



« Βιώσιμη Αλιεία, Υδατοκαλλιέργεια »
Μεταπτυχιακό Τμήματος
Τεχνολογίας Αλιείας
Υδατοκαλλιεργειών



T.E.I. Δυτικής Ελλάδας

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ-ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Βιώσιμη αλιεία - υδατοκαλλιέργεια»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ταφονομία κελυφών από την συσσωρευμένη βιομάζα
οστρακοειδών στις λιμνοθάλασσες του Αμβρακικού κόλπου**



Συντάκτης: Κωνσταντίνος Τσολάκος

Εισηγητής: Ιωάννης Α. Θεοδώρου (Επίκουρος Καθηγητής)

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2019

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ιωάννης Α. Θεοδώρου^{1,2} Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας

Γεώργιος Κατσέλης², Καθηγητής Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας

Αλέξιος Ράμφος², Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας

¹ Επιβλέπων Καθηγητής

² Μέλη της εξεταστικής επιτροπής

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το εναρκτήριο λάκτισμα της γνωριμίας μου αλλά και της εμβάθυνσης σε έναν ιδιαίτερο θαλάσσιο κόσμο που μόνο συλλεκτικά με απασχολούσε καθώς η ομορφιά της ποικιλότητας, της απλότητας και της ευρύτητας των δίθυρων οστράκων άθελά τους σε καθοδηγούν στην ανάπτυξη του αισθήματος της δημιουργικότητας και εντελώς αναπάντεχα στην εξερεύνηση. Ελπίζω και εύχομαι αυτή να είναι η αρχή ενός νέου ερευνητικού ταξιδιού στο βαθύ γαλάζιο.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Θεοδώρου Ιωάννη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας ο οποίος μου ανάθεσε την συγκεκριμένη εργασία και που με καθοδήγησε στην έρευνά της, καθώς σε κάθε βήμα μου έδινε την δυνατότητα της διεύρυνσης και ανάπτυξης του θέματος, με αποτέλεσμα να ανακαλυφθούν οι πολλές πτυχές και δυνατότητες της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κο Κατσέλη Γεώργιο, Καθηγητή του Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών για την ιδιαίτερα σημαντική συμβολή του στην επιλογή των κατάλληλων στατιστικών μεθόδων αλλά και στην επεξήγηση της λειτουργίας τους καθώς επίσης για την καθοδήγησή του στην ανάπτυξη της εργασίας σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον του υγροτοπικού οικοσυστήματος του Αμβρακικού.

Γιώργο και Γιάννη σας ευχαριστώ πολύ για την άμεση ανταπόκρισή σας σε κάθε μου πρόβλημα και την οικεία στήριξή σας σε κάθε μου βήμα που χωρίς υπερβολή μου έδινε φτερά για την ολοκλήρωση της διατριβής.

Τέλος, είναι αδύνατο να μην αναφερθώ και να ευχαριστήσω τους δύο μικρούς βοηθούς μου, τις κόρες μου, την Βάλια και την Χριστίνα, που με τις παιδικές αθώες και απόλυτα αληθινές λεξούλες και πράξεις τους με στήριξαν ψυχολογικά σε όλο το εγχείρημα, κατανοώντας ότι ο μπαμπάς τους ο «επιστήμονας» δουλεύει ερευνώντας τα κοχύλια. Φυσικά, ευχαριστώ πολύ την μαμά μας Χαρά που στήριξε την προσπάθειά μου και ως συμφοιτήτρια και ως συνοδοιπόρος, παρά τις δύσκολες προσωπικές της στιγμές, καλύπτοντας την μικρή ελπίζω απουσία μου. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου που είναι πάντα δίπλα μου και που με την αγάπη τους με βοηθούν να φέρω εις πέρας κάθε προσπάθεια όπως και αυτό το σύγγραμμα της διατριβής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|----|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 5 |
| 1.1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες..... | 5 |
| 1.2. Αμβρακικός κόλπος | 6 |
| 1.3. Συσσωματώσεις οστράκων | 7 |
| 1.4. Ταφονομία..... | 9 |
| 1.5. Σκοπός και στόχοι της έρευνας..... | 10 |
| 2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ | 12 |
| 2.1. Περιοχή μελέτης - δειγματοληψίας | 12 |
| 2.2. Διαδικασία δειγματοληψίας και τεχνικές ανάλυσης..... | 13 |
| 2.3. <i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière 1789) | 18 |
| 2.4. <i>Polititapes aureus</i> (Gmelin 1791) | 20 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 23 |
| 3.1. Ποικιλότητα των ειδών μεταξύ των λιμνοθαλασσών..... | 23 |
| 3.2. <i>Cerastoderma glaucum</i> και <i>Polititapes aureus</i> | 29 |
| 3.2.1. Ποσοτική ανάλυση..... | 29 |
| 3.2.2. Κατανομή μήκους των κελυφών..... | 32 |
| 3.2.3. Αναλογία αριστερών / δεξιών θυρίδων..... | 33 |
| 3.2.4. Ταφονομική ανάλυση..... | 34 |
| 3.2.4.1. Λείανση | 34 |
| 3.2.4.2. Κατακερματισμός..... | 40 |
| 3.2.4.3. Επικάλυψη | 41 |
| 3.2.4.4. Βιοδιάβρωση | 42 |
| 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ..... | 44 |
| 4.1. Κατανομή των συσσωματώσεων μεταξύ των λιμνοθαλασσών..... | 44 |
| 4.2. Κατανομή των ειδών <i>C. glaucum</i> και <i>P. aureus</i> μεταξύ των λιμνοθαλασσών..... | 45 |
| 4.2.1. Ποσοτική κατανομή των θυρίδων..... | 45 |
| 4.2.2. Κατανομή του μεγέθους των θυρίδων | 46 |
| 4.3. Ταφονομία των δίθυρων ειδών <i>C. glaucum</i> και <i>P. aureus</i> | 48 |
| 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 52 |
| 6. ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 55 |
| 7. Abstract | 56 |
| 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 57 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ..... | 64 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες

Οι λιμνοθάλασσες χαρακτηρίζονται ως αβαθείς υδάτινες περιοχές, λίμνες που επικοινωνούν με την θάλασσα, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, οι οποίες δέχονται συνεχώς ή εποχιακά ποσότητες γλυκού νερού, ενώ διαχωρίζονται από την θάλασσα με έναν φυσικό φράχτη, την αμμολουρίδα ή αμμονησίδα (Κεχαγιάς, 2007).

Οι παράκτιες λιμνοθάλασσες οφείλουν την ύπαρξή τους στις αμμολουρίδες οι οποίες λειτουργούν ως φυσικά φράγματα και ως εκ τούτου η διατήρηση και η προστασία τους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθολογική τους διαχείριση (Christia & Papastergiadou 2006, Avramidis *et al.* 2014, Christia *et al.* 2014).

Σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ «για την διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας χλωρίδας και πανίδας», οι παράκτιες λιμνοθάλασσες αποτελούν οικοσυστήματα κοινοτικού ενδιαφέροντος και έχουν ταξινομηθεί με τον κωδικό 1150* ως τύποι οικοτόπων προτεραιότητας εξαιτίας της οικολογικής τους σημασίας για την διατήρηση της βιοποικιλότητας και της οικονομικής τους σπουδαιότητας για τις παράκτιες περιοχές. Οι παράκτιες λιμνοθάλασσες έχει αναφερθεί ότι εκτός από τις κλιματολογικές αλλαγές απειλούνται και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Piroddi *et al.* 2016, Tsotsios *et al.* 2016, Theodorou *et al.* 2018).

Αποτελούν δε ιδιαίτερα ασταθή οικοσυστήματα λόγω της περιορισμένης επικοινωνίας τους με την ανοικτή θάλασσα και του μικρού τους βάθους, ενώ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις κλιματολογικές συνθήκες, και χαρακτηρίζονται από χαμηλή βιοποικιλότητα αλλά και από υψηλό δυναμικό παραγωγικότητας καθώς είναι συνεχής ο εμπλουτισμός τους σε άλατα (Κεχαγιάς 2007, Christia & Papastergiadou 2006)

Το εύρος των υπηρεσιών που παρέχει το οικοσύστημα των λιμνοθαλασσών είναι αρκετά εκτεταμένο και περιλαμβάνει υπηρεσίες τροφοδοσίας (provisioning services) όπως ψάρια και οστρακοειδή, ρυθμιστικές υπηρεσίες (regulating services) όπως η ρύθμιση του κλίματος και η αποφυγή της διάβρωσης των ακτών, υποστηρικτικές υπηρεσίες (supporting services) όπως η παραγωγή οξυγόνου από την φωτοσύνθεση, πολιτιστικές υπηρεσίες (cultural services) όπως ο οικολογικός τουρισμός κ.λπ. (Newton *et al.* 2014, Hattam *et al.* 2015).

Οι δε οικολογικές υπηρεσίες και λειτουργίες όπως η παραγωγή θρεπτικών ουσιών, η ρύθμιση της ροής του νερού, των σωματιδίων και των οργανισμών, η επεξεργασία και

αφομοίωση των αποβλήτων, η προστασία από τον ευτροφισμό και την ρύπανση, ο καθαρισμός του αέρα, η βιολογική και γενετική προστασία των ειδών και πολλά άλλα, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται η εκμετάλλευση των πόρων της λιμνοθάλασσας αποδεικνύουν ότι οι παράκτιες λιμνοθάλασσες είναι πολύτιμα οικοσυστήματα και είναι πολύ σημαντική η διαχείρισή τους με βάση τα οικοσυστημικά τους χαρακτηριστικά (Koutrakis *et al.* 2011, Newton *et al.* 2014).

Οι λιμνοθάλασσες στην χώρα μας αποτελούν σημαντικά αλιευτικά κέντρα με ετήσια συγκομιδή που φτάνει περίπου στους 6000 τόνους κάθε έτος (Κεχαγιάς, 2007). Στην Δυτική Ελλάδα καλύπτουν μια έκταση περίπου 270 km², όπου ξεχωρίζουν η λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου-Αιτωλικού, και το σύμπλεγμα λιμνοθαλασσών του Αμβρακικού κόλπου (Koutrakis *et al.* 2007).

1.2. Αμβρακικός κόλπος

Ο Αμβρακικός είναι ο μεγαλύτερος κλειστός κόλπος που βρίσκεται στη βορειοδυτική Ελλάδα και αποτελεί ένα σύμπλεγμα κλειστών λιμνοθαλασσών αλλά και μια σύνθεση ποικιλίας υγροβιότοπων έχοντας αναγνωριστεί ως υγρότοπος διεθνούς σημασίας στο πλαίσιο της Σύμβασης Ramsar.

Επίσης, ο Αμβρακικός κόλπος είναι ενταγμένος στο δίκτυο Natura 2000 σύμφωνα με την οδηγία 92/43/ΕΟΚ «για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας χλωρίδας και πανίδας». Επιπλέον, αποτελεί τμήμα της Ζώνης Ειδικής Προστασίας με κωδικό GR2110001 (Οδηγία 2006/613/ΕΚ) και τμήμα της Ζώνης Ειδικής Προστασίας με κωδικό GR2110004 (Οδηγία 2009/147/ΕΚ) που αμφότερες καθορίστηκαν στα πλαίσια εφαρμογής του Νόμου 3937 περί «διατήρησης της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις» και ως εκ τούτου έχει ενταχθεί στο Εθνικό σύστημα προστατευόμενων περιοχών.

Στις 21 Μαρτίου 2008 ιδρύθηκε το «Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Αμβρακικού» με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 11989 (ΦΕΚ 123/Δ'/21-3-2008) με τον «Χαρακτηρισμό των χερσαίων, υδάτινων και θαλάσσιων περιοχών του Αμβρακικού κόλπου ως Εθνικού Πάρκου και καθορισμός χρήσεων, όρων και περιορισμών», με σκοπό την «προστασία, διατήρηση, και διαχείριση της φύσης και του τοπίου, ως φυσικής κληρονομιάς και πολύτιμου εθνικού φυσικού πόρου σε χερσαία και υδάτινα τμήματα της ευρύτερης περιοχής του Αμβρακικού κόλπου, που διακρίνονται για την μεγάλη βιολογική, οικολογική, αισθητική, επιστημονική, γεωμορφολογική και παιδαγωγική τους αξία».

Ο Αμβρακικός Κόλπος συνιστά ένα υδρολογικό σύστημα τύπου φιόρδ έκτασης περίπου 400 τετραγωνικών χιλιομέτρων (km²) το οποίο τροφοδοτείται από δύο κύριους ποταμούς, τον Άραχθο και τον Λούρο, και περιβάλλει 14 λιμνοθάλασσες καλύπτοντας μία έκταση 86 km², περίπου δηλαδή το 20% της συνολικής έκτασης των Ελληνικών λιμνοθαλασσών (Katselis *et al.* 2013).

Ιστορικά οι λιμνοθάλασσες «Τσουκαλιό-Ροδιά» (28.3 km²) και «Λογαρού» (35.0 km²) ήταν ανοιχτού τύπου, έχοντας διαχωριστεί από τον κόλπο από μια φυσική αμμολουρίδα διακεκομμένη από φυσικές εξόδους (κυρίως από άμμο, κελύφη και θραύσματα από αυτά) μέσω των οποίων μετακινήθηκε το νερό από τον κόλπο στις λιμνοθάλασσες, ενώ σήμερα είναι κλειστού τύπου (Katselis *et al.* 2013). Από το 1980, οι αμμονησίδες ενισχύθηκαν και καλύφθηκαν με χωματόδρομο και οι φυσικές εξόδοι αναδιαρθρώθηκαν και μετατράπηκαν σε σταθερά κανάλια (Spyratos 2008).

Επιπλέον, οι λιμνοθάλασσες Αμβρακικού και Μεσολογγίου-Αιτωλικού αντιπροσωπεύουν το 66% της συνολικής ελληνικής αλιευτικής παραγωγής (Koutrakis 2007, Katselis & Moutopoulos 2016).

1.3. Συσσωματώσεις οστράκων

Οι μαζικές εναποθέσεις των κελυφών στις αμμονησίδες δημιουργώντας συσσωματώσεις είναι ένα φαινόμενο που έχει παρουσιαστεί σε ακτές διάφορων τύπων υγροτόπων όπως λιμνοθάλασσες, δέλτα ποταμών κ.λπ., ενώ έχουν εξεταστεί για την σύστασή τους, το μέγεθός τους, την ταφονομία τους και άλλα χαρακτηριστικά τους.

Οι μαζικές συσσωματώσεις των οστράκων στις αμμονησίδες των λιμνοθαλασσών, στις εκβολές των ποταμών και στις ακτές με έντονο το φαινόμενο της παλίρροιας έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών προκειμένου να ερμηνευθούν περιβαλλοντικά και να εκτιμηθεί διαχρονικά η οικολογική τους σημασία.

Ιδιαίτερα οι εναποθέσεις των δίθυρων οστράκων έχουν εξεταστεί ύστερα από την εμφάνισή τους ως αποτέλεσμα κάποιων έντονων καιρικών συνθηκών όπως μετά από ισχυρή καταιγίδα (Boyajian & Thayer 1995), τυφώνα (Davies *et al.* 1989) ή ύστερα από έντονα φυσικά φαινόμενα όπως τσουνάμι (Donato *et al.* 2008). Ωστόσο, το πλήθος των εργασιών αναφέρονται στις συσσωματώσεις που παρουσιάζονται ως αποτέλεσμα της πτώσης της στάθμης λόγω της παλίρροιας (Kowalewski *et al.* 1994, Schneider-Storz *et al.* 2008, Weber & Zuschin 2013).

Με δεδομένο ότι οι εναποθέσεις των οστράκων προέρχονται από τους ζωντανούς πληθυσμούς είναι σαφές ότι αντικατοπτρίζουν την σχετική αφθονία των ζωντανών και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση του μεγέθους και της κατάστασης διατήρησης των υπαρχόντων πληθυσμών (Warne 1969, Peterson 1976, Cummins *et al.* 1986, Kidwell *et al.* 1991, Kidwell 2001, Kidwell 2002, Weber & Zuschin 2013).

Οι Warwick & Light (2002) εξετάζοντας τις συσσωματώσεις των κελυφών των δίθυρων αλλά και των γαστερόποδων οστράκων στις ακτές των Νήσων Σίλι νοτιοδυτικά της Μεγάλης Βρετανίας διαπιστώνουν ότι εφόσον υπάρχει ο παράγοντας της τυχαιότητας στον τρόπο μεταφοράς των υλικών, αυτές είναι αντιπροσωπευτικές της βιοποικιλότητας της ευρύτερης περιοχής, και ίσως συσχετίζονται θετικά με την βιοποικιλότητα όλων των ειδών. Μία ακόμη οικολογική σημασία των συσσωματώσεων αποδίδεται και από τους Smith *et al.* (2016) οι οποίοι αναλύοντας τα στοιχεία του μεγέθους των εναποθέσεων και των ιδιοτήτων των κελυφών των οστράκων που συγκεντρώνονται στις εκβολές του ποταμού Κολοράντο αποτύπωσαν την μείωση της απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα που έχει επέλθει σε σχέση με το παρελθόν.

Αξίζει δε να σημειωθεί ότι καθώς οι συσσωματώσεις των οστράκων δύναται να αποτυπώσουν το παρελθόν και το παρόν της οικολογικής κατάστασης μιας περιοχής, μπορούν να αποτελέσουν ένα πανίσχυρο εργαλείο για την καθοδήγηση της λήψης διαχειριστικών μέτρων μέσα από την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά και της Οδηγίας Πλαίσιο για την Θαλάσσια Στρατηγική (Dietl *et al.* 2016)

Είναι σαφές ότι η συνεχόμενη εναπόθεση οργανικών και ανόργανων υλικών στις αμμονησίδες διατηρεί τον σχηματισμό και την σταθεροποίηση της θέσης τους, και συμβάλει καθοριστικά στην προστασία των λιμνοθαλασσών από την διάβρωση και την εξαφάνιση (Meadows *et al.* 1998, Kowalewski *et al.* 2000, Brown & McLachlan 2002, Kidwell 2007, Gracia *et al.* 2018). Η γνώση της μορφής της εναπόθεσης μπορεί να μας δείξει εάν είναι βιώσιμη ή βαίνει μειούμενη συνιστώντας ως εκ τούτου την λήψη των κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων για την διατήρησή τους (Mertzanis *et al.* 2015, Gracia *et al.* 2018).

Οι συσσωματώσεις των οστράκων στις αμμονησίδες των λιμνοθαλασσών του Αμβρακικού κόλπου έχουν αναφερθεί ελάχιστα ως προς την παρουσία τους (Poulos *et al.* 2008) και την σύστασή τους (Fisher 2005, Tsolakos *et al.* 2019: Παράρτημα) αλλά δεν έχουν εξεταστεί όσον αφορά τη μορφή της εναπόθεσης των κελυφών.

1.4. Ταφονομία

Η ταφονομία ως όρος εισήχθηκε αρχικά από τον Ρώσο παλαιοντολόγο Efremon το 1940, όπως αναφέρεται από τους Behrensmeyer *et al.* (2000) και τον Lyman (2010), σύμφωνα με τον οποίο συνιστά «τη μελέτη της μετάβασης (σε όλες τις λεπτομέρειες) ζωικών υπολειμμάτων από τη βιόσφαιρα στη λιθόσφαιρα». Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι στον ορισμό έχει χρησιμοποιηθεί η Ελληνική ορολογία καθώς επίσης ότι η λέξη ταφονομία αποτελεί την σύνθεση των Ελληνικών λέξεων «τάφος» και «νόμος», προσδιορίζοντας την επιστήμη της ταφής.

Η επιστήμη τη ταφονομίας έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να απαντήσει ερωτήματα που αφορούν τις τάσεις της βιοποικιλότητας και τον περιβαλλοντικό ρόλο στην εξέλιξη των ειδών καθώς η ποιότητα των απολιθωμάτων σχετίζεται με τις οικολογικές, βιογεωγραφικές και εξελικτικές διεργασίες που αποτελούν το ιστορικό αρχείο της δυναμικής ανασυγκρότησης της ύπαρξής τους (Behrensmeyer *et al.* 2000, Kidwell *et al.* 2001).

Η ταφονομία των δίθυρων οστράκων καταγράφει τα χαρακτηριστικά των απολιθωμάτων των κελυφών παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την διατήρηση, τη βιοποικιλότητα, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την αλλαγή του κλίματος κ.α. συνιστώντας την ενδεδειγμένη μέθοδο για την αναγνώριση των περιβαλλοντικών κλίσεων που δεν αντανακλώνται στα βιολογικά και ιζηματολογικά στοιχεία (Kowalewski *et al.* 1994, Behrensmeyer *et al.* 2000, Warwick & Light 2002, Warwick & Turk 2002, Hauser *et al.* 2008).

Η συγκριτική ανάλυση των ταφονομικών χαρακτηριστικών των μαζικών συσσωματώσεων οστράκων εξετάζει τον ρυθμό, τον τρόπο λειτουργίας και το περιβάλλον της ταφής τους, και αποτυπώνει την διαφορετικότητα της διατήρησης, της παραγωγής και της μεταφοράς των κελυφών, ερμηνεύοντας ως εκ τούτου τα συστήματα εναπόθεσης (Kowalewski *et al.* 1994, Kidwell 2013).

Οι Kowalewski *et al.* (1995) διαπιστώνουν ότι η ταφονομική διακύμανση αντικατοπτρίζει τη μεταβολή της έκτασης της έκθεσης στον αέρα, του κυματισμού και των ρευμάτων, καθώς και της αρχιτεκτονικής του οστράκου, ενώ σημειώνουν χαρακτηριστικά, εξετάζοντας τις συσσωματώσεις στους αμμολόφους του δέλτα «Bahia la Choya» στο Μεξικό, ότι οι εκτεταμένες μεταβολές της επιφανειακής κατάστασης μεταξύ των κελυφών πιθανώς αντανακλούν το μεγάλο εύρος ηλικίας τους και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα ευρέως υπο-εναέριο περιβάλλον.

Οι Schneider-Storz *et al.* (2008) μέσα από την συγκριτική ταφονομική ανάλυση τριών δίθυρων ειδών που βρέθηκαν να κυριαρχούν στις συσσωματώσεις των ακτών της Βόρειας Θάλασσας της Γερμανίας, μια περιοχή όπου οι συσσωματώσεις έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας πολλών μελετητών όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν, διαπιστώνουν ότι η διαφορετικότητα της σύνθεσης των συσσωματώσεων συσχετίζεται με τον χρόνο κάλυψης της περιοχής από το νερό καθώς επίσης και από την υδροδυναμική ενέργεια.

Οι αλλαγές των ταφονομικών χαρακτηριστικών των κελυφών κατά την διάρκεια της εξελικτικής τους πορείας δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διατήρηση των δίθυρων οστράκων σε ηπειρωτικές περιοχές αναφέρουν οι De Fransesco *et al.* (2013), και συμπεραίνουν για τις ρηχές λίμνες στην νοτιοανατολική πεδιάδα “Πάμπα” στην Αργεντινή, ότι η συντήρηση του κελύφους έγινε ευνοϊκή σε στιγμές που τα υδάτινα σώματα ανέπτυξαν υφάλμυρες συνθήκες, ενώ ήταν φτωχότερη σε περιόδους εισροής γλυκού νερού, αποτυπώνοντας έτσι τις ιστορικές εναλλαγές μεταξύ των περιόδων ξηρασίας και πλημμύρας.

Είναι σαφές ότι η ταφονομία είναι ένα πολυεργαλείο καθώς αξιολογώντας την κατάσταση διατήρησης των απολιθωμάτων ως προϊόντα οργανισμών που ανακυκλώνουν βιολογικά υλικά, λειτουργεί ως δείκτης της βιολογικής ιστορίας των ειδών και αποτυπώνοντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και την βιολογική εξέλιξη των ειδών, μας επιτρέπει να κατανοήσουμε αλλά και να ανοικοδομήσουμε το περιβάλλον και τους βιοτόπους (Behrensmeyer *et al.* 2000).

1.5. Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι μέσα από την αποτύπωση του μεγέθους και της σύνθεσης της συσσωρευμένης μάζας των αμμονησίδων των λιμνοθαλασσών «Λογαρού» και «Τσουκαλιό» του Αμβρακικού κόλπου αλλά και ταφονομίας των δίθυρων ειδών που συμμετέχουν σε αυτές, να ερμηνευθεί ο ρόλος των οστράκων στις συσσωματώσεις και να αναδείξει την διαφορετικότητα του περιβάλλοντος των εναποθέσεων. Τα ερωτήματα τα οποία θέτονται προς διερεύνηση είναι τα εξής:

1. Πως διαφέρει η εναπόθεση των υλικών των συσσωματώσεων μεταξύ των αμμονησίδων των λιμνοθαλασσών.
2. Πως επηρεάζουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ειδών των δίθυρων (οικολογία, μέγεθος, μορφολογία κελύφους) την διανομή και την διατήρησή τους στις αμμονησίδες;

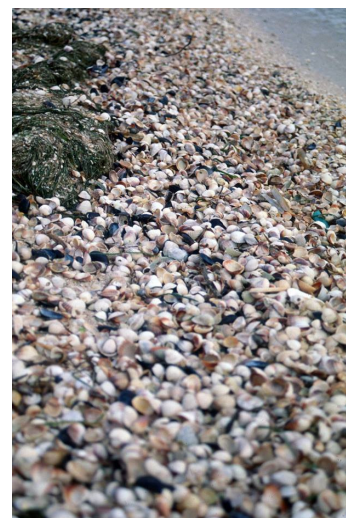
3. Πως η διατήρηση-συντήρηση και η λειτουργία των διθύρων ερμηνεύουν την συσσωρευμένη βιομάζα τους στις αμμονησίδες των λιμνοθαλασσών;

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή μελέτης - δειγματοληψίας

Δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος των αμμολουρίδων των λιμνοθαλασσών «Λογαρού» και «Τσουκαλιό» οι οποίες βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του Αμβρακικού κόλπου όπου παρατηρήθηκαν συσσωματώσεις κελυφών από δίθυρα και γαστερόποδα είδη.

