

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

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Εκτίμηση του ορίου θραύσης του κελύφους των αχιών *Arbacia lixula*,  
*Paracentrotus lividus* και *Sphaerechinus granularis* στον Παγασητικό κόλπο»**

**Κωνσταντίνος Χριστομάνος**

**ΒΟΛΟΣ 2019**

**«Εκτίμηση του ορίου θραύσης του κελύφους των αχινών *Arbacia lixula*,  
*Paracentrotus lividus* και *Sphaerechinus granularis* στον Παγασητικό κόλπο»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

- 1) Δημήτρης Βαφείδης**, Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση – έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπων.
- 2) Αθανάσιος Εξαδάκτυλος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Γενετική Υδροβίων Ζωϊκών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.
- 3) Μαριάνθη Χατζηιωάννου**, Επίκουρη Καθηγήτρια, Εκτροφή Σαλιγκαριών και Βατράχων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

*Στη μητέρα μου,*

*Κατερίνα*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πλησιάζοντας στο τέλος της εργασίας και συνειδητοποιώντας ότι αυτές είναι ίσως οι τελευταίες σειρές που θα γράψω σε ακαδημαϊκό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα όχι μόνο αυτούς που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αλλά και όσους πιστεύω βοήθησαν στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων μου μέσα στην ακαδημαϊκή μου πορεία.

Θα ήθελα λοιπόν, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας μου, κ. Δημήτρη Βαφείδη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξη που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας αλλά και όποτε του ζητήθηκε.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω θερμά τον δάσκαλο και πλέον φίλο μου Αλέξη Λόλα. Η συνεισφορά του στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική τόσο στη δειγματοληψία και το εργαστηριακό μέρος, όσο και στη συγγραφή. Κυρίως όμως τον ευχαριστώ γιατί ως υπόδειγμα δασκάλου μου έδωσε χώρο να εξασκήσω δεξιότητες τις οποίες δεν ήξερα ότι έχω και δεν σκόπευα να αποκτήσω. Δεξιότητες τις οποίες χρησιμοποιώ πλέον με άνεση στην καθημερινότητα, τη δουλειά μου και ίσως δεν θα εξασκούσα αν δεν μου δινόταν ο χώρος και η ευκαιρία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φοιτητές Τάσο Βαρκούλη και Κωνσταντίνο Βούλγαρη για την βοήθειά τους στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας. Χωρίς τη συνεισφορά τους θα ήταν αδύνατη η μελέτη τόσων ατόμων σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασία ήταν η μελέτη της ανθεκτικότητας του κελύφους των αχιών *A. lixula*, *P. lividus*, *S. granularis*, μέσω της εκτίμησης του ορίου θραύσης μετά από μηχανική πίεση, στον Παγασητικό κόλπο. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η δύναμη που χρειάζεται να ασκηθεί στο κέλυφος του αχιού ώστε αυτό να σπάσει. Έγινε επίσης προσπάθεια της σύνδεσης της ανθεκτικότητας του κελύφους με άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως η διάμετρος και το ύψος του κελύφους, το βάρος και το φύλο του αχιού. Για τις ανάγκες της έρευνας συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν 105 άτομα *P. lividus*, 104 άτομα *S. granularis* και 109 άτομα *A. lixula*.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, τα άτομα του είδους *P. lividus* φάνηκε να έχουν μια σημαντική σχέση μεταξύ των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών και της ανθεκτικότητας του κελύφους τους. Συγκεκριμένα, η σχέση που περιέγραφε καλύτερα την ανθεκτικότητα του κελύφους συναρτήσε της διαμέτρου είχε ισχυρή θετική συσχέτιση ( $r=0.5$ ) και  $R^2$  25.5%. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συσχέτιση της ανθεκτικότητας του κελύφους με το βάρος και το ύψος του αχιού, με ασθενή θετική συσχέτιση ( $r=0.42$ ) και  $R^2$  18,2% για το ύψος και ισχυρή θετική ( $r=0.5$ ),  $R^2$  25% αντίστοιχα για το βάρος. Αντίθετα, οι ίδιες μετρήσεις για τα άτομα των ειδών *A. lixula* και *S. granularis* είχαν συσχέτιση αρκετά μικρότερη από ( $r=0.3$ ) και  $R^2$  μικρότερο από 10%, κατά συνέπεια δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική σχέση μεταξύ της ανθεκτικότητας τους και των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών. Τέλος, το φύλο του αχιού δεν έδειξε να επηρεάζει καθόλου την ανθεκτικότητα του κελύφους και για τα 3 είδη που μελετήθηκαν.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων όλων των ατόμων έδειξε ότι αυτά που ανήκουν στο είδος *A. lixula* ήταν αρκετά ανθεκτικότερα, με μέση τιμή Θραύσης 144,73 N, ενώ ακολουθούν αυτά του είδους *S. granularis* με μέση τιμή 102.61 N και *P. lividus* με 89.4 N.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>- 1 -</b>
1.1	Γενικά.....	- 1 -
1.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	- 3 -
1.2.1	Αχινός και Θηρευτές.....	- 3 -
1.2.2	Μηχανισμοί άμυνας.....	- 5 -
1.2.3	Αχινός και κλιματική αλλαγή.....	- 6 -
1.3	Αντικείμενο έρευνας.....	- 7 -
<b>2</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>- 9 -</b>
2.1	Δειγματοληψία.....	- 9 -
2.1.1	Περιοχή έρευνας.....	- 9 -
2.1.2	Διαδικασία Δειγματοληψίας.....	- 11 -
2.2	Προσδιορισμός Σκληρότητας.....	- 13 -
2.3	Στατιστική Ανάλυση.....	- 16 -
<b>3</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>- 17 -</b>
3.1	Αχινός <i>Arbacia lixula</i> .....	- 17 -
3.1.1	Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 17 -
3.1.2	Ύψος και σκληρότητα κελύφους.....	- 18 -
3.1.3	Βάρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 19 -
3.1.4	Φύλλο και σκληρότητα κελύφους.....	- 20 -
3.2	Αχινός <i>Paracentrotus lividus</i> .....	- 20 -
3.2.1	Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 20 -
3.2.2	Ύψος και σκληρότητα κελύφους.....	- 21 -
3.2.3	Βάρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 22 -
3.2.4	Φύλλο και σκληρότητα κελύφους.....	- 23 -
3.3	Αχινός <i>Sphaerechinus granularis</i> .....	- 24 -
3.3.1	Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 24 -
3.3.2	Ύψος και σκληρότητα κελύφους.....	- 25 -
3.3.3	Βάρος και σκληρότητα κελύφους.....	- 26 -
3.3.4	Φύλλο και σκληρότητα κελύφους.....	- 27 -
3.4	Ανάλυση διακύμανσης σκληρότητας κελύφους (ANOVA).....	- 28 -
3.5	Σύνθεση αποτελεσμάτων μεταξύ των ειδών.....	- 29 -



<b>4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	<b>31 -</b>
4.1 Σχέση σκληρότητας κελύφους με τη διάμετρο του αχινού .....	31 -
4.2 Σχέση σκληρότητας κελύφους με άλλες παραμέτρους .....	32 -
4.3 Διαφορά στη σκληρότητα των ειδών .....	33 -
<b>5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>35 -</b>
<b>6 ABSTRACT</b> .....	<b>41 -</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Οι αχινοί αποτελούν θαλάσσιους οργανισμούς, οι οποίοι διαβιούν τόσο σε βραχώδεις θαλάσσιες περιοχές όσο και σε αμμώδεις, ανάλογα από το είδος του αχινού (Guidetti 2004, Ceccherelli et al. 2011). Οι αχινοί οι οποίοι ζουν σε βραχώδεις περιοχές είναι αυτοί του είδους *Paracentrotus lividus* και οι *Arbacia lixula*, ενώ αυτοί που ανήκουν στο είδος *Sphaerechinus granularis* συναντώνται και στα δύο υποστρώματα (Sievers and Nebelsick 2018). Τα συγκεκριμένα είδη εντοπίζονται, κυρίως στη Μεσόγειο (Tortonese et al. 1965). Αποτελούνται από το κέλυφος, τους ποδίσκους, τα αγκάθια και φυσικά το εσωτερικό των αχινών που είναι αυτό το οποίο προσελκύει τους θηρευτές (Santos and Flammang 2005).

Η ύπαρξη των αχινών κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική για τις θάλασσες και τους ωκεανούς, καθώς είναι σημαντικός παράγοντας για τη δομή και τη λειτουργία των υφάλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση των ατόμων του *P. lividus* σε έρευνες με σκοπό την εξήγηση της κατανομής και της δομής των πετρωδών υφάλων (Gianguzza et al. 2009).

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας και είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον. Δεν υπάρχει πλέον αμφιβολία ότι η κλιματική αλλαγή είναι μπροστά μας και επηρεάζει τη βιοποικιλότητα του πλανήτη (Lejeusne et al. 2010). Η θερμοκρασία των θαλασσών αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 2 °C μέχρι τα τέλη αυτού του αιώνα, κατά συνέπεια το pH των θαλασσών αναμένεται να μειωθεί κατά 0.4 μονάδες μέχρι το 2100 και 0.77 μέχρι το 2300 (Caldeira and Wickett 2003, Caldeira and Wickett 2005). Γίνεται πλέον

σαφές ότι η βιωσιμότητα των ειδών του πλανήτη θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα τους να προσαρμοστούν στις μεταβολές που θα προκύψουν. Η καλή γνώση των μεταβολών και η πρόβλεψη για την βιωσιμότητα των οργανισμών γίνεται περισσότερο από αναγκαία, καθώς ενδέχεται να έχει άμεσες επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα, το οικοσύστημα και κατ' επέκταση στον άνθρωπο.

Έντονος προβληματισμός και ενδιαφέρον υπάρχει πάνω στην κατανόηση των επιπτώσεων που έχει η κλιματική αλλαγή πάνω στα θαλάσσια είδη, τις κοινότητες και το οικοσύστημα (Logan 2010). Η οξίνιση των ωκεανών θα επηρεάσει όλες τις θάλασσες του πλανήτη, από τα νερά των ωκεανών μέχρι αυτά των παράκτιων περιοχών (Orr et al. 2005, Feely et al. 2010). Είναι γεγονός ότι η συνεχόμενη αύξηση του ανθρωπογενούς διοξειδίου του άνθρακα επηρεάζει τη συγκέντρωση του χημικού άνθρακα στους ωκεανών αυξάνοντας τη θερμοκρασία και μειώνοντας το pH της θάλασσας (Caldeira and Wickett 2003). Κατά συνέπεια επηρεάζονται άμεσα οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν δομές άνθρακα όπως το  $\text{CaCO}_3$  για να κατασκευάσουν το κέλυφος ή την σκελετική δομή τους (Ries 2011).

