και τις ακτές της Μικράς Ασίας. Συγκέντρωσε και κατέγραψε τα ονόματα των ζώων που ήταν γνωστά μέχρι την εποχή του και επιπλέον έδωσε νέα ονόματα, συστηματοποιώντας την ονοματολογία σύμφωνα με οπτικά, ανατομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των οργανισμών. Επίσης, μελέτησε τη συμπεριφορά, μετανάστευση και αναπαραγωγή τους και όρισε ταξινομικές ομάδες. Πολλά από τα ονόματα αυτά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα αυτούσια ή ελαφρώς τροποποιημένα: όροι όπως *μαλάκια*, *μαλακόστρακα*, *οστρακόδερμα*, *κητώδη*, *δίθυρα*, *αστακός*, *πίννα* κ.ά. Συνολικά, έχουν αναγνωριστεί στα έργα του Αριστοτέλη πάνω από 1.400 ονόματα θαλάσσιων οργανισμών, 200 ονόματα διαφόρων ταξινομικών ομάδων και 181 ονόματα ειδών (Voultsiadou *et.al.*, 2017).

Τα μισά σχεδόν από τα ζώα που μελέτησε ο Αριστοτέλης ζουν στο νερό. Ήταν ο πρώτος που διέκρινε τα «ένυδρα» ζώα σε θαλάσσια, ποτάμια, λιμναία και τελματιαία και υποστήριξε ότι στο θαλάσσιο περιβάλλον εμφανίζεται μεγαλύτερη ποικιλία ζωντανών

οργανισμών από ότι στο χερσαίο, κάτι που όμως δεν συμφωνεί με τις σύγχρονες παρατηρήσεις. Ο ίδιος απέδωσε το γεγονός αυτό στη φιλόξενη φύση της θάλασσας, όπου συμμετέχουν τα στοιχεία του νερού, του αέρα και της γης (βυθός), χάρη στην οποία είναι δυνατή η συμβίωση οργανισμών και από τους τρεις αυτούς τύπους περιβάλλοντος.

## 1. Βιολογική ποικιλότητα

### 1.1. Γενικά

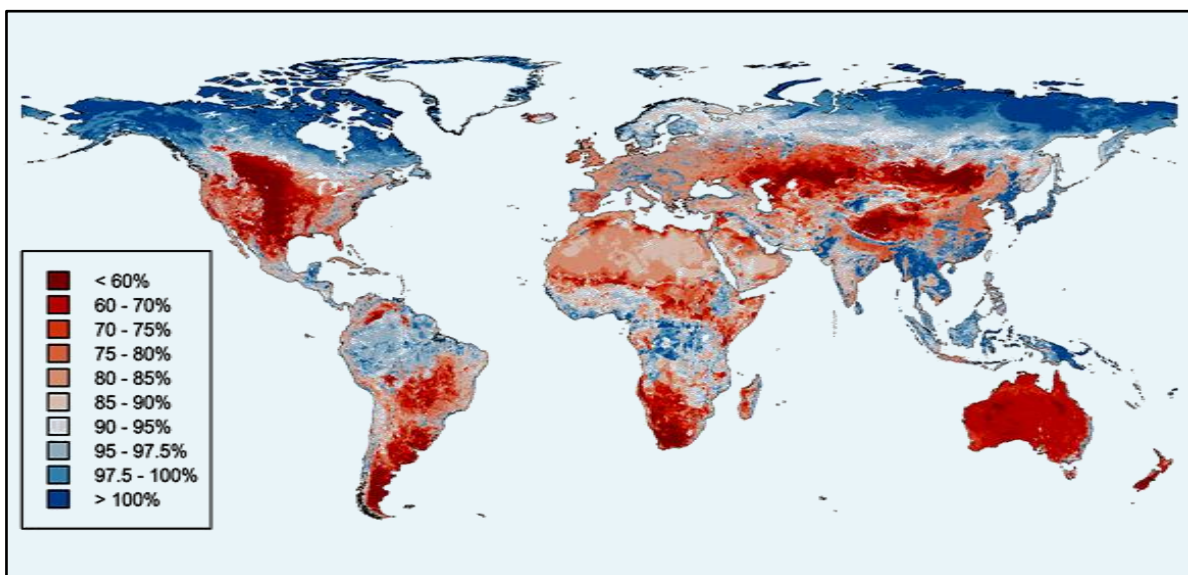
Η βιολογική ποικιλότητα δεν έχει ισόνομη κατανομή στην επιφάνεια του πλανήτη. Η αφθονία και ο πλούτος των ειδών μειώνεται όσο προχωράμε από τον ισημερινό προς τους πόλους και από μικρότερα σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Ο αριθμός των καταγεγραμμένων ειδών υπολογίζεται μεταξύ 1,4 - 1,8 εκατομμύρια (Πίνακας 1), ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις ο συνολικός αριθμός ειδών μπορεί να φθάνει τα 30–100 εκατομμύρια (Gaston & Spicer, 2004).

*Πίνακας 1. Αριθμός καταγεγραμμένων ειδών ανά ομάδα (Κόκκορης, 2008).*

| Ομάδα                              | Αριθμός ειδών |
|------------------------------------|---------------|
| Άλγη                               | 26.900        |
| Βακτήρια & κυανοπράσινα φύκη       | 4.760         |
| Βρυόφυτα                           | 17.000        |
| Μύκητες                            | 46.983        |
| Γυμνόσπερμα (κωνοφόρα)             | 750           |
| Αγγειόσπερμα (ανθόφυτα)            | 250.000       |
| Πρωτόζωα                           | 30.800        |
| Σπόγγοι                            | 5.000         |
| Κοράλια & μέδουσες                 | 9.000         |
| Γεωσκώληκες & κυλινδρικοί σκώληκες | 24.000        |
| Καρκινοειδή                        | 38.000        |
| Εντομα                             | 751.000       |
| Άλλα αρθρόποδα και ασπόνδυλα       | 132.461       |
| Μαλάκια                            | 50.000        |
| Αστερίες                           | 6.100         |
| Ψάρια                              | 19.056        |
| Αμφίβια                            | 4.184         |
| Ερπετά                             | 6.300         |
| Πτηνά                              | 9.198         |
| Θηλαστικά                          | 4.170         |

Όμως, οι ανθρώπινες επεμβάσεις στη φύση και κυρίως η καταστροφή των τροπικών δασών, ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες, είχε ως συνέπεια τη σημαντική μείωση της βιοποικιλότητας. Εκτιμάται ότι κάθε δεκαετία εκλείπει 1 - 8% των ειδών του πλανήτη, κυρίως λόγω της καταστροφής των ομβρόφιλων δασών (Καρανδεινός, 2007). Έχει υπολογιστεί ότι ο ρυθμός εξαφάνισης ειδών μπορεί να φτάνει ως και τα 3 είδη ανά ώρα, καθώς και ότι σε 3 με 4 αιώνες θα εξαφανιστεί το 50% περίπου των θηλαστικών, πουλιών και ερπετών (Κόκκορης κ.ά., 2005).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που απειλούν τη βιοποικιλότητα είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και κυρίως είναι η απώλεια, ο κατακερματισμός και η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων, η κλιματική αλλαγή, η υπερεκμετάλλευση των ειδών για ανθρώπινη χρήση, η εκούσια ή τυχαία εισαγωγή εξωτικών ειδών και η αυξημένη εξάπλωση των ασθενειών. Δυστυχώς στη σύγχρονη εποχή, η μείωση της βιοποικιλότητας έχει λάβει παγκόσμιες διαστάσεις (Εικόνα 1).



**Εικόνα 1.** Χάρτης της μείωσης της βιοποικιλότητας των χερσαίων ενδημικών ειδών στον πλανήτη. Πηγή: Natural History Museum ([www.nhm.ac.uk](http://www.nhm.ac.uk),2018)

## 1.2. Ορισμός της βιοποικιλότητας

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ήταν ήδη εμφανές στους επιστήμονες ότι η ποικιλότητα της ζωής απειλούνταν και ότι κύριος υπαίτιος ήταν ο άνθρωπος. Ο Αμερικανός βιολόγος Thomas Lovejoy (1980a), προειδοποιώντας για τις σοβαρές επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα οικοσυστήματα του πλανήτη ήταν αυτός που καθιέρωσε τον όρο «βιολογική ποικιλότητα» και υποστήριξε ότι αποτελεί το σημαντικότερο ζήτημα της εποχής μας. Βέβαια, η παλαιότερη αναφορά του όρου ανιχνεύεται στο 1955 (Gerbilskii & Petrunkevitch, 1955) και χρησιμοποιούνταν ήδη στην ακαδημαϊκή κοινότητα από τη δεκαετία του 1970 (Magurran, 2004). Η σύντμηση του όρου σε «βιοποικιλότητα», προτάθηκε το 1986 από τον Walter G. Rosen κατά τη διοργάνωση του συνεδρίου *National Forum on BioDiversity* που διεξήχθη στην Ουάσιγκτον, τα συμπεράσματα του οποίου εκδόθηκαν στο ομώνυμο βιβλίο του Edward O. Wilson, "Biodiversity" (1988). Πλέον, οι δύο αυτοί όροι έχουν καθιερωθεί ως συνώνυμοι από την επιστημονική κοινότητα.

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται πολλοί διαφορετικοί ορισμοί για την έννοια της βιοποικιλότητας. Ο πλέον διαδεδομένος είναι αυτός που αποτυπώθηκε στη *Σύμβαση του Ρίο για τη Βιολογική Ποικιλότητα* (Άρθρο 2), την οποία υπέγραψαν πάνω από 150 κράτη στη *Διάσκεψη Κορυφής των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη*, το 1992, στο Ρίο ντε τζανέιρο της Βραζιλίας. Σύμφωνα με αυτή:

*Ως «Βιολογική Ποικιλότητα» ορίζεται/εννοείται η ποικιλομορφία που εμφανίζεται ανάμεσα σε ζωντανούς οργανισμούς όλων των ειδών, των χερσαίων, θαλάσσιων και άλλων υδάτινων οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων, στα οποία οι οργανισμοί αυτοί ανήκουν. Ο ορισμός περιλαμβάνει την ποικιλότητα μέσα σε ένα είδος, όπως και εκείνη μεταξύ διαφορετικών ειδών και μεταξύ των οικοσυστημάτων.*

Βάσει του ορισμού, η έννοια της βιοποικιλότητας, μπορεί να αναλυθεί σε τρία επίπεδα μελέτης:



- η *γενετική ποικιλότητα (genetic diversity)* αφορά στη γονιδιακή ποικιλία μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους ή ενός πληθυσμού (αυξημένη γενετική ποικιλότητα αντιστοιχεί σε ευρύτερη εξάπλωση και αυξημένες πιθανότητες διαχρονικής επιβίωσης)
- η *ποικιλότητα ειδών (species diversity)* αφορά στην ποικιλία μεταξύ των ειδών σε ένα υπό μελέτη σύστημα και
- η *ποικιλότητα οικοσυστημάτων (ecosystem diversity)* αφορά στους διαφορετικούς τύπους οικοσυστημάτων καθώς και των ενδιαιτημάτων και οικολογικών διεργασιών που χαρακτηρίζουν το καθένα από αυτά.

## 2. Ποσοτικοποίηση της βιοποικιλότητας

*“When we look at the plants and bushes clothing an entangled bank, we are tempted to attribute their proportional numbers and kinds to what we call chance. But how false a view is this!”*

Charles Darwin

### 2.1. Εισαγωγή

Η διαφορά μεταξύ μιας τροπικής ζούγκλας και μιας μονοκαλλιέργειας ως προς τη βιοποικιλότητα είναι αυτονόητη με μια απλή παρατήρηση. Η ποσοτικοποίηση, όμως, μιας τόσο πολυδιάστατης έννοιας σε έναν αριθμό, ώστε να είναι δυνατή η μελέτη και η σύγκριση διαφορετικών οικοσυστημάτων στο χώρο και στο χρόνο με επιστημονικούς όρους, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη βέλτιστη διαχείρισή τους είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Για αυτό το λόγο, αναπτύχθηκαν ποικίλες μέθοδοι εκτίμησης δεικτών που εκφράζουν ποσοτικά τα χαρακτηριστικά των βιοκοινοτήτων. Η χρησιμότητα κάθε μεθόδου και η επιλογή της κατάλληλης εξαρτάται από το εκάστοτε

επιστημονικό ερώτημα. Βάσει αυτού, θα πρέπει να τεθούν τα πλαίσια μιας έρευνας, τόσο ταξινομικά (ποιές ταξινομικές ομάδες θα καταμετρηθούν), όσο χωρικά (ποιά είναι τα γεωγραφικά όρια της βιοκοινότητας υπό μελέτη), αλλά και χρονικά.

Ιστορικά, το πρώτο βήμα για την ποσοτικοποίηση της βιοποικιλότητας, μπορεί να θεωρηθεί ότι έγινε από τον Κάρολο Δαρβίνο (Charles Robert Darwin, 1809-1882) το 1855, όταν μέτρησε και κατέγραψε 142 είδη φυτών σε ένα λιβάδι δίπλα από το σπίτι όπου ζούσε, σε ένα χωριό στα περίχωρα του Λονδίνου. Στο βιβλίο του ορόσημο, «Η καταγωγή των ειδών» (1859), ο Δαρβίνος παρατηρεί ότι αναλόγως με τη γεωγραφία, κάποιες ταξινομικές ομάδες είναι πιο σπάνιες από άλλες, καθώς και ότι υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές στις σχετικές αφθονίες και τον πλούτο ειδών, θέτοντας θεμελιώδεις έννοιες και ερωτήματα που απασχολούν τους επιστήμονες της οικολογίας ακόμα και σήμερα (Magurran & McGill, 2011).

Στα τέλη του εικοστού αιώνα, η αναγνώριση της τεράστιας σημασίας της βιοποικιλότητας για την ανθρωπότητα, καθώς και η επανάσταση της πληροφορικής έδωσε επιπλέον ώθηση στην επιστήμη, μέσω της εκρηκτικής αύξησης της υπολογιστικής ισχύος και της ανάπτυξης νέων στατιστικών μοντέλων.

## 2.2. Πλούτος ειδών και αφθονία

Η αρχική προσέγγιση για την ποσοτικοποίηση της βιοποικιλότητας ήταν η μέτρηση των διαφορετικών ειδών οργανισμών σε μια βιοκοινότητα. Διαπιστώθηκε, όμως, ότι αυτό δεν είναι αρκετό, καθώς βιοκοινότητες με παρόμοιο αριθμό ειδών μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως προς τον αριθμό των ατόμων του κάθε είδους.

Συνεπώς, ως βιοποικιλότητα νοείται η συνισταμένη δύο επιμέρους συνιστωσών, οι οποίες μετρώνται ξεχωριστά (Pielou, 1977) και είναι:

α) ο **πλούτος ειδών (*species richness*)**, ο οποίος δεν είναι άλλος από τον αριθμό των διαφορετικών ειδών σε μια βιοκοινότητα, και αποτέλεσε το πρώτο και απλούστερο μέγεθος

που χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο βιοποικιλότητας. Είναι προφανές πως αύξηση του πλούτου των ειδών συνεπάγεται αύξηση της ποικιλότητας.

β) η **αφθονία ειδών (*species abundance*)** είναι ο αριθμός των ατόμων ανά είδος και συνολικά που καταγράφονται σε μια βιοκοινότητα. Μεγάλη αφθονία, όμως δε σημαίνει απαραίτητα και ποικιλότητα, καθώς αυτό που ενδιαφέρει είναι η κατανομή της αφθονίας των ατόμων μεταξύ των ειδών. Δηλαδή, κατά πόσο τα είδη μιας βιοκοινότητας εκπροσωπούνται στο δείγμα με παρόμοιους ή όχι, αριθμούς ατόμων.

Δύο έννοιες που συνδέουν την αφθονία με την ποικιλότητα είναι η *κυριαρχία (dominance)* και η *ισομέρεια ή ισοκατανομή (evenness)*. Έστω για παράδειγμα, ότι το δείγμα από μια βιοκοινότητα αποτελείται από 100 άτομα και 10 είδη. Μέγιστη ισομέρεια θα σημαίνει ότι όλα τα είδη αντιπροσωπεύονται με ίσες αφθονίες ατόμων, δηλαδή από 10 άτομα στο κάθε είδος, ενώ αντίθετα, μέγιστη κυριαρχία όταν ένα είδος αντιπροσωπεύεται από 91 άτομα και τα υπόλοιπα 9 είδη από ένα άτομο το κάθε ένα. Οι δύο ακραίες αυτές καταστάσεις συνήθως δεν απαντώνται στη φύση. Στην μεγάλη πλειονότητα των περιπτώσεων, ένα ή λίγα είδη παρατηρούνται σε μεγάλες αφθονίες (κυρίαρχα είδη) και τα υπόλοιπα σε μικρότερες έως πολύ μικρές (σπάνια είδη). Κυριαρχία και ισομέρεια είναι μεν δύο έννοιες αντίθετες, είναι όμως ταυτόχρονα και συμπληρωματικές. Αυτό σημαίνει ότι η ποσοτικοποίηση της κατανομής της αφθονίας σε ένα δείγμα αποτελεί μέτρο και των δύο ταυτόχρονα.

### **2.3. Προϋποθέσεις μέτρησης της βιοποικιλότητας**

Η μέτρηση της βιοποικιλότητας προϋποθέτει τρεις βασικές παραδοχές (Peet, 1974):

- όλα τα είδη θεωρούνται *ισοδύναμα*, ανεξάρτητα από την αφθονία τους, τη σημαντικότητα που μπορεί να τους αποδοθεί ή τη συνεισφορά τους στην οικοσυστημική λειτουργία. Μόνον η σχετική αφθονία ενός είδους καθορίζει το ειδικό βάρος του σε ένα μέτρο ποικιλότητας.

- όλα τα άτομα θεωρούνται ισότιμα, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους (αν και η μέθοδος δειγματοληψίας μπορεί να αποτυγχάνει πολλές φορές να υποστηρίξει αυτή την παραδοχή στην πράξη –π.χ. τα δίκτυα συγκρατούν άτομα μεγαλύτερα από ένα ελάχιστο μέγεθος) και
- η αφθονία μετράται σε κατάλληλες και συγκρίσιμες μονάδες, καθώς είναι προφανές ότι δεν έχει καμία αξιοπιστία μια μέτρηση που συγκρίνει ταυτόχρονα αφθονίες ατόμων και δεδομένα βιομάζας.

#### 2.4. Η βιοποικιλότητα στο χώρο (και στο χρόνο) – α, β, γ ποικιλότητα

Ο πρωτοπόρος οικολόγος Robert H. Whittaker εισήγαγε το 1960 τη διάκριση της βιοποικιλότητας σε τρία επίπεδα ως προς τη χωρική ανάλυση (Whittaker, 1960):

- **α - ποικιλότητα** : Αναφέρεται στην ποικιλότητα σε ένα προκαθορισμένο πλαίσιο τοπικής κλίμακας. Συνήθως μετράται η ποικιλότητα ειδών σε ένα ενδιαίτημα ή δείγμα.
- **β - ποικιλότητα** : Αναφέρεται στη διαφοροποίηση της ποικιλότητας μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων τοπικής κλίμακας. Ο Whittaker αρχικά αναφέρθηκε στην ανανέωση ειδών (species turnover) μεταξύ δειγμάτων κατά τη διεύθυνση μιας γεωγραφικής διαβάθμισης, αλλά η έννοια αργότερα διευρύνθηκε ώστε να περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση της ποικιλότητας εντός μιας περιοχής ή και μεταξύ μονάδων δειγματοληψίας στο χώρο ή, πιο σπάνια, στο χρόνο.
- **γ - ποικιλότητα** : Αναφέρεται στην ολική ποικιλότητα σε ένα σύνολο τοπικών συστημάτων σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή ως συνέπεια της σύνθεσης της α και της β ποικιλότητας.

Ο διαχωρισμός αυτός έχει γίνει ευρέως αποδεκτός, καθώς εκφράζει σημαντικές διαστάσεις της έννοιας της βιοποικιλότητας.

## 2.5. Δειγματοληπτική προσπάθεια

Για τον υπολογισμό των δεικτών ποικιλότητας πρέπει να τονιστεί η διάκριση μεταξύ του αριθμού ειδών σε ένα δείγμα και τον πλούτο ειδών της πραγματικής βιοτικής σύνθεσης μιας βιοκοινότητας. Η πλήρης καταγραφή όλων των ειδών σε μια περιοχή είναι πρακτικά ανέφικτη, ειδικά όσο μεγαλύτερο είναι το γεωγραφικό πλαίσιο που έχει τεθεί προς μελέτη. Συνεπώς, η ποικιλότητα πρέπει να εκτιμηθεί βάσει της δειγματοληπτικής προσπάθειας, η οποία θα πρέπει να είναι προκαθορισμένη και να εφορμίζεται συστηματικά, καθώς είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η προσπάθεια τόσο αυξάνεται η πιθανότητα για την εύρεση περισσότερων ειδών.

Η εκτίμηση της βιοποικιλότητας ανάλογα με τον ορισμό της δειγματοληπτικής προσπάθειας, μπορεί να εκφραστεί με δύο βασικούς τρόπους (Gotelli & Colwell, 2001; Magurran, 2004). *Ως προς τον αριθμό ατόμων*, όταν εκτιμάται ο πλούτος ειδών ανά συγκεκριμένο αριθμό ατόμων ή βιομάζας που καταγράφεται, και *ως προς τη μονάδα δείγματος*, όταν καταμετρούνται τα άτομα ή υπολογίζεται η βιομάζα ανά συγκεκριμένη περιοχή δειγματοληψίας. Στη δεύτερη περίπτωση, η μονάδα δείγματος μπορεί να είναι συγκεκριμένων διαστάσεων πλέγμα, πλαίσιο, παγίδα κ.ά. Η καταγραφή της παρουσίας ειδών (species incidence), χωρίς την αφθονία τους, είναι στην ουσία μια άλλη μορφή της πυκνότητας ειδών και μπορεί επίσης, να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της βιοποικιλότητας (Magurran, 2004).

