



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών»

Η Εξέλιξη του πρόσφατου Γεγονότος Μαζικής Θνησιμότητας των
Πληθυσμών *Pinna nobilis* του Θερμαϊκού Κόλπου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελπίδα Καραδήμου

ΑΕΜ: 18010

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Στέλιος Κατσανεβάκης (επιβλέπων)

Δρόσος Κουτσούμπας

Βασίλης Μπακόπουλος

Μυτιλήνη, Φεβρουάριος 2021



UNIVERSITY OF THE
AEGEAN

SCHOOL OF THE ENVIRONMENT
DEPARTMENT OF MARINE SCIENCES

M.Sc. Course Program

"Integrated Coastal Zone Management"

The Evolution of the Recent Mass Mortality Event of the *Pinna nobilis*
Populations in Thermaikos Gulf

DIPLOMA THESIS

Elpida Karadimou

AEM: 18010

Examination Committee Members:

Stelios Katsanevakis (supervisor)

Drosos Koutsoubas

Vassilis Bakopoulos

Mytilene, 2021

Περίληψη

Λαμβάνοντας υπόψη την ταχεία και δριμύτατη εξάπλωση του πρόσφατου Γεγονότος Μαζικής Θνησιμότητας (ΓΜΘ) που έχει επηρεάσει όλους τους πληθυσμούς του ενδημικού δίθυρου μαλακίου *Pinna nobilis* στην Μεσόγειο (με εξάπλωση από δυτικά προς ανατολικά) καθώς και του γεγονότος πως οι περιοχές που είναι λιγότερο εκτεθειμένες σε μεγάλα θαλάσσια ρεύματα φαίνεται προς το παρόν να διατρέχουν χαμηλότερο κίνδυνο μετάδοσης παθογόνων, γεννάται η ανάγκη αξιολόγησης της επίδρασης του ΓΜΘ σε κλειστούς κόλπους (καθώς και παράκτιες λιμνοθάλασσες και δέλτα). Μία τέτοια περίπτωση αποτελεί και ο Θερμαϊκός Κόλπος, όπου είναι γνωστό ότι έχουν καταγραφεί μεγάλοι πληθυσμοί του οργανισμού αυτού. Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται αξιολόγηση της άφιξης και του μεγέθους των μέχρι τώρα επιπτώσεων του ΓΜΘ στο σύνολο την παράκτιας ζώνης του Θερμαϊκού Κόλπου, αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των πληθυσμών και της ικανότητα των κλειστών κόλπων να ενεργούν ως καταφύγια για το είδος, με απώτερο στόχο τη συμβολή της παρούσας έρευνας στη λήψη μέτρων από τους αρμόδιους διαχειριστικούς φορείς για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του ΓΜΘ και την πιθανή βαθμιαία αποκατάσταση των πληθυσμών στην περιοχή αυτή. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες με κολύμπι ή/και αυτόνομη κατάδυση σε προεπιλεγμένες θέσεις κατά μήκος των ακτών του Κόλπου και οπτική καταμέτρηση τόσο των ζωντανών όσο και νεκρών ατόμων αλλά και τον νεαρών ατόμων μεταξύ αυτών. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τη χρονική περίοδο Ιούλιος 2019 – Δεκέμβριος 2020, όμως για τους στόχους της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν και δημοσιευμένα δεδομένα από την περίοδο Μάιος 2019 – Ιούνιος 2020. Επίσης, πραγματοποιήθηκε καταγραφή των ατόμων που εντοπίστηκαν κατά τη συλλογή μυδιών από τις καλλιέργειες που βρίσκονται στην περιοχή των δέλτα των ποταμών που εκβάλλουν στον Κόλπο, μεταξύ των ατόμων της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ΓΜΘ εξελίχθηκε στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου σε τρεις φάσεις: 1. Κατά την πρώτη φάση, μέχρι και τον Μάιο του 2019, δηλ. ένα χρόνο περίπου μετά την άφιξη του φαινομένου σε περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου, και ενώ οι παθογόνοι μικροοργανισμοί εντοπιζόνταν ήδη σε δείγματα από την περιοχή, οι πληθυσμοί δεν παρουσίαζαν κανένα παθολογικό σύμπτωμα και επομένως παρουσίαζαν αντίσταση σε σχέση με άλλους πληθυσμούς που εξετάστηκαν την ίδια περίοδο σε άλλες περιοχές του ελλαδικού χώρου, χωρίς να είναι γνωστό το ακριβές χρονικό διάστημα της άφιξης των παθογόνων στην περιοχή. 2. Κατά τη δεύτερη φάση, τον Ιούλιο του 2019, οι προσβεβλημένοι πληθυσμοί εμφανίζουν πλέον συμπτώματα της μόλυνσης και μέσο ποσοστό θνησιμότητας 20%. Παρ' όλα αυτά οι πληθυσμοί καταφέρνουν να έχουν επιτυχημένη αναπαραγωγή, καθώς κατά τους φθινοπωρινούς μήνες εντοπίζονται ζωντανά νεαρά άτομα ανάμεσα στους πληθυσμούς των μυδιών στην περιοχή των μυδοκαλλιεργειών του Θερμαϊκού. 3. Κατά την Τρίτη φάση, Αύγουστος 2019 έως και Δεκέμβριος του 2020, το ΓΜΘ έχει πλήρως επηρεάσει τους πληθυσμούς της περιοχής με αποτέλεσμα να καταγράφεται 100% θνησιμότητα σε όλους τους υπό μελέτη πληθυσμούς, χωρίς κανένα σημάδι ανάκαμψης. Συμπερασματικά, και σε συνδυασμό με τα ευρήματα άλλων αντίστοιχων περιοχών ενώ οι κλειστοί κόλποι αποτέλεσαν στα αρχικά στάδια του ΓΜΘ προσωρινό καταφύγιο για το είδος, με την πάροδο του χρόνου και σε συνδυασμό με την μεταβολή άλλων παραγόντων (π.χ. θερμοκρασία νερού, ανθρωπογενείς πιέσεις) οι πληθυσμοί σε αυτές τις περιοχές κατέρρευσαν. Το γεγονός αυτό δείχνει της κρισιμότητα της κατάστασης των πληθυσμών που επιβιώνουν ακόμη (κυρίως σε κόλπους με πολύ στενή δίοδο και λιμνοθάλασσες) και την ανάγκη αξιοποίησής της παρουσίας τους με στόχο την μελλοντική φυσική ή τεχνητή επανάκαμψη των πληθυσμών του είδους στη Μεσόγειο Θάλασσα.

Abstract

Considering the rapid and severe spread of the recent Mass Mortality Event (GMO) that has affected all populations of the endemic *Pinna nobilis* bivalve mollusc in the Mediterranean (spreading from west to east) as well as the fact that areas that are less exposed to large sea currents currently appear to be at lower risk of pathogen transmission, necessitating the need to assess the impact of GMT in closed bays (as well as coastal lagoons and deltas). One such case is the Thermaic Gulf, where it is known that large populations of this organism have been recorded. In the present study, an evaluation of the arrival and magnitude of the effects of GMT so far in the entire coastal zone of Thermaikos Gulf is attempted, as well as evaluation of the resilience of the populations and the ability of the closed bays to act as shelters for the species, with the ultimate goal to contribute in the action planning of the management bodies to deal with the effects of GMT and the possible gradual restoration of the populations in this area. For this purpose, sampling was carried out by snorkelling and / or scuba diving in default locations along the shores of the Gulf, by visual counting of both living and dead individuals and young individuals among them. The sampling took place during the period July 2019 - December 2020, but for the purposes of the research published data from the period May 2019 - June 2020 were also analysed. Additionally, the species' population comprised only by very young individuals located in muscle cultivations located in area of river deltas flowing into the Gulf, between cultivated individuals, was assessed. The results showed that GMT evolved in the area of Thermaikos Gulf in three phases: 1. During the first phase, until May 2019, i.e. about a year after the arrival of the phenomenon at the Aegean and the Ionian Seas, and while the pathogenic microorganisms were already detected in samples from the area, the populations did not show any pathological symptoms and therefore showed resistance compared to other populations examined at the same time in other areas of Greece, without knowing the exact time of arrival of the pathogens in the area. 2. During the second phase, in July 2019, the affected populations exhibited symptoms of infection and an average mortality rate of 20%. Nevertheless, the populations managed to have a successful reproduction, as during the autumn months, alive young individuals are found among the mussel populations in the area of mussel farms of Thermaikos. 3. During the third phase, August 2019 until December 2020, GMT had fully affected the populations of the area resulting in 100% mortality in all populations under study, without any signs of recovery. In conclusion, and in combination with the findings of other respective areas, while the closed bays acted in the early stages of GMT a temporary refuge for the species, over time and in combination with the change of other factors (e.g. water temperature, anthropogenic pressures) the populations in these areas eventually collapsed. This fact indicated how critical is current the situation of the populations that still survive (mainly in bays with very narrow passages and lagoons) and the need to use such knowledge for the future natural or artificial recovery of *P. nobilis* populations in the Mediterranean Sea.

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στο παρόν μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, ιδιαίτερα τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής Καθ. Δρόσο Κουτσούμπα και Αν. Καθ. Βασίλειο Μπακόπουλο, αλλά κυρίως τον επιβλέποντα της παρούσας διατριβής Καθ. Στέλιο Κατσανεβάκη για την επιστημονική υποστήριξη και την κατανόησή του.

Θεσσαλονίκη, 2021

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	1
Abstract	2
Πρόλογος	3
Πίνακας Περιεχομένων	4
1 Εισαγωγή.....	6
1.1 Αντικείμενο Μελέτης: Το Δίθυρο Μαλάκιο <i>Pinna nobilis</i>	6
1.1.1. Γενική περιγραφή	6
1.1.2. Πιέσεις και Απειλές του είδους <i>P. nobilis</i>	17
1.1.3. Εξάπλωση.....	19
1.1.4. Καθεστώς προστασίας.....	22
1.2 Το φαινόμενο της μαζικής θνησιμότητας πληθυσμών του είδους <i>P. nobilis</i>	22
1.2.1 Η καταγραφή του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο	25
1.2.2 Η κατάσταση των πληθυσμών στη Μεσόγειο σήμερα.....	26
1.3 Στόχος έρευνας	30
2 Υλικά και Μέθοδοι.....	31
1. Περιοχή μελέτης	31
2. Μεθοδολογία δειγματοληψίας	33
2.2.1 Καταγραφή στο πεδίο με κολύμπι ή αυτόνομη κατάδυση	33
2.2.2 Δημοσιευμένες εργασίες.....	35
2.2.3 Συλλογή πληροφορίας μέσω επικοινωνίας με ομάδες πολιτών (Μέθοδος προσωπικής συνέντευξης) & Βάσεις Δεδομένων (Επιστήμη των πολιτών).....	36
2.2.4 Σύνολο δεδομένων	37
3. Αποτελέσματα	39
3.1 Θερμαϊκός Κόλπος	39
3.1.1. Αποτελέσματα δειγματοληψίας με κολύμπι και αυτόνομη κατάδυση	39
3.1.2. Αποτελέσματα δειγματοληψίας σε μονάδες μυδοκαλλιέργειας.....	43
3.2 Αποτελέσματα συλλογής πληροφορίας μέσω επικοινωνίας με ομάδες πολιτών (Μέθοδος προσωπικής συνέντευξης) & Βάσεις Δεδομένων (Επιστήμη των πολιτών) - Άλλοι Κλειστοί Κόλποι/ Λιμνοθάλασσες.....	44
4 Συζήτηση	45
4.1 Η κατάσταση των πληθυσμών <i>P. nobilis</i> του Θερμαϊκού Κόλπου	46
4.2 Το φαινόμενο της συμβίωσης σε υδατοκαλλιέργειες του είδους <i>Mytilus galloprovincialis</i>	50
4.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα – πιθανές περιοχές καταφύγια του είδους <i>P. nobilis</i>	52
5 Βιβλιογραφία	54
6 Παραρτήματα	61
Παράρτημα Ι – Πίνακας πρωτογενών δεδομένων	61

Παράρτημα II – Λίστα επικοινωνίας με ιδιώτες, φορείς, ινστιτούτα, συλλόγους	63
Παράρτημα III – Φωτογραφικό υλικό δειγματοληψιών: Πληθυσμοί του είδους <i>P. nobilis</i> στις περιοχές δειγματοληψίας.	64

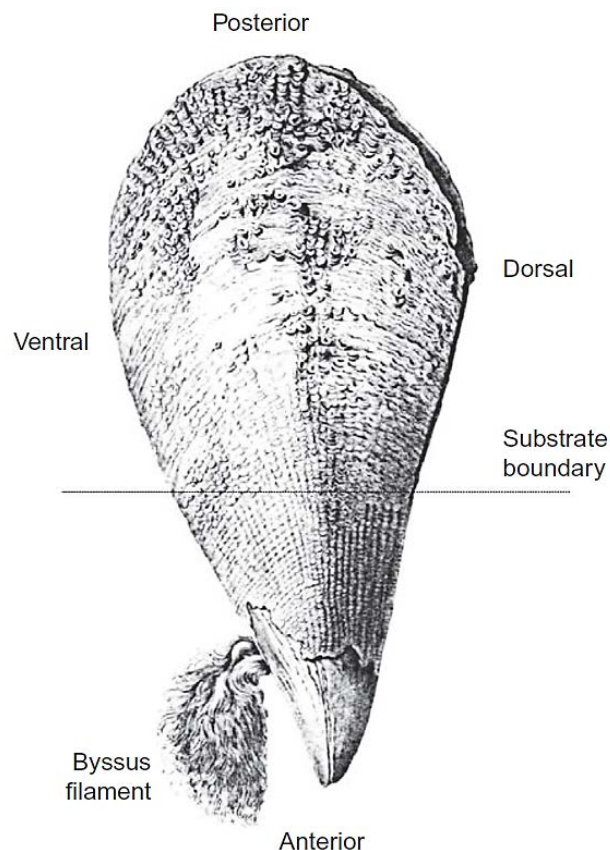
1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο Μελέτης: Το Δίθυρο Μαλάκιο *Pinna nobilis*

1.1.1. Γενική περιγραφή

Η οικογένεια Pinnidae Leach, 1819 αποτελεί μια ταξινομική οικογένεια που περιλαμβάνει είδη μεγάλων θαλάσσιων δίθυρων μαλακίων (μήκη οστράκων συνήθως μεταξύ τα 15-35 cm, και κατ' εξαίρεση έως τα 120 cm) (Schultz and Huber, 2013; Zavodnik et al., 1991). Τα περισσότερα από τα είδη αυτά εντοπίζονται στην περιοχή του Ινδο-Ειρηνικού Ωκεανού, ενώ λιγότερα εντοπίζονται στην Καραϊβική Θάλασσα, τη Δυτική Αφρική, τη Μεσόγειο Θάλασσα, τον Βορειοανατολικό Ατλαντικό και τη Δυτική Αμερική (Deudero et al., 2017). Το γεγονός ότι το όστρακο και οι μαλακοί ιστοί των Pinnids παρουσιάζουν τόσο διακριτικά χαρακτηριστικά δικαιολογεί την ταξινόμηση της ομάδας σε μία μόνο Υπεροικογένεια (Pinoidea) με μία μόνο οικογένεια: Pinnidae (Deudero et al., 2017). Η οικογένεια Pinnidae αποτελείται από τρία γένη: *Pinna* Linnaeus, 1758, *Atrina* Gray, 1842 and *Streptoripina* von Martens, 1880, τα οποία περιλαμβάνουν συνολικά 61 είδη παγκοσμίως (Horton et al., 2021).

Το τριγωνικό σχήμα των Pinnids και η ανισομέρεια που παρουσιάζουν (δηλ. η μείωση του μεγέθους του πρόσθιου προσαγωγού μυός σε σχέση με τον οπίσθιο προσαγωγό μυ) είναι συνέπεια της προσαρμογής στην προσκόλληση στο υπόστρωμα μέσω των νηματίων της βύσσου (**Εικόνα 1**). Το μεγάλο τους μέγεθος οφείλεται στις μεγάλες οπίσθιες προεκτάσεις του μανδύα (Yonge, 1953) (**Εικόνα 1**).



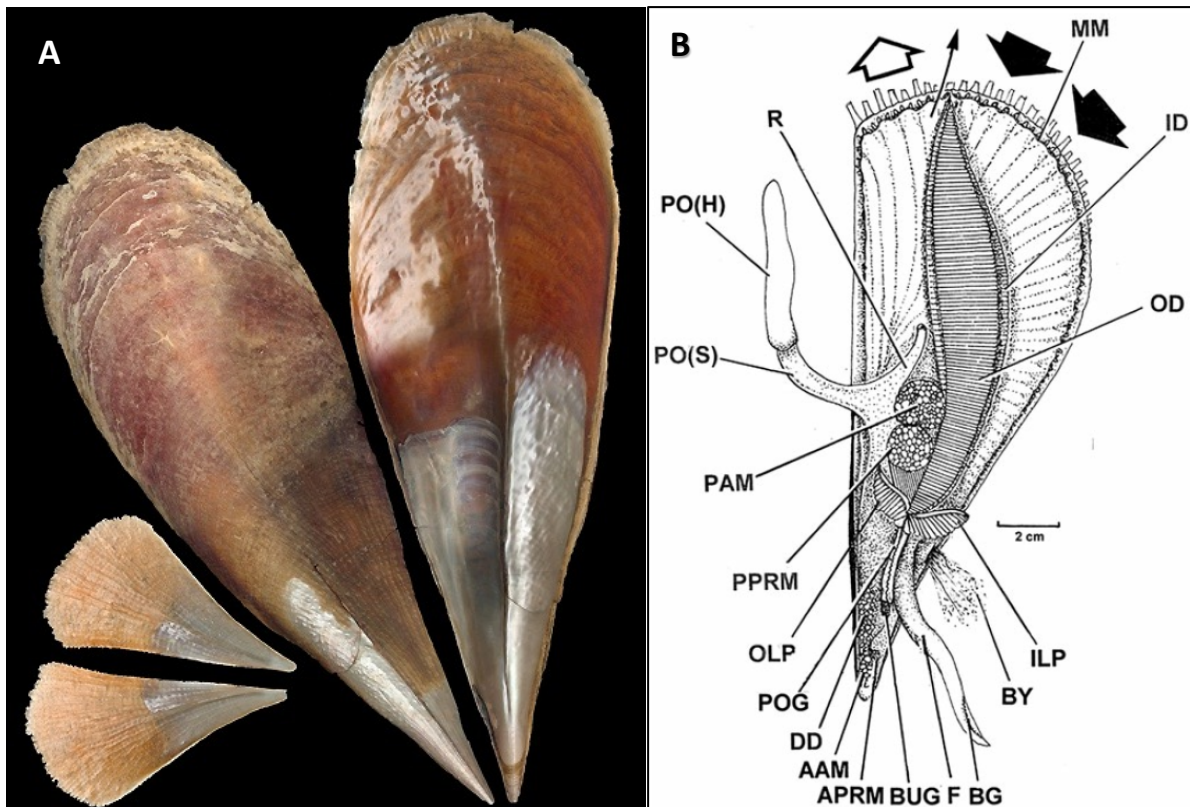
Εικόνα 1. Γενικό σχέδιο ενός ενήλικου ατόμου *Pinna nobilis*, όπως παρατηρείται συνήθως, με το κωνικό πρόσθιο τμήμα (~ 1/3 του συνολικού μήκους) του οστράκου θαμμένο στο ίζημα και προσαρτημένο στο υπόστρωμα μέσω των ινών της βύσσου (ανασχεδιασμός από τους (Basso et al., 2015), του αρχικού σχεδίου των Czihak & Dierl 1961).

Στη Μεσόγειο Θάλασσα, το ενδημικό δίθυρο μαλάκιο *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 εμφανίζεται στην υποπαραλιακή έως περιπαραλιακή ζώνη (και σε εκβολικά συστήματα) και κατανέμεται σε βάθη που κυμαίνονται από 0,5 έως 60 m, όπου ζει προσκολλημένο στον πυθμένα σε ποικιλία κινητών υποστρωμάτων, κυρίως σε λειμώνες φανερόγαμων (Butler et al., 1993), αν και οι υψηλότερες αφθονίες αναφέρονται συνήθως σε βάθη από 10 m έως 38 m (García-March et al., 2007b; Rouanet et al., 2015), ενώ σε αρκετές περιοχές το μέγιστο της αφθονίας μπορεί να εμφανίζεται σε μικρότερα βάθη (Katsanevakis et al., 2007a; Tsatiris et al., 2018). Θεωρείται ότι εμφανίζεται στη Μεσόγειο Θάλασσα από τα τέλη του Μειόκαινου (Gómez-Alba, 1988). Το μέσο μήκος του οστράκου, από το εμπρόσθιο στο οπίσθιο μέρος του, κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 40 cm, αν το εύρος αυτό παρουσιάζει διαφοροποίηση σε διαφορετικές μελέτες (π.χ. οι (Zavodnik et al., 1991) αναφέρουν εύρος μεταξύ 30-50 cm, οι Fischer et al., 1987, 20-30 cm), ενώ ως μέγιστο μήκος (ύψος) αναφέρονται τα 120 cm (Siletic and Peharda, 2003), γεγονός που το καθιστά το μεγαλύτερο δίθυρο αυτής της οικογένειας, το μεγαλύτερο σε μέγεθος δίθυρο της Μεσογείου αλλά και ένα από τα μεγαλύτερα δίθυρα παγκοσμίως (Butler et al., 1993; Katsanevakis, 2005; Zavodnik et al., 1991). Η διάρκεια ζωής του συνήθως ξεπερνά τα 20 έτη: έχει παρατηρηθεί στο Θερμαϊκό σε ηλικία 27 ετών (Galiniou-Mitsoudi et al., 2006; Garcia-March et al., 2011) αλλά μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 45 έτη (Rouanet et al., 2015; Tsatiris et al., 2018).