Τις προηγούμενες δεκαετίες πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στη βιολογία των εχινοδέρμων, ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, τους μηχανισμούς άμυνας που διαθέτουν και πως τα είδη αυτά κατανέμονται στο θαλάσσιο οικοσύστημα (Santos and Flammang 2005, Moureaux et al. 2010). Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον υπάρχει γύρω από τους μηχανισμούς άμυνας των αχινών, την μελέτη των θηρευτών τους καθώς και το πώς επέρχεται ισορροπία μεταξύ τους (Guidetti 2004, Guidetti and Mori 2005). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κλιματική αλλαγή ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά τη σκελετική δομή των εχινοδέρμων είναι πιθανό οι αχινοί να γίνουν περισσότερο ευάλωτοι στους θηρευτές τους. Η μελέτη

των μηχανισμών άμυνας των αχιών είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς όχι μόνο μας δίνει πληροφορίες για το υπό μελέτη είδος, αλλά επιπλέον μελετά και τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διαθέτουν οι θηρευτές του.

## 1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 1.2.1 Αχιός και Θηρευτές

Είναι γνωστό ότι η θήρευση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες που επηρεάζουν τη δομή, την κατανομή και τη λειτουργία της βιοκοινότητας των αχιών (Duffy 2001). Οι επίδοξοι θηρευτές των αχιών στη Μεσόγειο θάλασσα είναι τα μεγάλα καρκινοειδή όπως *Palinurus elephas*, *Maja squinado*, άλλα εχινόδερμα όπως *Marthasterias glacialis* και σπαροειδή όπως *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris* και *Coris julis* (Sala 1997).

Ο τρόπος με τον οποίο οι θηρευτές του ανοίγουν τον αχιό εξαρτάται τόσο από το είδος του αχιού όσο και από το είδος του θηρευτή. Σύμφωνα με τον (Sievers and Nebelsick 2018), στην περίπτωση του *S. granularis* οι ζημιές που παρατηρήθηκαν στο κέλυφος των ατόμων μετά την θήρευσή τους διακρίνονται σε 3 περιπτώσεις. 1. Μεγάλες τρύπες στην πάνω πλευρά της έδρας, 2. Καταστροφή και απομάκρυνση του μισού κελύφους, 3. Ελάχιστη εναπομένουσα σκελετική δομή γύρω από το στόμα του αχιού. Και στις 3 περιπτώσεις οι ζημιές στο κέλυφος των ατόμων του *S. granularis* παρατηρούνται στην πάνω πλευρά των αχιών όπου βρίσκεται η έδρα τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι είναι περιττό οι θηρευτές να καταβάλουν ενέργεια ώστε να τους γυρίσουν ανάποδα καθώς σε αντίθεση με τα άτομα του *A. lixula* και *P. lividus*, ο *S. granularis* έχει πολύ μικρότερα και όχι τόσο μυτερά αγκάθια. Επιπλέον, είναι πιθανό να είναι δύσκολο

για τους θηρευτές να καταφέρουν και να τον γυρίσουν ανάποδα λόγω του μεγάλου όγκου του (Sievers and Nebelsick 2018).

Αντίθετα, οι αχινοί *A. lixula* και *P. lividus*, εκτός από το ότι διαθέτουν μεγάλα και μυτερά αγκάθια, είναι πολύ καλά προσκολλημένοι πάνω στο βραχώδες υπόστρωμα. Για να μπορέσουν λοιπόν οι θηρευτές να τους ανοίξουν, τους αποκολλούν από το υπόστρωμα που είναι προσκολλημένοι, τους γυρίζουν ανάποδα και τους δαγκώνουν στην περιστοματική μεμβράνη όπου δεν υπάρχουν αγκάθια μέχρι να σπάσουν, ενώ τα άτομα που έχουν διάμετρο μέχρι 1 cm καταναλώνονται ολόκληρα (Sala 1997).

Σύμφωνα με μελέτες, οι ζημιές που προκαλούνται στο κέλυφος του αχινού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον θηρευτή και τον τρόπο θήρευσης. Τα ψάρια προκαλούν μερική ή ολική καταστροφή στο κέλυφος, οι επιθέσεις από καρκινοειδή προκαλούν μεγάλες τρύπες γύρω από τον λίκνο του Αριστοτέλη, άλλα εχινόδερμα όπως ο *M. gracialis* αφήνουν σχεδόν άθικτο το κέλυφος γύρω από αποκολλημένα αγκάθια, ενώ τα γαστερόποδα όπως το *Hexaplex trunculus* αφήνει το κέλυφος άθικτο με μόνο μία μικρή τρύπα (Sala and Zabala 1996).

Επιπλέον, φαίνεται ότι η αλιεία του αχινού από τον άνθρωπο καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την αφθονία του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του *P. lividus* που κατόπιν εξέτασης παρατηρήθηκε να έχει μεγαλύτερη αφθονία σε περιοχές με δύσκολη ανθρώπινη πρόσβαση (Ceccherelli et al. 2011).

Οι αχινοί, λόγω των θηρευτών είναι αναγκασμένοι να αναπτύξουν φυσικούς, χημικούς και συμπεριφορικούς μηχανισμούς για να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στην απειλή των θηρευτών και να μειώσουν την ευπάθεια τους απέναντι σε αυτούς .

### 1.2.2 Μηχανισμοί άμυνας

Βάση των παραπάνω, ο αχινός έχει να αντιμετωπίσει πολλαπλές απειλές και σε διαφορετικό περιβάλλον. Για να μπορέσει να επιβιώσει λοιπόν, θα πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες. Γι' αυτό έχει αναπτύξει διάφορους αμυντικούς μηχανισμούς που του επιτρέπουν την επιβίωσή στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Τα όργανα άμυνας των αχινών, σε οποιαδήποτε απειλή, είναι το κέλυφος μέσω της σκληρότητάς του, οι ποδίσκοι, τα αγκάθια του καθώς και διάφορες τεχνικές καλύψεως και αποκρύψεως (Santos and Flammang 2005, Gianguzza et al. 2009, Gianguzza et al. 2010, Ceccherelli et al. 2011, Cohen-Rengifo et al. 2017). Οι αχινοί πρέπει να αντιμετωπίσουν στατικό φορτίο δύναμης όποτε δέχονται επίθεση από θηρευτή (Strathmann 1981). Όσον αφορά τους ποδίσκους, από αυτούς εξαρτάται το πόσο ισχυρή θα είναι η προσκόλληση του αχινού στο βράχο και κατά συνέπεια θα καθίσταται δυσχερέστερη η αποκόλληση του είτε από τον άνθρωπο και από κάποιο άλλο θαλάσσιο οργανισμό είτε από τα ρεύματα και τα κύματα που δημιουργούνται (Santos and Flammang 2005, Gianguzza et al. 2010, Cohen-Rengifo et al. 2017).

Ο αχινός διαθέτει ποδίσκους τόσο γύρω από το στόμα όσο και γύρω από την έδρα του. Οι ποδίσκοι από την πλευρά που βρίσκεται το στόμα παρουσιάζουν μεγαλύτερη δύναμη και μεγαλύτερο μήκος, σε αντίθεση με τους ποδίσκους που βρίσκονται στο υπόλοιπο κέλυφος (Leddy and Johnson 2000) και παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή (Flammang 1996). Σημαντικός παράγοντας είναι το πλήθος των ποδίσκων αλλά και το υπόστρωμα, όσο περισσότεροι τόσο δυσκολότερη η αποκόλληση του. Κάθε αχινός, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εντοπίζεται έχει διαπιστωθεί ότι παρουσιάζει αποκλίσεις στο μέγεθος, τη δύναμη αλλά και στο πλήθος των ποδίσκων (Santos et al. 2005, Romana and Patrick 2007).

Οι αχινοί του είδους *S. granularis*, οι οποίοι συναντώνται κυρίως σε αμμώδες υπόστρωμα και κατά συνέπεια δεν μπορούν να προσκολληθούν σε αυτό διαθέτουν μικρές αμυντικές αιχμηρές κατασκευές, που περιέχουν τοξίνες οι οποίες ελευθερώνονται μόλις σπάσουν, στους ιστούς του θηρευτή. Αυτή η αμυντική λειτουργία φαίνεται να είναι πολύ αποτελεσματική για την απόθεση γαστερόποδων και αστεροειδών, ενώ φαίνεται να μην αποδίδει ιδιαίτερα στα μεγάλα ψάρια (Sievers and Nebelsick 2018).

### 1.2.3 Αχινός και κλιματική αλλαγή

Τα τελευταία χρόνια η κλιματική αλλαγή έρχεται να προστεθεί ως ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει τη δομή και το DNA (Varrella et al. 2016), την κατανομή και τον πληθυσμό (Albouy et al. 2012) του αχινού.

Η επιβίωση του αχινού σε μεγάλο βαθμό καθορίζεται από τη δύναμη του κελύφους του, καθώς είναι αυτό που θα τον προστατέψει από τους θηρευτές του. Είναι πλέον αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές το κατά πόσο το κέλυφος του αχινού επηρεάζεται από την οξίνιση των ωκεανών (Martin et al. 2011, Moulin et al. 2011, Kroeker et al. 2013, Asnaghi et al. 2014, Bray et al. 2014) από την αύξηση της θερμοκρασίας (Byrne et al. 2014) αλλά και από την υπεριώδη ακτινοβολία (Nahon et al. 2009).

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες έχουν ρόλο κλειδί στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα καθώς αποτελούν έναν απορροφητήρα διοξειδίου του άνθρακα (Gattuso and Hansson 2011). Η οξίνιση προκαλείται από την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα, ενώ λόγω αυτής το pH της θάλασσας μειώνεται. Η μείωση του pH συνεπάγεται με μείωση στη συγκέντρωση ιόντων άνθρακα και κατά συνέπεια μείωση του ανθρακικού ασβεστίου στο θαλασσινό νερό (Martin et al. 2011, Asnaghi et al. 2014).

Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και κατά συνέπεια σε μειωμένο pH έχει βιολογικές συνέπειες τόσο για τα νέα όσο και για ενήλικα άτομα των βενθικών ασβεστοποιητικών οργανισμών που χρησιμοποιούν δομές άνθρακα για να κατασκευάσουν το κέλυφός τους, όπως τα εχινόδερμα (Shirayama and Thornton 2005). Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν πάνω στα εχινόδερμα, η έκθεση σε μειωμένο pH έδειξε μια μείωση στη γονιμοποίηση και επιβίωση των προνυμφών, στην ταχύτητα ανάπτυξης και μεγέθους, ενώ παρατηρήθηκε δυσμορφία στην σκελετική δομή (Dupont et al. 2010).