## 3. Μεθοδολογία

### 3.1. Εκτίμηση του πλούτου ειδών

Δύο από τους πιο διαδεδομένους δείκτες για την εκτίμηση του πλούτου ειδών ενός πληθυσμού από τα δειγματοληπτικά δεδομένα είναι:

- Ο δείκτης του Margalef (1958)

$$R_1 = \frac{S - 1}{\ln N}$$

- Ο δείκτης του Menhinick (1964)

$$R_2 = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

όπου  $S$  και  $N$ , οι αριθμοί των ειδών και ατόμων αντίστοιχα στο δείγμα.

Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης βασίζεται στην καμπύλη συσσώρευσης ειδών. Η καμπύλη αυτή είναι το γράφημα που προκύπτει εάν σε κάθε δειγματοληψία αντιστοιχίσουμε το σύνολο των ειδών που έχουν βρεθεί μέχρι εκείνο το δείγμα. Επειδή σε κάθε δείγμα τα νέα είδη θα είναι όλο και λιγότερα, ο αριθμός ειδών θα πλησιάζει ασυμπτωτικά μια ανώτερη τιμή. Βασιζόμενη σε αυτή την παραδοχή και προσεγγίζοντας την καμπύλη συσσώρευσης μη παραμετρικά, η Chao (1984) δημοσίευσε ένα δείκτη που δίνει έμφαση στα πιο σπάνια είδη:

- Δείκτης Chao1:

$$S_{Chao1} = S_{obs} + \frac{f_1(f_1 - 1)}{2(f_2 + 1)}$$

με διακύμανση

$$var(S_{Chao1}) = f_2 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^2 + \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^3 + \frac{1}{4} \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^2 \right] \quad \text{για } f_1, f_2 > 0$$

όπου  $S_{obs}$  ο αριθμός των ειδών στο δείγμα και  $f_1, f_2$  οι αριθμοί των ειδών που αντιπροσωπεύονται με ένα και δύο άτομα αντίστοιχα στο δείγμα.

Ο δείκτης Chao1 θεωρείται από τους πλέον αποτελεσματικούς και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές προόδους όσον αφορά στην μέτρηση της βιοποικιλότητας την τελευταία εικοσαετία. Η ευκολία στην κατανόηση, τη χρήση και τον υπολογισμό του είναι τα μεγάλα πλεονεκτήματά του (Magurran, 2004).

### 3.2. Δείκτες ετερογένειας

Τα μέτρα που συνδυάζουν τις πληροφορίες του πλούτου ειδών και της κατανομής της αφθονίας τους λέγονται *δείκτες ποικιλότητας ή ετερογένειας*. Ανάλογα με τη βαρύτητα που αποδίδει ο κάθε δείκτης στη μία ή την άλλη συνιστώσα, οι μετρήσεις τους επιδέχονται διαφορετικής ερμηνείας όσον αφορά στη βιοποικιλότητα και τον τρόπο που αξιολογείται το εκάστοτε σύστημα υπό μελέτη. Μόνο για το πλήθος και τη συχνότητα εμφάνισης νέων τέτοιων δεικτών στη διεθνή βιβλιογραφία, έχει αφιερωθεί μεγάλος αριθμός μελετών, οι περισσότερες από τις οποίες αναφέρουν ότι η καταλληλότητα ενός δείκτη εξαρτάται από τα ζητούμενα και τις συνθήκες της εκάστοτε έρευνας που κάνει χρήση αυτού.

Τα μέτρα ετερογένειας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες (Magurran, 2004):

Τα *παραμετρικά μέτρα ποικιλότητας* προϋποθέτουν ότι τα δεδομένα αφθονίας των ειδών ακολουθούν συγκεκριμένη γνωστή κατανομή (π.χ. γεωμετρική, λογαριθμική κτλ.). Οι τιμές που πρέπει να λάβουν οι παράμετροι της γνωστής κατανομής για να ταιριάξουν με

την κατανομή των δεδομένων λαμβάνονται ως δείκτες. Από τους πρώτους τέτοιους δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Ο δείκτης  $\alpha$  του Fisher (Fisher *et.al.* 1943) της λογαριθμικής κατανομής αποτελεί μια εκτίμηση του αριθμού των σπάνιων ειδών και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$S = \alpha \ln \left( 1 + \frac{N}{\alpha} \right)$$

όπου  $S$  και  $N$  ο αριθμός των ειδών και ατόμων αντίστοιχα στο δείγμα.

Τα μειονεκτήματα των παραμετρικών μεθόδων είναι ότι η κατανομή της αφθονίας στο δείγμα μπορεί να μην ταιριάζει με την εκάστοτε γνωστή κατανομή, αλλά και ότι δύο διαφορετικές κατανομές που μπορεί να ταιριάξουν ικανοποιητικά, θα δώσουν διαφορετική εκτίμηση για την ποικιλότητα.

Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν τα μη παραμετρικά μέτρα ποικιλότητας, στα οποία δεν γίνεται καμία εκ των προτέρων υπόθεση για την στατιστική κατανομή της αφθονίας στα είδη. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν επηρεάζονται από αλλαγές στις κατανομές των δεδομένων αφθονίας. Η ανάπτυξη και η χρήση τέτοιων μέτρων έχει γνωρίσει αλματώδη αύξηση τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Magurran & McGill, 2011). Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες είναι:

- Ο δείκτης Simpson ήταν ο πρώτος μη παραμετρικός δείκτης που προτάθηκε (Simpson, 1949) και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

όπου  $S$  και  $N$  ο αριθμός των ειδών και ατόμων αντίστοιχα στο δείγμα και  $n_i$  η αφθονία των ατόμων που ανήκουν στο είδος  $i$



Ο δείκτης περιγράφει την πιθανότητα, δυο άτομα που συλλέγονται τυχαία από ένα δείγμα μιας βιοκοινότητας να ανήκουν στο ίδιο είδος. Στην ουσία περιγράφει την έννοια της κυριαρχίας και επηρεάζεται από τον αριθμό των ειδών αλλά και από την κατανομή των ατόμων στα είδη (Καρανδεινός, 2007). Ο δείκτης του Simpson μπορεί να μετατραπεί από δείκτη κυριαρχίας σε δείκτη ποικιλότητας ως  $1-D$ , οπότε εκφράζει την πιθανότητα δύο άτομα που επιλέγονται τυχαία να ανήκουν σε διαφορετικά είδη και παίρνει τιμές από 0 έως 1 (μέγιστη ποικιλότητα), ή ως  $1/D$ , οπότε παίρνει τιμές από 1 έως  $S$ .

Ακόμα ένας δείκτης κυριαρχίας είναι:

- Ο δείκτης Berger-Parker (1970)

$$d = \frac{\max(n_i)}{N}$$

όπου  $N$  ο αριθμός των ειδών στο δείγμα και  $\max(n_i)$  ο αριθμός των ατόμων που ανήκουν στο είδος με τη μεγαλύτερη αφθονία.

Ο δείκτης αυτός εκφράζει τη σχετική αφθονία του κυρίαρχου είδους στο δείγμα. Για μεγάλο αριθμό ειδών ( $S > 100$ ) δεν εξαρτάται από το  $S$ , αλλά για μικρά δείγματα τείνει να μειώνεται όσο αυξάνεται ο πλούτος ειδών (Magurran, 2004). Επειδή είναι ένας ιδιαίτερα απλός δείκτης κυριαρχίας με ξεκάθαρη βιολογική έννοια και εύκολος στον υπολογισμό του, θεωρείται ένας από τους πιο ικανοποιητικούς δείκτες ποικιλότητας (May, 1975). Όπως και με το δείκτη Simpson, η αντιστροφή του δείκτη με τη μορφή  $1/d$ , τον μετατρέπει σε δείκτη ποικιλότητας.

Ίσως ο πιο διαδεδομένος δείκτης στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι αυτός των Shannon και Wiener. Προέρχεται από τη θεωρία των πληροφοριών και σύμφωνα με αυτή, μετράει το πληροφοριακό φορτίο ανά σύμβολο ενός κώδικα. Ουσιαστικά, αποτελεί ένα μέτρο εντροπίας, η οποία παραλληλίστηκε με την έννοια της ποικιλότητας ενός οικοσυστήματος, παρόλο που η σχέση αυτή δεν είναι ευνόητη με οικολογικούς όρους. Ο δείκτης Shannon-Wiener μετράει το βαθμό αβεβαιότητας στην πρόβλεψη του είδους στο οποίο ανήκει ένα

άτομο, που λαμβάνεται τυχαία από ένα δείγμα  $S$  ειδών και  $N$  ατόμων. Στην περίπτωση ενός τυχαίου δείγματος που λαμβάνεται από μια βιοκοινότητα, υπολογίζεται από τον τύπο:

- Δείκτης Shannon-Wiener (1949)

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln\left(\frac{n_i}{N}\right)$$

όπου  $S$  και  $N$  ο αριθμός των ειδών και ατόμων αντίστοιχα στο δείγμα και  $n_i$  η αφθονία των ατόμων που ανήκουν στο είδος  $i$

Η βάση του λογαρίθμου μπορεί να είναι οποιαδήποτε λογαριθμική βάση, αρκεί να αναφέρεται κάθε φορά. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σαν βάση το  $e$  η μονάδα είναι ένα "nat", για βάση 2 η μονάδα είναι ένα "bit" και για βάση 10 η μονάδα είναι ένα "decit". Ο δείκτης Shannon-Wiener, ή απλά όπως συνηθίζεται, ο δείκτης Shannon έχει κριθεί πολλές φορές αναποτελεσματικός (Bullock, 1971a; Hurlbert, 1971; Taylor *et al.*, 1976; Routledge, 1979; Karydis & Tsirtsis, 1996, Spatharis *et al.*, 2011), γιατί έχει το μειονέκτημα να συμπιέζει τις πληροφορίες που προέρχονται από την ποικιλότητα ειδών και την ισομέρεια ενός δείγματος σε ένα μοναδικό αριθμό, χωρίς να είναι σαφές πώς και πόσο τον επηρεάζει η κάθε μία.

### 3.3. Δείκτες ισομέρειας

Συχνά η επιστημονική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί ξεχωριστά στον πλούτο ειδών και την ισομέρεια σε μια βιοκοινότητα, καθώς τα χαρακτηριστικά αυτά αντανακλούν διαφορετικές οικολογικές διεργασίες. Ο αριθμός των ειδών, για παράδειγμα, μπορεί να σχετίζεται με το βαθμό ετερογένειας του περιβάλλοντος, ή το βαθμό απομόνωσης μιας περιοχής, που επιτρέπουν την ύπαρξη λιγότερων ή περισσότερων ειδών.

Η ισομέρεια εξάλλου, μπορεί να αντανακλά τις λειτουργικές σχέσεις μεταξύ των ειδών, όπως τον ανταγωνισμό, τη θήρευση, τον παρασιτισμό ή τη συμβίωση. Μπορεί επίσης να σχετίζεται με τη συγκριτική ικανότητα αναπαραγωγής και προσαρμογής των διαφόρων οργανισμών. Οι δείκτες ισομέρειας αναπτύχθηκαν με σκοπό την ποσοτικοποίηση της ποικιλότητας της ισομέρειας σε έναν αριθμό και συνήθως προσδιορίζονται ως το πηλίκο της ισομέρειας της υπό μελέτη βιοκοινότητας, προς την μέγιστη δυνατή ισομέρεια που η βιοκοινότητα θα μπορούσε να έχει με τον ίδιο αριθμό ειδών, εάν δηλαδή όλα τα είδη εκπροσωπούσαν με τον ίδιο αριθμό ατόμων.

Οι περισσότεροι από τους δείκτες ισομέρειας που έχουν προταθεί, κάνουν χρήση του δείκτη Shannon-Wiener ( $H$ ), ή του αντίστροφου του δείκτη κυριαρχίας του Simpson ( $D$ ), ή κάποιου συνδυασμού αυτών. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν οι εξής (Smith & Wilson, 1996):

$$-E_1 = \frac{H}{\ln S}$$

Η Pielou (1975) διαίρεσε το δείκτη Shannon  $H$  με τη μέγιστη τιμή του  $H_{\max} = \ln(S)$  για να μετριάσει την επίδραση από τη μεταβολή του πλούτου ειδών. Ο δείκτης ονομάστηκε *Evenness*.

$$-E_2 = \frac{e^H}{S}$$

Το δείκτη αυτόν, ο οποίος δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αφθονία των κυρίαρχων και των σπάνιων ειδών, πρότειναν οι Buzas και Gibson (1969).

$$-E_3 = \frac{e^H - 1}{S - 1}$$

Ο Heip (1974) πρότεινε αυτόν το δείκτη, τροποποιώντας τον προηγούμενο για να ξεπεράσει το πρόβλημα της εξάρτησης από το μέγεθος του δείγματος.

$$-E_4 = \frac{1}{e^H \cdot D}$$

Ο Hill (1973) έδειξε ότι ο αριθμός ειδών (S), ο αντίστροφος του δείκτη Simpson (1/D) και η εκθετική συνάρτηση με βάση e και εκθέτη το δείκτη Shannon (e<sup>H</sup>), ανήκουν σε μια οικογένεια συναρτήσεων ως ειδικές περιπτώσεις. Πρότεινε το πηλίκο των δύο τελευταίων ως δείκτη ισομέρειας.

$$-E_5 = \frac{\frac{1}{D} - 1}{e^H - 1}$$

Ο Alatalo (1981) τροποποίησε τον προηγούμενο δείκτη, με το ίδιο σκεπτικό που χρησιμοποίησε ο Heip προηγουμένως.

Κάθε δείκτης παρουσιάζει διαφορετική ευαισθησία σε μεταβολές της κατανομής της αφθονίας, του αριθμού των ειδών ή του μεγέθους του δείγματος. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι δείκτες α ποικιλότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

**Πίνακας 2.** Οι δείκτες α ποικιλότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

| Δείκτες πλούτου ειδών   | Δείκτες ετερογένειας   | Δείκτες ισομέρειας                      |
|---|--|---|
| Αριθμός ειδών<br><b>S</b>   | Shannon-Wiener<br>$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln\left(\frac{n_i}{N}\right)$ | Evenness<br>$E_1 = \frac{H}{\ln S}$     |
| Margalef<br>$R_1 = \frac{S - 1}{\ln N}$   | Simpson diversity<br><b>1-D</b>  | $E_2 = \frac{e^H}{S}$                   |
| E.F. Menhinick<br>$R_2 = \frac{S}{\sqrt{N}}$                                    | Fisher alpha<br>$S = \alpha \ln\left(1 + \frac{N}{\alpha}\right)$                  | $E_3 = \frac{e^H - 1}{S - 1}$           |
| Chao 1<br>$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + \frac{f_1(f_1 - 1)}{2(f_2 + 1)}$ | Simpson<br>$D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$                        | $E_4 = \frac{1}{e^H \cdot D}$           |
|   | Berger - Parker<br>$d = \frac{\max_i(n_i)}{N}$                                     | $E_5 = \frac{\frac{1}{D} - 1}{e^H - 1}$ |

### 3.4. Μοντέλα κατανομής αφθονίας

Η χρήση δεικτών ποικιλότητας διευκολύνει τη μελέτη των βιοκοινοτήτων, όσον αφορά στην αξιολόγηση και τη σύγκριση μεταξύ τους, καθώς συμπυκνώνει τις πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν για τις ιδιότητές τους σε έναν αριθμό. Αυτό, όμως, μεταφράζεται σε απώλεια πληροφορίας, καθώς δεν είναι δυνατόν ένας αριθμός να εκφράσει πλήρως μια πολυδιάστατη έννοια, όπως η βιοποικιλότητα.

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, είναι ο προσδιορισμός της μαθηματικής σχέσης μεταξύ του αριθμού των ειδών και της αφθονίας των ατόμων, δηλαδή η μαθηματική έκφραση της κατανομής των ατόμων στα είδη (Καρανδεινός, 2007). Γιαυτό το λόγο, αναπτύχθηκαν μοντέλα κατανομής της αφθονίας, με σκοπό την βαθύτερη κατανόηση των οικολογικών μηχανισμών που καθορίζουν τη διαμόρφωση της δομής μιας βιοκοινότητας.

Τα μοντέλα κατανομής αφθονίας βασίζονται στην υπόθεση ότι η αφθονία ενός είδους αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την ικανότητά του να ανταγωνιστεί άλλα είδη ως προς την ικανότητα δέσμευσης και εκμετάλλευσης ενός περιορισμένου φυσικού πόρου (Magurran, 2004). Με άλλα λόγια, οι μηχανισμοί με τους οποίους τα είδη διαμοιράζονται τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους, αντανακλώνται στις σχετικές αφθονίες τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιορισμένων φυσικών πόρων είναι τα θρεπτικά στοιχεία σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα, η ποσότητα ηλιακού φωτός για φωτοσυνθετικούς οργανισμούς ή ο διαθέσιμος χώρος του υποστρώματος για εδραίους οργανισμούς.

Η συνηθέστερη προσέγγιση για τη μελέτη των κατανομών αφθονίας είναι η απεικόνιση των δεδομένων σε γράφημα ιεραρχημένης αφθονίας (rank/abundance plot). Τα είδη αντιστοιχούνται ιεραρχικά στον οριζόντιο άξονα (x) από το πολυπληθέστερο έως το σπανιότερο και στον κάθετο άξονα (y) απεικονίζονται οι αντίστοιχες αφθονίες. Συχνά, οι υψηλές αφθονίες κυρίαρχων ειδών διαφέρουν έως και μερικές τάξεις μεγέθους από τις χαμηλότερες, οπότε είναι χρήσιμο να απεικονίζονται οι λογάριθμοι των αφθονιών. Στη συνέχεια, οι κατανομές συγκρίνονται με γνωστές στατιστικές κατανομές που βασίζονται σε αντίστοιχες υποθέσεις καταμερισμού πόρων. Το πλεονέκτημα τέτοιων γραφημάτων είναι

ότι γίνονται άμεσα ορατές οι διαφορές στις σχετικές αφθονίες μεταξύ των ειδών ενός δείγματος, καθώς και στις κατανομές μεταξύ δειγμάτων.

Στην παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθούν τα εξής μοντέλα κατανομής αφθονίας:

– *Μοντέλο γεωμετρική σειράς* (Motomura, 1932). Ήταν η πρώτη προσπάθεια να διερευνηθεί η μαθηματική σχέση μεταξύ του αριθμού των ειδών και του αριθμού των ατόμων που ανήκουν σε αυτά τα είδη. Η υπόθεση καταμερισμού του αναγκαίου φυσικού πόρου σε αυτή την περίπτωση είναι ότι το κάθε είδος δεσμεύει, ιεραρχικά από το πολυπληθέστερο έως το πιο σπάνιο, ένα συγκεκριμένο ποσοστό του φυσικού πόρου που δεν έχει δεσμευθεί προηγουμένως. Ως αποτέλεσμα, το δεύτερο σε αφθονία είδος θα έχει αριθμό ατόμων π.χ.  $k < 1$  ποσοστό του πρώτου, το τρίτο σε αφθονία είδος θα έχει ποσοστό  $k$  του δεύτερου κ.ο.κ. Έτσι, το  $i$  είδος θα έχει αφθονία:

$$n_i = n_1 k^{i-1}$$

Σε γράφημα με τους λογάριθμους των αφθονιών, η παραπάνω γραφική παράσταση είναι ευθεία γραμμή.

– *Μοντέλο λογαριθμικής σειράς*. Προτάθηκε από τον Fisher το 1943, ο οποίος βασιζόμενος σε εμπειρικά δεδομένα, διατύπωσε την υπόθεση ότι εάν  $S_1$  είναι ο αριθμός των ειδών που αντιπροσωπεύονται με ένα άτομο, τότε ο αριθμός των ειδών που αντιπροσωπεύονται με 2 άτομα θα είναι  $S_2 = S_1/2$ , με 3 άτομα θα είναι  $S_3 = S_1/3$  κ.ο.κ. Έτσι, η κατανομή παίρνει τη μορφή:

$$S_n = \frac{a x^n}{n}$$

Όπου,  $S_n$  είναι ο αριθμός των ειδών που αντιπροσωπεύονται με  $n$  άτομα και  $a$  και  $x$  είναι παράμετροι που υπολογίζονται από τα εμπειρικά δεδομένα. Η παράμετρος  $x$  λαμβάνει συνήθως τιμές λίγο μικρότερες της μονάδας ( $0,9 < x < 1$ ) και εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος του δείγματος που λήφθηκε από μια βιοκοινότητα. Η παράμετρος  $a$  δεν

επηρεάζεται από το μέγεθος του δείγματος και θεωρείται εγγενής ιδιότητα της βιοκοινότητας. Γιαυτό το λόγο χρησιμοποιείται και ως δείκτης βιοποικιλότητας (δείκτης Fisher).

– *Μοντέλο της τεμαχισμένης ράβδου (Broken stick model)*. Προτάθηκε από τον οικολόγο Robert MacArthur το 1957. Ο περιορισμένος φυσικός πόρος σε αυτή την περίπτωση αντιστοιχεί σε μια ράβδο, ή ευθύγραμμο τμήμα, η οποία τεμαχίζεται τυχαία σε  $S$  τμήματα, όσα και ο αριθμός των ειδών. Τα μήκη των τμημάτων αυτών, αντιπροσωπεύουν κατά αντιστοιχία τον αριθμό ατόμων κάθε είδους. Έχει υπολογιστεί ότι η αφθονία  $n_i$  του  $i$  είδους θα είναι:

$$n_i = \frac{1}{S} \sum_{x=1}^S \frac{1}{x} \quad , \text{ με } i = 1, 2, 3 \dots, S$$

– *Μοντέλο της λογαριθμοκανονικής κατανομής*. Η κατανομή αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Preston το 1948, ο οποίος παρατήρησε ότι οι λογάριθμοι με βάση 2 των αφθονιών των ειδών συχνά εμφανίζουν κανονική κατανομή. Με αυτόν τον τρόπο, ομαδοποίησε τις αφθονίες σε κλάσεις αφθονίας που ονομάζονται και οκτάβες. Στην παρούσα εργασία, κάθε οκτάβα αντιστοιχεί σε ένα εύρος τιμών αφθονίας που είναι διπλάσιο από το εύρος της προηγούμενης οκτάβας και περιέχει τον αριθμό των ειδών που αντιπροσωπεύονται με τις αντίστοιχες αφθονίες (Krebs, 1989). Έτσι, η πρώτη οκτάβα έχει εύρος τιμών αφθονίας 1 και περιέχει τον αριθμό των ειδών που αντιπροσωπεύονται με 1 άτομο, η δεύτερη οκτάβα έχει εύρος τιμών αφθονίας 2 και περιέχει τον αριθμό των ειδών που αντιπροσωπεύονται με 2 και 3 άτομα, η τρίτη οκτάβα έχει εύρος τιμών αφθονίας 4 και περιέχει τον αριθμό των ειδών που αντιπροσωπεύονται με 4,5,6 και 7 άτομα κ.ο.κ. Η μαθηματική έκφραση της κατανομής είναι:

$$S(R) = S_0 e^{-(\alpha R)^2}$$

όπου  $S(R)$  ο αναμενόμενος αριθμός ειδών στην οκτάβα  $R$ ,  $S_0$  είναι ο αριθμός των ειδών στην οκτάβα με το μεγαλύτερο αριθμό ειδών (modal octave) και  $\alpha$  είναι παράμετρος που εκφράζει την αντίστροφη τιμή της διακύμανσης της κατανομής.

