

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ:** Πληθυσμιακή δομή και βιολογικά χαρακτηριστικά του  
πολυπλακοφόρου *Rhyssoplax olivacea* στον Παγασητικό Κόλπο

**ΤΑΟΥΣΑΝΗ ΖΑΧΑΡΕΝΙΑ**

**ΒΟΛΟΣ 2025**

**Πληθυσμιακή δομή και βιολογικά χαρακτηριστικά του  
πολυπλακοφόρου *Rhyssoplax olivacea* στον Παγασητικό Κόλπο**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**Δημήτριος Βαφείδης**, Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπόνδυλων και άμεση - έμμεση χρηστικότητα τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*.

**Δημήτριος Κλαουδάτος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αλιεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

**Μαριάνθη Χατζηιωάννου**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εκτροφή Σαλιγκαριών και Βατράχων, Τμήμα Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας *Μέλος*.

Στους γονείς μου.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Βαφείδη για την πολύτιμή βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Κλαουδάτο και \_\_\_\_\_, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Βάρκουλη και τον κ. Βούλγαρη, όσον αφορά την προμήθεια εργαστηριακού υλικού κατά τη διάρκεια του πειράματος, καθώς επίσης τον κ. Κλαουδάτο για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους αγαπημένους μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη διερευνά την πληθυσμιακή δομή και τα βιολογικά χαρακτηριστικά του πολυπλακοφόρου *Rhyssoplax olivacea* στον Παγασητικό Κόλπο, καθώς αποτελεί σημαντικό οικολογικό βιοδείκτη και οργανισμό με αναπτυσσόμενη εμπορική αξία. Στόχος της έρευνας ήταν η εκτίμηση των πληθυσμιακών χαρακτηριστικών, των μορφομετρικών σχέσεων και της φυλετικής αναλογίας του είδους, καθώς και η ανάλυση διαφορών μεταξύ περιοχών και εποχών.

Η μελέτη διεξήχθη με μηνιαίες δειγματοληψίες από δύο παράκτιες περιοχές του Παγασητικού Κόλπου, τον Άγιο Στέφανο και τις Πλάκες, κατά την περίοδο Απριλίου 2022 – Απριλίου 2023. Συνολικά συλλέχθηκαν 313 άτομα, τα οποία αναλύθηκαν με βάση το μήκος, το πλάτος και το βάρος τους. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων κυμάνθηκαν από 9,91 mm έως 27,9 mm (μήκος), 5,02 mm έως 19,6 mm (πλάτος) και 0,271 g έως 1,84 g (βάρος). Τα αρσενικά άτομα παρουσίασαν μεγαλύτερο μέσο μήκος και βάρος σε σχέση με τα θηλυκά, ενώ τα θηλυκά είχαν μεγαλύτερο πλάτος. Επιπλέον, η αναλογία φύλων βρέθηκε 1:2,52 υπέρ των αρσενικών, γεγονός που διαφέρει από την αναμενόμενη αναλογία 1:1.

Ο γοναδοσωματικός δείκτης (GSI), ο οποίος εκφράζει τη σχετική αναπαραγωγική επένδυση των ατόμων, ανέδειξε σημαντικές εποχικές διακυμάνσεις. Οι υψηλότερες τιμές GSI καταγράφηκαν την άνοιξη και το καλοκαίρι, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι περίοδοι αυτοί είναι οι κύριες αναπαραγωγικές φάσεις του είδους. Οι χαμηλότερες τιμές GSI παρατηρήθηκαν το φθινόπωρο, πιθανώς λόγω της ολοκλήρωσης της ωοτοκίας.

Όσον αφορά τις μορφομετρικές σχέσεις, οι συσχετίσεις μεταξύ μήκους, πλάτους και βάρους ήταν στατιστικά σημαντικές. Η σχέση μήκους-βάρους παρουσίασε μέτρια θετική συσχέτιση ( $r = 0,723$ ). Σχετικά με τις διαφορές μεταξύ περιοχών, δεν καταγράφηκαν

σημαντικές διαφορές στο μήκος και το πλάτος, αλλά τα άτομα από τον Άγιο Στέφανο παρουσίασαν μεγαλύτερο βάρος.

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη δυναμική του πληθυσμού του *R. olivacea*, τις εποχικές διακυμάνσεις και τις περιφερειακές διαφορές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαχείριση του είδους. Το *R. olivacea* αποτελεί έναν χρήσιμο δείκτη περιβαλλοντικών συνθηκών λόγω της θέσης του στην τροφική αλυσίδα και της σχέσης του με τη ρύπανση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Παράλληλα, η έλλειψη ρυθμίσεων για τη συγκομιδή του, όπως παρατηρείται σε άλλες περιοχές, υπογραμμίζει την ανάγκη για μελλοντικά διαχειριστικά μέτρα, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμη εκμετάλλευσή του.

**Λέξεις-κλειδιά:** *Rhyssoplax olivacea*, Πολυπλακοφόρα, Πληθυσμιακή δομή, Μορφομετρικές σχέσεις, Φυλετική αναλογία, Γοναδοσωματικός δείκτης (GSI), Εποχικές διακυμάνσεις, Περιβαλλοντικός βιοδείκτης, Αειφόρος διαχείριση

## Περιεχόμενα

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>                                                                  | <b>v</b>  |
| <b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>                                                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Εξελικτική πορεία.....                                                             | 1         |
| 1.2 Γενικές πληροφορίες για τα πολυπλακοφόρα .....                                     | 4         |
| 1.3 Αναπαραγωγή χιτώνων.....                                                           | 8         |
| 1.4 Ανάπτυξη χιτώνων.....                                                              | 11        |
| 1.5 Αλιεία πολυπλακοφόρων και οικολογική σημασία .....                                 | 13        |
| 1.6 Γενικές πληροφορίες για το είδος <i>Rhyssoplax olivacea</i> .....                  | 16        |
| <b>2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>                                                        | <b>19</b> |
| 2.1 Συλλογή πολυπλακοφόρων.....                                                        | 19        |
| 2.2 Μορφομετρικές μετρήσεις, λήψη γονάδας και αποθήκευση.....                          | 21        |
| 2.3 Υπολογισμός γοναδοσωματικού δείκτη.....                                            | 22        |
| 2.4 Στατιστική επεξεργασία .....                                                       | 23        |
| <b>3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>                                                             | <b>26</b> |
| 3.1 Πληθυσμιακή δομή του είδους <i>Rhyssoplax olivacea</i> στον Παγασητικό κόλπο ..... | 26        |
| 3.1.1 Κατά μήκος σύνθεση .....                                                         | 27        |
| 3.1.2 Κατά πλάτος σύνθεση.....                                                         | 28        |
| 3.1.3 Κατά βάρος σύνθεση .....                                                         | 29        |
| 3.2 Μορφομετρικές σχέσεις.....                                                         | 29        |
| 3.2.1 Σχέση μήκους- βάρους .....                                                       | 29        |
| 3.2.2 Σχέση μήκους -πλάτους.....                                                       | 30        |
| 3.2.3 Σχέση πλάτους - βάρους.....                                                      | 31        |
| 3.3 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων .....                                               | 31        |
| 3.3.1 Μορφομετρικές σχέσεις μεταξύ φύλων .....                                         | 31        |
| 3.3.2 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων μεταξύ περιοχών .....                             | 33        |
| 3.3.3 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων μεταξύ εποχών .....                               | 35        |
| 3.4 Φυλετική αναλογία.....                                                             | 38        |
| 3.4.1 Σχέση περιοχής με χρώμα γονάδας .....                                            | 38        |
| 3.5 Γοναδοσωματικός δείκτης.....                                                       | 40        |
| <b>4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>                                                                | <b>42</b> |
| <b>5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                                             | <b>45</b> |
| <b>6. ABSTRACT .....</b>                                                               | <b>48</b> |

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Εξελικτική πορεία

Τα πολυπλακοφόρα ή χιτώνες (*chitons*) έχουν απασχολήσει συγκριτικά περισσότερο τους μαλακολόγους σε σχέση με άλλες κατηγορίες μαλακίων, λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας και του τρόπου ζωής τους (Irissari et al., 2020). Σε σύγκριση με τα πλούσια σε είδη γαστερόποδα ή δίθυρα, οι χιτώνες είναι μια σχετικά μικρή ομάδα με 900 ζωντανά και 430 αναγνωρισμένα απολιθωμένα είδη (Εικ. 1) (Irissari et al., 2020).

Τα πολυπλακοφόρα μαλάκια έχουν ένα μακρύ αλλά γενικά αραιό αρχείο απολιθωμάτων, ακόμη και από το Καινοζωικό. Οι απολιθωμένοι χιτώνες είναι συνήθως δείκτες ρηγών, παράκτιων υφαλοκρηπίδων, παρόμοιων με τα περιβάλλοντα που κατοικούν σήμερα. Ενώ οι ρηγές θαλάσσιες διαδοχές Ηώκαινου-Ολιγόκαινου είναι συνήθως πλούσιες σε μαλάκια, αυτή η πανίδα περιλαμβάνει λίγους χιτώνες. Όσον αφορά την εξέλιξή τους, οι χιτώνες έχουν μακρά εξελικτική πορεία που χρονολογείται από την Άνω Κάμβρια.

Τα περισσότερα περιγραφόμενα απολιθώματα χρονολογούνται είτε από την Ύστερη Πλειόκαινο ή είναι παλαιότερα, από την Παλαιοζωική Εποχή, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη σύγκριση με τους πιο εξελικτικά πρόσφατους χιτώνες λόγω της περιορισμένης χρησιμότητας των χαρακτήρων του κελύφους και της δυσκολίας στη συναρμολόγηση του πλήρους συνόλου των βαλβίδων. Εξαιρώντας ορισμένες περιπτώσεις, απολιθώματα από τη Μεσοζωική Εποχή είναι συγκριτικά σπάνια και η ταξινομική τους απόδοση παραμένει αβέβαιη.

Όσον αφορά την ταξινόμηση, οι χιτώνες στην πρώτη αποκλίνουσα γενεαλογία των ζώντων χιτώνων, τάξη *Lepidopleurida*, είναι συνήθως μικροί, απλοί στην εμφάνιση και εντοπίζονται σε βαθιά θαλάσσια περιβάλλοντα, με την πλειοψηφία των ειδών να ζει

κάτω από τα 500 μέτρα και πολλά να απαντώνται σε αβυσσαλέα βάθη έως 6.000 μέτρα. Αν και οι περισσότεροι χιτώνες της ομάδας *Lepidopleurida* ταξινομούνται στο μεγάλο γένος *Leptochiton*, διάφορες μορφές με διακριτές μορφολογίες έχουν ταξινομηθεί ως ξεχωριστά γένη ή οικογένειες μεταξύ των μαλακίων.

Οι ζώντες χιτώνες θεωρούνται στενότερα συνδεδεμένοι με τους απλακοφόρους κλάδους *Solenogastres* (*Neomeniomorpha*) και *Caudofoveata* (*Chaetodermomorpha*), οι οποίοι μαζί σχηματίζουν τον κλάδο *Aculifera*, τη συγγενική ομάδα του *Conchifera* (*Monoplacophora*, *Gastropoda*, *Cephalopoda*, *Bivalvia*, *Scaphopoda* – δηλαδή όλα τα υπόλοιπα ζωντανά μαλάκια) (Irissari et al., 2020). Η υπόθεση *Aculifera* υποστηρίζεται από πρόσφατες μοριακές φυλογενετικές αναλύσεις, παλαιοντολογικά δεδομένα και την εξέλιξη του μυϊκού συστήματος των προνυμφών.

Προηγουμένως, ορισμένες φυλογενετικές αναλύσεις πρότειναν μια στενότερη σχέση των χιτώνων με την *Conchifera*, βασισμένη στη μορφολογία (*υπόθεση Testaria*), ή με τα μονοπλακοφόρα, βασισμένη σε μοριακά δεδομένα (*υπόθεση Serialia*). Η φυλογενετική θέση του φύλου *Polyplacophora* αποτελεί κλειδί για τη διάκριση μεταξύ των προτεινόμενων υποθέσεων για τη φυλογένεση των μαλακίων (Irissari et al., 2020).

Τα *Polyplacophora* έχουν διατηρήσει πολυάριθμους χαρακτήρες που θεωρούνται πλειομορφικοί για το φύλο *Mollusca*, όπως μια χιτινώδη επιδερμίδα με ασβεστολιθικές αιχμές, έλλειψη γνάθων, διπηκτινικά κτενίδια και τετρανευρωνικό νευρικό σύστημα με υπερορθική κοιλότητα. Ωστόσο, το εξέχον χαρακτηριστικό της σειριακότητας των πλακών κελύφους, των μυών και των κτενιδίων έχει συχνά χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει την υπόθεση ενός πρωταρχικού κατακερματισμένου προγόνου των μαλακίων.

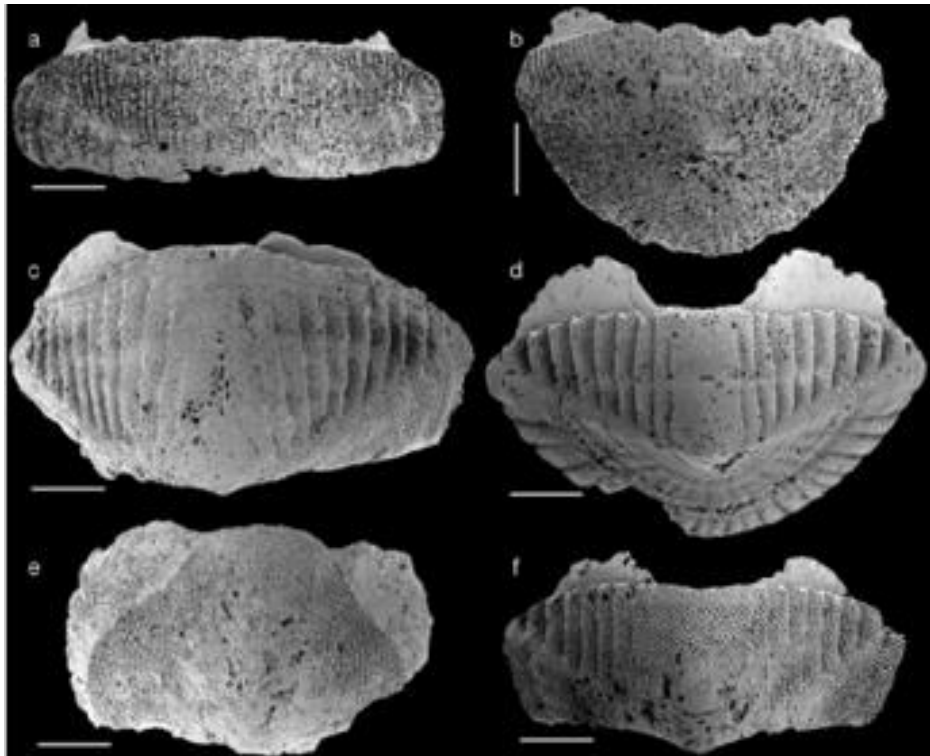
Σύμφωνα με την τελευταία ταξινόμηση του *Sirenko*, οι σύγχρονοι χιτώνες ή *Neoloricata* (που αντιστοιχούν περίπου στην ομάδα της στεφάνης των χιτώνων) διακρίνονται σε δύο τάξεις, *Lepidopleurida* και *Chitonida*, με την τελευταία να χωρίζεται περαιτέρω σε δύο υποτάξεις: *Chitonina* και *Acanthochitonina* (Moles et al., 2021).

Οι χιτώνες διατήρησαν το πλειομορφικό συμπλήρωμα των οκτώ πλακών κελύφους στη σειρά. Ένας πιθανός πρόμιος βλαστικός χιτώνας είναι ο αξιοσημείωτος *Echinochiton* του Ορδοβίκου. Πιο αναλυτικά, μια υποομάδα των χιτώνων, τα *Chitonida*, αντιπροσωπεύεται από μορφές της ομάδας των στελεχών από το πρώιμο Πέρμιο, γύρω στα 270-275 Ma (Irissari et al., 2020). Μια σημαντική μετάβαση συνέβη στον σκελετό των χιτώνων κατά την πορεία προς την ομάδα των στελεχών. Οι πρόσθιες προεξοχές της μεσαίας στιβάδας του κελύφους σχηματίζουν τα λεγόμενα συρραφικά ελάσματα, τα οποία χρησιμεύουν για τη σταθερότερη ενσωμάτωση των πλακών του κελύφους μέσα στους ιστούς.