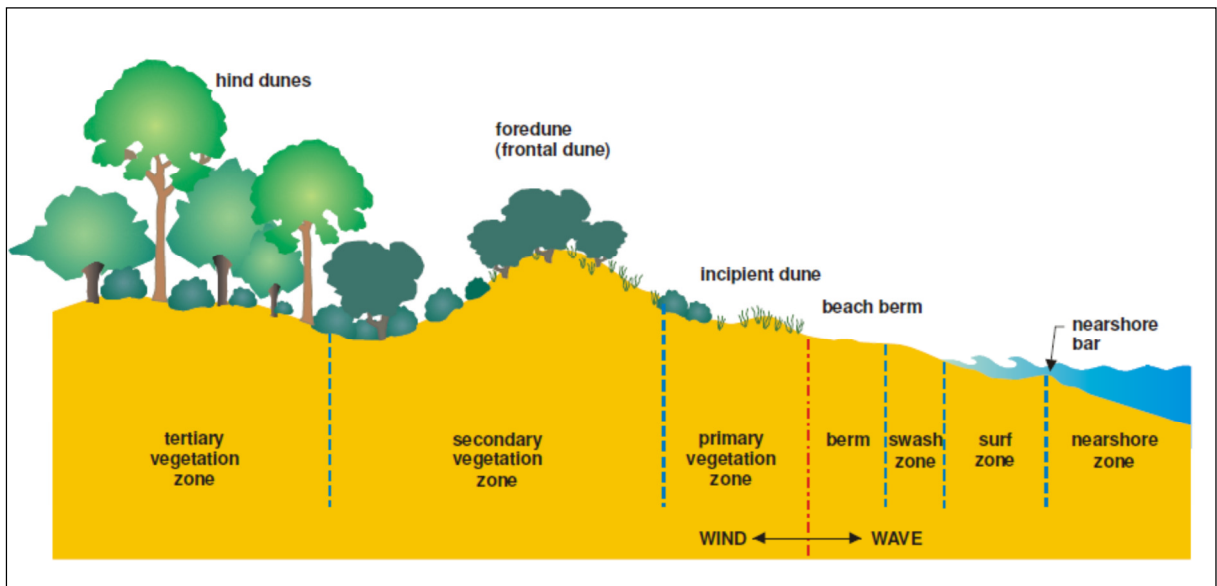
Οι συσσωματώσεις παρατηρήθηκαν σε διαφορετικού τύπου αμμολουρίδες μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών. Στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» οι συσσωματώσεις εμφανίζονται στην αρχή του αμμόλοφου (εικόνα 1a) αμέσως μετά το τέλος της αμμόδους ακτογραμμής (incipient foredune), ενώ στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» στην αρχή της ακτογραμμής (beach berm/swash zone) όπου παρατηρείται το πλατάγισμα (σκάσιμο) του κύματος (εικόνα 1b), αποκαλούμενη και ως εμβρυακή ζώνη (Kidd 2001, Muñoz-Vallés & Cambrollé 2014).



Εικόνα 1. α. Συλλογή δειγμάτων στην ακτογραμμή της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό» **β.** Ακτογραμμή λιμνοθάλασσας «Λογαρού» (Fischer 2005)

Η αρχική ζώνη ενός αμμόλοφου (incipient dune) ουσιαστικά είναι ένας μικρός πάγκος ή πλατφόρμα της άμμου που συγκεντρώνεται λόγω του ανέμου (εικόνα 2), στο πίσω μέρος μιας παραλίας, και βασικό της χαρακτηριστικό είναι η κάλυψη της βλάστησης η οποία αποτελεί το κρίσιμο στοιχείο στην εξέλιξη των τοπίων των αμμόλοφων (Kidd 2001). Η δε εμβρυακή ζώνη (beach berm) είναι κατά κάποιο τρόπο η αρχή της συσσώρευσης των εναποτιθέμενων υλικών των κυμάτων, αποτελώντας τμήμα ενός μεγαλύτερου δυναμικού παράκτιου συστήματος το οποίο ξεκινάει σε βάθη συχνά μεγαλύτερα από 20 μέτρα και

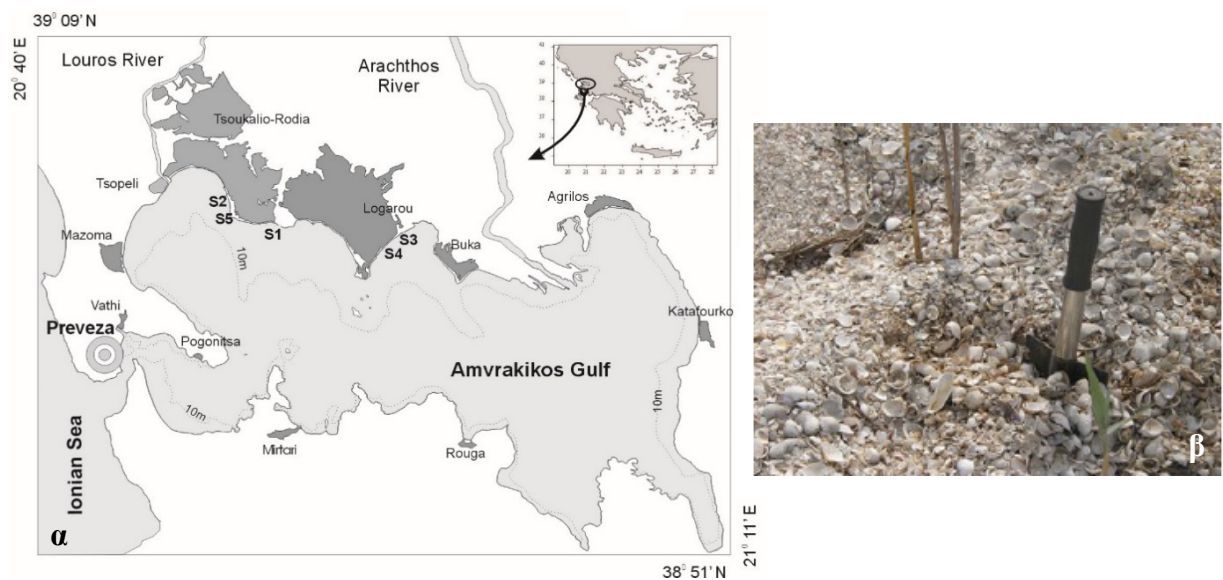
εκτείνεται προς την ξηρά περικλείοντας βαθμιαία την ζώνη που σκάει το κύμα, τις ίδιες τις παραλίες και τους παρακείμενους αμμόλοφους (εικόνα 2) (Kidd, 2001).



Εικόνα 2. Τυπικά χαρακτηριστικά ενός δυναμικού συστήματος παραλίας (Kidd 2001).

2.2. Διαδικασία δειγματοληψίας και τεχνικές ανάλυσης

Επιλέχτηκαν πέντε (5) σταθμοί δειγματοληψίας, οι S1, S2 και S5 από την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» και οι σταθμοί S3 και S4 από την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπως απεικονίζονται στην εικόνα 3α.



Εικόνα 3. α. Σταθμοί δειγματοληψίας **β.** Λήψη δειγμάτων στο σταθμό S1

Οι μαζικές συσσωρεύσεις των κελυφών εντοπίστηκαν σε διαφορετική απόσταση από την παράκτια γραμμή των κυμάτων (σταθμοί S3, S4 και S5: 20 έως 30 μέτρα από την παράκτια γραμμή κύματος, και σταθμοί S1 και S2: πολύ κοντά και ακολουθώντας την παράκτια γραμμή κύματος) (εικόνα 1α,β).

Η λήψη των δειγμάτων έγινε με την χρήση πλαισίου ενός τετραγωνικού, διαστάσεως 1x1 μέτρου το οποίο τοποθετήθηκε στις δειγματοληπτικές θέσεις και συλλέχθηκε υλικό σε βάθος περίπου 10 εκατοστών (εικόνα 3β). Τα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν ζυγίστηκαν και υπολογίστηκε ο όγκος τους. Στην συνέχεια προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε τυχαία λήψη τριών υποδειγμάτων από το κάθε δείγμα έτσι ώστε τα δεκαπέντε (15) συνολικά υποδείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά των δειγμάτων.

Η λήψη των υποδειγμάτων έγινε με ίση ογκομετρική μονάδα και αφού ζυγίστηκαν, στην συνέχεια κοσκινίστηκαν με κόσκινο οπής δύο (2) χιλιοστών. Το υλικό το οποίο παρέμεινε διαχωρίστηκε σε δίθυρα είδη, γαστερόποδα είδη και διάφορα υλικά όπως πέτρες, ξύλα, δαγκάνες καβουριών κ.λπ., τα οποία ζυγίστηκαν ανά κατηγορία (εικόνα 4). Στις περιπτώσεις που τα δείγματα είχαν προσκολλημένα υλικά λόγω της υγρασίας, πλύθηκαν και στην συνέχεια αφού στέγνωσαν, ζυγίστηκαν.



Εικόνα 4. Διαχωρισμός των υλικών των δειγμάτων και ζύγισμα ανά κατηγορία

Για τον προσδιορισμό της ομοιότητας / ανομοιότητας μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών εφαρμόστηκε μια ιεραρχική ανάλυση συστάδων (μέθοδος Ward, τετραγωνική Ευκλείδεια απόσταση) με κριτήριο τη σύνθεση των ειδών σε βάρος (Hair *et al.* 1998). Η διακύμανση στη σύνθεση των ειδών μεταξύ των ομάδων εξετάστηκε με την χρήση του χ^2 τεστ (χ^2 ; $P = 0,05$) (Zar 1999).

Οι θυρίδες εκάστου είδους χωρίστηκαν σε εκείνες που ήταν ολόκληρες και σε εκείνες που δεν μπορούσε να μετρηθεί το μήκος τους ως κατακερματισμένες, οι οποίες αφού υπολογίστηκε ο αριθμός τους ζυγίστηκαν στο σύνολό τους. Οι θυρίδες που ήταν ενωμένες χωρίστηκαν και μετρήθηκαν ως δύο θύρες.

Τα είδη των δίθυρων μαλακίων αναγνωρίστηκαν με την χρήση αναγνωριστικής κλειδας σύμφωνα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά (Poutiers 1987).

Τα είδη *Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus* βρέθηκαν να κυριαρχούν ανάμεσα στα δίθυρα μαλάκια των υποδειγμάτων. Οι ολόκληρες θυρίδες των δύο ειδών διαχωρίστηκαν σε αριστερή και δεξιά θυρίδα, μετρήθηκε το μήκος τους και στην συνέχεια εξετάστηκαν ως προς τα ταφονομικά τους χαρακτηριστικά (εικόνα 5).



Εικόνα 5. Καταγραφή του μήκους δεξιάς θυρίδας κελύφους του *Polititapes aureus*

Τα ταφονομικά χαρακτηριστικά τα οποία αναλύθηκαν ήταν η λείανση, ο κατακερματισμός, η επικάλυψη και η βιοδιάβρωση.

Η λείανση παρατηρείται στην απώλεια των χαρακτηριστικών της επιφάνειας του κελύφους όπως είναι οι γραμμές ανάπτυξης καθώς επίσης και στην εμφάνιση στιγμάτων στην επιφάνεια του κελύφους (Schneider-Storz *et al.* 2008). Ο κατακερματισμός αναφέρεται στην απώλεια τμημάτων του κελύφους, η επικάλυψη στα εξωγενή στοιχεία που επικάθονται στο κέλυφος όπως ασβεστολιθικοί σωλήνες από πολύχαιτους σκώληκες ή βρυόζωα, και η βιοδιάβρωση στις οπές που παρατηρούνται στο κέλυφος (Kowalewski *et al.* 1994).

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις βαθμοί για τη βαθμονόμηση των ταφονομικών χαρακτηριστικών: ο βαθμός "0" που αναφέρεται στα μη επηρεασμένα δείγματα που βρίσκονται σε "καλή" διατήρηση, ο βαθμός "1" αντιπροσωπεύοντας τα ελαφρώς

προσβεβλημένα δείγματα (έως το 10% της επιφάνειας του κελύφους) που βρίσκονται σε “μέτρια” διατήρηση, και ο βαθμός "2" που αποτυπώνει τα σοβαρά προσβεβλημένα δείγματα τα οποία βρίσκονται σε “κακή” κατάσταση διατήρησης (Kowalewski *et al.* 1994, Schneider-Storz *et al.* 2008).

Ειδικότερα για το κάθε ταφονομικό χαρακτηριστικό η βαθμονόμηση έγινε σύμφωνα με τους Kowalewski *et al.* (1994) και τους Schneider-Storz *et al.* (2008) ως εξής:

Λείανση: η θυρίδα '0' δεν έχει υποστεί καμία αλλοίωση στην επιφάνειά της, η θυρίδα '1' έχει αλλοιωθεί ελάχιστα (λιγότερο από το 10% της επιφάνειας), η θυρίδα '2' παρουσιάζει έντονη αλλοίωση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας (πάνω από το 10% της επιφάνειας).

Κατακερματισμός: η θυρίδα '0' είναι ολόκληρη, η θυρίδα '1' έχει κομμένα κομμάτια από τις άκρες (λιγότερο από το 10% απώλεια της θυρίδας), η θυρίδα '2' είναι ατελές κομμάτι (πάνω από το 10% απώλεια της θυρίδας).

Επικάλυψη: η θυρίδα '0' δεν έχει προσβληθεί από επικάλυψη, η θυρίδα '1' έχει επικαλυφθεί τοπικά (λιγότερο από το 10% της επιφάνειας), η θυρίδα '2' είναι έντονα επικαλυμμένη (πάνω από το 10% της επιφάνειας).

Βιοδιάβρωση: η θυρίδα '0' δεν έχει προσβληθεί, η θυρίδα '1' έχει διακορευτεί από ελάχιστες οπές (λιγότερο από το 10% της επιφάνειας), η θυρίδα '2' είναι έντονα διάτρητη (πάνω από το 10% της επιφάνειας).

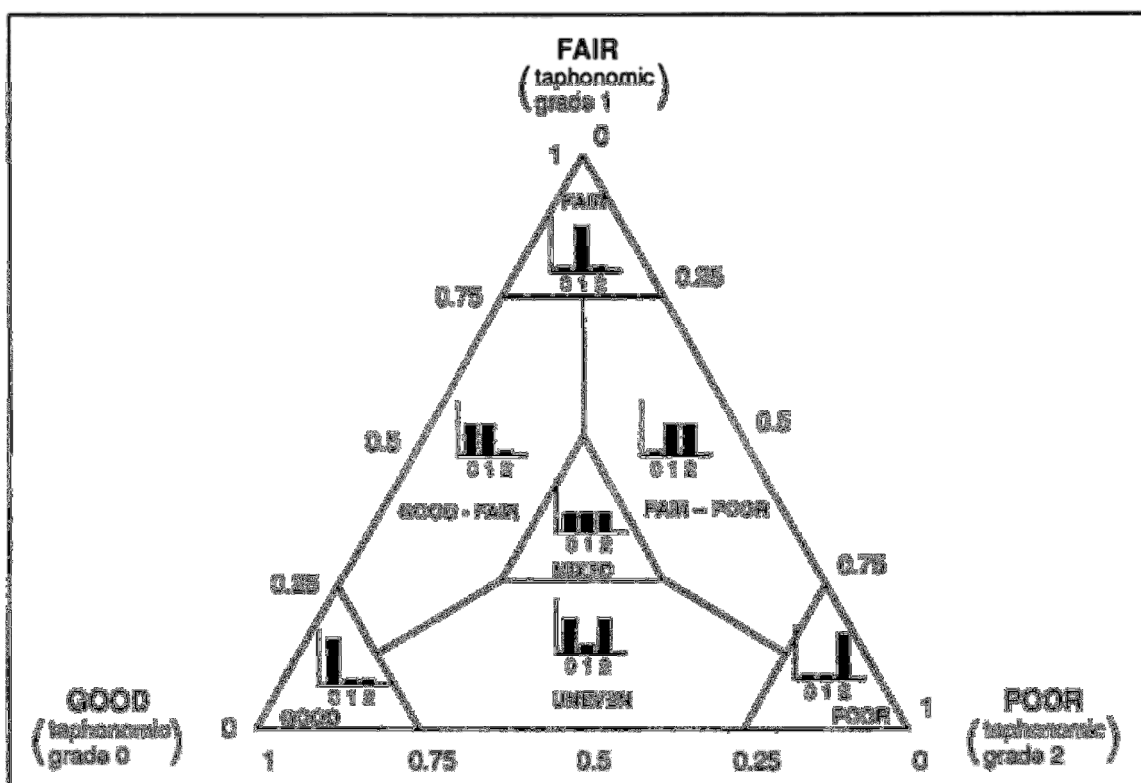
Τα ταφονομικά χαρακτηριστικά των δύο ειδών αφού συγκεντρώθηκαν, συγκρίθηκαν για κάθε είδος και για κάθε δειγματοληπτικό σταθμό, καθώς επίσης σύγκριση πραγματοποιήθηκε για τις διακριτές τιμές του μήκους των κελυφών των δύο ειδών το οποίο εξάχθηκε σε κλάσεις μήκους για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία.

Επιπλέον, προκειμένου να εξεταστεί η συσχέτιση μεταξύ των ταφονομικών κατηγοριών πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) καθώς συμβάλει στην μείωση της πολυδιάστασης ενός μεγάλου συνόλου αλληλένδετων μεταβλητών δημιουργώντας ένα νέο σύνολο μεταβλητών (κυρίων συνιστωσών) που δεν συσχετίζονται αλλά διατηρούν την διακύμανση των αρχικών μεταβλητών (Jolliffe 2011). Η τεχνική όπως αναφέρει ο Πετρίδης (2015) «απλοποιεί την πολυπλοκότητα της πληροφόρησης που πηγάζει από μεγάλο αριθμό μεταβλητών μειώνοντας τον αριθμό αυτών σε λίγες, νέες και ουσιαστικές». Αναλύοντας την συσχέτιση των αρχικών μεταβλητών με τις κύριες συνιστώσες τους ουσιαστικά «μπορεί κανείς να διερευνήσει τις σχέσεις των μεταβλητών μεταξύ τους αλλά και με την διακύμανση που παρατηρείται στα

δεδομένα» όπως αναφέρεται από τους Kowalewski *et al.* (1994) οι οποίοι χρησιμοποίησαν την εν λόγω μέθοδο στην ανάλογη ταφονομική τους εργασία.

Τέλος, τα ταφονομικά χαρακτηριστικά των κελυφών αναλύθηκαν με την χρήση τριμερών διαγραμμάτων ή ταφογραμμάτων σύμφωνα με τους Kowalewski *et al.* (1995) τα οποία επιτρέπουν στο δείγμα να αντιπροσωπεύεται ως ένα σημείο και ως εκ τούτου επιτρέπουν την σύγκριση των δειγμάτων σε σχέση με το εξεταζόμενο ταφονομικό χαρακτηριστικό συμβάλλοντας στην ερμηνεία των χαρακτηριστικών διατήρησης των κελυφών.

Στην εικόνα 5 αποτυπώνεται η ανάλυση του τριμερούς ταφογράμματος από τους Kowalewski *et al.* (1995) όπου η κάθε γωνία αντιπροσωπεύει ένα ταφονομικό βαθμό (0, 1, 2). Η θέση του δείγματος στο ταφόγραμμα καθορίζεται από την αναλογία των εξεταζόμενων ειδών σε "καλή", "μέτρια" ή "κακή" κατάσταση. Το δε ιστόγραμμα μέσα σε κάθε πεδίο ("καλό", "ανομοιόμορφο", "αναμεμιγμένο", κλπ.) του διαγράμματος (εικόνα 6) απεικονίζει την ποικιλότητα των ταφονομικών βαθμών σε ένα δείγμα εντός αυτού του πεδίου (Kowalewski *et al.* 1995).



Εικόνα 6. Τριμερές ταφόγραμμα όπως αναλύεται στους βαθμούς των ταφονομικών χαρακτηριστικών σύμφωνα με τον Kowalewski *et al.* (1995).

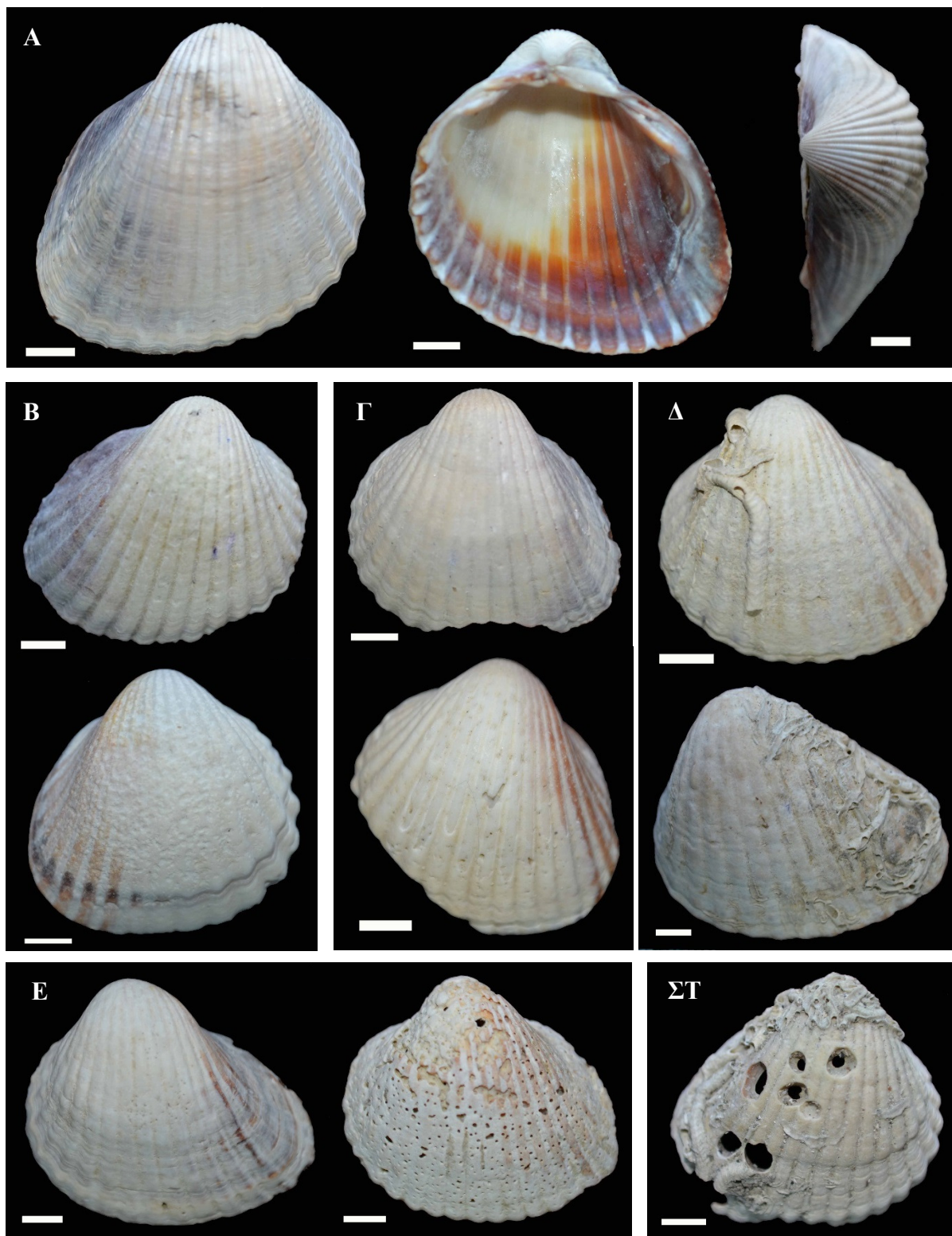
2.3. *Cerastoderma glaucum* (Bruguière 1789)

Το είδος *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) με κοινό ελληνικό όνομα «πουρλίδα» ή «κατρουλίδα» και κοινό αγγλικό όνομα «lagoon cockle» απαντάται σε όλη την Μεσόγειο σε υφάλμυρα νερά, στην ανώτερη υποπαριακική ζώνη, σε μαλακό υπόστρωμα από άμμο ή και ίλυς, με βάθος εισχώρησης όσο το μήκος του οστράκου, ενώ το μέγιστο μήκος του είναι περίπου 5,5 cm, με ρυθμό αύξησης 0,9 cm/έτος (Γαληνού-Μητσούδη *et al.* 2007).

Αποτελεί είδος πολύ ανθεκτικό ικανό να επιβιώσει σε μεγάλο εύρος αλατότητας (5-38 ‰) και θερμοκρασίας (0-25 °C) ως φυσική συνέπεια της στρατηγικής του ανάπτυξης για την προστασία του από τους θηρευτές και την φυσική αστάθεια των λιμνοθαλασσών εξαιτίας των απότομων περιβαλλοντικών συνθηκών (Leontarakis *et al.* 2008). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό είδος και έχει καταγραφεί σε πλήθος υγροτοπικών οικοσυστημάτων της χώρας μας (Zenetos 1997, Fischer 2005, Nikolaidou *et al.* 2005).

Το όστρακό του (εικόνα 7) είναι στερεό, ισόθυρο, σφαιρικό ως τετράγωνο, με κορυφή να κλίνει προς την πρόσθια περιοχή και φέρει στην εξωτερική του επιφάνεια 17-28 ραβδώσεις με βαθιές αύλακες ανάμεσά τους, με το χρώμα του κελύφους να είναι λευκό, καστανό, πρασινωπό προς τα πίσω, ενώ εσωτερικά όπου διακρίνεται ο ελαστικός σύνδεσμος στο μισό του μήκους της θυρίδας και το κλείθρο με δύο μικρά κύρια δόντια, δύο εμπρός πλευρικά και δύο πίσω, έχει χρωματισμό καστανό και στην περιοχή της κορυφής ιώδες (Γαληνού-Μητσούδη *et al.* 2007).