Η οικολογική αιτιολόγηση του μοντέλου λογαριθμοκανονικής κατανομής βασίζεται στην υπόθεση ότι η αφθονία ενός είδους επηρεάζεται από το γινόμενο μάλλον, παρά το άθροισμα, ενός μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παραγόντων. Έχει διαπιστωθεί ότι το μοντέλο αυτό περιγράφει αρκετά ικανοποιητικά δεδομένα σε περιπτώσεις πολύ διαφορετικών ομάδων οργανισμών όπως διάτομα, έντομα, πτηνά, φυτά κ.ά., όταν το δείγμα είναι αρκετά μεγάλο και περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ειδών (Καρανδεινός, 2007). Επίσης, έχει βρει ευρεία εφαρμογή σε πολλά και διαφορετικά πεδία επιστημονικής έρευνας, όπως τη γενετική, τη χημεία, τη νευροβιολογία κ.ά.

### 3.5. Μέθοδος Bootstrap

Η μέθοδος bootstrap αποτελεί μια εναλλακτική στατιστική μέθοδο για την εκτίμηση των παραμέτρων της κατανομής των τιμών που παίρνει μια μεταβλητή και τα όρια εμπιστοσύνης της εκτίμησης αυτής. Αν και έχει αναπτυχθεί πριν από αρκετές δεκαετίες, μόλις πρόσφατα έχει βρει εφαρμογή στην Οικολογία και άλλες έρευνες πεδίου, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού υπολογισμών που απαιτεί. Σήμερα, οι υπολογισμοί αυτοί μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα, χάρη στην ανάπτυξη των Η/Υ και τα λογισμικά που είναι πλέον διαθέσιμα.

Πρόκειται για μη παραμετρική μέθοδο και έχει το πλεονέκτημα ότι δεν είναι απαραίτητο να είναι, ή να θεωρείται γνωστή η κατανομή των τιμών της μεταβλητής που μελετάται. Εφαρμόζεται με επαναληπτικές εικονικές δειγματοληψίες με επανατοποθέτηση, από ένα πραγματικό δείγμα. Από τα εικονικά δείγματα που παράγονται υπολογίζονται οι ζητούμενες παράμετροι (μέση τιμή, διακύμανση, διασπορά κλπ.) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης των κατανομών των τιμών τους, με τις καθιερωμένες μεθόδους. Ο αριθμός



των επαναλήψεων θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, τουλάχιστον 500 (Καρανδεινός, 2007). Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε με 9.999 επαναλήψεις κάθε φορά, στις κατανομές των τιμών των δεικτών της α ποικιλότητας, με χρήση του λογισμικού PAST.

Η μέθοδος bootstrap αναπτύχθηκε από τον Αμερικανό στατιστικό Bradley Efron (1979) και θεωρήθηκε επαναστατική, γιατί από ένα μικρό αριθμό αρχικών δεδομένων μπορεί να παραχθεί μεγάλο πλήθος εικονικών δεδομένων, τα οποία προσφέρονται για στατιστική επεξεργασία. Η λέξη bootstrap αναφέρεται στις θηλιές που έχουν οι μπότες για να διευκολύνουν την εφαρμογή τους. Η μέθοδος ονομάστηκε έτσι, από τον μυθιστορηματικό ήρωα Βαρόνο Μυνχάουζεν, ο οποίος από το βυθό μιας λίμνης, κατάφερε να βγει στην επιφάνεια τραβώντας τον εαυτό του από τις μπότες του.

### **3.6. Πρόγραμμα PAST (έκδοση 3.20)**

Το πρόγραμμα PAST (PALaeontological STATistics) είναι ένα υπολογιστικό πακέτο που δημιουργήθηκε ως συνέχεια του προγράμματος PALSTAT, από τους P.D. Ryan, D.A.T. Harper και J.S. Whalley (Ryan *et al.* 1995). Αρχικά, σχεδιάστηκε για την επιστήμη της Παλαιοντολογίας και Παλαιο-Οικολογίας, αλλά οι εφαρμογές του αποτελούν χρήσιμο εργαλείο και σε άλλους τομείς. Το PAST περιέχει στις εφαρμογές του οικολογικές στατιστικές μεθόδους οι οποίες δεν υπάρχουν σε κοινά προγράμματα στατιστικής, καθιστώντας το ένα μοναδικό εργαλείο στον χώρο της ποσοτικής οικολογίας. Το περιβάλλον του είναι συμβατό σε πολλά χαρακτηριστικά με το κοινό περιβάλλον του Excel, κάτι που το καθιστά άμεσα φιλικό στο χρήστη. Το πρόγραμμα PAST διατίθεται δωρεάν στον ιστότοπο: <http://folk.uio.no/ohammer/past>.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται μια ενδεικτική απεικόνιση του περιβάλλοντος εργασίας του PAST. Τα είδη καταχωρούνται συνήθως στις σειρές, ενώ τα δείγματα στις στήλες.

The screenshot shows the PAST software window titled 'Abundance\_5m\_71st\_PAST.dat'. The interface includes a menu bar (File, Edit, Transform, Plot, Univariate, Multivariate, Model, Diversity, Timeseries, Geometry, Stratigraphy, Script, Help) and a toolbar with options like 'Show', 'Click mode', 'Edit', and 'View'. The main data table is as follows:

|                               | 1    | 2  | 3  | 4  | 5 | 6   | 7   | 8   |
|-------------------------------|------|----|----|----|---|-----|-----|-----|
| <b>Anthias anthias</b>        | • 0  | 0  | 11 | 32 | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Apogon imberbis</b>        | • 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 1   |
| <b>Atherina spp.</b>          | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Boops boops</b>            | • 0  | 0  | 0  | 80 | 0 | 0   | 50  | 0   |
| <b>Chelon labrosus</b>        | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Chromis chromis</b>        | • 70 | 72 | 4  | 75 | 0 | 170 | 330 | 160 |
| <b>Coris julis</b>            | • 15 | 4  | 2  | 29 | 6 | 13  | 54  | 0   |
| <b>Diplodus annularis</b>     | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Diplodus puntazzo</b>      | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Diplodus sargus</b>        | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 2   | 0   |
| <b>Diplodus vulgaris</b>      | • 2  | 5  | 1  | 1  | 2 | 12  | 30  | 0   |
| <b>Enchelycore anatina</b>    | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Epinephelus costae</b>     | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Epinephelus marginatus</b> | • 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Gobius auratus</b>         | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Gobius buchichii</b>       | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Gobius cobitis</b>         | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Gobius cruentatus</b>      | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |
| <b>Gobius geniporus</b>       | • 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   |

**Εικόνα 2.** Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος PAST. Τα είδη καταχωρήθηκαν σε σειρές και τα δείγματα σε στήλες.

### 3.7. Δείκτες β ποικιλότητας

Οι  $\alpha$  και  $\gamma$  ποικιλότητες μπορούν να μετρηθούν με τους δείκτες ποικιλότητας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η εννοιολογική τους διαφορά έχει να κάνει με τον ορισμό της χωρικής κλίμακας, τι θα θεωρηθεί δηλαδή ως τοπικό πλαίσιο μελέτης και τι ως το ευρύτερο πλαίσιο ή περιοχή. Η  $\beta$  ποικιλότητα, όμως, εκφράζει εν γένει το βαθμό ανομοιότητας μεταξύ των τοπικών συστημάτων, αλλά και μεταξύ της  $\gamma$  ποικιλότητας όλης της περιοχής και τη μέση  $\alpha$  ποικιλότητα όλων των τοπικών συστημάτων. Με άλλα λόγια, για μια δεδομένη  $\gamma$  ποικιλότητα μιας περιοχής, αύξηση της  $\beta$  ποικιλότητας σημαίνει ότι τα τοπικά συστήματα διαφέρουν περισσότερο μεταξύ τους και αποτυπώνουν το κάθε ένα, όλο και μικρότερο μέρος από την ποικιλότητα ολόκληρης της περιοχής. Εκφράζει λοιπόν μια σημαντική πτυχή της βιοποικιλότητας ως προς τη χωρική της διάσταση (Koleff *et al.*, 2003).

Ο πρώτος δείκτης β ποικιλότητας προτάθηκε από τον Whittaker το 1960 και είναι ο πιο διαδεδομένος. Εκφράζεται ως ο λόγος του συνολικού αριθμού των διαφορετικών ειδών σε μια περιοχή, προς το μέσο αριθμό ειδών των δειγμάτων που αποτελούν αυτήν την περιοχή. Στη «διορθωμένη» μορφή του, με την οποία παίρνει τιμές μεταξύ 0 και n-1, με n τον αριθμό των δειγμάτων λαμβάνεται ως εξής:

– Δείκτης Whittaker

$$\beta_w = \frac{S}{\bar{\alpha}} - 1$$

όπου  $S$  ο αριθμός ειδών της περιοχής και  $\bar{\alpha}$  ο μέσος αριθμός ειδών των δειγμάτων.

Από τότε έχουν προταθεί πάρα πολλοί δείκτες, κάποιιοι από τους οποίους εφαρμόζονται σε δεδομένα παρουσίας/απουσίας, ενώ κάποιιοι άλλοι σε δεδομένα αφθονίας. Όπως και με την  $\alpha$  ποικιλότητα, οι διάφοροι δείκτες της  $\beta$  ποικιλότητας εκφράζουν διαφορετικές διαστάσεις της μεταβολής της ποικιλότητας σε μια περιοχή, όπως το βαθμό ανομοιογένειας ή τη μεταβολή στη βιοτική σύνθεση μεταξύ δειγμάτων. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν επίσης, οι εξής:

– Δείκτης του Harrison (Harrison *et al.*, 1992)

$$\beta_{-1} = \frac{\beta_w}{N - 1}$$

Προτάθηκε ως μια τροποποιημένη μορφή του δείκτη του Whittaker ώστε να μειώσει την επίδραση της μεταβολής του αριθμού δειγμάτων ( $N$ ).

– Δείκτης των Wilson & Shmida (1984)

$$\beta_T = \frac{g(H) + l(H)}{2\bar{\alpha}}$$

όπου  $g(H)$  ο συνολικός αριθμός των νέων ειδών που προστίθενται και  $l(H)$  ο αριθμός των ειδών που «χάνονται» κατά τη διαδοχή στη σειρά των δειγμάτων και  $\bar{\alpha}$  ο μέσος αριθμός ειδών. Ο δείκτης αυτός δίνει βαρύτητα στη μεταβολή της βιοτικής σύνθεσης των δειγμάτων και δεν επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος δείγματος και τον αριθμό ειδών των δειγμάτων.

## 4. Περιοχή μελέτης και δεδομένα

### 4.1. Περιοχή μελέτης

Αιγαίο πέλαγος ονομάζεται η θαλάσσια περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, η οποία οριοθετείται ανατολικά από τις ακτές της ηπειρωτικής Ελλάδας και τα Κύθηρα, δυτικά από τα παράλια της Μικράς Ασίας και τη Ρόδο, βόρεια από τη Θράκη και τη Μακεδονία και νότια από την Κρήτη. Σύμφωνα με τη μυθολογία, πήρε το όνομά του από το βασιλιά της Αθήνας Αιγέα, πατέρα του Θησέα, ο οποίος πνίγηκε στα νερά του πελάγους πέφτοντας από το ναό του Ποσειδώνα στο Σούνιο.

Το Αιγαίο είναι μια αρκετά ολιγοτροφική θάλασσα, λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων στα νερά του, η οποία είναι 12 φορές μικρότερη από του Ατλαντικού και 3 φορές μικρότερη από του Ιονίου. Έχει έκταση περίπου  $240.000 \text{ km}^2$ , όγκο  $7,4 \times 10^4 \text{ km}^3$  και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πολύπλοκες ακτογραμμές, με πάνω από 2.000 νησιά. Οι τεκτονικές μεταβολές από τον Τριτογενή, τον Καινοζωικό και ιδίως τον Τεταρτογενή Αιώνα, δημιούργησαν τη μεγάλη ποικιλία που παρουσιάζει η μορφολογία του Αιγαίου Πελάγους, με λεκάνες, αυχένες, τάφρους, φρέατα και αύλακες. Το έντονο υποθαλάσσιο ανάγλυφο περιλαμβάνει εκτεταμένη ηπειρωτική κρηπίδα στον Θερμαϊκό, τη Σαμοθράκη, τη Λήμνο και τις Κυκλάδες, αλλά και βαθιές λεκάνες όπως την τάφρο του Β. Αιγαίου με βάθος έως 1.600m, τη λεκάνη της Χίου με βάθος έως 1.160m, και το Κρητικό Πέλαγος με βάθος που φτάνει τα 2.295m, που είναι και το μέγιστο βάθος του Αιγαίου Πελάγους (Stergiou et al., 1997).



*Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης και οι σταθμοί δειγματοληψίας.*

## 4.2. Δεδομένα

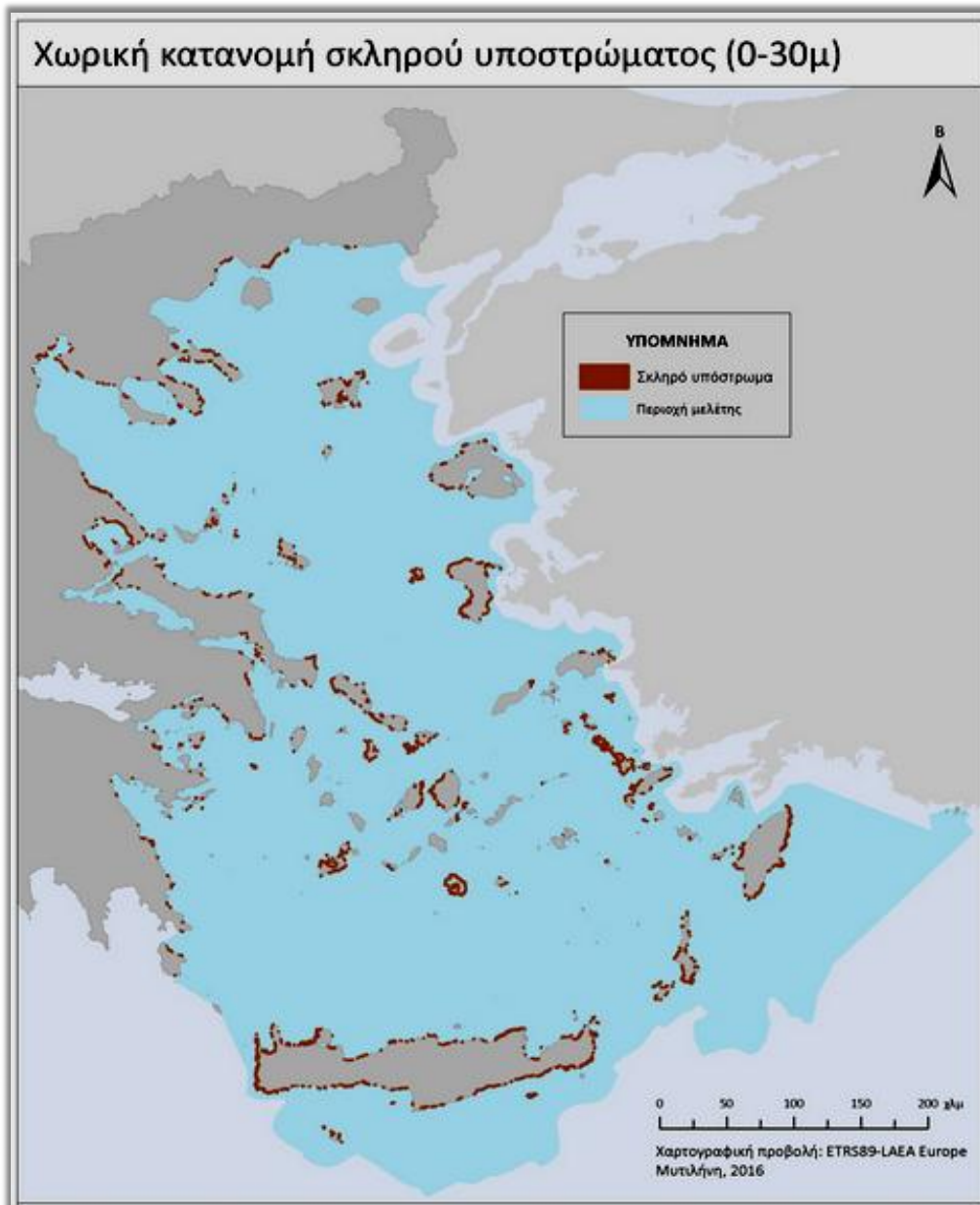
Τα δεδομένα για την παρούσα εργασία αφορούν στον πλούτο ειδών και την αφθονία ιχθύων σε ρηχό βραχώδες υπόστρωμα στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους και παραχωρήθηκαν από τον καθηγητή κ. Κατσανεβάκη. Αποτελούν ένα μικρό μέρος της εκτενούς έρευνας που έγινε κατά τη διάρκεια δύο πολύ σημαντικών για την Ελλάδα ερευνητικών προγραμμάτων:

- «Θαλάσσιος χωροταξικός σχεδιασμός στο Αιγαίο για τη διατήρηση και προστασία της βιοποικιλότητας» (MARIne Spatial Conservation planning in the Aegean sea - *MARISCA*)
- «Εγκαθίδρυση Δικτύων Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών στην Ανατολική Μεσόγειο» (PROTECTing MEDiterranean East - *PROTOMEDEA*)

## 4.3. Πρόγραμμα *MARISCA* ([www.marisca.eu](http://www.marisca.eu))

Η σύγχρονη αντίληψη της οικοσυστημικής προσέγγισης στη θαλάσσια διαχείριση απαιτεί το συντονισμένο σχεδιασμό όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, στοχεύοντας μεταξύ άλλων και στην προστασία της βιοποικιλότητας (Katsanevakis *et.al.*, 2011).

Σκοπός του προγράμματος *MARISCA* ήταν να συνεισφέρει στην προσπάθεια για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων της Ελλάδας που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία, σχετικά με τη διαχείριση των θαλάσσιων περιοχών του Αιγαίου, την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την αειφόρο χρήση των θαλάσσιων και παράκτιων πόρων, εφαρμόζοντας μια οικοσυστημική προσέγγιση και αποσκοπώντας στην ουσιαστική προστασία της θαλάσσιας βιοποικιλότητας.



**Εικόνα 3.** Η περιοχή μελέτης του προγράμματος MARISCA και οι περιοχές σκληρού υποστρώματος έως το βάθος των 30 μέτρων ([www.marisca.eu](http://www.marisca.eu)).

Το πρόγραμμα περιελάμβανε:

- Χαρτογράφηση οικολογικών στοιχείων
- Ανάλυση και χαρτογράφηση ανθρώπινων δραστηριοτήτων και πιέσεων και εκτίμηση σωρευτικών επιπτώσεων σε περιοχές με σημαντικούς οικοτόπους ή/και είδη, καθώς και υφιστάμενων χωρικών διαχειριστικών μέτρων

- Οικονομική αποτίμηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων στο πλαίσιο θαλάσσιου χωροταξικού σχεδιασμού (ΘΧΣ)
- Συλλογή νέων στοιχείων με εργασίες πεδίου
- Καθορισμό επιχειρησιακών στόχων σε συνεργασία με εμπλεκόμενους φορείς
- Σχεδιασμό δικτύου Θαλάσσιων Προστατευόμενων Περιοχών (ΘΠΠ) στο πλαίσιο του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού (ΘΧΣ)

Το έργο συγχρηματοδοτήθηκε κατά 85% από το Χρηματοδοτικό Μηχανισμό του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου Περιόδου 2009-2014 (ΧΜ ΕΟΧ 2009 - 2014) και κατά 15% από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων της Ελληνικής Δημοκρατίας με θέμα «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Θαλάσσιων και Εσωτερικών Υδάτων» (GR02.03). Διήρκεσε 13 μήνες (01/12/2015 - 31/12/2016) και ο συνολικός προϋπολογισμός ανήλθε στα €390.000. Συμμετείχαν το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), το Institute of Marine Research (IMR) και το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, που ανέλαβε και το συντονισμό, με έδρα τη Μυτιλήνη και συντονιστή του προγράμματος τον Αν. Καθηγητή κ. Στέλιο Κατσανεβάκη.

#### **4.4. Πρόγραμμα *PROTOMEDEA* ([www.protomedea.eu](http://www.protomedea.eu))**

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες (π.χ. Colloca *et.al.*, 2013; Vasilakopoulos *et.al.*, 2014; Tsikliras *et.al.*, 2015), το μεγαλύτερο ποσοστό των ιχθυοαποθεμάτων της Μεσογείου υφίσταται υπεραλίευση, ενώ η αλιευτική εκμετάλλευση έχει ανοδική τάση. Επομένως, η ανάγκη επιβολής αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης κρίνεται επιτακτική. Οι Θαλάσσιες Προστατευόμενες Περιοχές (ΘΠΠ) αποτελούν ένα ελπιδοφόρο εργαλείο για τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, συνδυάζοντας την προστασία της βιοποικιλότητας και την ενίσχυση της αλιείας (Agardy & Staub, 2006).