Τα χιτώνια εξελίχθηκαν από σπειροειδή μαλάκια (που εξακολουθούσαν να διαθέτουν πόδι και περίτεχνη κοιλότητα μανδύα) με κωνικές, προεξέχουσες πλάκες κελύφους, σε πιο ραχιαία πεπλατυσμένες μορφές με πιο στενά προσκολλημένες πλάκες κελύφους, οι οποίες είναι πιο σταθερά ενσωματωμένες με ραβδωτά ελάσματα. Αυτή η εξελικτική τάση συνεχίστηκε στα *Chitonida*, τα οποία, από το Πέρμιο, είχαν αναπτύξει πλευρικές προεξοχές του κατώτερου στρώματος του κελύφους (*articulamentum*), εκτός από τα πρόσθια συρραφικά ελάσματα, για ακόμη πιο σταθερή προσκόλληση του κελύφους (Irissari et al., 2020).

Η πίεση θήρευσης αυξήθηκε στα ρηχά νερά και πιθανώς οδήγησε στην εξέλιξη αυτής της κλάσης. Στους σύγχρονους ωκεανούς, υπάρχει σαφής συσχέτιση με τα *Chitonida*, τα οποία ζουν γενικά σε ρηχότερα και πιο εκτεθειμένα περιβάλλοντα, σε

σύγκριση με τα πιο πλειομορφικά λεπιδοπλευρίδια, τα οποία ζουν τώρα σε βαθύτερα και πιο κρυφά περιβάλλοντα (Moles et al., 2021). Καθώς τα σύγχρονα χιτώνια κατοικούσαν σε ρηχά, ενεργητικά περιβάλλοντα με λιγότερες δυνατότητες απολίθωσης, στην πραγματικότητα εξελίχθηκαν εκτός του αρχείου απολιθωμάτων. Οι καινοζωικές και μεσοζωικές εμφανίσεις των χιτώνων είναι σε μεγάλο βαθμό μεροληπτικές προς τα λεπιδοπλευρίδια βαθύτερων υδάτων.



Εικόνα 1. Απολιθώματα χιτώνων. α. *Lepidopleurus cajetanus*, ενδιάμεση βαλβίδα, β. *Ischnochiton rissoi*, ενδιάμεση βαλβίδα ουράς, γ. *Chiton corallinus*, ενδιάμεση βαλβίδα, δ. *Chiton olivaceus*, ενδιάμεση βαλβιδική βαλβίδα, ε. *Acanthochitona fascicularis*, ενδιάμεση βαλβίδα, στ. *Chitona olivaceas*, ενδιάμεση βαλβίδα. Ράβδοι κλίμακας α, β, d-f 1 mm, γ 500 μm

## 1.2 Γενικές πληροφορίες για τα πολυπλακοφόρα

Τα πολυπλακοφόρα αποτελούν αποκλειστικά θαλάσσια βενθικά μαλάκια που κατοικούν σε ένα ευρύ φάσμα οικοτόπων από τη διαπαλιρροιακή ζώνη έως τη βαθιά θάλασσα. Ταξινομικά ανήκουν στο βασίλειο των Ζώων, στο φύλο των Μαλακίων, στην

κλάση των Πολυπλακοφόρων, στην υπόκλαση Neoloricata, στην τάξη των Chitonida, στην υπόταξη των Chitonina, στην υπερικογένεια των Chitonoidea, στην οικογένεια Chitonidae, στην υποοικογένεια Chitoninae (Gofas , 2019). Παρουσιάζουν γενικά μια διατηρημένη μορφολογία με οκτώ ραχιαίες (συνήθως επικαλυπτόμενες) πλάκες (Εικ. 2Α) κελύφους ή βαλβίδες που αποτελούνται από αραγωνίτη, και περιβάλλονται από μια ζώνη που μπορεί να φέρει διακοσμήσεις (μπορεί να φέρει αγκάθια, λέπια ή τρίχες) (Εικ. 3) και είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν συναντάται σε καμία άλλη φυλογενετική ομάδα μεταξύ των μαλακίων (Irissari et al., 2020; Mesli et al., 2023).

Όσον αφορά τις πλάκες, αποτελούνται από τέσσερα στρώματα: ένα εξωτερικό, οργανικό περίοστρακο, ένα εσωτερικό *tegmentum* που αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο και πρωτεϊνούχο υλικό (κονκιολίνη), ένα εσωτερικό αρθρικό τμήμα κάτω από το *tegmentum*, αποτελούμενο από καθαρό ανθρακικό ασβέστιο (αραγωνίτης), το οποίο εκτείνεται πλευρικά, ελεύθερο από το στρώμα του *tegmentum*, για να σχηματίσει τις πλάκες εισαγωγής κάθε βαλβίδας, και το εσωτερικό υπόστρωμα, που βρίσκεται πάνω στον μανδύα (Singh & Rawat, 2022).

Οι χιτώνες έρπουν και προσκολλώνται σε βραχώδεις επιφάνειες με ένα κοιλιακό, ωοειδές μυϊκό πόδι, το οποίο οριοθετεί μια επιμήκη, παλίνδρομη κοιλότητα(εικ.2Β) και περιβάλλεται από αυλακώσεις που περιέχουν σειρές βραγχίων (κτενίδια) (Irissari et al., 2020). Οι επιφάνειες των ραχιαίων βαλβίδων καλύπτονται με χιλιάδες δικτυωμένα αισθητήρια όργανα. Δεν υπάρχει κεφάλι και η στοματική περιοχή στερείται ματιών ή πλοκαμιών. Οι χιτώνες μπορούν να ξύνουν το υπόστρωμα και να καταναλώνουν την τροφή με ένα υποριζικό όργανο ,το ξύστρο(ή αλλιώς ράντουλα ).

Το ξύστρο είναι μια χιτινώδης κορδέλα που φέρει έως και εκατοντάδες σειρές δοντιών (Singh & Rawat, 2022)., συμπεριλαμβανομένου ενός μόνο ζεύγους ανά σειρά,

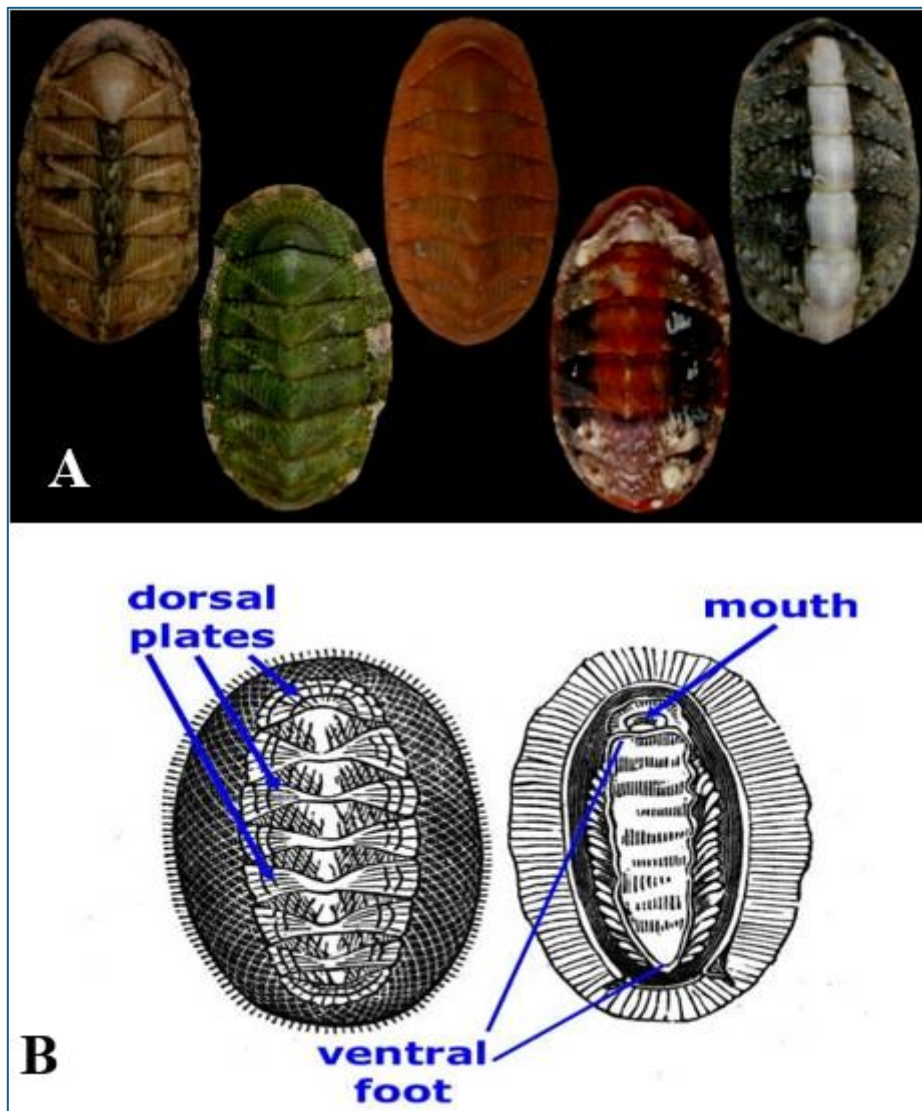
επικαλυμμένο με ένα εξαιρετικά σκληρό βιομεταλλικό μαγνητίτη, το μοναδικό γνωστό παράδειγμα βιολογικής παραγωγής αυτού του κοινού ορυκτού (Sigwart & Schwabe, 2017). Ο μαγνητίτης ενισχύει σε μεγάλο βαθμό το ξύστρο, επιτρέποντας σε πολλούς χιτώνες να τρέφονται με σκληρά, εγκλωβισμένα κοραλλιογενή φύκη (Mesli et al., 2023).

Τα πολυπλακοφόρα εντοπίζονται σε διαπαλιρροιακές βραχώδεις ακτές σε όλο τον κόσμο. Βρίσκονται από την υψηλή μεσοπαλίρροια ζώνη έως βάθη άνω των 4.000 μέτρων (13.123 πόδια) και απαντώνται σε τροπικές, εύκρατες και ψυχρές πολικές θάλασσες, δηλαδή σε νησιά της Καραϊβικής, τη νότια Ασία, ακτές της Αμερικής που βρέχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό, καθώς και στη Μεσόγειο (Singh & Rawat, 2022).

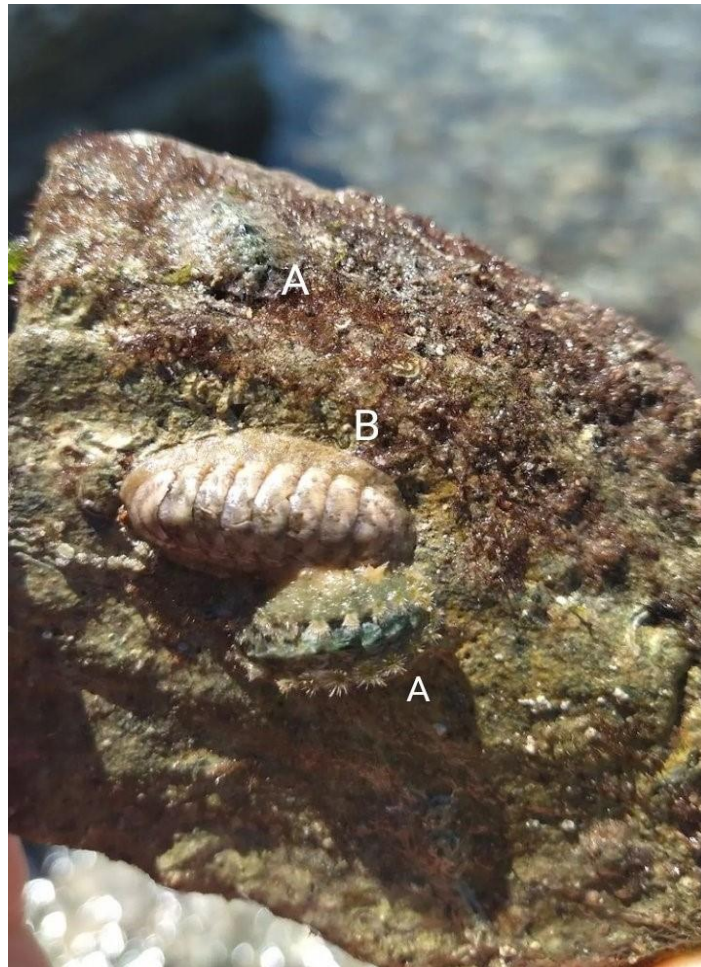
Πολλά είδη είναι παμφάγα, καταναλώνοντας ποικίλους ζωικούς μικροοργανισμούς, φύλλα φυκιών και σωματίδια υποστρώματος (Sigwart & Schwabe, 2017). Άλλα είδη είναι πιο επιλεκτικά και τρέφονται με ενδο- και επιλιθικά φύκη, τα οποία ξύνουν και ανασκάπτουν από το υπόστρωμα με τη ράντουλά τους (Moles et al., 2021; Mesli et al., 2023).

Υπάρχει και μια κατηγορία ξυλοφάγων χιτώνων, οι οποίοι διαβιούν σε βάθη από 130 μέτρα έως 7.657 μέτρα και τρέφονται με κομμάτια ξύλου και φύλλων. Παρόλο που εντοπίζονται σε τροπικές περιοχές (όπως τα Φίτζι, η νότια Ιαπωνία, η Καραϊβική), προτιμούν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες νερού (κάτω από 100 βαθμούς Κελσίου) (Sirenko, 2004).

Όλοι οι χιτώνες, ανεξαρτήτως είδους, έχουν ποικίλους θηρευτές, όπως ψάρια, αστακούς, καβούρια, χταπόδια, σαλιγκάρια, αστερίες και πτηνά.



Εικόνα 2. Α. Είδη πολυπλακοφόρων. Β. (αριστερό σχέδιο): Απεικόνιση του κελύφους ενός πολυπλακοφόρου /(δεξιό σχέδιο): Απεικόνιση κοιλιακού ποδιού και στοματικής κοιλότητας.



Εικόνα 3. Φωτογραφία πολυπλακοφόρων Α *Acanthochitona fascicularis*, Β. *Rhyssoplax olivacea* (Πηγή: Φωτογραφία της συγγραφέως).

### 1.3 Αναπαραγωγή χιτώνων

Όσον αφορά την αναπαραγωγή, τα περισσότερα είδη απελευθερώνουν τα αυγά τους την άνοιξη ή το καλοκαίρι και σχεδόν όλα τα είδη χιτώνων είναι γονοχωριστικά, εκτός από δύο μέλη του γένους *Lepidochitona* στην ακτή του Ειρηνικού Ωκεανού, τα οποία είναι γνωστά ως ερμαφρόδιτα (Strathmann, 2017).

Μια ενιαία ραχιαία γονάδα, συνήθως συγχωνευμένη από ζεύγη γοναδικής προέλευσης, εκτείνεται από την τρίτη έως και την έκτη βαλβίδα. Η γονάδα διαθέτει εσωτερικά τοιχώματα και βλαστικό επιθήλιο, κατανεμημένα σε εγκάρσιες πτυχές ή

ελάσματα. Ζεύγη γονοαγωγών οδηγούν σε γονοπόρους, που βρίσκονται ακριβώς μπροστά από τα νεφρικά ανοίγματα στο οπίσθιο τμήμα της παλλιακής αύλακας στην κοιλότητα του μανδύα.

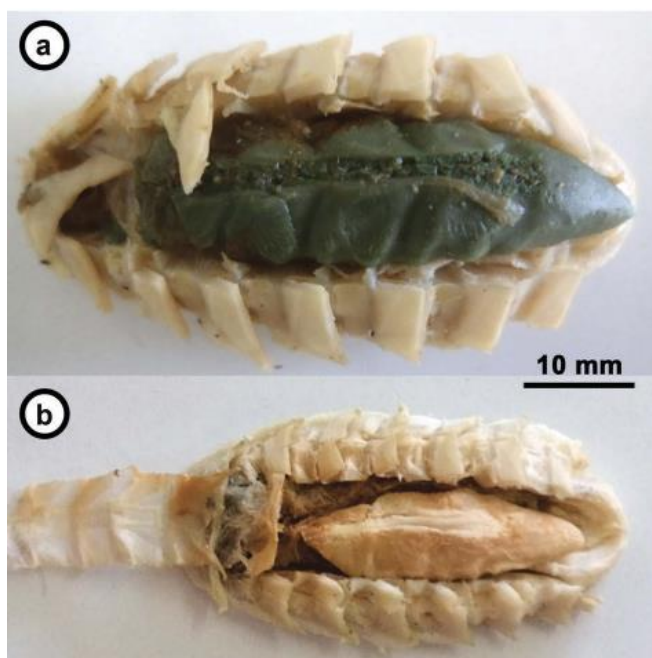
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους γαμετογονικούς κύκλους και την αναπαραγωγική περίοδο δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητοί. Σύμφωνα με ιστολογικές μελέτες, οι αναλογίες των γονάδων και οι όγκοι σώματος δείχνουν ότι αρκετά είδη ακολουθούν ετήσιους γαμετογενείς κύκλους. Από τα 800 είδη χιτώνων παγκοσμίως, τα περισσότερα είναι ελεύθερης ωοτοκίας. Έχουν καταγραφεί 30 είδη χιτώνων που απελευθερώνουν τα αυγά τους στην παλλιακή αύλακα. Ένα παράδειγμα ωοζωοτοκίας παρατηρήθηκε στο είδος *Calloplax vivipara*, στο οποίο υπήρχαν 15 έμβρυα (Strathmann, 2017).