### 1.3 Αντικείμενο έρευνας

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η ανθεκτικότητα του κελύφους του αχινού είναι σημείο κλειδί για την επιβίωσή του, καθώς είναι και αυτό που τον προστατεύει από τους θηρευτές του. Η ανθεκτικότητά του επηρεάζεται άμεσα από την οξίνιση των ωκεανών ωστόσο, ελάχιστη βιβλιογραφία και δεδομένα υπάρχουν πάνω στην μελέτη του ορίου θραύσης του αχινού στη Μεσόγειο.

Κρίθηκε σκόπιμο λοιπόν, να ερευνηθεί η ανθεκτικότητα του κελύφους των αχινών *A. lixula*, *P. lividus*, *S. granularis*, μέσω της εκτίμησης του ορίου θραύσης μετά από μηχανική πίεση στον Παγασητικό κόλπο. Η επιλογή των ειδών αυτών έγινε διότι οι αχινοί αυτοί βρίσκονται σε αφθονία στη Μεσόγειο και είναι εύκολο να εντοπιστούν και να συλλεχθούν.

Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε έγινε προσπάθεια να συνδεθεί η ανθεκτικότητα των αχινών με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους, ώστε να διερευνήσουμε αν η σκληρότητα του κελύφους επηρεάζεται – εξαρτάται από το μέγεθος, το βάρος ή το φύλλο τους.





## 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Δειγματοληψία

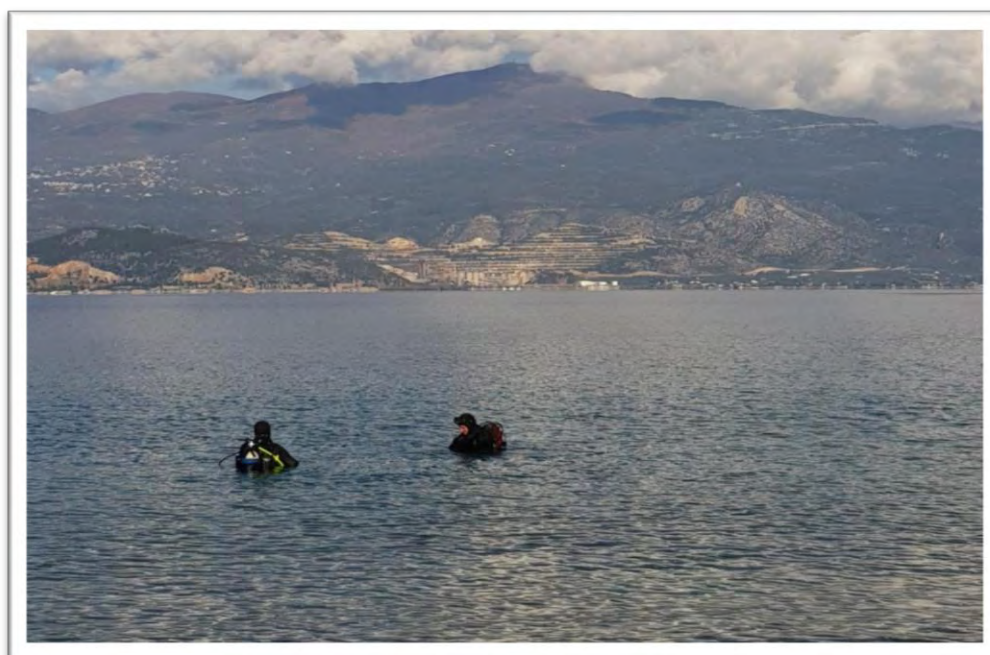
#### 2.1.1 Περιοχή έρευνας

Η περιοχή που επιλέχθηκε για την συλλογή των δειγμάτων είναι ένας μικρός κόλπος με διακριτικό όνομα «ακτή Αμαρυλλίδος» στον Άγιο Στέφανο Βόλου (Εικόνα 2.1, 2.2). Η τοποθεσία αυτή απέχει 10 km περίπου από το κέντρο του Βόλου και είναι προσβάσιμη με αυτοκίνητο. Ο Σταθμός δειγματοληψίας βρίσκεται στο δυτικό κομμάτι του Παγασητικού κόλπου και έχει συντεταγμένες  $39^{\circ}18'22.55''$  N,  $22^{\circ}56'25.61''$  E.

Η επιλογή του σταθμού έγινε βάση της πρότερης εμπειρίας που είχε το τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας έχοντας πραγματοποιήσει μεγάλο αριθμό μελετών στην συγκεκριμένη τοποθεσία, τόσο σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο όσο και σε διδακτορικό (Καζανίδης, Σταμούλη [προπτυχιακές], Ιωαννίδη Βάσια, Τζιάντιου Λαμπρινή [μεταπτυχιακές], Αλέξης Λόλας [διδακτορική]). Επομένως, υπάρχει μια καλή γνώση της φυσιογνωμίας του βυθού της περιοχής.



**Εικόνα 2.1.** Σταθμός δειγματοληψίας και το στίγμα του στον χάρτη



**Εικόνα 2.2** Φωτογραφία σταθμού δειγματοληψίας

### 2.1.2 Διαδικασία Δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία και η συλλογή των δειγμάτων γινόταν με αυτόνομη κατάδυση καθημερινά από τις 6 έως τις 11 Νοεμβρίου του 2017 κατά τις ώρες 10 π.μ. με 12 μ.μ. Το βάθος συλλογής κυμάνθηκε από 0.5 – 10 m. Σε κάθε δειγματοληψία ο αρχικός στόχος ήταν η συλλογή 100 ατόμων από ένα συγκεκριμένο είδος. Λόγω των ειδικών απαιτήσεων και των τεχνικών δυσκολιών που προκύπτουν από μια δειγματοληψία με αυτόνομη κατάδυση, για οικονομία χρόνου, αλλά και γιατί δεν θα μπορούσαν να επεξεργαστούν στο εργαστήριο 100 άτομα καθημερινά, τελικά σε κάθε δειγματοληψία γινόταν συλλογή 50 ατόμων από ένα συγκεκριμένο είδος (Εικόνα 2.3, 2,4).

Για να εξασφαλιστεί η τυχαιότητα στη συλλογή των ατόμων, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας συλλέγονταν περισσότερα από 50 άτομα του είδους. Στο τέλος της δειγματοληψίας, γινόταν τυχαία διαλογή 50 + 5 ατόμων, προκειμένου να υπάρχει απόθεμα, ώστε να αντιμετωπιστούν πιθανά σφάλματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο εργαστήριο. Τα επιλεγμένα άτομα τοποθετούνταν σε βαρέλι με θαλασσινό νερό προκειμένου να μεταφερθούν άμεσα στο εργαστήριο, ενώ τα επιπλέον άτομα επιστρέφονταν στη θάλασσα (Εικόνα 2.5).



**Εικόνα 2.3** Φωτογραφία από την αποκόλληση και συλλογή των ατόμων από το βραχώδες υπόστρωμα



**Εικόνα 2.4** Φωτογραφία από το τέλος της δειγματοληψίας και μεταφορά των δειγμάτων στα ρηχά ώστε να γίνει η διαλογή τους





**Εικόνα 2.5** Φωτογραφία από τη μέτρηση και επιλογή των ατόμων για μεταφορά στο εργαστήριο

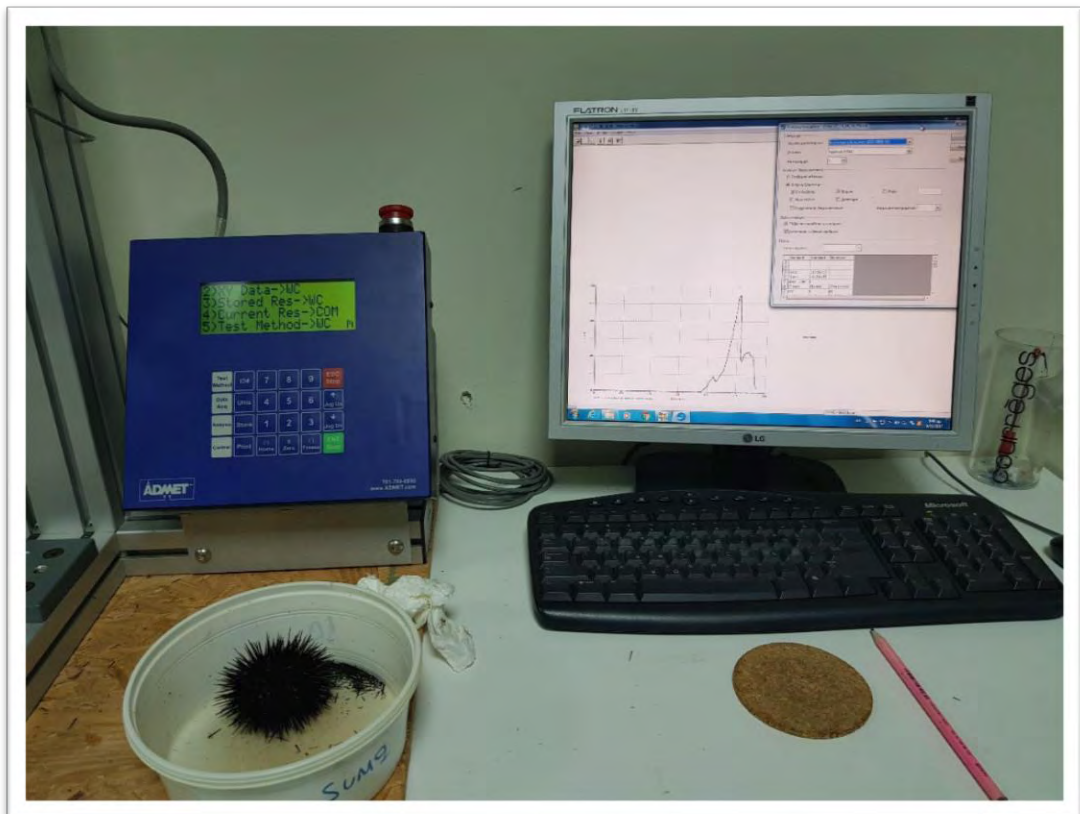
## 2.2 Προσδιορισμός Σκληρότητας

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας του κελύφους του αχινού έγινε με ειδικό μηχάνημα θραύσης και μέτρηση πίεσης σε Newton (texture analyzer, ADMET – AEGIS Model SM 250)(Εικόνα 2.5).