1.1.1.1. Μορφολογία

Με μια ιστορία απολιθωμάτων που χρονολογείται από την κατώτερη Λιθανθρακοφόρο περίοδο (Cox et al., 1969), τα δίθυρα αυτά χαρακτηρίζονται από ένα λεπτό και εύθραυστο όστρακο, τριγωνικό με οξύληκτο πρόσθιο και αποστρογγυλεμένο οπίσθιο άκρο, ελαφρώς ανισόθυρο με την αριστερή θυρίδα κυρτότερη της δεξιάς, ανισόπλευρο. Οπίσθια εμφανίζεται κυρτό. Παρουσιάζει κορυφή στην πρόσθια πλευρά και άνοιγμα στην οπίσθια πλευρά. Το περιόστρακο συνήθως απουσιάζει. Η εξωτερική επιφάνεια είναι διακοσμημένη με εύθραυστες σωληνωτές φολίδες, πυκνά διαταγμένες σε συγκεντρικά τόξα και 20 περίπου ακτινωτές ραβδώσεις. Παρουσιάζει ευδιάκριτες γραμμές αύξησης. Εσωτερικά, η μαργαρώδης περιοχή διαιρείται από μια ενδιάμεση αύλακα, σε δυο λοβούς. Στο ραχιαίο λοβό υπάρχουν τα αποτυπώματα του οπίσθιου προσαγωγού μυός, που είναι μικρότερος του πρόσθιου (διμυάριο, ανισομυάριο). Εμφανίζεται ελαστικός σύνδεσμος εσωτερικός επάλληλος, κλείθρο δυσόδοντο, χωρίς οδόντωση και μανδυακό αποτύπωμα χωρίς κόλπο. Τα χείλη του οστράκου είναι δαντελωτά και το χρώμα μα του καστανοκόκκινο στα ώριμα άτομα εξωτερικά ενώ εσωτερικά ποικίλει: μαργαρώδες γυαλιστερό, πορφυρό, καστανό (Morton and Puljas, 2019) (**Εικόνα 2**). Χαρακτηρίζονται επίσης από δύο «αδένες»: έναν απλό ωχρο αδένα (που όμως σε αυτά τα είδη επαναπροσδιορίζεται ως στοματικός αδένας) πρόσθια προς το στόμα και επίσης ένα απλό όργανο μετά τον σύνδεσμο (Morton and Puljas, 2019) (**Εικόνα 2**). Αναλυτική περιγραφή της λειτουργικής μορφολογίας του είδους δίνεται από τους Morton and Puljas (2019).

Ένα ανατομικό στοιχείο του είδους που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η βύσσο. Τα νημάτια της βύσσου εξέρχονται από το πρόσθιο άκρο των θυρίδων (**Εικόνα 2**). Είναι πολυάριθμα και ένα ενήλικο άτομο εμφανίζει συνήθως περισσότερα από 20.000 νημάτια που συνδέονται με το υπόστρωμα. Αυτά τα νημάτια, περίπου 25 cm σε μήκος, δεν είναι μόνο κολλημένα σε μικρά μόρια, στις ρίζες και στα ριζώματα της *P. oceanica* ή άλλου υποστρώματος, αλλά πολλαπλώς συνδεδεμένα και μεταξύ τους και με τις ρίζες και τα συγκρίματα του υποστρώματος, έτσι ώστε να συνεχίζεται η λειτουργία της στήριξης του οστράκου και αν ακόμα χαθεί η σύνδεση με τις ρίζες της Ποσειδωνίας η με τις άλλες σταθερές δομές (García March, 2005). Όλοι αυτοί οι συνδυασμένοι παράγοντες παρέχουν στις πίννες μεγάλη δύναμη αντίστασης ως προς στις υδροδυναμικές πιέσεις, με τη μέγιστη τιμή αυτής να έχει υπολογιστεί περίπου στα 45 N (Garcia-March and Marquez-Aliaga, 2007).



Εικόνα 2. Εικόνα εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας νεαρού και ενήλικου ατόμου (πηγή: http://www.idscaro.net/sci/04_med/class/fam5/species/pinna_nobilis1.htm) και μορφολογία μαλακών ιστών (σχέδιο από (Morton and Puljas, 2019), Συντομογραφίες: AAM, Anterior adductor muscle; APRM, Anterior pedal retractor muscle; BG, Byssal groove; BUG, Buccal gland; BY, Byssus; F, Foot; DD, Digestive diverticulae; ID, Inner demibranch; ILP, Inner labial palp; MM, Mantle margin; OD, Outer demibranch; OLP, Outer labial palp; PAM, Posterior adductor muscle; POG, Proximal oral groove; PO(H), Pallial organ (head); PO(S), Pallial organ (stalk); PPRM, Posterior pedal retractor muscle; R, Rectum).

1.1.1.2. Ανάπτυξη (Ρυθμός και Περιβάλλον)

Ο ρυθμός αύξησης του είδους *P. nobilis* είναι ο υψηλότερος μεταξύ των δίθυρων μαλακίων (Richardson et al., 2004). Ο Katsanevakis (2007b) κατέγραψε ρυθμούς ανάπτυξης έως 1 mm ανά ημέρα. Κατά την διάρκεια των 3 πρώτων ετών λαμβάνει χώρα μια γρήγορη φάση ανάπτυξης, με τον μεγαλύτερο ρυθμό να καταγράφεται τους πρώτους μήνες της ζωής του (Hendriks et al., 2011; Kersting and García-March, 2017) ενώ τα επόμενα έτη παρουσιάζεται αρκετά μεγάλη κάμψη του ρυθμού αύξησης (Katsanevakis, 2005). Το πρότυπο ανάπτυξης των οστράκων ακολουθεί μια περιοδικότητα κατά τη διάρκεια του έτους με μια εκτεταμένη φάση πολύ αργής αύξησης μεταξύ τέλους φθινοπώρου και αρχών της άνοιξης και μιας φάσης γρήγορης ανάπτυξης από νωρίς την άνοιξη έως τις αρχές του καλοκαιριού (Katsanevakis et al., 2007b). Παρ' όλα αυτά, ο ρυθμός αύξησης δεν είναι ο ίδιος στα διάφορα σημεία της Μεσογείου. Οι Rabaoui et al. (2007), ύστερα από διερεύνηση των ποσοστών ανάπτυξης σε διάφορους πληθυσμούς *P. nobilis* στις ακτές της Τυνησίας, συμπέραναν ότι ο ρυθμός αύξησης ήταν ο μικρότερος από όσους είχαν καταγραφεί στη Μεσόγειο.

Ο ρυθμός ανάπτυξη του οστράκου σε αυτό το είδος εμφανίζεται εξαιρετικά μεταβλητός και μεταξύ των διαφόρων πληθυσμών (Richardson et al., 1999), ακόμη και εντός του ίδιου πληθυσμού μεταξύ των ατόμων που διαβιούν σε διαφορετικό βάθος (García-March et al., 2007a). Για παράδειγμα, οι Kožul et al. (2012) διαπίστωσαν γρηγορότερη ανάπτυξη στα βάθη του 1 και 2 m από ότι σε μεγαλύτερα βάθη. Οι διαφορές των ωκεανογραφικών παραμέτρων μεταξύ τοποθεσιών (π.χ. βάθος, θερμοκρασία, υδροδυναμική και διαθεσιμότητα και ποιότητα τροφής, πυκνότητα πληθυσμού, ο τύπος του υποστρώματος μεταξύ άλλων πιθανών παραγόντων) μπορεί να έχουν μεγάλη επιρροή

στον ρυθμό ανάπτυξης του είδους (Blicher et al., 2010; García-March et al., 2007a; García-March et al., 2007b; Katsanevakis, 2007b). Σοβαρές διαταραχές του υποστρώματος και υψηλές υδροδυναμικές πιέσεις έχουν προταθεί ως αιτίες για την μείωση της ανάπτυξης των ατόμων πληθυσμών του είδους (García-March et al., 2007a). Εκ τούτου, τα δημογραφικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται επιτυχώς ως παράμετροι σε μελέτες για την εκτίμηση των καταλληλότερων οικοτόπων για την επανεισαγωγή ή προστασία των απειλούμενων ειδών (Fariñas-Franco et al., 2016).

Οι Richardson et al. (1999) υπέδειξαν ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού ανάπτυξης των οστράκων της *P. nobilis* και τιμών θερμοκρασίας: σε θερμοκρασίες κάτω από 19 έως 22 °C η ανάπτυξη κυμαίνεται μεταξύ 0,3 και 0,6 mm/ ημέρα περίπου, ενώ όταν η θερμοκρασία το εύρος αυτό η αύξηση των ατόμων είναι μεγαλύτερη από 0,8 mm/ ημέρα. Η φυσική θνησιμότητα εξαρτάται έντονα από το μέγεθος των ατόμων και μειώνεται σημαντικά καθώς οι πίνες αυξάνουν σε μέγεθος (Katsanevakis, 2007b).

Έχει αποδειχθεί ότι το είδος *P. nobilis* μπορεί να ανεχτεί ένα ευρύ φάσμα τιμών θερμοκρασίας του νερού από περίπου 7 έως 28 °C αλλά εμφανίζει ένα στενό παράθυρο βέλτιστων τιμών αλατότητας που κυμαίνονται από 34 έως 40 (Butler et al., 1993). Αντίθετα, οι πληθυσμοί του δίθυρου σε ορισμένες παράκτιες λιμνοθάλασσες και όρμους εκβολών, ενδέχεται να αναγκαστούν να παραμείνουν σε συνθήκες αλατότητας που είναι a priori εκτός των ορίων των βέλτιστων τιμών για την ανάπτυξη του είδους. Για παράδειγμα, στην υποθαλάσσια λιμνοθάλασσα του Mar Menor (ΝΔ Ισπανία) τα άτομα του πληθυσμού του είδους αντέχουν σε επίπεδα αλατότητας μεταξύ 42 και 47 (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2011), ενώ παρόμοιο εύρος (από 36 έως 51) παρατηρήθηκε και στη λιμνοθάλασσα Ghar El Melh (BA Τυνησία) (Zakhama-Sraieb et al., 2011). Στην περιοχή Fangar Bay (Ebro Delta), όπου κυριαρχούν τιμές χαμηλότερης αλατότητας, τα όστρακα των ατόμων του τοπικού πληθυσμού εκτίθενται σε ετήσιες τιμές που κυμαίνονται από 20 έως 35 και οι οποίες σχετίζονται με σημαντικές εποχικές απορρίψεις γλυκού νερού από την εκτεταμένη καλλιέργεια ρυζιού (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2011). Παρά την επικράτηση τέτοιων μη βέλτιστων συνθηκών, μαζικά, περιστασιακά γεγονότα επιστράτευσης στρατολόγησης κατά τη διάρκεια ευνοϊκών περιόδων μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία χιλιάδων ατόμων, όπως οι πληθυσμοί που αναφέρθηκαν στην περιοχή Mar Menor, τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας και τον κόλπο Alfacs (Prado et al., 2014; Russo, 2017). Ωστόσο, αυτοί οι πληθυσμοί μπορεί ταυτόχρονα να είναι πιο ευάλωτοι σε αλλαγές στον όγκο και τα χαρακτηριστικά των περιορισμένων υδάτινων σωμάτων από τα οποία εξαρτώνται, που οφείλονται σε έντονες ανθρωπογενείς αστικές και γεωργικές πιέσεις ή / και έντονες βροχοπτώσεις, που συνήθως οδηγούν στη μείωση της αλατότητας και παρέχουν μεγάλες ποσότητες ιζημάτων στις περιοχές που εκβάλλουν (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2011).

Η εξωτερική επιφάνεια των οστράκων της *P. nobilis* δεν έχει κανένα εμφανές σημάδι αύξησης που να επιτρέπει τον καθορισμό της ηλικίας των ατόμων και το προσδιορισμό του ρυθμού αύξησης σε ετήσια βάση. Έτσι σύμφωνα με τους Lutz and Rhoads (1980) ο υπολογισμός της ηλικίας των δίθυρων γίνεται με τις παραδοσιακές μεθόδους χρήσης των αποτυπωμάτων του πρόσθιου προσαγωγού μυός, και με τον έλεγχο των γραμμών ανάπτυξης στην εσωτερική επιφάνεια του οστράκου (Richardson et al., 1999). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για τον προσδιορισμό του ρυθμού αύξησης είναι: 1. η «*in situ*» μέτρηση των οστράκων ανά χρονικά διαστήματα και ο καθορισμός των εποχιακών σχεδίων ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του έτους (έγκυρη και κατάλληλη μέθοδος, αλλά χρονοβόρος και πολυδάπανη), 2. η χρήση των «PAMS» (posterior adductor muscle scars (PAMS) που στηρίζεται στην ερμηνεία των ετήσιων σημαδιών του προσαγωγού μυός στην εσωτερική επιφάνεια του οστράκου (Richardson et al., 1999), 3. η ανάλυση των σταθερών ισοτόπων οξυγόνου (^{18}O : ^{16}O) του ανθρακικού άλατος ανά διαστήματα κατά μήκος της επιφάνειας του οστράκου μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των εποχιακών αλλαγών της θερμοκρασίας του ύδατος και τις φόρμες αύξησης των οστράκων, δεδομένου ότι η εναπόθεση ανόργανου υλικού και η αύξηση του οστράκου λαμβάνει χώρα κυρίως κατά τη διάρκεια των περιόδων αύξησης της θερμοκρασίας του νερού από 12 έως 26 °C.

1.1.1.3. Τροφοληψία - Διατροφή

Η δραστηριότητα των βαλβίδων του οστράκου των δίθυρων σχετίζεται με σημαντικές φυσιολογικές διαδικασίες, όπως η διατροφή, η αναπνοή και ο μεταβολισμός, και προσαρμόζεται κάθε φορά αντιδρώντας σε εξωτερικά ερεθίσματα ακολουθώντας κυκλικούς ρυθμούς σε διάφορα είδη (Garcia-March et al., 2008).

Άτομα του είδους *P. nobilis* που εντοπίζονται στους λειμώνες των θαλάσσιων φανερόγαμων βασίζουν τη διατροφή τους στη σωματιδιακή και ιζηματογενή οργανική ύλη, φύλλα φανερόγαμων και τα επίφυτά τους (Cabanellas-Reboredo et al., 2009). Οι Davenport et al. (2011) βρήκαν ότι υπάρχει διαφορετική διατροφή βάσει μεγέθους στη *P. nobilis*. Παρόλο που η *P. nobilis* είναι διηθηματοφάγος οργανισμός, φαίνεται να καταναλώνει κατά προτίμηση τα οργανικά κατάλοιπα (95% του διηθημένου υλικού), όπως φυτοπλαγκτόν, μικρο- και μεσο-ζωοπλαγκτόν και κόκκοι γύρης. Αυτό μπορεί να αποτελεί τοπικό φαινόμενο, καθώς οι Alomar et al. (2015) έδειξαν ότι η διατροφή της *P. nobilis* βασίζεται κυρίως στο φυτοπλαγκτόν.

1.1.1.4. Αναπαραγωγή

Η *P. nobilis* αποτελεί διαδοχικά ερμαφρόδιτο οργανισμό με ασύγχρονη ωρίμανση γαμετών, που αποφεύγει την αυτογονιμοποίηση, ενώ τα γονοχωρικά άτομα αποτελούν εξαίρεση στο είδος (Basso et al., 2015). Τα νεαρά άτομα ωριμάζουν αναπαραγωγικά σε ηλικία 1-2 ετών (Richardson et al., 1999) με τη διαδικασία γαμετογένεσης να πραγματοποιείται από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο ακολουθούμενη από μια διαδοχική εναλλαγών αναπαραγωγής και γρήγορης γαμετογένεσης από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο (Basso et al., 2015). Η αναπαραγωγή τους γίνεται με εξωτερική γονιμοποίηση και η επιτυχία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη άλλων ατόμων σε κοντινή απόσταση που ωοτοκούν συγχρόνως (Basso et al., 2015). Στη συνέχεια παρουσιάζει μια φάση διασποράς με πελαγικές προνύμφες, που αποτελεί πιθανότατα ένα τρωτό σημείο για τον πληθυσμό επειδή τα στάδια της πρώιμης ζωής των θαλάσσιων οργανισμών, και ιδίως των αυγών και των προνυμφών, θεωρούνται τα πιο ευάλωτα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες (Przeslawski et al., 2005). Οι δυσμενείς συνθήκες είναι πιθανό να επηρεάσουν πρώτα τα ευάλωτα στάδια ζωής και ως εκ τούτου ο χρόνος αναπαραγωγής συμπίπτει με τις βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτούνται για τη διατήρηση βιώσιμων πληθυσμών (Basso et al., 2015). Αυτή η φάση του κύκλου ζωής δεν έχει μελετηθεί καλά (Katsanevakis, 2007b) και ελάχιστα είναι γνωστά για τα ποσοστά θνησιμότητας των προνυμφών, ενώ πολύ περιορισμένες είναι και οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τα νεαρά άτομα *P. nobilis*. Λόγω αυτής της περιορισμένης γνώσης και της σχετικής αβεβαιότητας, δεν είναι ξεκάθαρη η ικανότητα διασποράς του είδους (Basso et al., 2015). Η αναπαραγωγή θεωρείται ότι συμβαίνει στα τέλη του καλοκαιριού και στις αρχές του φθινοπώρου (Basso et al., 2015; Katsanevakis, 2007b). Γύρω από τις Βαλεαρίδες Νήσους, στη δυτική Μεσόγειο, η ωοτοκία θεωρείται γενικά ότι περιορίζεται σε μια περίοδο αιχμής μεταξύ της τελευταίας εβδομάδας του Αυγούστου και της πρώτης εβδομάδας του Σεπτεμβρίου (Cabanellas-Reboredo et al., 2009).

Η διάρκεια της προνυμφικής φάσης για το γένος *Pinna* εκτιμάται ότι είναι το μεταξύ 10 – 15 ημερών (Butler et al., 1993; Corra et al., 2013), η στρατολόγηση παρουσιάζει υψηλή μεταβλητότητα (Katsanevakis, 2007b), ενώ η εγκατάσταση των νεαρών ατόμων πραγματοποιείται κυρίως στο τέλος του καλοκαιριού και τις αρχές του φθινοπώρου (Katsanevakis, 2007b; Richardson et al., 1999). Ο πλήρης κύκλος ζωής δεν έχει ακόμη μελετηθεί συστηματικά (Deudero et al., 2017). Η γνώση για την θνησιμότητα κατά την διάρκεια των διαφόρων φάσεων της οντογένεσης είναι λιγοστές, παρόλα αυτά

υπάρχουν πληροφορίες για την μείωση του ποσοστού θνησιμότητας των μεταπρονυμφικών σταδίων με την πρόοδο του ηλικίας, που οφείλεται στη χαμηλότερη τρωτότητα των μεγάλων ατόμων απέναντι στους θηρευτές (García-March et al., 2007b). Τέλος, λόγω της έλλειψης τέτοιων δεδομένων, λίγα είναι γνωστά για την πραγματική ικανότητα διασποράς του είδους (Deudero et al., 2017). Οι ιστολογικές αναλύσεις του γοναδικού ιστού ατόμων που συλλέγονται σε τακτά χρονικά διαστήματα παρέχουν την πιο αξιόπιστη μέθοδο για τον προσδιορισμό των εποχιακών γοναδικών αλλαγών στα δίθυρα (Camacho-Mondragón et al., 2012). Με αυτήν τη μέθοδο μπορεί επίσης να αξιολογηθεί ο χρόνος αναπαραγωγής, το ποσοστό των ατόμων αναπαραγωγής σε έναν φυσικό πληθυσμό και η αναλογία φύλου, κάτι που είναι χρήσιμο για την πρόβλεψη της γονιμοποίησης και για τη θέσπιση μέτρων διαχείρισης της αλιείας (Camacho-Mondragón et al., 2012).

Στα δίθυρα, ο χρόνος και η διάρκεια της αναπαραγωγής και της ωοτοκίας πιθανότατα ελέγχεται από την αλληλεπίδραση εξωγενών (περιβαλλοντικοί: θερμοκρασία, διαθεσιμότητα οργανικών τροφών σε σωματίδια) και ενδογενών (γενετικοί και φυσιολογικοί) παραγόντων (Basso et al., 2015). Η αναπαραγωγή στα δίθυρα αντιπροσωπεύει κάποιο ενεργητικό κόστος και η διάκριση της παροχής της ενέργειας σε γαμέτες μέσω αποθηκευμένων πόρων ή από τη διαθέσιμη τροφή (εξωγενείς παράγοντες) είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση τέτοιων ευπαθών ειδών. Οι σταθερές αναλογίες ισotόπων C και N, ως οικολογικοί ιχνηθέτες, ενδέχεται να παρέχουν πληροφορίες για αυτές τις διεργασίες αυτές και έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την κατανόηση της δυναμικής των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Deudero et al., 2015). Τα άτομα του είδους που εκτίθενται σε ανθρωπογενείς πιέσεις στα παράκτια ύδατα γύρω από τις Βαλεαρίδες Νήσους παρουσιάζουν διαφορές στα ισotόπα σήματα στους ισotούς τους, καθώς και μια έντονη εποχιακή διακύμανση, υποδηλώνοντας μια γρήγορη ισotοπική απόκριση στις περιβαλλοντικές αλλαγές (Cabanellas-Reboredo et al., 2009).

Με τον κερματισμό και την αραίωση των πληθυσμών - όπως συμβαίνει με τους περισσότερους πληθυσμούς Πίνας στη Μεσόγειο - τα ποσοστά αποτυχίας της γονιμοποίησης αυξάνονται και η επιτυχία της γονιμοποίησης ανάγεται σε σοβαρό ζήτημα για την επιβίωση του είδους (Basso et al., 2015).

1.1.1.5. Φυσιολογία: δραστηριότητα των βαλβίδων (Gaping)

Οι θυρίδες συνενώνονται μεταξύ τους στο άνω μέρος του οστράκου με ένα ελαστικό σύνδεσμο (ligamentum) και συναρθρώνονται με ένα σύστημα οδόντων (teeth) και εσοχών (βοθρία-sockets) που υπάρχουν και στις δύο θυρίδες. Ο χώρος αυτός της συνάρθρωσης ονομάζεται κλείθρο (hinge). Το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων επιτυγχάνεται με την ανταγωνιστική δράση του ελαστικού συνδέσμου και των προσαγωγών μυών (adductor muscles, **Εικόνα 2**: AAM, PAM) που προσκολλώνται στο εσωτερικό των θυρίδων. Ο ελαστικός σύνδεσμος δρα σαν ελατήριο και κρατά τις θυρίδες ανοικτές όταν οι μύες ηρεμούν. Ενώ σε περίπτωση κινδύνου όλα τα μαλακά μέρη αποσύρονται στο εσωτερικό του οστράκου το οποίο κλείνει με τη συστολή των προσαγωγών μυών (Morton and Puljas, 2019).

Η δραστηριότητα των βαλβίδων των οστρακοειδών σχετίζεται με σημαντικές φυσιολογικές διαδικασίες, όπως η διατροφή, η αναπνοή και ο μεταβολισμός, και προσαρμόζεται κάθε φορά αντιδρώντας σε εξωτερικά ερεθίσματα ακολουθώντας κυκλικούς ρυθμούς σε διάφορα είδη (García-March et al., 2008).