Το *Cerastoderma glaucum* συνιστά ένα πολύ κοινό είδος και σε αρκετές περιπτώσεις κυρίαρχο είδος στις παράκτιες λιμνοθάλασσες και στις συσσωματώσεις κελυφών που μελετώνται και ως εκ τούτου αναφέρεται σε πλήθος αρχαιολογικών, παλαιοντολογικών και ταφονομικών μελετών που εξετάζουν τα ιζήματα, τις εναποθέσεις και τις στρωματώσεις του υπεδάφους δίνοντας στοιχεία για τις κλιματικές συνθήκες, την διακύμανση του επιπέδου της θάλασσας, την συμμετοχή στην βιοποικιλότητα της περιοχής, την ρύπανση του περιβάλλοντος, την διάβρωση των ακτών, τις επιδράσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, την παλαιοοικονομική κατάσταση των παράκτιων πληθυσμών κ.λπ. (Richards 1985, Pawłowska *et al.* 2008, Marriner *et al.* 2012, Weber & Zuschin 2013, Εμμανουηλίδης 2014, Ράπτη 2014, Bosch *et al.* 2015, Karray *et al.* 2015, Cakirlar 2016, Lasota *et al.* 2018).



Εικόνα 7. *Cerastoderma glaucum* θυρίδες. **Α.** δεξιά θυρίδα οστράκου, εξωτερική πλευρά, εσωτερική πλευρά και κορυφή κελύφους σε «καλή» κατάσταση διατήρησης (Λείανση = 0, Κατακερματισμός = 0, Επικάλυψη = 0, Βιοδιάβρωση = 0), **Β.** Λείανση: όστρακο επάνω με βαθμό ταφonomίας = 1 (μέτρια κατάσταση διατήρησης), όστρακο κάτω με βαθμό ταφonomίας = 2 (κακή κατάσταση διατήρησης), **Γ.** Κατακερματισμός: όστρακο επάνω με βαθμό = 1, όστρακο κάτω με βαθμό = 2, **Δ.** Επικάλυψη: όστρακο επάνω με βαθμό = 1, όστρακο κάτω με βαθμό = 2, **Ε.** Βιοδιάβρωση: όστρακο αριστερά με βαθμό = 1, όστρακο δεξιά με βαθμό = 2, **ΣΤ.** οπές από γαστερόποδα θηρευτές. Κλίμακα ράβδου = 0,5 cm.

2.4. *Polittapes aureus* (Gmelin 1791)

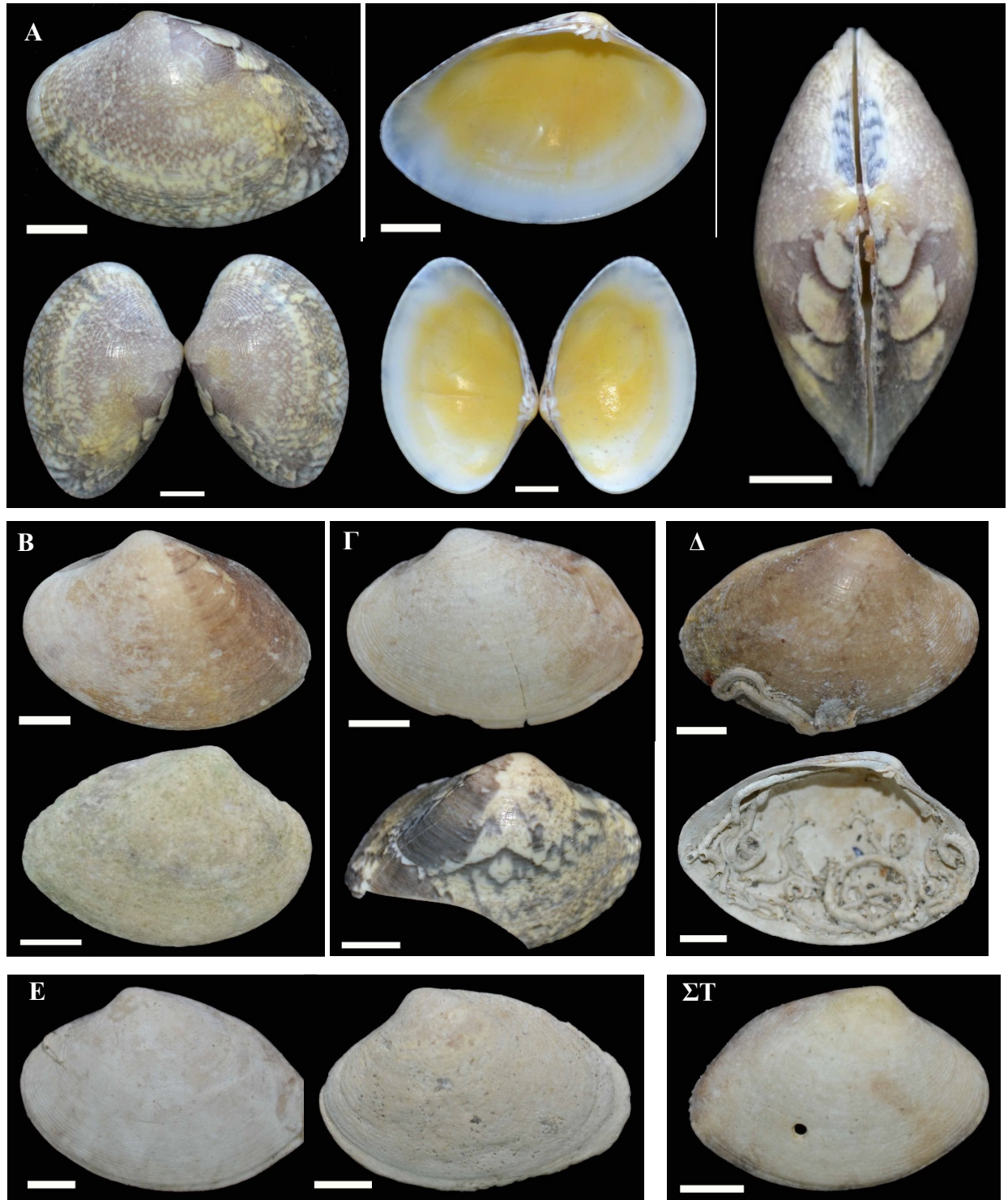
Το είδος *Polittapes aureus* (Gmelin 1791) με κοινό ελληνικό όνομα «αχιβάδα» ή «αχιβαδίτσα» και κοινό αγγλικό όνομα «golden carpet» απαντάται σε όλη την Μεσόγειο, στην υποπαραλιακή έως περιπαραλιακή ζώνη (65m), σε μαλακό υπόστρωμα με βιότοπο άμμο, ίλυ, χαλίκι, ενώ είναι ενδοβεθικό σε ελάχιστα εκατοστά, και το μέγιστο μήκος του οστράκου φτάνει περίπου στα 5cm (Γαληνού-Μητσούδη *et al.* 2010).

Το όστρακο (εικόνα 8) είναι στερεό, ωσειδές, σχεδόν τριγωνικό, επιμήκες προς τα πίσω, ισόθυρο, ανισόπλευρο, με κορυφές που εφάπτονται, θύρωμα που μόλις διαγράφεται, στερνίτη σαφή σχεδόν λογχοειδή, περίοστρακο λεπτό και γυαλιστερό (εξωτερική επιφάνεια σχεδόν λεία, υπάρχουν πολυάριθμες συγκεντρικές ραβδώσεις και αυλάκια διασταυρωμένα με λεπτές ακτινωτές γραμμές που ελάχιστα διακρίνονται), ενώ το χρώμα του είναι «καστανό σε μεγάλη ποικιλία με γραμμικά καστανοκόκκινα γωνιώδη σχέδια (ζιγκ-ζαγκ), κηλίδες, κ.α.» (Γαληνού-Μητσούδη *et al.* 2010).

Ο ελαστικός σύνδεσμος του οστράκου είναι βυθισμένος (προεξέχει και εκτείνεται στο 1/3 της πίσω πλευράς), κάθε θυρίδα του με τρία κύρια δόντια (δεν φέρει πλευρικά δόντια), εσωτερικά δε τα μυϊκά αποτυπώματα είναι ευδιάκριτα στρογγυλά, η «μανδυακή γραμμή με μεγάλο στρογγυλό ελαφρά ανορθωμένο κόλπο σε σχήμα -U- που δεν φτάνει στο μέσον του οστράκου», και το χρώμα είναι γυαλιστερό χρυσοκίτρινο και καμιά φορά κοκκινωπό, αλλά γενικά είναι είδος με μεγάλη ποικιλομορφία σε χρώμα και σχήμα (Γαληνού-Μητσούδη *et al.* 2010).

Το *Polittapes aureus* είναι ένα κοινό δίθυρο είδος των ενδαιτημάτων των λιμνοθαλασσών και εν γένει των παράκτιων υγροτόπων της Μεσογείου και της χώρας μας (Zenetos 1997, Nicolaidou *et al.* 1988, Basso & Brusoni 2004, Fischer 2005, Mastrototaro 2008, Manousis *et al.* 2010, Giacobbe 2012, Reizoroulou *et al.* 2014), ενώ έχει χρησιμοποιηθεί και ως δείκτης οικολογικής ποιότητας για τα βενθικά οικοσυστήματα (Bojja *et al.* 2000).

Επίσης, αν και έχει αναφερθεί σε πλήθος παλαιοντολογικών και ταφονομικών μελετών ως μέρος της σύστασης του υλικού των συσσωματώσεων (Warwick & Light 2002, Antoniadou *et al.* 2004, Basso & Brusoni 2004, Koulouri *et al.* 2006, Nielsen *et al.* 2007, Vardala-Theodorou & Nicolaidou 2007, Gianolla *et al.* 2010, Κυριαζίδου & Ηλιοπούλου 2014, Culha 2018) δεν βρέθηκε κάποια εργασία στην οποία να έχει ειδικά μελετηθεί ως προς τα ταφονομικά του χαρακτηριστικά.



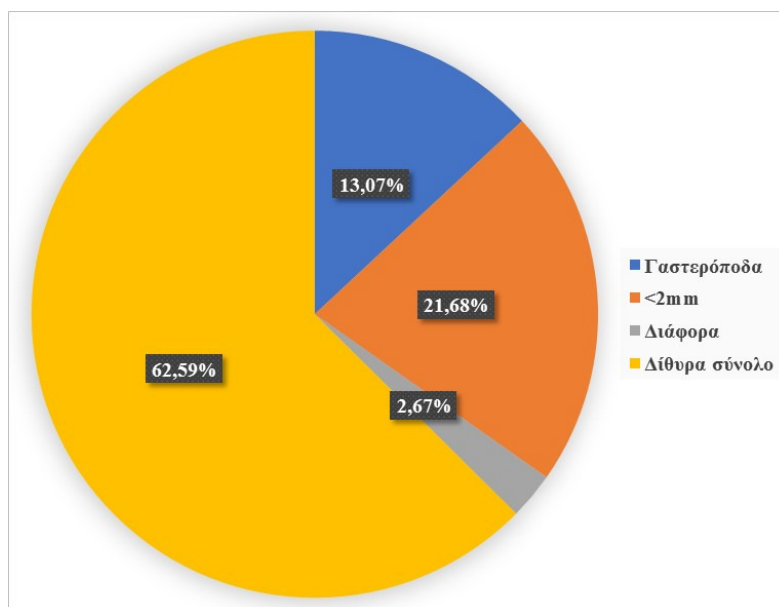
Εικόνα 8. *Polittapes aureus* θυρίδες **Α.** Αριστερή θυρίδα οστράκου, εξωτερική πλευρά, εσωτερική πλευρά και κορυφές κελύφους σε «καλή» κατάσταση διατήρησης (Λείανση = 0, Κατακερματισμός = 0, Επικάλυψη = 0, Βιοδιάβρωση = 0), **Β.** Λείανση: όστρακο επάνω με βαθμό ταφονομίας = 1 (μέτρια κατάσταση διατήρησης), όστρακο κάτω με βαθμό ταφονομίας = 2 (κακή κατάσταση διατήρησης), **Γ.** Κατακερματισμός: όστρακο επάνω με βαθμό = 1, όστρακο κάτω με βαθμό = 2, **Δ.** Επικάλυψη: όστρακο αριστερά με βαθμό = 1, όστρακο δεξιά με βαθμό = 2, **Ε.** Βιοδιάβρωση: όστρακο αριστερά

με βαθμό = 1 , όστρακο δεξιά με βαθμό = 2, ΣΤ. οπή από γαστερόποδο θηρευτή. Κλίμακα ράβδου = 0,5 cm.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

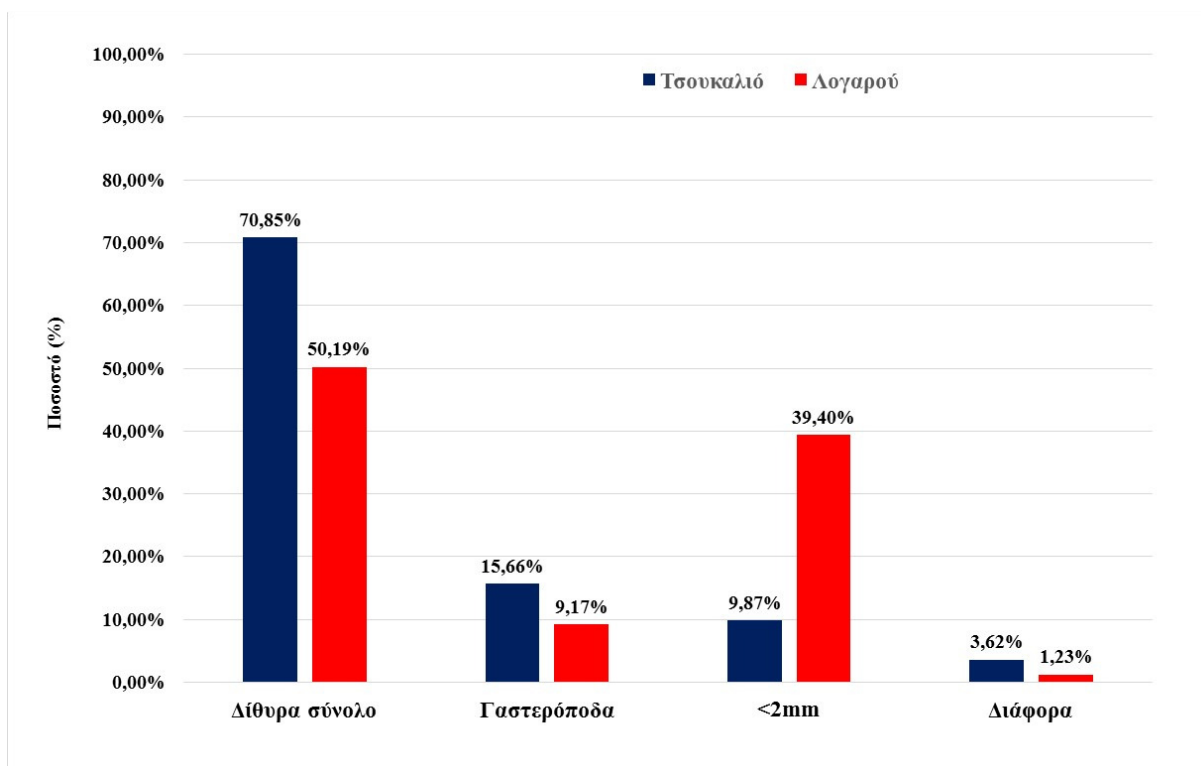
3.1. Ποικιλότητα των ειδών μεταξύ των λιμνοθαλασσών

Το συνολικό βάρος των δειγμάτων που αναλύθηκαν ανήλθε στα 10122,83 γραμμάρια. Τα είδη των δίθυρων μαλακίων αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα των οργανικής προέλευσης υλικών που συνθέτουν τις συσσωματώσεις των κελυφών στις αμμονησίδες (ολόκληρα κελύφη δίθυρων και τμήματα των κελυφών) σε ποσοστό 62.59%, ακολουθούμενα από τα γαστερόποδα (13.07%), ενώ το υπόλοιπο υλικό της εναπόθεσης απαρτίζεται από το κοσκινισμένο υλικό κάτω των 2 χιλιοστών (21.68%) καθώς και ανόργανα υλικά (πέτρες, φύλλα, άμμο κ.λπ.: αποκαλούμενα εφεξής διάφορα) σε ποσοστό 2.67% (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Ποσοστιαία κατανομή του βάρους των υλικών των συσσωματώσεων

Οι δύο λιμνοθάλασσες παρουσιάζουν διαφοροποίηση ως προς την σύνθεση του υλικού της συσσωμάτωσης. Στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» το ποσοστό συμμετοχής των κελυφών των δίθυρων μαλακίων (ολόκληρο κέλυφος και τμήματα του κελύφους) στο υλικό της εναπόθεσης ανέρχεται στο 70.85%, ενώ αντίστοιχα στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» είναι χαμηλότερο (50.19%). Αντίθετα, παρατηρείται ότι στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» το κοσκινισμένο υλικό <2mm έχει υψηλή συμμετοχή στην συσσωμάτωση (39.40%) σε σχέση με το ποσοστό στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» (9.87%). Επίσης, τα γαστερόποδα υπερτερούν ποσοστιαία στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» (15.66%) έναντι της λιμνοθάλασσας «Λογαρού» (9.17%) (Σχήμα 2).

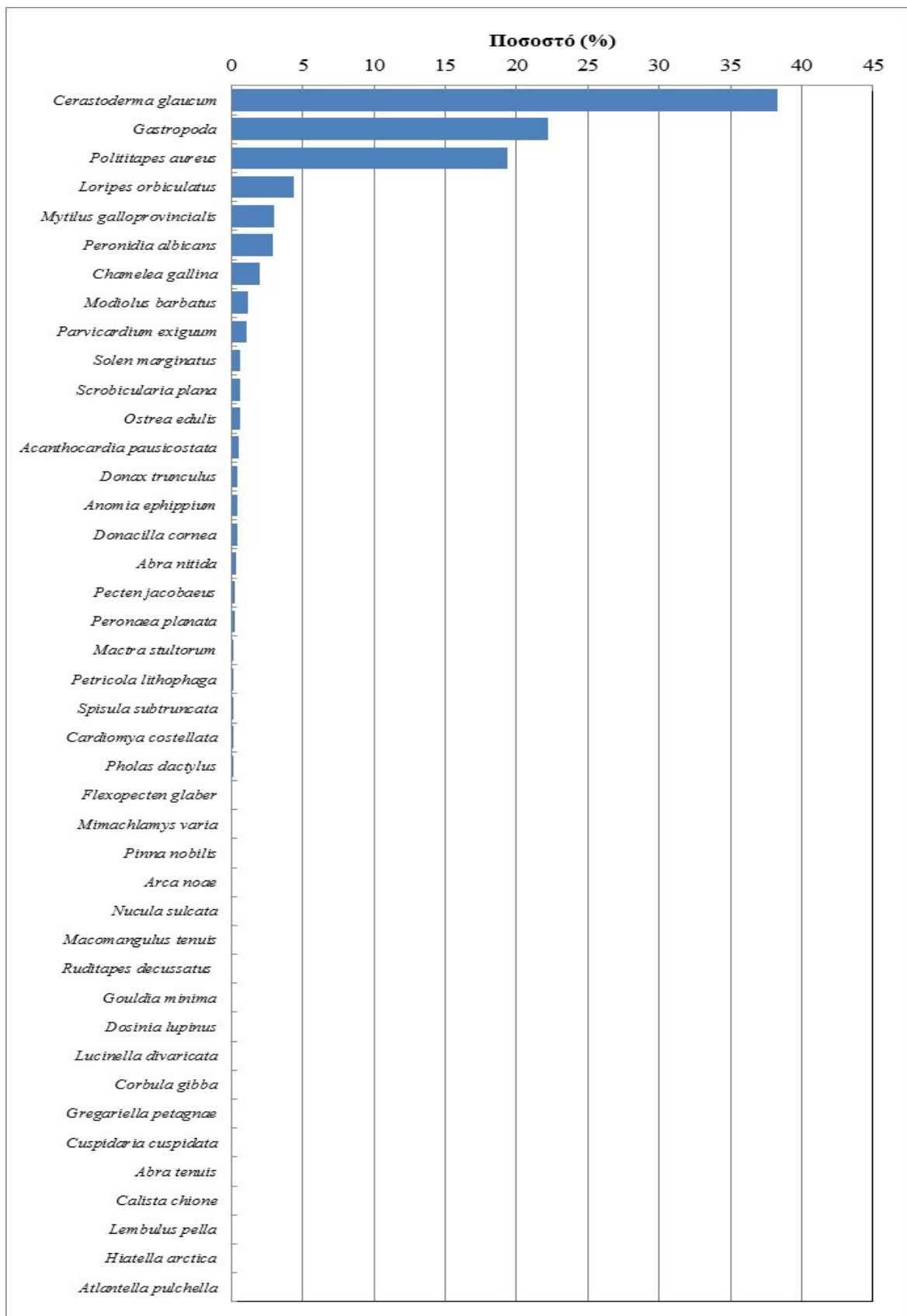


Σχήμα 2. Ποσοστιαία κατανομή του βάρους των υλικών των συσσωματώσεων μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού)

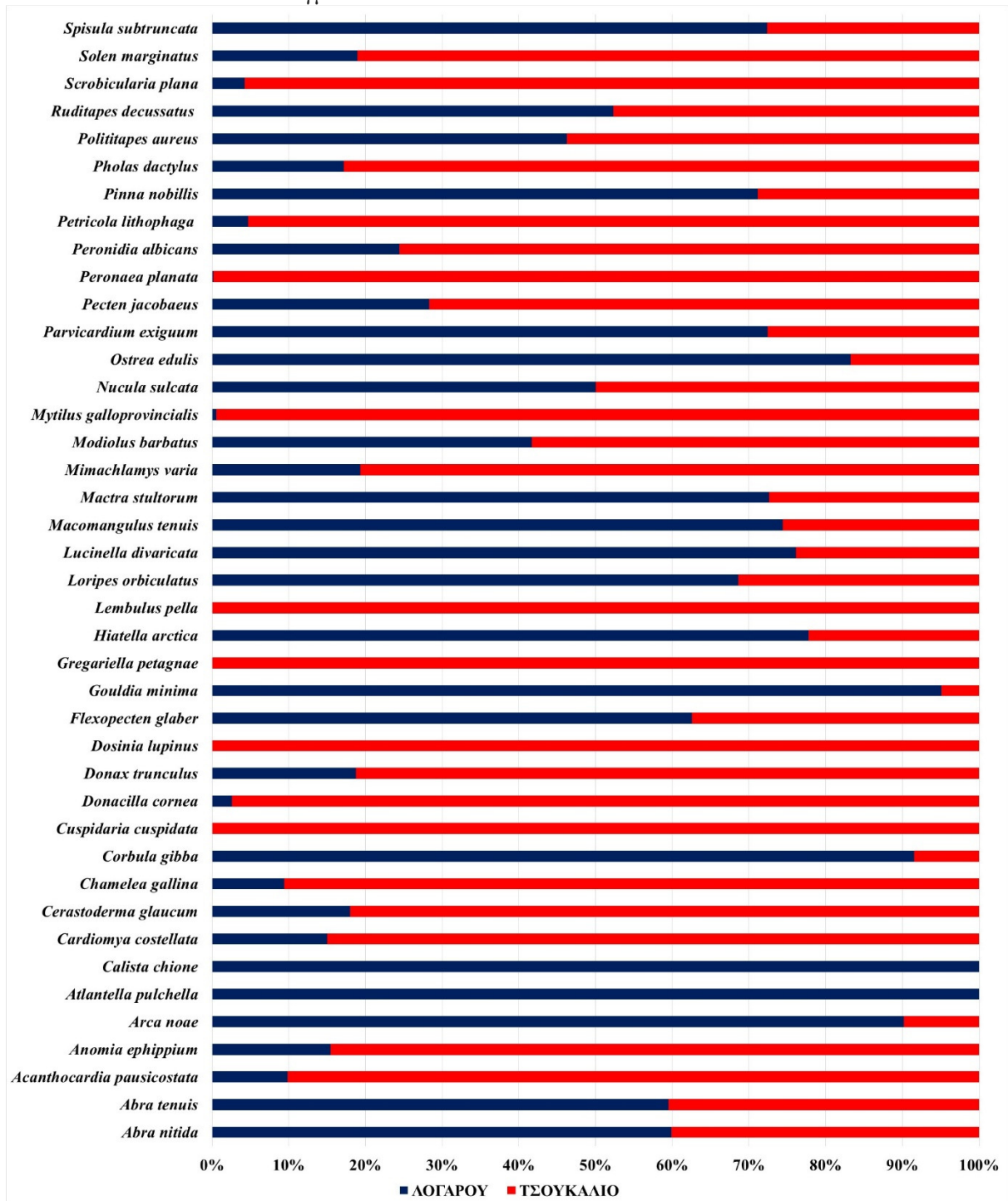
Συνολικά αναγνωρίστηκαν 41 είδη δίθυρων μαλακίων, ενώ καταμετρήθηκαν 33837 κελύφη καθώς επίσης καταγράφηκε η συνολική ομάδα των γαστερόποδων. Οκτώ (8) είδη δίθυρων εμφανίζουν σχετική αφθονία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1% (*Cerastoderma glaucum* (38.29%), *Polititapes aureus* (19.39%), *Loripes orbiculatus* (4.39%), *Mytilus galloprovincialis* (2.99%), *Peronidia albicans* (2.88%), *Chamelea gallina* (1.94%), *Modiolus barbatus* (1.11%) και *Parvicardium exiguum* (1.08%), ενώ το υπόλοιπο υλικό από γαστερόποδα ανέρχεται σε ποσοστό συνολικά 22.21% (Σχήμα 3).