**Εικόνα 4.** Η περιοχή μελέτης του προγράμματος PROTOMEDEA στο Αιγαίο ([www.protomedeas.eu](http://www.protomedeas.eu)).

Στόχος του προγράμματος PROTOMEDEA είναι ο σχεδιασμός ενός δικτύου ΘΠΠ στο Αιγαίο Πέλαγος και την Κύπρο, για την προστασία και διαχείριση των οικολογικών τους χαρακτηριστικών και των βασικών τους ιχθυο-ενδιαιτημάτων. Επιπλέον, προκειμένου να υποστηριχθεί η βελτιστοποίηση της διαχείρισης της αλιείας, θα ληφθούν υπόψη οι κύριες αλιευτικές περιοχές, καθώς και οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις των αλιευτικών περιορισμών, μέσα από μια συμμετοχική διαδικασία με τους ενδιαφερόμενους φορείς.

Προς αυτή την κατεύθυνση:

- θα χαρτογραφηθούν οι υφιστάμενες ΘΠΠ με τα βασικά ιχθυο-ενδιαιτήματα τους
- θα αναπτυχθούν οικολογικά/οικοσυστημικά μοντέλα σε επιλεγμένες ΘΠΠ χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχοντα αλλά και νέα δεδομένα
- θα αξιολογηθούν σενάρια επιπτώσεων και
- θα εξεταστούν διάφορα συστήματα διαχείρισης, εστιάζοντας στην επίτευξη των στόχων της Μέγιστης Αειφορικής Απόδοσης (ΜΑΑ) και της Κοινής Αλιευτικής Πολιτικής (ΚΑΛΠ).

Το 90% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου χρηματοδοτείται από τη Γενική Διεύθυνση Θαλάσσιων υποθέσεων και Αλιείας (DG MARE) της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ το ύψος της χρηματοδότησης ανέρχεται σε €600.000. Αναμένεται να διαρκέσει 40 μήνες (Δεκέμβριος 2015 - Απρίλιος 2019) και συμμετέχουν το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών (CNR) της Ιταλίας, το Enalia Physis Κέντρο Περιβαλλοντικής Έρευνας (ENALIA) της Κύπρου και το Πανεπιστήμιο Κύπρου.

## 5. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, την ανάλυση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν το πρόγραμμα Microsoft® Excel 2007 και το πρόγραμμα PAST έκδοση 3.20.

Στην ανάλυση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνονται συνολικά 41.128 άτομα ιχθύων που καταγράφηκαν σε 71 παράκτιους δειγματοληπτικούς σταθμούς σε νησιά του Αιγαίου και σε ακτές της ανατολικής και βόρειας ηπειρωτικής Ελλάδας, της Κρήτης και του Ευβοϊκού

και Παγασητικού κόλπου. Αναγνωρίστηκαν συνολικά 60 είδη ιχθύων, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, καθώς και άτομα τα οποία ανήκουν στις οικογένειες Atherinidae (Αθερίνα), Gobiidae (Γωβιός) και Mugilidae (Κέφαλος), αλλά δεν κατέστη δυνατόν να αναγνωριστούν σε επίπεδο είδους. Ωστόσο, θεωρήθηκε χρήσιμο να συμπεριληφθούν στην ανάλυση σαν ξεχωριστά είδη.

**Πίνακας 3.** Κατάλογος των ειδών που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση (\*οι οικογένειες των ατόμων που δεν αναγνωρίστηκαν σε επίπεδο είδους).

|                               |                                 |                                   |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Anthias anthias</i>        | <i>Labrus merula</i>            | <i>Serranus scriba</i>            |
| <i>Apogon imberbis</i>        | <i>Labrus mixtus</i>            | <i>Siganus luridus</i>            |
| <i>Atherinidae</i> *          | <i>Labrus viridis</i>           | <i>Siganus rivulatus</i>          |
| <i>Boops boops</i>            | <i>Lipophrys nigriceps</i>      | <i>Sparisoma cretense</i>         |
| <i>Chelon labrosus</i>        | <i>Lithognathus mormyrus</i>    | <i>Sparus aurata</i>              |
| <i>Chromis chromis</i>        | <i>Mugilidae</i> *              | <i>Spicara flexuosa</i>           |
| <i>Coris julis</i>            | <i>Mullus barbatus</i>          | <i>Spicara maena</i>              |
| <i>Dentex dentex</i>          | <i>Mullus surmuletus</i>        | <i>Spicara smaris</i>             |
| <i>Diplodus annularis</i>     | <i>Muraena helena</i>           | <i>Spondylisoma cantharus</i>     |
| <i>Diplodus puntazzo</i>      | <i>Oblada melanura</i>          | <i>Symphodus cinereus</i>         |
| <i>Diplodus sargus</i>        | <i>Parablennius gattorugine</i> | <i>Symphodus doderleini</i>       |
| <i>Diplodus vulgaris</i>      | <i>Parablennius rouxi</i>       | <i>Symphodus mediterraneus</i>    |
| <i>Enchelycore anatina</i>    | <i>Sarda sarda</i>              | <i>Symphodus melanocercus</i>     |
| <i>Epinephelus costae</i>     | <i>Sarpa salpa</i>              | <i>Symphodus ocellatus</i>        |
| <i>Epinephelus marginatus</i> | <i>Sciaena umbra</i>            | <i>Symphodus roissali</i>         |
| <i>Gobius auratus</i>         | <i>Scorpaena notata</i>         | <i>Symphodus rostratus</i>        |
| <i>Gobius buchichii</i>       | <i>Scorpaena porcus</i>         | <i>Symphodus tinca</i>            |
| <i>Gobius cobitis</i>         | <i>Scorpaena scrofa</i>         | <i>Synodus saurus</i>             |
| <i>Gobius cruentatus</i>      | <i>Seriola dumerili</i>         | <i>Thalassoma pavo</i>            |
| <i>Gobius geniporus</i>       | <i>Serranus cabrilla</i>        | <i>Tripterygion delaisi</i>       |
| <i>Gobiidae</i> *             | <i>Serranus hepatus</i>         | <i>Tripterygion tripteronotus</i> |

Οι 40 πρώτοι σταθμοί (*stations* 1-40) αποτελούν μέρος των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος MARISCA και οι δειγματοληψίες έγιναν σε βάθος 5 μέτρων. Οι υπόλοιποι 31 σταθμοί (*stations* 41-71) είναι μέρος των δεδομένων του προγράμματος PROTOMEDEA και οι δειγματοληψίες έγιναν σε δύο βάθη, 5 και 15 μέτρων,

εκτός από το σταθμό 57 στον οποίο δεν έγινε δειγματοληψία στο βάθος των 15 μέτρων. Εφαρμόστηκαν πρότυπες τεχνικές υποβρύχιας έρευνας οπτικής καταγραφής (Underwater visual surveys-UVS) από ομάδα δυτών/ερευνητών, συμπεριλαμβανομένων της μεθόδου καταγραφής μέσω διατομών (strip transects) και μεθόδου εξ' αποστάσεως καταγραφής (distance sampling method), σε επιλεγμένες περιοχές, προκειμένου να εκτιμηθεί ο πλούτος ειδών και η αφθονία ιχθύων σε ρηχούς βραχώδεις υφάλους ([www.protomedea.eu](http://www.protomedea.eu)).

Η ανάλυση των δεδομένων αποτελείται από δύο μέρη:

### 5.1. Α' μέρος ανάλυσης

Στο πρώτο μέρος, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε 3 σύνολα:

- Το σύνολο *5m71st* αποτελείται από όλα τα δεδομένα των 71 σταθμών που αφορούν στο βάθος των 5 μέτρων. Σε αυτούς, καταγράφηκαν 21.434 άτομα από 59 είδη ιχθύων. Εκτιμήθηκαν οι δείκτες πλούτου ειδών, ετερογένειας και ισομέρειας και εφαρμόστηκε η μέθοδος bootstrap για τις κατανομές των τιμών τους. Επίσης, δοκιμάστηκε η συμφωνία των κατανομών των αφθονιών με τα τέσσερα μοντέλα κατανομών αφθονίας που αναφέρθηκαν παραπάνω και υπολογίστηκαν οι δείκτες της β ποικιλότητας.
- Το σύνολο *5m30st* είναι υποσύνολο του πρώτου και αποτελείται από τα δεδομένα που αφορούν στο βάθος των 5 μέτρων στους 30 από τους σταθμούς του προγράμματος PROTOMEDEA, δηλαδή τους σταθμούς 41 έως 71. Εξαιρέθηκε ο σταθμός 57, ώστε να υπάρχει ακριβής αντιστοιχία σταθμών κατά τη σύγκριση με το τρίτο σύνολο. Καταγράφηκαν 9.869 άτομα που ανήκουν σε 33 είδη. Εκτιμήθηκαν οι δείκτες πλούτου ειδών, ετερογένειας και ισομέρειας και εφαρμόστηκε η μέθοδος bootstrap για τις κατανομές των τιμών τους. Επίσης, υπολογίστηκαν οι δείκτες της β ποικιλότητας.
- Το σύνολο *15m30st* αποτελείται από τα δεδομένα που αφορούν στο βάθος των 15 μέτρων στους 30 από τους σταθμούς (41 έως 71, εκτός 57) του προγράμματος PROTOMEDEA. Σε αυτούς, καταγράφηκαν 19.694 άτομα από 43 είδη. Όπως και στο δεύτερο σύνολο, εκτιμήθηκαν οι δείκτες πλούτου ειδών, ετερογένειας και ισομέρειας,

εφαρμόστηκε η μέθοδος bootstrap για τις κατανομές των τιμών τους και υπολογίστηκαν οι δείκτες της β ποικιλότητας.

Η ομαδοποίηση έγινε με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, μεταξύ των δεδομένων από τα βάθη των 5 και 15 μέτρων, για όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, καθώς και ξεχωριστά για τους σταθμούς όπου υπήρχαν ταυτόχρονα δεδομένα και για τα δύο βάθη. Έγινε δηλαδή, σύγκριση των δεικτών ποικιλότητας μεταξύ των συνόλων *5m71st* και *15m30st*, καθώς και μεταξύ *5m30st* και *15m30st*, αφού πρώτα εφαρμόστηκαν δοκιμές κανονικότητας (Shapiro-Wilk normality tests) για τις τιμές των δεικτών. Όπου δεν απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση της κανονικότητας των τιμών των δεικτών ( $p > 0,05$ ) η σύγκριση έγινε με t-tests, ενώ στην αντίθετη περίπτωση εφαρμόστηκαν μη παραμετρικές δοκιμές Mann-Whitney. Όλες οι δοκιμές έγιναν με το πρόγραμμα PAST.

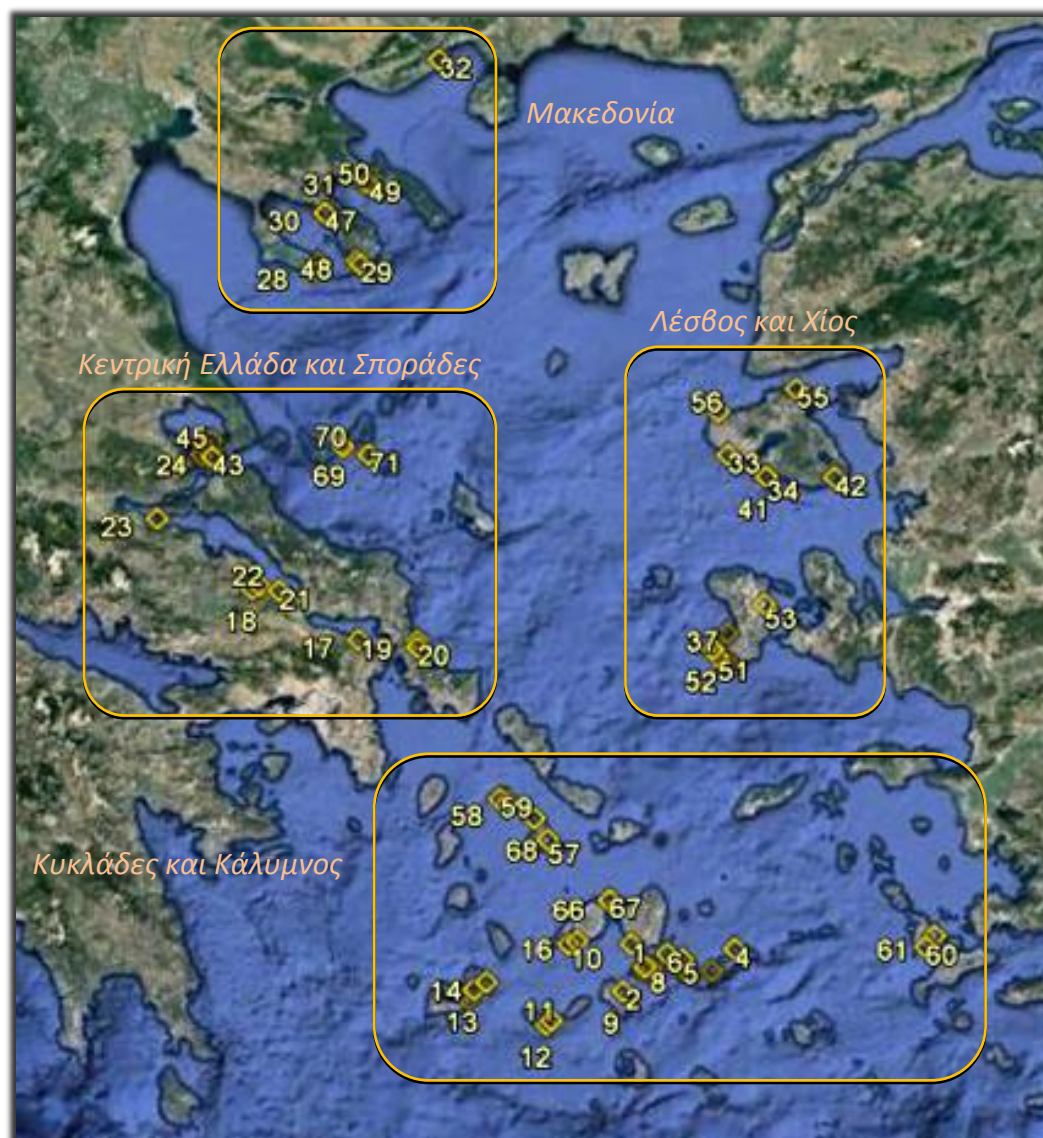
## 5.2. Β' μέρος ανάλυσης

Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης, έγινε ομαδοποίηση των δεδομένων για βάθος 5 μέτρων βάσει γεωγραφικών περιοχών. Εξαιρέθηκαν οι σταθμοί 38, 39 και 40 στις ακτές της Κρήτης, λόγω του ότι δεν ήταν αρκετοί στον αριθμό για να αποτελέσουν ομάδα και η μεγάλη απόσταση από τις άλλες ομάδες δεν επέτρεψε να ενταχθούν σε κάποια από αυτές.

Έτσι, διαμορφώθηκαν 4 περιοχές:

- *Κυκλάδες και Κάλυμνος (ΚΥΚ)*. Περιλαμβάνει συνολικά 28 σταθμούς που ανήκουν στην περιοχή των Κυκλάδων και τους σταθμούς 60 και 61 στην Κάλυμνο, καθώς βρίσκονται σχετικά πλησίον των Κυκλάδων και στο ίδιο εύρος γεωγραφικού πλάτους. Σε αυτήν την περιοχή καταγράφηκαν 6.614 άτομα από 36 είδη ιχθύων.
- *Κεντρική Ελλάδα και Σποράδες (ΚΕΣ)*. Περιλαμβάνει συνολικά 17 σταθμούς που βρίσκονται στον Ευβοϊκό και τον Παγασητικό κόλπο, τις Σποράδες, καθώς και τους σταθμούς 19 και 20 που βρίσκονται στις βόρειες ακτές της νότιας Εύβοιας. Καταγράφηκαν 4.218 άτομα από 40 είδη.

- *Μακεδονία (ΜΑΚ)*. Οι 10 στο σύνολο σταθμοί της Μακεδονίας βρίσκονται στις ακτές της Χαλκιδικής, εκτός από τον σταθμό 32 που είναι στο νομό Καβάλας. Καταγράφηκαν 5.290 άτομα από 40 είδη.
- *Λέσβος και Χίος (ΛΕΧ)*. Οι έξι από τους 13 σταθμούς αυτής της ομάδας βρίσκονται στο νησί της Λέσβου και οι υπόλοιποι επτά στο νησί της Χίου. Εδώ καταγράφηκαν 4.488 άτομα που ανήκουν σε 35 είδη.



**Εικόνα 5.** Οι περιοχές σύμφωνα με τις οποίες ομαδοποιήθηκαν οι σταθμοί δειγματοληψίας στο Β' μέρος της ανάλυσης.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι σταθμοί που περιλαμβάνονται σε κάθε περιοχή.

**Πίνακας 4.** Οι σταθμοί δειγματοληψίας που περιλαμβάνει κάθε περιοχή.

| Περιοχή                                     | Σταθμοί   |
|---|---|
| <i>Κυκλάδες &amp; Κάλυμνος (ΚΥΚ)</i>        | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 |
| <i>Κεντρική Ελλάδα &amp; Σποράδες (ΚΕΣ)</i> | 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 43, 44, 45, 46, 69, 70, 71                                    |
| <i>Μακεδονία (ΜΑΚ)</i>                      | 27, 28, 29, 30, 31, 32, 47, 48, 49, 50  |
| <i>Λέσβος και Χίος (ΛΕΧ)</i>                | 33, 34, 35, 36, 37, 41, 42, 51, 52, 53, 54, 55, 56  |

Για κάθε περιοχή, εκτιμήθηκαν οι δείκτες πλούτου ειδών, ετερογένειας και ισομέρειας για τους οποίους έγιναν δοκιμές κανονικότητας και εφαρμόστηκε η μέθοδος bootstrap για τις κατανομές των τιμών τους. Οι συγκρίσεις μεταξύ των τιμών των δεικτών έγιναν με δοκιμές Mann-Whitney ανά ζεύγη περιοχών. Επίσης, υπολογίστηκαν και εδώ οι δείκτες β ποικιλότητας.

## 6. Αποτελέσματα

### 6.1. Γενικά

Στα Γραφήματα 1,2 και 3 του Παραρτήματος απεικονίζονται συνοπτικά οι αφθονίες των ειδών σε κάθε σταθμό για τα τρία σύνολα δεδομένων αντίστοιχα. Το είδος με τον μακράν μεγαλύτερο αριθμό ατόμων και στα τρία σύνολα είναι το είδος *Chromis chromis* (κοινή ονομασία Καλογριά). Είναι χαρακτηριστικό ότι συνιστά το 45,34% των ατόμων όλων των ειδών στο σύνολο 5m71st, το 46,23% στο σύνολο 5m30st, και το 50,24% στο σύνολο 15m30st. Αυτό βέβαια, δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς είναι ένα μικρό ψάρι που σχηματίζει μεγάλα κοπάδια, ζει κυρίως σε ρηχά νερά και δεν αποτελεί αλιευτικό στόχο (Κουτσογιαννόπουλος, 2010). Είναι επίσης, το είδος με την ευρύτερη εξάπλωση, καθώς βρέθηκε σε όλους τους σταθμούς και στα δύο βάθη, εκτός από τους σταθμούς 5 στην Κέρο και 39 στην Κρήτη, στο βάθος των 5m. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των κατανομών αφθονίας είναι ότι στο βάθος των 15m, βρέθηκαν σχεδόν διπλάσια άτομα και κατά 1/3 περισσότερα είδη από το βάθος των 5m στους ίδιους σταθμούς.

Στο Γράφημα 4 (Παράρτημα) ιεραρχημένης αφθονίας, για όλους τους σταθμούς σε βάθος 5m (σύνολο δεδομένων 5m71st), φαίνεται η διαφορά στην κατανομή των αφθονιών στα είδη. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα 5 πολυπληθέστερα είδη (*Chromis chromis*, *Thalassoma rano*, *Diplodus vulgaris*, *Coris julis* και *Sarpa salpa*) συνιστούν το 69,35% του συνολικού αριθμού ατόμων, καθώς και ότι 29 είδη εμφανίζονται με αφθονίες μικρότερες του 0,1% της αφθονίας όλων των ειδών.

Για τις περιοχές, η συνοπτική απεικόνιση των δεδομένων απεικονίζεται στο Γράφημα 5 του Παραρτήματος. Το πολυπληθέστερο είδος (*Chromis chromis*) αποτελεί περίπου το 44% της συνολικής αφθονίας στις περιοχές ΚΥΚ (Κυκλάδες και Κάλυμνος) και ΚΕΣ (Κεντρική Ελλάδα και Σποράδες), το 60% στην περιοχή ΜΑΚ (Μακεδονία) και το 36% στην περιοχή ΛΕΧ (Λέσβος και Χίος).