Η ωοτοκία έχει συσχετιστεί με την άνθηση του φυτοπλαγκτού, τους παλιρροιακούς κύκλους, την καθημερινή φωτοπερίοδο και τους σεληνιακούς κύκλους, αν και τα ακριβή στοιχεία παραμένουν άγνωστα. Κατά την αναπαραγωγική περίοδο, οι ωοθήκες δεν απελευθερώνουν όλα τα αυγά σε μία μόνο ωοτοκία, αλλά τα άτομα μπορούν να απελευθερώνουν γαμέτες επανειλημμένα για ημέρες έως και μήνες (Abadia-Canona et al., 2018).

Τα αρσενικά συνήθως ξεκινούν πρώτα την ωοτοκία, η οποία μπορεί να διεγείρει τα θηλυκά, αν και η διαδικασία δεν είναι συγχρονισμένη. Τα σπερματοζωάρια των χιτώνων έχουν κεφαλή με μακριά πρόσθια προεξοχή αλλά στερούνται ακροσωμικού συμπλέγματος και παρουσιάζουν ασύμμετρα ενδιάμεσα τμήματα (Strathmann, 2017). Το σπέρμα ενεργοποιείται σε θαλασσινό νερό και εμφανίζει είδος-ειδική χημειοταξία προς τα αυγά.

Τα ωοκύτταρα απορρίπτονται ελεύθερα ή μέσα σε βλέννα που διαχέεται στο θαλασσινό νερό. Η διάσπαση των βλαστικών κυστιδίων εμφανίζεται κυρίως στον αδενικό ωαγωγό πριν ή κατά την ωοτοκία, ενώ η μείωση ολοκληρώνεται μετά τη γονιμοποίηση των ωοκυττάρων. Τα αυγά των πολυπλακοφόρων είναι συνήθως σφαιρικά, πράσινου ή κίτρινου χρώματος (Εικ. 4) , και βυθίζονται στο νερό. Κάθε αυγό περιβάλλεται από λεπτή λωρίδα μεμβράνης και περίτεχνο περίβλημα, του οποίου η γλυπτική είναι χαρακτηριστική σε ορισμένα είδη (Strathmann, 2017).

Η προέλευση και η κατάλληλη ορολογία για αυτά τα περιβλήματα έχει αμφισβητηθεί, με διάφορες θεωρίες να προτείνουν ότι παράγονται από τα κύτταρα του ωοθυλάκιου των ωοθηκών, από το ίδιο το ωοκύτταρο ή από συνδυασμό και των δύο (Abadia-Canona et al., 2018). Σύμφωνα με τις δύο πρώτες θεωρίες, το περίβλημα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως χόριο, ενώ η τρίτη θεωρία δεν το υποστηρίζει (Strathmann, 2017).



Εικόνα 4. Απεικόνιση χρώματος γονάδας του είδους *Chiton artificatus*. Εικόνα a. Γονάδα χρώματος πράσινου που αντιστοιχεί σε θηλυκά άτομα Εικόνα b. Γονάδα χρώματος κίτρινου που αντιστοιχεί σε αρσενικά άτομα.

#### 1.4 Ανάπτυξη χιτώνων

Η ανάπτυξη ακολουθεί ένα μάλλον ομοιόμορφο σχέδιο στους χιτώνες (Εικ. 5). Το ακόλουθο περίγραμμα ανάπτυξης βασίζεται σε μια μελέτη του *Tonicella lineata* (Barnes, 1972). Η γονιμοποίηση είναι εξωτερική. Ο χώρος μεταξύ της μεμβράνης του αυγού και της γάστρας αυξάνεται ελαφρώς μετά τη γονιμοποίηση και τα δύο πολικά σώματα εξωθούνται μέσα στον χώρο που δημιουργείται κάτω από τη μεμβράνη. Μια ελαφρά ισοπέδωση στον ζωικό πόλο προηγείται της εκπομπής κάθε πολικού σώματος (Wanninger & Haszprunar, 2018).

Η διάσπαση είναι σπειροειδής και η γαστριδίωση γίνεται με διόγκωση και επιβολή. Ένα βλαστοπόρο άκρο σχηματίζεται στο έμβρυο, αλλά καθώς κλείνει, η θέση του μετατοπίζεται σταδιακά προς τα εμπρός κατά μήκος μιας κοιλιακής αυλάκωσης μέχρι να φτάσει σε μια μορφή βλεφαροφόρου πρωτότροχου. Αυτό το πρωτότροχο παράγεται από μια διπλή σειρά τροχοβλαστών που περιβάλλει το έμβρυο σε επίπεδο περίπου το ένα τρίτο του μήκους του σώματος από το πρόσθιο άκρο.

Τα κύτταρα της πρόσθιας σειράς των τροχοβλαστών είναι μικρότερα και οι βλεφαρίδες τους είναι κοντότερες από αυτές της οπίσθιας σειράς. Το πρόσθιο άκρο στη συνέχεια ισοπεδώνεται και σχηματίζεται μια κορυφαία πλάκα και ένας θύσανος μη κινητικών βλεφαρίδων. Τέσσερα ακόμη κορυφαία εξογκώματα αναπτύσσονται κοντά στην κορυφαία τούφα, δύο σε κάθε πλευρά (Wanninger & Haszprunar, 2018). Δύο τούφες από μη κινητές βλεφαρίδες εμφανίζονται κοντά στην πιθανή πρωκτική περιοχή.

Στα είδη ελεύθερης ωοτοκίας, οι νεαρές προνύμφες εκκολάπτονται από το φλοιό του αυγού ως ενεργά τροχοφόρα, έχοντας ήδη την ικανότητα κολύμβησης. Αντίθετα, σε είδη που γεννούν ή που εναποθέτουν μάζες βενθικών αυγών, οι νεαρές προνύμφες εκκολάπτονται ως βενθοπελαγικά όψιμα τροχοφόρα. Οι προνύμφες είναι λεκιθοτροφικές

και συνήθως είναι πελαγικές για μία έως δύο εβδομάδες. Ωστόσο, σε ορισμένα είδη, οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες παραμένουν προστατευμένες μέσα στο γονικό ωχρό αυλάκι και αναδύονται ως ερπυστικά νεαρά άτομα.

Ακόμη και τα νεογέννητα έμβρυα διατηρούν πιθανώς κάποια ικανότητα κολύμβησης κατά την εκκόλαψη. Νεαρά άτομα πλήρως μεταμορφωμένα κατά την εκκόλαψη δεν έχουν αναφερθεί. Λίγα είναι γνωστά για την ανάπτυξη του εντέρου στις προνύμφες των χιτώνων (Wanninger & Haszprunar, 2018). Ένα αισθητήριο όργανο προνυμφών αναπτύσσεται από τέσσερα κορυφαία κύτταρα ροζέτας. Τα τροχοφόρα των χιτώνων δεν τρέφονται.

Η μεταμόρφωση συμβαίνει σταδιακά και έχει οριστεί ως η απώλεια της μορφής του πρωτότροχου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το σώμα της προνύμφης συμπίεζεται ραχιαία, η κορυφαία τούφα και το πρωτότροχο εξαφανίζονται, το ραχιαίο πεδίο διευρύνεται και αρχίζει ο σχηματισμός πλακών κελύφους. Οι φυσαλίδες εμφανίζονται γύρω από την ραχιαία περιοχή με βαλβίδα, ενώ χιτινώδεις ή ασβεστοποιημένες αιχμές εμφανίζονται στην άκρη της ζώνης.

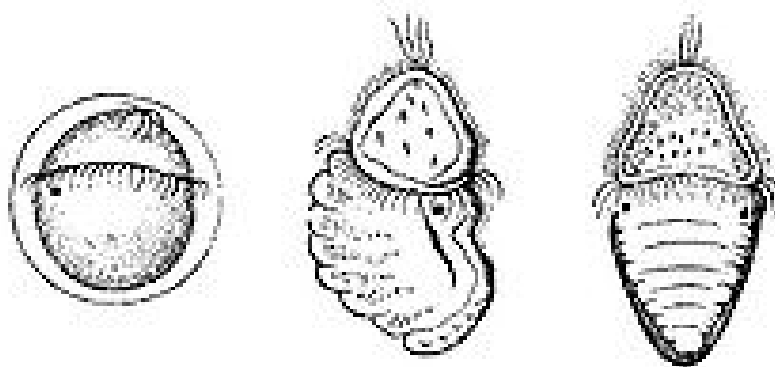
Όπως έχει παρατηρηθεί σε αρκετά είδη, οι νεαροί χιτώνες έχουν αρχικά επτά βαλβίδες. Η όγδοη και οι περισσότερες οπίσθιες βαλβίδες εμφανίζονται αμέσως μόλις δύο ημέρες μετά τη μεταμόρφωση, αν και δεν είναι εύκολο να διακριθούν χωρίς τη χρήση πολωμένου φωτός (Wanninger & Haszprunar, 2018).

Εκτός από το σχηματισμό πλάκας κελύφους και την ασβεστοποίηση, άλλες ταχείες αλλαγές συνοδεύουν τη μεταμόρφωση. Οι προνυμφικές οφθαλμικές κηλίδες συνήθως παραμένουν έως ότου οι νεαροί ξεπεράσουν τα 3 mm σε μήκος.

Όσον αφορά τη μυογένεση στους χιτώνες, περιλαμβάνει διάφορους μηχανισμούς στη μετάβαση από τον προνυμφικό στον νεανικό βενθικό τρόπο ζωής, όπως ο εκφυλισμός

των μυϊκών συστημάτων των προνυμφών. Η *de novo* παραγωγή του στοματικού μυϊκού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ζευγαρωμένων συσπειρωτήρων της ράντουλας μετά τη μεταμόρφωση, και η σταδιακή μορφολογική αναδιάταξη του ραχιαίου μυός του οστρακοειδούς και του ραχιαίου ορθού μυός (Wanninger & Haszprunar, 2018).

Η μελέτη υποστηρίζει την ιδέα ότι ο "τμηματικός" χαρακτήρας του ενήλικου πολυπλακοφόρου οστρακοειδούς μυός είναι μια δευτερεύουσα κατάσταση, σε αντίθεση με προηγούμενες υποθέσεις που πρότειναν ότι το είδος *Polyplacophora* (και συνολικά το φύλο *Mollusca*) προέρχεται από έναν πρωταρχικά κατακερματισμένο πρόγονο. Τα διαθέσιμα δεδομένα υποδηλώνουν την καταγωγή τους από έναν μη κατακερματισμένο, μη ευκοιλωματικό πρόγονο των τροχόζων.



Εικόνα 5. Ανάπτυξη ενός πολυπλακοφόρου, από αριστερά προς τα δεξιά: Στάδιο προνύμφης Trochophore, προνύμφης-Metamorphosis larvae, νεανικό πολυπλακοφόρο.

### 1.5 Αλγεία πολυπλακοφόρων και οικολογική σημασία

Ενήλικα και νεαρά χιτώνια διατηρούνται σε καλλιέργειες εδώ και αρκετά χρόνια σε ποικίλα συστήματα ενυδρείων εφοδιασμένα με συνεχή ροή νερού. Οι χιτώνες μπορούν να διατηρηθούν μεμονωμένα σε ξεχωριστά δοχεία που περιλαμβάνουν ένα πλέγμα σωλήνων PVC με οπές, οι οποίες επιτρέπουν την ομοιόμορφη κατανομή του θαλασσινού νερού. Για ομάδες χιτώνων σε μεγαλύτερες δεξαμενές, αρκεί μία μόνο εισροή

θαλασσινού νερού, κατά προτίμηση φιλτραρισμένου. Οι χιτώνες αποφεύγουν το στρώμα αλατιού που αναπτύσσεται στις πλευρές των δεξαμενών πάνω από τη στάθμη του νερού, γεγονός που βοηθά στην αποτροπή της διαφυγής τους.

Τα γεννήσιμα και τα ελεύθερα αναπαραγωγικά είδη έχουν εκτραφεί επιτυχώς μέχρι την ενηλικίωση σε τέτοια συστήματα. Από τα αρχαία χρόνια, οι χιτώνες συλλέγονταν ως τροφή, δολώματα ή για χρήση σε παραδοσιακές ιατρικές τεχνικές. Λόγω της μόνιμης ανθρώπινης εγκατάστασης και της εκμετάλλευσης των παράκτιων οργανισμών, η συγκομιδή των χιτώνων έχει εξελιχθεί σε μια αναδυόμενη αλιεία με μελλοντικές προοπτικές (Abadia-Chanona, 2018).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το *Chiton articulatus*, ένα από τα μεγαλύτερα είδη χιτώνων που βρίσκεται ενδημικά στο Μεξικό, όπου η εμπορική συγκομιδή του αυξάνεται λόγω της συνεχούς ζήτησής του ως ντελικατέσεν. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η συλλογή του κρέατος του (η *μάζα ποδιών*) ανέρχεται σε 1 τόνο ετησίως (περίπου 700.000 χιτώνες) με εκτιμώμενο κύκλο εργασιών 35.000 δολαρίων (Abadia-Chanona, 2018). Η κατανάλωση του ποδιού του *C. articulatus* έχει προωθηθεί λόγω της θρεπτικής του αξίας και έχει χρησιμοποιηθεί ως πειραματική διατροφή στην καλλιέργεια αστακού *Panulirus argus*.

Ο Routiers (1995) προέβλεψε ότι το *Chiton articulatus* έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε μια παράκτια βιοτεχνική αλιεία. Έκτοτε, η συγκομιδή του έχει επιταχυνθεί χωρίς καμία ρύθμιση, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη δυναμική των πληθυσμών των ασπόνδυλων και να τροποποιήσει τη δομή της κοινότητας στα βραχώδη διαπαλιρροιακά οικοσυστήματα του Ειρηνικού του Μεξικού (Abadia-Chanona, 2018). Συνεπώς, η καλύτερη κατανόηση της αναπαραγωγικής στρατηγικής αυτού του είδους

μπορεί να συμβάλει στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση της αλιείας (π.χ. εποχιακοί περιορισμοί ή απαγορεύσεις).

Στη Μεσόγειο, πάνω από το 80% της θαλάσσιας ρύπανσης, όπως μακροαπόβλητα, μικροπλαστικά και χημικές ουσίες, προέρχεται από αστικές, βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες και εισέρχεται στα θαλάσσια ύδατα μέσω ποταμών, ατμοσφαιρικής μεταφοράς, παράκτιας αποστράγγισης ή απόρριψης λυμάτων. Η Μεσόγειος, ως ημίκλειστη θάλασσα με μοναδικά χαρακτηριστικά, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στη ρύπανση.

Περίπου το 45% του πληθυσμού της Αλγερίας (νοτιοδυτική Μεσόγειος) ζει σε παράκτιες περιοχές, όπου συγκεντρώνεται πάνω από το 50% των βιομηχανικών μονάδων (πετροχημικές, χημικές, χαλυβουργικές και αγροδιατροφικές δραστηριότητες) (Mesli et al., 2023). Αυτή η αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα δημιουργεί υψηλά επίπεδα ρύπανσης, λόγω της ανεπεξέργαστης απόρριψης λυμάτων και της διαρροής ρύπων στη θάλασσα.

Η παράκτια ρύπανση προκαλεί δυσλειτουργίες στα αβιοτικά και βιοτικά στοιχεία του περιβάλλοντος. Μέσω της βιοσυσσώρευσης των ρύπων στα ιζήματα και την τροφική αλυσίδα, οι υδρόβιοι οργανισμοί μπορεί να μειωθούν μακροπρόθεσμα και να γίνουν πιο ευάλωτοι σε φυσικούς και ανθρωπογενείς στρεσογόνους παράγοντες (Gibson et al., 2011).

Τα περισσότερα ιχνοστοιχεία (*TEs*) είναι περιβαλλοντικοί ρύποι. Τα μη απαραίτητα ιχνομέταλλα (*TMs*), όπως το χρώμιο, δεν έχουν φυσιολογικό ρόλο και μπορεί να είναι τοξικά ακόμη και σε μικρές ποσότητες. Αντίστοιχα, βασικά ιχνομέταλλα, όπως ο σίδηρος, ο χαλκός και το κοβάλτιο, είναι απαραίτητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά τοξικά σε υψηλές (Mesli et al., 2023).

Η αυξημένη συγκέντρωση αυτών των στοιχείων μπορεί να διαταράξει τη βιογεωχημική ισορροπία μολυσμένων περιβαλλόντων. Η τοξικότητα ενός *TM* εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του και τη μορφή του, η οποία ελέγχει τη βιοδιαθεσιμότητά του. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τον χαλκό, λόγω της τοξικότητάς του στους οργανισμούς και τις βιολογικές διεργασίες, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την κατάλληλη περιβαλλοντική παρακολούθησή του.