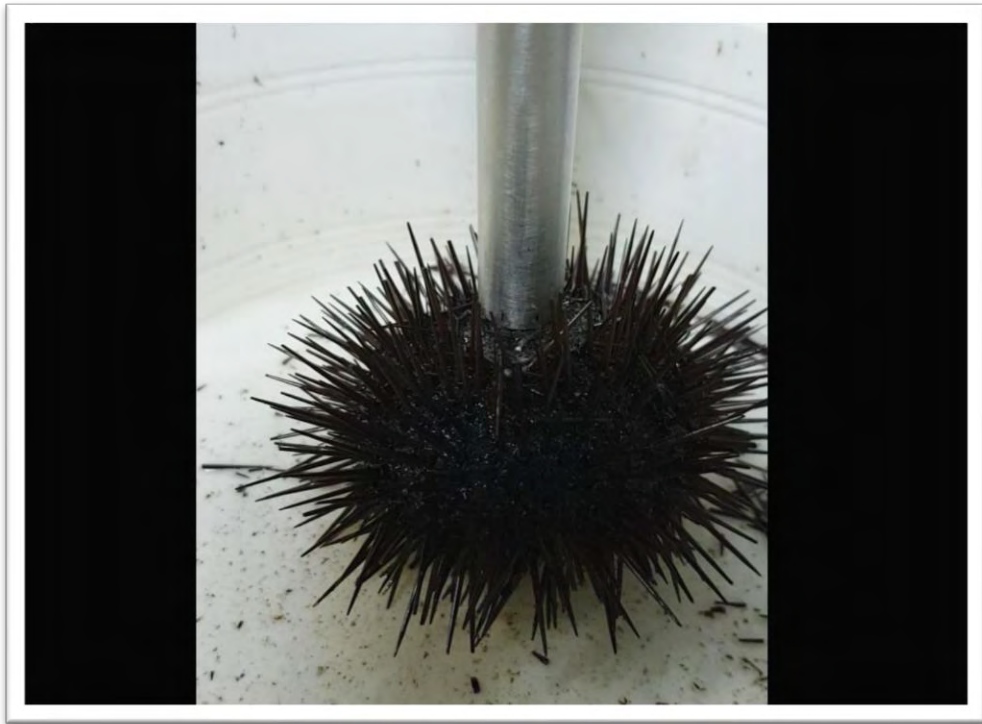
Αρχικά, για κάθε άτομο μετρήθηκαν οι σημαντικότεροι μορφομετρικοί χαρακτήρες του και πιο συγκεκριμένα: το βάρος (W) με ακρίβεια 0.1 g, τη ύψος (H) και η διάμετρος (D) με ακρίβεια 0.1 mm. Τα δείγματα, στη συνέχεια τοποθετούνταν στο μηχάνημα κάτω από έμβολο διαμέτρου 15 mm, με τρόπο ώστε η έδρα τους να βρίσκεται ακριβώς κάτω από έμβολο. Για μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων η περιοχή γύρω από την έδρα των

αχινών καθαριζόταν από τα αγκάθια ώστε η καταγεγραμμένη πίεση θραύσης να αφορά μόνο το κέλυφος (Εικόνα 2.6).

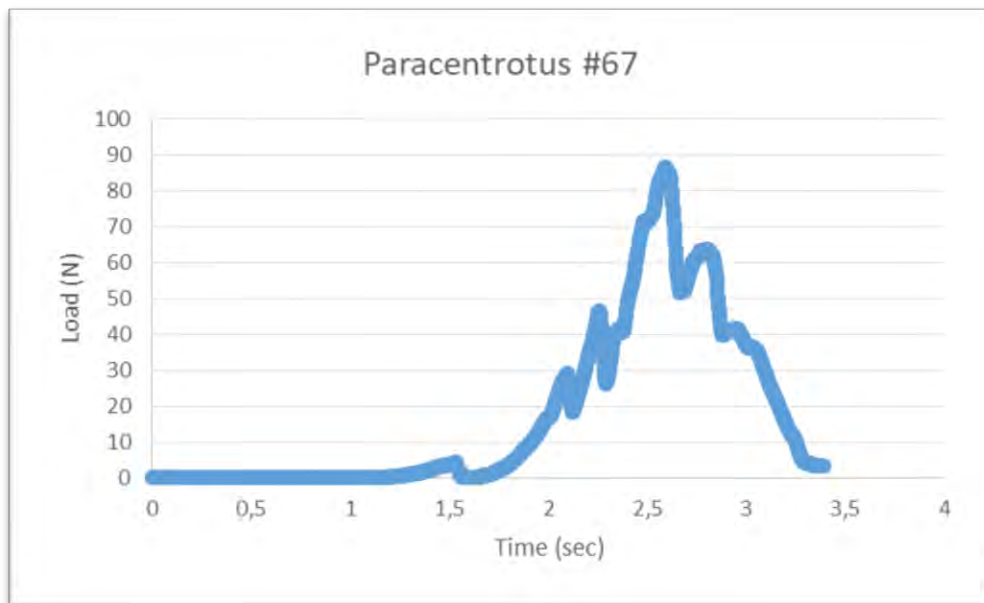
Το έμβολο κατέβαινε με σταθερή ταχύτητα και ασκούσε σταδιακά πίεση στην επιφάνεια του αχινού. Μετά από κάθε μέτρηση γινόταν εξαγωγή των αποτελεσμάτων πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέτρηση την οποία καταγράψαμε για να περιγράψουμε την σκληρότητα του κελύφους ήταν η μέγιστη πίεση που ασκήθηκε στο κάθε άτομο κατά τη διάρκεια της πίεσης του από το έμβολο (Γράφημα 2.1.).



**Εικόνα 2.5** Φωτογραφία μηχανήματος μηχανικής θραύσης (texture analyzer, ADMET – AEGIS Model SM 250)



**Εικόνα 2.6** Φωτογραφία από τη μηχανική θραύση ατόμου *P. lividus*



**Εικόνα 2.6** Χαρακτηριστική καμπύλη των μετρήσεων της μηχανικής πίεσης στο κελύφους ατόμου του είδους *P. lividus*. Η κορυφή της καμπύλης δηλώνει το σημείο θραύσης



### 2.3 Στατιστική Ανάλυση

Για την εξαγωγή των στατιστικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Microsoft EXCEL και Statgraphics. Για το κάθε είδος αχινού πραγματοποιήθηκε γραμμική παλινδρόμηση με σκοπό να βρεθεί αν η διάμετρος, το ύψος ή το βάρος του αχινού επηρεάζει σημαντικά την αντοχή του κελύφους του, για τον προσδιορισμό της συσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν 27 μοντέλα ώστε να βρεθεί πιο ανταποκρίνεται καλύτερα. Στη συνέχεια έγινε t-test, ώστε να διευκρινιστεί αν το φύλο του αχινού καθορίζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την σκελετική αντοχή του. Τέλος πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANalysis Of VAriance – ANOVA), μεταξύ των ειδών και της μέγιστης δύναμης στο σημείο θραύσης που δέχθηκε το κάθε άτομο ώστε να εξακριβώσουμε αν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των ειδών στην αντοχή σκελετικής δομής τους.

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αχινός *Arbacia lixula*

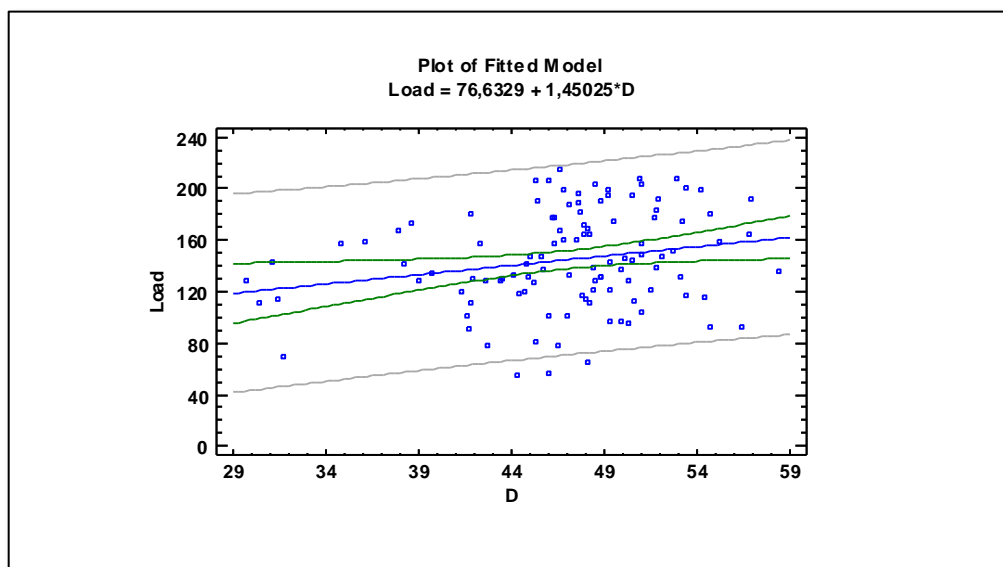
##### 3.1.1 Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ της διαμέτρου του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = 76.6329 + 1.45025 * D, \text{ Γράφημα 3.1}$$

Correlation Coefficient	0,22
R-squared	4,8 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και D η διάμετρος του.



**Γράφημα 3.1** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και διαμέτρου(D) για τον *A. Lixula*

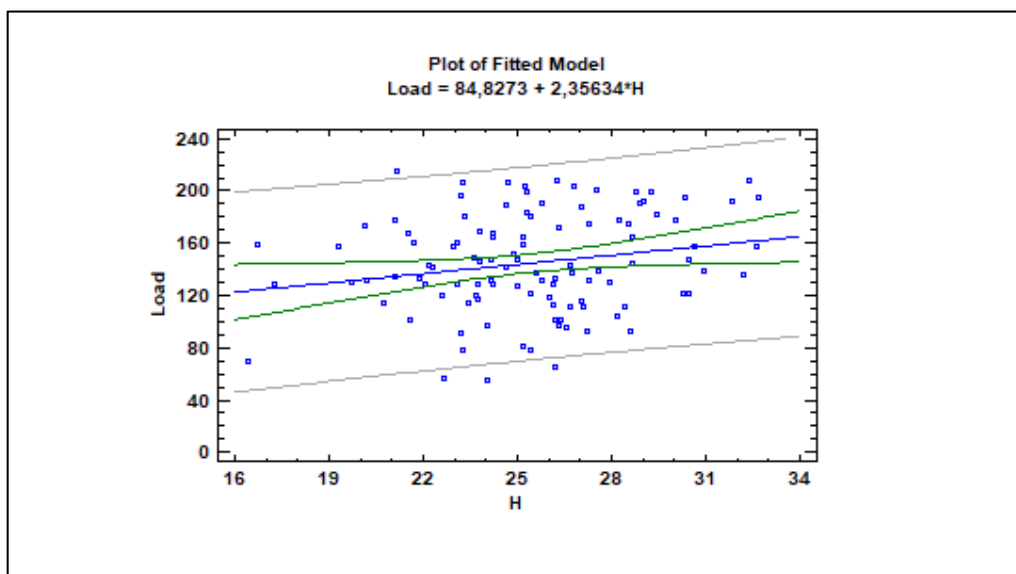
### 3.1.2 Ύψος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ύψους του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = 84.8273 + 2.35634 \cdot H, \text{ Γράφημα 3.2}$$

Correlation Coefficient	0,21
R-squared	4,34 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και H το ύψος του.