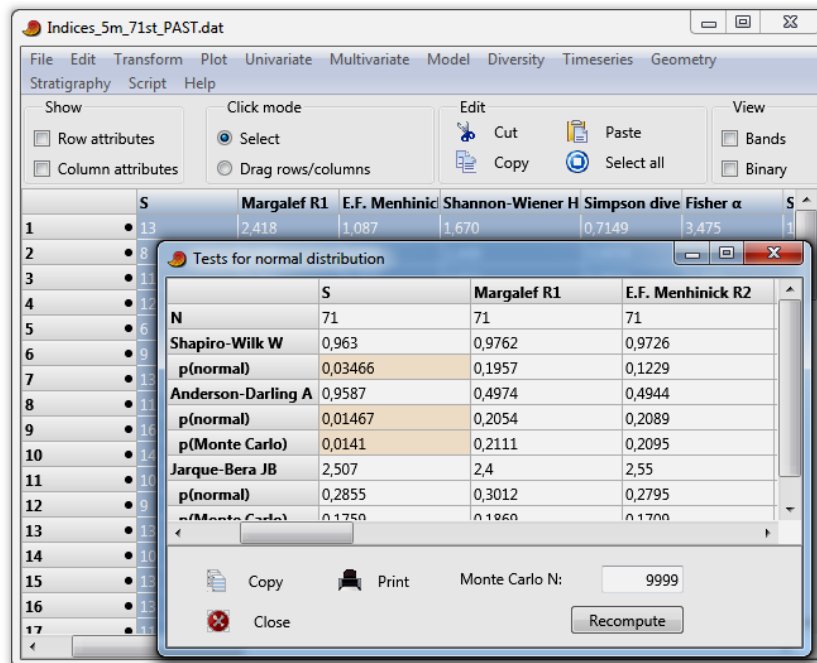
## 6.2. Α' μέρος αποτελεσμάτων

Οι δείκτες α ποικιλότητας Αριθμός ειδών  $S$ , Margalef  $R_1$ , Menhinick  $R_2$ , Shannon  $H$ , Simpson  $D$  και  $1-D$ , Chao 1  $S_{Chao1}$ , Berger-Parker  $d$ , Evenness  $E_1, E_2, E_3, E_4$  και  $E_5$  υπολογίστηκαν σε φύλλο εργασίας του MS Excel, ενώ ο δείκτης  $\alpha$  του Fisher υπολογίστηκε με το πρόγραμμα PAST. Οι τιμές όλων των δεικτών για τα τρία σύνολα δεδομένων καταχωρήθηκαν σε φάκελο εργασίας του Excel, από όπου αντιγράφηκαν και επικολλήθηκαν στο πρόγραμμα PAST για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

|    | A            | B   | C  | D              | E                    | F                  | G                     | H               | I           | J           | K           |
|----|--------------|-----|----|----------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | Station (5m) | N   | S  | Margalef $R_1$ | E.F. Menhinick $R_2$ | Shannon-Wiener $H$ | Simpson diversity 1-D | Fisher $\alpha$ | $S_{Chao1}$ | Simpson $D$ | Berger - Pa |
| 2  | 1            | 143 | 13 | 2.418          | 1.087                | 1.670              | 0.7149                | 3.475           | 14.50       | 0.2851      | 0.489       |
| 3  | 2            | 134 | 8  | 1.429          | 0.691                | 1.449              | 0.6654                | 1.866           | 8.00        | 0.3346      | 0.537       |
| 4  | 3            | 83  | 11 | 2.263          | 1.207                | 1.823              | 0.7972                | 3.400           | 14.00       | 0.2028      | 0.349       |
| 5  | 4            | 352 | 12 | 1.876          | 0.640                | 1.900              | 0.8317                | 2.403           | 18.00       | 0.1683      | 0.227       |
| 6  | 5            | 37  | 6  | 1.385          | 0.986                | 1.132              | 0.5571                | 2.029           | 6.50        | 0.4429      | 0.648       |
| 7  | 6            | 260 | 9  | 1.439          | 0.558                | 1.221              | 0.5478                | 1.809           | 9.50        | 0.4522      | 0.653       |
| 8  | 7            | 675 | 13 | 1.842          | 0.500                | 1.714              | 0.7175                | 2.284           | 13.50       | 0.2825      | 0.488       |
| 9  | 8            | 255 | 11 | 1.805          | 0.689                | 1.284              | 0.5776                | 2.340           | 21.00       | 0.4224      | 0.627       |
| 10 | 9            | 235 | 16 | 2.747          | 1.044                | 2.240              | 0.8703                | 3.884           | 19.00       | 0.1297      | 0.212       |
| 11 | 10           | 539 | 14 | 2.067          | 0.603                | 1.779              | 0.7384                | 2.627           | 14.00       | 0.2616      | 0.463       |
| 12 | 11           | 135 | 10 | 1.835          | 0.861                | 1.851              | 0.8188                | 2.494           | 10.00       | 0.1812      | 0.296       |
| 13 | 12           | 93  | 9  | 1.765          | 0.933                | 1.734              | 0.7915                | 2.460           | 9.50        | 0.2085      | 0.344       |
| 14 | 13           | 219 | 13 | 2.227          | 0.878                | 1.835              | 0.7512                | 3.026           | 13.00       | 0.2488      | 0.456       |
| 15 | 14           | 285 | 10 | 1.592          | 0.592                | 1.366              | 0.6346                | 2.017           | 10.33       | 0.3654      | 0.561       |
| 16 | 15           | 236 | 13 | 2.196          | 0.846                | 1.722              | 0.7300                | 2.961           | 14.00       | 0.2700      | 0.466       |
| 17 | 16           | 134 | 13 | 2.450          | 1.123                | 1.643              | 0.7198                | 3.557           | 15.00       | 0.2802      | 0.410       |
| 18 | 17           | 142 | 11 | 2.018          | 0.923                | 1.643              | 0.7152                | 2.784           | 17.00       | 0.2848      | 0.493       |
| 19 | 18           | 146 | 10 | 1.806          | 0.828                | 1.594              | 0.7373                | 2.432           | 10.33       | 0.2627      | 0.411       |
| 20 | 19           | 143 | 9  | 1.612          | 0.753                | 1.565              | 0.7071                | 2.133           | 9.00        | 0.2929      | 0.489       |
| 21 | 20           | 229 | 13 | 2.208          | 0.859                | 1.641              | 0.6903                | 2.987           | 14.00       | 0.3097      | 0.524       |
| 22 | 21           | 370 | 10 | 1.522          | 0.520                | 1.011              | 0.4166                | 1.894           | 10.00       | 0.5834      | 0.756       |
| 23 | 22           | 144 | 7  | 1.207          | 0.583                | 1.389              | 0.6908                | 1.539           | 8.00        | 0.3092      | 0.486       |
| 24 | 23           | 204 | 11 | 1.880          | 0.770                | 1.962              | 0.8142                | 2.490           | 11.00       | 0.1858      | 0.343       |
| 25 | 24           | 122 | 13 | 2.498          | 1.177                | 2.125              | 0.8657                | 3.683           | 14.00       | 0.1343      | 0.188       |
| 26 | 25           | 152 | 9  | 1.592          | 0.730                | 1.573              | 0.7095                | 2.094           | 10.00       | 0.2905      | 0.486       |
| 27 | 26           | 802 | 13 | 1.794          | 0.459                | 1.229              | 0.5462                | 2.203           | 16.00       | 0.4538      | 0.650       |
| 28 | 27           | 357 | 18 | 2.892          | 0.953                | 2.028              | 0.7755                | 3.997           | 19.50       | 0.2245      | 0.434       |

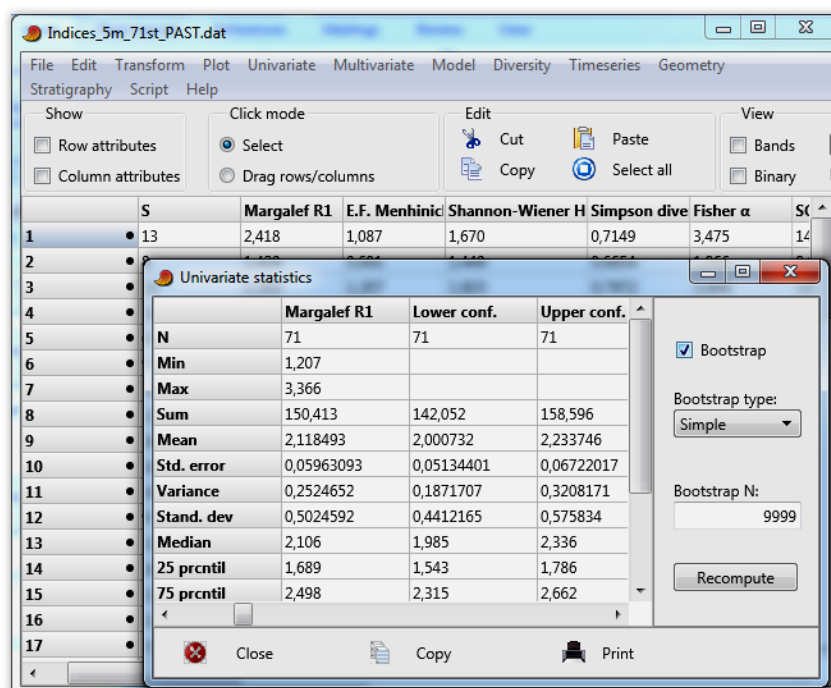
Εικόνα 6. Ενδεικτική απεικόνιση του φύλλου εργασίας του MS Excel με τις τιμές των δεικτών.

Το πρόγραμμα PAST παρέχει την επιλογή για διάφορες δοκιμές κανονικότητας σε πολλαπλές στήλες τιμών, μέσω της επιλογής “Univariate” → “Normality tests”. Στην προκειμένη περίπτωση, στις σειρές τοποθετήθηκαν οι σταθμοί, στις στήλες οι δείκτες και από τις δοκιμές κανονικότητας επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα για Shapiro–Wilk test.



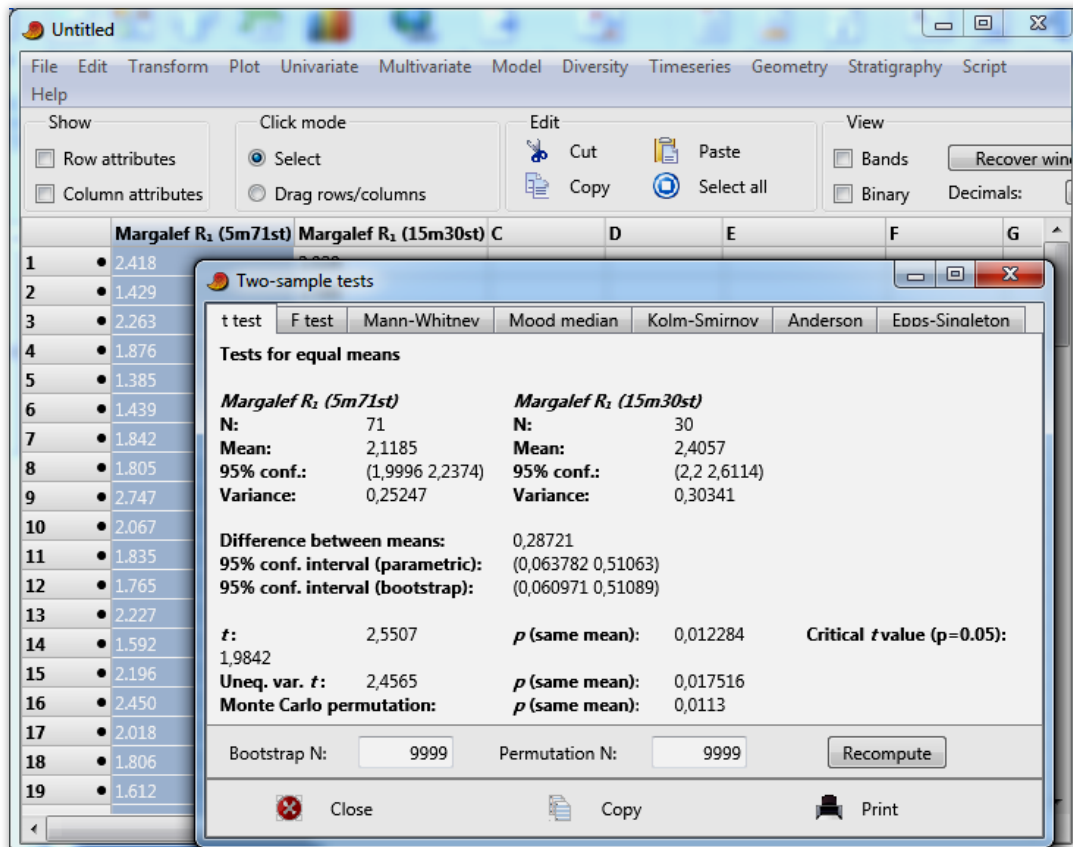
Εικόνα 7. Οι δοκιμές κανονικότητας στο PAST, μέσω των επιλογών “Univariate” → “Normality tests”

Η μέθοδος bootstrap εφαρμόστηκε στις τιμές των δεικτών, επίσης μέσω του προγράμματος PAST, μέσω των επιλογών “Univariate” → “Summary statistics” και ενεργοποίηση της επιλογής “Bootstrap”. Ο προεπιλεγμένος αριθμός επαναλήψεων (“Bootstrap N”) για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι 9.999 επαναλήψεις.



Εικόνα 7. Εφαρμογή της μεθόδου bootstrap στο PAST, μέσω των επιλογών “Univariate” → “Summary statistics”

Οι συγκρίσεις των τιμών των δεικτών μεταξύ των συνόλων *5m71st* - *15m30st* και μεταξύ *5m30st* - *5m71st* έγιναν ανά ζεύγη μέσω του προγράμματος PAST, με τις επιλογές “Univariate” → “Two-sample tests”. Στον πίνακα των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε “t-test”, όπου η μηδενική υπόθεση των δοκιμών κανονικότητας για τις κατανομές των δεικτών έγινε δεκτή ( $p > 0,05$ ) και “Mann-Whitney” στην αντίθετη περίπτωση ( $p < 0,05$ ).



**Εικόνα 8.** Σύγκριση των τιμών του δείκτη Margalef μεταξύ των συνόλων *5m71st* και *15m30st* με τις επιλογές “Univariate” → “Two-sample tests”.

Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές κανονικότητας, την εφαρμογή της μεθόδου bootstrap και τις ανά ζεύγη συγκρίσεις των τιμών των δεικτών καταχωρήθηκαν σε αρχείο Excel, σε ξεχωριστό φύλλο εργασίας για κάθε δείκτη, για τη διευκόλυνση της παρουσίασής τους.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των  $p$ -τιμών των δοκιμών κανονικότητας για όλους τους δείκτες και στα τρία σύνολα δεδομένων παρατίθενται στον Πίνακα 5.

**Πίνακας 5.** Συγκεντρωτικά οι  $p$ -τιμές των δοκιμών κανονικότητας για όλους τους δείκτες και στα τρία σύνολα δεδομένων.

| Shapiro-Wilk normality tests p-values – datasets – |                          |             |         |         |
|--|--------------------------|-------------|---------|---------|
|  |                          | 5m71st      | 5m30st  | 15m30st |
| Αριθμός ειδών                                      | <b>S</b>                 | 0.035*      | 0.195   | 0.875   |
| Margalef   | <b>R<sub>1</sub></b>     | 0.196       | 0.333   | 0.574   |
| E.F. Menhinick                                     | <b>R<sub>2</sub></b>     | 0.123       | 0.102   | 0.002** |
| Shannon-Wiener                                     | <b>H</b>                 | 0.307       | 0.032*  | 0.469   |
| Simpson diversity                                  | <b>1-D</b>               | 1.12E-04*** | 0.002** | 0.028*  |
| Fisher alpha                                       | <b>α</b>                 | 0.095       | 0.203   | 0.893   |
| Chao 1   | <b>S<sub>Chao1</sub></b> | 0.083       | 0.305   | 0.070   |
| Simpson  | <b>D</b>                 | 1.12E-04*** | 0.002** | 0.028   |
| Berger – Parker                                    | <b>d</b>                 | 0.263       | 0.097   | 0.077   |
| Evenness   | <b>E<sub>1</sub></b>     | 0.011*      | 0.202   | 0.137   |
|  | <b>E<sub>2</sub></b>     | 0.860       | 0.594   | 0.201   |
|  | <b>E<sub>3</sub></b>     | 0.911       | 0.592   | 0.199   |
|  | <b>E<sub>4</sub></b>     | 0.032*      | 0.258   | 0.743   |
|  | <b>E<sub>5</sub></b>     | 0.087       | 0.064   | 0.200   |

Για τον δείκτη του Simpson (D και 1-D) απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση της κανονικότητας της κατανομής των τιμών του σε όλα τα σύνολα δεδομένων. Επιπλέον, το ίδιο συνέβη για τους δείκτες S, E<sub>1</sub> και E<sub>4</sub> στο σύνολο 5m71st, για τον δείκτη Shannon H στο σύνολο 5m30st και για το δείκτη R<sub>2</sub> του Menhinick στο σύνολο 15m30st.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις συγκρίσεις των δεικτών α ποικιλότητας μεταξύ των συνόλων 5m71st - 15m30st και μεταξύ των 5m30st - 15m30st παρατίθενται στον Πίνακα 6. Οι κατανομές των τιμών των δεικτών δείχνουν να διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των δύο βαθών (5m και 15m), για τους περισσότερους δείκτες.

Στην πρώτη σύγκριση, μεταξύ των συνόλων 5m71st και 15m30st, όλοι οι δείκτες εκτός από τους Shannon H και Fisher α, έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στις κατανομές των τιμών τους ( $p < 0,05$ ).

Σημαντική στατιστική διαφοροποίηση έδειξαν οι περισσότεροι δείκτες και στη δεύτερη σύγκριση, μεταξύ των συνόλων 5m30st και 15m30st. Συγκεκριμένα, η μηδενική υπόθεση των δοκιμών Mann-Whitney ή t-tests ανάλογα, απορρίφθηκε ( $p < 0,05$ ) για τους δείκτες S, Margalef  $R_1$ ,  $S_{Chao1}$  και για όλους τους δείκτες ισομέρειας ( $E_1, E_2, E_3, E_4$  και  $E_5$ ).

**Πίνακας 6.** Συγκεντρωτικά οι  $p$ -τιμές των δοκιμών Mann-Whitney (MW) και t-test (t) από τις συγκρίσεις 5m71st - 15m30st και 5m30st - 15m30st.

| Mann-Whitney & t-tests p-values – datasets – |             |                  |             |                  |             |
|--|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
|  |             | 5m71st - 15m30st |             | 5m30st - 15m30st |             |
| Αριθμός ειδών                                | <b>S</b>    | (MW)             | 3.88E-05*** | (t)              | 6.94E-04*** |
| Margalef                                     | $R_1$       | (t)              | 0.012*      | (t)              | 0.028*      |
| E.F. Menhinick                               | $R_2$       | (MW)             | 0.007**     | (MW)             | 0.077       |
| Shannon-Wiener                               | <b>H</b>    | (t)              | 0.186       | (MW)             | 0.243       |
| Simpson diversity                            | <b>1-D</b>  | (MW)             | 0.029*      | (MW)             | 0.056       |
| Fisher alpha                                 | $\alpha$    | (t)              | 0.077       | (t)              | 0.086       |
| Chao 1                                       | $S_{Chao1}$ | (t)              | 0.001**     | (t)              | 0.008**     |
| Simpson                                      | <b>D</b>    | (MW)             | 0.029*      | (MW)             | 0.056       |
| Berger – Parker                              | <b>d</b>    | (t)              | 0.043*      | (t)              | 0.114       |
| Evenness                                     | $E_1$       | (MW)             | 5.64E-04*** | (t)              | 0.006**     |
|  | $E_2$       | (t)              | 6.00E-06*** | (t)              | 2.82E-04*** |
|  | $E_3$       | (t)              | 2.13E-05*** | (t)              | 6.36E-04*** |
|  | $E_4$       | (MW)             | 7.71E-04*** | (t)              | 0.003**     |
|  | $E_5$       | (t)              | 6.72E-04*** | (t)              | 0.006**     |

Οι δείκτες Shannon H και Fisher  $\alpha$ , δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στις κατανομές τους ούτε για τη δεύτερη σύγκριση.

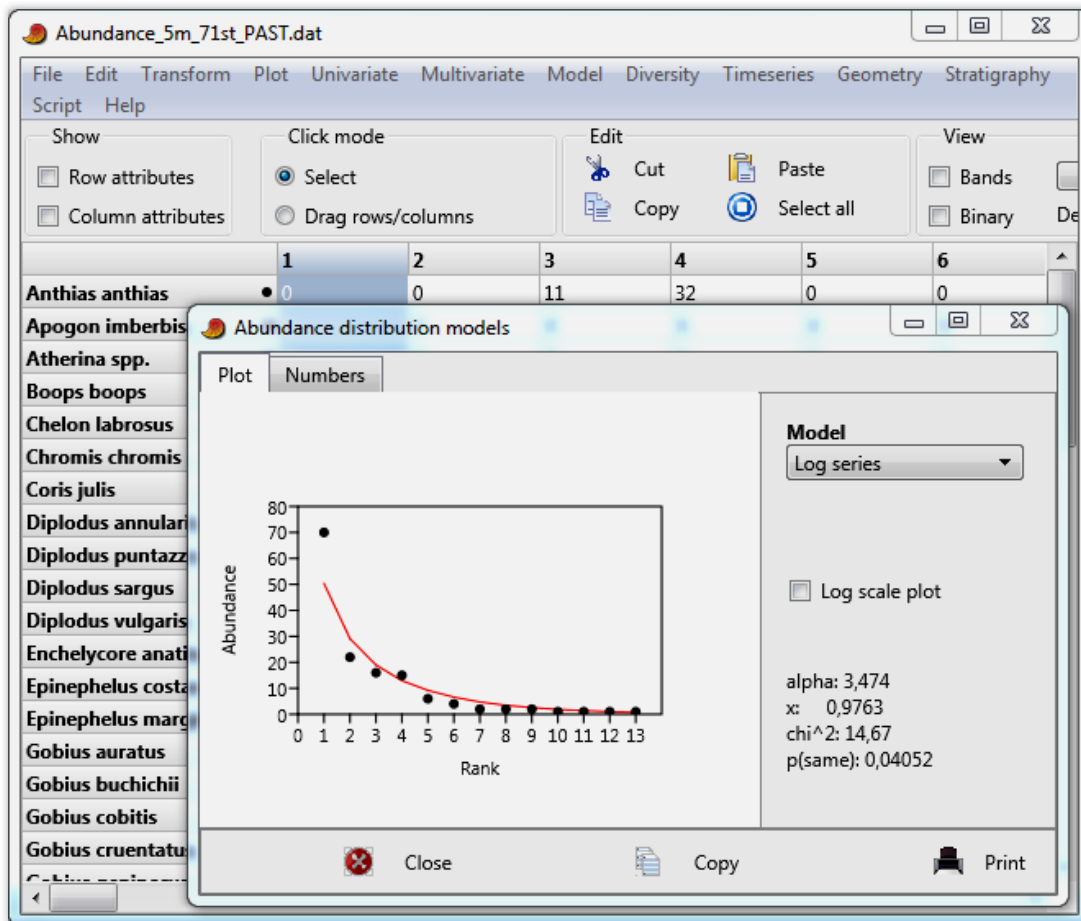
Οι μέσες τιμές των δεικτών (Πίνακας 7) εμφανίζονται ως επί το πλείστον παραπλήσιες μεταξύ των δύο συνόλων που αφορούν στο βάθος των 5m, ενώ στο βάθος των 15m διαφέρουν σημαντικά για τους περισσότερους δείκτες.