Η *P. nobilis* ακολουθεί αξιοσημείωτους ρυθμούς δραστηριότητας στη λειτουργία των βαλβίδων. Τα κύρια μοτίβα (García-March et al., 2008): 1. το άνοιγμα του οστράκου κατά τη διάρκεια της ημέρας και 2. το κλείσιμο του οστράκου κατά τη διάρκεια της νύχτας. 3. Άνοιγμα κατά τη διάρκεια της νύχτας συμβαίνει, επίσης, όταν το φεγγάρι είναι στον ουρανό και φωτίζει επαρκώς (πάνω από 50%). Επίσης,

παρατηρήθηκαν άλλες δύο λιγότερο συχνές τάσεις: 4. Κλειστές θυρίδες την ημέρα και 5. Άνοιγμα θυρίδων το βράδυ χωρίς την παρουσία ορατού φεγγαριού. Καταιγίδες με ισχυρή υδροδυναμική επίδραση που επηρεάζουν τον βυθό αλλάζουν τη δραστηριότητα ανοίγματος, μειώνοντας τον μέγιστο χρόνο έκτασης του οστράκου και προκαλώντας το κλείσιμό του, πιθανότατα ως αντίδραση στην αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων στη στήλη του νερού λόγω της έντονης κίνησης του νερού, ή αυξάνοντας την κινητικότητα των βαλβίδων με σκοπό τον καθαρισμό της κοιλότητας του οστράκου από το ίζημα (Garcia-March et al., 2008). Η υπερβολική συγκέντρωση αιωρούμενου ιζήματος στο νερό μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους ιστούς των διθύρων (Cheung and Shin, 2005) και κατ' επέκταση μείωση στην ικανότητα επιβίωσης ορισμένων ειδών (Garcia-March et al., 2008). Άτομα που μελετήθηκαν ταυτόχρονα έδειξαν συγχρονισμένη συμπεριφορά, υποδηλώνοντας ότι όλα τα μέλη του πληθυσμού ανταποκρίνονται στα ίδια ερεθίσματα (Garcia-March et al., 2008). Η *P. nobilis* έχει προταθεί, ως εκ τούτου, ως πιθανός βιολογικός δείκτης των περιβαλλοντικών συνθηκών. Επιπλέον, εξωγενείς περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη δραστηριότητα των θυρίδων. Για παράδειγμα όταν τα άτομα του είδους εκτίθενται σε χαμηλές συγκεντρώσεις τοξικών ενώσεων στο νερό, αλλάζουν την «gapping» δραστηριότητα τους, χαρακτηριστικό που επίσης ενισχύει τη χρήση του είδους ως δείκτη της ποιότητας των υδάτων (Garcia-March et al., 2008). Επιπλέον, η *P. nobilis* ανταποκρίνεται στην εγγύτητα απειλών, όπως τα ψάρια ή οι κολυμβητές, κλείνοντας το όστρακο. Οι πιθανοί μηχανισμοί που συμβάλουν στην απόκριση αυτή, μπορεί να περιλαμβάνουν πιέσεις σε αισθητήρες μέσω αλλαγών στα υδροδυναμικά πεδία, καθώς και ευαισθησία στις αλλαγές στο φως (Garcia-March et al., 2008).

1.1.1.6. Υδροδυναμισμός

Η υδροδυναμική των υδάτων καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που συντελούν στην δημιουργία των ρευμάτων, όπως ο άνεμος, η ατμοσφαιρική πίεση, οι παλίρροιες υπό την επίδραση του ηλίου και κυρίως της σελήνης σε συνδυασμό με την βαρύτητα, οι χωρικές βαθμίδες της πυκνότητας του θαλασσινού νερού, οι δυνάμεις «Coriolis» λόγω της περιστροφής της γης, και οι κυματισμοί που αναπτύσσονται και διαδίδονται στις παράκτιες λεκάνες και επηρεάζει με τη σειρά της τους οργανισμούς που διαβιούν στα υδάτινα οικοσυστήματα, αναγκάζοντάς τους να προσαρμόζουν τις φυσιολογικές λειτουργίες τους, ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση των διαφόρων ειδών.

Η υδροδυναμική φαίνεται πως αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην οικολογία του είδους *P. nobilis* (Basso et al., 2015). Η κατανομή των μεγεθών, η χωρική κατανομή, ο προσανατολισμός του οστράκου και η ανάπτυξη παρουσιάζουν άμεση ή έμμεση συσχέτιση με αυτόν τον παράγοντα. Η υδροδυναμική συν-καθορίζει τις διάφορες παραμέτρους του πληθυσμού επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα της τροφής και μειώνοντας την ικανότητα επιβίωσης μέσω της απόσπασης και θανάτωσης ατόμων λόγω της δράσης των κυμάτων (Basso et al., 2015).

Στην ανοιχτή θάλασσα, η κατανομή των ειδών και του μεγέθους επηρεάζονται έντονα από τη δράση των κυμάτων και την πυκνότητα των λιβαδιών της *P. oceanica* που καθορίζουν την ένταση των δυνάμεων έλξης (García-March et al., 2007a; Hendriks et al., 2011). Τα μικρά άτομα βρίσκονται συνήθως σε ρηχά ύδατα ενώ τα μεγάλα άτομα παρατηρούνται μόνο σε μεγαλύτερα βάθη ή σε προφυλαγμένες θέσεις. Επίσης, μερικοί πληθυσμοί παρουσιάζουν κοινό προσανατολισμό των οστράκων. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι διαδεδομένα σε όλη τη Μεσόγειο. Οι δύο πεπλατυσμένες επιφάνειες του οστράκου εκτίθενται σε υδροδυναμικές πιέσεις (Drag force-Fd) των θαλάσσιων ρευμάτων. Αυτές οι δυνάμεις δρουν στο προεξέχον τμήμα του οστράκου και είναι ανάλογες με το μέγεθός του και μπορούν να αποκολλήσουν τα κοχύλια από το υπόστρωμα κατά τη διάρκεια θυελλών, με αποτέλεσμα να τα θανατώσουν (García-March et al., 2007b). Όσο αυξάνονται

σε μέγεθος τα κοχύλια τόσο οι δυνάμεις (Fd) μεγαλώνουν αναλογικά. Σύμφωνα με τους Deudero et al. (2015) και García-March et al. (2007a), η επίδραση διαλείπουσας υψηλής ή συνεχούς μέτριας υδροδυναμικής πίεσης θα μπορούσε να αυξήσει τη θνησιμότητα των ατόμων του είδους και να περιορίσει την ανάπτυξη τους προκαλώντας στρες και θραύση του οστράκου.

Πράγματι, η ευπάθεια της *P. nobilis* στις υδροδυναμικές πιέσεις, λόγω της μεγάλης επιφάνειάς της που προεξέχει κάθετα από το ίζημα, μπορεί να αποτελεί και την κύρια αιτία της στενής σχέσης που παρουσιάζει το είδος με τα λιβάδια *P. oceanica* ως βιότοπο. Τα λιβάδια *P. oceanica* μειώνουν την ενέργεια των κυμάτων και εξασθενούν τη ροή του ύδατος, μειώνοντας έτσι την αντίσταση που δέχεται η *P. nobilis* (Hendriks et al., 2011). Η *P. nobilis* προσδένεται επίσης στο υπόστρωμα μέσω συμπίεσης του πρόσθιου τμήματος των οστράκων, που είναι ενσωματωμένο στο στρώμα που δημιουργεί η *P. oceanica*, καθώς τα άτομα μεγαλώνουν.

Αντίθετα, τα περιορισμένα ύδατα (π.χ. λιμνοθάλασσες, κλειστοί αβαθείς κόλποι) παρέχουν ένα περισσότερο προστατευμένο περιβάλλον και διάφοροι πληθυσμοί σε τέτοια οικοσυστήματα παρουσιάζουν μέγιστη πυκνότητα σε βάθη μικρότερα του 1 m (Prado et al., 2014; Russo, 2017), μεταξύ 2–5 m (Corra et al., 2013) και έως 11–13 m (Katsanevakis et al., 2007a), ενδεχομένως ανάλογα με την επίδραση της τοπικής γεωμορφολογίας στα πρότυπα στρατολόγησης (βλ. (Prado et al., 2020; Prado et al., 2021).

1.1.1.7. Ενδιαιτήματα στα οποία απαντάται

Η *P. nobilis* αποικίζει παραλιακές περιοχές σε βάθη από 0,50 έως 60 m (Garcia-March et al., 2008). Συνδέεται έντονα με την παρουσία των θαλάσσιων φανερογάμων, και εντοπίζεται κυρίως σε αμμώδη ιζήματα ή σε μίξη αυτών με μικρές ποσότητες λάσπης που καλύπτονται από λιβάδια των θαλάσσιων φανερογάμων *P. oceanica* (Richardson et al., 1999) στην ανοιχτή θάλασσα, αλλά και σε προστατευμένες περιοχές όπως οι αβαθείς κόλποι και οι παράκτιες λιμνοθάλασσες όπου κυριαρχούν συχνά άλλοι βιότοποι μαλακού πυθμένα με *Cymodocea nodosa* (Centoducati et al., 2007), *Zostera marina* και *Z. noltii* (Katsanevakis, 2005), το μακροχρόνια εγκατεστημένο ξενικό είδος *Halophila stipulacea* (Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009), καθώς και διάφορα είδη μακροφυκών (Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009). Μπορεί επίσης να είναι εγκατεστημένη πάνω σε γυμνή άμμο (Rabaoui et al., 2007) ή λάσπη (Richardson et al., 1999), κοραλλιογενή υποστρώματα (Garcia-March et al., 2008), καθώς και σε χαλικώδη υποστρώματα (Corra et al., 2010) ή σε αμμώδη ανοίγματα μεταξύ σκληρού υποστρώματος (Garcia-March et al., 2008; Tsatiris et al., 2018) (Εικόνα 3) και εκβολικά συστήματα (Addis et al., 2009).

Οι λειμώνες της *P. oceanica* προσφέρουν προστασία από τον υδροδυναμισμό καθώς μειώνουν τις υδροστατικές πιέσεις και συμβάλλουν στην αύξηση του βέλτιστου μεγέθους επιβίωσης (García-March and Kersting, 2006), ενώ είναι πολύ αποτελεσματικοί στην παγίδευση σωματιδίων μέσα από τη ροή του νερού (Hendriks et al., 2008), παρέχοντας έτσι ένα περιβάλλον με βελτιωμένη παροχή τροφής για την *P. nobilis*, και διευκολύνει επίσης το recruitment των προνυμφών της *P. nobilis*. Επιπλέον, το πυκνό δίκτυο ισχυρών ριζωμάτων και ριζών που σχηματίζονται από τα λιβάδια *P. oceanica* παρέχουν ένα υπόστρωμα, όπου η *P. nobilis* μπορεί να αγκυρωθεί μέσω της προσάρτησης των νημάτων της βύσσου. Επιπλέον, τα λιβάδια *P. oceanica* μπορεί να παρέχουν καταφύγιο από θηρευτές, ιδιαίτερα στα πιο ευάλωτα νεαρά άτομα, τα οποία κρύβονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου εντός των πυκνών θόλων που σχηματίζουν οι λειμώνες, αλλά και περιορισμένη προσβασιμότητα σε δύτες και λαθροθήρες (Katsanevakis, 2005; Tsatiris et al., 2018).



Εικόνα 3. *P. nobilis* στο φυσικό της ενδιαίτημα (Πηγές: <https://kostasladas.blogspot.com/2012/11/pinna-nobilis.html>, https://stock.adobe.com/gr_en/search/images?k=%22pinna+nobilis%22, <https://pinnanobilis.eu/gallery/>).

Οι (Rabaoui et al., 2009) βρήκαν ότι οι υψηλότερες πυκνότητες του πληθυσμού *P. nobilis* που μελέτησαν καταγράφηκαν σε προστατευμένους βιοτόπους, που χαρακτηρίζονται από ασθενή υδροδυναμική (χαμηλή δράση κυμάτων και χαμηλή ταχύτητα ρεύματος) και αμμώδη-λασπώδη υποστρώματα αναμεμιγμένα με ογκόλιθους, χαλίκια και σκληρό υπόστρωμα βιογενούς προέλευσης (όπως στην περίπτωση του πληθυσμού στη λίμνη Βουλιαγμένης, 2006 Katsanevakis (2007a)). Φαίνεται ότι αυτός ο τύπος οικοσυστήματος είναι ευνοϊκός για τη συντήρηση και την επιβίωση των Pinnids. Το εύρημα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι απουσία της *P. oceanica* ή άλλων φανερογάμων, η *P. nobilis* προτιμά την εγκατάσταση σε υπόστρωμα αναμεμιγμένο με πέτρες, υπολείμματα οστράκων και χαλίκια στα οποία μπορούν να προσκολληθούν τα νημάτια της βύσσου (García March, 2005).

1.1.1.8. Επιβιωτικοί & Ενδοβιοτικοί οργανισμοί (επιβιώτες)

Από την εποχή του Αριστοτέλη ήταν γνωστό ότι στο εσωτερικό των ατόμων του είδους *P. nobilis* ζουν ως ενδοβιώτες τα καβούρια του γένους *Pinnotheres* (Zavodnik, 1967) ιδιαίτερα το είδος *Pinnotheres risum* καθώς και οι μικρές γαρίδες *Pontonia pinnophylax* (Richardson et al., 1999). Οι ενδοβιοτικοί αυτοί οργανισμοί βρίσκονται κυρίως στον μανδουακό χώρο της *P. nobilis* συμβιώνοντας μαζί της. Υπάρχουν περιορισμένες βιολογικές και οικολογικές αναφορές για τους ενδοβιώτες της *P. nobilis* όπως αυτή των Richardson et al. (1999).

Η εξωτερικά σκληρή επιφάνεια του οστράκου της *P. nobilis* αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη συμβιωτικών ειδών θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας (Εικόνα 4), τα οποία συγκροτούν από κοινού μία βιοκοινότητα μαζί με την *P. nobilis* και επωφελούνται αμοιβαία (Addis et al., 2009; Rabaoui et al., 2009). Η *P. nobilis* ζει επίσης συμβιωτικά με δυο είδη δεκαπόδων τη μικρή γαρίδα *P.*

pinnoophylax (Εικόνα 5), και το καβούρι *Nerpinnotheres pinnotheres*, τα οποία διαβιούν στο εσωτερικό του οστράκου. Τα δυο αυτά δεκάποδα προστατεύονται μέσα στο όστρακο της *P. nobilis* και σαν ανταπόδοση την προειδοποιούν για την ύπαρξη εξωτερικών κινδύνων «τσιμπώντας» την στον μανδύα, έτσι η *P. nobilis* κλείνει τις ανοικτές θυρίδες και προφυλάσσεται.

Έρευνα ανέδειξε την ύπαρξη *P. pinnoophylax* σε ένα ποσοστό 23,3% επί των δειγμάτων *P. nobilis*, όπου κυριαρχούσαν τα αρσενικά άτομα κατά 63,6% και την ύπαρξη *N. pinnotheres* σε ποσοστό 56,7% και 62,5% αναλογία αρσενικών, μάλιστα τα καβούρια συμβίωναν με τις μεγαλύτερες σε μέγεθος άτομα, ενώ όσο μεγαλύτερο ήταν το όστρακο τόσο μεγαλύτερο ήταν και το αντίστοιχο δεκάποδο (Rabaoui et al., 2009). Σε πληθυσμό *P. nobilis* στον Ανατολικό Θερμαϊκό βρέθηκε ότι το 12,5% των δειγμάτων έφερε ως ενδοβιότες τις γαρίδες *P. pinnoophylax* και το 85,7% τα καβούρια *P. risum*, ενώ το 1,8% των ατόμων δεν έφερε ενδοβιότες (Galinou-Mitsoudi et al., 2006). Στην ίδια μελέτη, σε θέσεις με μεγαλύτερο υδροδυναμισμό βρέθηκε αποκλειστικά το καβούρι *P. risum* ως ενδοβιότης της *P. nobilis* και ως εκ τούτου πιθανολογείται ότι το είδος του ενδοβιότη να επηρεάζεται από την ύπαρξη υδροδυναμισμού, σε συνδυασμό με τη μορφολογία των προνυμφικών σταδίων των ενδοβιοτιών αυτών.



Εικόνα 4. *Pinna nobilis*, Piran, Αδριατική Θάλασσα, Σλοβενία © Borut Furlan (Πηγή: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/pinna_nobilis_iucn_final.pdf)

Γενικά, λίγες είναι οι μελέτες που έχουν διερευνήσει τη φυσική επιβιοτική κοινότητα που σχετίζεται με την *P. nobilis* (Basso et al., 2015): π.χ. Rabaoui et al. (2009) 146 είδη, κ.α. Η επιβιοτική κοινότητα κυριαρχείται, όσον αφορά τον αριθμό των ειδών, από μαλάκια (39,73%), ακολουθούμενη από Annelidia (16,44%), καρκινοειδή (15,07%), ασιδιανούς (7,53%), σφουγγάρια (6,85%), cnidarians (6,16%), εχινόδερμα (4,79%) και bryozoans (3,42%). Η σχέση της συμβίωσης με τα δύο καρκινοειδή *P. pinnoophylax* και η *N. pinnotheres*, εξακολουθεί να είναι ελάχιστα μελετημένη και δεν έχει κατανοηθεί σε βάθος (Basso et al., 2015). Συμπερασματικά, η κοινότητα που συνδέεται με το δίθυρο *P. nobilis* εμφανίζει υψηλή βιοποικιλότητα τόσο ως προς τον ειδικό πλούτο όσο και ως προς την ταξινομική σχέση. Αυτά τα διβάλβιδα δίθυρα αυξάνουν την τοπική χωρική ετερογένεια και ευνοούν την εγκατάσταση των βενθικών ειδών (Basso et al., 2015).



Εικόνα 5. Η γαρίδα *Pontonia pinnophylax*, ενδοβιώτης της *P. nobilis* (Πηγή: <https://kostasladas.blogspot.com/2012/11/pinna-nobilis.html>)

1.1.1.9. Οικολογικός ρόλος/σπουδαιότητα

Στα θαλάσσια οικοσυστήματα, είναι γνωστό ότι ορισμένα είδη ζώων διαδραματίζουν σημαντικό οικολογικό ρόλο συμβάλλοντας στην πολυπλοκότητα των βενθικών κοινοτήτων. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, ορισμένοι βενθικοί εδραίοι οργανισμοί είναι πολύ σημαντικοί, καθώς αλληλεπιδρούν με πολλά άλλα είδη (Rabaoui et al., 2015). Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των οστράκων των μαλακίων που έχουν μελετηθεί ως μικρο-οικοσυστήματα που παρέχουν βιότοπο για πολλά άλλα εδραία είδη. Ορισμένα μελέτες έχουν δείξει ότι η ποικιλομορφία και η δομή της μικροχλωρίδας μια περιοχής με υπόστρωμα μαλακών ιζημάτων επηρεάζονται από την παρουσία ειδών Pinnidae, ιδίως των γενών *Atrina* και *Pinna* (Munguia, 2004). Λόγω των πλεονεκτημάτων που αποδίδουν στο οικοσύστημα, τα όστρακα της *P. nobilis* θεωρούνται, όπως και άλλοι βενθικοί οργανισμοί, ως μηχανικοί οικοσυστήματος καθώς ασκούν μηχανική στο οικοσύστημά τους (Passarelli et al., 2014). Στην πραγματικότητα, η παρουσία τέτοιων ειδών μπορεί να τροποποιήσει τις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες του περιβάλλοντος σε τοπική κλίμακα (Braeckman et al., 2010) και επίσης να προσφέρει, μέσω της φυσικής τους παρουσίας, ένα υπόστρωμα για την εγκατάσταση διαφόρων άλλων επιβιωτικών οργανισμών (Rabaoui et al., 2015).

Στη Μεσόγειο Θάλασσα, η *P. nobilis* αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ενός είδους που λειτουργεί ως «μηχανικός οικοσυστήματος» προσφέροντας ένα κατάλληλο υπόστρωμα σε πολλά είδη βενθικών ασπονδύλων με τα οποία συσχετίζεται - έχουν αναφερθεί περισσότερα από 145 είδη ως επιβιώτες της *P. nobilis* - συμβάλλοντας στην αύξηση της ετερογένειας και της βιοποικιλότητας μιας περιοχής και στη συνολική αύξηση του επιπέδου πολυπλοκότητας των βιοτόπων σε τοπικό επίπεδο (Addis et al., 2009; Rabaoui et al., 2009), ενώ πολύ πυκνοί πληθυσμοί μπορεί να οδηγήσουν σε σχηματισμό υφάλων βιογενούς προέλευσης (Katsanevakis, 2016). Επίσης, καθώς πρόκειται για έναν επιβενθικό,

αιωρηματοφάγο οργανισμό, συμμετέχει στη βενθο-πελαγική σύζευξη ανακυκλώνοντας σωματιδιακό υλικό φυτικής και ζωικής προέλευσης (Davenport et al., 2011), οδηγώντας στη μείωση της θολερότητας του νερού και σε συνδυασμό με το μεγάλο σχήμα οστράκου, θεωρείται ότι παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της καλής κατάστασης του θαλάσσιου οικοσυστήματος (Trigos et al., 2014), ενώ παράλληλα ενισχύει τη βενθική-πελαγική σύζευξη (Basso et al., 2015).

Στο πλαίσιο αυτής της λειτουργίας του είδους, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες «μεταφύτευσης» οστράκου *P. nobilis* σε μια γυμνή περιοχή με μαλακό πυθμένα, προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση της φυσικής παρουσίας του είδους την τοπική βενθική ποικιλομορφία και να κατανοηθεί καλύτερα τη διαδικασία αποικισμού των άδειων οστράκων, επισημαίνοντας τον ρόλο τους στον εμπλουτισμό και την περιπλοκότητα της δομής των βενθικών κοινοτήτων σε ενδαιτήματα μαλακών ιζημάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα «μεταφυτευμένα» κελύφη *P. nobilis*, μέσω της φυσικής τους παρουσίας, ενίσχυσαν την τοπική βιοποικιλότητα προσφέροντας ένα υπόστρωμα κατάλληλο για πολλά είδη σκληρών υποστρωμάτων που δεν υπάρχουν κανονικά σε οικοτόπους μαλακού υποστρώματος (Rabaoui et al., 2015). Ωστόσο, οι ενδείξεις υψηλής ποικιλότητας που σημειώνονται σε αυτές τις μελέτες μπορεί να οφείλονται όχι μόνο στη φυσική παρουσία των ζωντανών ατόμων αλλά και στις βιολογικές τους ιδιότητες (δηλαδή στην παροχή τοπικών ρευμάτων μέσω της κίνησης των βαλβίδων ή στην παροχή πηγών τροφής για ορισμένα είδη) ή ακόμη και τις φυσικές ιδιότητες του ίδιου του οικοτόπου (φύση του υποστρώματος, φυτική κάλυψη, κάλυψη φυκιών κ.α.) (Rabaoui et al., 2015). Τέλος, η *P. nobilis* αποτελεί σημαντικό συστατικό της τροφικής αλυσίδας και διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στον κύκλο των θρεπτικών (Addis et al., 2009). Οι κυριότεροι θηρευτές της *P. nobilis* είναι τα είδη *Sparus aurata* της οικογένειας Sparidae καθώς και το κοινό χταπόδι *Octopus vulgaris* της οικογένειας Octopodidae (Addis et al., 2009), αλλά και άλλα είδη Sparidae και ψάρια από άλλες οικογένειες, ενώ καβούρια και σαρκοφάγα μαλάκια μπορούν να θηρεύσουν νεαρά άτομα πίννας (Katsanevakis, 2007b).