**Γράφημα 3.2** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και ύψους (H) για τον *A. lixula*

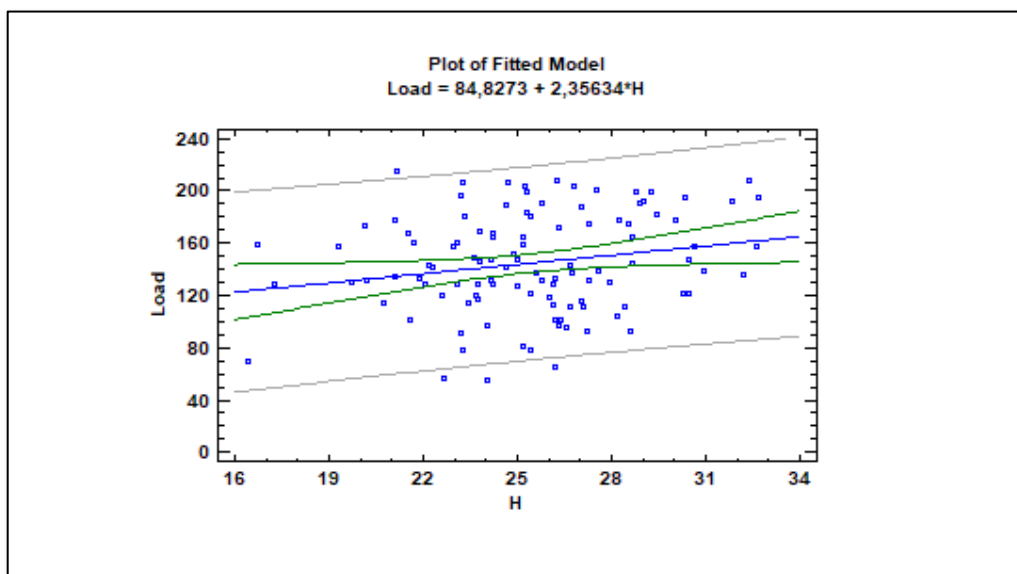
### 3.1.3 Βάρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του Βάρους του αχινού και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = 105.402 + 0.814822 * W, \text{ Γράφημα 3.3}$$

Correlation Coefficient	0,25
R-squared	6,4 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και W το βάρος του.



**Γράφημα 3.2** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και του βάρους (W) για τον *A. lixula*

### 3.1.4 Φύλλο και σκληρότητα κελύφους

Για να προσδιορίσουμε αν το φύλλο του αχινού μπορεί να επηρεάσει σε κάποιο στατιστικά σημαντικό βαθμό τη σκληρότητα του κελύφους πραγματοποιήθηκε ANOVA διαχωρίζοντας τα δείγματά μας σε θηλυκά (F) και αρσενικά (M). Τα αποτελέσματα της μέτρησης αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.1).

**Πίνακας 3.1** Αποτελέσματα t-test μεταξύ των αρσενικών (M) και θηλυκών (F) σε σχέση με την πίεση θραύσης για τον *A. lixula*

	F	M
Μέσος	138,7058824	150,0172414
Διακύμανση	1376,611765	1442,718996
Μέγεθος δείγματος	51	58
Διάμεση διακύμανση	1411,827766	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	107	
t	-1,568230022	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,05989006	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,659219312	
P(T<=t) δίπλευρη	0,119780119	
t κρίσιμο, δίπλευρο	1,98238337	

## 3.2 Αχινός *Paracentrotus lividus*

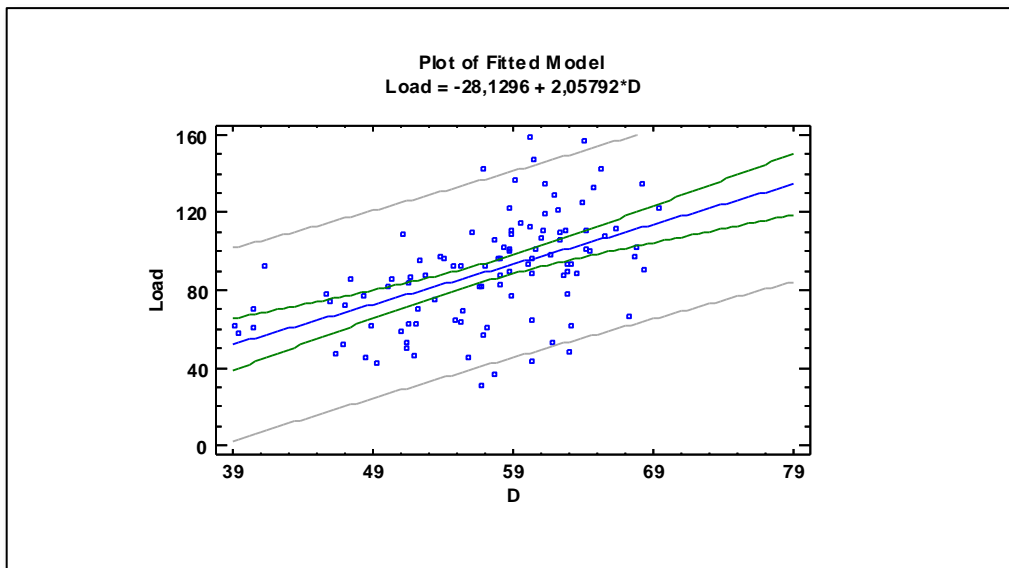
### 3.2.1 Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ της διαμέτρου του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = -28.1296 + 2.05792 * D, \text{ Γράφημα 3.4}$$

Correlation Coefficient	0,5
R-squared	25,49 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και D η διάμετρος του.



**Γράφημα 3.4** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και διαμέτρου(D) για τον *P. lividus*

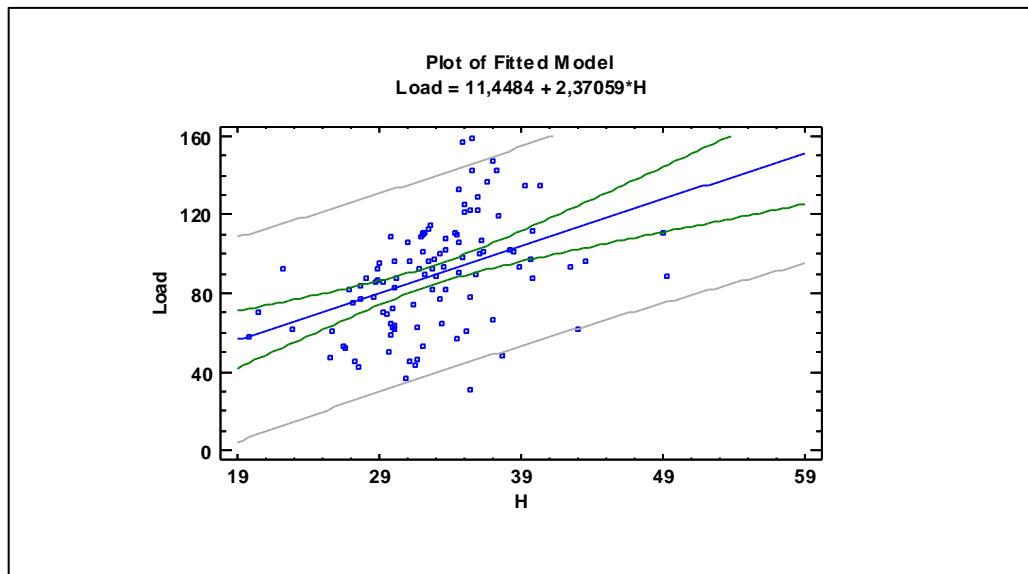
### 3.2.2 Ύψος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ύψους του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = 11.4484 + 2.37059 \cdot H, \text{ Γράφημα 3.5}$$

Correlation Coefficient	0,43
R-squared	18,2 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και H το ύψος του.



**Γράφημα 3.5** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και ύψους (H) για τον *P. Lividus*

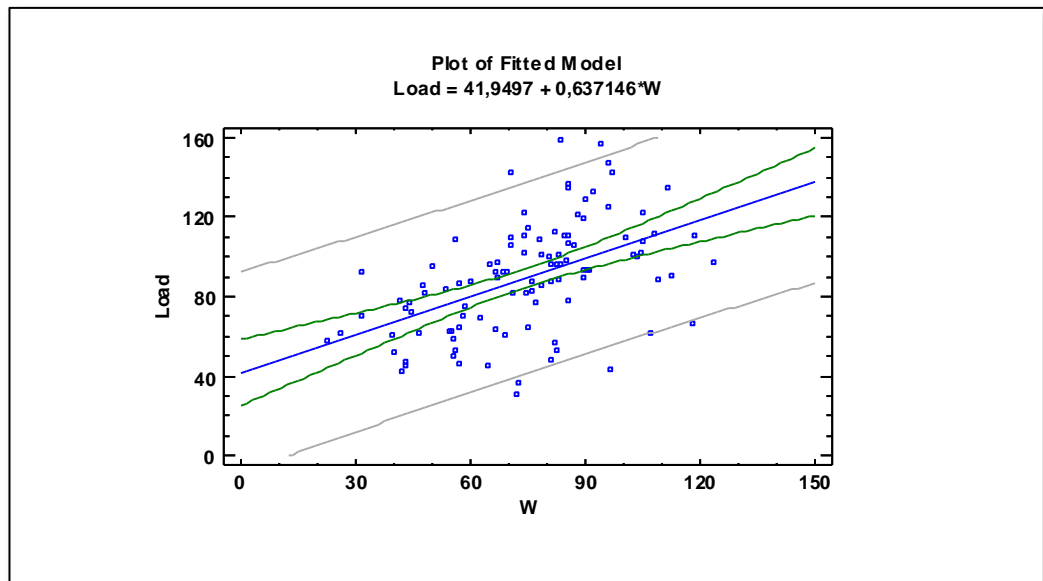
### 3.2.3 Βάρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του Βάρους του αχινού και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση.

Load = 41.9497 + 0.637146\*W, **Γράφημα 3.6**

Correlation Coefficient	0,5
R-squared	25,1 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και W το βάρος του.



**Γράφημα 3.6** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και του βάρους (W) για τον *P. lividus*, με εξίσωση  $Load = 41,9497 + 0,637146 \cdot W$ ,  $R^2 = 0.25$ , correlation = 0.5

### 3.2.4 Φύλλο και σκληρότητα κελύφους

Για να προσδιορίσουμε αν το φύλλο του αχινού μπορεί να επηρεάσει σε κάποιο στατιστικά σημαντικό βαθμό τη σκληρότητα του κελύφους πραγματοποιήσαμε t-test διαχωρίζοντας τα δείγματά μας σε θηλυκά (F) και αρσενικά (M). Τα αποτελέσματα της μέτρησης αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2).