Για την ανάλυση της χημικής ρύπανσης, χρησιμοποιούνται είδη βιοδεικτών, τα οποία συλλέγονται και αναλύονται για τη μέτρηση των ρύπων που συσσωρεύονται στους ιστούς τους. Οι μακροζωοβενθικοί οργανισμοί θεωρούνται εξαιρετικοί βιοδείκτες, καθώς αντανακλούν τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες και αποτελούν ενδιάμεσους κρίκους των τροφικών επιπέδων.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στο *Rhyssoplax olivacea*, έναν ενδημικό χιτώνα της Μεσογείου (*Chiton olivaceus*), καθώς υπάρχουν ελάχιστες έρευνες για τη βιοσυσσώρευση ιχνομετάλλων σε χιτώνες. Λόγω της ιδιαίτερης φυσιολογίας τους, της διατροφής τους (κατανάλωση ενδο- και επιλιθικών φυκών), της παρουσίας τους σε διαπαλιρροιακά βραχώδη ενδιαιτήματα και της θέσης τους στην τροφική αλυσίδα, οι χιτώνες αποτελούν κατάλληλους βιοδείκτες (Mesli et al., 2023). Η χρήση των μαλακών ιστών και του κελύφους (κατάλληλος δείκτης έκθεσης σε κάδμιο) μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη διαμερισματοποίηση της βιοσυσσώρευσης.

## 1.6 Γενικές πληροφορίες για το είδος *Rhyssoplax olivacea*

Η κατηγορία *Polyplacophora* αντιπροσωπεύεται από περίπου 800 είδη στις θάλασσες του κόσμου και από 24 είδη στη Μεσόγειο. Τα μέλη αυτής της κατηγορίας βρίσκονται γενικά σε βάθη 35-40 μέτρων από την υποπαράκτια ζώνη. Ωστόσο, υπάρχουν

είδη, όπως ο *Lepidopleurus benthus*, που απαντώνται σε βάθη έως 4.200 μέτρα. Σύμφωνα με μελέτες, έχουν αναφερθεί 15 είδη από το Αιγαίο, εκ των οποίων δέκα είναι γνωστά από τις ακτές της Τουρκίας (Öztürk et al., 2000).

Σχετικά με το είδος στόχο, το *Rhyssoplax olivacea* είναι ζώο μεγάλου μεγέθους, με μέγιστο μήκος ~4,5 εκ., επίμηκες ωοειδές σχήμα και μέτριο εύρος ζώνης. Το χρώμα του κελύφους είναι πολύ μεταβλητό, με λαδί, πράσινες ή καφέ αποχρώσεις να επικρατούν. Η βαλβίδα της κεφαλής είναι ημιοβάλ, με μπροστινή κλίση ελαφρώς κυρτή και ευρύ οπίσθιο περιθώριο σχήματος V (Crocetta et al., 2014). Διαθέτει ενδιάμεσες βαλβίδες τοποθετημένες ορθογώνια, με πρόσθια και οπίσθια περιθώρια περισσότερο ή λιγότερο ευθεία. Η κορυφή είναι σαφώς υποδεικνυόμενη, με πλευρικές περιοχές προσεκτικά διαχωρισμένες από τις κεντρικές περιοχές.

Η βαλβίδα της ουράς είναι ημικυκλική, με ευθύ πρόσθιο περιθώριο, ενώ το κεντρικό βλεννογόνο είναι ελάχιστα εμφανές. Στη βαλβίδα της κεφαλής, υπάρχουν πλευρικές περιοχές ενδιάμεσων βαλβίδων και μια μεταβλεννογόνια περιοχή της ουραίας βαλβίδας με χονδροειδείς ακτινικές αυλακώσεις. Οι υπεζωκοτικές περιοχές είναι σμιλεμένες σε κάθε πλευρά από 6-15 μικρές διαμήκεις, προς τα έξω κεκλιμένες πτυχές. Οι αρθρώσεις διαθέτουν ευρείες, στρογγυλεμένες αποφύσεις, που τείνουν να είναι τραπεζοειδείς στην ουραία βαλβίδα και συνδέονται με μικρή, οδοντωτή πλάκα (Crocetta et al., 2014).

Παλαιότερα, το *Rhyssoplax affinis* (είδος που συναντάται κυρίως στην Ερυθρά Θάλασσα και τη Σομαλία) τείνει να συγγέεται με το μεσογειακό *R. olivacea* μέχρι που ο Yaron (1973) ανέδειξε συνεκτικές μορφολογικές διαφορές μεταξύ των δύο ειδών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση των πληθυσμιακών χαρακτηριστικών του είδους *R. olivacea*, των μορφομετρικών σχέσεων και των

φυλετικών αναλογιών σε δύο περιοχές του Παγασητικού Κόλπου για την περίοδο ενός έτους. Η διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας είναι σημαντική για τη μελέτη ενός οργανισμού που λειτουργεί ως οικολογικός βιοδείκτης και την πιθανή συσχέτιση των μορφομετρικών και φυλετικών σχέσεων, καθώς και για την ανίχνευση πιθανών διαφορών μεταξύ των φύλων σε σχέση με την εναλλαγή των μηνών και των περιοχών.

## 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Συλλογή πολυπλακοφόρων

Τα πολυπλακοφόρα *Rhyssoplax olivacea* που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα συλλέχθηκαν μέσω μηνιαίων δειγματοληψιών από τον Απρίλιο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε δύο αβαθείς υποπαλιρροιακές περιοχές του Παγασητικού Κόλπου (Κεντρικό Αιγαίο): στον Άγιο Στέφανο (AS; 39°18'21" N, 22°56'23" E) (Εικ. 7) και στις Πλάκες (PL; 39°20'57" N, 22°57'55" E) (Εικ. 8) (Varkoulis et al., 2023). Οι συγκεκριμένες περιοχές είναι ημίκλειστοι κολπίσκοι με χαμηλό κυματισμό και επιλέχθηκαν λόγω της καλής γνώσης του οικοσυστήματός τους, καθώς και της παρουσίας κατάλληλου πετρώδους υποστρώματος για τη μελέτη.

Για τη συλλογή των πολυπλακοφόρων χρησιμοποιήθηκαν δειγματοληπτικά πλαίσια διαστάσεων 1x1 μέτρο, τα οποία τοποθετούνταν τυχαία στην περιοχή. Κάθε πλαίσιο χωριζόταν σε τέσσερα τεταρτημόρια, και τα δείγματα λαμβάνονταν από δύο απέναντι γωνίες. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν πέντε φορές. Το βάθος τοποθέτησης των παγίδων κυμαινόταν μεταξύ 1 και 2 μέτρων, και όλα τα δείγματα συλλέχθηκαν μέσω αυτόνομης κατάδυσης.

Σε κάθε δειγματοληψία ανά περιοχή συλλέγονταν 20 άτομα *Rhyssoplax olivacea*, εκτός από περιπτώσεις όπου η μέγιστη αφθονία ήταν μικρότερη. Αμέσως μετά τη συλλογή, πραγματοποιούνταν μέτρηση του μήκους κάθε ατόμου με ειδικό χάρακα και λήψη φωτογραφίας. Στη συνέχεια, τα πολυπλακοφόρα τοποθετούνταν σε δοχεία με θαλασσινό νερό για περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 6 .Απεικόνιση των δυο περιοχών δειγματοληψίας στον Παγασητικό κόλπο.



Εικόνα 7 Θέση Α: Περιοχή δειγματοληψίας στον Άγιο Στέφανο



Εικόνα 8 Θέση Β :Περιοχή δειγματοληψίας στις Πλάκες.

## 2.2 Μορφομετρικές μετρήσεις, λήψη γονάδας και αποθήκευση

Με τη λήξη κάθε δειγματοληψίας, οι οργανισμοί μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου προετοιμάζονταν για τις μετρήσεις και τη λήψη της γονάδας σύμφωνα με το πρωτόκολλο αποθήκευσης. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, οι οργανισμοί συλλέγονταν και τοποθετούνταν αρχικά σε 100% θαλασσινό νερό στο πεδίο.

Αφού μεταφέρονταν στο εργαστήριο, οι οργανισμοί υποβάλλονταν σε σταδιακή προσαρμογή μέσω της ακόλουθης διαδικασίας:

1. Τοποθέτηση σε διάλυμα 90% θαλασσινού νερού και 10% γλυκού νερού για 15 λεπτά (χαλάρωση).

2. Μεταφορά σε διάλυμα 80% θαλασσινού νερού και 20% γλυκού νερού για 15 λεπτά.
3. Αλλαγή της περιεκτικότητας σε 70% θαλασσινό νερό και 30% γλυκό νερό για 15 λεπτά.
4. Μείωση της περιεκτικότητας σε 60% θαλασσινό νερό και 40% γλυκό νερό για 15 λεπτά.
5. Τελική αλλαγή σε διάλυμα 50% θαλασσινού νερού και 50% γλυκού νερού για 15 λεπτά.

Ενδέχεται να προστεθούν σταγόνες αλκοόλης για την επιτάχυνση της διαδικασίας. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του πρωτοκόλλου, τα πολυπλακοφόρα χαλαρώνουν, διευκολύνοντας τη διενέργεια των απαιτούμενων μετρήσεων και τη λήψη της γονάδας.

Αφού οι οργανισμοί χαλάρωναν, πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες μετρήσεις με τη χρήση ζυγού ακριβείας και ειδικού χάρακα για την καταγραφή του βάρους, του μήκους και του πλάτους. Μετά τη ζύγιση, οι γονάδες αφαιρούνταν με τη χρήση νυστεριού ζυγίζονταν και διαχωρίζονταν βάσει του χρώματός τους: οι καφεκίτρινες γονάδες αντιστοιχούσαν σε αρσενικά άτομα, ενώ οι πρασινοκαφέ σε θηλυκά. Τέλος, οι γονάδες και τα κελύφη τοποθετούνταν σε διάλυμα φορμόλης για τη σωστή συντήρησή τους.

### 2.3 Υπολογισμός γοναδοσωματικού δείκτη

Ο γοναδοσωματικός δείκτης (GSI) αποτελεί έναν σημαντικό βιολογικό δείκτη που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αναπαραγωγικής κατάστασης ενός οργανισμού. Υπολογίζεται ως το ποσοστό της μάζας των γονάδων σε σχέση με τη συνολική μάζα του σώματος και δίνεται από τον τύπο:

$$GSI = [\text{βάρος γονάδας} / \text{συνολικό βάρος οργανισμού}] \times 100$$

Ο GSI χρησιμοποιείται συχνά στην ιχθυολογία και τη μελέτη θαλάσσιων ασπόνδυλων για την αξιολόγηση του σταδίου ανάπτυξης των γονάδων και της σεξουαλικής ωρίμανσης των ατόμων ενός πληθυσμού. Υψηλές τιμές GSI συνήθως υποδηλώνουν περιόδους αναπαραγωγικής δραστηριότητας, καθώς οι γονάδες αυξάνουν σε μέγεθος κατά την ωρίμανση και την προετοιμασία για την απελευθέρωση των γαμετών. Αντίθετα, χαμηλές τιμές GSI εμφανίζονται μετά την ολοκλήρωση της ωοτοκίας ή κατά τις μη αναπαραγωγικές περιόδους (Parker et al. 2018).

Η εποχιακή ανάλυση του GSI παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τον προσδιορισμό της αναπαραγωγικής περιόδου ενός είδους, συμβάλλοντας στην κατανόηση του κύκλου ζωής του και των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την αναπαραγωγή (Parker et al. 2018). Επιπλέον, η σύγκριση του GSI μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών ή περιοχών μπορεί να αποκαλύψει διαφορές στις αναπαραγωγικές στρατηγικές, καθώς και την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, όπως η θερμοκρασία, η διαθεσιμότητα τροφής και η ανθρώπινη δραστηριότητα.

Ο GSI είναι επίσης χρήσιμος στη διαχείριση των αλιευτικών αποθεμάτων, καθώς μπορεί να υποδείξει τις βέλτιστες περιόδους για την εφαρμογή μέτρων προστασίας, όπως οι εποχιακές απαγορεύσεις αλιείας, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμη εκμετάλλευση των ειδών.

## **2.4 Στατιστική επεξεργασία**

Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διερευνητικής (exploratory data analysis) και επαγωγικής ανάλυσης (inferential statistics) δεδομένων σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0.05$ . Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας ανοικτού κώδικα, Jamovi (v.2.3.28, Sydney, Australia) (Şahin & Aybek,

2019). Επιπλέον για χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό υπολογιστικών φύλλων Excel, καθώς και το εργαλείο απεικόνισης και ανάλυσης εικόνας (Image J, έκδοση 1.54m).

Η κανονικότητα της κατανομής ελέγχθηκε με τη χρήση του τεστ Shapiro-Wilk και η ομοιογένεια της διακύμανσης με τα τεστ Levene και Variance ratio. Η μηδενική υπόθεση της μη εμφάνισης σημαντικών διαφορών μεταξύ των δειγμάτων ελέγχθηκε με ανάλυση διακύμανσης μονής κατεύθυνσης (One-Way ANOVA) (Underwood, 1997) όταν τα δεδομένα δεν παραβίαζαν τις υποθέσεις του τεστ (κανονικότητα, ομοσκεδαστικότητα). Το τεστ Welch ANOVA χρησιμοποιήθηκε όταν τα δεδομένα παραβίαζαν τις την υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας (Krishnamoorthy et al., 2007).

Τα τεστ Kruskal-Wallis και Mann Whitney U test χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική σύγκριση των μεταβλητών όταν παραβιάστηκε η υπόθεση της κανονικότητας και όχι της ομοσκεδαστικότητας (ομοιογένειας της διακύμανσης). Το Brunner-Munzel Test (γνωστό και ως Generalized Wilcoxon Test) χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική σύγκριση των μεταβλητών όταν παραβιάστηκαν οι υποθέσεις της κανονικότητας και ομοσκεδαστικότητας. Η δοκιμή post hoc που χρησιμοποιήθηκε σε συνέχεια του παραμετρικού Welch ANOVA ήταν το Games-Howell Post Hoc pairwise comparisons. Η δοκιμή post hoc που χρησιμοποιήθηκε σε συνέχεια του μη παραμετρικού Kruskal Wallis test ήταν το Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons.

Η εκτίμηση στατιστικά σημαντικής διαφοράς από την τυχαιότητα μεταξύ κατηγορηματικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκε με τη δοκιμασία  $X^2$  καλής προσαρμογής (Chi Square goodness of fit test) ενώ για την εκτίμηση στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ δύο κατηγορικών μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία  $X^2$  ανεξαρτησίας (Chi-Square Test for Association) (Rolke and Gongora, 2021).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (PCC) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της ισχύος της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών.