1.1.2. Πιέσεις και Απειλές του είδους *P. nobilis*

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ο συνολικός πληθυσμός του είδους παρουσιάζει σταθερή μειωτική τάση (Rouanet et al., 2015), συμπεριλαμβανομένων και των πληθυσμών που εντοπίζονται στον ελλαδικό χώρο (Katsanevakis, 2005; Katsanevakis et al., 2011; Theodorou et al., 2017; Voultziadou, 2009).

Η *P. nobilis* αποτελεί εδώδιμο είδος και η κατανάλωσή της ανάγεται στην αρχαιότητα όπου μαγειρευόταν με λάδι, κρασί και μέλι (Voultziadou, 2009). Χρησιμοποιούνταν στην παραδοσιακή μαγειρική σε ορισμένες περιοχές της Μεσογείου (Katsanevakis et al., 2011). Η αλιεία της γινόταν με κατάδυση, δίχτυα βυθού και δράγες. Αποτελούσε πολύτιμο πόρος για ανθρώπινη εκμετάλλευση από τότε που οι Αιγύπτιοι και οι Ρωμαίοι ανέπτυξαν από τη βύσσο της με κατάλληλη επεξεργασία υφαντικό νήμα ιδιαίτερης αξίας γνωστό ως «θαλάσσιο μετάξι» (Voultziadou, 2009). Άλλοι πολιτισμοί, όπως το Ισλάμ, συγκέντρωναν τα όστρακα για την παραγωγή κουμπιών, αντικειμένων κοσμήματος ή λαβών μαχαιριών τον XIX αιώνα. Η πίεση στους πληθυσμούς οστράκου πέννας, ωστόσο, δεν ήταν ποτέ τόσο υψηλή λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης όπως είναι σήμερα. Προβλήματα που επηρεάζουν αυτό το είδος προκαλούνται από την υποβάθμιση των ενδαιτημάτων, την αλιεία με παράνομη χρήση της τράτας, τα παράκτια δομικά έργα, την αγκυροβόληση σκαφών, την παράνομη συλλογή από δύτες για φαγητό, διακοσμητικούς σκοπούς και για την βύσσο του (Katsanevakis, 2007b; Zavodnik et al., 1991) και την παράνομη εξόρυξη και ρύπανση (Sureda et al., 2013). Τα τελευταία επηρεάζουν κυρίως τα αυγά και τα τελευταία στάδια των προνυμφών (Vazquez-Luis et al., 2017). Όλες αυτές οι ανθρωπογενείς και περιβαλλοντικές απειλές συνέβαλαν στην επιτάχυνση της μείωσης των πληθυσμών αυτού του είδους στη λεκάνη της Μεσογείου.

Μεταξύ αυτών των απειλών, η απώλεια ενδιαιτημάτων της *P. oceanica*, μπορεί ενδεχομένως να αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα απειλής, ακολουθούμενο από καταστροφή από άγκυρες και αλλοιώσεις της τροφικής αλυσίδας που οδηγούν σε αυξημένη πίεση από θηρευτές μαζί με την πίεση της αλιείας (Basso et al., 2015). Το μολυσματικό φορτίο μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά αυτό το είδος αλιείας (Basso et al. 2015). Ενώ τα μέτρα διατήρησης θα έπρεπε να είχαν μειώσει ορισμένες από αυτές τις πιέσεις, ιδίως εκείνες που προέρχονται άμεσα από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αλιεία και η αγκυροβόληση, η αποτελεσματικότητα των ισχυόντων μέτρων προστασίας είναι αμφισβητήσιμη και πρέπει να επανεξεταστεί οι τρέχουσες πρακτικές προστασίας (Basso et al. 2015). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό δεδομένων των πρόσφατων εξελίξεων, και καθώς ο αριθμός των απειλών είχε προβλεφθεί να αυξάνει στο μέλλον, ιδίως μέσω της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι οργανισμοί φαίνεται να είναι ευάλωτοι στην αύξηση της θερμοκρασίας, έναν παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά και την *P. oceanica* (Basso et al., 2015).

1.1.2.1. Ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής

Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι μια περιοχή όπου παρατηρείται ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας με ρυθμό μεγαλύτερο από το διπλάσιο του ρυθμού θέρμανσης του παγκόσμιου ωκεανού (Basso et al., 2015). Ως εκ τούτου, υπάρχει ανησυχία ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τους θαλάσσιους οργανισμούς της Μεσογείου (Coll et al., 2010). Πράγματι, πολλά είδη που σχηματίζουν ενδιαιτήματα, όπως τα μαλακά κοράλλια και η *P. oceanica* είναι ευάλωτα στην υπερθέρμανση, όπως έχει αποδειχθεί κατά τη διάρκεια θερμικών κυμάτων (Marbà and Duarte, 2010). Οι προβλεπόμενες μεταβολές της θερμοκρασίας στη Μεσόγειο, σε συνδυασμό με μεταβολές στη διαθεσιμότητα τροφής, αλλαγές στην τοπική υδροδυναμική και διαταραχή των ενδιαιτημάτων ενδέχεται να παρουσιάσουν πρόσθετες απειλές στους ήδη απειλούμενους πληθυσμούς (Basso et al., 2015).

Συγκεκριμένα για την *P. nobilis* μελέτες έχει διαπιστωθεί υψηλή χρονική (ετήσια) και χωρική μεταβλητότητα στα πρότυπα recruitment των προνυμφών με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και ότι ο αριθμός των προσλήψεων μετά το στάδιο της πλαγκτονικής προνύμφης σχετίζεται με τη θερμοκρασία, τον άνεμο και το Chla (Basso et al., 2015). Πειραματικά στοιχεία από μια εργαστηριακή μελέτη έδειξαν ότι η θέρμανση προκαλεί μείωση του ποσοστού επιβίωσης ανηλικών (Basso et al., 2015). Επιπρόσθετα, η *P. nobilis* καταναλώνει μεγάλες συγκεντρώσεις οξυγόνου, και θα μπορούσε να προκαλέσει γρήγορη εξάντληση του διαθέσιμου στο νερό οξυγόνου, για παράδειγμα σε ρηχές παράκτιες λιμνοθάλασσες, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Ένα άλλο άμεσο αποτέλεσμα της αλλαγής του κλίματος είναι η μείωση του pH του θαλασσινού νερού (οξίνιση του ωκεανού), ως επακόλουθο της αύξησης του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (pCO₂). Η κύρια άμεση συνέπεια της οξίνισης είναι η αποξυγόνωση των ωκεανών (Keeling et al., 2009). Κάτω από αυτό το σενάριο μεταβολών, διάφορες φυσιολογικές διεργασίες των θαλάσσιων δίθυρων όπως ο μεταβολισμός και οι διεργασίες ασβεστοποίησης μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά (Kroeker et al., 2013), και κυρίως στην *P. nobilis* καθώς εμφανίζει την ταχύτερη ανάπτυξη οστράκου μεταξύ των δίθυρων (Richardson et al., 2004). Η επιβίωση, η ανάπτυξη, ο μεταβολικός ρυθμός και η δομή του οστράκου των νεαρών *P. nobilis* δε φάνηκε να επηρεάζονται στα επίπεδα pH που αναμένονταν έως τα τέλη του αιώνα σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα (7,7 pH, Basso et al. (2015)), πιθανότατα λόγω του προστατευτικού ρόλου της *P. oceanica*. Επιπλέον, η *P. nobilis* μπορεί να είναι ευάλωτη από έμμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς επηρεάζονται τα στοιχεία του οικοσυστήματος από τα οποία εξαρτάται. Συγκεκριμένα, η στενή εξάρτησή της από τα λιβάδια *P. oceanica* και άλλων φανερόγαμων, τα οποία είναι πολύ ευάλωτα στα αυξανόμενα επίπεδα θέρμανσης και προβλέπεται να μειωθούν σημαντικά με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας (Jordà et al., 2012)(Jordà et al. 2012), καθιστά την *P. nobilis* ιδιαίτερα ευάλωτη λόγω της απώλειας του οικοτόπου της (Basso et al., 2015).

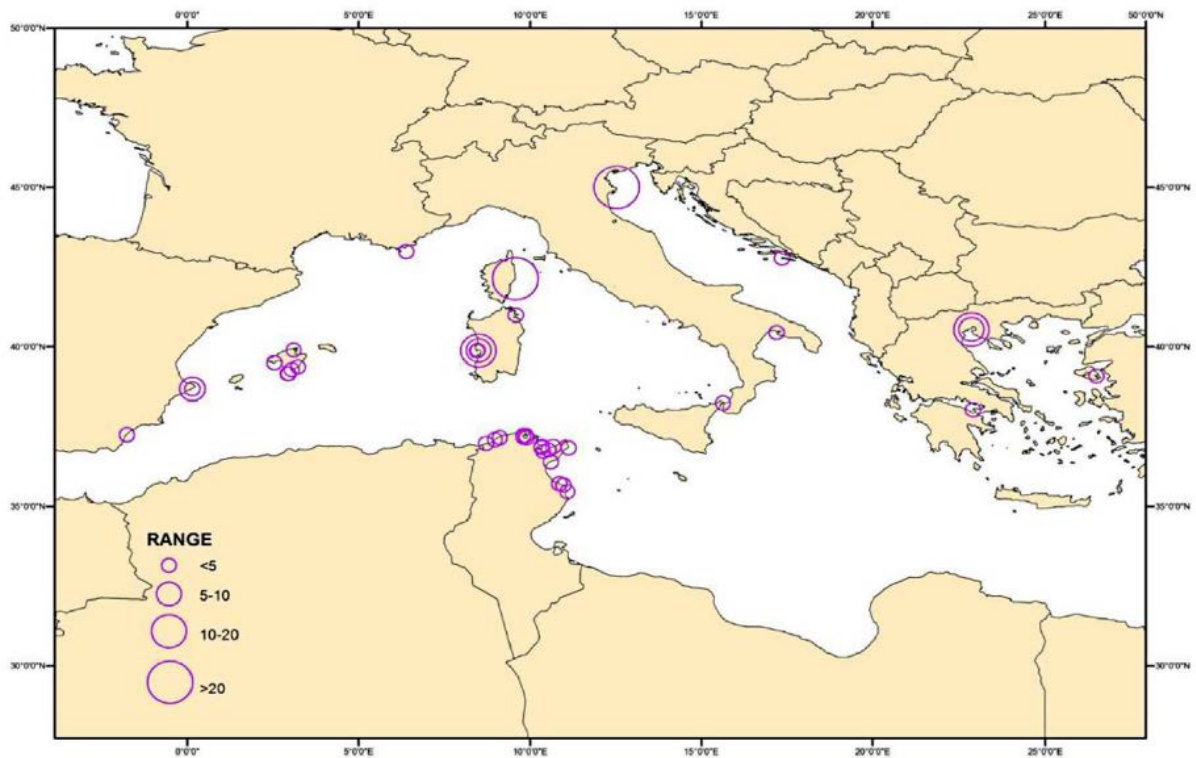
1.1.2.2. Εισβλητικά είδη – Παθογόνοι – Ρυπαντές

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή προάγει την εγκατάσταση εισβλητικών ειδών παγκοσμίως. Νέα είδη μακροφυκών αλλά και η εξάπλωση παθογόνων μικροοργανισμών αποτελούν απειλή για τη βιοποικιλότητα η οποία μπορεί επιπλέον να επηρεάσει τα εδραία είδη (Basso et al., 2015) και να δημιουργήσει φαινόμενα μαζικής εξαφάνισης πληθυσμών ή/και ειδών. Οι εδραίοι οργανισμοί όπως η *P. nobilis* δεν μπορούν να προστατευτούν από χερσαίες ή θαλάσσιες εισροές ρύπων. Ωστόσο, λίγες μελέτες έχουν εξετάσει διεξοδικά αυτό το ζήτημα μέχρι σήμερα (Sureda et al., 2013).

1.1.3. Εξάπλωση

Οι πληροφορίες για την κατάσταση των πληθυσμών του στον ελλαδικό χώρο είναι περιορισμένες. Διαθέσιμα στοιχεία υπάρχουν για το Θερμαϊκό Κόλπο, αναφορικά με τη γενετική δομή και τη δυναμική πληθυσμών (Galinou-Mitsoudi et al., 2006; Katsares et al., 2008), για το Τρίστομο Καρπάθου, αναφορικά με τη δομή των πληθυσμών (Ξυδάκης & Καστρίτση-Καθαρίου 2005) και για τον Κόλπο Σούδας στην Κρήτη, αναφορικά με την πληθυσμιακή της δομή (Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009). Επίσης, στον Ελλαδικό χώρο έχει πραγματοποιηθεί ενδελεχής μελέτη της πληθυσμιακής οικολογίας του είδους στη Λίμνη Βουλιαγμένη του Κορινθιακού Κόλπου (Katsanevakis, 2005), αλλά και εκτίμηση της αφθονίας και της δομής των πληθυσμών της πίνας, με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών, στη θαλάσσια περιοχή της Δωδεκανήσου (Antoniadou and Vafidis, 2009). Οι Tsatiris et al. (2018) μελέτησαν την πληθυσμιακή οικολογία του είδους στην προστατευόμενη περιοχή του Κόλπου της Γέρας στη Μυτιλήνη. Σε αυτή τη μελέτη οι μεγαλύτερες πληθυσμιακές πυκνότητες παρατηρήθηκαν σε βάθη μεταξύ 1,5 και 8 m, χαμηλότερες πυκνότητες στα <1,5m ή > 8 m και μηδενικές πυκνότητες βαθύτερα των 15 m. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε άλλες μελέτες, αν και η πυκνότητα παρουσιάζει σε αυτές κορύφωση σε μεγαλύτερα βάθη και, συνολικά, η καμπύλη πυκνότητας-βάθους είναι μετατοπισμένη προς μεγαλύτερα βάθη. Τέτοια δεδομένα είναι διαθέσιμα για δύο άλλες περιοχές στην Ελλάδα, συγκεκριμένα, τη λίμνη Βουλιαγμένη (Katsanevakis, 2007b) και τον κόλπο της Σούδας (Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009). Στη λίμνη Βουλιαγμένη, καταγράφηκε το μέγιστο της πυκνότητας του πληθυσμού σε βάθη 12–13 m, μειωμένη πυκνότητα σε πολύ ρηχά νερά και σχεδόν μηδενικές πυκνότητες σε βάθη > 22 m (Katsanevakis, 2007b). Στον κόλπο της Σούδας, καταγράφηκε το μέγιστο της πυκνότητας σε βάθος ~ 15 m και σχεδόν μηδενική πυκνότητα σε πιο ρηχά σημεία (βάθος < 4 m) και σε βάθη > 30 m. Αυτές οι διαφορές στη βαθυμετρική κατανομή του είδους μεταξύ των μελετών οφείλονται στις τοπικές συνθήκες κάθε περιοχής (Tsatiris et al., 2018). Συνολικά, η *P. nobilis* παρατηρείται σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας (βόρειο, κεντρικό και νότιο Αιγαίο, Ιόνιο, Κρητικό, Λυβικό Πέλαγος). Σημαντικοί πληθυσμοί έχουν καταγραφεί στον Κορινθιακό, Ευβοϊκό και Θερμαϊκό, στη Χίο, στη Λέσβο, στη ΒΔ Κρήτη, στην Κάρπαθο και στην Κεφαλλονιά. Μεγάλες πυκνότητες καταγράφονται κυρίως σε κλειστούς κόλπους, όπως στον κόλπο της Σούδας (Κρήτη), στη λίμνη Βουλιαγμένη (Ηραίο, Κορινθιακός Κόλπος), στο Θερμαϊκό Κόλπο, στον κόλπο της Γέρας ((Katsanevakis et al., 2019; Zotou et al., 2020).

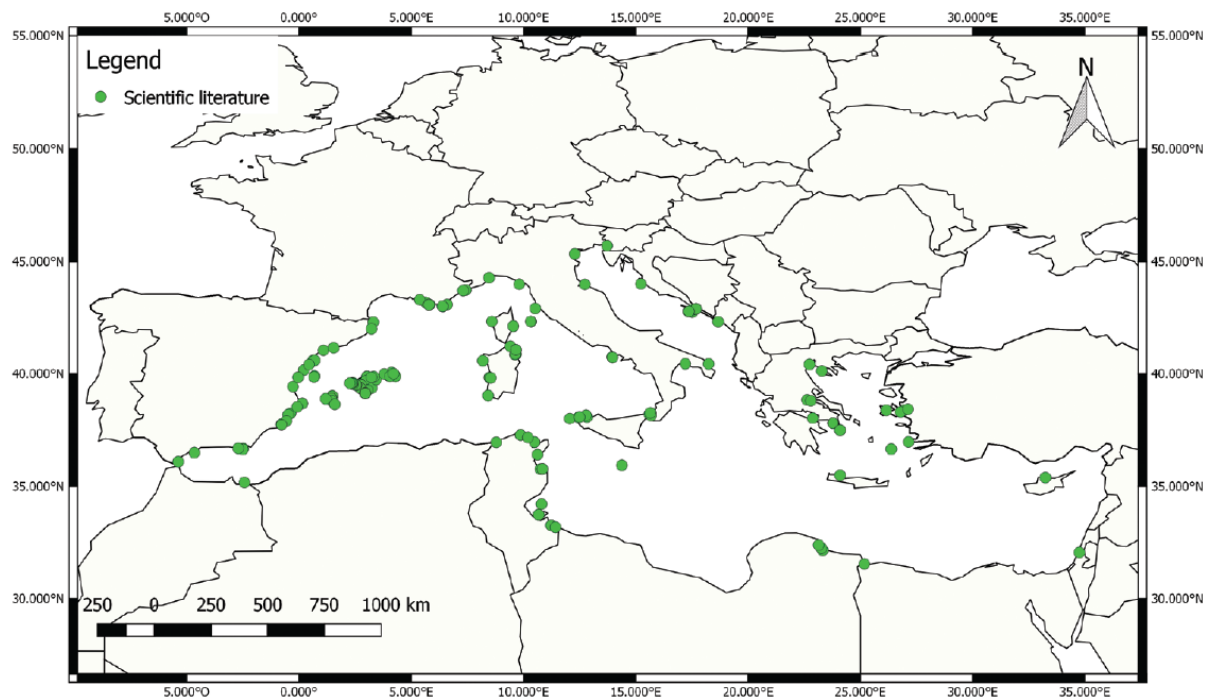
Δύο μελέτες, τα τελευταία 5 χρόνια, επιχειρήσαν την αποδελτίωση του συνόλου των δεδομένων που υπάρχουν από την καταγραφή πληθυσμών *P. nobilis* στη Μεσόγειο. Από την πρώτη (Basso et al., 2015) προέκυψε μία βάση δεδομένων μέσα από τη συγκέντρωση πληροφορίας από δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες (μόνο όσες βρέθηκαν δημοσιευμένες στην Αγγλική γλώσσα και που έχουν υποβληθεί σε αξιολόγηση από ομότιμους κριτές). Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ο χάρτης παρουσίας και πυκνότητας πληθυσμών *P. nobilis* στη Μεσόγειο της Εικόνα 6.



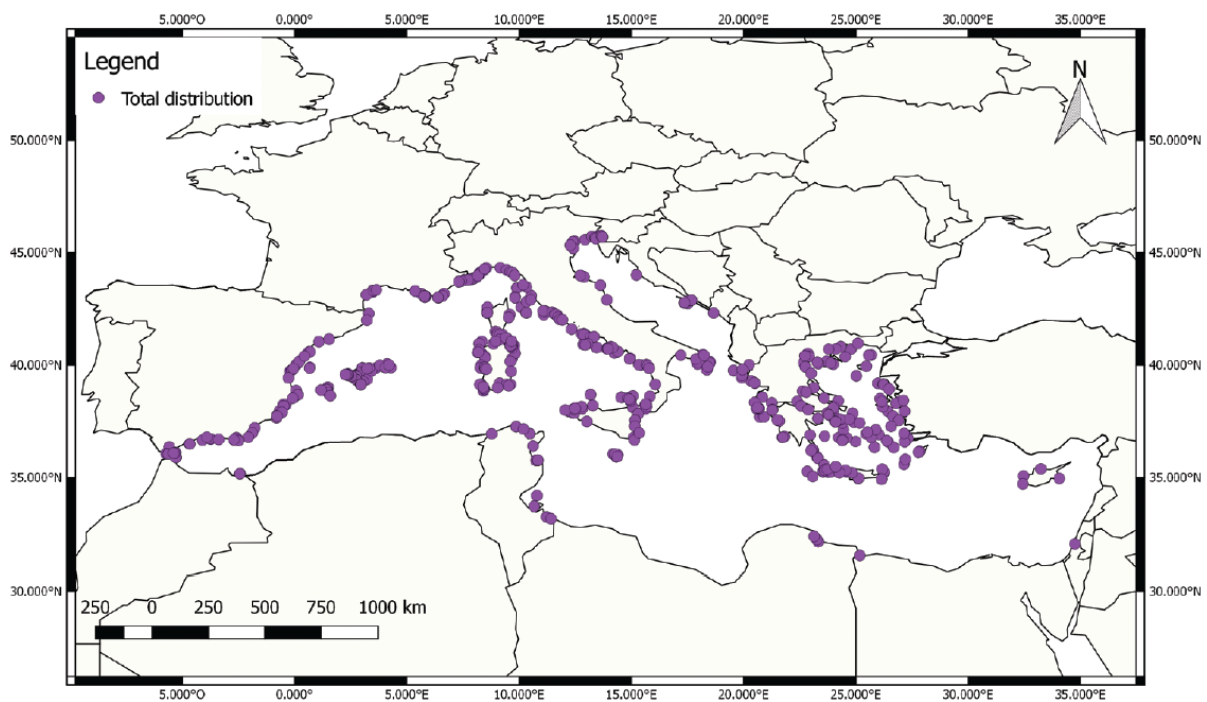
Εικόνα 6. Χάρτης εξάπλωσης και πληθυσμιακής πυκνότητας του δίθυρου *P. nobilis* στη λεκάνη της Μεσογείου (άτομα ανά 100 m²) (από τους Basso et al., 2015).

Σύμφωνα με τη δημοσίευση αυτή, μεταξύ των διαφόρων Μεσογειακών οικοπεριοχών, το Αιγαίο Πέλαγος εμφάνιζε την υψηλότερη μέση πληθυσμιακή πυκνότητα, με την Αδριατική Θάλασσα να ακολουθεί, ενώ τρίτη κατατάσσονται οι ακτές των κόλπων της Τυνησίας. Επίσης, η μελέτη έδειξε ότι παρουσία της *P. nobilis* παρατηρήθηκε συχνότερα σε λειμώνες της *P. oceanica* με το 27% των αναφορών και κατά μέσο όρο $8,06 \pm 2,35$ άτομα/100 m², ενώ η μέση πυκνότητα στα λιβάδια της *Cymodocea* ήταν η υψηλότερη με μέσους όρους $11,06 \pm 1,82$ άτομα/100 m². Τέλος, παρατηρήθηκε φθίνουσα τάση στον αριθμό ατόμων με αυξανόμενο βάθος, με υψηλότερες πυκνότητες στα πρώτα 10 - 12 m.