Συγκεκριμένα, στο σύνολο *15m30st*, έλαβαν τις μεγαλύτερες μέσες τιμές τους οι δείκτες *S*, Margalef  $R_1$ , Fisher  $\alpha$ ,  $S_{Chao1}$ , Simpson *D* και Berger-Parker *d*. Τις μικρότερες μέσες τιμές τους στο ίδιο σύνολο έλαβαν οι δείκτες Menhinick  $R_2$ , Shannon *H*, Simpson diversity 1-D και όλοι οι δείκτες ισομέρειας.

**Πίνακας 7.** Οι μέσες τιμές των δεικτών α ποικιλότητας για τα τρία σύνολα δεδομένων.

| Alpha diversity indices average values – datasets – |                      |             |             |              |
|---|----------------------|-------------|-------------|--------------|
|   |                      | 5m71st      | 5m30st      | 15m30st      |
| Αριθμός ειδών                                       | <b>S</b>             | 12.77       | 12.90       | <b>16.20</b> |
| Margalef  | $R_1$                | 2.12        | 2.10        | <b>2.41</b>  |
| E.F. Menhinick                                      | $R_2$                | <b>0.81</b> | 0.77        | 0.70         |
| Shannon-Wiener                                      | <b>H</b>             | 1.67        | <b>1.68</b> | 1.58         |
| Simpson diversity                                   | <b>1-D</b>           | <b>0.71</b> | 0.71        | 0.65         |
| Fisher alpha  | $\alpha$             | 2.86        | 2.81        | <b>3.17</b>  |
| Chao 1  | $S_{Chao1}$          | 14.60       | 14.46       | <b>18.26</b> |
| Simpson   | <b>D</b>             | 0.29        | 0.29        | <b>0.35</b>  |
| Berger – Parker                                     | <b>d</b>             | 0.46        | 0.46        | <b>0.53</b>  |
| Evenness  | <b>E<sub>1</sub></b> | <b>0.67</b> | 0.66        | 0.57         |
|   | <b>E<sub>2</sub></b> | <b>0.45</b> | 0.45        | 0.32         |
|   | <b>E<sub>3</sub></b> | <b>0.40</b> | 0.40        | 0.28         |
|   | <b>E<sub>4</sub></b> | <b>0.71</b> | 0.71        | 0.64         |
|   | <b>E<sub>5</sub></b> | <b>0.63</b> | 0.62        | 0.53         |

Για το σύνολο *5m71st*, που συμπεριλαμβάνει όλα τα δείγματα στο βάθος των 5m, δοκιμάστηκε η συμφωνία της κατανομής αφθονίας των ειδών για κάθε σταθμό με τα τέσσερα μοντέλα κατανομών αφθονίας που είναι διαθέσιμα στο πρόγραμμα PAST (Geometric, Log series, Broken stick, Log-normal), μέσω των επιλογών “Model” → “Abundance distribution” (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9.** Υπολογισμός των παραμέτρων των μοντέλων κατανομής αφθονίας στο πρόγραμμα PAST.

Οι παράμετροι των μοντέλων καταχωρήθηκαν σε φύλλο εργασίας του Excel, για τη διευκόλυνση της παρουσίασης και της συνολικής εκτίμησης των αποτελεσμάτων (Εικόνα 10).

Οι  $p$ -τιμές που παράγει το πρόγραμμα PAST βασίζονται σε δοκιμές  $\chi^2$ , αλλά οι δοκιμές αυτές δεν έχουν την ίδια ισχύ για τα τέσσερα μοντέλα και για αυτό το λόγο δεν θα πρέπει να συγκρίνονται οι τιμές σημαντικότητας μεταξύ των μοντέλων (εγχειρίδιο χρήσης προγράμματος PAST).

Πάντως, το γεωμετρικό (Geometric) μοντέλο εμφάνισε τιμές  $p > 0,05$  σε 18 από τους σταθμούς που δοκιμάστηκαν, το λογαριθμικό (Log series) σε 23 σταθμούς, το μοντέλο τεμαχισμένης ράβδου (Broken stick) σε 16 σταθμούς και το λογαριθμοκανονικό (Log-normal) μοντέλο σε 38 σταθμούς. Εξάλλου, τιμές  $p > 0,05$  εμφάνισαν και στα τέσσερα

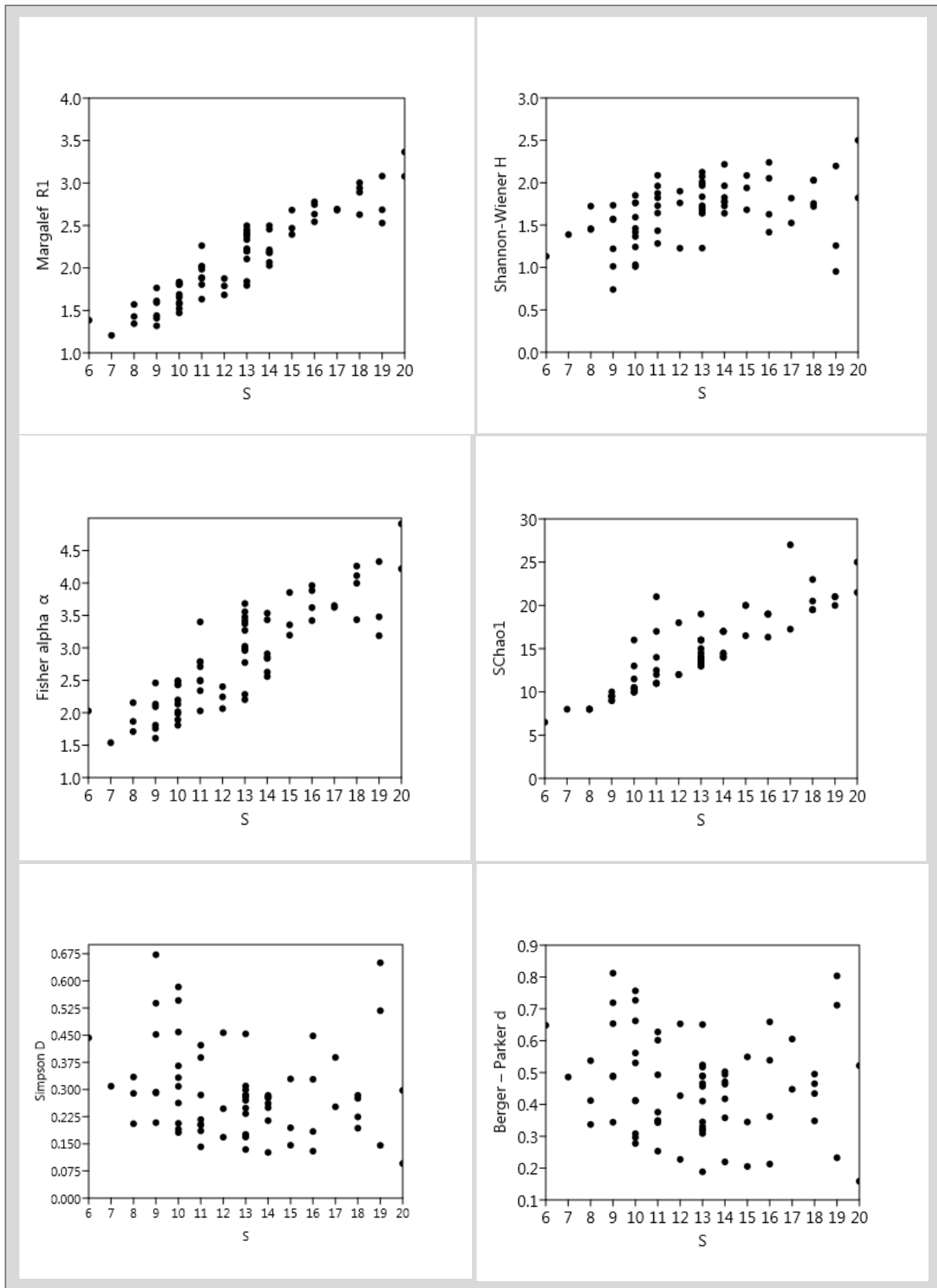
μοντέλα 5 σταθμοί, σε 3 μοντέλα 9 σταθμοί, σε 2 μοντέλα 11 σταθμοί, μόνο σε ένα μοντέλο 26 σταθμοί, ενώ 20 σταθμοί εμφάνισαν τιμές  $p < 0,05$  και για τα τέσσερα μοντέλα.

|    | A   | B             | C        | D        | E        | F        | G        |
|----|---|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | <b>Abundance distribution\Station(5m)</b> |               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| 2  | <b>Geometric</b>                          | k             | 0.2928   | 0.3954   | 0.3118   | 0.3961   | 0.4      |
| 3  |   | $\chi^2$ test | 48.17    | 15.29    | 2.416    | 81.24    | 7        |
| 4  |   | p (same)      | 3.3E-08  | 0.009192 | 0.789    | 7.71E-15 | 0.03     |
| 5  | <b>Log series</b>                         | $\alpha$      | 3.474    | 1.866    | 3.4      | 2.403    | 2        |
| 6  |   | x             | 0.9763   | 0.9863   | 0.9606   | 0.9932   | 0.9      |
| 7  |   | $\chi^2$ test | 14.67    | 4.204    | 2.123    | 104.9    |          |
| 8  |   | p (same)      | 0.04052  | 0.379    | 0.908    | 1.04E-19 | 0.1      |
| 9  | <b>Broken stick</b>                       | $\chi^2$ test | 54.82    | 24.69    | 8.011    | 51.86    | 9        |
| 10 |   | p (same)      | 3.42E-08 | 0.000863 | 0.4324   | 2.9E-07  | 0.05     |
| 11 | <b>Log-normal</b>                         | mean          | 0.1995   | 0.8898   | 0.3286   | 0.5956   | 0.3      |
| 12 |   | variance      | 0.7442   | 0.3461   | 0.52     | 1.18     | 0.5      |
| 13 |   | $\chi^2$ test | 0.05725  | 0        | 1.402    | 0        |          |
| 14 |   | p (same)      | 0.8109   | 0        | 0.2364   | 0        |          |
| 15 |   |               |          |          |          |          |          |
| 16 |   |               |          |          |          |          |          |
| 17 |   |               |          |          |          |          |          |

**Εικόνα 10.** Οι παράμετροι των μοντέλων κατανομής αφθονίας, όπως καταχωρήθηκαν σε φύλλο εργασίας του Excel. Το κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί σε  $p < 0,05$ .

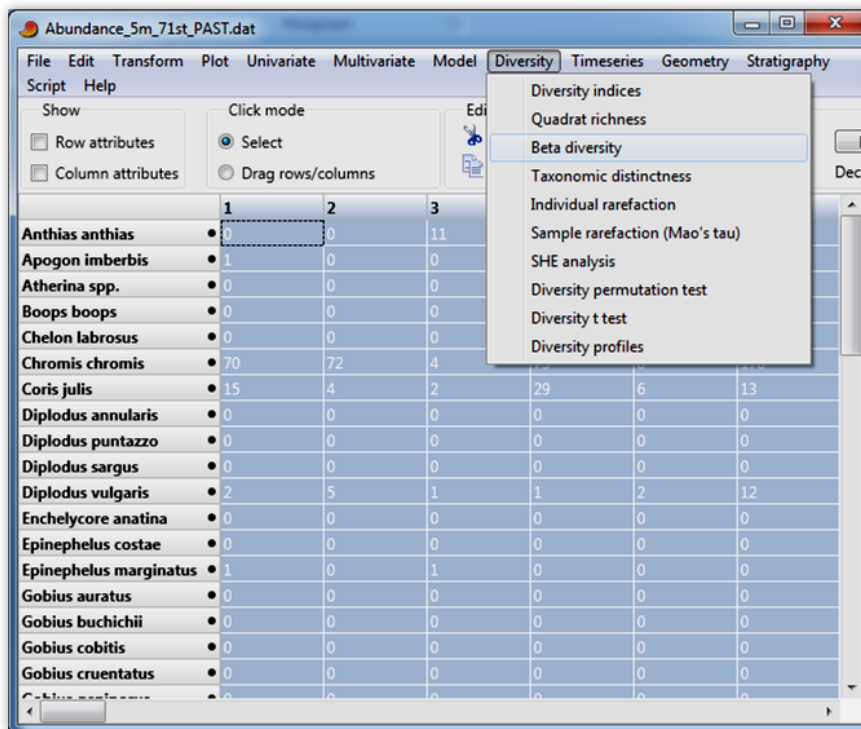
Για το σύνολο 5m71st έγιναν, επιπλέον, διαγράμματα διασποράς των δεικτών α ποικιλότητας μεταξύ τους, ώστε να ελεγχθεί η συσχέτισή τους. Έγιναν δηλαδή, τα διαγράμματα διασποράς όλων των δεικτών ως προς τον αριθμό ειδών S, των δεικτών πλούτου ειδών και ετερογένειας ως προς το δείκτη Shannon H, των δύο δεικτών κυριαρχίας Simpson D και Berger-Parker d μεταξύ τους και των δεικτών ισομέρειας ως προς το δείκτη Evenness  $E_1$ . Το πρόγραμμα PAST παρέχει την επιλογή αντιγραφής των γραφικών παραστάσεων, οι οποίες μπορούν να επικοληθούν σε άλλα προγράμματα ως εικόνες (Εικόνα 11).





**Εικόνα 11.** Ενδεικτικά διαγράμματα διασποράς δεικτών α ποικιλότητας ως προς τον αριθμό ειδών

Οι δείκτες β ποικιλότητας υπολογίστηκαν για τα τρία σύνολα δεδομένων στο πρόγραμμα PAST, με τις επιλογές “Diversity” → “Beta diversity” (Εικόνα 12) και τα αποτελέσματα καταχωρήθηκαν σε φύλλο εργασίας του Excel.



Εικόνα 12. Υπολογισμός των δεικτών β ποικιλότητας στο πρόγραμμα PAST.

Οι τιμές των δεικτών β ποικιλότητας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8. Συγκεντρωτικός πίνακας των δεικτών β ποικιλότητας για τα σύνολα δεδομένων του Α' μέρους της ανάλυσης.

| <i>Global beta diversities</i>            | <b>5m 71st</b> | <b>5m 30st</b> | <b>15m 30st</b> |
|---|----------------|----------------|-----------------|
| <b>Whittaker <math>\beta_w</math></b>     | 36.185         | 15.581         | 16.543          |
| <b>Harrison <math>\beta_1</math></b>      | 0.052          | 0.054          | 0.057           |
| <b>Wilson-Shmida <math>\beta_T</math></b> | 24.932         | 8.876          | 96.296          |

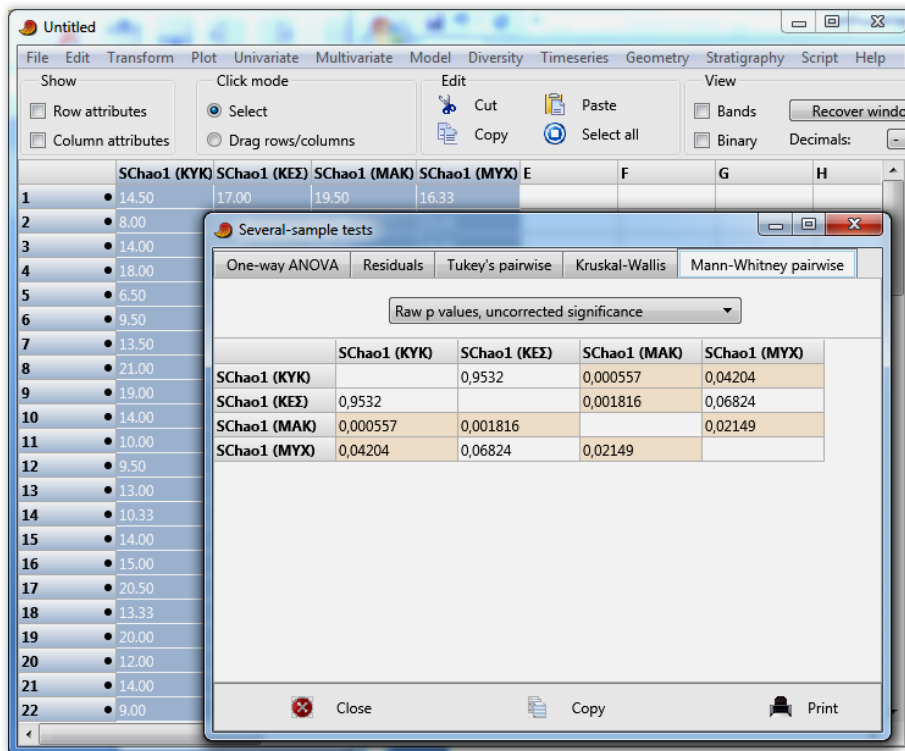
Ο δείκτης Whittaker  $\beta_w$  εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή του στο σύνολο *5m71st*, ενώ στο *15m30st* έλαβε ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή από το *5m30st*. Αυτό όμως, φαίνεται να προκύπτει από τη μεγάλη διαφορά του αριθμού δειγμάτων μεταξύ του πρώτου συνόλου και των άλλων δύο, καθώς ο δείκτης Harrison  $\beta_{-1}$ , ο οποίος δεν επηρεάζεται από τη διαφορά αυτή, εμφανίζει παραπλήσιες τιμές στα τρία σύνολα, με τη μεγαλύτερη στο σύνολο *15m30st* και τη μικρότερη στο *5m71st*. Συνεπώς, στο βάθος των 15m φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη διαφοροποίηση των σταθμών ως προς τον αριθμό ειδών, σε σχέση με το βάθος των 5m. Φαίνεται δηλαδή να μεταβάλλεται εντονότερα η αφθονία μεταξύ των σταθμών, στο βάθος των 15m.

Τέλος, ο δείκτης Wilson-Shmida  $\beta_T$ , ο οποίος δίνει βαρύτητα στη μεταβολή της βιοτικής σύνθεσης μεταξύ των σταθμών, λαμβάνει σημαντικά υψηλότερη τιμή στο σύνολο *15m30st* από τα σύνολα που αφορούν στο βάθος των 5m, γεγονός που υποδεικνύει ότι στο βάθος των 15m πιθανόν να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση των σταθμών μεταξύ τους, όχι μόνο ως προς τις αφθονίες, αλλά και ως προς τα διαφορετικά είδη που συνθέτουν τις τοπικές βιοκοινότητες.

### **6.3. Β' μέρος αποτελεσμάτων**

Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο. Υπολογίστηκαν οι τιμές των δεικτών α ποικιλότητας, εφαρμόστηκε η μέθοδος bootstrap για τις τιμές τους και τα αποτελέσματα καταχωρήθηκαν σε φύλλο εργασίας Excel.

Οι συγκρίσεις των κατανομών των τιμών τους, έγιναν με επικόλληση των τιμών κάθε δείκτη για κάθε περιοχή σε στήλες, στο πρόγραμμα PAST. Εδώ οι συγκρίσεις έγιναν με μη παραμετρικές δοκιμές Mann-Whitney, καθώς το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης πολλών στηλών ταυτόχρονα ανά ζεύγη, μέσω των επιλογών "Univariate" → "ANOVA etc.(several samples)" → "Several-sample tests" και την επιλογή "Mann-Whitney pairwise" στον πίνακα των αποτελεσμάτων (Εικόνα 13).



**Εικόνα 13.** Σύγκριση των κατανομών των δεικτών για τις τέσσερις περιοχές στο πρόγραμμα PAST.

Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές κανονικότητας, την εφαρμογή της μεθόδου bootstrap και τις ανά ζεύγη συγκρίσεις των τιμών των δεικτών καταχωρήθηκαν σε αρχείο Excel, σε ξεχωριστό φύλλο εργασίας για κάθε δείκτη, όπως και στο Α' μέρος. Ενδεικτικά, το φύλλο εργασίας για τον δείκτη Evenness  $E_1$  απεικονίζονται στην Εικόνα 14.

|                             |             | KYK            | KEΣ           | MAK            | ΛEX           |              |              |
|-----------------------------|-------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>Normality tests</b>      |             | $E_1=H/lnS$    | $E_1=H/lnS_2$ | $E_1=H/lnS_3$  | $E_1=H/lnS_4$ |              |              |
| N                           |             | 28             | 17            | 10             | 13            |              |              |
| Shapiro-Wilk W              |             | 0.9344         | 0.9086        | 0.9428         | 0.9491        |              |              |
| p(normal)                   |             | 0.07977        | 0.09471       | 0.5842         | 0.5841        |              |              |
| <b>Bootstrap statistics</b> |             | KYK            |               |                | KEΣ           |              |              |
|                             | $E_1=H/lnS$ | $E_1=H/lnS$    | Lower con     | Upper cor      | $E_1=H/lnS$   | Lower conf.3 | Upper conf.4 |
| N                           |             | 28             | 28            | 28             | 17            | 17           | 17           |
| Mean                        |             | 0.68           | 0.64          | 0.72           | 0.67          | 0.61         | 0.73         |
| Median                      |             | 0.69435        | 0.62625       | 0.74285        | 0.7027        | 0.6612       | 0.8182       |
| <b>Mann-Whitney tests</b>   |             | KYK            | KEΣ           | MAK            | ΛEX           |              |              |
|                             | $E_1=H/lnS$ | $E_1=H/lnS$    | $E_1=H/lnS_2$ | $E_1=H/lnS_3$  | $E_1=H/lnS_4$ |              |              |
| KYK                         |             |                | 0.9347        | <b>0.04669</b> | 0.7367        |              |              |
| KEΣ                         |             | 0.9347         |               | 0.1386         | 0.7696        |              |              |
| MAK                         |             | <b>0.04669</b> | 0.1386        |                | 0.07715       |              |              |
| ΛEX                         |             | 0.7367         | 0.7696        | 0.07715        |               |              |              |

**Εικόνα 14.** Τα αποτελέσματα των δοκιμών κανονικότητας, της μεθόδου bootstrap και των δοκιμών Mann-Whitney για τον δείκτη Evenness  $E_1$ .