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Πληθυσμιακή δομή του είδους *Rhyssoplax olivacea* στον Παγασητικό κόλπο

Συνολικά συλλέχθηκαν 313 άτομα του είδους *R. olivacea*. Διερευνήθηκε το ολικό σωματικό μήκος, πλάτος και βάρος των ατόμων. Ο μέσος όρος του ολικού μήκους ήταν  $20.41 \text{ mm} \pm 2.64$ , του πλάτους  $11.18 \pm 1.72 \text{ mm}$  και του βάρους είναι  $0.81 \pm 0.27 \text{ gr}$ . Η μέγιστη μικρότερη τιμή για το ολικό σωματικό μήκος ήταν τα  $9.91 \text{ mm}$ , για το ολικό σωματικό πλάτος  $5.02 \text{ mm}$  και για το σωματικό βάρος  $0.271 \text{ gr}$ . Η μέγιστη τιμή της κάθε μεταβλητής ήταν  $27.9 \text{ mm}$ ,  $19.6 \text{ mm}$  και  $1.84 \text{ gr}$  αντίστοιχα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Περιγραφική στατιστική για το σύνολο του πληθυσμού του μήκους, πλάτους και βάρους.

|                        | Μήκος | Πλάτος | Βάρος |
|------------------------|-------|--------|-------|
| <b>N</b>               | 313   | 313    | 313   |
| <b>Μέσος όρος</b>      | 20.4  | 11.2   | 0.810 |
| <b>Διάμεσος</b>        | 20.4  | 11.3   | 0.753 |
| <b>Τυπική απόκλιση</b> | 2.64  | 1.72   | 0.265 |
| <b>Ελάχιστο</b>        | 9.91  | 5.02   | 0.271 |
| <b>Μέγιστο</b>         | 27.9  | 19.6   | 1.84  |

Συνολικά συλλέχθηκαν 89 θηλυκά και 224 αρσενικά άτομα. Ο μέσος όρος του ολικού σωματικού μήκους, πλάτους και βάρους για τα θηλυκά ήταν  $20.07 \pm 2.7 \text{ mm}$ ,  $10.9 \pm 1.85 \text{ mm}$  και  $0.75 \pm 0.22 \text{ gr}$  αντίστοιχα. Ο μέσος όρος του ολικού σωματικού μήκους, πλάτους και βάρους για τα αρσενικά ήταν  $20.55 \pm 2.61 \text{ mm}$ ,  $11.29 \pm 1.66 \text{ mm}$  και  $0.83 \pm 0.28 \text{ gr}$  αντίστοιχα. Οι μικρότερες τιμές του ολικού σωματικού μήκους, πλάτους και βάρους για τα θηλυκά, ήταν  $9.91 \text{ mm}$ ,  $5.02 \text{ mm}$  και  $0.390 \text{ gr}$  αντίστοιχα και για τα αρσενικά  $12.5 \text{ mm}$ ,  $6.59 \text{ mm}$  και  $0.271 \text{ gr}$  αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές του ολικού

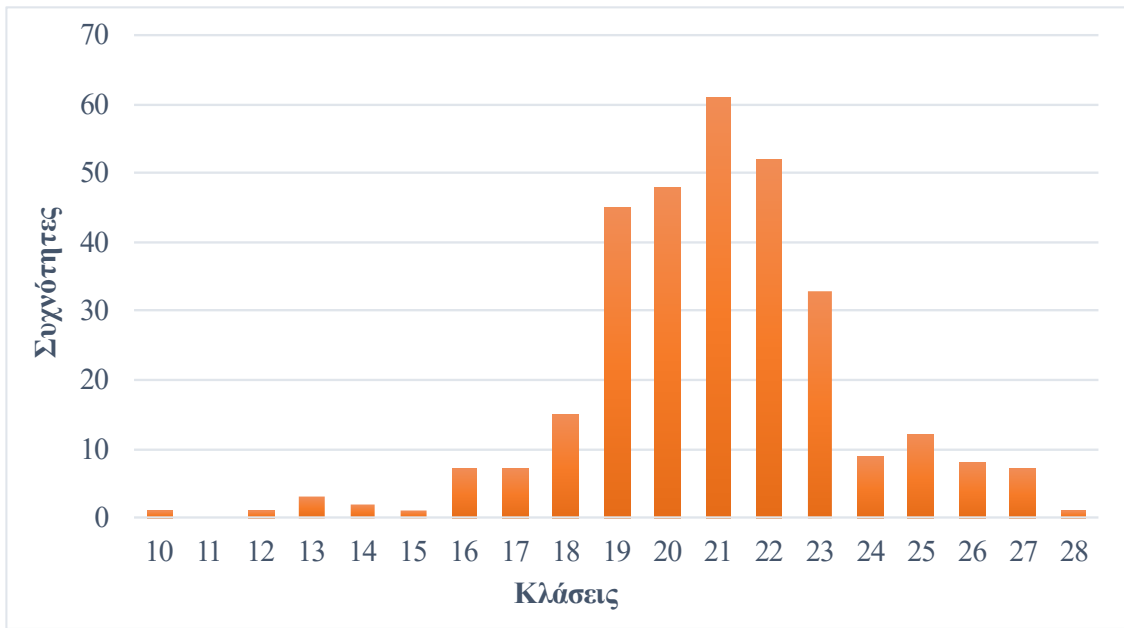
σωματικού μήκους, πλάτους και βάρους στα θηλυκά ήταν 26.9 mm, 19.6 mm και 1.47 gr αντίστοιχα και για τα αρσενικά 27.9 mm, 16.8 mm και 1.84 gr αντίστοιχα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Περιγραφική στατιστική για το σύνολο του πληθυσμού του μήκους, πλάτους και βάρους σε σχέση με το φύλο των ατόμων.

|                 | Γένος    | Μήκος | Πλάτος | Βάρος |
|-----------------|----------|-------|--------|-------|
| N               | Θηλυκά   | 89    | 89     | 89    |
|                 | Αρσενικά | 224   | 224    | 224   |
| Μέσος όρος      | Θηλυκά   | 20.1  | 10.9   | 0.751 |
|                 | Αρσενικά | 20.6  | 11.3   | 0.833 |
| Διάμεσος        | Θηλυκά   | 20.1  | 10.9   | 0.719 |
|                 | Αρσενικά | 20.6  | 11.4   | 0.783 |
| Τυπική απόκλιση | Θηλυκά   | 2.70  | 1.85   | 0.222 |
|                 | Αρσενικά | 2.61  | 1.66   | 0.278 |
| Ελάχιστο        | Θηλυκά   | 9.91  | 5.02   | 0.390 |
|                 | Αρσενικά | 12.5  | 6.59   | 0.271 |
| Μέγιστο         | Θηλυκά   | 26.9  | 19.6   | 1.47  |
|                 | Αρσενικά | 27.9  | 16.8   | 1.84  |

### **3.1.1 Κατά μήκος σύνθεση**

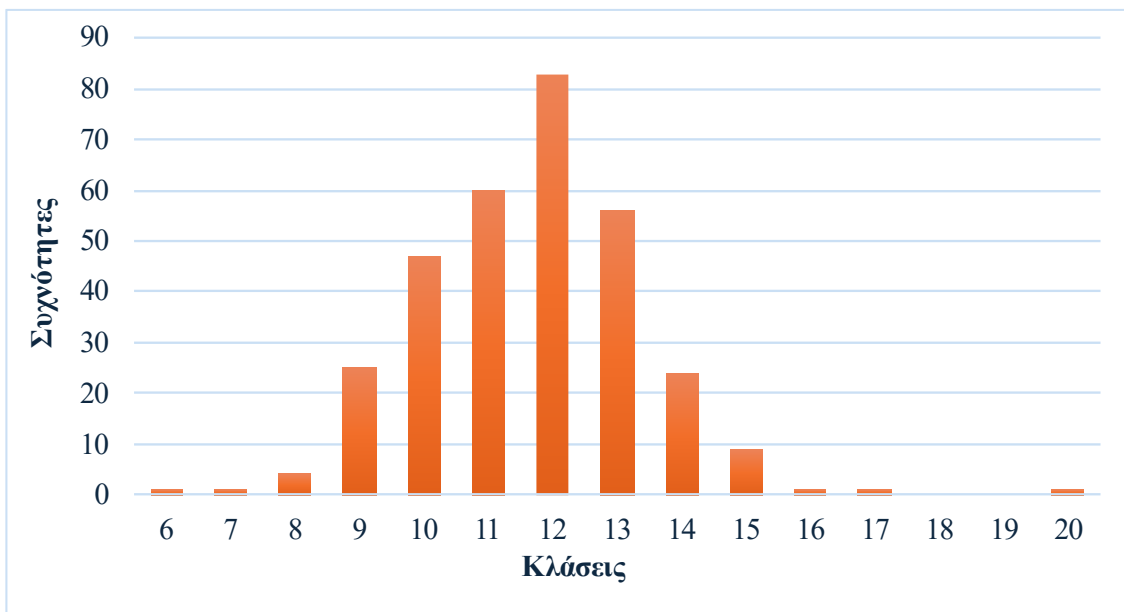
Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατά μήκος σύνθεση για το σύνολο του πληθυσμού του *R. olivacea*, με το 65,50% του συνόλου των ατόμων να εμφανίζει ολικό μήκος μεταξύ 19 mm και 23mm.



Σχήμα 1. Κατά μήκος σύνθεση του συνόλου των ατόμων του *R. olivacea*.

### **3.1.2 Κατά πλάτος σύνθεση**

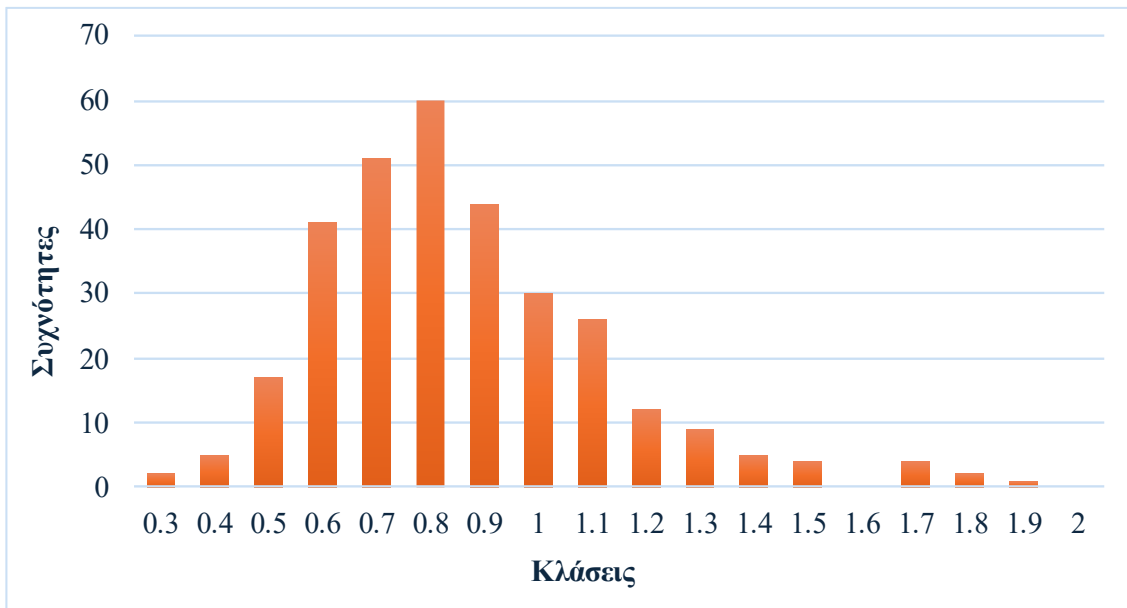
Στο Σχήμα 2. παρουσιάζεται η κατά μήκος σύνθεση για το σύνολο του πληθυσμού του *R. olivacea*, με το 78,59% του συνόλου των ατόμων να εμφανίζει ολικό μήκος μεταξύ 10 mm έως 13 mm.



Σχήμα 2. Κατά πλάτος σύνθεση του συνόλου των ατόμων του *R. olivacea*.

### **3.1.3 Κατά βάρος σύνθεση**

Στο Σχήμα 3.παρουσιάζεται η κατά μήκος σύνθεση για το σύνολο του πληθυσμού του *R. olivacea*, με το 62,62% του συνόλου των ατόμων να εμφανίζει ολικό μήκος μεταξύ 0,6 και 1 gr.



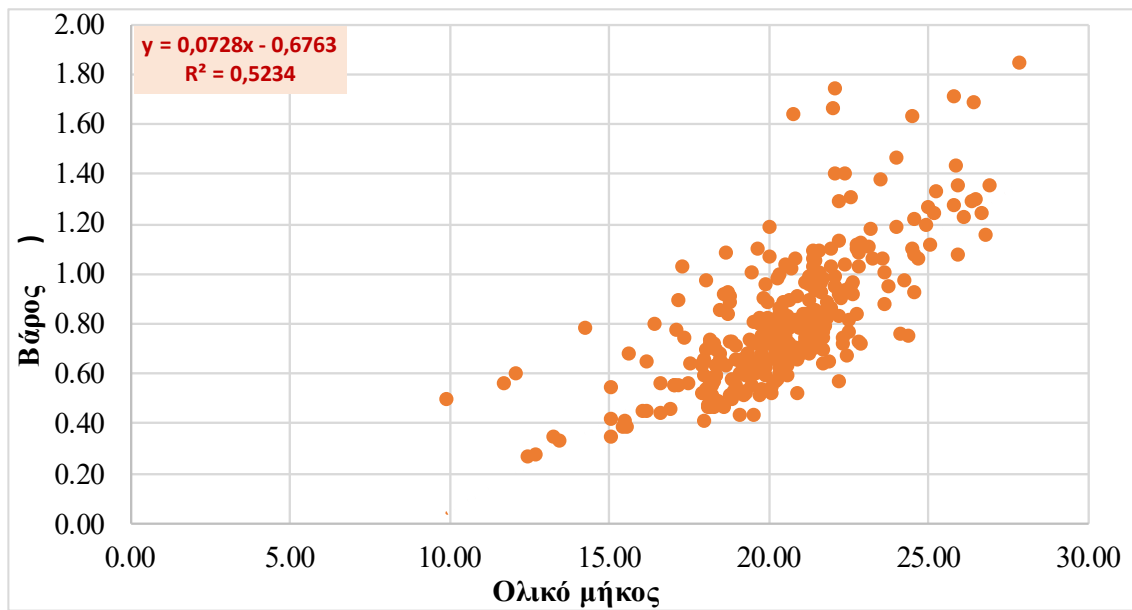
Σχήμα 3. Κατά βάρος σύνθεση του συνόλου των ατόμων του *C. olivacea*.

## **3.2 Μορφομετρικές σχέσεις**

### **3.2.1 Σχέση μήκους- βάρους**

Η συσχέτιση μήκους-βάρους (Pearson's correlation) (Σχήμα 4) εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική ( $r=0,723$ ,  $p<0.001$ ). Η εξίσωση παλινδρόμησης είναι:

$$\text{Βάρος} = 0,0728 \times \text{Μήκος} - 0,6763 \text{ με συντελεστή προσδιορισμού } R^2 = 0.523.$$

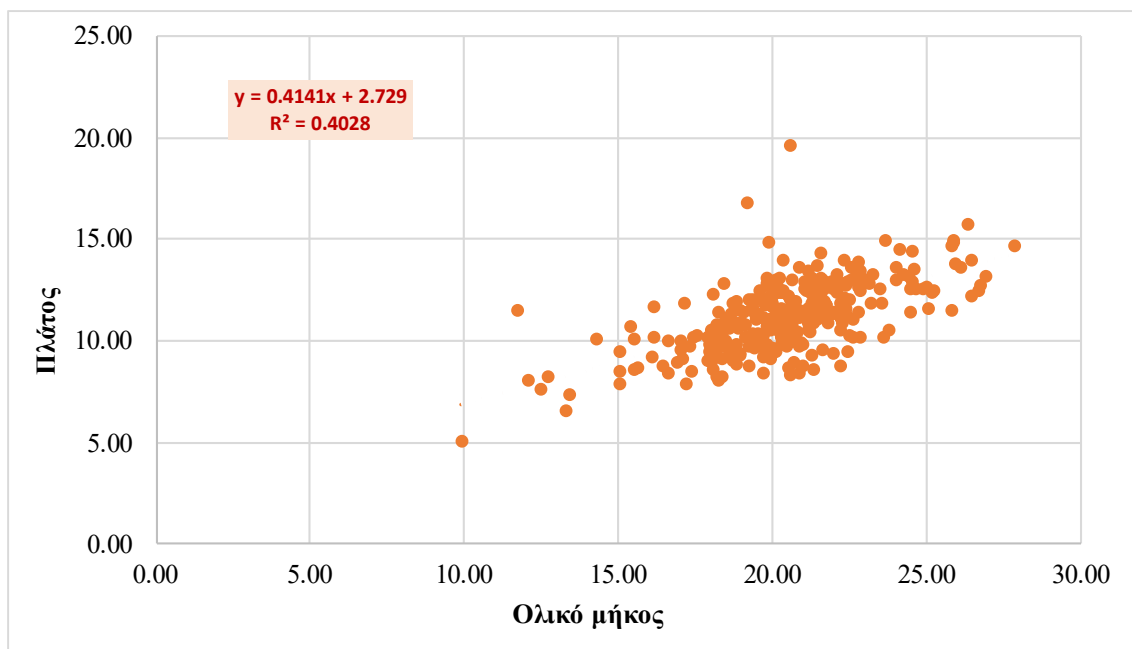


Σχήμα 4. Σχέση μήκους - βάρους για το σύνολο των ατόμων του πολυπλακοφόρου *R. olivaceus*.

### 3.2.2 Σχέση μήκους -πλάτους

Η συσχέτιση μήκους - πλάτους (Pearson's correlation) (Σχήμα 5) εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική ( $r=0,635$ ,  $p<0.001$ ). Η εξίσωση παλινδρόμησης είναι:

$\text{Πλάτος} = 0.4141 \times \text{Μήκος} + 2.729$  με συντελεστή προσδιορισμού  $R^2 = 0,40$ .