Η κατανομή των δίθυρων ειδών μεταξύ των λιμνοθαλασσών αριθμητικά δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά καθώς 37 είδη καταγράφηκαν στην λιμνοθάλασσα Λογαρού» ενώ στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» καταγράφηκαν 39 είδη δίθυρων μαλακίων (Σχήμα 4).

Τα δίθυρα είδη *Atlantella pulcella* και *Calista chione* αναγνωρίστηκαν και καταγράφηκαν μόνο στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού», ενώ τα είδη *Cuspidaria cuspidata*, *Dosinia lupinus*, *Gregariella petagna* και *Lembulus pella* αναγνωρίστηκαν και καταγράφηκαν μόνο στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό».



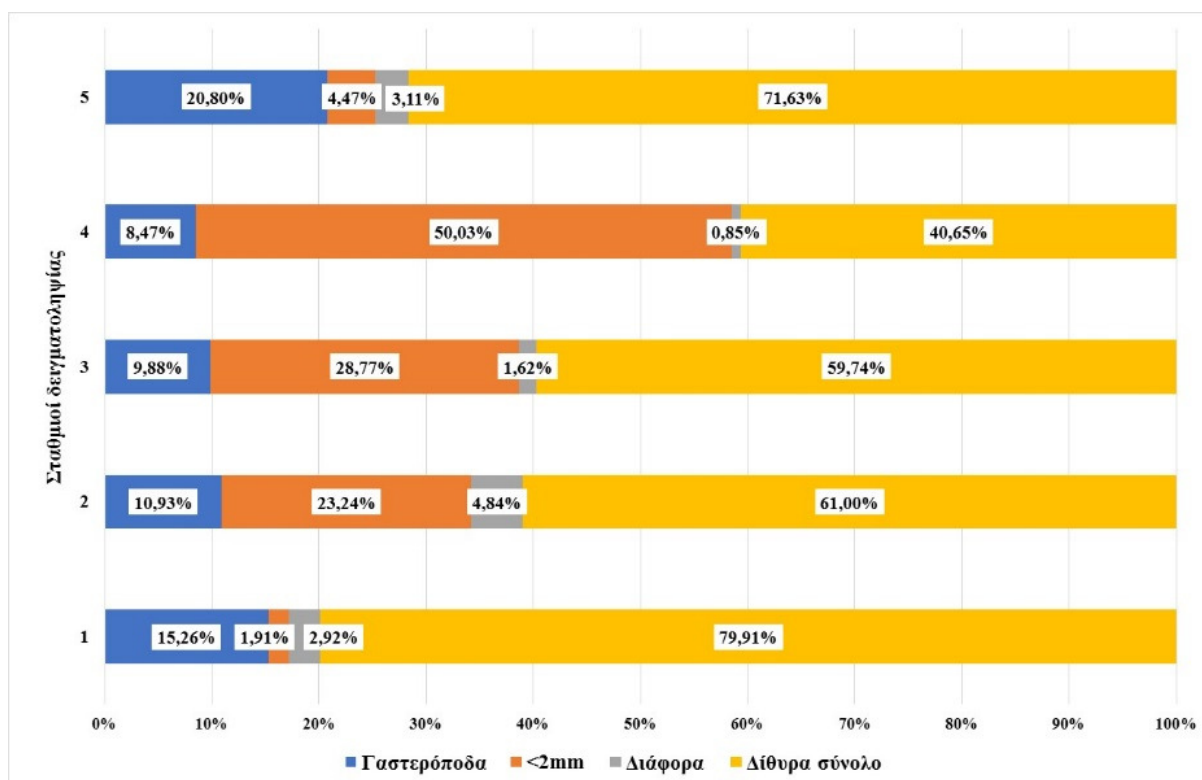
Σχήμα 3. Σχετική αφθονία (% βάρους) των αναγνωρισμένων ειδών/ταξινομικών κατηγοριών στο σύνολο των υποδειγμάτων.



Σχήμα 4. Ποσοστιαία κατανομή του βάρους των κελύφων των δίθυρων ειδών στις συσσωματώσεις των αμμονησίδων των λιμνοθαλασσών του Αμβρακικού κόλπου (Τσουκαλιό, Λογαρού).

Οι τρεις δειγματοληπτικοί σταθμοί στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό συμμετοχής των κελύφων των δίθυρων ειδών στις συσσωματώσεις και

ιδιαίτερα ο σταθμός S1 (79.91%) σε αντίθεση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπου τα δίθυρα είδη συμμετέχουν σε χαμηλότερα ποσοστά όπως στον σταθμό S4 (40.65%), ενώ το μισό ποσοστό της εναπόθεσης αποτελείται από το κοσκινισμένο υλικό <2mm (50.03%) το οποίο στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» παρουσιάζεται αυξημένο (23.24%) μόνο στον δειγματοληπτικό σταθμό S2 (Σχήμα 5).

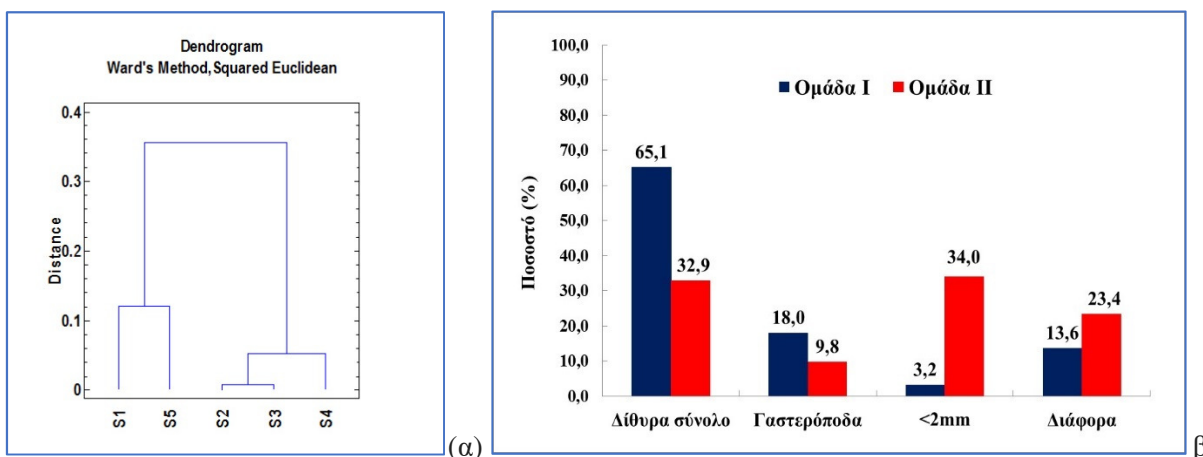


Σχήμα 5. Ποσοστιαία κατανομή του βάρους των υλικών των συσσωματώσεων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών (S1, S2 & S5 «Τσουκαλιό», S3 & S4 «Λογαρού»)

Ο δειγματοληπτικός σταθμός S4 από την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό δίθυρων ειδών (36 είδη), ενώ ο δειγματοληπτικός σταθμός S1 από την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» τον μικρότερο αριθμό (26 είδη), και οι υπόλοιποι σταθμοί ως εξής S2: 30, S3:33, S5:32 είδη.

Προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη ομαδοποιήσεων των αποτελεσμάτων των αναλύσεων των υποδειγμάτων των δειγματοληπτικών σταθμών πραγματοποιήθηκε ανάλυση σε ομάδες (cluster analysis) η οποία παρουσίασε ότι η υψηλότερη ομοιότητα της σύνθεσης των υλικών εναπόθεσης ήταν μεταξύ των σταθμών S1 και S5 (Ομάδα I) και μεταξύ των σταθμών S2, S3 και S4 (Ομάδα II) (Σχήμα 5α).

Το ποσοστό των εναποτιθέμενων υλικών παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά ($\chi^2 = 1777.43$; Df = 3; P = 0,000) μεταξύ των δύο ομάδων. Τα είδη των δίθυρων ήταν η κυρίαρχη ταξινομική ομάδα στην Ομάδα I (65.1%) ακολουθούμενη από τα γαστερόποδα (18.0%), ενώ στην Ομάδα II τα πιο συχνά εμφανιζόμενα υλικά της εναπόθεσης ήταν το κοσκινισμένο υλικό κάτω των 2mm (Σχήμα 5β: <2mm) (34.0%), τα δίθυρα είδη (32.9% και τα διάφορα (23.4%) (Σχήμα 5β).

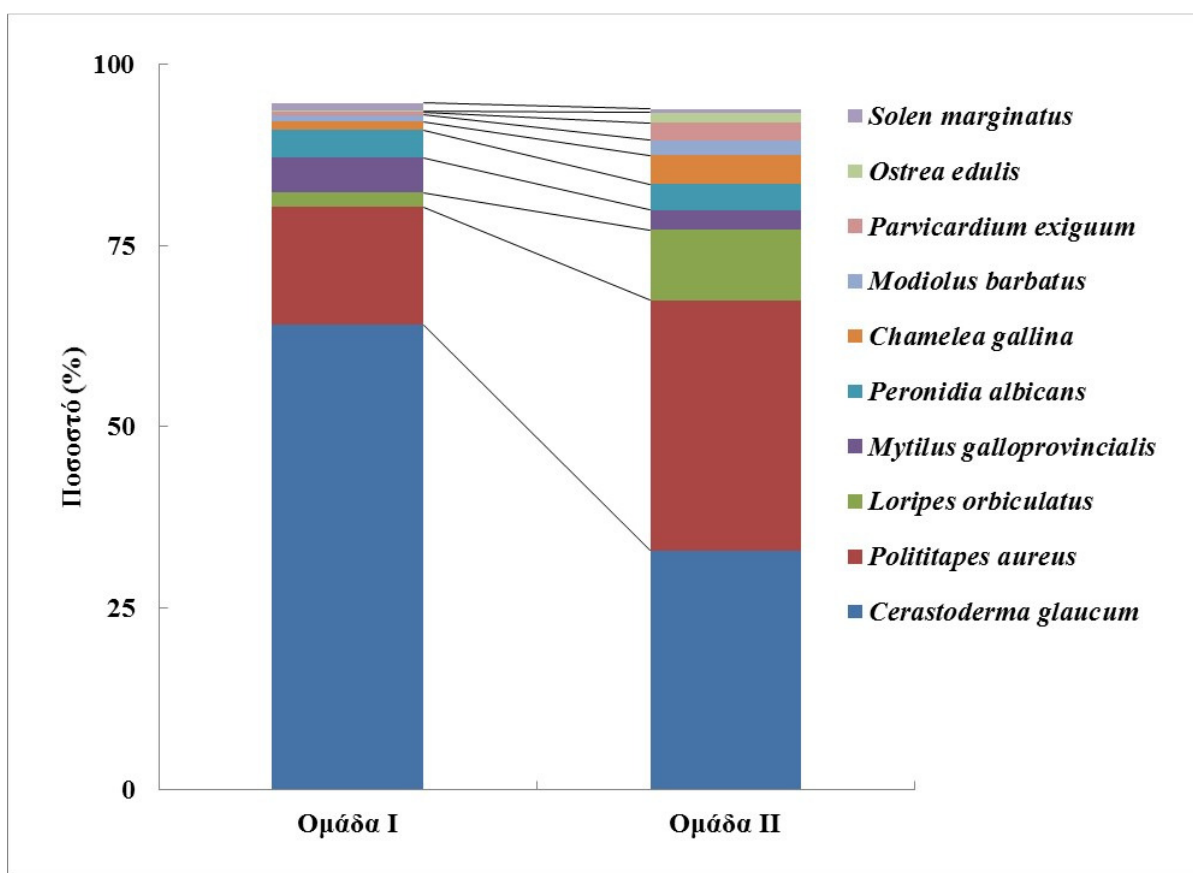


Σχήμα 5. (α) Ανάλυση σε ομάδες (cluster analysis) των υλικών της συσσωμάτωσης μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών, και (β) σύσταση των υλικών της συσσωμάτωσης ανά ομάδα.

Οι δύο ομάδες παρουσιάζουν σχεδόν παρόμοιο αριθμό δίθυρων ειδών (37 είδη στην Ομάδα I και 39 είδη στην Ομάδα II). Τα 35 είδη δίθυρων καταγράφηκαν και στις δύο ομάδες, ενώ δύο είδη (*Cuspidaria cuspidata* και *Lembulus pella*) μόνο στην Ομάδα I και τέσσερα είδη (*Atlantella pulchella*, *Calista chione*, *Hiatella arctica* και *Ruditapes decussatus*) μόνο στην Ομάδα II. Η σύνθεση των δίθυρων ειδών μεταξύ των δύο ομάδων έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά ($\chi^2 = 674,16$, Df = 40, P = 0,000).

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η συμμετοχή των δίθυρων ειδών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1%. Δέκα (10) είδη (*Cerastoderma glaucum*, *Polititapes aureus*, *Loripes orbiculatus*, *Mytilus galloprovincialis*, *Peronidia albicans*, *Chamelea gallina*, *Modiolus barbatus*, *Parvicardium exiguum*, *Ostrea edulis*, *Solen marginatus*) αντιπροσωπεύουν το 94.66% και το 93.79% του συνολικού βάρους που συνθέτουν τα δίθυρα είδη για την ομάδα I και την ομάδα II αντίστοιχα.

Η Ομάδα I χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία του είδους *Cerastoderma glaucum* (64.08%) ακολουθούμενο από το είδος *Polititapes aureus* (16.25%), ενώ στην Ομάδα II επικρατεί το είδος *Polititapes aureus* (34.45%), ακολουθούμενο από τα είδη *Cerastoderma glaucum* (32.95%) και *Loripes orbiculatus* (9.70%).

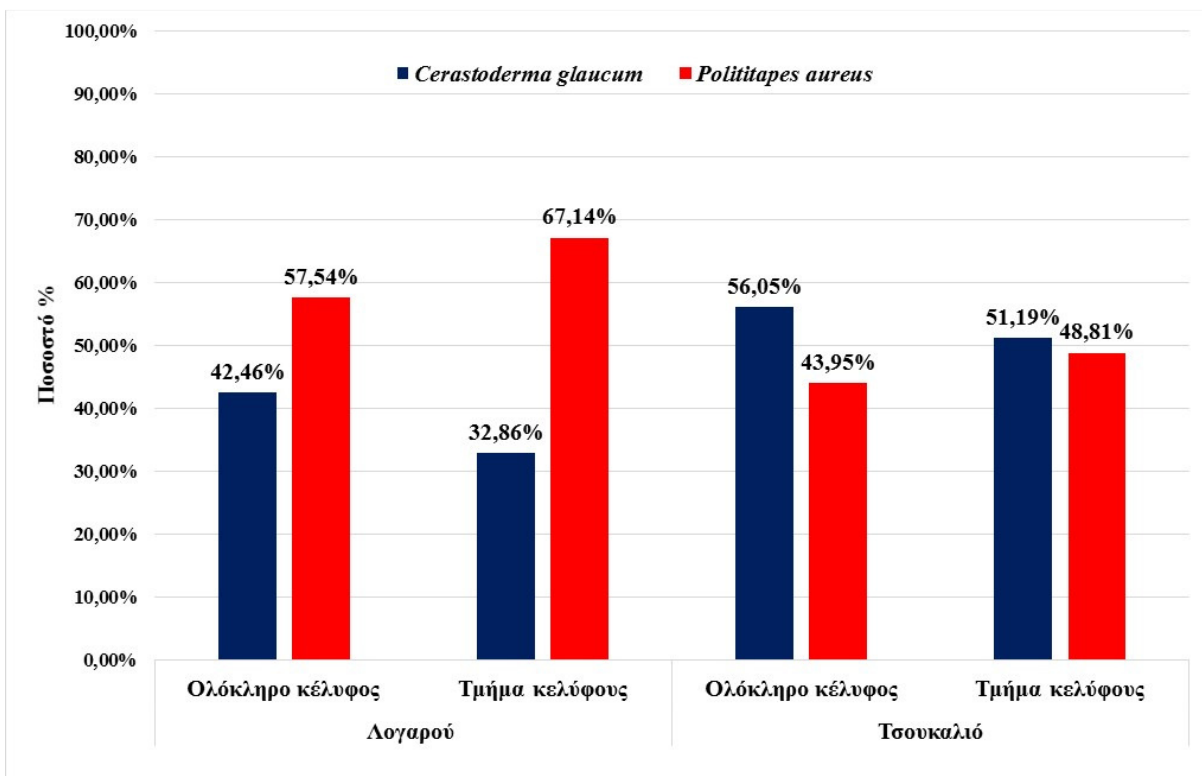


Σχήμα 6. Σύνθεση των δίθυρων ειδών μεταξύ των ομάδων

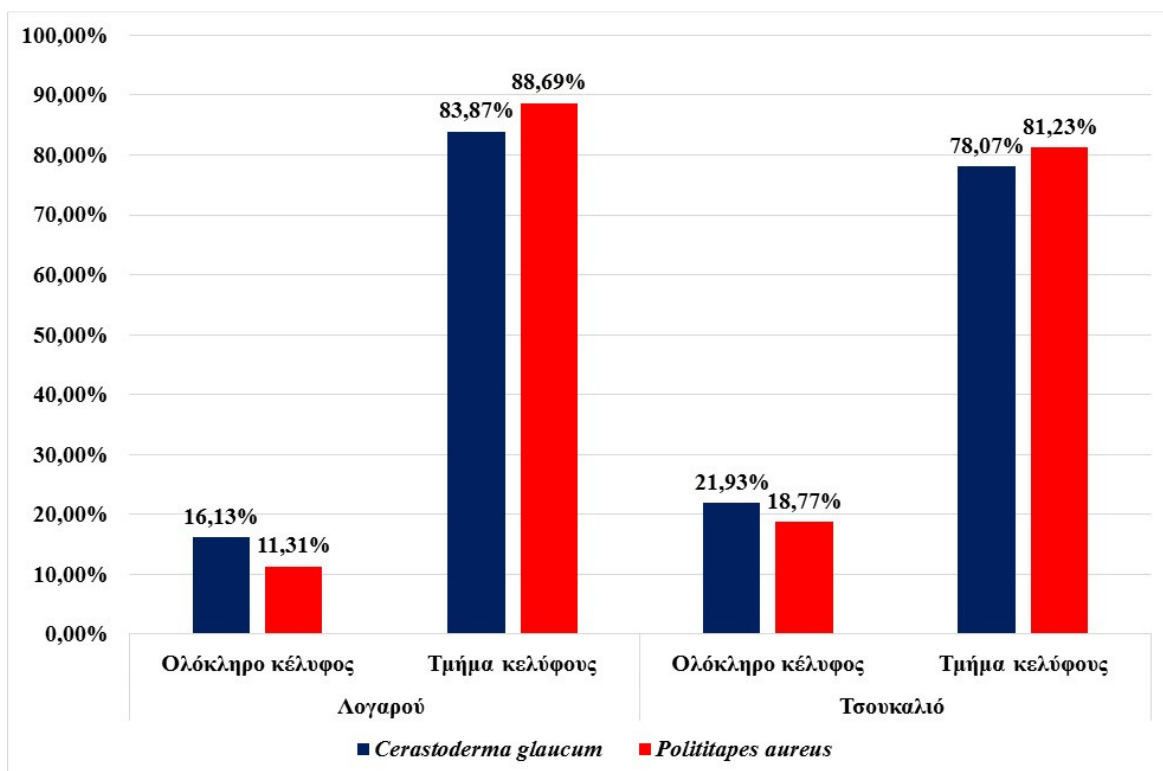
3.2. *Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus*

3.2.1. Ποσοτική ανάλυση

Από το σύνολο των 2579 ολόκληρων κελυφών και 12987 τμήματα κελυφών που καταγράφηκαν από τα δύο είδη δίθυρων (*Cerastoderma glaucum*, *Polititapes aureus*) στα υποδείγματα των δειγματοληπτικών σταθμών, διαπιστώνεται ότι οι συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό κελυφών (ολόκληρων και τμημάτων, 57.54% και 67.14% αντίστοιχα) από το είδος *Polititapes aureus*, ενώ στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» μεγαλύτερος αριθμός ολόκληρων και τμημάτων κελυφών καταγράφηκε από το είδος *Cerastoderma glaucum*, 56.05% και 51,19% αντίστοιχα (Σχήμα 7). Επίσης, η αναλογία ολόκληρου κελύφους και τμήματος κελύφους ανά είδος παρουσιάζει διαφορά μεταξύ των λιμνοθαλασσών καθώς και τα δύο είδη έχουν περισσότερα άθικτα κελύφη στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό», ενώ στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» τα σπασμένα κελύφη και των δύο ειδών υπερτερούν αριθμητικά των ολόκληρων κελυφών (Σχήμα 8).



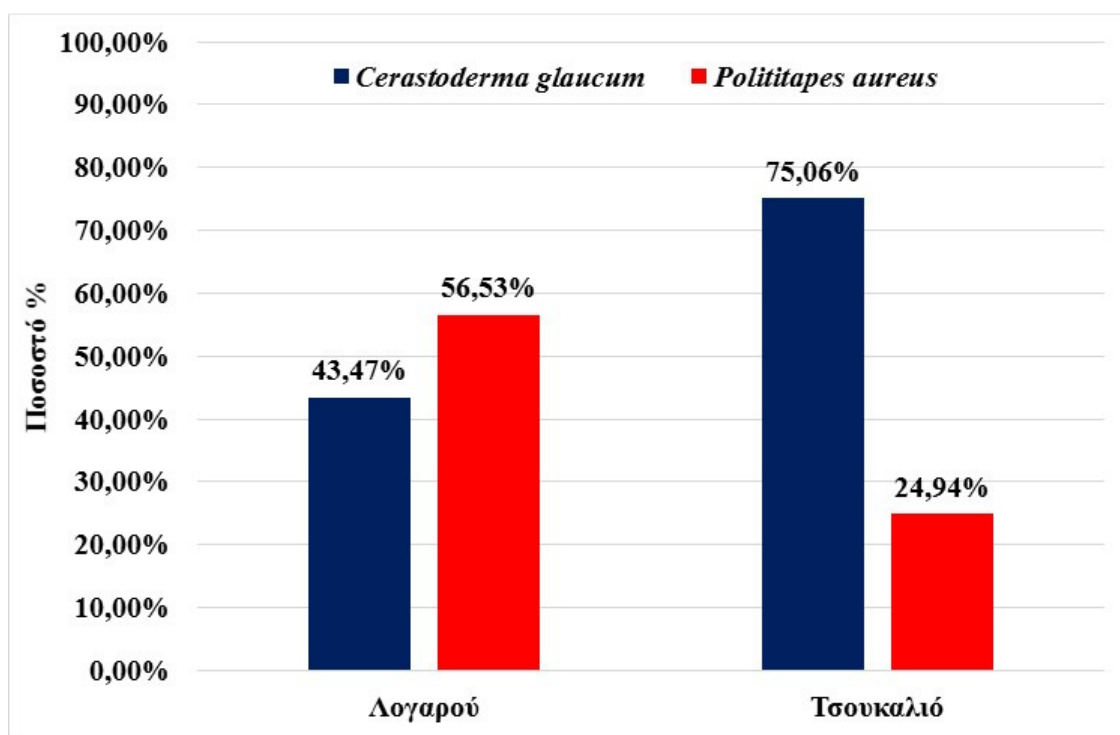
Σχήμα 7. Ποσοστιαία κατανομή αριθμού ολόκληρων κελυφών και τμημάτων κελυφών μεταξύ των ειδών *Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus* μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού)



Σχήμα 8. Ποσοστιαία κατανομή αριθμού (ολόκληρων και τμημάτων) κελυφών ανά είδος (*Cerastoderma glaucum*, *Polititapes aureus*) ανά λιμνοθάλασσα (Τσουκαλιό, Λογαρού)

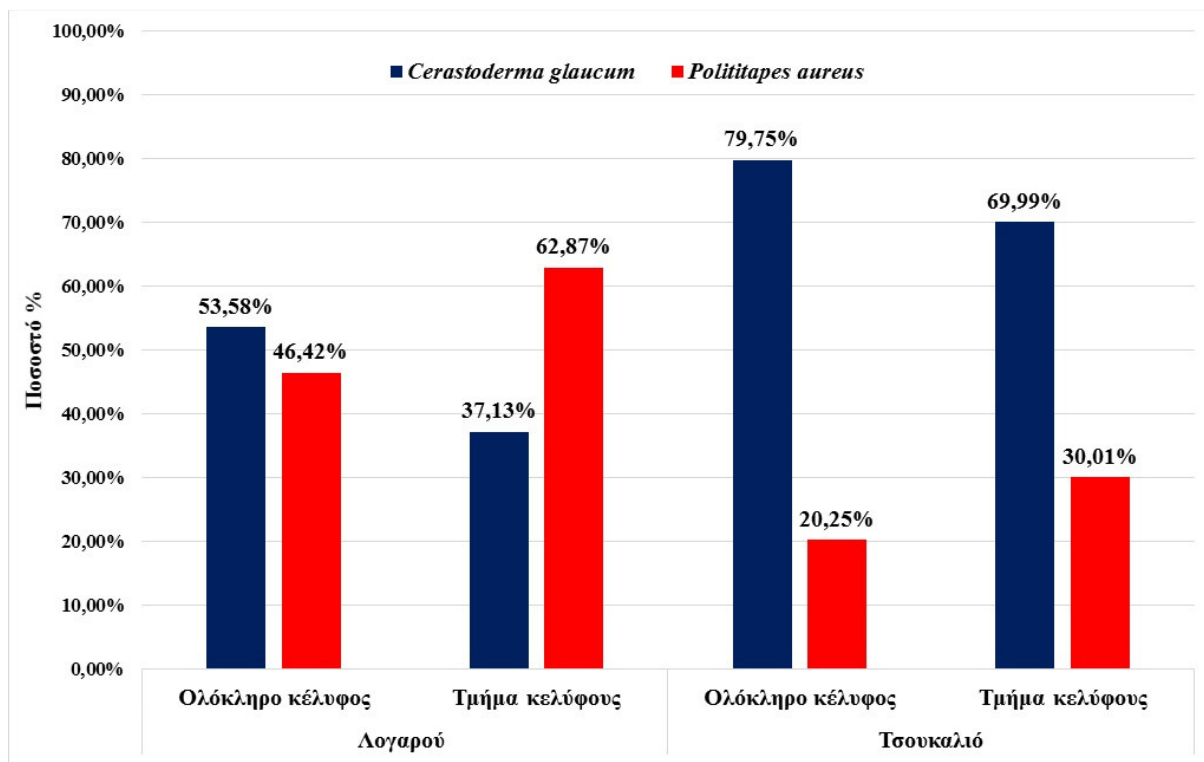
Το μεγαλύτερο μέρος από το συνολικό βάρος μάζας κελύφους που συλλέχθηκε από το είδος *Cerastoderma glaucum* (81.99%) συγκεντρώνεται στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό», ενώ το είδος *Politiitapes aureus* παρουσιάζει παρόμοια ποσοστιαία κατανομή βάρους μεταξύ των δύο λιμνοθαλασσών – «Τσουκαλιό» (53.76%) και «Λογαρού» (46.24%).