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των  $p$ -τιμών των δοκιμών κανονικότητας για όλους τους δείκτες και τις τέσσερις περιοχές παρατίθενται στον Πίνακα 9.

**Πίνακας 9.** Συγκεντρωτικά οι  $p$ -τιμές των δοκιμών κανονικότητας για όλους τους δείκτες στις 4 περιοχές.

| Shapiro-Wilk normality tests $p$ -values – Regions – |                          |         |       |       |       |
|--|--------------------------|---------|-------|-------|-------|
|  |                          | ΚΥΚ     | ΚΕΣ   | ΜΑΚ   | ΛΕΧ   |
| Αριθμός ειδών  | <b>S</b>                 | 0.577   | 0.416 | 0.229 | 0.711 |
| Margalef   | <b>R<sub>1</sub></b>     | 0.333   | 0.276 | 0.112 | 0.509 |
| E.F. Menhinick                                       | <b>R<sub>2</sub></b>     | 0.682   | 0.535 | 0.631 | 0.627 |
| Shannon-Wiener                                       | <b>H</b>                 | 0.078   | 0.320 | 0.705 | 0.459 |
| Simpson diversity                                    | <b>1-D</b>               | 0.003** | 0.078 | 0.528 | 0.875 |
| Fisher alpha   | <b>α</b>                 | 0.324   | 0.191 | 0.367 | 0.385 |
| Chao 1   | <b>S<sub>Chao1</sub></b> | 0.171   | 0.174 | 0.521 | 0.519 |
| Simpson  | <b>D</b>                 | 0.003** | 0.078 | 0.528 | 0.875 |
| Berger – Parker                                      | <b>d</b>                 | 0.433   | 0.705 | 0.991 | 0.781 |
| Evenness   | <b>E<sub>1</sub></b>     | 0.080   | 0.095 | 0.584 | 0.584 |
|  | <b>E<sub>2</sub></b>     | 0.897   | 0.444 | 0.812 | 0.845 |
|  | <b>E<sub>3</sub></b>     | 0.993   | 0.352 | 0.776 | 0.725 |
|  | <b>E<sub>4</sub></b>     | 0.179   | 0.145 | 0.455 | 0.480 |
|  | <b>E<sub>5</sub></b>     | 0.076   | 0.737 | 0.972 | 0.593 |

Σε όλες τις περιοχές, η μηδενική υπόθεση των δοκιμών κανονικότητας έγινε δεκτή ( $p > 0,05$ ) για όλους τους δείκτες, εκτός από το δείκτη Simpson (D και 1-D) στην περιοχή ΚΥΚ (Κυκλάδες και Κάλυμνος).

Στον Πίνακα 10 παρατίθενται οι  $p$ -τιμές των δοκιμών Mann-Whitney, με τις οποίες συγκρίθηκαν ανά ζεύγη περιοχών οι κατανομές των τιμών των δεικτών. Όλοι οι δείκτες δείχνουν συμφωνία των κατανομών τους ( $p > 0,05$ ) στις δοκιμές μεταξύ των περιοχών ΚΥΚ και ΚΕΣ (Κεντρική Ελλάδα και Σποράδες)

Οι δείκτες Shannon H, Simpson (D και 1-D), Menhinick R<sub>2</sub>, και Berger–Parker d δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ( $p > 0,05$ ) των κατανομών τους μεταξύ των τεσσάρων περιοχών.

**Πίνακας 10.** Συγκεντρωτικά οι  $p$ -τιμές των δοκιμών Mann-Whitney ανα ζεύγη περιοχών.

| Mann-Whitney tests p-values – Regions – |                                     |         |       |                              |       |       |                               |       |       |
|---|-------------------------------------|---------|-------|------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|
|   | ΚΥΚ                                 | ΚΕΣ     | ΜΑΚ   | ΚΥΚ                          | ΚΕΣ   | ΜΑΚ   | ΚΥΚ                           | ΚΕΣ   | ΜΑΚ   |
|   | Αριθμός ειδών <b>S</b>              |         |       | Shannon-Wiener <b>H</b>      |       |       | Evenness <b>E<sub>1</sub></b> |       |       |
| ΚΕΣ                                     | 0.991                               |         |       | 0.574                        |       |       | 0.935                         |       |       |
| ΜΑΚ                                     | 6.4E-05                             | 3.4E-04 |       | 0.960                        | 0.744 |       | 0.047                         | 0.139 |       |
| ΛΕΧ                                     | 0.005                               | 0.014   | 0.023 | 0.251                        | 0.079 | 0.403 | 0.737                         | 0.770 | 0.077 |
|   | Margalef <b>R<sub>1</sub></b>       |         |       | Simpson diversity <b>1-D</b> |       |       | <b>E<sub>2</sub></b>          |       |       |
| ΚΕΣ                                     | 0.972                               |         |       | 0.380                        |       |       | 0.770                         |       |       |
| ΜΑΚ                                     | 0.001                               | 0.002   |       | 0.336                        | 0.782 |       | 0.003                         | 0.022 |       |
| ΛΕΧ                                     | 0.052                               | 0.054   | 0.044 | 0.363                        | 0.241 | 0.163 | 0.834                         | 0.967 | 0.028 |
|   | E.F. Menhinick <b>R<sub>2</sub></b> |         |       | Fisher <b>α</b>              |       |       | <b>E<sub>3</sub></b>          |       |       |
| ΚΕΣ                                     | 0.842                               |         |       | 0.907                        |       |       | 0.861                         |       |       |
| ΜΑΚ                                     | 0.934                               | 0.940   |       | 0.002                        | 0.013 |       | 0.009                         | 0.040 |       |
| ΛΕΧ                                     | 0.989                               | 0.950   | 0.975 | 0.098                        | 0.143 | 0.100 | 0.878                         | 0.933 | 0.067 |
|   | Chao 1 <b>S<sub>Chao1</sub></b>     |         |       | Simpson <b>D</b>             |       |       | <b>E<sub>4</sub></b>          |       |       |
| ΚΕΣ                                     | 0.953                               |         |       | 0.380                        |       |       | 0.309                         |       |       |
| ΜΑΚ                                     | 0.001                               | 0.002   |       | 0.336                        | 0.782 |       | 0.002                         | 0.020 |       |
| ΛΕΧ                                     | 0.042                               | 0.068   | 0.021 | 0.363                        | 0.241 | 0.163 | 0.425                         | 0.900 | 0.077 |
|   |                                     |         |       | Berger – Parker <b>d</b>     |       |       | <b>E<sub>5</sub></b>          |       |       |
|   |                                     |         | ΚΕΣ   | 0.386                        |       |       | 0.475                         |       |       |
|   |                                     |         | ΜΑΚ   | 0.202                        | 0.564 |       | 0.010                         | 0.067 |       |
|   |                                     |         | ΛΕΧ   | 0.644                        | 0.315 | 0.129 | 0.769                         | 0.802 | 0.059 |

Οι συγκρίσεις των υπόλοιπων δεικτών ανά ζεύγη περιοχών έδειξαν ότι η περιοχή της Μακεδονίας (ΜΑΚ) διαφοροποιείται σημαντικά από τις άλλες τρεις περιοχές, ως προς τους περισσότερους δείκτες. Ιδιαίτερα, σε σχέση με τις περιοχές ΚΥΚ και ΚΕΣ, διαφοροποιούνται οι κατανομές των δεικτών S, Margalef R<sub>1</sub>, S<sub>Chao1</sub>, Fisher α, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> και E<sub>5</sub>, ενώ σε σχέση με την ΚΥΚ, διαφοροποιούνται όλοι οι δείκτες ισομέρειας.

Ενδεικτικές είναι και οι μέσες τιμές των δεικτών για τις τέσσερις περιοχές, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι δείκτες  $S$ , Margalef  $R_1$ , Fisher  $\alpha$ ,  $S_{Chao1}$ , Simpson  $D$  και Berger-Parker  $d$ , εμφάνισαν στην περιοχή ΜΑΚ τις υψηλότερες μέσες τιμές και όλοι οι δείκτες ισομέρειας τις χαμηλότερες, ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές των τελευταίων ήταν παραπλήσιες. Επιπλέον, η περιοχή ΜΑΚ περιλαμβάνει αρκετά λιγότερους σταθμούς από τις υπόλοιπες, αλλά ο αριθμός ειδών που καταγράφηκαν ήταν ο μεγαλύτερος (40 είδη, όσα και στην περιοχή ΚΕΣ). Ο συνδυασμός των παραπάνω οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή της Μακεδονίας φαίνεται να υπάρχουν τα περισσότερα είδη από όλες τις περιοχές.

**Πίνακας 11.** Οι μέσες τιμές των δεικτών α ποικιλότητας για τις τέσσερις περιοχές.

| Alpha diversity indices average values – Regions – |                          |             |       |              |             |
|--|--------------------------|-------------|-------|--------------|-------------|
|  |                          | ΚΥΚ         | ΚΕΣ   | ΜΑΚ          | ΛΕΧ         |
| Αριθμός ειδών                                      | <b>S</b>                 | 11.39       | 11.47 | <b>17.10</b> | 14.15       |
| Margalef   | <b>R<sub>1</sub></b>     | 1.95        | 1.96  | <b>2.63</b>  | 2.30        |
| E.F. Menhinick                                     | <b>R<sub>2</sub></b>     | 0.81        | 0.80  | 0.81         | <b>0.82</b> |
| Shannon-Wiener                                     | <b>H</b>                 | 1.64        | 1.61  | 1.65         | <b>1.83</b> |
| Simpson diversity                                  | <b>1-D</b>               | 0.71        | 0.69  | 0.66         | <b>0.75</b> |
| Fisher alpha                                       | <b>α</b>                 | 2.64        | 2.65  | <b>3.54</b>  | 3.11        |
| Chao 1   | <b>S<sub>Chao1</sub></b> | 13.04       | 13.27 | <b>19.53</b> | 15.97       |
| Simpson  | <b>D</b>                 | 0.29        | 0.31  | <b>0.34</b>  | 0.25        |
| Berger – Parker                                    | <b>d</b>                 | 0.44        | 0.48  | <b>0.52</b>  | 0.41        |
| Evenness   | <b>E<sub>1</sub></b>     | 0.68        | 0.67  | 0.58         | <b>0.70</b> |
|  | <b>E<sub>2</sub></b>     | <b>0.48</b> | 0.47  | 0.33         | 0.47        |
|  | <b>E<sub>3</sub></b>     | <b>0.43</b> | 0.42  | 0.29         | 0.42        |
|  | <b>E<sub>4</sub></b>     | <b>0.74</b> | 0.71  | 0.63         | 0.71        |
|  | <b>E<sub>5</sub></b>     | <b>0.66</b> | 0.62  | 0.52         | 0.64        |

Στην περιοχή ΛΕΧ φαίνεται να υπάρχουν σχετικά περισσότερα είδη από τις ΚΥΚ και ΚΕΣ καιθώς δεν συσχετίζεται στατιστικά ως προς την κατανομή του αριθμού ειδών  $S$  με αυτές και η μέση τιμή του δείκτη αυτού είναι υψηλότερη. Ωστόσο, οι τρεις αυτές περιοχές δεν διαφέρουν σημαντικά ως προς την ισοκατανομή της αφθονίας, καθώς οι κατανομές των δεικτών ισομέρειας ως επί το πλείστον συσχετίζονται και οι μέσες τιμές αυτών είναι παραπλήσιες.

Οι δείκτες  $\beta$  ποικιλότητας για τις περιοχές του δεύτερου μέρους της ανάλυσης υπολογίστηκαν επίσης με το πρόγραμμα PAST, με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και για τα σύνολα δεδομένων του πρώτου μέρους. Συγκεντρωτικά, οι τιμές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

**Πίνακας 12.** Συγκεντρωτικός πίνακας των δεικτών  $\beta$  ποικιλότητας για τις περιοχές του Β' μέρους της ανάλυσης.

| <i>Global beta diversities</i>            | <b>ΚΥΚ</b> | <b>ΚΕΣ</b> | <b>ΜΑΚ</b> | <b>ΛΕΧ</b> |
|---|------------|------------|------------|------------|
| <b>Whittaker <math>\beta_w</math></b>     | 21.599     | 24.872     | 13.392     | 14.728     |
| <b>Harrison <math>\beta_{.1}</math></b>   | 0.080      | 0.155      | 0.149      | 0.123      |
| <b>Wilson-Shmida <math>\beta_T</math></b> | 99.624     | 63.205     | 30.117     | 37.446     |

Το γεγονός ότι οι δείκτες Whittaker  $\beta_w$  και Harrison  $\beta_{.1}$  εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους και ο δείκτης Wilson-Shmida  $\beta_T$  τη δεύτερη μεγαλύτερη τιμή του στην περιοχή ΚΕΣ, υποδεικνύει ότι οι σταθμοί σε αυτήν την περιοχή διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στον αριθμό ειδών αλλά και τη βιοτική σύνθεση των τοπικών βιοκοινοτήτων.

Ως προς το δείκτη Whittaker  $\beta_w$ , οι περιοχές κατατάσσονται από την περιοχή με τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη έως εκείνη με τη μικρότερη ως εξής: ΚΕΣ > ΚΥΚ > ΛΕΧ > ΜΑΚ.

Ως προς το δείκτη Harrison  $\beta_{.1}$  η αντίστοιχη σειρά είναι: ΚΕΣ > ΜΑΚ > ΛΕΧ > ΚΥΚ.

Τέλος, ως προς το δείκτη Wilson-Shmida  $\beta_T$  αντίστοιχα: ΚΥΚ > ΚΕΣ > ΛΕΧ > ΜΑΚ.



## 7. Συμπεράσματα - Συζήτηση

Οι συγκρίσεις των κατανομών των τιμών για τους δείκτες α ποικιλότητας στο Α' μέρος έδειξαν σαφή διαφοροποίηση μεταξύ των βαθών των 5m και 15m. Επιπλέον, οι μέσες τιμές των δεικτών στα δύο βάθη έδειξαν ότι στο βάθος των 15m υπάρχουν περισσότερα είδη, αλλά οι αφθονίες είναι πιο άνισα κατανεμημένες μεταξύ των ειδών. Εμφανίζεται δηλαδή πιο έντονα το φαινόμενο της κυριαρχίας κάποιων λίγων ειδών και περισσότερα είδη εμφανίζονται με μικρές αφθονίες. Εξάλλου, οι τιμές των δεικτών β ποικιλότητας και οι συγκρίσεις των κατανομών τους μεταξύ των δύο βαθών υποδεικνύουν ότι στο βάθος των 15m υπάρχει μεγαλύτερη διαφοροποίηση των σταθμών μεταξύ τους, τόσο ως προς την αφθονία όσο και ως προς τη βιοτική σύνθεση των βιοκοινοτήτων.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο ότι συνθήκες όπως η θερμοκρασία, το κύμα και τα ρεύματα μεταβάλλονται εντονότερα στο ανώτερο στρώμα της θάλασσας, λόγω της αλληλεπίδρασης με την ατμόσφαιρα. Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως π.χ. η παρουσία σκαφών είναι επίσης, πιο αισθητές κοντά στην επιφάνεια και πιθανόν να αποτελούν αιτία για κάποια είδη ιχθύων να καταδύονται σε μεγαλύτερο βάθος. Επιπλέον, στο βάθος των 15m, λόγω του πιο σταθερού περιβάλλοντος ευνοείται η ανάπτυξη φωτοσυνθετικών και άλλων εδραίων οργανισμών που συμβάλλουν στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής και στη δημιουργία ποικίλων μικροενδιαιτημάτων. Έτσι, τα μικρά φυτοφάγα ψάρια και εκείνα που τρέφονται με βενθικούς οργανισμούς βρίσκουν ευκολότερα καταφύγιο και τροφή, έλκοντας με τη σειρά τους και τα μεγαλύτερα ψάρια θηρευτές. Πρόσφατες μελέτες (Ananthakrishnan & Sivaramakrishnan, 2006; Piacenza *et al.*, 2015; Costello & Chaudhary, 2017) ενισχύουν αυτήν την υπόθεση, καθώς αναφέρουν ότι για βάθη έως περίπου 200m η βιοποικιλότητα τείνει να αυξάνεται με το βάθος, παρόλο που σε μεγαλύτερα βάθη η τάση αντιστρέφεται.

Στο Β' μέρος, οι μέσες τιμές των δεικτών α ποικιλότητας και οι συγκρίσεις των κατανομών τους ανά ζεύγη περιοχών έδειξαν ότι η περιοχή της Μακεδονίας (ΜΑΚ) διαφοροποιείται σημαντικά, καθώς φαίνεται να υπάρχουν περισσότερα είδη από τις άλλες τρεις περιοχές. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι η θαλάσσια περιοχή

τροφοδοτείται με θρεπτικά συστατικά τόσο από τις απορροές από την ηπειρωτική χώρα και τις εκβολές ποταμών, όσο και από την ανταλλαγή υδάτων με τη Μαύρη Θάλασσα. Η ανταλλαγή αυτή φαίνεται να επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό και την περιοχή ΛΕΧ στο βορειοανατολικό Αιγαίο, καθώς φαίνεται να υπάρχουν σχετικά περισσότερα είδη από τις περιοχές ΚΥΚ και ΚΕΣ.

Όσον αφορά τη β ποικιλότητα, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι στην περιοχή ΚΕΣ, οι σταθμοί διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ τους στον αριθμό ειδών αλλά και τη βιοτική σύνθεση των τοπικών βιοκοινοτήτων. Αυτό ίσως αντακλά την ετερογένεια του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής, που περιλαμβάνει σταθμούς στον Ευβοϊκό και Παγασητικό κόλπο, οι οποίοι διαφέρουν μορφολογικά σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους, καθώς και με τα νησιά των Σποράδων και τους δύο σταθμούς στις Αιγιακές ακτές της νότιας Εύβοιας.

Τέλος, η μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των σταθμών όσον αφορά στη βιοτική σύνθεση, εμφανίζεται στην περιοχή ΚΥΚ. Αυτό πιθανόν να αντανακλά το μεγαλύτερο βαθμό απομόνωσης του νησιωτικού περιβάλλοντος, καθώς η περιοχή αυτή περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό νησιών με μεγάλη ποικιλία στο μέγεθος και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους.

# Βιβλιογραφικές αναφορές

## Διεθνής βιβλιογραφία

- Agardy, T. & Staub, F. (2006) Marine Protected Areas and MPA Networks. NCEP module synthesis document.
- Ananthakrishnan, T.N. & Sivaramakrishnan K.G. (2006) Animal Biodiversity Patterns and Processes. Scientific Publishers
- Berger, W. H. & Parker, F. L. (1970) Diversity of planktonic Foraminifera in deep sea sediments. *Science* 168,1345-1347.
- Bullock, J.A. (1971a) The investigations of samples containing many species. Sample description. *Biol. J. Linn. Soc.* 3, 1–21.
- Buzas, M. A., & Gibson, T. G. (1969) Species diversity: benthonic Foraminifera in western north Atlantic. *Science* 163:72–75.
- Chao, A. (1984) Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Stat.* 11,265-270.
- Colloca F., Cardinale M., Maynou F., Giannoulaki M, Scarcella G, Jenko K, Bellido JM, Fiorentino F (2013) Rebuilding Mediterranean fisheries: A new paradigm for ecological sustainability. *Fish and Fisheries* 14: 89-109.
- Costello M. J., & Chaudhary C. (2017) Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation. *Current Biology*, 27, R511–R527.
- Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London
- Efron, B. (1979) Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Annals of Statistics* 7, 1-26.
- Fisher, R. A, Corbet, A. S., Williams, C. B. (1943) The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12: 42–58.
- Gaston, K.J. and Spicer, J.I. (2004) *Biodiversity: An Introduction*. Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Gerbilskii, N. L. and Petrunkevitch, A. (1955) Intraspecific Biological Groups of Acipenserines and Their Reproduction in the Lower Regions of Rivers with Regulated Flow. *Systematic Zoology* 4:86-92
- Gotelli, N. J. & Colwell, R. K. (2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol. Lett.* 4 ,379-391.
- Gotthelf, A. (1999) Darwin on Aristotle. *Journal of the History of Biology*, 32, 3-30.
- Harrison, S., S.J. Ross & J.H. Lawton, (1992) Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology* 61:151-158
- Hurlbert, S.H. (1971) The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52(4), 577–86.
- Karydis, M. & Tsirtsis, G. (1996) Ecological indices: a biometric approach for assessing eutrophication levels in the marine environment. *Sci. Total Environ.* 186, 209-219.
- Katsanevakis, S., Stelzenmüller, V., South A., *et. al.* (2011) Ecosystem-based marine

- spatial management: review of concepts, policies, tools, and critical issues. *Ocean and Coastal Management* 54: 807–820.
- Koleff, P., Gaston, K. J. & Lennon, J. J. (2003) Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* 72, 367–382
- Krebs, C. J. (1989) *Ecological methodology*. Harper and Row, New York.
- Lovejoy, T. E. (1980a) Changes in biological diversity. *The Global 2000 Report to the President*, vol. 2. The technical report (ed. G. O. Barney). Harmondsworth, UK: Penguin.
- MacArthur, R.H. (1957) On the relative abundance of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 43:293–295.
- Magurran, A. E. and McGill, B. J. (2011) *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press, Oxford
- Magurran, A. E. (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science, Oxford
- Margalef, R. (1958) Information theory in ecology. *Gen. Systems* 3, 36–71.
- May, R. M. (1975) Patterns of species abundance and diversity. *Ecology and evolution of communities*, pp. 81–120. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Menhinick, E. F. (1964) A comparison of some species–individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45: 859–886.
- Motomura, I. (1932) On the statistical treatment of communities. *Zoological Magazine* 44, 379–383. Tokyo
- Peet, R. K. (1974) The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5, 285–307
- Piacenza, S. E., Barner, A. K., Benkwitt, C.E. et.al. (2015) Patterns and Variation in Benthic Biodiversity in a Large Marine Ecosystem. *PLoS one*, 10(8), e0135135. doi:10.1371/journal.pone.0135135
- Pielou, E. C. (1977) *Mathematical ecology*. Wiley, New York
- Preston, F. W. (1948) The commonness and rarity of species. *Ecology* 29,254–283.
- Routledge, R.D. (1979) Diversity indices: which ones are admissible? *Journal of Theoretical Biology* 76, 503–15.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949) *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press
- Southwood, R. & Henderson, P. A. (2000) *Ecological methods*. Oxford: Blackwell Science.
- Spatharis, S., Roelke, D.L., Dimitrakopoulos, P.G., Kokkoris, G.D. (2011) Analyzing the (mis)behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages. *Ecological Indicators* 11: 697–703.
- Stergiou, K.I., Christou, E.D., Georgopoulos, D., Zenetos, A. & Souvermezoglou, C. (1997) The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology: Annual Review* 35, 415 – 538
- Taylor, L.R., Kempton, R.A., & Woiwood, I.P. (1976) Diversity statistics and the log-series model. *Journal of Animal Ecology*. 45, 255–72.
- Tsikliras, A.C., Dinouli, A., Tsiros, V-Z, Tsalkou, E. (2015) The Mediterranean and Black Sea fisheries at risk from overexploitation. *PLoS ONE* 10: e0121188
- Vasilakopoulos, P., Maravelias, C.D., Tserpes, G. (2014) The alarming decline of Mediterranean fish stocks. *Current Biology* 24: 1643–1648.
- Voultsiadou, E., Gerovasileiou, V., Vandepitte, L., Ganias, K., Arvanitidis, C. (2017) Aristotle’s scientific contributions to the taxonomic classification, nomenclature and

distribution of marine organisms. *Mediterranean Marine Science*, 18. 468-478.  
Whittaker, R. H. (1960) *Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California*.  
*Ecolog. Monographs* 30, 279-338  
Wilson, E. O. (ed.) (1988) *Biodiversity*. Washington, DC. National Academy Press.