Η δεύτερη εργασία (Marrocco et al., 2019) παρέχει μια συστηματική ανασκόπηση των αναφορών παρουσίας του είδους *P. nobilis*, μέσα από τον συνδυασμό διαφορετικών πηγών πληροφορίας, όπως επιστημονική δημοσιευμένη και γκρίζα βιβλιογραφία (δημοσιευμένες μέχρι και τον Σεπτέμβριο του 2018), γεωδεδομένα του δικτύου NATURA 2000 (NATURA 2000 Standard Data Forms και Network Viewer: <http://natura2000.eea.europa.eu/>) και καταγραφές μέσα στο πλαίσιο της επιστήμης των πολιτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός πολλαπλών πηγών πληροφορίας παρέχει έναν ακριβέστερο προσδιορισμό της κατανομής ειδών σε τοπική κλίμακα, συμβάλλοντας έτσι στον προσδιορισμό τοποθεσιών όπου απαιτούνται σε βάθος δράσεις για να διασφαλιστεί η διατήρηση και αποκατάσταση των ειδών αυτών. Ο χάρτης που προέκυψε από την πληροφορία που συλλέχθηκε μόνο από την επιστημονική βιβλιογραφία, παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, ενώ ο χάρτης που προέκυψε από το σύνολο της πληροφορίας με όλες τις διαφορετικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 7. Χάρτης κατανομής της *P. nobilis* στη Μεσόγειο Θάλασσα σύμφωνα με το σύνολο των δημοσιευμένων επιστημονικών εργασιών μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2018 (Marrocco et al., 2019).



Εικόνα 8. Χάρτης κατανομής της *P. nobilis* στη Μεσόγειο Θάλασσα σύμφωνα με το σύνολο των δεδομένων από διαφορετικές πηγές (Marrocco et al., 2019).

Τα αποτελέσματα της εργασίας των Marrocco et al. (2019) επιβεβαιώνουν ότι όταν ενσωματώνονται στην έρευνα επιπλέον πηγές (του NATURA 2000 Network Viewer, της γκρίζας βιβλιογραφίας και των δεδομένων της επιστήμη των πολιτών), η κατανομή που προκύπτει είναι ευρύτερη σε σύγκριση με αυτή που βασίζεται μόνο στην επιστημονική βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, η κατανομή των δεδομένων που διατίθενται από το δίκτυο NATURA 2000 επέτρεψε μια εξαιρετικά ακριβή και επικαιροποιημένη γνώση για την κατανομή του είδους (Εικόνα 8). Δυστυχώς, δεδομένου ότι το δίκτυο NATURA 2000 έχει ανατεθεί από στην Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν περιλαμβάνει δεδομένα από μη ευρωπαϊκές χώρες που συνορεύουν με τη Μεσόγειο Θάλασσα.

1.1.4. Καθεστώς προστασίας

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι πληθυσμοί της *P. nobilis* στη Μεσόγειο, συμπεριλαμβανομένων και αυτών της Ελλάδας παρουσίαζαν σταθερή συρρίκνωση εξ' αιτίας ενός συνδυασμού άμεσων και έμμεσων ανθρωπογενών απειλών (Katsanevakis, 2007a; Katsares et al., 2008; Morton and Puljas, 2019) (μέχρι και το 2017 το είδος ανήκε στην κατηγορία κινδύνου στην Ελλάδα: Τρωτό VU, σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας, (Λεγάκης and Μαραγκού, 2009)). Για το λόγο αυτό, προέκυψε η ανάγκη ένταξης τους είδους υπό ορισμένο καθεστώς προστασίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το μοναδικό υποπληθυσμό πίνας στην Ελλάδα (στη λίμνη Βουλιαγμένη Ηραίου) για τον οποίο υπάρχει χρονοσειρά εκτίμησης της αφθονίας (2004-2007) προέκυψε μια εκτιμώμενη μείωση του πληθυσμού της τάξης του 50% μέσα σε 3 χρόνια, που οφείλεται κυρίως στην παράνομη αλιεία (Katsanevakis, 2007a; Katsanevakis et al., 2008).

Η *P. nobilis* σήμερα υπόκειται σε αυστηρή προστασία ως απειλούμενο είδος καθώς έχει καταχωρηθεί στο Παράρτημα IV της Οδηγίας 92/43 / ΕΟΚ (Στην Ελλάδα πλήρης εναρμονισμός με την κοινοτική νομοθεσία έγινε το 2003, ΠΔ 227/2003 ΦΕΚ/198/Α), στη Σύμβαση της Βαρκελώνης UNEP (1996) - αναφέρεται στο Παράρτημα II του Πρωτοκόλλου για τις Ειδικές Προστατευόμενες Περιοχές και τη Βιολογική Ποικιλότητα στη Μεσόγειο (Barcelona Convention UNEP (1996)-Protocol for Specially Protected Areas Biological Diversity (Annex II)) ως είδος που απειλείται με εξαφάνιση στη Μεσόγειο και υπόκειται σε αυστηρή προστασία (<https://eunis.eea.europa.eu/species/291>), Παράρτημα II της Σύμβασης της Βέρνης για τη διατήρηση της ευρωπαϊκής άγριας πανίδας και φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και την εθνική νομοθεσία των περισσότερων Μεσογειακών χωρών. Τα αποτελέσματα αυτών των μέτρων (που έχουν ενσωματωθεί στις εθνικές νομοθεσίες των περισσότερων μεσογειακών χωρών), ήταν ορισμένες πρόσφατες ενδείξεις ανάκτησης των πληθυσμών *P. nobilis*, ειδικά σε προστατευόμενες θαλάσσιες περιοχές (Rouanet et al., 2015; Trigou et al., 2014). Στην Ελλάδα περιλαμβάνεται στο Παράρτημα II του Ελληνικού Προεδρικού Διατάγματος 67/81 για την προστασία της φυσικής χλωρίδας και της άγριας πανίδας

1.2 Το φαινόμενο της μαζικής θνησιμότητας πληθυσμών του είδους *P. nobilis*

Τα γεγονότα μαζικής θνησιμότητας (εφεξής ΓΜΘ) αντιπροσωπεύουν δημογραφικές καταστροφές που μπορούν να επηρεάσουν ταυτόχρονα όλα τα στάδια της ζωής ενός οργανισμού (Lande, 1993). Η ανάλυση των επιπτώσεων αυτών των γεγονότων σε κατάλληλες κλίμακες (χωρικά και χρονικά) και βιολογικά επίπεδα οργάνωσης (είδη, πληθυσμοί, κοινότητες) είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών στα θαλάσσια οικοσυστήματα και για την πρόταση προσαρμοσμένων σχεδίων διαχείρισης και διατήρησης (Vazquez-Luis et al., 2017). Ορισμένα ΓΜΘ που έχουν σημειωθεί στο παρελθόν στην ομάδα των δίθυρων μαλακίων αποτελούν συνέπεια μιας ασθένειας που εκδηλώνεται ως επακόλουθο της προσβολής από παράσιτα και έχουν μελετηθεί ευρέως για τα είδη δίθυρων με εμπορικό ενδιαφέρον (Barber, 2004). Μεταξύ των Pinnids, έχουν παρατηρηθεί υψηλά ποσοστά θνησιμότητας, όπως στην περίπτωση των *Atrina pectinata* (60-90%) και *Atrina lischkeana* (> 60%) από παθογόνα παράσιτα (Vazquez-Luis et al., 2017). Όσον αφορά την

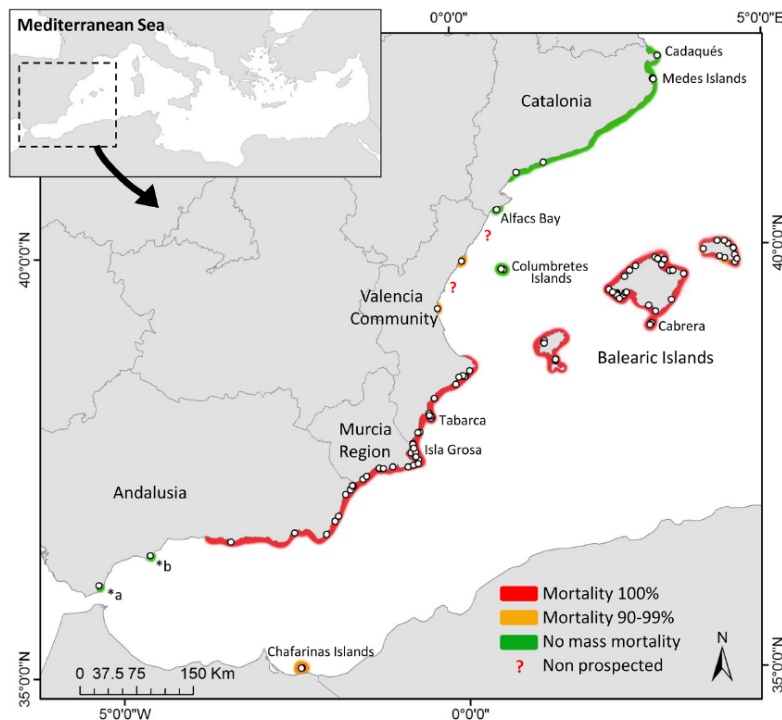
P. nobilis, έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη ενός παρασίτου που επηρεάζει τις γονάδες προκαλώντας αναστολή της αναπαραγωγικής λειτουργίας, ωστόσο, οι μελέτες για ασθένειες ή παράσιτα μεταξύ των Pinnids είναι σπάνιες (Vazquez-Luis et al., 2017).

Στις αρχές του φθινοπώρου 2016 (τέλη Σεπτεμβρίου και αρχές Οκτωβρίου 2016) ανιχνεύθηκε ασυνήθιστα υψηλή θνησιμότητα ατόμων *P. nobilis* σχεδόν ταυτόχρονα σε διάφορα σημεία της Δυτικής Μεσογείου (νοτιοδυτική Μεσόγειος Θάλασσα) που βρίσκονται σε απόσταση εκατοντάδες χιλιόμετρα μεταξύ τους. Το πρώτο αυτό κύμα του νέου ΓΜΘ δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά από τους Vazquez-Luis et al. (2017) και τα δεδομένα που συνέλλεξαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 9.

Η ιστολογική εξέταση αποκάλυψε την παρουσία ενός παρασίτου που μοιάζει με *Haplosporidium*, το οποίο ήταν άγνωστο είδος, μέσα στον πεπτικό αδένα των ατόμων (Darriba, 2017). Δεδομένου ότι η απορρόφηση της τροφής λαμβάνει χώρα στον πεπτικό αδένα, μαζική κατάληψη του επιθηλίου του από το παράσιτο θα πρέπει να προκάλεσε σοβαρή δυσλειτουργία των οργάνων, και πιθανόν να οδήγησε σε λιμοκτονία τον ξενιστή (Vazquez-Luis et al., 2017).

Μέχρι το 2019, οι πληθυσμοί της *P. nobilis* είχαν πληγεί δριμύτατα ή καταστραφεί, φτάνοντας ακόμη και 100% θνησιμότητα στις διαφορετικές περιοχές κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου της Ισπανίας (Acarli et al., 2020; Betti et al., 2021; García-March et al., 2020; Panarese et al., 2019; Vazquez-Luis et al., 2017). Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την επαναταξινόμησή του είδους σε «απειλούμενο με εξαφάνιση» στην Ισπανία (Orden TEC / 596/2019, Ministerio para la transición, Ecológica, 8 Απριλίου 2019). Το ΓΜΘ θεωρούνταν πλέον ότι προκλήθηκε πιθανότατα από το παράσιτο *Haplosporidium*, το οποίο ταυτοποιήθηκε ως *H. pinnae* (Catanese et al., 2018).

Η τάξη των Πρωτίστων Harposporida περιλαμβάνει πάνω από 50 είδη που ταξινομούνται σε τέσσερα (4) γένη μεταξύ των οποίων το *Haplosporidium* (Katsanevakis et al., 2019). Αυτά τα είδη παρασιτούν σε υδρόβια ασπόνδυλα και μπορεί να είναι εξαιρετικά παθογόνα (Vazquez-Luis et al., 2017). Είναι πολύ πιθανό ότι το παράσιτο *H. pinnae* είναι ξενικό είδος για τη Μεσόγειο Θάλασσα, που εισήχθη το 2016 ή λίγο πριν (Katsanevakis et al., 2019), υπόθεση που ενισχύεται από ευρήματα όπως των Catanese et al. (2018): «η ελάχιστη μεταβλητότητα που εντοπίστηκε στην αλληλουχία SSU rDNA του *H. pinnae* θα μπορούσε να υποδηλώνει μια πρόσφατη άφιξη αυτού του παρασίτου στις ακτές της Μεσογείου της Ισπανίας, η οποία θα συνέπιπτε με το πρωτοφανές πρόσφατο ΓΜΘ». Ωστόσο, καθώς το φυσικό εύρος του είδους είναι άγνωστο, είναι αδύνατη η εκτίμηση της βιογεωγραφικής του εξάπλωσης, και ως εκ τούτου το είδος πρέπει να ταξινομηθεί ως κρυπτογενές (Katsanevakis et al., 2019).



Εικόνα 9. Έκταση της αρχικής καταγραφής του νέου ΓΜΘ στην *P. nobilis* στη δυτική Μεσόγειο Θάλασσα. Λευκές κουκκίδες: τοποθεσίες δειγματοληψίας από τον Σεπτέμβριο του 2016 έως τον Ιούνιο του 2017, κόκκινη σκίαση: θνησιμότητα 100% των ατόμων που εξετάστηκαν, πορτοκάλι σκίαση: θνησιμότητα 90 - 99%, και πράσινη σκίαση: απουσία ΓΜΘ, ερωτηματικά: μέρη με πληθυσμούς *P. nobilis*, που δεν αξιολογήθηκαν για το ΓΜΘ. * Άτομα που απομονώθηκαν λόγω του ότι βρίσκονται στο όριο διανομής τους: α Μόνο τέσσερα (4) ζωντανά δείγματα και b) ένα ζωντανό δείγμα (από Vázquez-Luis et al. 2017).

Το φαινόμενο εξακολούθησε να εξαπλώνεται προς τις ανατολικές ακτές της Μεσογείου με θανατηφόρες συνέπειες (Katsanevakis et al., 2019; Panarese et al., 2019), πιέζοντας το είδος σε κρίσιμο βαθμό. Υπάρχουν αναφορές για τον ΓΜΘ από διάφορα μέρη της Μεσογείου, όπως η Τυρρηνική Θάλασσα, τις ακτές της Καμπανίας και της Σικελίας (Carella et al., 2019), γαλλικές ακτές (Catanese et al., 2018), το νησί της Λέσβου (Αιγαίο Πέλαγος) (Katsanevakis et al., 2019), στην Κύπρο (Cabanellas-Reboredo et al., 2019) στην Αδριατική Θάλασσα (Šarić et al., 2020) στις ακτές της Τουρκίας (Öndes et al., 2020) όπου στην περιοχή του Αιγαίου πελάγους καταγράφηκε ποσοστό θνησιμότητας 97% το 2019, ενώ αντίθετα, ο πληθυσμός *P. nobilis* που βρίσκεται στη Θάλασσα του Μαρμαρά παρουσίασε χαμηλό ποσοστό θνησιμότητας (10%) για το ίδιο έτος Τουρκίας (Öndes et al., 2020). Αυτή η διαφορά μπορεί να σχετίζεται με τις διαφορές των περιβαλλοντικών παραμέτρων μεταξύ των θαλάσσιων αυτών περιοχών, δηλ. τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού και τις τιμές αλατότητας. Για παράδειγμα, τα νερά της Θάλασσας του Μαρμαρά ήταν πιο κρύα και λιγότερο αλμυρά από το Αιγαίο (Öndes et al., 2020).

Οι νεότερες μελέτες υποστηρίζουν την άποψη ότι ένας συνδυασμός παθογόνων μικροοργανισμών, των γενών *Mycobacterium* και *Harposporidium* καθώς και άλλων παθογόνων, είναι πιθανότατα συνυπεύθυνος για το πρόσφατο ΓΜΘ της *P. nobilis* στη Μεσόγειο Θάλασσα (Carella et al., 2020; Lattos et al., 2020a; Šarić et al., 2020). Η ανίχνευση αυτών των δύο παθογόνων και η παρουσία σχετιζόμενων αλλοιώσεων παρατηρήθηκε στο 91,6% των εξεταζόμενων ασθενών ατόμων. Ο ρόλος των *Mycobacterium sp.* και του *H. pinnae* στην παθογένεση των ΓΜΘ της *P. nobilis* ενισχύεται από το γεγονός της απουσίας τους στις περιοχές όπου δεν έχει εκδηλωθεί ΓΜΘ (Šarić et al., 2020). Επιπλέον, η φυλογενετική ανάλυση των παθογόνων που απομονώθηκαν από επηρεασμένα άτομα στην περιοχή της Αδριατικής έδειξε υψηλή ομοιότητα των στελεχών *Mycobacterium* (> 99%) αλλά και των

δειγμάτων *H. Pinnae* με αυτά από περιπτώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως σε Ελλάδα, Ισπανία και Ιταλία (Catanese et al., 2018; Kersting et al., 2020; Lattos et al., 2020b). Σύμφωνα με τα παραπάνω, ενισχύεται η άποψη ότι τόσο τα μυκοβακτήρια όσο και το *H. pinnae* να έχουν μεταφερθεί από άλλες περιοχές της Μεσογείου στην Αδριατική Θάλασσα, όπου επηρέασαν γρήγορα τους τοπικούς πληθυσμούς της *P. nobilis* (Šarić et al., 2020), προκαλώντας το πρότυπο του ΓΜΘ που έχει καταγραφεί. Ωστόσο, οι λεπτομέρειες τόσο σχετικά με τα μοτίβα μετάδοσης, ενδιάμεσους ξενιστές / και φορείς, καθώς και τον ρόλο διαφόρων άβιων μέσων μεταφοράς των παθογόνων (π.χ. σκάφη ή νερό έρματος) στην επιδημιολογία των ΓΜΘ παραμένουν άγνωστες (Šarić et al., 2020). Επίσης, δύσκολος είναι ο προσδιορισμός της σχετικής συμβολής κάθε παθογόνου στην παθογένεση της νόσου. Συνολικά, τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το *Mycobacterium* μπορεί να είναι και η κύρια αιτία του ΓΜΘ, τουλάχιστον σε ότι αφορά την περιοχή της Αδριατικής Θάλασσας, όπως προτείνεται σε πρόσφατες εκθέσεις (Carella et al., 2019; Carella et al., 2020; Lattos et al., 2020b; Šarić et al., 2020). Επί του παρόντος, πάντως, οι διαθέσιμες πληροφορίες δείχνουν ότι και τα δύο παθογόνα πρέπει να θεωρηθούν ως σημαντική απειλή για τον *P. nobilis* προς το παρόν (Lattos et al., 2020b; Prado et al., 2020; Šarić et al., 2020).

Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, η αυξημένη θερμοκρασία της θάλασσας φαίνεται να ευνοεί τον πολλαπλασιασμό ενός άλλου ευκαιριακού παθογόνου στην *P. nobilis*, το *Vibrio mediterranei*, το οποίο βρέθηκε πρόσφατα να εντείνει την παθογένεια και να προκαλεί αυξημένη θνησιμότητα σε άτομα του είδους σε θερμοκρασίες περίπου 25-26 ° C (Lattos et al., 2020b; Prado et al., 2020).

1.2.1 Η καταγραφή του φαινομένου στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα, δεν είχε καταγραφεί ασυνήθιστη θνησιμότητα ατόμων του είδους *P. nobilis* πριν από το καλοκαίρι του 2018, όταν ανέκδοτες πληροφορίες σχετικά με ένα πρωτοεμφανιζόμενο ΓΜΘ στο Αιγαίο Πέλαγος πυροδότησαν τις πρώτες εκτιμήσεις θνησιμότητας (Zotou et al., 2020). Στις αρχές του φθινοπώρου 2018, μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις ακτές του νησιού της Λέσβου παρείχε την πρώτη εκτίμηση της μέσης θνησιμότητας στην περιοχή σε ποσοστό 93%, επιβεβαιώνοντας έτσι την εξάπλωση της νόσου στο Αιγαίο Πέλαγος (Katsanevakis et al., 2019). Ο πληθυσμός της *P. nobilis* στον Κόλπο της Γέρας εμφάνιζε θνησιμότητα μεταξύ 91% και 100%, ενώ στον Κόλπο της Καλλονής η θνησιμότητα κυμαινόταν μεταξύ 36% (βόρειο, εσωτερικό τμήμα του κόλπου) και 99% (νότιο, εξωτερικό τμήμα του κόλπου). Οι αντίστοιχες μοριακές αναλύσεις επιβεβαίωσαν την παρουσία του *H. pinnae* σε μολυσμένα άτομα από τον Κόλπο της Γέρας (Katsanevakis et al., 2019). Αργότερα, οι Lattos et al. (2020a) επιβεβαίωσαν την παρουσία τόσο του *H. pinnae* όσο και των *Mycobacterium sp.* σε δείγματα που συλλέχθηκαν από τον Θερμαϊκό Κόλπο και το βόρειο Αιγαίο (Κόλπος Καλλονής και Λήμνος) κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2018-2019. Σήμερα πλέον, είναι σαφές ότι το μεσογειακό ΓΜΘ έχει επηρεάσει προηγουμένως ακμάζοντες πληθυσμούς *P. nobilis* στα ελληνικά ύδατα. Η πλέον πρόσφατη μελέτη αποτύπωσης της κατάστασης των πληθυσμών της *P. nobilis* στον Ελλαδικό χώρο (Zotou et al., 2020), σε 258 για τη χρονική περίοδο 2019 – 2020, έδειξε ότι το 81.1. % των ατόμων που καταγράφηκαν ήταν ήδη νεκρά. Σε αυτή τη μελέτη, εντοπίστηκαν μόνο δύο θαλάσσιες περιοχές που εξακολουθούν να διατηρούν ποσοστό των ατόμων του πληθυσμού τους σε καλή κατάσταση, συγκεκριμένα ο Κόλπος της Καλλονής (Λέσβος) και ο κόλπος του Λαγανά (Ζακύνθος). Το εσωτερικό μέρος του κόλπου της Καλλονής φαίνεται να διατηρεί το μεγαλύτερο επιζώντα πληθυσμό του είδους στην ανατολική Μεσόγειο, με εκτίμηση αφθονίας 684.000 ατόμων. Μεμονωμένα, δυνητικά ανθεκτικά, διάσπαρτα άτομα καταγράφηκαν σε διάφορες τοποθεσίες. Όμως προηγουμένως άφθονοι πληθυσμοί που είχαν αξιολογηθεί στο παρελθόν, ειδικά εκείνοι της λίμνης Βουλιαγμένης (Κορινθιακός Κόλπος), του κόλπου της Σούδας (Κρήτη) και του κόλπου της Γέρας (Λέσβος) με συνολικά περίπου 350.000 άτομα, έχουν πλέον εξαφανιστεί (Zotou et al., 2020). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν την κατάρρευση των περισσότερων πληθυσμών *P. nobilis* σε όλες τις

ελληνικές θάλασσες, με το ΓΜΘ να φαίνεται πως είχε προχωρήσει σημαντικά μεταξύ των αρχών 2019 και έως τα μέσα του 2020, όπως υποδεικνύεται από την αύξηση της θνησιμότητας σε θέσεις με πληθυσμούς που βρίσκονται υπό παρακολούθηση. **Μέρος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή αποτελούνε και τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, συγκεκριμένα για την περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου.**

Ωστόσο, η έλλειψη προγενέστερων δεδομένων σχετικά με την κατάσταση των πληθυσμών του είδους στο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος, με εξαίρεση μερικές περιοχές (Katsanevakis, 2005; Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009; Tsatiris et al., 2018), καθιστά πρόκληση την αξιολόγηση της κατάστασης του είδους σε εθνικό επίπεδο (Katsanevakis et al., 2019).