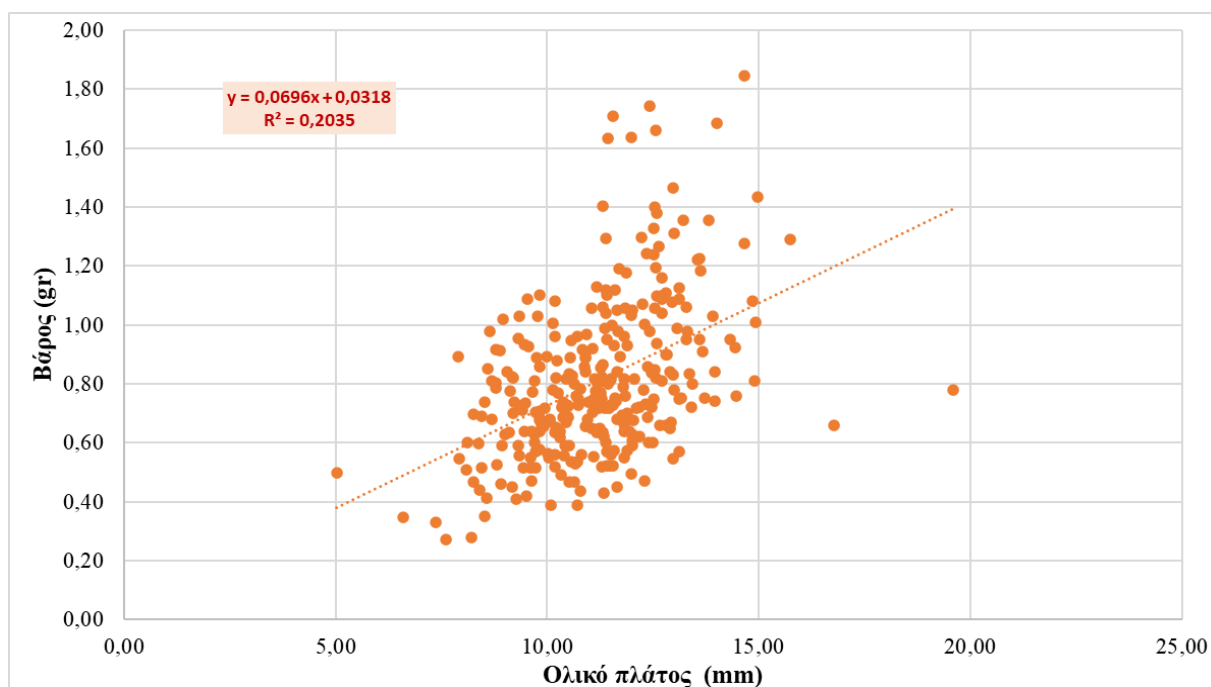


Σχήμα 5. Σχέση μήκους -λάτους για το σύνολο των ατόμων του πολυπλακοφόρου *R. olivaceus*

### 3.2.3 Σχέση πλάτους - βάρους

Η συσχέτιση πλάτους -βάρους (Pearson's correlation) (Σχήμα 6) εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική ( $r=0,451$ ,  $p<0.001$ ). Η εξίσωση παλινδρόμησης είναι:

Βάρος =  $0.0696 \times \text{Πλάτος} + 0.0318$  με συντελεστή προσδιορισμού  $R^2 = 0,20$ .

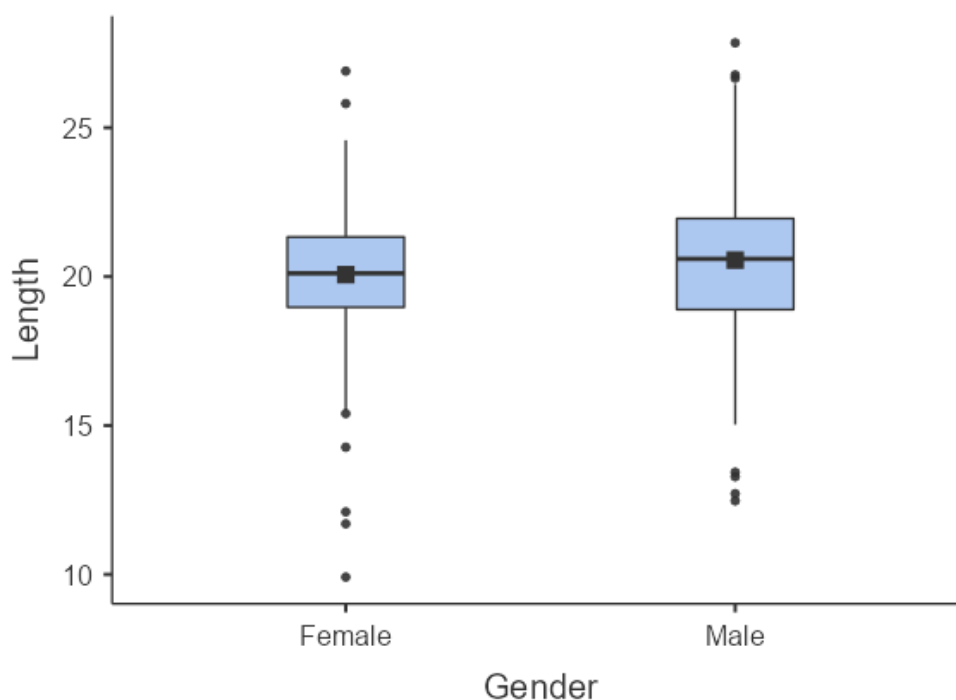


Σχήμα 6. Σχέση πλάτους - βάρους για το σύνολο των ατόμων του πολυπλακοφόρου *R. Olivaceus*.

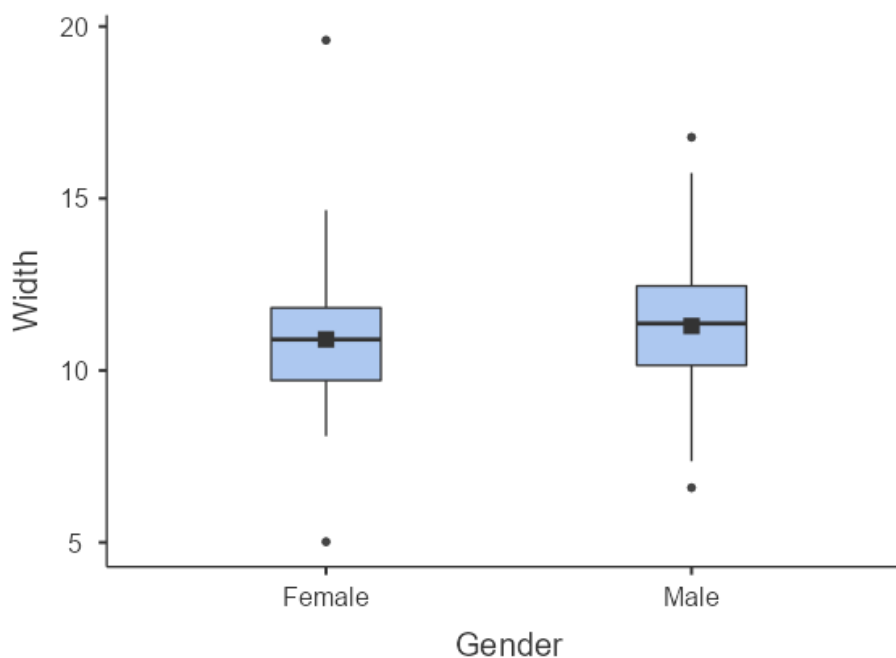
## 3.3 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων

### 3.3.1 Μορφομετρικές σχέσεις μεταξύ φύλων

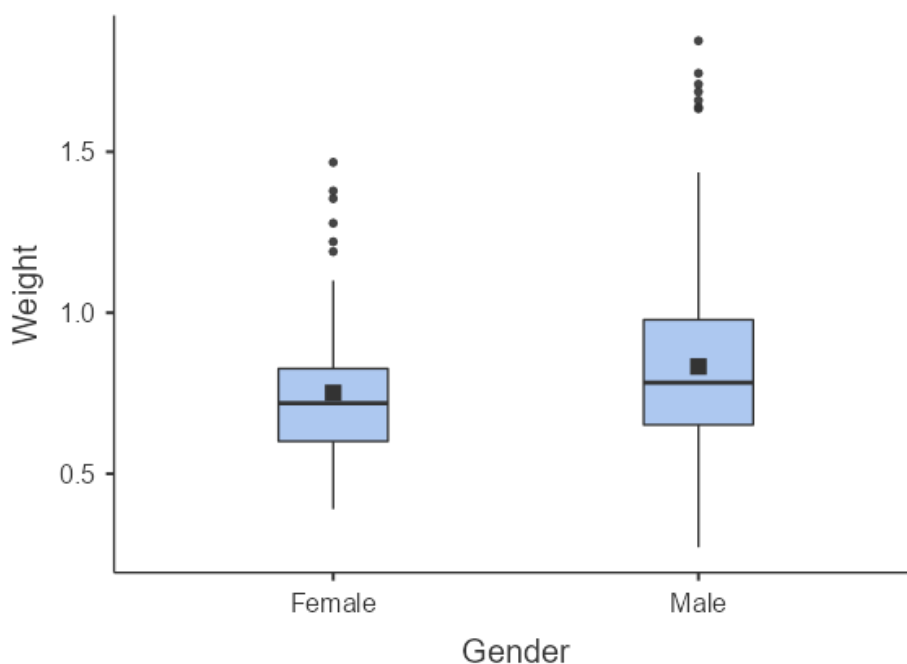
Η διερεύνηση πιθανών μορφομετρικών διαφορών μεταξύ των φύλων έδειξε ότι τα αρσενικά άτομα εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τα θηλυκά (Σχήμα 7) ενώ αν και τα αρσενικά ομοίως εμφάνισαν μεγαλύτερο πλάτος (Σχήμα 8) και βάρος (Σχήμα 9) σε σχέση με τα θηλυκά, η διαφορά αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική.



Σχήμα 7. Συγκριτικό θηκόγραμμα (boxplot) του ολικού μήκους για κάθε φύλο (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).



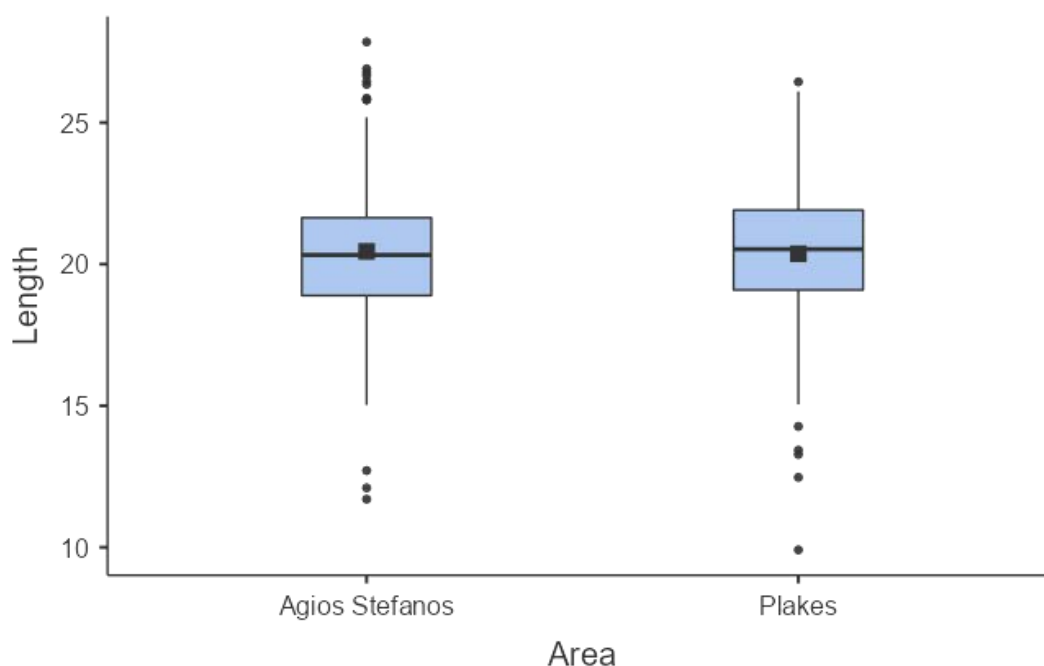
Σχήμα 8. Συγκριτικό θηκόγραμμα του πλάτους σε σχέση με το φύλο των ατόμων (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).



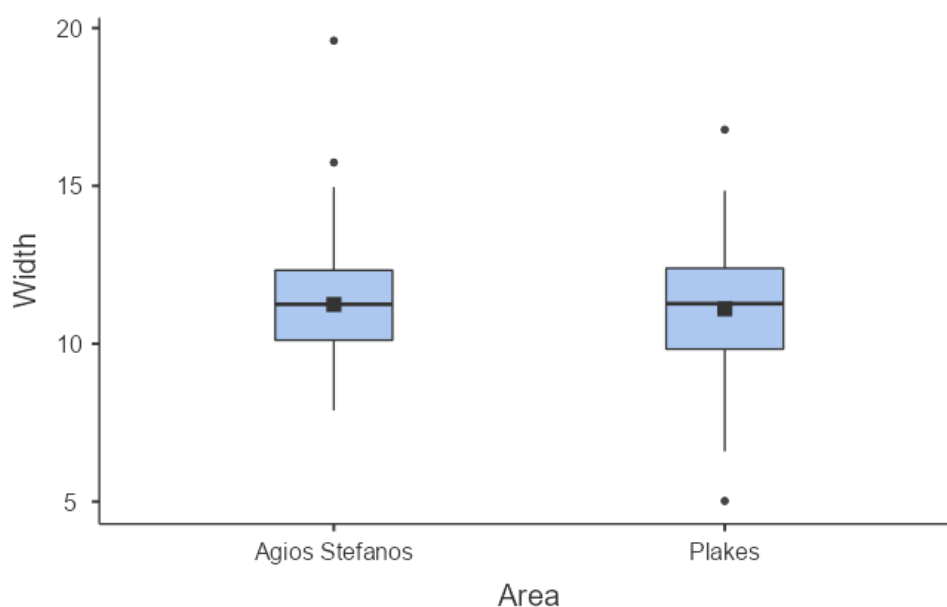
Σχήμα 9. Συγκριτικό θηκόγραμμα για το βάρος σε σχέση με το φύλο των ατόμων (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

### **3.3.2 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων μεταξύ περιοχών**

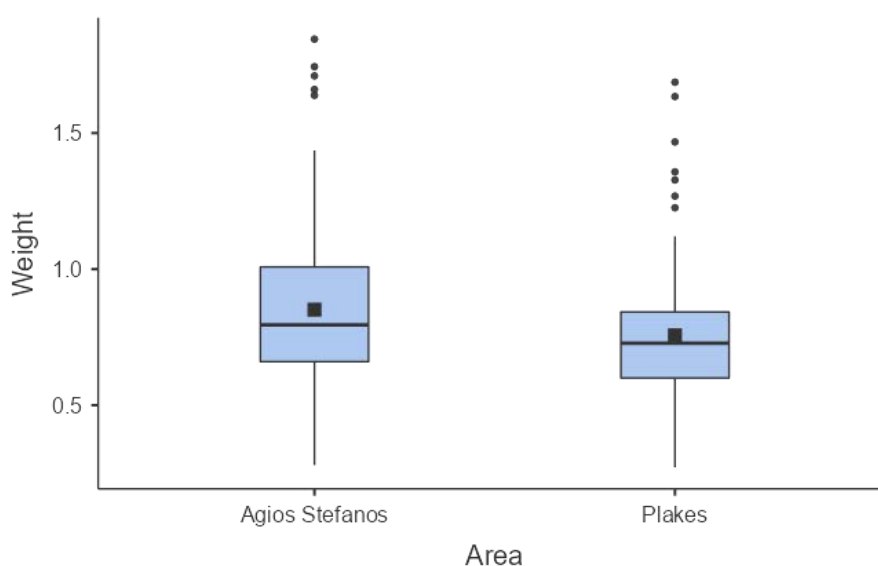
Η διερεύνηση πιθανών μορφομετρικών διαφορών μεταξύ των περιοχών δειγματοληψίας έδειξε ότι στην περιοχή του Αγίου Στεφάνου τα άτομα εμφάνισαν μεγαλύτερο μήκος (Σχήμα 10), πλάτος (Σχήμα 12) και βάρος (Σχήμα 13) με τη μόνη στατιστικά σημαντική διαφορά να εμφανίζεται μόνο μεταξύ του βάρους των ατόμων.



Σχήμα 10. Συγκριτικό θηκόγραμμα για ολικό σωματικό μήκος σε σχέση με τις δυο περιοχές. (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).



Σχήμα 11. Συγκριτικό θηκόγραμμα για ολικό σωματικό πλάτος σε σχέση με τις δυο περιοχές (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).