Η αναλογία βάρους των δύο ειδών σε κάθε λιμνοθάλασσα παρουσιάζει αντίστοιχη κατανομή όπου στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» είναι 43.47% για το *Cerastoderma glaucum* και 56.53% για το *Politiitapes aureus*, ενώ στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» κυριαρχεί το *Cerastoderma glaucum* (75.06%) έναντι του *Politiitapes aureus* (24.94%) (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Ποσοστιαία κατανομή συνολικού βάρους κελυφών των ειδών *Cerastoderma glaucum* και *Politiitapes aureus* μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού)

Διαπιστώνεται ότι η ανωτέρω αναλογία οφείλεται για την μεν λιμνοθάλασσα «Λογαρού» στο υψηλότερο βάρος των τμημάτων των κελύφων του *Politiitapes aureus* (62.87%), ενώ για την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» το βάρος τόσο του ολόκληρου κελύφους όσο και των τμημάτων κελύφους του *Cerastoderma glaucum* είναι πολύ υψηλά, 79.75% και 69.99% αντίστοιχα (Σχήμα 10).

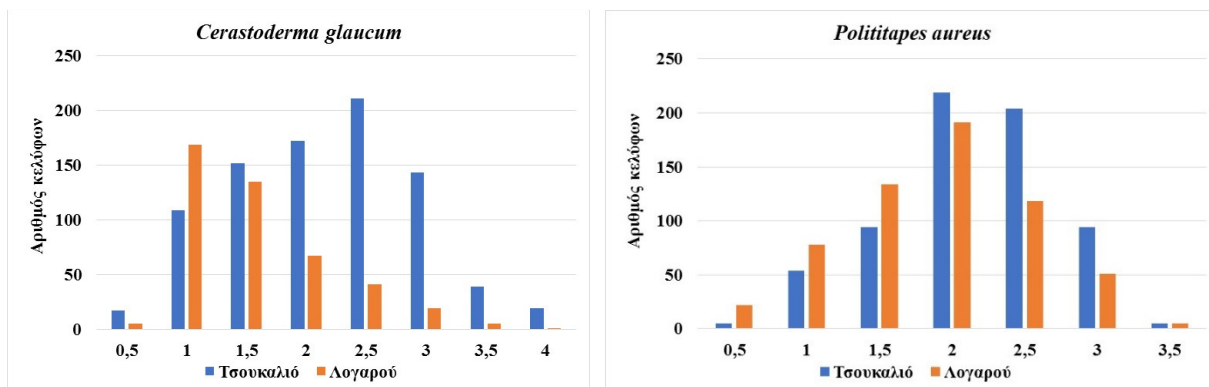


Σχήμα 10. Αναλογία βάρους κελυφών (ολόκληρων και τμημάτων) των ειδών *Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus* μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού)

3.2.2. Κατανομή μήκους των κελυφών

Τα δύο είδη, *Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus* παρουσιάζουν σημαντική διαφορά μεταξύ των λιμνοθαλασσών όσον αφορά το μέσο μήκος της θυρίδας καθώς διαπιστώνεται ότι στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» είναι δύο χιλιοστά (2mm) μικρότερο σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό».

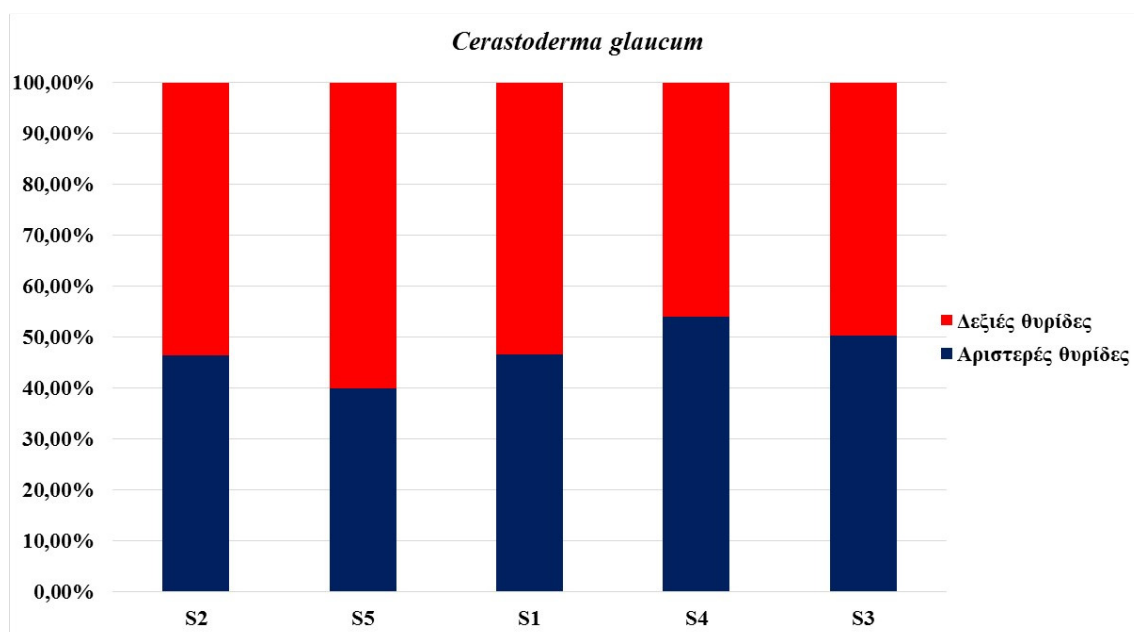
Το *Cerastoderma glaucum* εμφανίζει μία δεξιά ασύμμετρη κατανομή στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» με μέσο όρο μήκους κελύφους 1.51cm, ενώ εμφανίζει σχεδόν κανονική κατανομή στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» με μέσο όρο μήκους κελύφους 1.73cm (Σχήμα 11α). Αντίθετα, το είδος *Polititapes aureus* παρουσιάζει κανονική κατανομή και στις δύο λιμνοθάλασσες με μέσο όρο μήκους κελύφους 1.73cm στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» και 1.52cm στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (Σχήμα 11β).



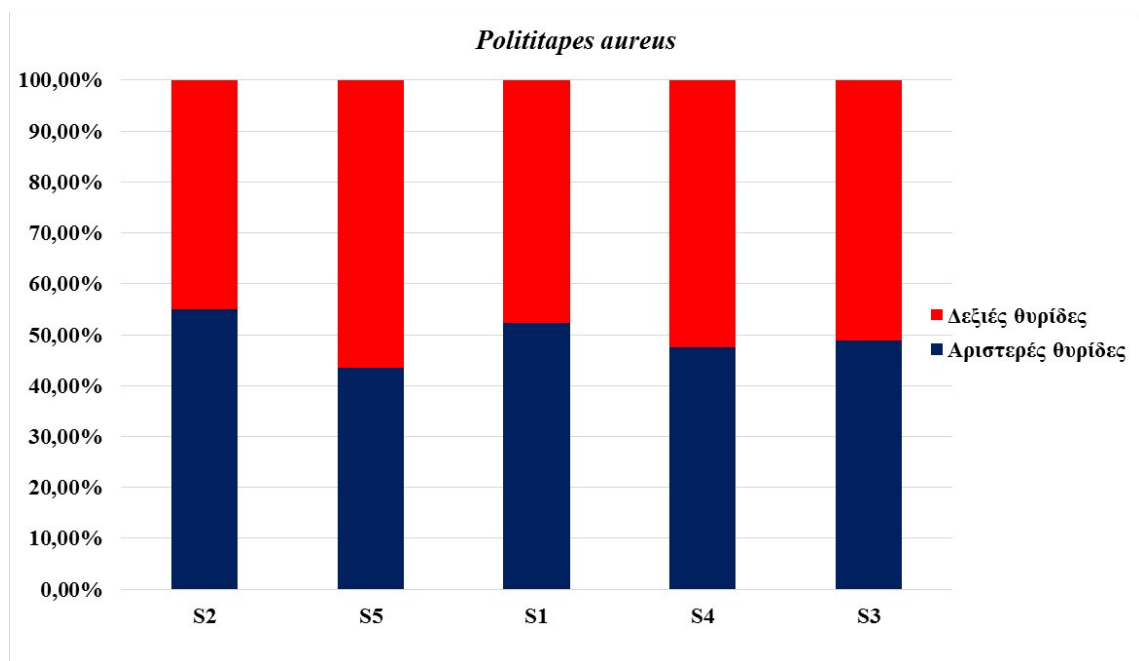
Σχήμα 11. Κατανομή του μήκους κελύφους του *Cerastoderma glaucum* (α) και του *Polititapes aureus* (β) μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού).

3.2.3. Αναλογία αριστερών / δεξιών θυρίδων

Η αναλογία των αριστερών / δεξιών θυρίδων στους σταθμούς δειγματοληψίας όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα διαφέρει ανάμεσα στους δειγματοληπτικούς σταθμούς όπου οι δεξιές θυρίδες του *Cerastoderma glaucum* είναι σε μεγαλύτερη αφθονία στους σταθμούς S2, S5 και S1 στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε σχέση με τους σταθμούς S3 και S4 στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (Σχήμα 12). Όσον αφορά το *Polititapes aureus*, οι δεξιές θυρίδες είναι σε μεγαλύτερη αφθονία στους δειγματοληπτικούς σταθμούς στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» σε αντίθεση με την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» όπου όμως ο σταθμός S5 παρουσιάζει σημαντική διαφορά με την εμφάνιση περισσότερων δεξιών θυρίδων αντί αριστερών όπως οι σταθμοί S2 και S1 (Σχήμα 13).



Σχήμα 12. Αναλογία αριστερών/δεξιών θυρίδων του είδους *Cerastoderma glaucum* μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών.



Σχήμα 13. Αναλογία αριστερών/δεξιών θυρίδων του είδους *Polittapes aureus* μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών.

3.2.4. Ταφονομική ανάλυση

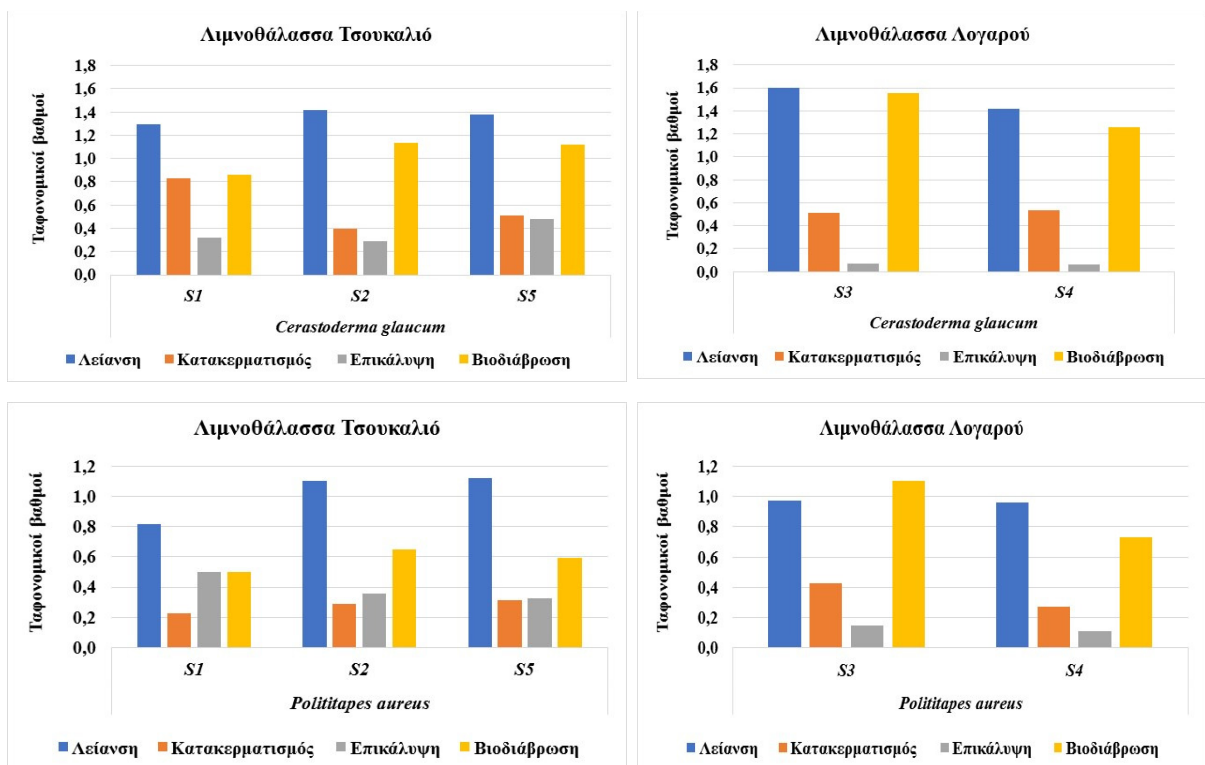
Η ταφονομική ανάλυση των ειδών *Cerastoderma glaucum* και *Polittapes aureus* η οποία πραγματοποιήθηκε όσον αφορά τα ταφονομικά χαρακτηριστικά: λείανση, κατακερματισμός, επικάλυψη και βιοδιάβρωση εξετάστηκε σε αναλογία τριών βαθμονομημένων τιμών που απεικονίζουν την «καλή» (βαθμός 0), την «μέτρια» (βαθμός 1) και την «κακή» (βαθμός 2) διατήρηση των κελύφων τους με την χρήση τριμερών ταφογραμμάτων. Επίσης, οι μέσες τιμές των ταφονομικών χαρακτηριστικών συγκρίθηκαν για κάθε είδος και για κάθε δειγματοληπτικό σταθμό καθώς επίσης για τις διακριτές τιμές του μήκους των κελύφους ανά είδος και ανά λιμνοθάλασσα.

3.2.4.1. Λείανση

Η λείανση όπως και ο κατακερματισμός αποτελούν το αποτέλεσμα της φυσικής επίδρασης των μηχανικών εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν και καταστρέφουν το κέλυφος καθώς είναι υπεύθυνες για την κίνηση και την σύγκρουση των κελυφών με τα άλλα ιζηματογενή σωματίδια, όπως είναι η επίδραση των ρευμάτων, ο άνεμος ή οι καιρικές συνθήκες, τόσο βενθικά όσο και στις εναποθέσεις των συσσωματώσεων (Kidwell *et al.* 1991, Kowalewski *et al.* 1994)

Η λείανση ή τριβή του κελύφους του *Cerastoderma glaucum* διαφαίνεται ως το αποτέλεσμα της απάλυνσης των ραβδώσεων του εξωτερικού κελύφους, ενώ και στο εσωτερικό μέρος μπορεί να παρατηρηθεί από την λείανση του οστράκου (εικόνα 7). Στο είδος *Politiitapes aureus* η λείανση προκύπτει από την απώλεια της λάμψης – στιλπνότητας τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό κέλυφος καθώς επίσης από την έλλειψη της λείας επιφάνειας και των πολυάριθμων συγκεντρωτικών ραβδώσεων του εξωτερικού κελύφους του οστράκου (εικόνα 8).

Η λείανση εμφανίζει την μεγαλύτερη τάση από όλα τα ταφονομικά χαρακτηριστικά και για τα δύο είδη στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό», καθώς επίσης και για το *C. glaucum* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (Σχήμα 13). Διαπιστώνεται δε ότι η λείανση έχει υψηλότερη ένταση για το είδος *P. aureus* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού», η οποία ακολουθείται με σχεδόν παρόμοια υψηλή ένταση από την βιοδιάβρωση ιδιαίτερα στον δειγματοληπτικό σταθμό S3 (Σχήμα 13).



Σχήμα 13. Κατανομή των μέσων τιμών των ταφονομικών βαθμών των χαρακτηριστικών λείανση, κατακερματισμός, επικάλυψη και βιοδιάβρωση, ανά είδος και ανά λιμνοθάλασσα

Ανάλογη εικόνα παρουσιάζεται στην ανάλυση των τριμερών ταφογραμμάτων όπου η λείανση είναι εντονότερη για το είδος *C. glaucum* και στις δύο λιμνοθάλασσες. Αντίθετα, το

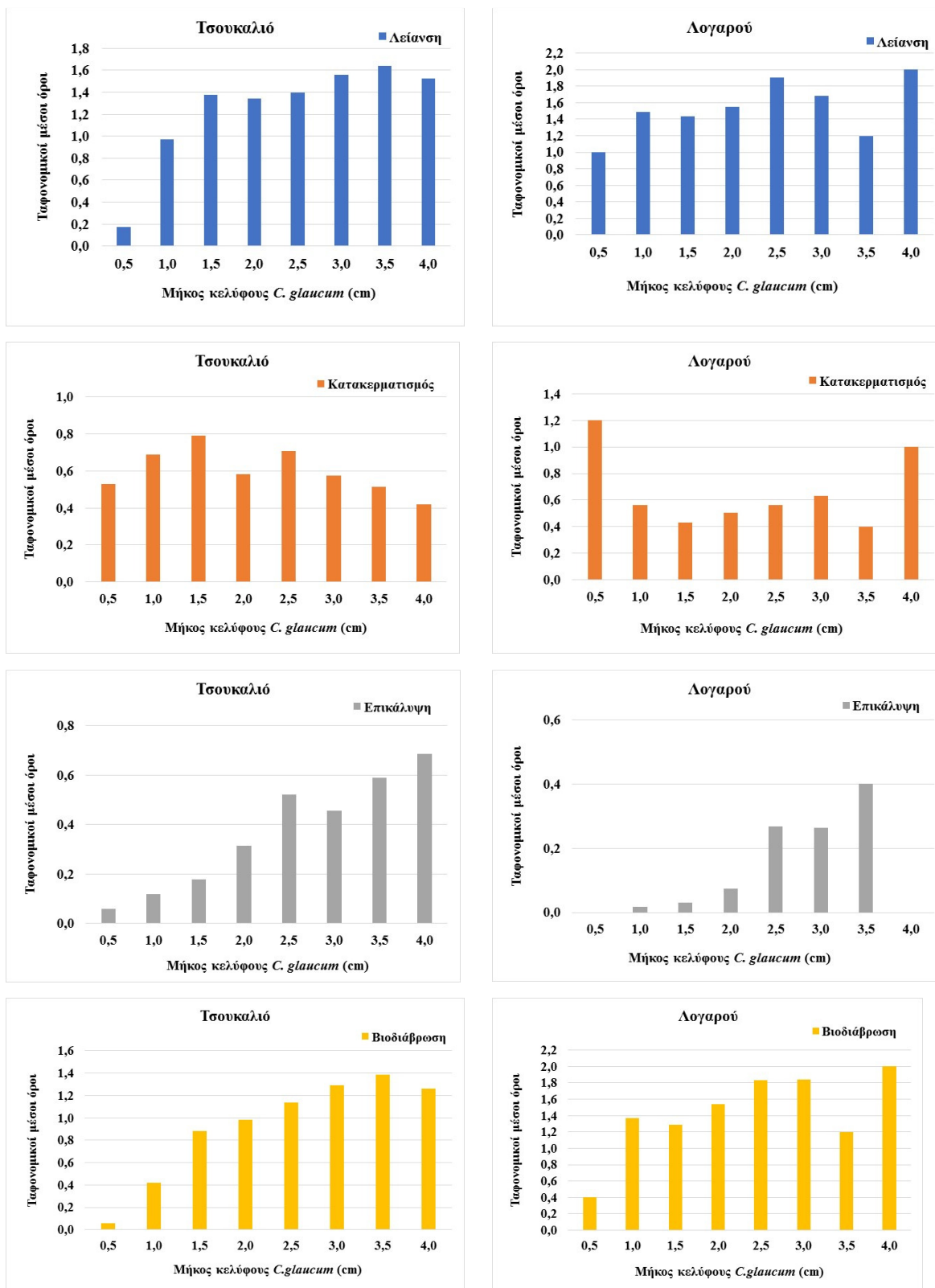
είδος *P. aureus* παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό», με εξαίρεση τον δειγματοληπτικό σταθμό S1 όπου η λείανση παρουσιάζεται σε χαμηλότερη ένταση ακόμα και σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (Σχήμα 16). Το είδος *P. aureus* ταφονομικά δείχνει ανομοιόμορφη ή ακανόνιστη κατανομή ως προς το ταφονομικό χαρακτηριστικό της λείανσης αλλά γενικότερα οι τιμές είναι εντονότερες σε σχέση με τα υπόλοιπα ταφονομικά χαρακτηριστικά.

Επίσης, η λείανση παρουσιάζεται βαθμονομικά αυξανόμενη ανάλογα με την αύξηση του μεγέθους του κελύφους του οστράκου και στις δύο λιμνοθάλασσες τόσο για το *Cerastoderma glaucum* όσο και για το *Politiitapes aureus* (Σχήματα 14 και 15).