Για τα δεδομένα που υπήρχαν, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του βαθμού θνησιμότητας εξ' αιτίας του ΓΜΘ σε τοπικό επίπεδο (Zotou et al., 2020). Παραδείγματος χάριν, στη λίμνη της Βουλιαγμένης (Κόρινθος Κόλπος) (Μάιος του 2019 σε ήδη καταγεγραμμένο πληθυσμό), καταγράφηκε σε μία μόνο θέση ποσοστό θνησιμότητας άνω του 89%, ενώ τα ζωντανά άτομα είχαν επίσης σαφώς επηρεαστεί. Στον Κόλπο της Σούδας (Κρήτη) (κατά το καλοκαίρι του 2019 και 2020 καταγράφηκαν ποσοστά θνησιμότητας 100% στις θέσεις που μελετήθηκαν). Τέλος, στον Κόλπο της Γέρας (Λέσβος) (όπου το 2016 καταγράφηκε ο μεγαλύτερος μέχρι τότε γνωστός πληθυσμός που στην Ελλάδα, με μέση εκτιμώμενη αφθονία 213.300 άτομα (Tsatiris et al., 2018), οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τον Αύγουστο-Οκτώβριο και τον Δεκέμβριο του 2018 έδωσαν εκτιμήσεις ποσοστών θνησιμότητας άνω του 90% και 100% αντίστοιχα, υποδηλώνοντας την κατάρρευση του προηγουμένως ακμαίου πληθυσμού (Katsanevakis et al., 2019). Η επανεξέταση της περιοχής κατά τα καλοκαίρια του 2019 και 2020 επιβεβαίωσε την απώλεια αυτού του μεγάλου πληθυσμού, καθώς η εκτιμώμενη θνησιμότητα των ατόμων στον κόλπο έφτασε το 99,8%, με μόνο ένα ζωντανό άτομο να καταγράφεται. Ως εκ τούτου, μόνο σε αυτές τις τρεις περιοχές, εκτιμάται ότι ~ 350.000 άτομα *P. nobilis* χάθηκαν εξ' αιτίας του ΓΜΘ. Προφανώς, αυτό είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνολικού αριθμού των χαμένων ατόμων στις ελληνικές θάλασσες (Zotou et al., 2020).

1.2.2 Η κατάσταση των πληθυσμών στη Μεσόγειο σήμερα

Λόγω των τελευταίων αυτών εξελίξεων - και του πραγματικού κινδύνου που υφίσταται πλέον να οδηγηθεί πολύ σύντομα σε εξαφάνιση λόγω της συνεχιζόμενης δραματικής μείωσης των πληθυσμών σε όλη τη Μεσόγειο - η *P. nobilis* έχει ενταχθεί στα Κρισίμως Κινδυνεύοντα είδη (Critically Endangered, CR) στον Κόκκινο Κατάλογο των Απειλούμενων Ειδών της Διεθνούς Ένωσης Προστασίας της Φύσης / IUCN (IUCN Red List of Threatened Species), ένα στάδιο πριν τα εξαφανισθέντα είδη Μεσόγειο (Kersting et al., 2020). Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ο χάρτης με την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης του είδους *P. nobilis* σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, βάσει των εθνικών εκθέσεων των κρατών μελών για το είδος *Pinna nobilis* στο πλαίσιο της Οδηγίας για τους Οικοτόπους, Άρθρο 17 (έκδοση: 07/13/2019) και στην Εικόνα 11 η κατάσταση διατήρησης του είδους σύμφωνα με την έκθεση της IUCN για το σύνολο της Ευρώπης (Α) και την Ελλάδα (Β) ειδικότερα, όπου εμφανίζεται ως «Μη ευνοϊκή – Κακή» ήδη για την περίοδο 2001 – 2006 (η πληροφορία προέρχεται από τις εθνικές εκθέσεις των κρατών μελών που υποβλήθηκαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή βάσει του άρθρου 17 της οδηγίας για τους οικοτόπους το 2007 και καλύπτουν την περίοδο 2001-2006).

Assessments of conservation status at the European level (all biogeographical regions - EU25)



Εικόνα 10. Χάρτης αξιολόγησης της κατάστασης διατήρησης του είδους *P. nobilis* σε Ευρωπαϊκό επίπεδο για την περίοδο 2001 - 2006, βάσει των εθνικών εκθέσεων των κρατών μελών για το είδος *Pinna nobilis* στο πλαίσιο της Οδηγίας για τους Οικοτόπους, Άρθρο 17 (07/13/2019) (Πηγή: https://forum.eionet.europa.eu/habitat-art17report/library/2001-2006-reporting/datasheets/species/invertebrates/invertebrates/pinna_nobilispdf/download/en/1/Pinna%20nobilis.pdf?action=view).

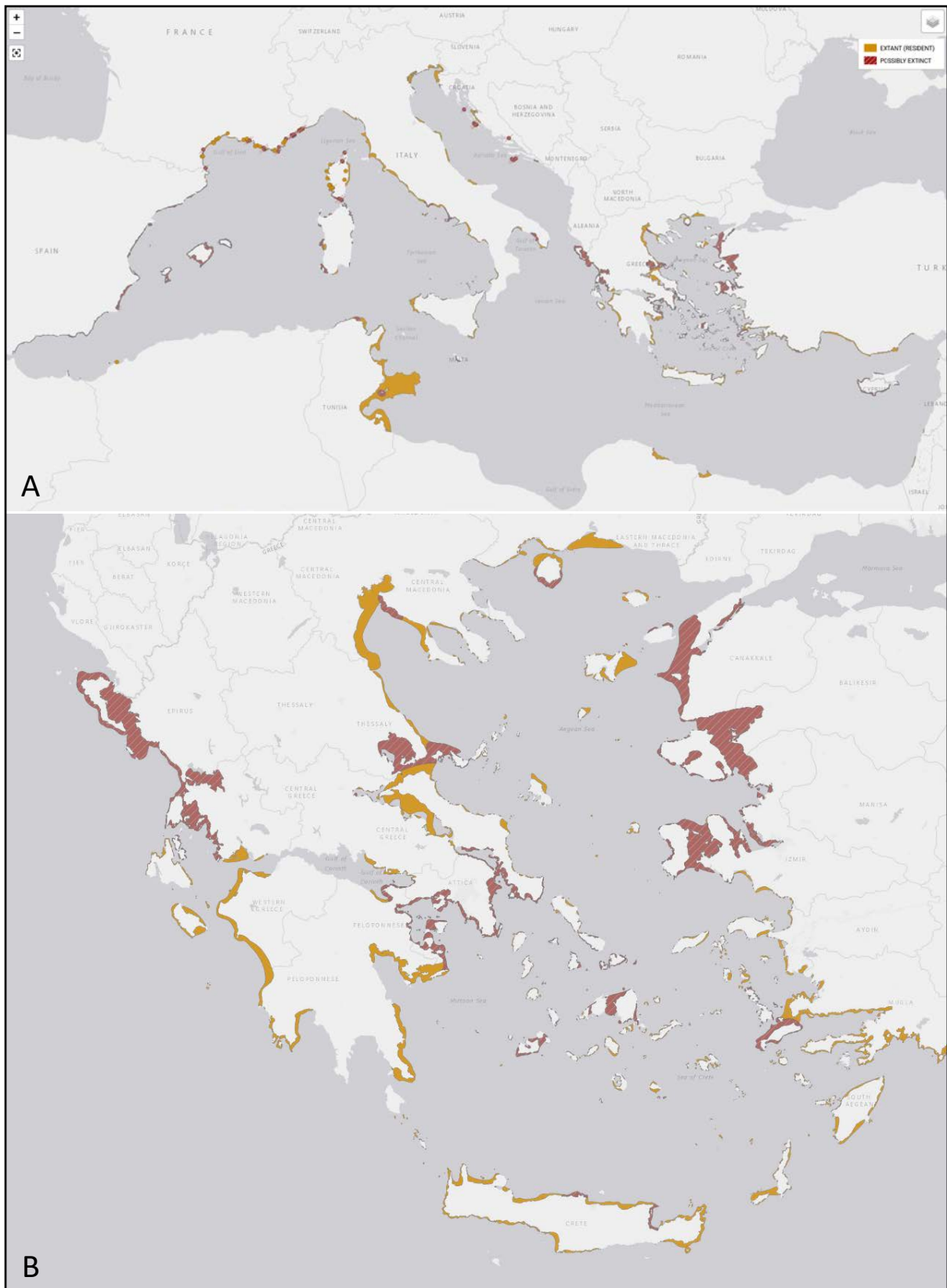
Η κατάσταση έχει ήδη επιδεινωθεί περαιτέρω ως προς αυτή που αποτυπώνεται στους παραπάνω χάρτες και στις περισσότερες θέσεις η κατάσταση διατήρησης έχει ήδη εισέλθει στην κατηγορία «Εξαφανισμένο», σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρονται στις νεότερες μελέτες που έχουν δημοσιευτεί πάνω στο φαινόμενο αυτό, και αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2 της Εισαγωγής.

Παρά τη δραματική μείωση του πληθυσμού στις πληγείσες περιοχές, εξακολουθούν να υπάρχουν μερικοί επιζώντες πληθυσμοί σε ολόκληρη τη Μεσόγειο: π.χ. Fangar Bay (Ισπανία), Mar Menor (Ισπανία), Rhone Delta (Γαλλία), Etang de Thau (Γαλλία), Diana και Urbino (Κορσική), το εσωτερικό μέρος του κόλπου της Καλλονής, Λέσβος (Ελλάδα) και η λιμνοθάλασσα της Βενετίας, πιθανώς λόγω τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών που καθυστερούν την επέκταση της νόσου ή είναι δυσμενείς για τα παράσιτα (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Catanese et al., 2018; Katsanevakis et al., 2019; Kersting et al., 2020). Πιο πρόσφατα ακόμη έγινε αναφορά για ζωντανούς πληθυσμούς (García-March et al., 2020) στις περιοχές Fangar Bay (Βόρειο Δέλτα του Έβρου), με χαμηλότερες αλατότητες και χωρίς ενδείξεις ασθένειας και στο Alfacs Bay, όπου ότι η κλίση αλατότητας (37,4-35,7) συσχετίστηκε με το βαθμό θνησιμότητας (100% κοντά στο στόμα, 43% στις μεσαίες περιοχές και 13% στις εσωτερικές περιοχές), εμποδίζοντας έτσι την εξάπλωση των παθογόνων. Στους πληθυσμούς αυτούς εντοπίστηκε σημαντική μεταβλητότητα στις παραμέτρους ανάπτυξης και την ηλικία. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μόνοι δυο πληθυσμοί που επιζούν στην Ισπανία, οι οποίοι εντοπίζονται σε εκβολές και παράκτια λιμνοθάλασσα, καταλαμβάνουν βιότοπους που είναι βέλτιστοι για γρήγορη ανάπτυξη των ατόμων, που παρουσιάζουν όμως μικρή διάρκεια ζωής, περιπλέκοντας τις δυνατότητες για μακροπρόθεσμη διατήρηση του είδους (García-March et al., 2020).

Επίσης, ζωντανά άτομα (εύρος βαθμού θνησιμότητας 100% - 9,62%) έχουν βρεθεί στην περιοχή του Στενού του Τσανάκαλε (Ελλάσποντος) (δεγματοληψία: Ιούλιος – Αύγουστος, 2020) (Acarli et al., 2021).

Στην Ελλάδα, σχετικά ελπιδοφόρο για την επιβίωση του είδους είναι το γεγονός ότι πρόσφατα (Zotou et al., 2020) βρέθηκαν πληθυσμοί που δεν έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά σε δύο περιοχές (Κόλπος Καλλονής, Κόλπος Λαγανά). Ο κόλπος του Λαγανά είναι μια προστατευόμενη περιοχή, όπου ο πληθυσμός της *P. nobilis* φαινόταν να παραμένει σε σχετικά υγιή κατάσταση το 2019, πιθανότατα επωφελημένος και από τα μέτρα διαχείρισης που εφαρμόζονται στην περιοχή και που είχαν διατηρήσει τον πληθυσμό σε καλή κατάσταση πριν την εμφάνιση του ΓΜΘ. Ο πληθυσμός της *P. nobilis* στον Κόλπο της Καλλονής μπορεί να θεωρείται ως ο μεγαλύτερος πληθυσμός που ζει πιθανότατα ακόμη και σήμερα στην Ανατολική Μεσόγειο. Παρά τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας που εκτιμήθηκαν μετά τον Ιούνιο του 2019 από ευκαιριακές καταγραφές (Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2019: 93,7%, Μάιος-Ιούνιος 2020: 89,2%), που μεταφράζονται σε εκατοντάδες χιλιάδες νεκρά άτομα, νεαρά άτομα *P. nobilis* καταγράφηκαν ωστόσο στην περιοχή (30,8% των ζωντανών ατόμων που καταγράφηκαν τον Μάιο-Ιούνιο του 2020), γεγονός που φανερώνει επιτυχημένη αναπαραγωγή κατά το 2019 (Zotou et al., 2020).

Σύμφωνα με την πλέον πρόσφατη επιστημονική βιβλιογραφία, οι μόνοι πληθυσμοί *P. nobilis* που παραμένουν εντελώς ανεπηρέαστοι από το ΓΜΘ είναι: 1. ο πληθυσμός που έχει εντοπιστεί στην περιοχή του Κόλπου του Fangar (βόρειο Δέλτα του Ebro, που περιέχει εκατοντάδες άτομα)(Prado et al., 2021), 2. ο πληθυσμός που καταγράφηκε στη Θάλασσα του Μαρμαρά (ακτές στα νότια νησιά της θάλασσας του Μαρμαρά) (CINAR et al., 2021).



Εικόνα 11. Κατάσταση *Pinna nobilis* στην Ευρώπη (A) και στην Ελλάδα (B). Η κόκκινη λίστα απειλούμενων ειδών του IUCN (Version 2020-3) (Πηγή: <https://www.iucnredlist.org/species/160075998/160081499#geographic-range>).

1.3 Στόχος έρευνας

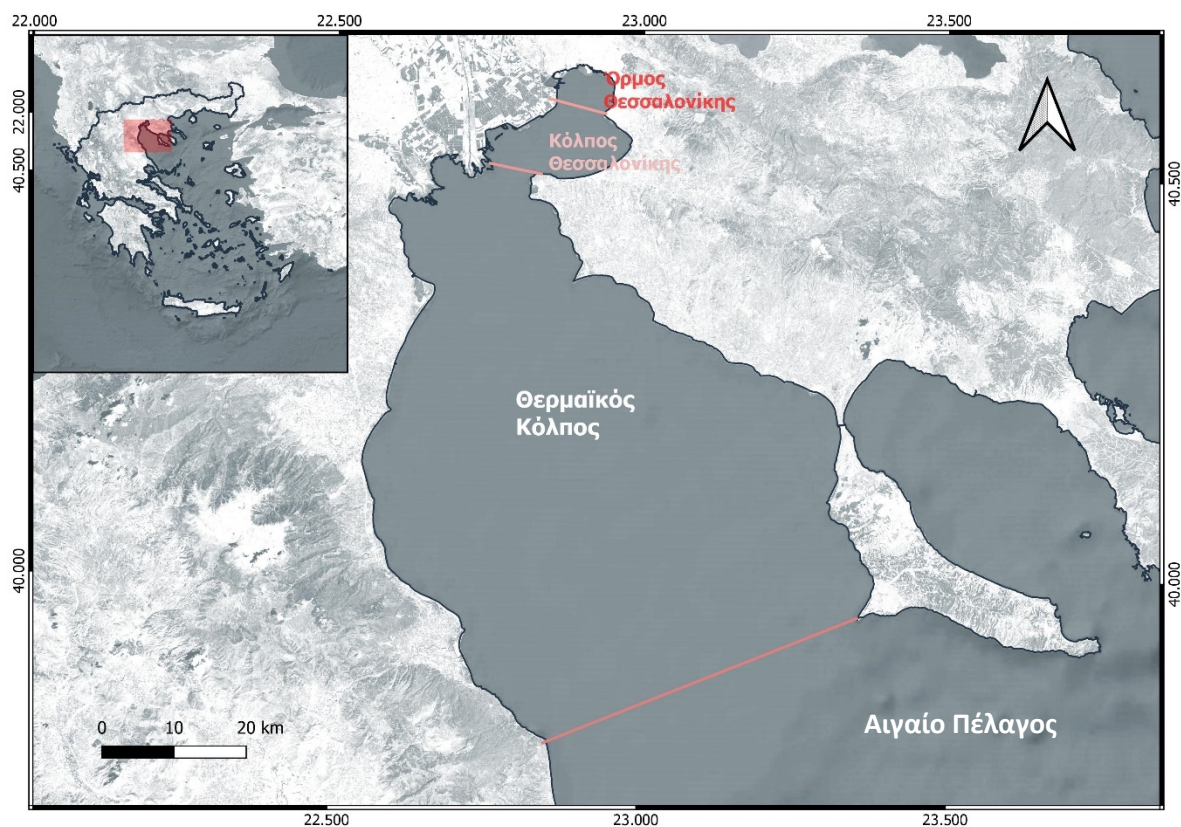
Λαμβάνοντας υπόψη την ταχεία και δριμύτατη εξάπλωση του πρόσφατου ΓΜΘ που έχει επηρεάσει όλους τους πληθυσμούς του δύθηρου μαλακίου *P. nobilis* στην Μεσόγειο καθώς και του γεγονότος πως οι περιοχές που είναι λιγότερο εκτεθειμένες σε μεγάλα θαλάσσια ρεύματα φαίνεται προς το παρόν να διατρέχουν χαμηλότερο κίνδυνο μετάδοσης παθογόνων, γεννάται η ανάγκη αξιολόγησης της επίδρασης του ΓΜΘ σε κλειστούς κόλπους (καθώς και παράκτιες λιμνοθάλασσες και δέλτα). Μία τέτοια περίπτωση αποτελεί και ο Θερμαϊκός Κόλπος, όπου είναι γνωστό ότι έχουν καταγραφεί μεγάλοι πληθυσμοί του οργανισμού αυτού (Galinou-Mitsoudi et al., 2006; Katsanevakis et al., 2008). Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται αξιολόγηση της άφιξης και του μεγέθους των μέχρι τώρα επιπτώσεων του ΓΜΘ στο σύνολο την παράκτιας ζώνης του Θερμαϊκού Κόλπου, την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των πληθυσμών και την ικανότητα των κλειστών κόλπων να ενεργούν ως καταφύγια για το είδος, με απώτερο στόχο τη συμβολή της παρούσας έρευνας στη λήψη μέτρων από τους αρμόδιους διαχειριστικούς φορείς για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του ΓΜΘ και την πιθανή βαθμιαία αποκατάσταση των πληθυσμών στην περιοχή αυτή.

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιοχή μελέτης

Ο Θερμαϊκός Κόλπος βρίσκεται στο βορειοδυτικό Αιγαίο (Ελλάδα). Είναι η θαλάσσια περιοχή που περιλαμβάνει το ενιαίο θαλάσσιο σύστημα που απαρτίζεται από τρεις υπολεκάνες (Εικόνα 12), τα ονόματα αναφέρονται όπως στους ελληνικούς υδρογραφικούς χάρτες).

- Όρμος Θεσσαλονίκης, περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή βόρεια της νοητής γραμμής Μικρού Εμβόλου ανατολικά και Παλιομάνας δυτικά, μέχρι την πόλη της Θεσσαλονίκης.
- Κόλπος Θεσσαλονίκης, περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή βόρεια της νοητής γραμμής Μεγάλου Εμβόλου ανατολικά και Εκβολών Αξιού (ραδιοφάρος) δυτικά, μέχρι τα νότια όρια του Όρμου Θεσσαλονίκης.
- Θερμαϊκός Κόλπος, περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή βόρεια της νοητής γραμμής Ακρωτηρίου Ποσειδίου ανατολικά (Δ. Κασσάνδρας Χαλκιδικής) και Ακρωτηρίου Δερματά δυτικά μέχρι τα νότια όρια του Κόλπου Θεσσαλονίκης (Galinou-Mitsoudi et al., 2006)



Εικόνα 12. Οι Θαλάσσιες λεκάνες της περιοχής μελέτης (τροποποιημένος χάρτης από Γαλινού- Μητσούδη, 2009)

Ο Θερμαϊκός είναι ένας σχετικά ρηχός κόλπος με μέσο βάθος που δεν ξεπερνά τα 50 m (μέγιστο 37 m στο βόρειο τμήμα του, και 112 m στο νότιο), ενώ ο κόλπος και όρμος της Θεσσαλονίκης είναι ακόμα ρηχότεροι με το μέγιστο βάθος τα 23 και 25 m αντίστοιχα (Antoniadou et al., 2004).

Το κλίμα της παράκτιας ζώνης του Θερμαϊκού κόλπου είναι ημίξηρο Μεσογειακό με κρούς χειμώνες. Η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από 0 μέχρι 38°C, με αποτέλεσμα το νερό να ζεσταίνεται το καλοκαίρι και να κρυώνει το χειμώνα. Η ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 480mm (Ρουίλος et al., 2000) και διαρκεί από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιανουάριο και από το Μάρτιο μέχρι τον Ιούνιο (Antoniadou et al., 2004). Το νερό των καταιγίδων στις περισσότερες περιοχές καταλήγει

απευθείας και σε σύντομο χρονικό διάστημα στον κόλπο (Antoniadou et al., 2004). Στην περιοχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους κυριαρχούν οι βόρειοι άνεμοι.