**Πίνακας 3.2** Αποτελέσματα t-test μεταξύ των αρσενικών (M) και θηλυκών (F) σε σχέση με την πίεση θραύσης για τον *P. lividus*

	<i>F</i>	<i>M</i>
Μέσος	93,84615385	85,03773585
Διακύμανση	730,1719457	780,6523948
Μέγεθος δείγματος	52	53
Διάμεση διακύμανση	755,657221	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	103	
t	1,641649559	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,051856324	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,659782273	
P(T<=t) δίπλευρη	0,103712648	
t κρίσιμο, δίπλευρο	1,983264145	

### 3.3 Αχνός *Spaerechinus granularis*

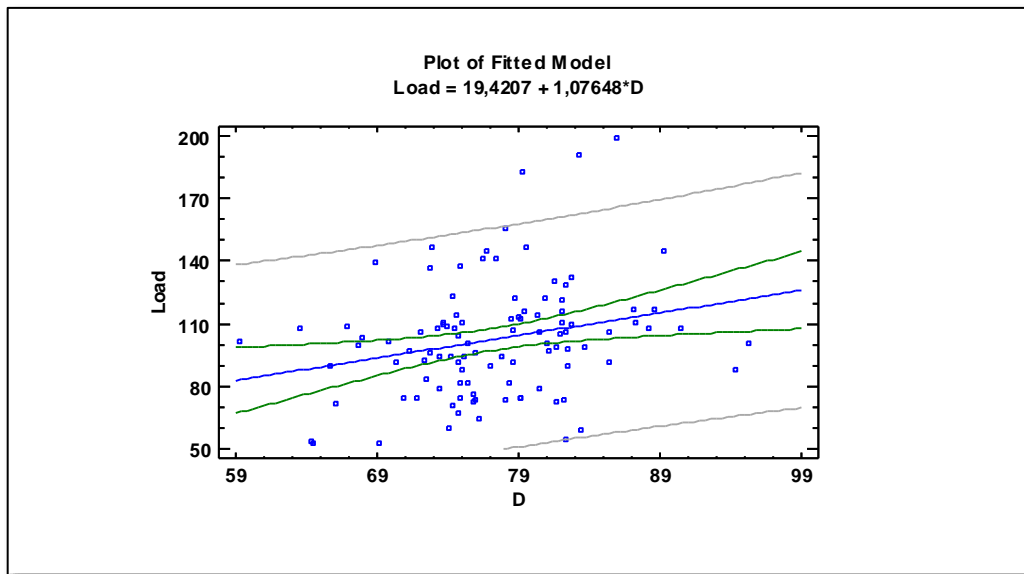
#### 3.3.1 Διάμετρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ της διαμέτρου του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Load} = 19.4207 + 1.07648 \cdot D, \text{ Γράφημα 3.7}$$

Correlation Coefficient	0,25
R-squared	6,32 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και D η διάμετρος του.



**Γράφημα 3.7** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και διαμέτρου(D) για τον *S. granularis*

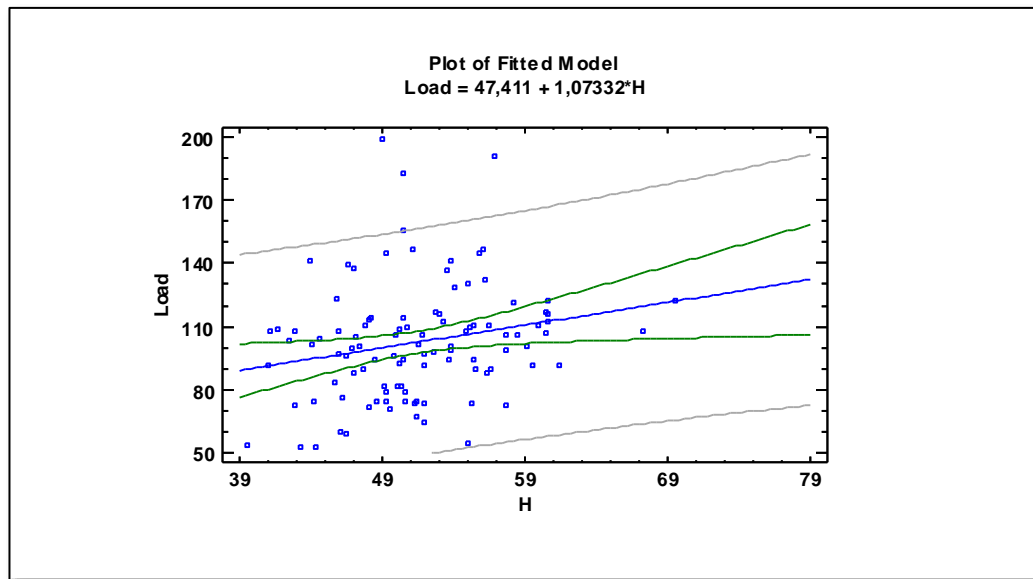
### 3.3.2 Ύψος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ύψους του κελύφους και της σκληρότητάς του περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

**Load = 47.411 + 1.07332\*H, Γράφημα 3.8**

Correlation Coefficient	0,22
R-squared	4,9 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και H το ύψος του.



**Γράφημα 3.8** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και ύψους (H) για τον *S. granularis*

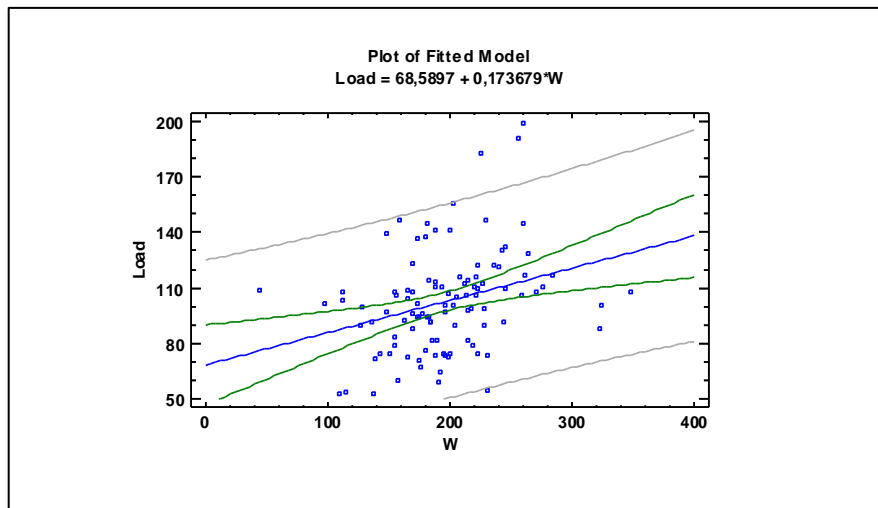
### 3.3.3 Βάρος και σκληρότητα κελύφους

Η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ του Βάρους του αχινοῦ και της σκληρότητάς του κελύφους περιγράφεται από την παρακάτω σχέση.

Load = 68.5897 + 0.173679\*W, **Γράφημα 3.9**

Correlation Coefficient	0,31
R-squared	9,27 %

Όπου Load η δύναμη σε Newton που χρειάστηκε ώστε να επιτευχθεί η θραύση του κελύφους και W το βάρος του.



**Γράφημα 3.9** Γράφημα διασποράς μεταξύ πίεσης θραύσης (Load) και του βάρους (W) για τον *S. granularis*

### 3.3.4 Φύλλο και σκληρότητα κελύφους

Για να προσδιορίσουμε αν το φύλλο του αχινού μπορεί να επηρεάσει σε κάποιο στατιστικά σημαντικό βαθμό τη σκληρότητα του κελύφους πραγματοποιήσαμε t-test διαχωρίζοντας τα δείγματά μας σε θηλυκά (F) και αρσενικά (M). Τα αποτελέσματα της μέτρησης αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2).

**Πίνακας 3.3** Αποτελέσματα t-test μεταξύ των αρσενικών (M) και θηλυκών (F) σε σχέση με την πίεση θραύσης για τον *S. granularis*

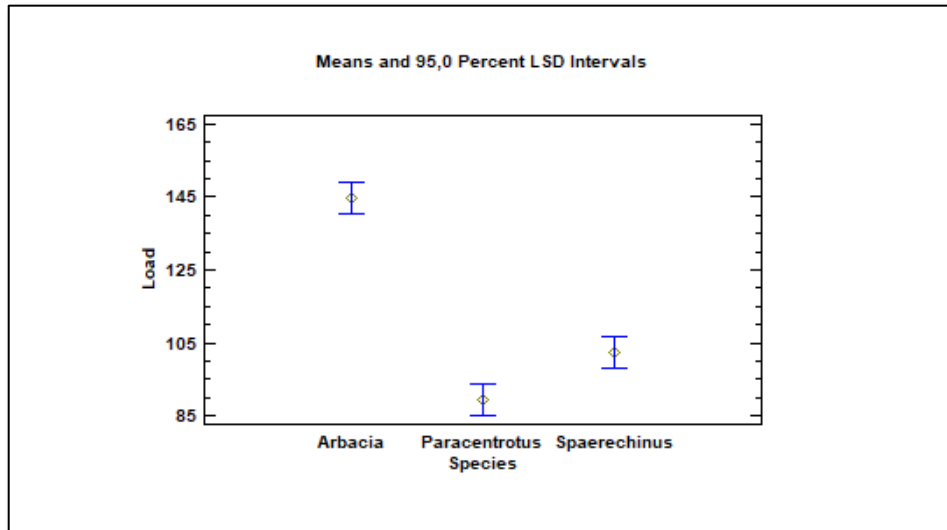
	F	M
Μέσος	100,9285714	104,5813953
Διακύμανση	624,3606272	885,6301218
Μέγεθος δείγματος	42	43
Διάμεση διακύμανση	756,5692871	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσω των βαθμοί ελευθερίας	0	83
t	-0,612144279	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,271057831	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,663420175	
P(T<=t) δίπλευρη	0,542115662	
t κρίσιμο, δίπλευρο	1,98895978	

### 3.4 Ανάλυση διακύμανσης σκληρότητας κελύφους (ANOVA)

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναγράφονται στον πίνακα (Πίνακας 3.4). Τέλος για να προσδιοριστεί η σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των δειγμάτων πραγματοποιήσαμε LSD-test (Least Significant Difference) της οποίας τα αποτελέσματα αναγράφονται στο γράφημα (Γράφημα 3.10).