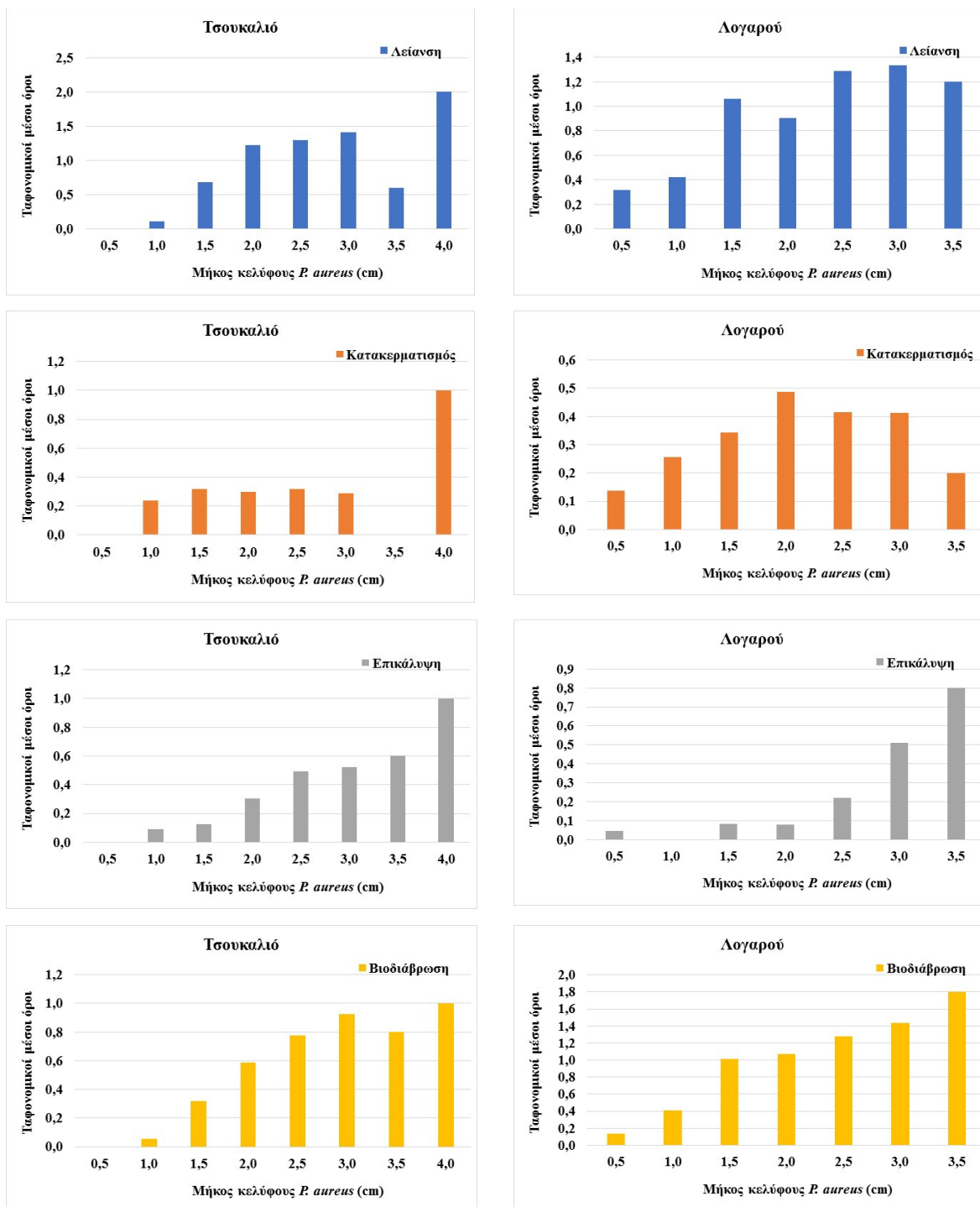
Η λείανση συσχετίζεται σημαντικά μεταξύ όλων των ταφονομικών κατηγοριών αλλά σε μικρά επίπεδα ($r = 0.05 - 0.25$) και για τα δύο είδη, ενώ παρουσιάζει σχετικά υψηλότερη συσχέτιση με την βιοδιάβρωση ($r = 0.57$ και 0.61 για το *C. glaucum* και *P. aureus* αντίστοιχα) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Συσχέτιση των ταφονομικών βαθμών ανά δίθυρο εξεταζόμενο είδος

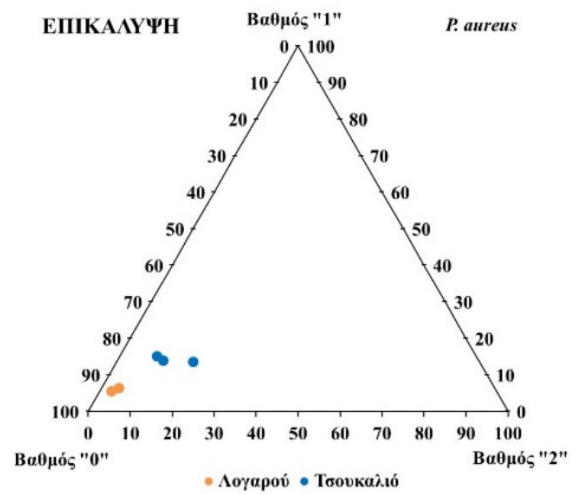
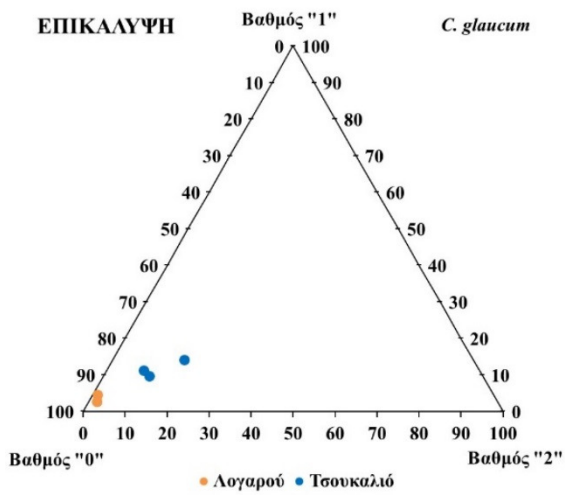
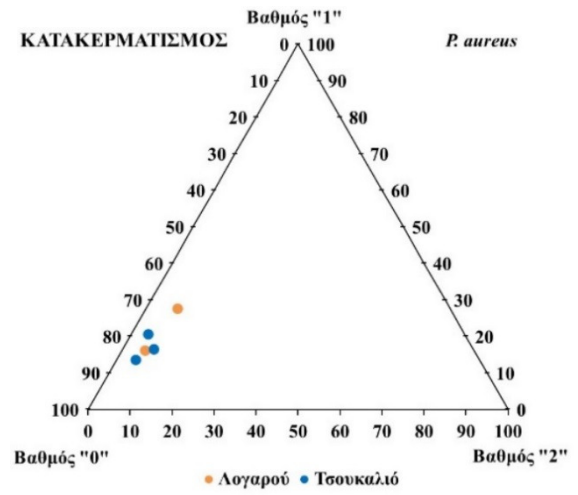
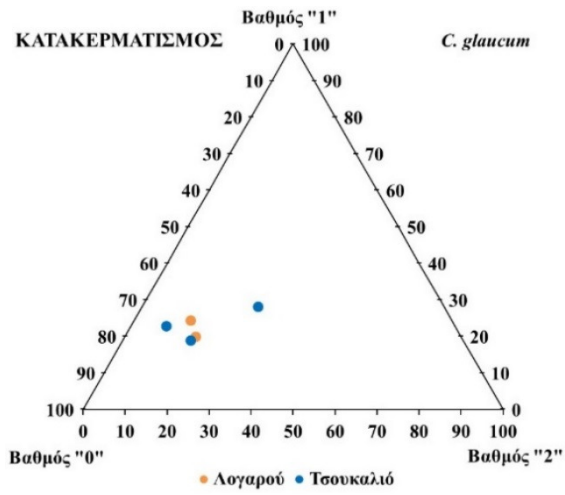
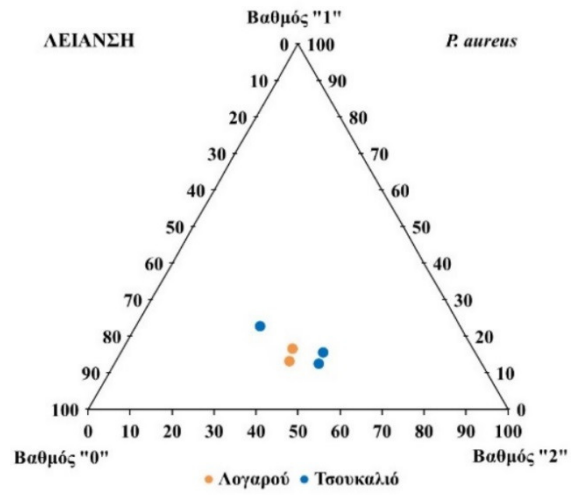
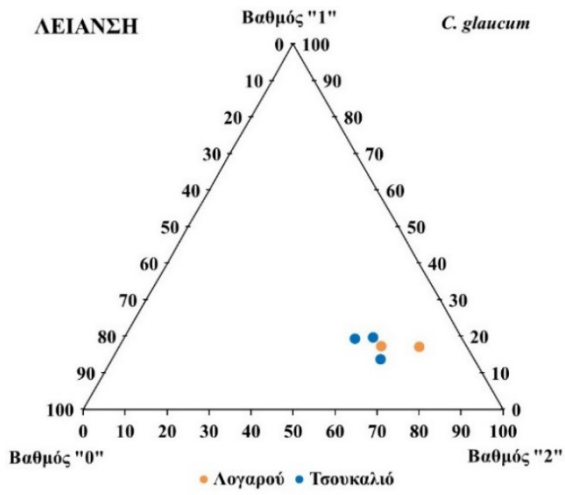
| <i>Cerastoderma glaucum</i> | Λείανση | Κατακερματισμός | Επικάλυψη | Βιοδιάβρωση |
|-----------------------------|---------|-----------------|-------------|-------------|
| Λείανση | 1,000 | ,205 | ,236 | ,615 |
| Sig. (1-tailed) | | ,000 | ,000 | ,000 |
| Κατακερματισμός | ,205 | 1,000 | ,054 | ,092 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | | ,025 | ,000 |
| Επικάλυψη | ,236 | ,054 | 1,000 | ,254 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | ,025 | | ,000 |
| Βιοδιάβρωση | ,615 | ,092 | ,254 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | ,000 | ,000 | |
| <i>Politiitapes aureus</i> | Λείανση | Κατακερματισμός | Επικάλυψη | Βιοδιάβρωση |
| Λείανση | 1,000 | ,208 | ,255 | ,577 |
| Sig. (1-tailed) | | ,000 | ,000 | ,000 |
| Κατακερματισμός | ,208 | 1,000 | ,093 | ,240 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | | ,000 | ,000 |
| Επικάλυψη | ,255 | ,093 | 1,000 | ,232 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | ,000 | | ,000 |
| Βιοδιάβρωση | ,577 | ,240 | ,232 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | ,000 | ,000 | ,000 | |

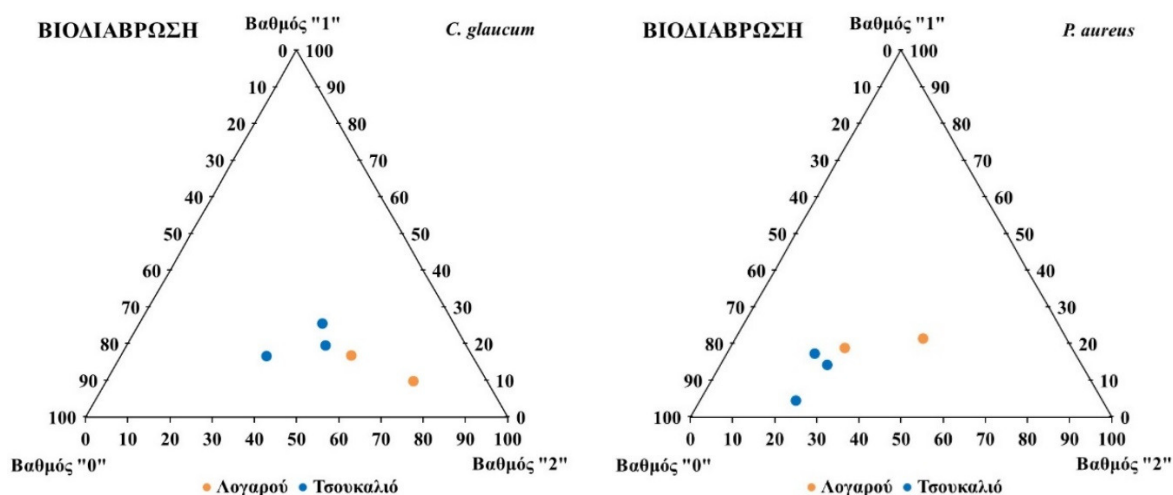


Σχήμα 14. Κατανομή των ταξονομικών βαθμών του *Cerastoderma glaucum* σε σχέση με τις κλάσεις μήκους του κελύφους για κάθε λιμνοθάλασσα (Τσουκαλιό, Λογαρού) και για κάθε ταξονομικό χαρακτηριστικό (λείανση, κατακερματισμός, επικάλυψη, βιοδιάβρωση).



Σχήμα 15. Κατανομή των ταφονομικών βαθμών του *Polititapes aureus* σε σχέση με τις κλάσεις μήκους του κελύφους για κάθε λιμνοθάλασσα (Τσουκαλιό, Λογαρού) και για κάθε ταφονομικό χαρακτηριστικό (λείανση, κατακερματισμός, επικάλυψη, βιοδιάβρωση).





Σχήμα 16. Τριμερή διαγράμματα φάσεων (ταφογράμματα) των ταφονομικών χαρακτηριστικών της λείανσης, του κατακερματισμού, της επικάλυψης και της βιοδιάβρωσης των κελύφων ανά είδος (*Cerastoderma glaucum* και *Polititapes aureus*) μεταξύ των λιμνοθαλασσών (Τσουκαλιό, Λογαρού) του Αμβρακικού κόλπου.

3.2.4.2. Κατακερματισμός

Ο κατακερματισμός ή θρυμματισμός που σημειώνεται από την απώλεια τμημάτων του κελύφους του οστράκου αποδίδεται κυρίως στην επίδραση των υδροδυναμικών τάσεων αλλά και την δυναμική της αιολικής ενέργειας που επικρατεί σε κάθε περιοχή ή και από θηρευτές, ενώ μπορεί να σημειωθεί και ως αποτέλεσμα της βιοδιάβρωσης του κελύφους (Kidwell *et al.* 1991, Kowalewski *et al.* 1994, Kidwell *et al.* 2001).

Επίδραση θηρευτών ανιχνεύτηκε σε ελάχιστα δείγματα κυρίως όσον αφορά από τα γαστερόποδα όπου είναι χαρακτηριστική η οπή που δημιουργείται στο κέλυφος των διθύρων οστράκων, ενώ η θηρευτική επίδραση καβουριών ή πτηνών δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστεί.

Όσον αφορά το είδος *C. glaucum* ο κατακερματισμός διαπιστώνεται στις εξωτερικές πλευρές του κελύφους (εικόνα 7) καθώς η σκληρότητα του οστράκου συμβάλει καθοριστικά στην αποτροπή της αποκοπής μεγάλων τμημάτων και ως εκ τούτου τα εξεταζόμενα κελύφη κατά μεγαλύτερο ποσοστό εντάσσονται στην κατηγορία των ολόκληρων κελύφων που εξετάστηκαν και όχι των σπασμένων τμημάτων. Αντίθετα, το περιόστρακο του είδους *P. aureus* καθώς είναι πιο λεπτό και ως εκ τούτου εύθραυστο, καταγράφηκε μεγάλος αριθμός κατακερματισμένων κελυφών τα οποία δεν μπορούσαν να ληφθούν ως άθικτα και να ενταχθούν στην αντίστοιχη κατηγορία των εξεταζόμενων ολόκληρων κελυφών (εικόνα 8).

Ο κατακερματισμός του είδους *Cerastoderma glaucum* παρουσιάζει σχεδόν την ίδια ένταση και για τις δύο λιμνοθάλασσες με εξαίρεση τον δειγματοληπτικό σταθμό S1 όπου

είναι σχεδόν διπλάσιος σε σχέση με τους άλλους σταθμούς (Σχήμα 13). Ομοίως, η ταφονομική ανάλυση των τριμερών ταφογραμμμάτων αποτυπώνει την ίδια σχεδόν ένταση του κατακερματισμού για αμφότερα τα δύο είδη και στις δύο λιμνοθάλασσες (Σχήμα 16), με το είδος *P. aureus* να εμφανίζει καλύτερη διατήρηση σε σχέση με το *C. glaucum*.

Επίσης, ο κατακερματισμός παρουσιάστηκε με τις χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα ταφονομικά χαρακτηριστικά μόνο για το είδος *P. aureus* στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» (Σχήμα 13).

Εξάλλου, όπως είχε σημειωθεί ο αριθμός των σπασμένων τμημάτων κελυφών που καταγράφηκαν μεταξύ των δύο ειδών και μεταξύ των λιμνοθαλασσών είναι μεγαλύτερος για το είδος *P. aureus* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (σχήμα 7 και 8).

Ο κατακερματισμός σε σχέση με τις κλάσεις μήκους του οστράκου όσον αφορά το είδος *C. glaucum* παρατηρείται ότι κρατάει μια σταθερή κατανομή και στις δύο λιμνοθάλασσες με εξαίρεση τις ακραίες τιμές μήκους στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» που εμφανίζουν μεγαλύτερη ένταση του κατακερματισμού (Σχήμα 14). Το είδος *P. aureus* εμφανίζει λίγο μεγαλύτερη τάση κατακερματισμού στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 13, η οποία παρουσιάζεται στις κλάσεις από 2 έως 3 εκατοστά μήκους του κελύφους του οστράκου.

Ο κατακερματισμός συσχετίζεται με όλες τις ταφονομικές κατηγορίες μόνο για το είδος *P. aureus*, ενώ για το είδος *C. glaucum* συσχετίζεται με την λείανση και την βιοδιάβρωση αλλά όχι με την επικάλυψη (Πίνακας 1).

3.2.4.3. Επικάλυψη

Η επικάλυψη αποτελεί συχνό φαινόμενο στα θαλάσσια περιβάλλοντα καθώς οργανισμοί όπως κοραλλιογενείς άλγη, τρηματοφόρα, πολύχαιτοι, βρυόζωα κ.λπ. επικάθονται στα κελύφη των δίθυρων ή γαστερόποδων οστράκων (Kowalewski *et al.* 1994). η επικάλυψη που παρατηρήθηκε τόσο στο *C. glaucum* όσο και στο *P. aureus* (εικόνες 7 και 8) ήταν κυρίως από ελικοειδείς ασβεστολιθικούς σωλήνες σκωλήκων (*Serpulidae spp*) θαλάσσιων πολυχαιτών όπως αναφέρονται και από τους Best & Kidwell (2000a).

Η λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» παρουσιάζει την μεγαλύτερη τάση επικάλυψης των κελυφών, με το είδος *P. aureus* να έχει τις μεγαλύτερες τιμές, σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπου η επικάλυψη κυμαίνεται σε χαμηλότερη τάση (Σχήμα 13).

Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζεται στα τριμερή ταφογράμματα όπου η καλή διατήρηση των οστράκων και των δύο ειδών διαπιστώνεται και για τις δύο λιμνοθάλασσες με εκείνη της λιμνοθάλασσας «Λογαρού» να είναι η καλύτερη (Σχήμα 16).

Η ένταση της επικάλυψης αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος του κελύφους και στις δύο λιμνοθάλασσες, και για τα δύο είδη όπως επισημάνθηκε και για το ταφονομικό χαρακτηριστικό της λείανσης (Σχήματα 14 και 15).

Η επικάλυψη συσχετίζεται σημαντικά με όλες τις ταφονομικές κατηγορίες (Πίνακας 1).

3.2.4.4. Βιοδιάβρωση

Η βιοδιάβρωση διαπιστώνεται από τις οπές τόσο στο εσωτερικό του μέρους κελύφους όσο και στο περίοστρακο (εικόνες 7 και 8) που μπορεί να έχει προκληθεί από πολύχαιτους όπως το είδος *Polydora ciliata* (Hertweck 1971 στους Schneider-Storz *et al.* (2008) ή από τρηματοφόρα (Cadée & Wesselingh 2005, Ράπτη 2014) και κυανοβακτήρια (Pawlowska *et al.* 2008).

Ως ταφονομικό χαρακτηριστικό η βιοδιάβρωση παρουσιάζεται με την μεγαλύτερη ένταση αμέσως μετά την λείανση και στις δύο λιμνοθάλασσες και για τα είδη, ενώ ιδιαίτερα στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» έχει την μεγαλύτερη τιμή για το είδος *P. aureus* σε σχέση με τα υπόλοιπα ταφονομικά χαρακτηριστικά (Σχήμα 13). Επίσης, η λιμνοθάλασσα «Λογαρού» εμφανίζει την μεγαλύτερη βιοδιάβρωση του κελύφους και για τα δύο όστρακα, με υψηλότερες τιμές στο είδος *C. glaucum* (Σχήμα 13).

Στην ταφονομική ανάλυση των τριμερών ταφογραμμμάτων αποτυπώνεται η «κακή» διατήρηση των κελύφων του είδους *C. glaucum* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού», ενώ αντίθετα το δίθυρο είδος *P. aureus* έχει μία πιο ήπια ένταση της βιοδιάβρωσης με εξαίρεση τον δειγματοληπτικό σταθμό S3 στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» (Σχήμα 16).

Η ένταση της βιοδιάβρωσης όπως διαπιστώθηκε και για τα ταφονομικά χαρακτηριστικά της λείανσης και της επικάλυψης, αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος του κελύφους και στις δύο λιμνοθάλασσες και για τα δύο είδη (Σχήματα 14 και 15).

Η βιοδιάβρωση συσχετίζεται σημαντικά με όλες τις ταφονομικές κατηγορίες και ιδιαίτερα υψηλά με την λείανση (Πίνακας 1).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Κατανομή των συσσωματώσεων μεταξύ των λιμνοθαλασσών

Η σύνθεση των συσσωματώσεων των εναποτιθέμενων υλικών στις αμμονησίδες των δύο εξεταζόμενων κύριων λιμνοθαλασσών του Αμβρακικού κόλπου «Τσουκαλιό» και «Λογαρού» παρουσιάζουν διαφορετική χωρική κατανομή αφενός όσον αφορά την αναλογία των οργανικής προέλευσης και ανόργανων υλικών και αφετέρου όσον αφορά την σύνθεση των ειδών των οργανικής προέλευσης υλικών (κελύφη). Οι συσσωματώσεις των κελυφών στους ανατολικούς δειγματοληπτικούς σταθμούς (λιμνοθάλασσα Λογαρού) περιέχουν μεγαλύτερες αναλογίες ανόργανων υλικών και θρυμμάτων κελυφών (σχήμα 2: διάφορα και υλικά < 2mm) σε σχέση με τους δυτικούς δειγματοληπτικούς σταθμούς (λιμνοθάλασσα Τσουκαλιό). Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι δύο ομάδες των δειγματοληπτικών σταθμών βρίσκονται υπό διαφορετικές συνθήκες δυναμικής επίδρασης νερού και ανέμου (Stamou *et al.*, 2012).

Οι δειγματοληπτικοί σταθμοί S3 και S4 (ομάδα II) στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» παρουσιάζουν εκείνα τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των αρχόμενων αμμόλοφων τα οποία υποστηρίζουν την ανάπτυξη της βλάστησης (εικόνα 1β) με χαμηλή επίδραση από το κύμα και τον άνεμο, ενώ οι δειγματοληπτικοί σταθμοί S1 & S5 (ομάδα I) παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της εμβρυακής ζώνης του αμμόλοφου, με υψηλή επίδραση από το κύμα και τον άνεμο (Kidd, 2001). Ο δε σταθμός S2 παρότι συμπεριλαμβάνεται στην Ομάδα II διαθέτει το μεγαλύτερο ποσοστό διθύρων εντός της ομάδας και γίνεται σαφές ότι η υψηλότερη συγκέντρωση ψιλόκοκκου υλικού σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς στις αμμονησίδες της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό» οφείλεται στην προφυλασσόμενη γεωμορφολογική θέση του σταθμού. Ως εκ τούτου, η διαφορετική σύνθεση των εναποτιθέμενων υλικών μεταξύ των ομάδων μπορεί να αποδοθεί στον υψηλότερο ρυθμό μεταφοράς των ελαφρών τμημάτων (π.χ. άμμος, θραύσματα) από τον άνεμο και το νερό στους δειγματοληπτικούς σταθμούς S1 και S2 σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς που είναι εκτός της επίδρασης του κύματος, καθώς επίσης στο γεγονός ότι η βλάστηση ενισχύει την συγκράτηση των ελαφρύτερων τμημάτων (Kidd, 2001).

Τα πιο συχνά κυρίαρχα είδη δίθυρων οστράκων που καταγράφηκαν και στις δύο λιμνοθάλασσες ήταν το *Cerastoderma glaucum*, το *Polititapes aureus* και το *Loripes orbiculatus* (εικόνα 4). Οι διαφορές στα κελύφη των δίθυρων ειδών μπορούν να αποδοθούν

τόσο στα ιδιαίτερα μορφομετρικά τους χαρακτηριστικά (βαρύτερο κέλυφος του είδους *C. glaucum* από εκείνο του *P. aureus* και *L. orbiculatus*) σε σχέση με την δυναμική του νερού και του ανέμου μεταξύ των δύο ομάδων των δειγματοληπτικών σταθμών, όσο και στις πιθανές διαφορές στην χωρική κατανομή των διαφόρων ειδών στην παράκτια ζώνη του κόλπου. Με δεδομένο ότι η μελετώμενη ακτογραμμή παρουσιάζει ετερογενή επίδραση από την εισροή υδάτων (οι εκροές του Αράχθου ποταμού -Βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου – είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερες από τις εκροές του Λούρου ποταμού – Βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου: Katselis *et al.*, 2013), είναι σαφές ότι συνιστά στην διαφορετική χωρική κατανομή της σύνθεσης των εναποτιθέμενων ειδών διθύρων στις αμμονησίδες των λιμνοθαλασσών.

Συνολικά, τα 41 είδη δίθυρων μαλακίων τα οποία καταγράφηκαν στην παρούσα εργασία, αντιπροσωπεύουν το 46% όλων των ειδών που έχουν σημειωθεί στον Αμβρακικό κόλπο από προηγούμενες μελέτες (Zenetos, 1997). Τα δίθυρα τα οποία καταγράφηκαν στους δειγματοληπτικούς σταθμούς διανέμονται κυρίως σε μικρά βάθη (Galinou-Mitsoudi *et al.*, 2007). Η ζώνη βάθους 0 – 10 μέτρων μπροστά από την περιοχή μελέτης (εικόνα 1α) εκτείνεται από 1 έως 3 χιλιόμετρα καλύπτοντας περίπου το 20% της επιφάνειας του κόλπου. Ως εκ τούτου, διαφαίνεται ότι η πανίδα των δίθυρων μαλακίων της μεσοπαραλιακής έως υποπαραλιακής ζώνης τροφοδοτεί τις συσσωματώσεις των κελύφων που παρουσιάζονται στην βόρεια ακτογραμμή των λιμνοθαλασσών του κόλπου.

4.2. Κατανομή των ειδών *C. glaucum* και *P. aureus* μεταξύ των λιμνοθαλασσών

4.2.1. Ποσοτική κατανομή των θυρίδων

Τα δύο είδη απαντώνται στην υποπαραλιακή έως παραλιακή ζώνη και προτιμούν τους βιοτόπους με μαλακό υπόστρωμα καθώς κοινό τους χαρακτηριστικό είναι η ρηχή εισχώρηση σε αυτό όσο περίπου το μήκος του οστράκου (*C. glaucum*) ή έως λίγα εκατοστά (*P. aureus*). Η διαφορά των δύο δίθυρων μαλακίων έγκειται κυρίως στο όστρακό τους όπου το *C. glaucum* είναι σφαιρικό έως τετράγωνο, αρκετά σκληρό και βαρύ, ενώ το *P. aureus* είναι ωοειδές, σχεδόν τριγωνικό, αρκετά λεπτό και ελαφρύ.

Ως εκ τούτου, η μεταφορά και η κατανομή των δύο εξεταζόμενων ειδών μεταξύ των λιμνοθαλασσών είναι άμεσα εξαρτώμενη από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κελύφους τους και όχι από χαρακτηριστικά του βιοτόπου τους ή βιολογικά χαρακτηριστικά όπως το

βάθος που εισχωρούν στο υπόστρωμα. Ιδιαίτερα το *C. glaucum* ως είδος αργής εισχώρησης δείχνει σαφή προτίμηση στο μαλακό υπόστρωμα καθώς τα νεαρά άτομα διεισδύουν πιο γρήγορα ως μέσο άμυνας από τους θηρευτές ενώ τα μεγαλύτερα έχει διαπιστωθεί ότι είναι σχεδόν ανίκανα να διεισδύσουν σε χονδροειδή ιζήματα (Leontarakis *et al.* 2008).

Τα ισόθυρα είδη συνήθως δεν παρουσιάζουν στις εναποθέσεις των συσσωματώσεων των κελυφών μεγάλη διαφορά όσον αφορά την κατανομή των δεξιών – αριστερών θυρίδων, εκτός αν υπάρχει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στην μορφή του κελύφους όπως για το είδος *Mya arenaria* που ο εσωτερικός επιμήκης χονδροφόρος ελαστικός σύνδεσμος της αριστερής θυρίδας λειτουργεί σαν άγκυρα κατά την μεταφορά του κελύφους (Angseesing 2018).