Η κυκλοφορία των υδάτων στο Θερμαϊκό κόλπο είναι γενικά αριστερόστροφη. Μάζες νερού υψηλής αλατότητας και πυκνότητας εισέρχονται από τις νοτιοανατολικές περιοχές του κόλπου στον εσωτερικό κόλπο της Θεσσαλονίκης και τελικά κατευθύνονται νότια, παράλληλα προς τις ακτές της Πιερίας μεταφέροντας μάζες νερού μικρότερης αλατότητας προερχόμενες από τους ποταμούς Αξιό, Λουδία, Αλιάκμονα και Γαλλικό (Roulos et al., 2000) με μέρος του εκτεταμένου συστήματος υγροτόπων και εκβολών των τεσσάρων πρώτων που χαρακτηρίστηκαν ως περιοχή που ανήκει στο Ευρωπαϊκό δίκτυο Natura 2000 (Κωδικός Περιοχής: GR1220010). Σε αυτά τα νερά προστίθεται και το γλυκό νερό του Πηνειού και συνεχίζεται η πορεία των υδάτινων μαζών προς τα νοτιοδυτικά (Lykousis and Chronis, 1989). Η ανάμειξη των νερών των ποταμών με το θαλασσινό νερό στη δυτική πλευρά του κόλπου, έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία ισχυρής στρωμάτωσης που εκτείνεται μέχρι το βάθος των 10 m σε όλη τη διάρκεια του έτους (Roulos et al., 2000).

Οι ταχύτητες του νερού στα ανώτερα στρώματα είναι γενικά μικρές (<20 cm/ sec) και ελαττώνονται σημαντικά όσο αυξάνεται το βάθος (Roulos et al. 2000). Σημαντική θεωρείται επίσης η εμφάνιση στροβίλων άλλοτε κυκλωνικών και άλλοτε αντικυκλωνικών, τόσο στη δυτική πλευρά του κόλπου, όσο και στην ανατολική. Αυτό είναι αποτέλεσμα της επίδρασης των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή, σε συνδυασμό με τη μορφολογία της ακτογραμμής και τη βαθυμετρία του κόλπου (Roulos et al., 2000).

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, η θερμοκρασία του νερού στην επιφάνεια του Θερμαϊκού κόλπου παρουσιάζει ελάχιστες τιμές μεταξύ Φεβρουάριου και Μάρτιου. Έπειτα αυξάνει σταθερά μέχρι και τον Αύγουστο. Η θερμοκρασία του πυθμένα είναι πιο σταθερή (SoHelME 2005). Η αλατότητα κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο παρουσιάζει ελάχιστο στην επιφάνεια του νερού και μέγιστο στον πυθμένα. Το αλοκλινές μειώνεται καθώς γίνεται η μετάβαση στους θερινούς μήνες. Από το Μάιο και έπειτα, η θαλάσσια στήλη γίνεται πιο ομοιογενής μέχρι να αρχίσουν εκ νέου οι εκροές των ποταμών από τον Νοέμβριο προς το χειμώνα (Zervakis et al., 2005).

Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κατά τους θερινούς μήνες παρουσιάζουν μείωση με αρκετά χαμηλές τιμές σποραδικά κοντά στις εκβολές αλλά δεν έχουν καταγραφεί φαινόμενα ανοξίας ακόμα και κατά τη θερινή περίοδο (Παπαθανασίου, 2016).

Ο Θερμαϊκός κόλπος επειδή είναι ένα παραγωγικό αλλά και πολύπλοκο σύστημα υφίσταται πολλαπλή χρήση εξαιτίας φυσικών και κυρίως εκτεταμένων ανθρώπινων επεμβάσεων, που έχουν επηρεάσει σε ένα βαθμό τη κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος και τη διαμόρφωση των βιοκοινωνιών του. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης στον Θερμαϊκό Κόλπο είναι: α) αστικά λύματα-βιομηχανικά απόβλητα, β) γεωργία- κτηνοτροφία, γ) ναυσιπλοΐα, δ) τουρισμός, ε) αλιεία και υδατοκαλλιέργειες.

Ο πυθμένας του κόλπου της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από λασπώδη ιζήματα με την άμμο να συμμετέχει κυρίως με τα λεπτότερα μέρη της (Παπαθανασίου, 2016). Και στα ιζήματα του Θερμαϊκού κόλπου επικρατεί η ιλύς και η άργιλος. Υπάρχει μια τάση αύξησης του ποσοστού ιλύος και άργιλου από την ακτή προς τις βαθύτερες ζώνες του ιζήματος (Παπαθανασίου, 2016). Έτσι, μέχρι την ισοβαθή των 5 μέτρων, ο βυθός έχει αμμώδη σύσταση ενώ στα βαθύτερα στρώματα του κόλπου αποτελείται από λεπτότερα μέρη (Roulos et al., 2000). Μεγαλύτερα ποσοστά άμμου παρατηρούνται στον κεντρικό και ανατολικό τομέα του Θερμαϊκού όπου το ιζήμα χαρακτηρίζεται από αμμοχάλικα. Στο δυτικό τομέα και κυρίως εκεί που εκβάλουν τα ποτάμια Αξιός, Γαλλικός, Λουδίας και Αλιάκμονας, η

ιλύς και η άργιλος καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του ιζήματος. Τέλος, νοτιότερα στα δυτικά του Θερμαϊκού, ο πυθμένας αποτελείται κυρίως από άμμο (Roulos *et al.* 2000).

Μεγάλα ποσά θρεπτικών αλάτων παρατηρήθηκαν στα στόμια των ποταμών καθώς και στις περιοχές που είναι εγκατεστημένες μυδοκαλλιέργειες στη δυτική πλευρά του κόλπου. Ο Θερμαϊκός δέχεται τη μεγαλύτερη επίδραση στην Ελλάδα από γεωργικές δραστηριότητες, ειδικά στη βορειοδυτική πλευρά του, όπου απορρέουν τα μεγαλύτερα ποτάμια Αξιός και Αλιάκμονας.

Για τον κόλπο της Θεσσαλονίκης και τον Θερμαϊκό, οι περισσότερες πληροφορίες για την χλωρίδα προέρχονται από τον Χαριτωνίδη (1978). Σύμφωνα με την πηγή αυτή στις ανατολικές ακτές του Θερμαϊκού η βλάστηση είναι αρκετά πλούσια. Σε μικρή μεταξύ τους απόσταση αναπτύσσονται λειμώνες *P. oceanica* και *C. nodosa*. Ανάμεσά τους εντοπίζονται και κάποια φαιοφύκη και ροδοφύκη. Στον όρμο της Θεσσαλονίκης δε παρατηρήθηκαν μεγάλοι πληθυσμοί, αφού η θαλάσσια ρύπανση δεν αφήνει να αναπτυχθούν σαφείς θαλάσσιες κοινωνίες εκτός από τα νιτρόφιλα είδη *Ulva* και *Enteromorpha*. Η βορειοδυτική πλευρά του κόλπου παρουσιάζει μια τελείως διαφορετική εικόνα από την ανατολική, αφού αναπτύσσονται κυρίως στη μεσοπαραλιακή και υποπαραλιακή ζώνη, μικροί θαλλοί του χλωροφύκου *Enteromorpha*. Επιπλέον οι αμμώδεις και λασπώδεις περιοχές στις εκβολές των ποταμών καλύπτονται από φανερόγαμα που μπορούν να στηριχθούν στον ασταθή βυθό (Malea and Haritonidis, 2000).

Η πανίδα του Θερμαϊκού είναι εξαιρετικά ανομοιογενής σε διασπορά και παρουσία, εξαιτίας τόσο των ποικίλων βιοτόπων όσο και των μεγάλων ανθρωπογενών πιέσεων (Eleftheriou, 2013). Όπως έχει διαπιστωθεί, η σύνθεση της μπορεί να αλλάξει δραματικά ακόμα και σε γειτονικούς σταθμούς δειγματοληψίας που απέχουν ελάχιστα. Στις ανατολικές ακτές του, κυρίαρχη ομάδα βρέθηκε να είναι οι πολύχαιτοι, στον όρμο της Θεσσαλονίκης επικρατούν τα καρκινοειδή και στις νότιες και δυτικές ακτές του Θερμαϊκού κυριαρχούν πάλι οι πολύχαιτοι (Παπαθανασίου, 2016).

Ο Θερμαϊκός κόλπος από τις αρχές τις δεκαετίας του 1990 σταδιακά μέχρι σήμερα φιλοξενεί πλέον το 86% των μονάδων μυδοκαλλιέργειας που υπάρχουν στην Ελλάδα, με ποσοστό 80% της συνολικής στρεμματικής κάλυψης (Αθανασούλη, 2010). Αυτές βρίσκονται κυρίως στα βόρεια και βορειοδυτικά του κόλπου από τη Χαλάστρα έως τις εκβολές του Αλιάκμονα και ελάχιστες στην ανατολική πλευρά του κόλπου στη περιοχή του Αγγελχωρίου. Σύμφωνα με διαχειριστική μελέτη του Παπαθανασίου (2016), η επίδραση των μυδοκαλλιεργειών είναι εντονότερη στη περιοχή της Χαλάστρας και αυτό αντανακλάται στη διαταραγμένη δομή της βιοκοινωνίας της και στην πανιδική της σύνθεση.

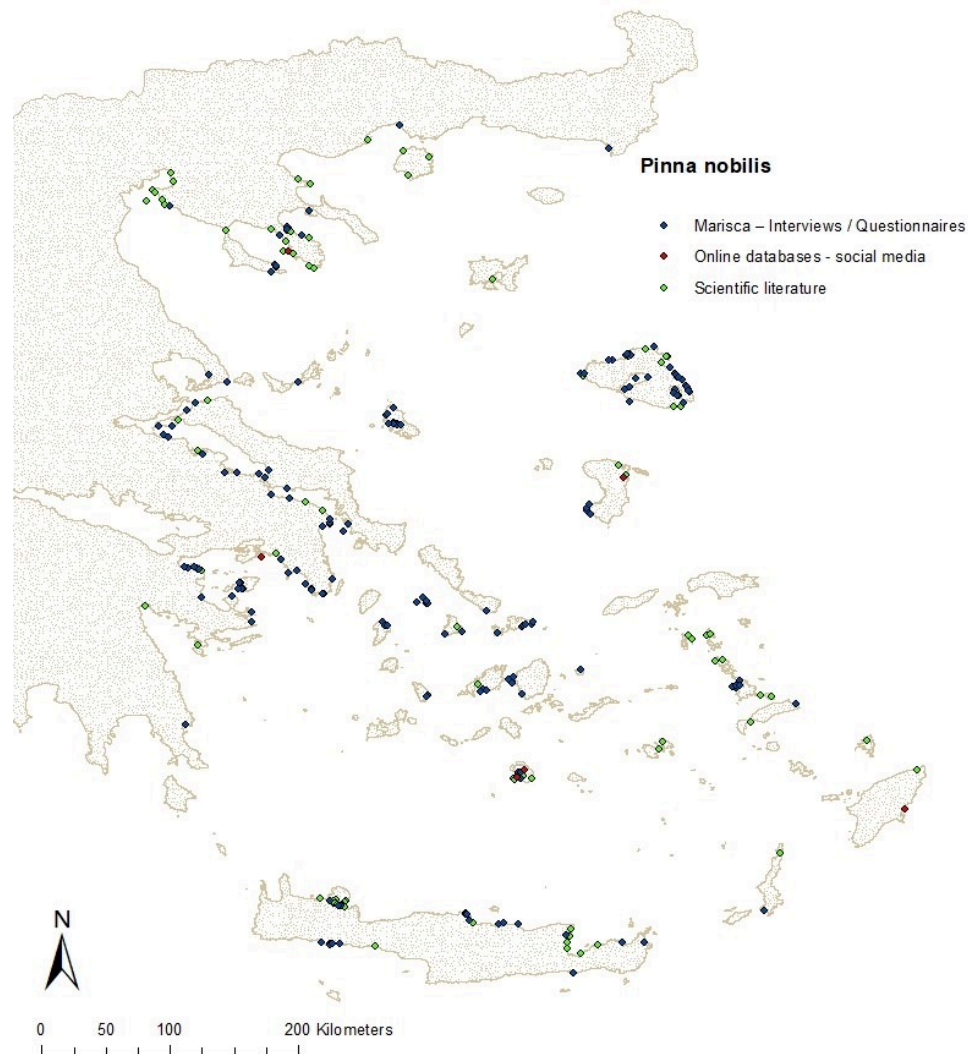
2.2 Μεθοδολογία δειγματοληψίας

2.2.1 Καταγραφή στο πεδίο με κολύμπι ή αυτόνομη κατάδυση

1.1.4.1. Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας βασίστηκε στην προηγούμενη γνώση για την παρουσία πληθυσμών του είδους σε επιμέρους θέσεις εντός της περιοχής μελέτης (Galinou-Mitsoudi *et al.*, 2006; Katsanevakis *et al.*, 2008; Sini *et al.*, 2017). Βασική πηγή αποτέλεσε, εκτός από την προϋπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία για το είδος υπό μελέτη στην περιοχή, προηγούμενη μελέτη (Ζοτου 2018, Εικόνα 13) συλλογής της διαθέσιμης πληροφορίας για την περιοχή με τη χρήση διαφόρων πηγών (δημοσιευμένη πληροφορία π.χ. επιστημονική βιβλιογραφία και μη δημοσιευμένη π.χ. βάσεις δεδομένων και συνεντεύξεις με μη καταρτισμένους πολίτες), αποτέλεσμα της οποίας αποτέλεσε και χάρτης παρουσίας του είδους *P. nobilis* της. Επίσης, και στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις με επιστήμονες και μη καταρτισμένους πολίτες με γνώσεις για το φυσικό περιβάλλον της περιοχής (π.χ. καταδυόμενοι επιστήμονες, αυτοδύτες, μυδοκαλλιεργητές, ψαράδες) και αναζήτηση σε βάσεις δεδομένων (π.χ. iNaturalist,

<https://www.inaturalist.org/observations/39067532>), σε συνδυασμό με εικόνες του Google Earth, με στόχο ρηχά νερά καλυμμένα με θαλάσσια βλάστηση (λιβάδια θαλάσσιων φανερόγαμων).



Εικόνα 13. Χάρτης κατανομής του είδους *Pinna nobilis* στον ελλαδικό χώρο (Zotou, 2018).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την υλοποίηση του στόχου της παρούσας μελέτης επιλέχθηκαν συνολικά 15 θέσεις δειγματοληψίας στην ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου (Εικόνα 14. Σταθμοί δειγματοληψίας): στην ανατολική πλευρά του κόλπου, α) τρεις από τις θέσεις εντοπίζονται στην βόρεια περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου, κοντά στους παράκτιους οικισμούς της Επανομής και της Μηχανιώνας, όπου ήταν γνωστό ότι υπήρχαν μεγάλοι πληθυσμοί του υπό μελέτη είδους, β) δύο στην περιοχή του Κόλπου της Θεσσαλονίκης (παραλία Περαιάς και παραλία Αρετσούς), που θεωρήθηκε (από τις συνεντεύξεις) ότι αποτελεί το όριο της εξάπλωσης του είδους εσωτερικά στον κόλπο προς την περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις πρόκειται για αβαθείς παράκτιες περιοχές (σε κλειστό κόλπο) όπου το υπόστρωμα είναι αμμώδες (ή μικτό με πέτρες και μικρούς βράχους), με μικρή κλίση και με κυριαρχία του είδους *C. nodosa*. Ακόμη επιλέχθηκαν: γ) δύο περιοχές που βρίσκονται στο εξωτερικό όριο της περιοχής μελέτης και πρόκειται για παράκτιες (μη προστατευμένες) περιοχές με μεγάλη κλίση του υποστρώματος, υπόστρωμα μεικτό (κυρίως βραχώδες με λίγη άμμο) και κυριαρχία των λιβαδιών της *P. oceanica*, και τέλος, δ) επτά (7) περιοχές στη δυτική πλευρά του Κόλπου που εντοπίζονται στα τρία δέλτα μεγάλα δέλτα που εκβάλλουν σε αυτόν και που θεωρούνται περιοχές που αποτελούν ενδιαίτημα του είδους αλλά και

σε περιοχές δίπλα σε αλυκές όπου έχει παρατηρηθεί, επίσης, ότι τέτοιες περιοχές ευνοούν την εγκατάσταση πληθυσμών της *P. nobilis*. Επτά (7) από αυτές τις περιοχές βρίσκονται εντός των ορίων (ή γειτνιάζουν με) των περιοχών του Ευρωπαϊκού Δικτύου Προστατευόμενων Περιοχών με κωδικούς: GR1220010, GR1220002, GR1220005, GR1250004, GR1270008, GR1270010 (Εικόνα 14).

Οι περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με τις τοποθεσίες δειγματοληψίας, όπως τα χαρακτηριστικά των ενδιαιτημάτων, το βάθος και η περιοχή που ερευνήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 1.

1.1.4.2. Μέθοδος Δειγματοληψίας

Μεταξύ του Ιουλίου 2019 και του Δεκεμβρίου 2020, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στις 15 θέσεις που προεπιλέχθηκαν με στόχο την καταγραφή των νεκρών και ζωντανών ατόμων του είδους *P. nobilis* για τη διερεύνηση των επιπτώσεων του πρόσφατου ΓΜΘ του είδους. Σε κάθε θέση πραγματοποιήθηκε οπτική έρευνα σε ευθεία πορεία παράλληλα προς την ακτή συνολικής διάρκειας 45 min είτε με κολύμπι (και ελεύθερη κατάδυση) είτε με αυτόνομη κατάδυση ανάλογα με το βάθος και την ορατότητα κάθε τοποθεσίας. Σε κάθε έρευνα, καταγράφηκε το σύνολο των νεκρών και ζωντανών ατόμων *P. nobilis* που διακρίνονταν κατά την πορεία, ακολουθώντας την παρακάτω μεθοδολογία: τα ζωντανά άτομα χαρακτηρίστηκαν ως «πιθανώς υγιή» ή «πιθανώς προσβεβλημένα» βάσει της απόκρισης, αργής απόκρισης ή μη απόκρισης σε ερέθισμα όχλησης (απόκριση θεωρείται το αντανακλαστικό του κλεισίματος του οστράκου) όπως περιγράφεται από τους Vazquez-Luis et al. (2017). Τα νεαρά άτομα καταγράφηκαν σε ξεχωριστή κατηγορία. Σε δύο περιπτώσεις, όπου η πυκνότητα των ατόμων του πληθυσμού ήταν ιδιαίτερα υψηλή, πραγματοποιήθηκε καταγραφή σε 9 min αντί των 45 min και έγινε αναγωγή του αριθμού των ατόμων στα 45 min εφόσον είχε διαπιστωθεί ότι η έκταση ήταν επαρκής για την αναγωγή αυτή και η πυκνότητα του πληθυσμού σταθερή στο σύνολο την έκτασης, τηρώντας όμως τον χρόνο των 45 min όσον αφορά την παρατήρηση και καταγραφή ζωντανών ή/και νεαρών ατόμων.

2.2.2 Δημοσιευμένες εργασίες

Συμπληρωματικά στα πρωτογενή δεδομένα που προέκυψαν με την παραπάνω μεθοδολογία, συμπεριλήφθηκαν και πρόσθετα δεδομένα από ευκαιριακές καταγραφές που διενεργήθηκαν από δύο διαφορετικές ερευνητικές ομάδες οι οποίες διερεύνησαν τμήματα των προαναφερθέντων θαλάσσιων περιοχών αλλά και γειτονικών περιοχών σε διαφορετικές περιόδους. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από αυτές τις δύο ομάδες ερευνητών κατά την προγενέστερη περίοδο μεταξύ Μαΐου του 2019 και αρχών Ιουλίου του 2019), αλλά και μεταγενέστερα κατά τον Μάρτιο του 2020 και τον Ιούνιο του 2020 επιτρέπουν τη σύγκριση της κατάστασης του είδους σε τρεις διαφορετικές περιόδους. Την χρονική περίοδο Μάιος – Ιούλιος 2019 (αρχές), διερευνήθηκαν 9 τοποθεσίες σε εύρος βάθους 3 - 9 m (οι οποίες εντοπίζονται εσωτερικά στον Κόλπο της Θεσσαλονίκης σε αμμώδες υπόστρωμα με κυριαρχία του θαλάσσιου φανερόγαμου *C. nodosa*). Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε 2 τοποθεσίες τον Μάιο του 2019. Ωστόσο, μετά από τις αναφορές των τοπικών ψαράδων σχετικά με ασυνήθιστη θνησιμότητα του είδους, αυτές οι 2 τοποθεσίες επανεξετάστηκαν και αξιολογήθηκαν τον Ιούλιο του 2019, μαζί με τις 7 επιπλέον τοποθεσίες. Στις αρχές του 2020 διερευνήθηκαν 4 τοποθεσίες σε εύρος βάθους 4 - 10 m (στο γειτονικό Τορωναίο Κόλπο σε αμμώδες υπόστρωμα με κυριαρχία του θαλάσσιου φανερόγαμου *P. oceanica*) και τον Ιούνιο του 2020, 2 τοποθεσίες (εσωτερικός Θερμαϊκός Κόλπος με αμμώδες ή μεικτό με πέτρες και μικρούς βράχους υπόστρωμα με κυριαρχία του θαλάσσιου φανερόγαμου *C. nodosa*) από τη δεύτερη ερευνητική ομάδα. Οι δύο ανεξάρτητες αυτές ερευνητικές ομάδες ακολούθησαν διαφορετική προσέγγιση καταγραφής, η πρώτη με ευκαιριακές καταγραφές και η δεύτερη σε (μόνιμες) δειγματοληπτικές επιφάνειες των 30x2 m². Οι περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με τις τοποθεσίες δειγματοληψίας, όπως τα χαρακτηριστικά των ενδιαιτημάτων, το βάθος και η περιοχή που ερευνήθηκαν δίνονται στον

Πίνακας 1. Όλα τα στοιχεία των δειγματοληψιών αυτών έχουν δημοσιευτεί από τους Zotou et al. (2020).