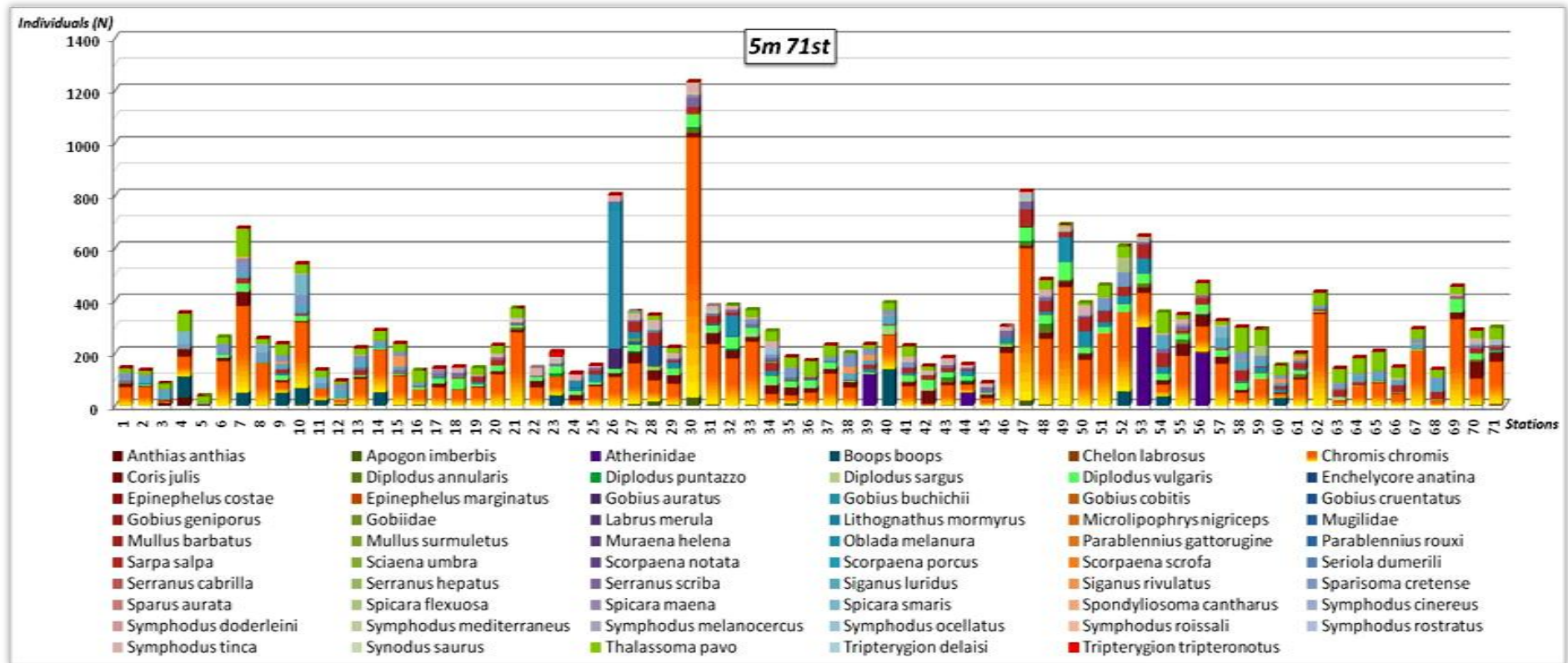
### **Ελληνική βιβλιογραφία**

Καρανδεινός, Μ. Γ. (2007) Ποσοτικές Οικολογικές Μέθοδοι. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο  
Κόκκορης Γ. Δ., Δημητρακόπουλος Π. Γ., Ντάλιας Π. (2005) Βιολογική Ποικιλότητα. Σειρά «Ενημέρωση για το Περιβάλλον». Υπ. Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων  
Κόκκορης, Γ. Δ. (2008) Σημειώσεις Μαθήματος Ποσοτικής Οικολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη  
Κουτσογιαννόπουλος, Δ.Δ. (2010) Τα ψάρια της Ελλάδας, Ιδιωτική Έκδοση

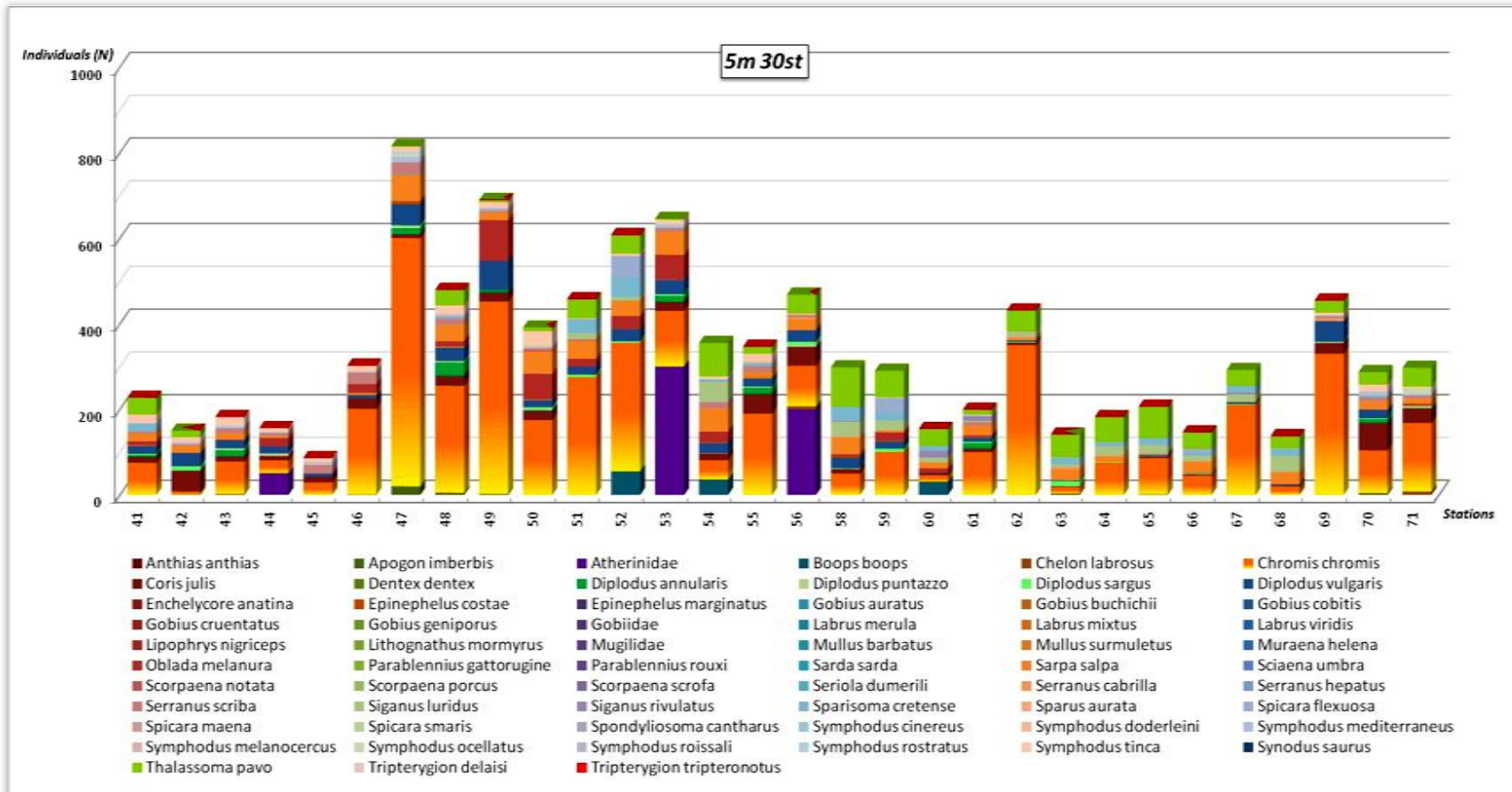
### **Διαδίκτυο**

[www.marisca.eu](http://www.marisca.eu)  
[www.nhm.ac.uk](http://www.nhm.ac.uk)  
[www.protomedea.eu](http://www.protomedea.eu)

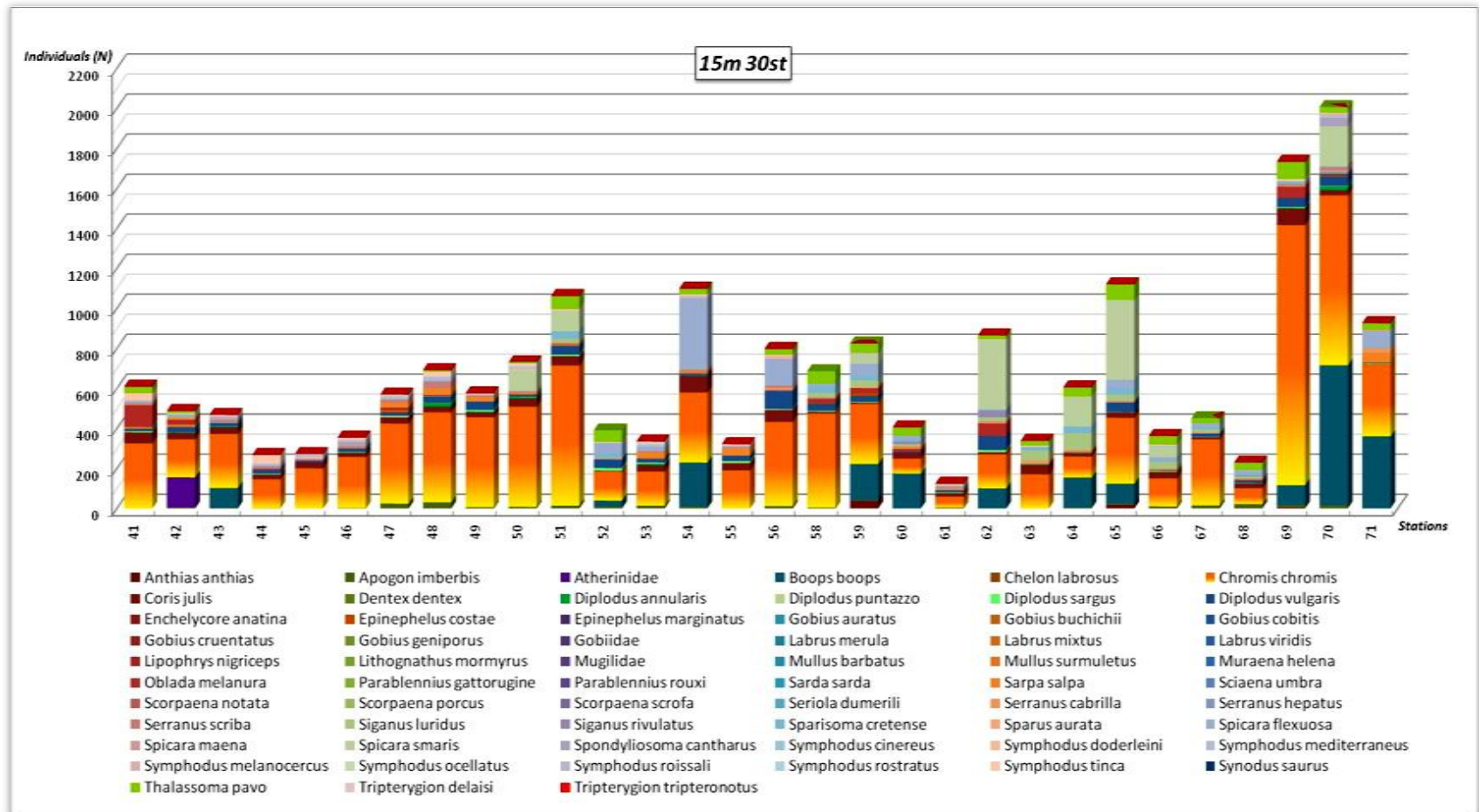
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Γράφημα 1. Συνοπτική απεικόνιση των δεδομένων αφθονίας από τους 71 σταθμούς για βάθος 5m.

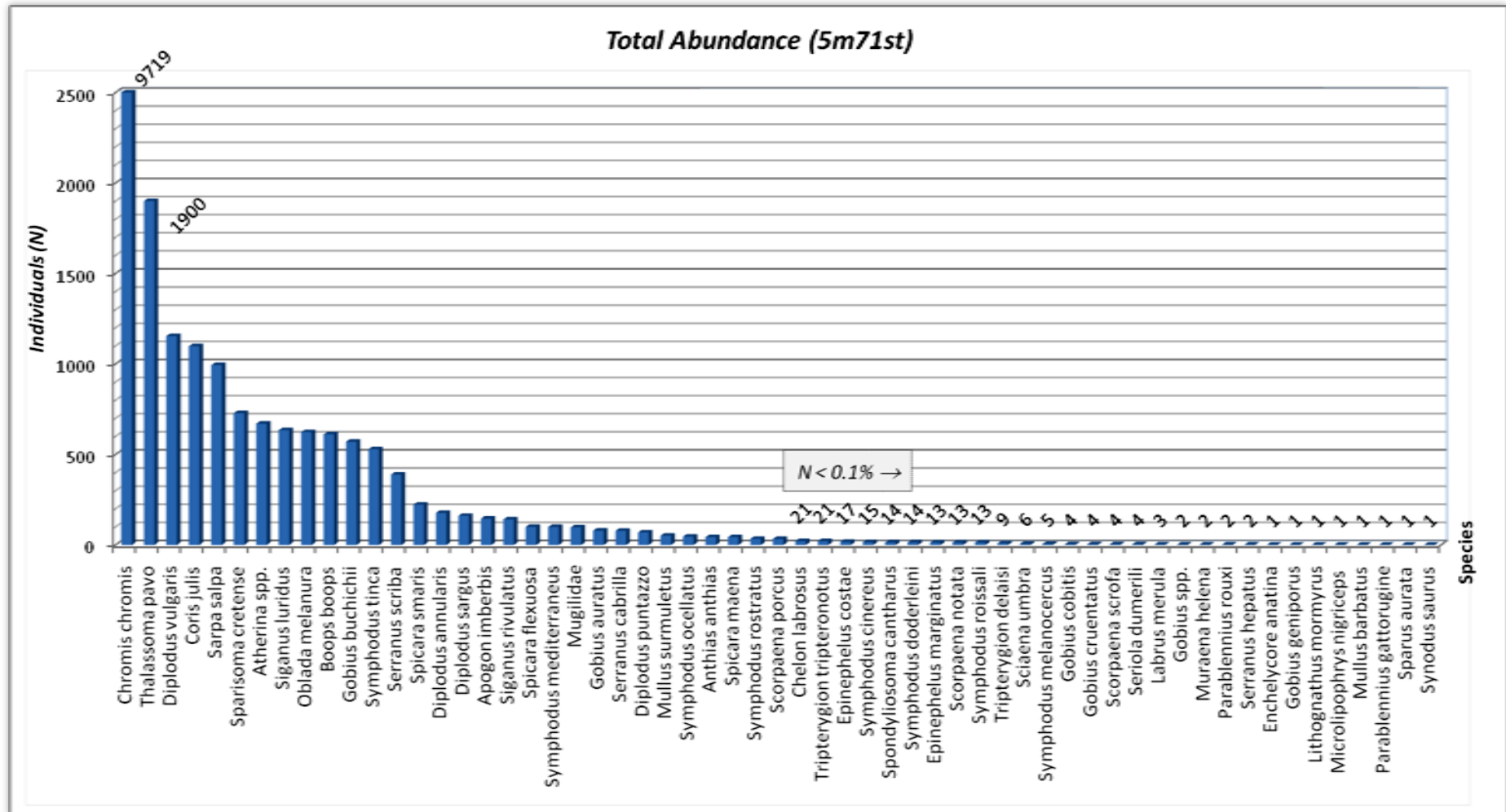


**Γράφημα 2.** Συνοπτική απεικόνιση των δεδομένων αφθονίας από τους 30 σταθμούς (41-71, εκτός 57) για βάθος 5m.

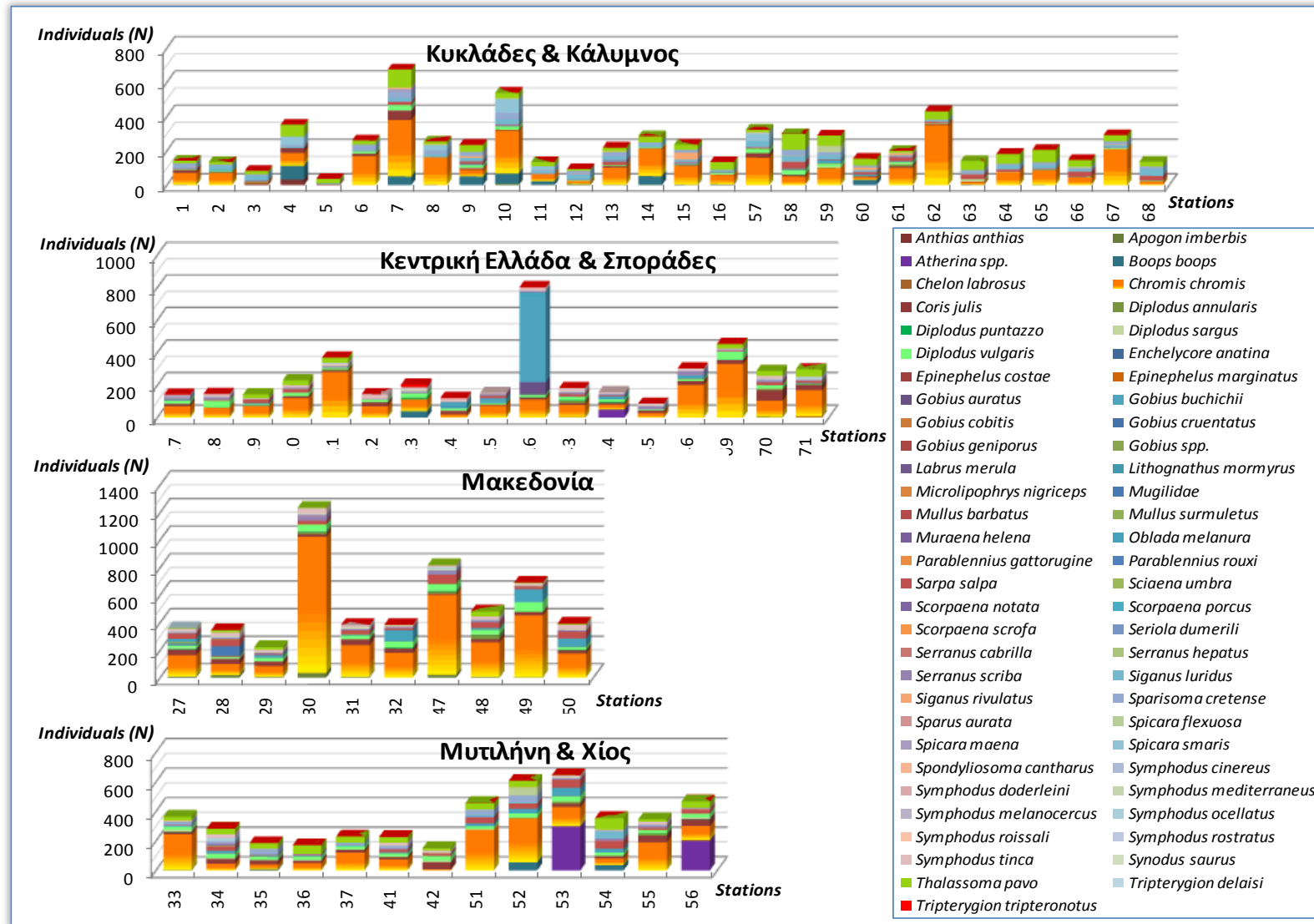


**Γράφημα 3.** Συνοπτική απεικόνιση των δεδομένων αφθονίας από τους 30 σταθμούς (41-71, εκτός 57) για βάθος 15m.





**Γράφημα 4.** Γράφημα ιεραρχημένης αφθονίας από τα δεδομένα των 71 σταθμών για βάθος 5m.



Γράφημα 5. Συνοπτική απεικόνιση των δεδομένων αφθονίας για τις περιοχές.