Οι λιμνοθάλασσες «Λογαρού» και «Τσουκαλιό» παρουσιάζουν την ίδια κατανομή αριστερών – δεξιών θυρίδων και για τα δύο είδη, με ελάχιστα μεγαλύτερη εμφάνιση των δεξιών θυρίδων στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε έναν μόνο δειγματοληπτικό σταθμό (S5).

Σε αυτές τις περιπτώσεις όπου δεν διαπιστώνεται σαφής διαχωρισμός μεταξύ των εναποθέσεων των αριστερών – δεξιών κελυφών τότε η πιθανότερη αιτία μεταφοράς είναι από τα ρεύματα και όχι η κίνηση από τα κύματα (Angseesing 2018). Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από τους Stamou *et al.* (2012) όπου αναφέρεται ότι ο υδραυλικός χρόνος ανανέωσης των υδάτων δεν εξαρτάται από την επίδραση του ανέμου αλλά από τις εισροές από την είσοδο του κόλπου και κυρίως από τις εισροές των ποταμών «Αράχθου» και «Λούρου».

Οι συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» συγκεντρώνουν την μεγαλύτερη ποσότητα από το βαρύτερο κέλυφος του είδους *C. glaucum*, ενώ η λιμνοθάλασσα «Λογαρού» έχει υψηλότερο ποσοστό παρουσίας του ελαφρύτερου κελύφους του *P. aureus* καθώς επίσης συγκεντρώνει και τα υψηλότερα ποσοστά θρυμματισμένων οστράκων και από τα δύο είδη.

4.2.2. Κατανομή του μεγέθους των θυρίδων

Η κατανομή της συχνότητας του μεγέθους των απολιθωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την μελέτη της δυναμικής των πληθυσμών και την αποτύπωση της επιβίωσης των ειδών στο χρόνο καθώς επίσης για την διάκριση μεταξύ εναποθέσεων απολιθωμένων κοινοτήτων ή υπολειμμάτων αυτών αλλά και μεταξύ μεταφερόμενων και μη μεταφερόμενων

συσσωματώσεων (Boucot 1953, Fagerstrom 1964, Cadée 1982a,b, Cadée 1988, Jones *et al.* 1989, Bitner 2002).

Η υψηλά ασύμμετρη δεξιά κατανομή που εμφανίζει το *Cerastoderma glaucum* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» αναφέρεται ως «Τύπου III» καμπύλη επιβίωσης των ασπόνδυλων ειδών σύμφωνα με τον Pianca (1978) όπου διαπιστώνεται εξαιρετικά απότομη θνησιμότητα των νεαρών ατόμων που βρίσκονται στο προνυμφιακό στάδιο, λόγω του μεγάλου πληθυσμού σε αυτό το στάδιο της αναπαραγωγής ακολουθούμενη από σχετικά υψηλό ποσοστό επιβίωσης (Thayer 1975, Noble & Logan 1981, Cadée 1982a, Cadée 1988).

Επιπλέον, όπως αναφέρει ο Fagerstrom (1964) η ασύμμετρη δεξιά κατανομή υποδεικνύει την ισχυρή παρουσία αυτούσιας της κοινότητας απολιθωμάτων καθώς επίσης ότι η εναπόθεση προέρχεται από την επίδραση ισχυρών ρευμάτων, ενώ οι συμμετρικές κατανομές όπως διαπιστώνεται για το είδος *C. glaucum* στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» αλλά και για το είδος *P. aureus* και στις δύο λιμνοθάλασσες, υποδεικνύουν την ύπαρξη υπολειμματικής εναπόθεσης ή ότι οι συσσωματώσεις προέρχονται από την μεταφορά των απολιθωμάτων.

Η κανονική κατανομή δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποκλείει ή δεν εμπεριέχει την ύπαρξη της δεξιάς ασύμμετρης κατανομής και ως εκ τούτου να εξασφαλίσει ότι η συσσωμάτωση είναι υπολειμματική εναπόθεση ή προέρχεται από μεταφορά των υλικών διότι δύναται τα μικρού μεγέθους άτομα να έχουν απομακρυνθεί υπό την επίδραση εξωτερικών παραγόντων όπως τα ρεύματα ή την θήρευση και να μην έχουν υπολογιστεί στην σχέση της κατανομής, καθώς επίσης θα πρέπει να συνυπολογίζεται και να εκτιμάται ανάλογα ο συνεχής ρυθμός αύξησης των ειδών που επεξηγεί την κανονικότητα της κατανομής (Thayer 1975, Thayer 1977).

Ωστόσο, οι Noble & Logan (1981) συγκρίνοντας ζωντανούς με απολιθωμένους πληθυσμούς διαπιστώνουν παρόμοια δεξιά ασύμμετρη κατανομή του μεγέθους παρά την ύπαρξη των σχετικά δυνατών ρευμάτων της περιοχής υποστηρίζοντας και αποδεικνύοντας ως εκ τούτου την υψηλή θνησιμότητα στο νεαρό προνυμφιακό στάδιο των ασπόνδυλων ειδών.

Η υψηλή θνησιμότητα των νεαρών ατόμων υποδεικνύει είδη τα οποία βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια του ιζήματος και προέρχονται από λασπώδη βυθούς, καθώς συσχετίζεται το μικρό μέγεθος με την ταφή από την μετατόπιση των πλούσιων συμπυκνωμένων οργανικών ιζημάτων (Surlyk 1972, Richards & Bambach 1975).

Από τα ανωτέρω, γίνεται αντιληπτό ότι οι συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όσον αφορά το *C. glaucum* προέρχεται από την επίδραση των ρευμάτων, ενώ για την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» η προέλευση τους δύναται να είναι τόσο από τα ρεύματα όσο και από την παραγωγή του Αμβρακικού κόλπου. Όσον αφορά το είδος *P. aureus*, οι κατανομές των μεγεθών του μήκους δεν δύναται να επεξηγήσουν με ασφάλεια την παρουσία του στις συσσωματώσεις λόγω της παρουσίας των ρευμάτων ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι οι πληθυσμοί του προέρχονται απευθείας από τη παραγωγή του είδους στον Αμβρακικό κόλπο και στις δύο λιμνοθάλασσες.

Επιπρόσθετα, οι κατανομές του μεγέθους είναι κατά 2 χιλιοστά μεγαλύτερες και για τα δύο είδη στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού», γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί από την διαφορά της έντασης των ρευμάτων που είτε επιτρέπει τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης ή συνιστά στην απομάκρυνση των μικρότερων κελυφών ή στο σπάσιμο των οστράκων και ως εκ τούτου στην απώλεια από την καταγραφή.

Οι συχνότητες των κατανομών των μεγεθών και των καμπυλών επιβίωσης από μόνες τους δεν μπορούν να επεξηγήσουν το μοτίβο των συσσωματώσεων καθώς υπεισέρχονται μεταβλητές και παράγοντες που έχουν να κάνουν με την ταφή τους γι' αυτό και συνδυάζονται με την αποτύπωση των ταφονομικών χαρακτηριστικών προκειμένου να ερμηνευθούν (Cummins *et al.* 1986, Jones 1989, Callender & Powell 1992, Meldahl *et al.* 1997).

4.3. Ταφονομία των δίθυρων ειδών *C. glaucum* και *P. aureus*

Η ανάλυση της σύστασης των υλικών των εναποθέσεων εμφανίζει την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» να συγκεντρώνει μεγαλύτερες ποσότητες ψιλόκοκκου υλικού καθώς οι εναποθέσεις βρίσκονται στο εσωτερικό μέρος των αμμονησίδων, σε αντίθεση με την λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» όπου οι συσσωματώσεις εντοπίζονται στην άκρη του κύματος και οι εναποθέσεις αποτελούνται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από το βαρύτερο κέλυφος του είδους *C. glaucum*.

Οι συσσωματώσεις των κελυφών των δύο ειδών (*C. glaucum*, *P. aureus*) δύναται να προέρχονται από την συνεχή τροφοδοσία της παραγωγής των οστράκων του Αμβρακικού κόλπου τα οποία μεταφέρονται και εναποτίθενται στις αμμονησίδες των δύο λιμνοθαλασσών με την επίδραση των ρευμάτων καθώς αμφότερα αποτελούν ρηχά ενδοβελτικά είδη.

Η λείανση του κελύφους συνιστά το χαρακτηριστικό με την μεγαλύτερη ένταση και για τα δύο είδη, ενώ το πιο σκληρό κέλυφος του *C. glaucum* είναι πιο ταλαιπωρημένο στις

εναποθέσεις της λιμνοθάλασσας «Λογαρού» όπως διαπιστώνεται και στα τριμερή ταφογράμματα. Η λείανση και ο κατακερματισμός όπως αναφέρεται από τους Meldahl & Flessa (1990) παρουσιάζουν μεγαλύτερη ένταση στις εναποθέσεις στις ακτές. Συνεπώς, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι εκτέθηκε για μεγαλύτερο διάστημα στις περιβαλλοντικές εξωτερικές συνθήκες είτε διανύοντας μεγαλύτερη απόσταση υπό την επίδραση των ρευμάτων είτε παραμένοντας στην συσσωμάτωση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ο διπλάσιος σε ένταση κατακερματισμός του *C. glaucum* αλλά και οι μεγαλύτερες ποσότητες από το είδος που συγκεντρώνονται στον δειγματοληπτικό σταθμό S1, σε συνάρτηση και με την τοπογραφία της περιοχής του σταθμού που βρίσκεται στην απόληξη της ξηράς που εισχωρεί στον κόλπο, αποδεικνύουν ότι οι εναποθέσεις των συσσωματώσεων στον σταθμό είναι αποτέλεσμα της έντονης επίδρασης των ρευμάτων σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς που είναι λιγότερο εκτεθειμένοι. Επιπρόσθετα, τα υπόλοιπα ταφονομικά χαρακτηριστικά στον δειγματοληπτικό σταθμό S1 είναι χαμηλότερης έντασης σε σχέση με τους άλλους σταθμούς γεγονός που επιβεβαιώνεται από την ύπαρξη φρέσκων δειγμάτων. Η συνύπαρξη ανέγγιχτων φρέσκων δειγμάτων διθύρων αλλά και αλλοιωμένων απολιθωμάτων στις εναποθέσεις των συσσωματώσεων υποδηλώνει σύμφωνα με τον Flessa (1998) ότι πρόκειται για ρηχά είδη των οποίων η μεταφορά έγινε παράλληλα, καθώς επίσης σύμφωνα με τους Schneider-Storz *et al.* (2008) ότι οι πληθυσμοί τους δεν έχουν μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και προέρχονται από τον όμορο υγροβιότοπο.

Η επικάλυψη αλλά και η βιοδιάβρωση ως βιολογικοί μηχανισμοί καταστροφής του κελύφους εμφανίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό όταν το όστρακο εξέχει ή έχει πλέον αποχωρίσει από το μαλακό υπόστρωμα στο οποίο είναι θαμμένο και που διατηρεί την καλή του κατάσταση (Kowalewski *et al.* 1994, Best & Kidwell 2000a,b). Επίσης όπως αναφέρουν και οι Schneider-Storz *et al.* (2008) η χαμηλή ένταση της επικάλυψης οφείλεται επιπρόσθετα και στο ότι οι επικαλυπτικοί οργανισμοί κατά την μεταφορά αλλά και με τον χρόνο εξαφανίζονται από το όστρακο, γεγονός που παρατηρήθηκε σε δείγματα και της παρούσας διατριβής, όπου ήταν διακριτά τα σημάδια της επικάλυψης στο κέλυφος.

Η μικροβιακή επίθεση στο κέλυφος που συνιστά την βιοδιάβρωση του δεν σταματά ακόμα και όταν έχει αποβιώσει και συνεχίζεται ως εκ τούτου κατά την διάρκεια της εναπόθεσης όπου η διαφορά στην ένταση του ταφονομικού χαρακτηριστικού έγκειται είτε στην καθυστερημένη ταφή ή συχνότερη εκταφή των κελυφών είτε στην σταθερή κάλυψή τους από λάσπη η οποία δεν ευνοεί τα είδη που χρειάζονται φως για την επιβίωσή τους, ενώ

είναι σαφές ότι εξαρτάται απόλυτα από την έκθεση των κελυφών στις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος (Kidwell *et al.* 1991, Best & Kidwell 2000a,b).

Η λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση επικάλυψης του κελύφους και στα δύο είδη σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού», αυξανόμενη δε ανάλογα με το μέγεθος του κελύφους ως αποτέλεσμα της αύξησης της εκτιθεμένης επιφάνειας, όπως αναφέρουν και οι Schneider-Storz *et al.* (2008). Συνεπώς, σύμφωνα με τα ανωτέρω τα κελύφη των συσσωματώσεων έχουν εκτεθεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες για αρκετό χρονικό διάστημα και σε συνδυασμό με τις υδροδυναμικές πιέσεις που δέχτηκαν απώλεσαν τις επικαλύψεις τους. Διαπιστώνοντας ότι η βιοδιάβρωση είναι σε μεγαλύτερη ένταση και για τα δύο είδη στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» είναι σαφές ότι οι εναποθέσεις των συσσωματώσεών της έχουν παραμείνει για περισσότερο χρονικό διάστημα εκτεθειμένες σε σχέση με εκείνες της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό».

Η συσχέτιση της λείανσης καθώς και της επικάλυψης με όλα τα ταφονομικά χαρακτηριστικά για κάθε είδος, σύμφωνα με τους Schneider-Storz *et al.* (2008) υποδεικνύει ότι η διατήρηση του κελύφους εξαρτάται από την έκθεση των εναποθέσεων των συσσωματώσεων, ενώ ο κατακερματισμός, όπως διαπιστώνεται και στην παρούσα εργασία, δεν συσχετίζεται σχετικά ιδιαίτερα για το είδος *C. glaucum*, διότι εξαρτάται από την μορφολογία του διθύρου και συγκεκριμένα την σκληρότητα του κελύφους αλλά και από την επίδραση των αναταράξεων των ρευμάτων που επικρατούν (Fürsich & Flessa 1987). Η διαφορετική μορφολογία μεταξύ των δύο ειδών επίσης επεξηγεί την μεγαλύτερη συγκέντρωση από το ελαφρύτερο κέλυφος του *P. aureus* στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» καθώς αφενός είναι πιο εύκολα μεταφερόμενο και αφετέρου το λεπτό κέλυφος του είδους σπάει πιο εύκολα υπό τις υδροδυναμικές πιέσεις των ρευμάτων.

Η βιοδιάβρωση είναι το ταφονομικό χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει στην παρούσα εργασία σε σχέση με την εργασία των Schneider-Storz *et al.* (2008) η οποία είναι σε υψηλή ένταση και στις δύο λιμνοθάλασσες και καθώς εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες γίνεται σαφές ότι η διαφορά έγκειται στις συνθήκες διατήρησης των κελυφών μεταξύ των υγροτόπων των παλιρροιακών περιοχών και των λιμνοθαλασσών. Το χαρακτηριστικό των λιμνοθαλασσών είναι η εισροή γλυκού νερού το οποίο περιέχει οξειδωτικά τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην βιοσυσσωμάτωση και βιοδιέγερση προκαλώντας πρόωρη βιοδιάβρωση των υλικών (Walter & Burton 1990, Best & Kidwell 2000a).

Εν κατακλείδι, η διαφορά μεταξύ των συσσωματώσεων των κελύφων των δύο λιμνοθαλασσών έγκειται στην συνεχή εναπόθεση οστράκων στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε σχέση με την μακρόχρονη εναπόθεση στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού». Η σύσταση των εναποθέσεων όσον αφορά την ύπαρξη των φυσικών θηρευτών των διθύρων ειδών, καθώς διαπιστώνεται η διπλάσια παρουσία γαστερόποδων στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» επιβεβαιώνει το γεγονός ότι οι ζώντες πληθυσμοί διθύρων τροφοδοτούν τις συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό», ενώ οι συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» προέρχονται εν μέρει από τους ζώντες πληθυσμούς έμπροσθεν της λιμνοθάλασσας και εν μέρει από τους μεταφερόμενους από τα ρεύματα πληθυσμούς των ελαφρύτερων οστράκων διθύρων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση της σύστασης των εναποθέσεων καθώς επίσης η συγκριτική και ταφονομική ανάλυση των κυρίαρχων δίθυρων ειδών που καταγράφηκαν σε αυτές, επισημαίνει και επεξηγεί τις διαφορές στην εναπόθεση των συσσωματωμάτων των κελυφών μεταξύ των αμμονησίδων των λιμνοθαλασσών αλλά και τις συνθήκες που οδήγησαν σε αυτό το αποτέλεσμα.

Καταρχάς οι συσσωματώσεις καθώς εντοπίζονται σε δύο διαφορετικές μορφές της υπερπαραλιακής ζώνης αμέσως αποκτούν ενδιαφέρον για την προέλευσή τους, τον τρόπο εναπόθεσής τους και τον χρόνο διατήρησής τους στις αμμονησίδες, όπου είναι σαφές ότι η επίδραση των υδροδυναμικών τάσεων των ρευμάτων και της έντασης του αιολικού δυναμικού συντελούν καθοριστικά στην διαμόρφωσή τους.

Η λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» κατακρατεί στις συσσωματώσεις της μεγάλο όγκο δίθυρων κελυφών σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπου η σύνθεση των συσσωματώσεων είναι τόσο από ψιλόκοκκο υλικό όσο και από κελύφη αλλά και κομμάτια δίθυρων ειδών. Η δε ποικιλότητα των ειδών μεταξύ των λιμνοθαλασσών δεν διαφέρει σημαντικά οπότε αποκτά σημασία η ποσότητα και η ποιότητα των κυρίαρχων ειδών που συγκροτούν τις εναποθέσεις.

Τα δύο κυρίαρχα είδη που εντοπίστηκαν, το *Cerastoderma glaucum* και το *Polititapes aureus* διαφέρουν σημαντικά ως προς την μορφολογία του κελύφους καθώς το μεν πρώτο διαθέτει πολύ σκληρότερο και βαρύτερο όστρακο σε σχέση με το λεπτότερο και ελαφρύτερο όστρακο του *P. aureus*.

Το *C. glaucum* επικρατεί στις συσσωματώσεις των αμμονησίδων της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό» και καθώς διαπιστώνεται ότι οι εναποθέσεις προέρχονται από την επίδραση ισχυρών ρευμάτων ενδεχομένως το βαρύτερο κέλυφος μετακινείται πιο δύσκολα αλλά και η δομή του κελύφους που είναι πιο θολωτή ίσως δεν επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνσή του από τις συσσωματώσεις. Είναι δε σαφές ότι η τοπογραφία της ακτογραμμής είναι καθοριστική σημασίας καθώς όσο πιο κλειστή και κυρτή είναι λειτουργεί ως λιμάνι, ενώ όσο πιο ανοιχτή είναι τόσο πιο πολύ επηρεάζεται από την δράση των ρευμάτων και των κυμάτων που επικρατούν στην περιοχή.

Η λιμνοθάλασσα «Λογαρού» συγκεντρώνει στις συσσωματώσεις της μεγαλύτερη ποσότητα του ελαφρύτερου κελύφους του *P. aureus* αλλά και μεγαλύτερη ποσότητα κομματιών από το κέλυφος του είδους. Οι εν λόγω συσσωματώσεις στην λιμνοθάλασσα

«Λογαρού» είναι αποτέλεσμα των ρευμάτων που επικρατούν στον Αμβρακικό Κόλπο αλλά η προέλευσή των κελυφών των εναποθέσεων, η διατήρησή τους και η διάρκειά τους αποτυπώνεται από την ανάλυση των ταφονομικών χαρακτηριστικών των απολιθωμάτων των οστράκων.

Η λείανση των οστράκων και στις δύο λιμνοθάλασσες είναι σε μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τα υπόλοιπα ταφονομικά χαρακτηριστικά με τα οποία συσχετίζεται σημαντικά καθώς στην διατήρηση των κελυφών έχει επιδράσει η έκθεσή τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν κατά την παραμονή τους στις αμμονησίδες αλλά και η τριβή κατά την μεταφορά τους από τα ρεύματα, απομακρύνοντας δε σε μεγάλο βαθμό και τους ξενιστές των κελυφών.

Το λεπτότερο και ως εκ τούτου πιο εύθραυστο όστρακο του *Politiitapes aureus* συγκεντρώνεται είτε ολόκληρο είτε σε κομμάτια περισσότερο στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» υποδεικνύοντας χαμηλότερης έντασης επίδραση των εξωτερικών συνθηκών καθώς η γεωμορφολογία της αμμονησίδας λειτουργεί ως προστατευτικό απόκλειο των εναποθέσεων των συσσωματώσεων.

Η εισροή του γλυκού νερού στην λιμνοθάλασσα ενισχύει το φαινόμενο της βιοδιάβρωσης των κελυφών το οποίο παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ένταση στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» γεγονός που οφείλεται στην μεγαλύτερη διάρκεια της παραμονής των οστράκων στις συσσωματώσεις των αμμονησίδων της.

Οι συσσωματώσεις των οστράκων στις αμμονησίδες της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό» τροφοδοτούνται από την μεγαλύτερη παραγωγή διθύρων έμπροσθεν της λιμνοθάλασσας δηλαδή στο βορειοδυτικό τμήμα του Αμβρακικού κόλπου όπου εναποτίθενται με την επίδραση των ρευμάτων. Η συσσωμάτωση των οστράκων με την συνεχή εναπόθεση διθύρων στις αμμολωρίδες της λιμνοθάλασσας «Τσουκαλιό» θα πρέπει να τίθεται σε πενταετή παρακολούθηση για την διαπίστωση της κατάστασης διατήρησης των αμμονησίδων.

Οι δε συσσωματώσεις στις αμμονησίδες της λιμνοθάλασσας «Λογαρού» καθώς φορτώνονται από οργανικό και ανόργανο υλικό και συγκρατούνται με την βοήθεια της βλάστησης έχουν πακτωθεί στις αμμονησίδες της λιμνοθάλασσας συνιστώντας φράγμα προστασίας για την λιμνοθάλασσα που ωστόσο θα πρέπει να ελέγχεται κυρίως σε περίπτωση εμφάνισης κάποιου καταστροφικού φυσικού φαινομένου.

Οι συσσωματώσεις των διθύρων ως αναπόσπαστο τμήμα της σύστασης και της δομής της λειτουργίας των ευαίσθητων αμμονησίδων των λιμνοθαλασσών πρέπει να παρακολουθούνται προκειμένου να λαμβάνονται εμπρόθεσμα τα κατάλληλα διαχειριστικά μέτρα προστασίας τους, διασφαλίζοντας την υψηλή παραγωγικότητα αλλά και την βιοποικιλότητα των λιμνοθαλασσών ως οικότοποι προτεραιότητας.

6. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συσσωματώσεις των δίθυρων οστράκων αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό (62.59%) της σύστασης των εναποτιθέμενων υλικών στις αμμολουρίδες των λιμνοθαλασσών «Τσουκαλιό» και «Λογαρού» του Αμβρακικού κόλπου, ενώ το υπόλοιπο υλικό αποτελείται από γαστερόποδα (13.07%), και λεπτόκοκκο υλικό (<2mm: 21.68%) αλλά και διάφορα ανόργανα υλικά (2.67%). Η σύνθεση του υλικού των συσσωματώσεων διαφέρει σημαντικά μεταξύ των αμμονησίδων καθώς στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» επικρατούν τα κελύφη των δίθυρων και τα γαστερόποδα, ενώ στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού» συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό το κοσκινισμένο υλικό αλλά και τα κατακερματισμένα όστρακα.

Συνολικά καταγράφηκαν 41 είδη δίθυρων από πέντε δειγματοληπτικούς σταθμούς με παρόμοια ποικιλότητα μεταξύ των λιμνοθαλασσών. Τα είδη δίθυρων που βρέθηκαν να κυριαρχούν στις συσσωματώσεις των αμμονησίδων σύμφωνα με την ποσοστιαία συμμετοχή του βάρους των κελυφών τους είναι το *Cerastoderma glaucum* (38.29%) και το *Politiitapes aureus* (19.39%). Τα κελύφη των δύο κυρίαρχων δίθυρων ειδών καταγράφηκαν όσον αφορά τον αριθμό τους αλλά και το μήκος και την παρουσία της αριστερής/δεξιάς θυρίδας, ενώ εξετάστηκαν τα ταφονομικά χαρακτηριστικά τους ήτοι η λείανση, ο κατακερματισμός, η επικάλυψη και η βιοδιάβρωση, βαθμονομημένα ως προς την κατάσταση διατήρησης των οστράκων.

Η ταφονομική ανάλυση των κελυφών παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των ειδών καθώς η επίδραση των υδροδυναμικών τάσεων μεταφοράς τους και η έκθεση στις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι διαφορετικές στις εναποθέσεις των συσσωματώσεων των λιμνοθαλασσών. Το βαρύτερο και σκληρότερο κέλυφος του *Cerastoderma glaucum* συγκεντρώνεται στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» παρουσιάζοντας υψηλότερη ένταση κατακερματισμού σε σχέση με την λιμνοθάλασσα «Λογαρού» όπου η βιοδιάβρωση και η λείανση είναι πιο έντονες. Το δε ελαφρύτερο, λεπτότερο και ως εκ τούτου πιο εύθραυστο όστρακο του *Politiitapes aureus* παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση και ένταση κατακερματισμού και βιοδιάβρωσης στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού».