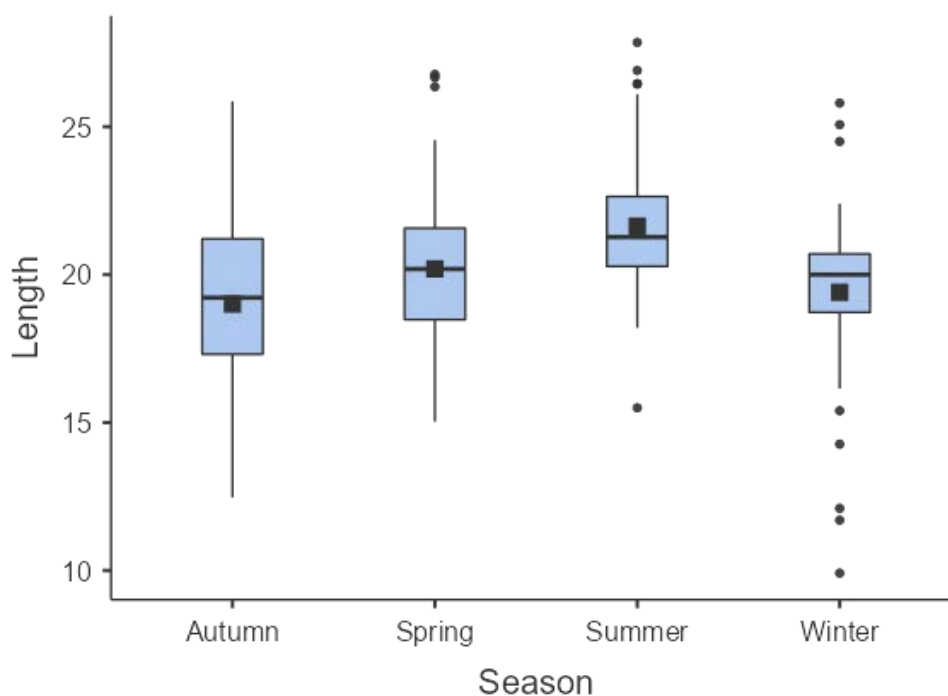
Σχήμα 12. Συγκριτικό θηκόγραμμα για ολικό σωματικό βάρος σε σχέση με τις δυο περιοχές (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

### **3.3.3 Σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων μεταξύ εποχών**

Η διερεύνηση πιθανών μορφομετρικών διαφορών μεταξύ των εποχών δειγματοληψίας (Σχήμα 13) έδειξε ότι το καλοκαίρι το μήκος εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ( $21.64 \pm 2.18$ ) οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται το φθινόπωρο ( $19.01 \pm 2.88$ ) χωρίς όμως να εμφανίζουν στατιστικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την άνοιξη και το χειμώνα (Πίνακας 3)

Πίνακας 3. Αποτελέσματα της δοκιμής post hoc Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons τεστ για το εποχιακό ολικό μήκος στο σύνολο του πληθυσμού (W αποτέλεσμα του στατιστικού τεστ, p σχετιζόμενη πιθανότητα).

| Εποχιακή σύγκριση μήκους |           | W     | p     |
|--------------------------|-----------|-------|-------|
| Φθινόπωρο                | Άνοιξη    | 3.4   | 0.076 |
| Φθινόπωρο                | Καλοκαίρι | 7.74  | <.001 |
| Φθινόπωρο                | Χειμώνας  | 1.65  | 0.65  |
| Άνοιξη                   | Καλοκαίρι | 6.76  | <.001 |
| Άνοιξη                   | Χειμώνας  | -1.02 | 0.889 |
| Καλοκαίρι                | Χειμώνας  | -5.72 | <.001 |

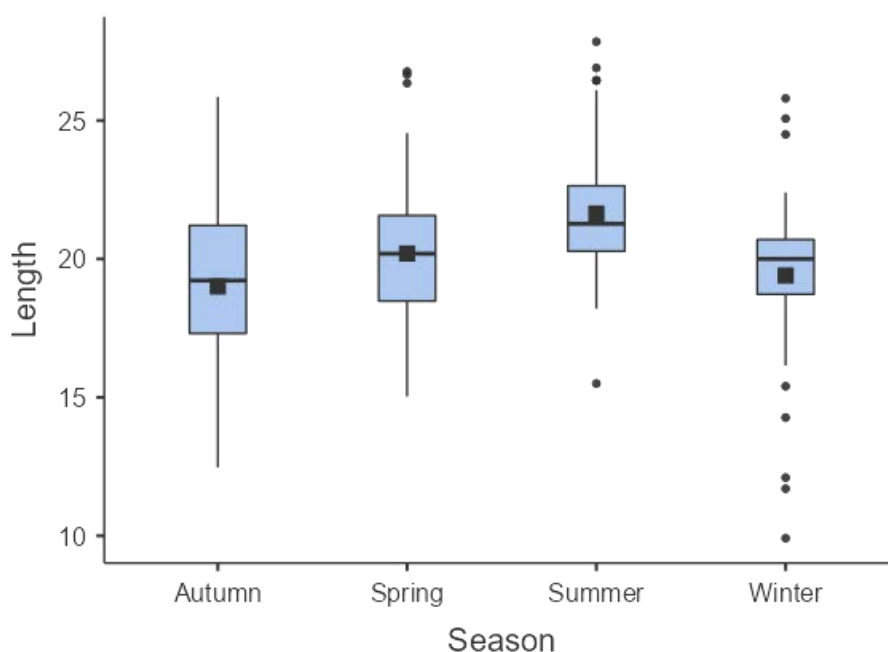


Σχήμα 13. Συγκριτικό θηκόγραμμα του εποχιακού μήκους (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

Η διερεύνηση πιθανών μορφομετρικών διαφορών μεταξύ των εποχών δειγματοληψίας (Σχήμα 14) έδειξε ότι την άνοιξη το πλάτος εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ( $11.72 \pm 1.5$ ) οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται το φθινόπωρο ( $9.73 \pm 1.51$ ) εμφανίζοντας στατιστικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες εποχές (Πίνακας 4)

Πίνακας 4. Αποτελέσματα της δοκιμής Games-Howell Post Hoc τεστ για το εποχιακό πλάτος στο σύνολο του πληθυσμού (W αποτέλεσμα του στατιστικού τεστ, p σχετιζόμενη πιθανότητα).

| Εποχιακή σύγκριση πλάτους |              | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Χειμώνας |
|---------------------------|--------------|--------|-----------|----------|
| Φθινόπωρο                 | Μέση διαφορά | -1.99  | -1.6      | -1.24    |
|                           | p            | < .001 | < .001    | 0.02     |
| Άνοιξη                    | Μέση διαφορά | —      | 0.38      | 0.75     |
|                           | p            | —      | 0.218     | 0.217    |
| Καλοκαίρι                 | Μέση διαφορά | —      | —         | 0.36     |
|                           | p            | —      | —         | 0.776    |

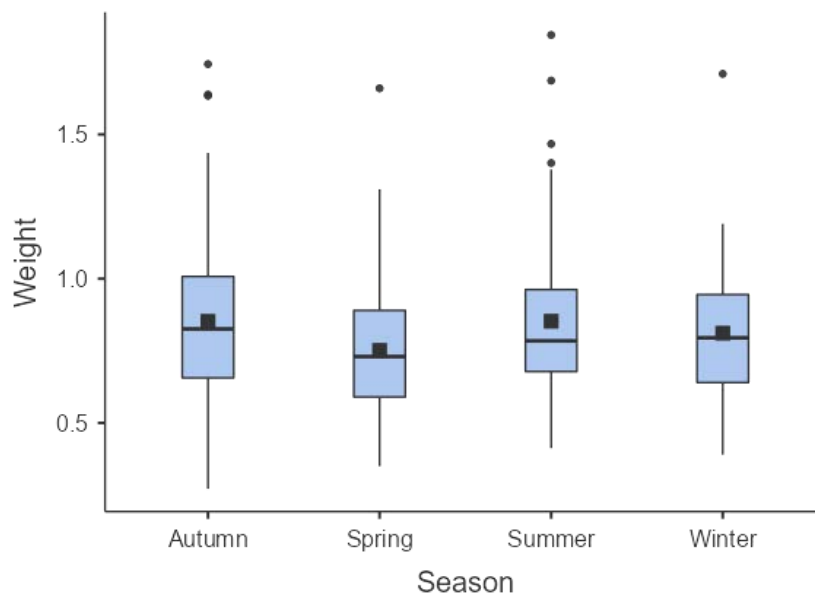


Σχήμα 14. Συγκριτικό θηκόγραμμα για ολικό σωματικό πλάτος ανά εποχή (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

Η διερεύνηση πιθανών μορφομετρικών διαφορών μεταξύ των εποχών δειγματοληψίας (Σχήμα 15) έδειξε ότι το καλοκαίρι και το φθινόπωρο το βάρος εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ( $0.85 \pm 0.26$ ,  $0.85 \pm 0.34$  αντίστοιχα) ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται την άνοιξη ( $0.75 \pm 0.23$ ). Η μόνη στατιστικά σημαντική διαφορά εμφανίζεται μεταξύ καλοκαιριού και άνοιξης όπου το βάρος παρουσιάζεται μεγαλύτερο το καλοκαίρι (Πίνακας 5)

Πίνακας 5. Αποτελέσματα της δοκιμής post hoc Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons τεστ για το εποχιακό βάρος στο σύνολο του πληθυσμού (W αποτέλεσμα του στατιστικού τεστ, p σχετιζόμενη πιθανότητα).

| Εποχιακή σύγκριση βάρους |           | W     | p     |
|--------------------------|-----------|-------|-------|
| Φθινόπωρο                | Άνοιξη    | -2.66 | 0.236 |
| Φθινόπωρο                | Καλοκαίρι | -0.19 | 0.999 |
| Φθινόπωρο                | Χειμώνας  | -0.77 | 0.947 |
| Άνοιξη                   | Καλοκαίρι | 4.06  | 0.021 |
| Άνοιξη                   | Χειμώνας  | 1.98  | 0.499 |
| Καλοκαίρι                | Χειμώνας  | -0.91 | 0.919 |

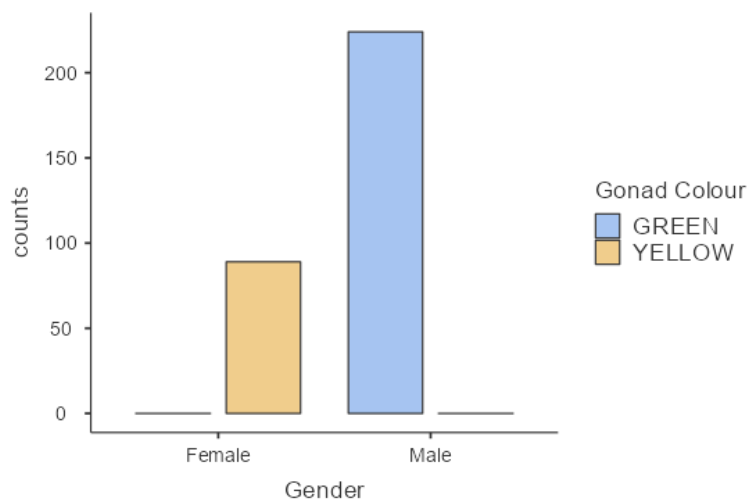


Σχήμα 15. Συγκριτικό θηκόγραμμα για το ολικό σωματικό βάρος ανά εποχή (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

### 3.4 Φυλετική αναλογία

#### 3.4.1 Σχέση περιοχής με χρώμα γονάδας

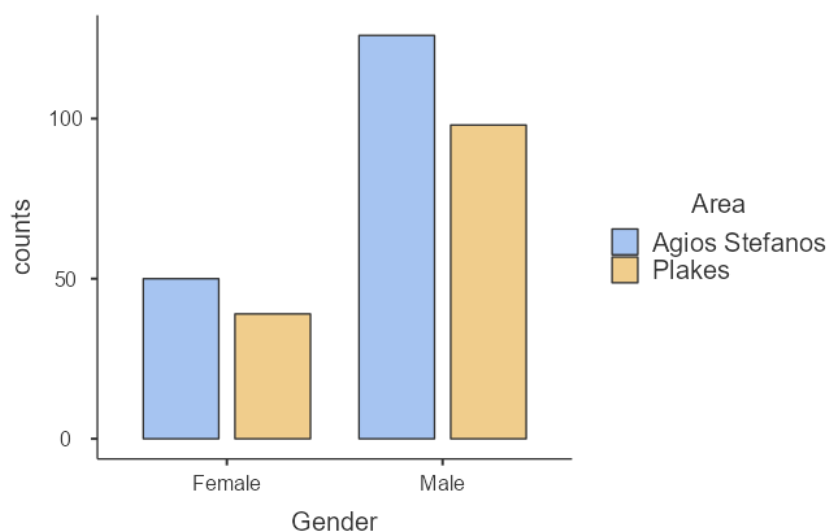
Οι κίτρινη απόχρωση στις γονάδες εμφανίστηκε αποκλειστικά στα αρσενικά άτομα, με τα θηλυκά να εμφανίζουν γονάδες πράσινης απόχρωσης (Σχήμα 16).



Σχήμα 16. Συγκριτικό ραβδόγραμμα της απόχρωσης των γονάδων σε σχέση με το φύλο.

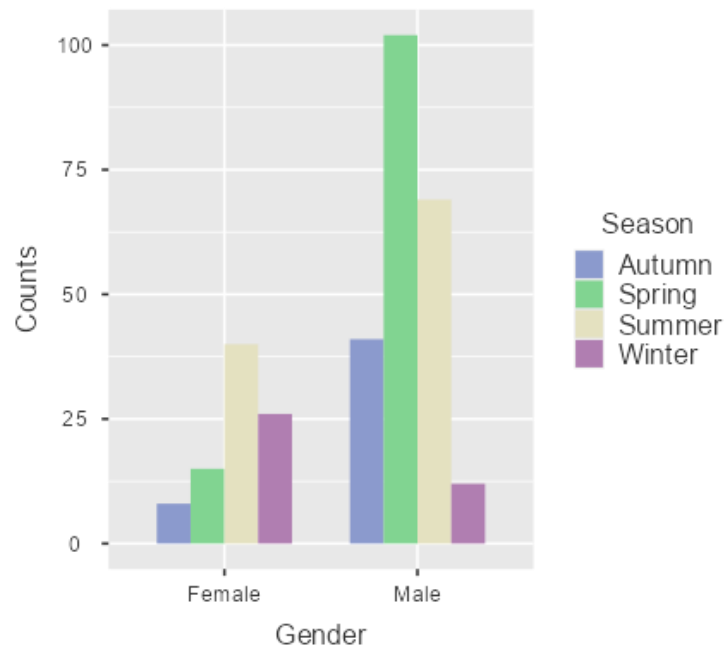
Η αναλογία φύλων ήταν Θηλυκά : Αρσενικά, 1 : 2.52 εμφανίζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ των αρσενικών σε σχέση με την αναμενόμενη αναλογία 1:1 ( $X^2=58,23$ ,  $p<0.001$ ).

Η αναλογία φύλων δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των περιοχών δειγματοληψίας ( $p>0.05$ ) (Σχήμα 17).

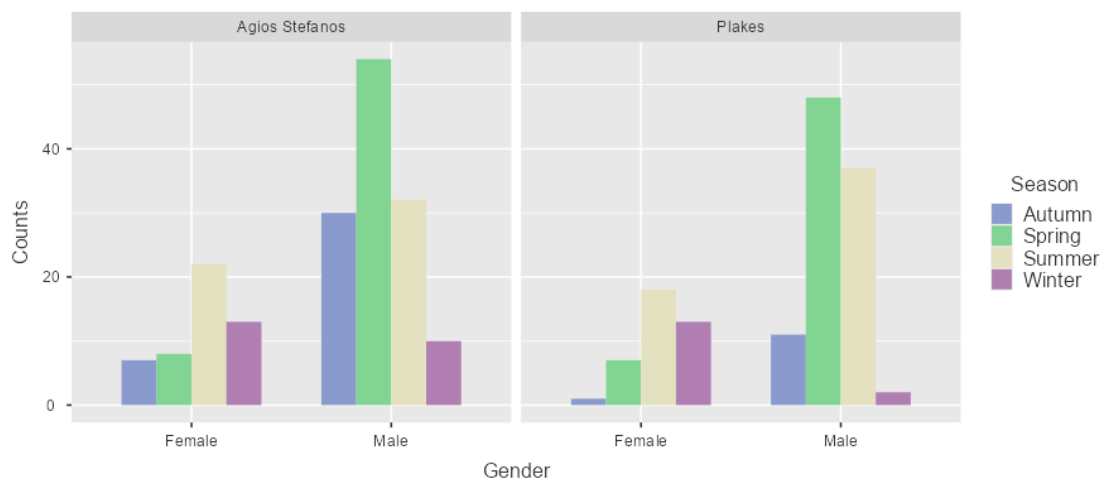


Σχήμα 17. Συγκριτικό ραβδόγραμμα της φυλετικής αναλογίας σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας.

Στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε μεταξύ των εποχών με μεγαλύτερη αναλογία θηλυκών το φθινόπωρο την άνοιξη και το καλοκαίρι και αντιστροφή της αναλογίας με μεγαλύτερη αφθονία αρσενικών το χειμώνα τόσο στο σύνολο του πληθυσμού ( $X^2=51.06$ ,  $p<0.001$ ) (Σχήμα 18) όσο και σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας (Άγιος Στέφανος  $X^2=21.94$ ,  $p<0.001$ , Πλάκες  $X^2=34.52$ ,  $p<0.001$ ) (Σχήμα 19).



Σχήμα 18. Συγκριτικό ραβδόγραμμα της φυλετικής αναλογίας για κάθε εποχή δειγματοληψίας.