**Πίνακας 3.4** Αποτελέσματα ANOVA μεταξύ των ειδών *A. lixula*, *P. lividus*, *S. granularis*, σε σχέση με την πίεση θραύσης

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	179369,	2	89684,5	90,49	0,0000
Within groups	312198,	315	991,103		
Total (Corr.)	491567,	317			



**Γράφημα 3.10** Γράφημα αποτελεσμάτων ανάλυσης LSD για τις μέσες τιμές θραύσης των ειδών, *P.lividus* = 89.4 N, *S. granularis* = 102.62 N, *A. lixula* = 144.73 N

### 3.5 Σύνθεση αποτελεσμάτων μεταξύ των ειδών

Οι σχέσεις που περιγράφουν τη σκληρότητα του κελύφους σε σχέση με τη διάμετρο (Πίνακας 3.5), το ύψος (Πίνακας 3.6) και το βάρος του αχινού (Πίνακας 3.7) για τον *A. lixula*, *P. lividus* και *S. granularis* όπως περιεγράφηκαν παραπάνω αναγράφονται συγκεντρωτικά στους παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 3.5** Σχέσεις που προέκυψαν μετά τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων θραύσης συναρτήσει της διαμέτρου των ατόμων, όπου D η διάμετρος και Load η δύναμη που ασκήθηκε μέχρι τη θραύση

<i>Είδος</i>	<i>Σχέση</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	<i>R-squared</i>
<i>A. lixula</i>	Load = 76,6329 + 1,45025*D	0,22	4,8 %
<i>P. lividus</i>	Load = -28,1296 + 2,05792*D	0,5	25,49 %
<i>S. granularis</i>	Load = 19,4207 + 1,07648*D	0,25	6,32 %

**Πίνακας 3.6** Σχέσεις που προέκυψαν μετά τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων θραύσης συναρτήσει του ύψους των ατόμων, όπου H το ύψος και Load η δύναμη που ασκήθηκε μέχρι τη θραύση

<i>Είδος</i>	<i>Σχέση</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	<i>R-squared</i>
<i>A. lixula</i>	Load = 84,8273 + 2,35634*H	0,21	4,34 %
<i>P. lividus</i>	Load = 11,4484 + 2,37059*H	0,5	25,1 %
<i>S. granularis</i>	Load = 47,411 + 1,07332*H	0,22	4,9 %

**Πίνακας 3.7** Σχέσεις που προέκυψαν μετά τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων θραύσης συναρτήσει του βάρους των ατόμων, όπου W το βάρος και Load η δύναμη που ασκήθηκε μέχρι τη θραύση

<i>Είδος</i>	<i>Σχέση</i>	<i>Correlation Coefficient</i>	<i>R-squared</i>
<i>A. lixula</i>	Load = 105,402 + 0,814822*W	0,25	6,4 %
<i>P. lividus</i>	Load = 41,9497 + 0,637146*W	0,43	18,2 %
<i>S. granularis</i>	Load = 68,5897 + 0,173679*W	0,31	9,27 %

## 4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Σχέση σκληρότητας κελύφους με τη διάμετρο του αχινού

Τα άτομα του *P. lividus* έδειξαν να έχουν μια ισχυρή θετική συσχέτιση ανάμεσα στη διάμετρό και την ανθεκτικότητα του κελύφους τους με  $r=0.5$ . Ωστόσο, η σχέση αυτή περιέγραφε μόνο το 25,49 % των ατόμων που αναλύθηκαν. Τα άτομα των *A. lixula* και *S. granularis* είχαν μια θετική αλλά ασθενή σχέση μεταξύ της διαμέτρου τους και της πίεσης που μπορούσαν να δεχθούν με  $r=0.22$ ,  $0.25$  αντίστοιχα. Οι σχέσεις αυτές ωστόσο, περιέγραφαν ακόμα μικρότερο ποσοστό των ατόμων. Συγκεκριμένα, περιέγραφαν το 4,8 % των δειγμάτων για τον *A. lixula* και το 6,32 % για τον *S. granularis*.

Τα αποτελέσματά μας διαφέρουν λίγο με αυτά άλλης έρευνας (Guidetti and Mori 2005), όπου βρέθηκε ότι για τους πληθυσμούς του *A. lixula* και *P. lividus* υπάρχει μια ισχυρή σχέση ανάμεσα στη διάμετρο του ατόμου και στην μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχθεί με  $R^2$  79 % και 69 % αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή είναι πιθανό να οφείλεται στη διαφορετική μέθοδο θραύσης. Η διερεύνηση του σημείου θραύσης των αχινών στη δική μας εργασία πραγματοποιήθηκε μετά από άσκηση πίεσης πάνω σε ένα μικρό σημείο του κελύφους πάνω στην έδρα του αχινού και όχι σε ολόκληρή τη σκελετική δομή του.

Είναι γεγονός πως η σκελετική δομή ενός οργανισμού αλλά και η ανθεκτικότητά του διαμορφώνεται από το συνδυασμό πολλών παραγόντων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας η διάμετρος είναι ένας από αυτούς τους, αλλά δεν είναι ο μοναδικός. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη και ότι η πίεση ασκήθηκε σε ένα μικρό κομμάτι του κελύφους, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα χαμηλά ποσοστά στο  $R^2$  των σχέσεων που βρέθηκαν ήταν



αναμενόμενα. Εκτός από τη γραμμική συσχέτιση δοκιμάστηκαν στο σύνολο 27 μαθηματικά μοντέλα, ωστόσο κανένα δεν μπόρεσε να εκφράσει τη σχέση διαμέτρου-ανθεκτικότητας κελύφους σε μεγαλύτερο ποσοστό.

#### 4.2 Σχέση σκληρότητας κελύφους με άλλες παραμέτρους

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των υπολοίπων παραμέτρων σε σχέση με την σκληρότητα του κελύφους τόσο για το ύψος, όσο και για το βάρος, κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα με αυτά της διαμέτρου.

Συγκεκριμένα, για τον *A. lixula* οι σχέσεις που περιγράφουν τη σκληρότητα του κελύφους σε συνάρτηση με το ύψος και το βάρος του είχαν ασθενή θετική συσχέτιση με  $r= 0.21$  ,  $R^2 = 4.34\%$  και  $r=0.25$ ,  $R^2 = 6.4\%$  αντίστοιχα. Για τον *P. lividus* η σχέση που περιγράφει τη σκληρότητα του κελύφους σε συνάρτηση με το ύψους του είχε ισχυρή θετική συσχέτιση με  $r=0.5$  και  $R^2 = 25.1\%$ . Ενώ, η σχέση της σκληρότητας του κελύφους σε συνάρτηση με το βάρος του είχε μια ασθενή θετική συσχέτιση με  $r= 0.43$  και  $R^2 = 18.2\%$ . Για τον *S. granularis* οι σχέσεις που περιγράφουν τη σκληρότητα του κελύφους σε συνάρτηση με το ύψος και το βάρος του είχαν ασθενή θετική συσχέτιση με  $r= 0.22$  ,  $R^2 = 4.39\%$  και  $r=0.31$ ,  $R^2 = 6.4\%$  αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενο να έχουν μια μικρή έως καθόλου απόκλιση σε σχέση με τα αντίστοιχα της διαμέτρου, καθώς το βάρος ενός ατόμου είναι απόλυτα συνδεδεμένο με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τον συνολικό του όγκο (διάμετρος, ύψος) και λόγω της σκελετικής μορφολογίας του αχινού το ύψος των ατόμων έχει άμεση σύνδεση με τη διάμετρό τους.

Τα αποτελέσματα της t-test για να βρεθεί αν το φύλο των ατόμων προσδιορίζει σε κάποιο βαθμό την αντοχή της σκελετικής δομής των ατόμων έδειξαν ότι το φύλο δεν επηρεάζει σε κανένα βαθμό τα άτομα του *A. lixula*, *P. Lividus* και *S. granularis* με P-Value 0.06, 0.052 και 0.27 αντίστοιχα.

#### 4.3 Διαφορά στη σκληρότητα των ειδών

Μετά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων στη σκληρότητα των ειδών βγήκε το συμπέρασμα ότι η αντοχή τους στην πίεση διαφέρει σημαντικά με P-Value πολύ μικρότερο από το όριο του 0.05.

Το κέλυφος των ατόμων του *A. lixula* είχαν την μεγαλύτερη αντοχή στην πίεση με μέση τιμή 144.73 Newton, ενώ αυτά του *P. lividus* είχαν μέση η τιμή 89.4 Newton. Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν πλήρως με την έρευνα (Guidetti and Mori 2005) όπου η διαφορά των ειδών αυτών είχαν παρόμοιο εύρος. Τα άτομα του είδους *S. granularis* είχαν μέση τιμή 102.62 Newton. Συγκρίνοντας τα δεδομένα αυτά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα άτομα του *A. lixula* είναι αυτά που μπορούν να αντέχουν με διαφορά την μεγαλύτερη στατική πίεση, ενώ το κέλυφος του *P. lividus* φαίνεται να μην είναι τόσο ανθεκτικό στην πίεση.



## 5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albouy, C., F. Guilhaumon, M. B. Araújo, D. Mouillot and F. Leprieur (2012). "Combining projected changes in species richness and composition reveals climate change impacts on coastal Mediterranean fish assemblages." Global Change Biology **18**(10): 2995-3003.
- Asnaghi, V., L. Mangialajo, J.-P. Gattuso, P. Francour, D. Privitera and M. Chiantore (2014). "Effects of ocean acidification and diet on thickness and carbonate elemental composition of the test of juvenile sea urchins." Marine Environmental Research **93**: 78-84.
- Bošnjak, I., T. Šegvić, T. Smital, J. Franekić and I. Mladineo (2011). "Sea Urchin Embryotoxicity Test for Environmental Contaminants—Potential Role of the MRP Proteins." Water, Air, & Soil Pollution **217**(1): 627-636.
- Bray, L., M. A. Pancucci-Papadopoulou and J. M. Hall-Spencer (2014). "Sea urchin response to rising pCO<sub>2</sub> shows ocean acidification may fundamentally alter the chemistry of marine skeletons." Mediterranean Marine Science; Vol 15, No 3 (2014).
- Byrne, M., A. M. Smith, S. West, M. Collard, P. Dubois, A. Graba-landry and S. A. Dworjanyn (2014). "Warming Influences Mg<sup>2+</sup> Content, While Warming and Acidification Influence Calcification and Test Strength of a Sea Urchin." Environmental Science & Technology **48**(21): 12620-12627.
- Caldeira, K. and M. E. Wickett (2003). "Anthropogenic carbon and ocean pH." Nature **425**(6956): 365-365.
- Caldeira, K. and M. E. Wickett (2005). "Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean." Journal of Geophysical Research: Oceans **110**(C9).
- Caspers, H. (1968). "ENRICO TORTONESE: Echinodermata. Fauna d'Italia VI. 186 fig., Bologna: Edizioni Calderini 1965. 424 pp. L. 5000." Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie **53**(1): 163-163.
- Ceccherelli, G., A. Pais, S. Pinna, N. Sechi and L. A. Chessa (2011). "Human impact on *Paracentrotus lividus*: the result of harvest restrictions and accessibility of locations." Marine Biology **158**(4): 845-852.