Η ανομοιότητα των συσσωματώσεων των αμμολουρίδων μεταξύ των λιμνοθαλασσών οφείλεται στην συνεχή εναπόθεση οστράκων στην λιμνοθάλασσα «Τσουκαλιό» σε σχέση με την μακρόχρονη εναπόθεση στην λιμνοθάλασσα «Λογαρού», σχετιζόμενη με την γεωμορφολογία των αμμονησίδων και τα ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά των οστράκων.

7. Abstract

Taphonomy of a massive mollusk shells accumulation in the lagoons of Amvrakikos Gulf (NW GREECE)

Accumulations of bivalve shells represent the highest percentage (62.59%) of the deposited materials in the sand strips of Amvrakikos Gulf lagoons (Tsoukalio and Logarou), while the rest consists of gasteropods (13.07%) and grained material (< 2mm: 21.68%) as well as various inorganics (2.67%). The accumulated depositions differ significantly between the lagoon's sand strips as "Tsoukalio" is dominated by bivalve shells and gasteropods, while "Logarou" lagoon's sand strips contain high percentage of sieved material and fragmented shells.

Overall, 41 bivalve species were recorded, taken from five sampling stations, showing similar diversity among the two lagoons. *Cerastoderma glaucum* (38.29%) and *Polititapes aureus* (19.39%) are the two most abundant bivalve species among the shells' accumulations accordingly to the weight proportion of deposited materials. Total number of both bivalve's shells was measured and the left / right presence of the valve was recorded. The taphonomic features of abrasion, fragmentation, encrustation and bioerosion were examined in terms of shell preservation.

Taphonomic shell's analysis shows significant differences among bivalve's species as the result of hydrodynamic transportation and exposure to environmental conditions that both differ between the lagoon's sand strips accumulated shells depositions. The heavier and hardest shells of *Cerastoderma glaucum* were more concentrated in "Tsoukalio" lagoon's accumulations, showing higher fragmentation intensity than in "Logarou" lagoon where bioerosion and abrasion are more intense. On the contrary, the lighter, thinner and therefore fragile shells of *Polititapes aureus* show higher concentration as well as higher intensity of fragmentation and bioerosion in "Logarou" lagoon's sand strips.

The continuously deposition of shells in "Tsoukalio" lagoon's sand strips as opposite to the long-term deposition in "Logarou" lagoon, explains the different accumulations between the lagoons, closely related to the geomorphology of the sand shores and the shell's morphological characteristics.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Angseesing, J P A. (2018). Left-right sorting in Inequivalve Bivalves on British beaches. *Bartonia*; proceedings of the Philadelphia botanical club. 47(3). 398-412.
- Antoniadou, C., Krestenitis, Y., & Chintiroglou, C. (2004). Structure of the “Amphioxus sand” community in Thermaikos bay (Eastern Mediterranean). *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, 1122-1128.
- Avramidis, P., Iliopoulos, G., Panagiotaras, D., Papoulis, D., Lambropoulou, P., Kontopoulos, N., Siavalas, G. & Christanis, K. (2014). Tracking Mid-to Late Holocene depositional environments by applying sedimentological, palaeontological and geochemical proxies, Amvrakikos coastal lagoon sediments, Western Greece, Mediterranean Sea. *Quaternary International*, 332, 19-36.
- Basso, D., & Brusoni, F. (2004). The molluscan assemblage of a transitional environment: the Mediterranean maërl from off the Elba Island (Tuscan Archipelago, Tyrrhenian Sea). *Bollettino Malacologico*, 40(1-4), 37-45.
- Behrensmeier, A. K., Kidwell, S. M., & Gastaldo, R. A. (2000). Taphonomy and paleobiology. *Paleobiology*, 26(sp4), 103-147.
- Best, M. M., & Kidwell, S. M. (2000a). Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings. I. Environmental variation in shell condition. *Paleobiology*, 26(1), 80-102.
- Best, M. M., & Kidwell, S. M. (2000b). Bivalve taphonomy in tropical mixed siliciclastic-carbonate settings. II. Effect of bivalve life habits and shell types. *Paleobiology*, 26(1), 103-115.
- Bitner, M. A. (2002). Size-frequency distributions of Miocene micromorphic brachiopods: interpretation tool for population dynamics. *Marine Ecology*, 23(1), 19-30.
- Borja, A., Franco, J., & Pérez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine pollution bulletin*, 40(12), 1100-1114.
- Bosch, M. D., Wesselingh, F. P., & Mannino, M. A. (2015). The Ksâr' Akil (Lebanon) mollusc assemblage: zooarchaeological and taphonomic investigations. *Quaternary International*, 390, 85-101.
- Boucot, A. J. (1953). Life and death assemblages among fossils. *American Journal of Science*, 251(1), 25-40.
- Boyajian, G. E., & Thayer, C. W. (1995). Clam calamity: a recent supratidal storm-deposit as an analog for fossil shell beds. *Palaios*, 484-489.
- Bruguière, J. G. (1789). Encyclopédie méthodique ou par ordre de matières. Histoire naturelle des vers. *volume 1. Pancoucke, Paris*. Pp. 1-344 [June 1789]; 345-758 [13 Feb. 1792; dates after Evenhuis, 2003, *Zootaxa*, 166: 37; *Zootaxa*, 207
- Brown, A. C., & McLachlan, A. (2002). Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*, 29(1), 62-77.
- Cadée, G. C. (1982a). Low juvenile mortality in fossil brachiopods, some comments. *Interne verslagen Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee*, (3).

- Cadée, G. C. (1982b). Population dynamics in brachiopods. *Lethaia*, 15(1), 65-66.
- Cadée, G. C. (1988). The use of size-frequency distribution in paleoecology. *Lethaia*, 21(3), 289-290.
- Cadée, G. C., & Wesselingh, F. (2005). Van levend schelpdier naar fossiele schelp: tafonomie van Nederlandse strandschelpen. *Spirula*, 343(1), 36-52.
- Cakirlar, C. (2016). Investigations on archaeological *Cerastoderma glaucum* population from Troia (Turkey) and their potential for palaeoeconomical reconstruction. *Archaeofauna*, (17).
- Γαληνού-Μητσούδη Σ., Βλαχάβας Γ., Μπαρδάκης Γ. & Παρασκευόπουλος Κ. (2007). Εγχειρίδιο αναγνώρισης οστράκων, εμπορικά και προστατευόμενα είδη. Υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης & τροφίμων, ΕΠ.ΑΛ. 2000-2006, σελ 44. Α.Τ.Ε.Ι.Θ., τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Νέα Μουδανιά.
- Γαληνού-Μητσούδη Σ., Βλαχάβας Γ., Μανούσης Θ., Μπαρδάκης Γ. & Παρασκευόπουλος Κ., (2010). Τα εμπορεύσιμα όστρακα της Ελλάδας. Α.Τ.Ε.Ι.Θ., τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, Νέα Μουδανιά. 218 σελίδες.
- Callender, W. R., & Powell, E. N. (1992). Taphonomic signature of petroleum seep assemblages on the Louisiana upper continental slope: Recognition of autochthonous shell beds in the fossil record. *Palaios*, 388-408.
- Christia, C., & Papastergiadou, E. S. (2006). Ecological study of three lagoons of Amvrakikos Ramsar site, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(9), 1208-1215.
- Christia, C., Giordani, G., & Papastergiadou, E. (2014). Assessment of ecological quality of coastal lagoons with a combination of phytobenthic and water quality indices. *Marine pollution bulletin*, 86(1-2), 411-423.
- Culha, M., Aksoy, O., & Tatarhan, G. E. (2018). Soft bottom mollusc assemblages (gastropoda-bivalvia) in marine shallow waters of the western turkey coast.
- Cummins, H., Powell, E. N., Stanton Jr, R. J., & Staff, G. (1986). The rate of taphonomic loss in modern benthic habitats: how much of the potentially preservable community is preserved?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 52(3-4), 291-320.
- Davies, D. J., Powell, E. N., & Stanton Jr, R. J. (1989). Taphonomic signature as a function of environmental process: shells and shell beds in a hurricane-influenced inlet on the Texas coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72, 317-356.
- De Francesco, C. G., Tietze, E., & Cristini, P. A. (2013). Mollusk successions of Holocene shallow-lake deposits from the southeastern Pampa plain, Argentina. *Palaios*, 28(12), 851-862.
- Dietl, G. P., Durham, S. R., Smith, J. A., & Tweitmann, A. (2016). Mollusk assemblages as records of past and present ecological status. *Frontiers in Marine Science*, 3, 169.
- Donato, S. V., Reinhardt, E. G., Boyce, J. I., Rothaus, R., & Vosmer, T. (2008). Identifying tsunami deposits using bivalve shell taphonomy. *Geology*, 36(3), 199-202.
- Εμμανουηλίδης, Α. (2014). *Μικροπαλαιοντολογική και παλαιοοικολογική μελέτη ιζημάτων από ρηχές πυρηνοληψίες στη λιμνοθάλασσα Πρόκοπος* (Doctoral dissertation).
- Fagerstrom, J. A. (1964). Fossil communities in paleoecology: their recognition and significance. *Geological Society of America Bulletin*, 75(12), 1197-1216.

- Fischer, W. (2005). Die marine Molluskenfauna des Amvrakischen Golfes (Epirus, Griechenland). *Nachrichtenblatt der Ersten Vorarlberger Malakologischen Gesellschaft*, 13(7).
- Flessa, K. W. (1998). Well-traveled cockles: shell transport during the Holocene transgression of the southern North Sea. *Geology*, 26(2), 187-190.
- Fürsich, F. T., & Flessa, K. W. (1987). Taphonomy of tidal flat molluscs in the northern Gulf of California: paleoenvironmental analysis despite the perils of preservation. *The Paleontological Society Special Publications*, 2, 200-237.
- Giacobbe, S. (2012). Biodiversity loss in Sicilian transitional waters: the molluscs of Faro Lake. *Biodiversity Journal*, 3, 501-510.
- Gianolla, D., Negri, M., Basso, D., & Sciunnach, D. (2010). Malacological response to Pleistocene sea-level change in the Northern Po Plain, N. Italy: detailed palaeoenvironmental reconstructions from two Lombardian cores. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research In Paleontology and Stratigraphy)*, 116(1).
- Gmelin, J.F. (1791). Vermes. In: Gmelin J.F. (Ed.) *Caroli a Linnaei Systema Naturae per Regna Tria Naturae*, Ed. 13. Tome 1(6). G.E. Beer, Lipsiae [Leipzig]. pp. 3021-3910.
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J. A., & Williams, A. T. (2018). Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*, 156, 277-289.
- Hair, G. F, R.E. Anderson, R.L. Tatham and W.C. Black. (1998): *Multivariate data analysis*. Fifth Edition. Prentice-Hall International, Inc.
- Hattam, C., Atkins, J. P., Beaumont, N., Börger, T., Böhnke-Henrichs, A., Burdon, D., ... & Sastre, S. (2015). Marine ecosystem services: linking indicators to their classification. *Ecological Indicators*, 49, 61-75.
- Hauser, I., Oschmann, W., & Gischler, E. (2008). Taphonomic signatures on modern Caribbean bivalve shells as indicators of environmental conditions (Belize, Central America). *Palaios*, 23(9), 586-600.
- Jolliffe, I. (2011). Principal component analysis. In *International encyclopedia of statistical science* (pp. 1094-1096). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jones, J. R., Cameron, B., & Rollins, H. B. (1989). Paleocological implications of cohort survivorship for *Mya arenaria* in Massachusetts estuarine waters. *Palaios*, 468-474.
- Karray, S., Marchand, J., Moreau, B., Tastard, E., Thiriet-Rupert, S., Geffard, A., ... & Chénais, B. (2015). Transcriptional response of stress-regulated genes to cadmium exposure in the cockle *Cerastoderma glaucum* from the gulf of Gabès area (Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 22(22), 17290-17302.
- Katselis G. Moutopoulos D., Dimitriou E., Koutsikopoulos C. (2013). Long-term changes of fisheries landings in enclosed gulf lagoons (Amvrakikos gulf, W Greece): Influences of fishing and other human impacts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 131: 31-40
- Katselis, G., Moutopoulos, D. K. (2016). Estimation of fishing losses from the cormorant (*Phalacrocorax carbo*) during the wintering period in Greek lagoons.
- Κεχαγιάς Γ. 2007. Υδάτινα οικοσυστήματα. Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Αγρίνιο, 368 σελ.

- Kidd, R. (2001). Coastal dune management: a manual of coastal dune management and rehabilitation techniques. *NSW Government publication ISBN 0.7347. 5202.4*.
- Kidwell, S. M., Bosence, D. W., Allison, P. A., & Briggs, D. E. G. (1991). Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. Plenum, New York, 115-209.
- Kidwell, S. M. (2001). Preservation of species abundance in marine death assemblages. *Science*, 294(5544), 1091-1094.
- Kidwell, S. M., Rothfus, T. A., & Best, M. M. (2001). Sensitivity of taphonomic signatures to sample size, sieve size, damage scoring system, and target taxa. *Palaios*, 16(1), 26-52.
- Kidwell, S. M. (2002). Mesh-size effects on the ecological fidelity of death assemblages: a meta-analysis of molluscan live–dead studies. *Geobios*, 35, 107-119.
- Kidwell, S. M. (2007). Discordance between living and death assemblages as evidence for anthropogenic ecological change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(45), 17701-17706.
- Kidwell, S. M. (2013). Time-averaging and fidelity of modern death assemblages: building a taphonomic foundation for conservation palaeobiology. *Palaeontology*, 56(3), 487-522.
- Koulouri, P., Dounas, C., Arvanitidis, C., Koutsoubas, D., & Eleftheriou, A. (2006). Molluscan diversity along a Mediterranean soft bottom sublittoral ecotone. *Scientia Marina*, 70(4), 573-583.
- Koutrakis, E. T., Conides, A., Parpoura, A. C., Van Ham, E. H., Katselis, G., & Koutsikopoulos, C. (2007). Lagoon fisheries resources in Hellas. State of the Hellenic marine fisheries, 223-233.
- Koutrakis, E., Sapounidis, A., Marzetti, S., Marin, V., Roussel, S., Martino, S., Fabiano, M., Paoli, C., Rey-Valette, H., Povh, D. & Malvárez, C. G. (2011). ICZM and coastal defence perception by beach users: lessons from the Mediterranean coastal area. *Ocean & coastal management*, 54(11), 821-830.
- Kowalewski, M., Flessa, K. W., & Aggen, J. A. (1994). Taphofacies analysis of Recent shelly cheniers (beach ridges), northeastern Baja California, Mexico. *Facies*, 31(1), 209.
- Kowalewski, M., Flessa, K. W., & Hallman, D. P. (1995). Ternary taphograms: Triangular diagrams applied to taphonomic analysis. *Palaios*, 478-483.
- Kowalewski, M., Serrano, G. E. A., Flessa, K. W., & Goodfriend, G. A. (2000). Dead delta's former productivity: two trillion shells at the mouth of the Colorado River. *Geology*, 28(12), 1059-1062.
- Κυριαζίδου, Ε., & Ηλιοπούλου, Ο. (2014). *Μελέτη των μακροαπολιθωμάτων από τον πυθμένα της λιμνοθάλασσας Μυρτάρι στον Αμβρακικό κόλπο* (Doctoral dissertation).
- Lasota, R., Gierszewska, K., Viard, F., Wolowicz, M., Dobrzyn, K., & Comtet, T. (2018). Abnormalities in bivalve larvae from the Puck Bay (Gulf of Gdansk, southern Baltic Sea) as an indicator of environmental pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 363-371.
- Leontarakis, P. K., Xatzianastasiou, L. I., & Theodorou, J. A. (2008). Biological aspects of the lagoon cockle, *Cerastoderma glaucum* (Poiret 1879), in a coastal lagoon in Keramoti, Greece in the northeastern Mediterranean. *Journal of Shellfish Research*, 27(5), 1171-1175.

- Lyman, R. (2010). What Taphonomy Is, What it Isn't, and Why Taphonomists Should Care about the Difference. *J Taphonomy*, 8.
- Manousis, T., Mpardakis, G., Paraskevopoulos, C., & Galinou-Mitsoudi, S. (2010). The Bivalvia Mollusca of Thessaloniki & Thermaikos Gulfs (North Aegean Sea, Greece) with emphasis on new species for Hellenic waters. *Journal of Biological Research*, 14, 161.
- Marriner, N., Gambin, T., Djamali, M., Morhange, C., & Spiteri, M. (2012). Geoarchaeology of the Burmarrad ria and early Holocene human impacts in western Malta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 339, 52-65.
- Mastrototaro, F., Giove, A., D'onghia, G., Tursi, A., Matarrese, A., & Gadaleta, M. V. (2008). Benthic diversity of the soft bottoms in a semi-enclosed basin of the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(2), 247-252.
- Meadows, P. S., Meadows, A., West, F. J., Shand, P. S., & Shaikh, M. A. (1998). Mussels and mussel beds (*Mytilus edulis*) as stabilizers of sedimentary environments in the intertidal zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 139(1), 331-347.
- Meldahl, K. H., & Flessa, K. W. (1990). Taphonomic pathways and comparative biofacies and taphofacies in a Recent intertidal/shallow shelf environment. *Lethaia*, 23(1), 43-60.
- Meldahl, K. H., Flessa, K. W., & Cutler, A. H. (1997). Time-averaging and postmortem skeletal survival in benthic fossil assemblages: quantitative comparisons among Holocene environments. *Paleobiology*, 23(2), 207-229.
- Mertzanis, A., Marabini, F., Angeli, M. G., Mertzanis, K., Pontoni, F., & Gasparetto, P. (2015). Coastal zone management and special coastal protection works in vulnerable lagoon ecosystems: The case of “Venice lagoon” (Italy) and “North Amvrakikos gulf lagoons complex” (Greece). In *Atti The fifth international conference on environmental management-June*.
- Muñoz-Vallés, S., & Cambrollé, J. (2014). Dunes. *Encyclopedia of Marine Geosciences*, 1-10.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., ... & Ivanova, K. (2014). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 95-122.
- Nicolaidou, A., Bourgoutzani, F., Zenetos, A., Guelorget, O., & Perthuisot, J. P. (1988). Distribution of molluscs and polychaetes in coastal lagoons in Greece. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 26(4), 337-350.
- Nicolaidou, A., Reizopoulou, S., Koutsoubas, D., Orfanidis, S., & Kevrekidis, T. (2005). Biological components of Greek lagoonal ecosystems: an overview. *Mediterranean Marine Science*, 6(2), 31-50.
- Nielsen, J. K., Helama, S., Rodland, D., & Nielsen, J. K. (2007). Eemian marine mollusks and barnacles from Ristinge Klint, Denmark: hydrodynamics and oxygen deficiency. *Netherlands Journal of Geosciences*, 86(2), 95-115.
- Noble, J. P. A., & Logan, A. (1981). Size-frequency distributions and taphonomy of brachiopods: a recent model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 36(1-2), 87-105.

- Pawłowska, A. M., Palińska, K. A., & Piekarek-Jankowska, H. (2008). Colonisation and bioerosion of marine bivalve shells from the Baltic Sea by euendolithic cyanobacteria: an experimental study. In *Current Developments in Bioerosion* (pp. 109-122). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Peterson, C. (1976). Relative abundances of living and dead molluscs in two Californian lagoons. *Lethaia*, 9(2), 137-148.
- Πετρίδης, Δ. 2015. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ - ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Πετρίδης, Δ. 2015. *Ανάλυση πολυμεταβλητών τεχνικών*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 4. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2129>
- Pianka, E. R. (2011). *Evolutionary ecology*. 7th edition e-book by Eric R. Pianka. 512pp.
- Piroddi, C., Moutopoulos, D. K., Gonzalvo, J., & Libralato, S. (2016). Ecosystem health of a Mediterranean semi-enclosed embayment (Amvrakikos Gulf, Greece): assessing changes using a modeling approach. *Continental Shelf Research*, 121, 61-73.
- Poulos, S. E., Kapsimalis, V., Tziavos, C., & Paramana, T. (2008). Origin and distribution of surface sediments and human impacts on recent sedimentary processes. The case of the Amvrakikos Gulf (NE Ionian Sea). *Continental Shelf Research*, 28(20), 2736-2745.
- Poutiers, J.M. (1987). Bivalves (Acephales, Lamellibranches, Pelecypodes). In Fischer, W., M. Schneider, Fiches FAO D' Identification des especes pour les besoins de la peche. Mediterranee et mer noire zone de peche 37. Revision 1. (vol.1) Vegetaux et Invertebres. 371-512.
- Ράπτη, Π. (2014). *Προσδιορισμός παλαιοπεριβάλλοντος πλειστοκαινικών στρωμάτων περιοχής Καστριτίου με τη χρήση τρηματοφόρων και οστρακωδών* (Doctoral dissertation).
- Reizopoulou, S., Simboura, N., Barbone, E., Aleffi, F., Basset, A., & Nicolaidou, A. (2014). Biodiversity in transitional waters: steeper ecotone, lower diversity. *Marine ecology*, 35, 78-84.
- Richards, R. P., & Bambach, R. K. (1975). Population dynamics of some Paleozoic brachiopods and their paleoecological significance. *Journal of Paleontology*, 775-798.
- Richards, G. W. (1985). Fossil Mediterranean molluscs as sea-level indicators. *Geological Magazine*, 122(4), 373-381.
- Schneider-Storz, B., Nebelsick, J. H., Wehrmann, A., & Federolf, C. M. (2008). Comparative taphonomy of three bivalve species from a mass shell accumulation in the intertidal regime of North Sea tidal flats. *Facies*, 54(4), 461.
- Smith, J. A., Auerbach, D. A., Flessa, K. W., Flecker, A. S., & Dietl, G. P. (2016). Fossil clam shells reveal unintended carbon cycling consequences of Colorado River management. *Royal Society open science*, 3(9), 160170.
- Spyratos, V., (2008). Strategic Diagnosis of the Environmental Management of Amvrakikos Wetlands in Greece with Emphasis on Their Water Requirements. MSc thesis. Water Management, Montpellier, France, p. 181.
- Stamou, A. I., Loverdou, L., Matsoukis, C., Albanis, T., & Gkesouli, A. (2012). Modeling renewal times in Amvrakikos gulf, Greece. *Global Nest J*, 14, 386-392.

- Surlyk, F. (1972). Morphological adaptations and population structures of the Danish chalk brachiopods. *Biologiske Skrifter, K. Danske Videnskabernes Selskab*, 19, 1-57.
- Thayer, C. W. (1975). Size-frequency and population structure of brachiopods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 17(2), 139-148.
- Thayer, C. W. (1977). Recruitment, growth, and mortality of a living articulate brachiopod, with implications for the interpretation of survivorship curves. *Paleobiology*, 3(1), 98-109.
- Theodorou J.A., E. Dimitriou, G. Katselis (2018). The crisis management of Amvrakikos Gulf (W. Greece) massive fish mortality: Lessons learned from the handling of a 950tons dead farmed fish biomass. In: IMBER-ADApT book "Societal and governing responses to global change in marine systems" Published by "Routledge Studies in Environment, Culture, and Society" series. Editors: Patrice Guillotreau, Alida Bundy, and R. Ian Perry. 348 pp.
- Tsolakos, K., Katselis, G., & Theodorou, J. A. (2019). Massive Molluscan Shell Accumulation on the Sea Side of Land Strips of Amvrakikos Gulf Lagoon Complex (NW Greece). In *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism: Advances and Applications for Sustainable Development in Environmental Sciences and Agroforestry Research* (pp. 75-78). Springer, Cham.
- Tsotsios, D., Tzovenis, I., Katselis, G., Geiger, S. P., & Theodorou, J. A. (2016). Spat settlement of the smooth scallop *Flexopecten glaber* (Linnaeus, 1758) and variegated scallop *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758) in Amvrakikos Gulf, Ionian sea (Northwestern Greece). *Journal of Shellfish Research*, 35(2), 467-474.
- Vardala-Theodorou, E., & Nicolaidou, A. (2007). On the Recent and fossil malacofauna of "Vouliagmeni Lake", Perachora (Korinthiakos Gulf, Greece). *Bollettino malacologico*, 43(1/8), 62.
- Walter, L. M., & Burton, E. A. (1990). Dissolution of recent platform carbonate sediments in marine pore fluids. *American Journal of Science*, 290(6), 601-643.
- Warne, J. E. (1969). Live and dead molluscs in a coastal lagoon. *Journal of Paleontology*, 141-150.
- Warwick, R. M., & Light, J. (2002). Death assemblages of molluscs on St Martin's Flats, Isles of Scilly: a surrogate for regional biodiversity?. *Biodiversity & Conservation*, 11(1), 99-112.
- Warwick, R. M., & Turk, S. M. (2002). Predicting climate change effects on marine biodiversity: comparison of recent and fossil molluscan death assemblages. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82(5), 847-850.
- Weber, K., & Zuschin, M. (2013). Delta-associated molluscan life and death assemblages in the northern Adriatic Sea: implications for paleoecology, regional diversity and conservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 370, 77-91.
- Zar, J. H. (1999): Biostatistical Analysis, 4th edn. Prentice-Hall, Newark, NJ. p + App.. 663.
- Zenetos, A. (1997): Diversity of marine bivalvia in Greek waters: effects of geography and environment. *Journal of the marine biological Association of the United Kingdom*, 77(2), 463-472.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

1. Massive Molluscan Shell Accumulation on the Sea Side of Land Strips of Amvrakikos Gulf Lagoon Complex (NW Greece). Tsolakos K., Katselis G., & Theodorou J. A. In: Chenchouni H., Errami E., Rocha F., Sabato L. (eds) Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism: Advances and Applications for Sustainable Development in Environmental Sciences and Agroforestry Research. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01683-8_16
2. Massive Molluscan Shell Accumulation on the Sea Side of Land Strips of Amvrakikos Gulf Lagoon Complex (NW Greece). Tsolakos K. Katselis G. & Theodorou, J. A. *Poster in Conference: 1st Conference of the Arabian Journal of Geosciences (1st CAJG)*, November 12–15, 2018, Yasmine Hammamet, Tunisia.