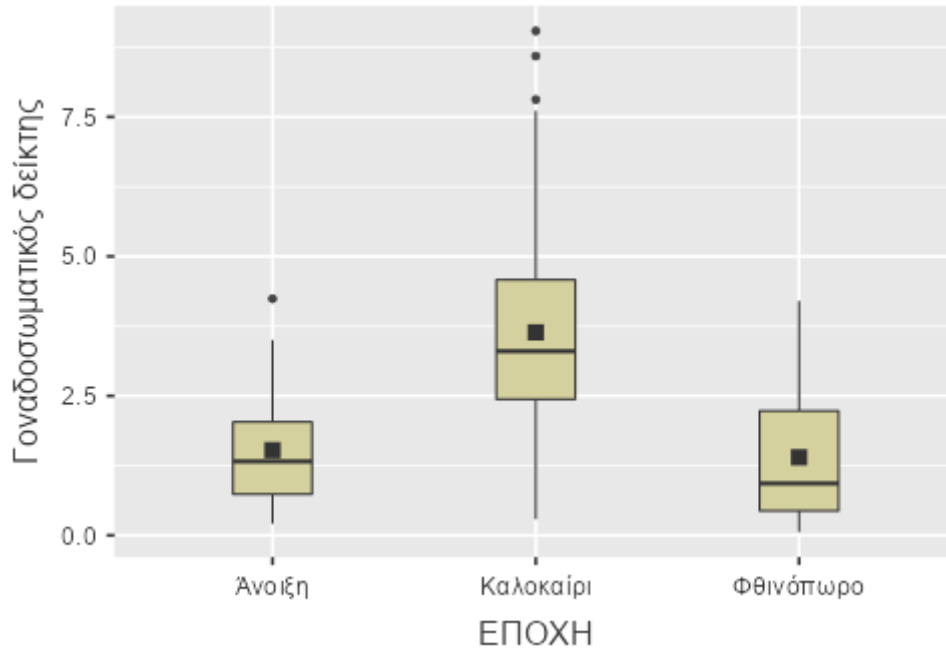
Σχήμα 18. Συγκριτικό ραβδόγραμμα της φυλετικής αναλογίας για κάθε περιοχή και εποχή δειγματοληψίας.

### 3.5 Γοναδοσωματικός δείκτης

Η διερεύνηση της εποχιακής διακύμανσης του γοναδοσωματικού δείκτη (Σχήμα 19)

έδειξε ότι το καλοκαίρι εμφανίζονται στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες τιμές ( $3.64 \pm$

1.85) σε σχέση με την άνοιξη ( $1.53 \pm 0.96$ ) και το φθινόπωρο όπου και εμφανίζεται η χαμηλότερη τιμή ( $1.40 \pm 1.12$ ).



Σχήμα 19. Συγκριτικό θηκόγραμμα της εποχιακής διακύμανσης του γοναδοσωματικού δείκτη (τα κουτιά αντιπροσωπεύουν το 50% των δεδομένων, οι κάθετες γραμμές εκατέρωθεν το ανώτερο και κατώτερο 25% των δεδομένων, τα μαύρα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή, οι οριζόντιες μαύρες γραμμές τη διάμεσο και οι τελείες τις ακραίες τιμές).

Πίνακας 6. Αποτελέσματα της δοκιμής post hoc Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pairwise comparisons τεστ για την εποχιακή σύγκριση του γοναδοσωματικού δείκτη στο σύνολο του πληθυσμού (W αποτέλεσμα του στατιστικού τεστ, p σχετιζόμενη πιθανότητα).

| Εποχιακή σύγκριση γοναδοσωματικού δείκτη |           | W      | p     |
|------------------------------------------|-----------|--------|-------|
| Άνοιξη                                   | Καλοκαίρι | 9.17   | <.001 |
| Άνοιξη                                   | Φθινόπωρο | -1.44  | 0.566 |
| Καλοκαίρι                                | Φθινόπωρο | -10.22 | <.001 |

#### 4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα της διατριβής για τον πληθυσμό του *R. olivacea* στον Παγασητικό κόλπο, προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με την πληθυσμιακή δομή, τη διαφοροποίηση κατά φύλο, καθώς και τις διαφοροποιήσεις μεταξύ εποχών και περιοχών. Σχετικά με την πληθυσμιακή δομή του είδους, από τη συλλογή 313 ατόμων του *R. olivacea*, προκύπτει ότι το μέσο μήκος, πλάτος και βάρος των ατόμων είναι 20.4 mm, 11.2 mm και 0.810 gr, αντίστοιχα. Οι διακυμάνσεις στις μετρήσεις καταδεικνύουν την ποικιλία του πληθυσμού, με ελάχιστες και μέγιστες τιμές για το μήκος, πλάτος και βάρος να κυμαίνονται από 9.91 mm έως 27.9 mm, από 5.02 mm έως 19.6 mm, και από 0.271 gr έως 1.84 gr, αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές υποδεικνύουν μία σχετικά μεγάλη διαφοροποίηση στον πληθυσμό. Σχετικά με τη διαφοροποίηση κατά φύλο, από τη σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων, παρατηρείται ότι τα αρσενικά άτομα είναι γενικά μεγαλύτερα σε μήκος (20.6 mm έναντι 20.1 mm) και βάρος (0.833 gr έναντι 0.751 gr) σε σχέση με τα θηλυκά. Ωστόσο, τα θηλυκά έχουν μεγαλύτερο σωματικό πλάτος (10.9 mm έναντι 11.3 mm) σε σχέση με τα αρσενικά. Εντυπωσιακή είναι η αναλογία φύλων, καθώς είναι 1:2.52 υπέρ των αρσενικών, που διαφέρει από την αναμενόμενη αναλογία 1:1. Όσον αφορά την κατά μήκος, πλάτος και βάρος σύνθεση, στην κατά μήκος σύνθεση, το 65.5% του πληθυσμού έχει μήκος μεταξύ 19 και 23 mm. Στην κατά πλάτος σύνθεση, το 78.59% των ατόμων έχει πλάτος μεταξύ 10 και 13 mm. Στην κατά βάρος σύνθεση, το 62.62% των ατόμων βρέθηκαν να έχουν βάρος μεταξύ 0.6 και 1 gr. Παράλληλα, οι μορφομετρικές σχέσεις απέδειξαν ότι οι συσχετίσεις μεταξύ μήκους, πλάτους και βάρους είναι στατιστικά σημαντικές. Η συσχέτιση μήκους-βάρους ( $r = 0.723$ ) έδειξε μέτρια θετική συσχέτιση. Η συσχέτιση μήκους-πλάτους ( $r = 0.635$ ) παρουσίασε μέτρια θετική συσχέτιση. Η

συσχέτιση βάρους-πλάτους ( $r = 0.451$ ) είναι επίσης θετική, αλλά πιο αδύναμη. Σχετικά με τη σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων μεταξύ φύλων και περιοχών, προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Από τη σύγκριση μεταξύ φύλων προκύπτει ότι τα αρσενικά είναι μεγαλύτερα σε μήκος, πλάτος και βάρος, ενώ για το πλάτος και το βάρος δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αντίθετα, για το μήκος σώματος, υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των φύλων. Σε σχέση με τις περιοχές, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στο μήκος και το πλάτος μεταξύ των περιοχών του Παγασητικού κόλπου (Άγιος Στέφανος και Πλάκες), όμως για το βάρος παρατηρείται σημαντική διαφορά, με τα άτομα από τον Άγιο Στέφανο να έχουν μεγαλύτερο βάρος. Τέλος, σχετικά με τη σύγκριση μορφομετρικών σχέσεων ανά εποχή παρατηρείται ότι, το καλοκαίρι τα άτομα του *R. olivacea* είναι μεγαλύτερα σε μήκος και πλάτος, ενώ το φθινόπωρο τα άτομα έχουν τις μικρότερες τιμές. Όσον αφορά το βάρος, οι διαφορές μεταξύ εποχών είναι επίσης σημαντικές, με το φθινόπωρο να έχει το μεγαλύτερο βάρος. Αυτά τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τις διακυμάνσεις στις μορφομετρικές παραμέτρους του *R. olivacea* και τη σημαντική επίδραση των φύλων, περιοχών και εποχών στη βιολογία του είδους. Αναφορικά με τον γοναδοσωματικό δείκτη, εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερος τους καλοκαιρινούς μήνες υποδεικνύοντας ότι το είδος αναπαράγεται αυτή την εποχή στην περιοχή δειγματοληψίας. Συμπεραίνεται ότι, όσον αφορά την φυλετική αναλογία, η τιμή του συντελεστή που εκτιμάται για ένα είδος μπορεί να διαφέρει μεταξύ των αποθεμάτων, ακόμη και μεταξύ των περιοχών. Οι διαφορές αυτές υποδεικνύουν μικρές διακυμάνσεις που σχετίζονται με την εκάστοτε περιοχή μελέτης, το έτος, την περίοδο δειγματοληψίας, καθώς και τις φυσικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα αποθέματα (Parker et al. 2018).

Αυτά τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τις διακυμάνσεις στις μορφομετρικές παραμέτρους του *R. olivacea* και τη σημαντική επίδραση των φύλων, των περιοχών και των εποχών στη βιολογία του είδους.

. Το πολυπλακοφόρο *R. olivacea* αποτελεί είδος με εξαιρετική οικολογική σημασία, καθώς λειτουργεί ως οικολογικός βιοδείκτης στα οικοσυστήματα όπου εντοπίζεται. Επιπλέον, τα πολυπλακοφόρα αποτελούν μια αναπτυσσόμενη κατηγορία εκτροφής με σημαντικές προοπτικές εκμετάλλευσης (Routiers, 1995), καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή σε πειραματική καλλιέργεια αστακού (Abadia-Chanona, 2018).

Για τη σωστή διαχείριση της αλιείας τους, απαιτείται η λήψη κατάλληλων ρυθμίσεων ώστε να διασφαλιστεί η διατήρηση των πληθυσμών και να αποτραπεί η διατάραξη των οικολογικών ισορροπιών (Mesli et al., 2023). Τα δεδομένα ανάπτυξης και φύλου των αλιευόμενων πληθυσμών είναι καθοριστικά για την κατανόηση των βιολογικών χαρακτηριστικών τους, τη μελέτη της πληθυσμιακής τους δομής και δυναμικής, καθώς και για την αξιολόγηση των αποθεμάτων και τη βελτίωση της διαχείρισης της αλιείας (Abadia-Chanona, 2018).

## 5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abadia-Chanona Q. Y., Avila-Poveda O. H., Arellano-Martinez M., Ceballos-Vazquez B. P., Benitez-Villalobos F., Parker G. A., & Garcia-Ibañez S. (2018). Reproductive traits and relative gonad expenditure of the sexes of the free spawning Chiton articulatus (Mollusca: Polyplacophora). *Invertebrate reproduction & development*, 62(4), 268-289.
- Crocetta, F., Bitar, G., Zibrowius, H., Capua, D., Dell'Angelo, B., & Oliverio, M. (2014). Biogeographical homogeneity in the eastern Mediterranean Sea-III: new records and a state of the art of Polyplacophora, Scaphopoda and Cephalopoda (Mollusca) from Lebanon. *Spixiana*, 37(2), 183-206.
- Ferreira A. J. (1983). Researches on the coast of Somalia. The chiton fauna (Mollusca Polyplacophora). *Monitore Zoologico Italiano. Supplemento*, 18(1), 249-297.
- Gibson R., Atkinson R., Gordon J., Smith I., & Hughes D. (2011). Impact of ocean warming and ocean acidification on marine invertebrate life history stages: vulnerabilities and potential for persistence in a changing ocean. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 49, 1-42.
- Irisarri I., Uribe J. E., Eernisse D. J., & Zardoya R. (2020). A mitogenomic phylogeny of chitons (Mollusca: Polyplacophora). *BMC Evolutionary Biology*, 20, 1-15.
- Krishnamoorthy, K., Lu, F., & Mathew, T. (2007). A parametric bootstrap approach for ANOVA with unequal variances: Fixed and random models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(12), 5731-5742.
- Mesli N., Rouane-Hacene O., Bouchikhi-Tani Z., & Richir J. (2023). A first study on the bioaccumulation of trace metals in Rhyssoplax olivacea (Mediterranean Polyplacophora). *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115202.

- Moles J., Cunha T. J., Lemer S., Combosch D. J., & Giribet, G. (2021). Tightening the girdle: phylotranscriptomics of Polyplacophora. *Journal of Molluscan Studies*, 87(2), eyab019.
- Öztürk B., Ergen Z., & Önen M. (2000). Polyplacophora (Mollusca) from the Aegean coast of Turkey. *Zoology in the Middle East*, 20(1), 69-76.
- Parker, G. A., Ramm, S. A., Lehtonen, J., & Henshaw, J. M. (2018). The evolution of gonad expenditure and gonadosomatic index (GSI) in male and female broadcast-spawning invertebrates. *Biological Reviews*, 93(2), 693-753.
- Rolke, W., & Gongora, C. G. (2021). A chi-square goodness-of-fit test for continuous distributions against a known alternative. *Computational Statistics*, 36(3), 1885-1900.
- Sigwart J. D., & Schwabe E. (2017). *Anatomy of the many feeding types in polyplacophoran molluscs. Invertebrate Zoology 14 (1): 205-216.*
- Singh A., & Rawat R. S. Molluscs (2022). Distribution and Feeding Habits. 7-8
- Sirenko B. I. (2004). The ancient origin and persistence of chitons (Mollusca, Polyplacophora) that live and feed on deep submerged land plant matter (xylophages). *Bollettino Malacologico*, 5, 111-116.
- Speiser, D. I., DeMartini, D. G., & Oakley, T. H. (2014). The shell-eyes of the chiton *Acanthopleura granulata* (Mollusca, Polyplacophora) use pheomelanin as a screening pigment. *Journal of Natural History*, 48(45-48), 2899-2911.
- Strathmann, M. F. (2017). *Reproduction and development of marine invertebrates of the northern Pacific coast: data and methods for the study of eggs, embryos, and larvae.* University of Washington Press. 205-220

- Underwood, A. J. (1997). Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge university press.
- Varkoulis, A., Voulgaris, K., Zachos, D. S., & Vafidis, D. (2023). Population Dynamics of Three Polyplacophora Species from the Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Diversity*, 15(7), 867.
- Vinther J. (2015). The origins of molluscs. *Palaeontology*, 58(1), 19-34.
- Wanninger A. & Haszprunar G. (2002). Chiton myogenesis: perspectives for the development and evolution of larval and adult muscle systems in molluscs. *Journal of Morphology*, 251(2), 103-113.
- World Register of Marine Species (Worms) (2019). *Rhyssoplax olivacea* taxonomy. WoRMS - World Register of Marine Species - Rhyssoplax olivacea (Spengler, 1797) Πρόσβαση: 2019-12-09

## 6. ABSTRACT

This study investigates the population structure and biological characteristics of the polyplacophoran *Rhyssoplax olivacea* in the Pagasitikos Gulf, as it is a significant ecological bioindicator and an emerging commercially valuable species. The study aimed to assess the population characteristics, morphometric relationships, and sex ratio of the species while analyzing potential differences between locations and seasons.

The research was conducted through monthly samplings from two coastal sites in the Pagasitikos Gulf, Agios Stefanos and Plakes, between April 2022 and April 2023. A total of 313 individuals were collected and analyzed in terms of their length, width, and weight. These parameters ranged from 9.91 mm to 27.9 mm (length), 5.02 mm to 19.6 mm (width), and 0.271 g to 1.84 g (weight). Males exhibited greater mean length and weight than females, while females had greater width. Moreover, the sex ratio was found to be 1:2.52 in favor of males, deviating from the expected 1:1 ratio.

The gonadosomatic index (GSI), which expresses the relative reproductive investment of individuals, revealed significant seasonal fluctuations. The highest GSI values were recorded in spring and summer, indicating that these are the main reproductive periods of the species. The lowest GSI values were observed in autumn, likely due to the completion of spawning.

Regarding morphometric relationships, length, width, and weight correlations were statistically significant. The length-weight correlation showed a moderate positive association ( $r = 0.723$ ). Regional comparisons indicated no significant differences in length and width, but individuals from Agios Stefanos exhibited higher weight.

The results highlight the *population dynamics* of *R. olivacea*, seasonal fluctuations, and regional differences, which should be considered in species

management. *R. olivacea* serves as a valuable indicator of environmental conditions due to its trophic position and sensitivity to marine pollution. Additionally, the lack of regulatory measures for its harvesting, as observed in other areas, emphasizes the need for future management strategies to ensure its sustainable exploitation.

**Keywords:** *Rhyssoplax olivacea*, Polyplacophora, Population structure, Morphometric relationships, Sex ratio, Gonadosomatic index (**GSI**), Seasonal fluctuations, Environmental bioindicator, Sustainable management