- Cohen-Rengifo, M., C. Moureaux, P. Dubois and P. Flammang (2017). "Attachment capacity of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in a range of seawater velocities in relation to test morphology and tube foot mechanical properties." Marine Biology **164**(4): 79.
- Collard, M., S. P. S. Rastrick, P. Calosi, Y. Demolder, J. Dille, H. S. Findlay, J. M. Hall-Spencer, M. Milazzo, L. Moulin, S. Widdicombe, F. Dehairs and P. Dubois (2015). "The impact of ocean acidification and warming on the skeletal mechanical properties of the sea urchin *Paracentrotus lividus* from laboratory and field observations." ICES Journal of Marine Science **73**(3): 727-738.
- Danovaro, R., S. Fonda Umani and A. Pusceddu (2009). "Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea." PLOS ONE **4**(9): e7006.
- Dias, B. B., M. B. Hart, C. W. Smart and J. M. Hall-Spencer (2010). "Modern seawater acidification: the response of foraminifera to high-CO<sub>2</sub> conditions in the Mediterranean Sea." Journal of the Geological Society **167**(5): 843-846.
- Duffy, J. E. (2001). "The ecology and evolution of marine consumer-prey interactions." Marine community ecology.
- Dupont, S., O. Ortega-Martínez and M. Thorndyke (2010). "Impact of near-future ocean acidification on echinoderms." Ecotoxicology **19**(3): 449-462.
- Feely, R. A., S. R. Alin, J. Newton, C. L. Sabine, M. Warner, A. Devol, C. Krembs and C. Maloy (2010). "The combined effects of ocean acidification, mixing, and respiration on pH and carbonate saturation in an urbanized estuary." Estuarine, Coastal and Shelf Science **88**(4): 442-449.
- Flammang, P. (1996). "Adhesion in echinoderms." Echinoderm studies **5**.
- Gattuso, J.-P. and L. Hansson (2011). "Ocean acidification: background and history." Ocean acidification: 1-20.
- Gianguzza, P., C. Bonaviri and P. Guidetti (2009). "Crushing predation of the spiny star *Marthasterias glacialis* upon the sea urchin *Paracentrotus lividus*." Marine Biology **156**(5): 1083-1086.
- Gianguzza, P., C. Bonaviri, G. Milisenda, A. Barcellona, D. Agnetta, T. Vega Fernández and F. Badalamenti (2010). "Macroalgal assemblage type affects predation pressure

- on sea urchins by altering adhesion strength." Marine Environmental Research **70**(1): 82-86.
- Gianguzza, P., G. Visconti, F. Gianguzza, S. Vizzini, G. Sarà and S. Dupont (2014). "Temperature modulates the response of the thermophilous sea urchin *Arbacia lixula* early life stages to CO<sub>2</sub>-driven acidification." Marine Environmental Research **93**: 70-77.
- Guidetti, P. (2004). "Consumers of sea urchins, *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula*, in shallow Mediterranean rocky reefs." Helgoland Marine Research **58**(2): 110-116.
- Guidetti, P. and M. Mori (2005). "Morpho-functional defences of Mediterranean sea urchins, *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula*, against fish predators." Marine Biology **147**(3): 797-802.
- Guillou, M. and C. Michel (1993). "Reproduction and growth of *Sphaerechinus granularis* (Echinodermata: Echinoidea) in southern Brittany." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **73**(1): 179-192.
- Hairston, N. G., F. E. Smith and L. B. Slobodkin (1960). "Community Structure, Population Control, and Competition." The American Naturalist **94**(879): 421-425.
- Koukouras, A., A. I. Sinis, D. Bobori, S. Kazantzidis and M. S. Kitsos (2007). The echinoderm (Deuterostomia) fauna of the Aegean Sea, and comparison with those of the neighbouring seas.
- Kroeker, K. J., R. L. Kordas, R. Crim, I. E. Hendriks, L. Ramajo, G. S. Singh, C. M. Duarte and J.-P. Gattuso (2013). "Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming." Global Change Biology **19**(6): 1884-1896.
- Leddy, H. A. and A. S. Johnson (2000). "Walking versus breathing: mechanical differentiation of sea urchin podia corresponds to functional specialization." The Biological Bulletin **198**(1): 88-93.
- Lejeune, C., P. Chevaldonné, C. Pergent-Martini, C. F. Boudouresque and T. Pérez (2010). "Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea." Trends in Ecology & Evolution **25**(4): 250-260.
- Logan, C. A. (2010). "A Review of Ocean Acidification and America's Response." BioScience **60**(10): 819-828.

- Martin, S., S. Richier, M.-L. Pedrotti, S. Dupont, C. Castejon, Y. Gerakis, M.-E. Kerros, F. Oberhänsli, J.-L. Teyssié, R. Jeffree and J.-P. Gattuso (2011). "Early development and molecular plasticity in the Mediterranean sea urchin *Paracentrotus lividus* exposed to CO<sub>2</sub>-driven acidification." The Journal of Experimental Biology **214**(8): 1357.
- Moulin, L., A. I. Catarino, T. Claessens and P. Dubois (2011). "Effects of seawater acidification on early development of the intertidal sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816)." Marine Pollution Bulletin **62**(1): 48-54.
- Moureaux, C., A. Pérez-Huerta, P. Compère, W. Zhu, T. Leloup, M. Cusack and P. Dubois (2010). "Structure, composition and mechanical relations to function in sea urchin spine." Journal of Structural Biology **170**(1): 41-49.
- Nahon, S., V. A. Castro Porras, A. M. Pruski and F. Charles (2009). "Sensitivity to UV radiation in early life stages of the Mediterranean sea urchin *Sphaerechinus granularis* (Lamarck)." Science of The Total Environment **407**(6): 1892-1900.
- Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont, L. Bopp, S. C. Doney, R. A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, R. M. Key, K. Lindsay, E. Maier-Reimer, R. Matear, P. Monfray, A. Mouchet, R. G. Najjar, G.-K. Plattner, K. B. Rodgers, C. L. Sabine, J. L. Sarmiento, R. Schlitzer, R. D. Slater, I. J. Totterdell, M.-F. Weirig, Y. Yamanaka and A. Yool (2005). "Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms." Nature **437**(7059): 681-686.
- Peyron, O., S. Goring, I. Dormoy, U. Kotthoff, J. Pross, J.-L. de Beaulieu, R. Drescher-Schneider, B. Vannièrè and M. Magny (2011). "Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accesa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece)." The Holocene **21**(1): 131-146.
- Ries, J. B. (2011). "Skeletal mineralogy in a high-CO<sub>2</sub> world." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **403**(1): 54-64.
- Romana, S. and F. Patrick (2007). "Intra- and interspecific variation of attachment strength in sea urchins." Marine Ecology Progress Series **332**: 129-142.

- Sala, E. (1997). "Fish predators and scavengers of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in protected areas of the north-west Mediterranean Sea." Marine Biology **129**(3): 531-539.
- Sala, E. and M. Zabala (1996). "Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean." Marine Ecology Progress Series **140**: 71-81.
- Santos, R. and P. Flammang (2005). "Morphometry and mechanical design of tube foot stems in sea urchins: a comparative study." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **315**(2): 211-223.
- Santos, R., S. Gorb, V. Jamar and P. Flammang (2005). "Adhesion of echinoderm tube feet to rough surfaces." Journal of Experimental Biology **208**(13): 2555.
- Shirayama, Y. and H. Thornton (2005). "Effect of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on shallow water marine benthos." Journal of Geophysical Research: Oceans **110**(C9).
- Sievers, D. and J. H. Nebelsick (2018). "FISH PREDATION ON A MEDITERRANEAN ECHINOID: IDENTIFICATION AND PRESERVATION POTENTIAL." PALAIOS **33**(2): 47-54.
- Šiller, L., M.-L. Lemloh, S. Piticharoenphun, B. G. Mendis, B. R. Horrocks, F. Brümmer and D. Medaković (2013). "Silver nanoparticle toxicity in sea urchin *Paracentrotus lividus*." Environmental Pollution **178**: 498-502.
- Strathmann, R. R. (1981). "The role of spines in preventing structural damage to echinoid tests." Paleobiology **7**(3): 400-406.
- Tortonese, E., e. Accademia nazionale italiana di and i. Unione zoologica (1965). Fauna d'Italia **6, 6**. Bologna, Calderini.
- Tsimplis, M. N., V. Zervakis, S. A. Josey, E. L. Peneva, M. V. Struglia, E. V. Stanev, A. Theocharis, P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, V. Artale, E. Tragou and T. Oguz (2006). Chapter 4 Changes in the oceanography of the Mediterranean Sea and their link to climate variability. Developments in Earth and Environmental Sciences. P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli and R. Boscolo, Elsevier. **4**: 227-282.
- Varrella, S., G. Romano, N. Ruocco, A. Ianora, M. G. Bentley and M. Costantini (2016). "First Morphological and Molecular Evidence of the Negative Impact of Diatom-Derived Hydroxyacids on the Sea Urchin *Paracentrotus lividus*." Toxicological Sciences **151**(2): 419-433.





## 6 ABSTRACT

The main goal of this study was to measure the robustness of the test of three sea urchins *A. lixula*, *P. lividus*, *S. granularis*, through the estimation of the rupture limit after applying mechanical pressure on their test, in the Pagasetic Gulf. In particular, the force that needs to be applied in order to break the test of the sea urchin was examined. An attempt was also made to link the test's robustness to other morphological features, such as the diameter and height of the test, the weight and gender of the sea urchin. For the needs of the survey, 105 individuals of *P. lividus*, 104 of *S. granularis* and 109 *A. lixula* were collected and measured.

From the processing of the results, *P. lividus* species appeared to have a positive correlation between their morphological characteristics and their test robustness. In particular, the relationship that best described the test robustness as a function of diameter had a strong positive correlation ( $r = 0.5$ ) and  $R^2$  25.5%. Similarly, the results obtained from the correlation of the test robustness with the weight and height of the sea urchin had a weak positive correlation ( $r = 0.42$ ) and  $R^2$  of 18.2% for the height and a strong positive ( $r = 0.5$ )  $R^2$  25% for the weight. In contrast, the same measurements for individuals of *A. lixula* and *S. granularis* species had a correlation of less than ( $r = 0.3$ ) and  $R^2$  less than 10%, so there was no significant relationship between their test robustness and their morphological features. Finally, the gender of the sea urchin has not shown to affect the test's durability for all 3 species studied.

The comparison of the results of all individuals showed that those belonging to the *A. lixula* species were quite resilient, with an average rupture limit of 144.73 N, followed by *S. granularis* with an average of 102.61 N and *P. lividus* with 89.4 N.