2.2.3 Συλλογή πληροφορίας μέσω επικοινωνίας με ομάδες πολιτών (Μέθοδος προσωπικής συνέντευξης) & Βάσεις Δεδομένων (Επιστήμη των πολιτών)

Μέσα από τη διαδικασία των συνεντεύξεων με επιστήμονες και μη καταρτισμένους πολίτες με γνώσεις για το φυσικό περιβάλλον της περιοχής (π.χ. καταδυόμενους επιστήμονες, αυτοδύτες, μυδοκαλλιεργητές, ψαράδες) προέκυψε πιθανή παρουσία νεαρών ατόμων *P. nobilis* στις μυδοκαλλιέργειες της περιοχής της Χαλάστρας, επί των πλωτών μονάδων της καλλιέργειας όπου αναπτύσσοντας μαζί με τα άτομα *Mytilus galloprovincialis*, Lamarck 1819. Το εκτρεφόμενο αυτό είδος είναι ενδημικό της ανατολικής Μεσογείου, της Αδριατικής και της Μαύρης Θάλασσας, αλλά σήμερα έχει εξαπλωθεί σε όλες τις θάλασσες του κόσμου, είτε γιατί έχει εισαχθεί εκεί για καλλιέργεια, είτε γιατί έχει μεταφερθεί κατά λάθος (πχ. μέσω των εμπορικών πλοίων) και έχει αναπτυχθεί από μόνο του. Μάλιστα, συγκαταλέγεται στους εκατό «χειρότερους παγκόσμιους εισβολείς», καθώς όταν εγκαθίσταται σε περιοχές όπου δεν είναι ενδημικό, εκτοπίζει τα τοπικά είδη μυδιών. Καλλιεργείται εμπορικά σε μεγάλη κλίμακα στην Ιαπωνία και την Κίνα, ενώ την μεγαλύτερη παραγωγή στην Ευρώπη έχει η Ισπανία. Κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα, στο δυτικό Θερμαϊκό κόλπο, παράγεται το 80-90% των ελληνικών μυδιών (περίπου 30.000 τόνοι ετησίως).

Ανάπτυξη νεαρών ατόμων *P. nobilis* πάνω στις δομές ανάπτυξης σε υδατοκαλλιέργεια *M. galloprovincialis* έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία για την περιοχή του κόλπου του Μαλιακού (Theodorou et al., 2015).

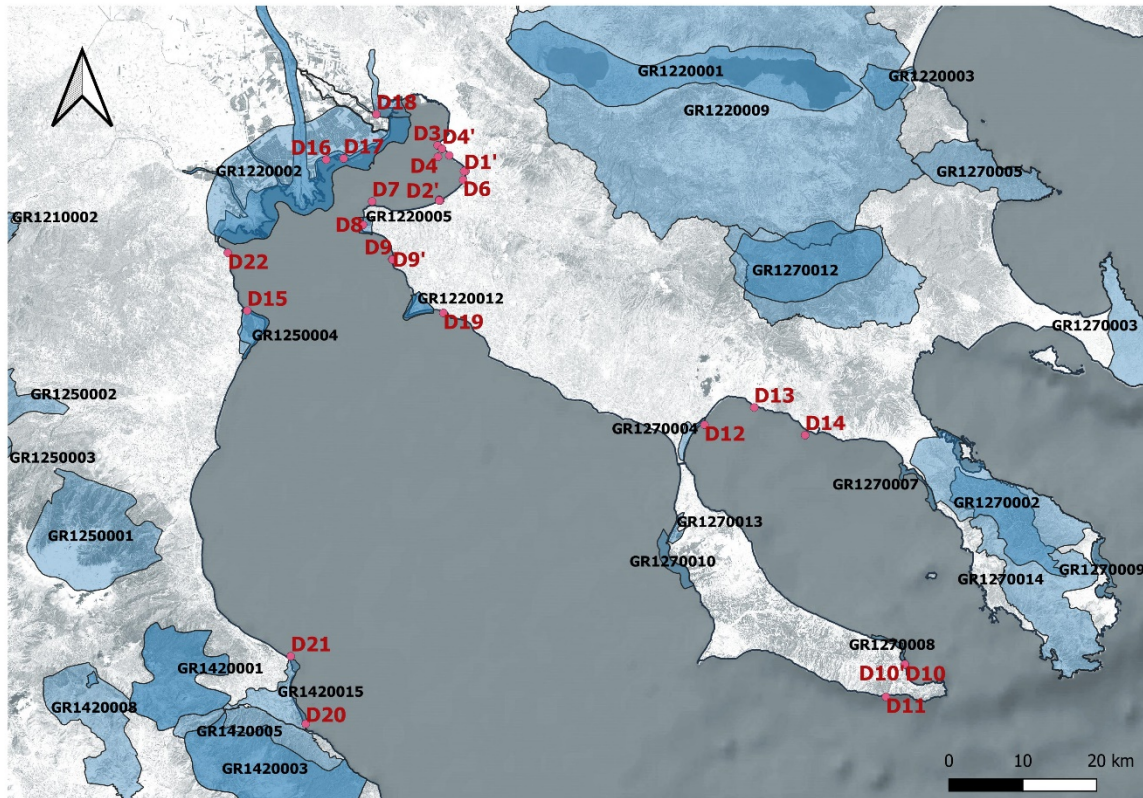
Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκε καταγραφή παρουσίας των νεαρών ατόμων *P. nobilis* κατά της συλλογή των μυδιών από τις πλωτές μονάδες μεταξύ των μυδιών που αποκολλώνται από τα σχοινιά της καλλιέργειας. Τα σχοινιά εκτείνονται σε βάθη από 2-8 m. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των μυδοτροφείων αυτόνομη κατάδυση για τη διερεύνηση παρουσίας πληθυσμών του είδους στον πυθμένα σε βάθη έως και 18 m.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση για παρουσία του είδους σε διάφορες περιοχές της περιοχής μελέτης αλλά και στο σύνολο του ελλαδικού χώρου σε βάσεις δεδομένων (π.χ. iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/observations/39067532>) σε περιοχές (κλειστοί κόλποι, παράκτιες λιμνοθάλασσες) που θα μπορούσαν να αποτελούν καταφύγια του είδους από τους παθογόνους που προκάλεσαν το ΓΜΘ. Οι βάσεις αυτές περιλαμβάνουν πληροφορία που προέρχεται από παρατηρήσεις πολιτών (citizen science) και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή και αφότου η ποιότητά τους αξιολογηθεί από τους επιστήμονες.

Επιπρόσθετα, έγινε μια προσπάθεια συγκέντρωσης πληροφορίας για παρουσία πληθυσμών *P. nobilis* (και κυρίως ζωντανών ατόμων μέσα σε αυτούς) σε κλειστούς κόλπους και παράκτιες λιμνοθάλασσες μέσω επικοινωνίας με επιστήμονες αλλά και μη καταρτισμένους πολίτες. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση και δημιουργήθηκε μια λίστα επικοινωνίας με άτομα (δύτες), καταδυτικά κέντρα, Ενώσεις Αυτοδυτών, Φορείς Διαχείρισης προστατευόμενων Περιοχών, Τμήματα Σχολών Πανεπιστημίων κλπ. ανά περιοχή ενδιαφέροντος που λόγω της δραστηριότητάς τους (ερευνητική ή αναψυχής) θα μπορούσαν να παρέχουν κάποια σχετική πληροφορία (Πίνακας 3) και στη συνέχεια μέσω προσωπικής επικοινωνίας συλλέχθηκαν σχετικές πληροφορίες.

2.2.4 Σύνολο δεδομένων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της κατάστασης των πληθυσμών της *P. nobilis* στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου το σύνολο των πρωτογενών δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής αλλά και των δημοσιευμένων δεδομένων (Ζοτου et al., 2020), που περιεγράφηκαν στα δύο προηγούμενα υποκεφάλαια (4.2, 4.3). Οι θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 14. Σταθμοί δειγματοληψίας



Εικόνα 14. Σταθμοί δειγματοληψίας (αναλυτικά οι περιγραφική πληροφορία για κάθε σταθμό στον Πίνακα 1) και δίκτυο περιοχών Natura2000 στην περιοχή μελέτης.

Οι περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις δειγματοληψίας και η μέθοδος δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Ο όρος "45 min" αναφέρεται στα 45 λεπτά αντίστοιχα της οπτικής παρατήρησης με εφαρμογή του πρωτοκόλλου που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.1.2, ο όρος "Ευκαιριακή" αναφέρεται σε ευκαιριακές καταγραφές χωρίς την εφαρμογή αυστηρού πρωτοκόλλου.

Πίνακας 1. Περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις δειγματοληψίας.

Σταθμός	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ_N	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ_E	Ημ/νία (μήνας/ημέρα/έτος)	Περιοχή	Μέθοδος δειγματοληψίας	Βάθος_m	Κυρίαρχοι Οικότοποι	Ερευνητής
D1	40.5503640	22.9788220	5/15/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	7-8	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D2	40.5153630	22.9373540	5/15/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	7-8	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D7	40.5122480	22.8302060	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	5-9	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D2'	40.5153630	22.9373540	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	4-6	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows with big stones	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D6	40.5398510	22.9751610	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	4-6	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D1'	40.5505810	22.9765040	7/20/2019	Inner Thermaikos Gulf	Ευκαιριακή	4-6	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D11	39.9139590	23.6541650	9/6/2019	Loutra (Paliouri, Avlaki area), Κασσάνδρα, Chalkidiki Prefecture	45 min	18	Posidonia mixed with rocks, boulders	Karadimou
D10	39.9533060	23.6844590	9/27/2019	Paliouri (Porto Valitsa area), Chalkidiki Prefecture	45 min	10-13	Posidonia Mixed (sandy with rocks, boulders)	Karadimou
D16	40.5623710	22.7558460	10/7/2019	Chalastra (Aliankmonas - Loudias Delta), Thessaloniki Prefecture	45 min	0-1.5	Cystoseira sp. (40% coverage), silt substrate	Karadimou
D17	40.5640810	22.7837840	10/7/2019	Chalastra (Aliankmonas - Loudias Delta), Thessaloniki Prefecture	45 min	0-1.5	Cystoseira sp. (30% coverage), silt substrate	Karadimou
D18	40.6183990	22.8351420	10/7/2019	Chalastra (Axios - Gallikos Delta), Thessaloniki Prefecture	45 min	0-1.5	Cystoseira sp. (30% coverage), silt substrate	Karadimou
D22	40.4470410	22.6009700	10/19/2019	Methoni, Pieria Prefecture	45 min	0.5-3	Zostera sp. (?) (90 % coverage), Sandy substrate mixed with small rocks	Karadimou
D15	40.3769910	22.6333820	10/19/2019	Alyki (Kitros salt marshes), Pieria Prefecture	45 min	0.5-4	Cymodocea nodosa (70 % coverage), Sandy substrate	Karadimou
D12	40.2442790	23.3638140	3/4/2020	Agios Mamas, Toronean Gulf	Ευκαιριακή	8-10	Sandy bottom with <i>Posidonia oceanica</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D13	40.2657230	23.4426730	3/4/2020	Gerakini	Ευκαιριακή	5-10	Sandy bottom with <i>Posidonia oceanica</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D14	40.2323960	23.5239050	3/4/2020	Nisi	Ευκαιριακή	8-10	Rocky substrate	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D10'	39.9537420	23.6839550	3/4/2020	Porto Valitsa	Ευκαιριακή	4-10	Sandy bottom with <i>Posidonia oceanica</i> meadows	Lattos (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D2''	40.5144470	22.9390270	6/11/2020	Peraia Thessalonikis	Plot 30x2 m ²	0-3	<i>Cymodocea nodosa</i> meadow	Issaris, Gerakaris, Lardi (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D9'	40.4416250	22.8640360	6/12/2020	Epanomi	Plot 30x2 m ²	0-3	<i>Cymodocea nodosa</i> meadow	Issaris, Gerakaris, Lardi (from Zotou <i>et al.</i> 2020)
D2'''	40.5144690	22.9373120	12/19/2020	Peraia Thessalonikis	45 min	0.5-3	Sandy; Mixed (sandy with rocks, boulders) with <i>Cymodocea nodosa</i> meadows	Karadimou
D4'	40.5774490	22.9408150	12/22/2020	Plazz Aretsous	45 min	1-4	Sandy bottom with <i>Cymodocea nodosa</i> meadows	Karadimou

3. Αποτελέσματα

3.1 Θερμαϊκός Κόλπος

3.1.1 Αποτελέσματα δειγματοληψίας με κολύμπι και αυτόνομη κατάδυση

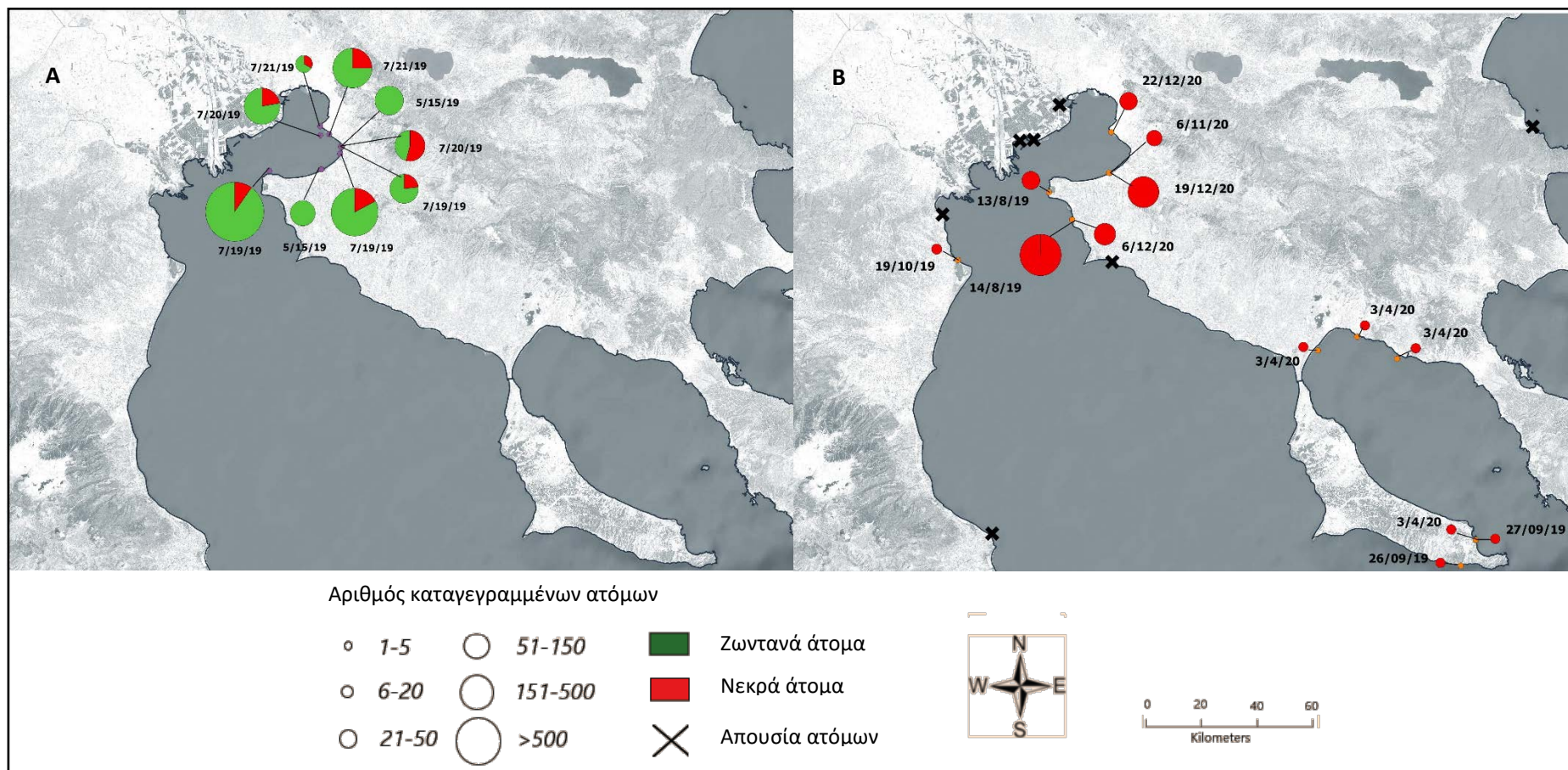
Τα γεωμορφολογικά στοιχεία των θέσεων δειγματοληψίας, παρουσία απουσία πληθυσμών του είδους, παρουσία ζωντανών ατόμων – νεαρών, ενήλικων, ποσοστό ζωντανών-νεκρών, ποσοστό θνησιμότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος Ι.

Κατά την πρώτη έρευνα στον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο (Μάιος 2019), σε δύο τοποθεσίες μετρήθηκαν συνολικά 150 ζωντανά άτομα (0% θνησιμότητα), εκ των οποίων το 23,3% ήταν νεαρά. Δύο μήνες αργότερα (Ιούλιος 2019), επανεξετάστηκαν οι ίδιες δύο θέσεις, μαζί με επτά επιπλέον θέσεις. Καταγράφηκαν συνολικά 1.092 άτομα, εκ των οποίων 227 ήταν νεκρά (εκτίμηση ποσοστού θνησιμότητας: 20.1%) (Εικόνα 15. Αξιολόγηση της θνησιμότητας των πληθυσμών *Pinna nobilis* στις θέσεις δειγματοληψίας στον Θερμαϊκό Κόλπο, κατά την χρονική περίοδο Μάιος - Ιούλιος 2019 (Α) και Σεπτέμβριος 2019 (Β) και Αύγουστος 2019-Δεκέμβριος 2020. Το μέγεθος των γραφημάτων πίτας αντιπροσωπεύει τον αριθμό των καταγεγραμμένων ατόμων, όπως φαίνεται στο υπόμνημα. Το κόκκινο και το πράσινο χρώμα στα γραφήματα πίτας δείχνουν την αναλογία νεκρών και ζωντανών ατόμων, αντίστοιχα. Μεταξύ των 865 ζωντανών ατόμων, 42 ήταν νεαρά (4,9%). Ωστόσο, ευκαιριακές καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν με οπτικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούνιο του 2020 στον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο έδειξαν την κατάρρευση των προαναφερθέντων επιζώντων πληθυσμών, καθώς καταγράφηκαν 254 άτομα και όλοι τους βρέθηκαν νεκροί (Εικόνα 15. Αξιολόγηση της θνησιμότητας των πληθυσμών *Pinna nobilis* στις θέσεις δειγματοληψίας στον Θερμαϊκό Κόλπο, κατά την χρονική περίοδο Μάιος - Ιούλιος 2019 (Α) και Σεπτέμβριος 2019 (Β) και Αύγουστος 2019-Δεκέμβριος 2020. Το μέγεθος των γραφημάτων πίτας αντιπροσωπεύει τον αριθμό των καταγεγραμμένων ατόμων, όπως φαίνεται στο υπόμνημα. Το κόκκινο και το πράσινο χρώμα στα γραφήματα πίτας δείχνουν την αναλογία νεκρών και ζωντανών ατόμων, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της ειδικής έρευνας στον εξωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο (τέλη Ιουλίου – Δεκέμβριος 2019), καταγράφηκαν συνολικά 2.221 άτομα *P. nobilis*, εκ των οποίων μόνο 2 ήταν ζωντανά (εκτίμηση ποσοστού θνησιμότητας: 99.9%) (Εικόνα 15B). Ακόμη, άτομα *P. nobilis* δεν εντοπίστηκαν σε διάφορες τοποθεσίες γύρω από τον Θερμαϊκό Κόλπο όπου πραγματοποιήθηκαν απόπειρες εντοπισμού του είδους. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις τα σπασμένα κελύφη που πλένονται στην ξηρά υποδεικνύουν την προηγούμενη παρουσία του είδους στην περιοχή. Το 2020, πέντε ακόμη θέσεις ερευνήθηκαν στον εξωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο και στον Τορωναίο κόλπο (χερσόνησος Χαλκιδικής). Η έρευνα αποκάλυψε 543 νεκρούς και κανέναν ζωντανό δείχνοντας 100% θνησιμότητα στην περιοχή (Εικόνα 15B).

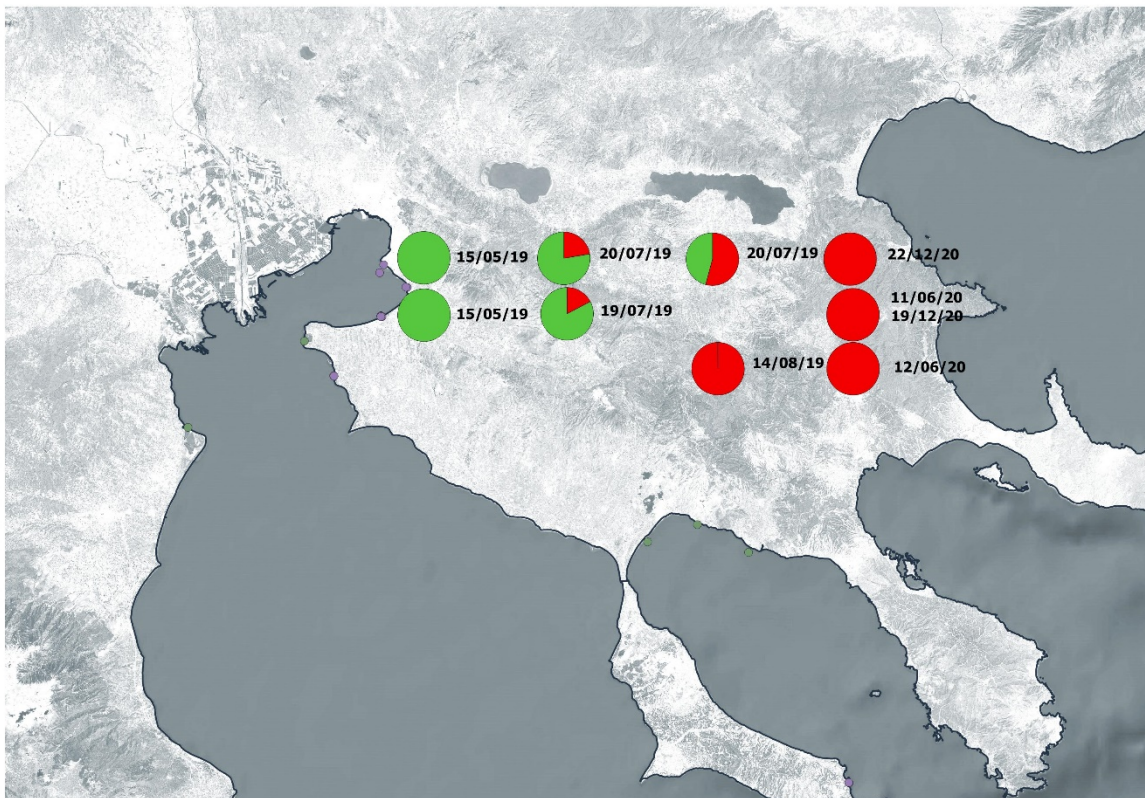
Η Εικόνα 16 αφορά τη χρονολογική παρουσίαση της εξέλιξης του ΓΜΘ στις περιοχές δειγματοληψίας για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Παρατηρούμε ότι ενώ τον Μάιο (μέσα) του 2019 δεν είχε καταγραφεί ακόμη κανένα νεκρό άτομο (τουλάχιστον στις θέσεις δειγματοληψίας), το φαινόμενο εξελίχθηκε ταχύτατα και μετά από τρεις μήνες (μέσα Αυγούστου του 2019) οι πληθυσμοί κατέρρευσαν και στην συνέχεια δε βρέθηκε σε καμία θέση κάποιο ζωντανό άτομο.

Συγκεντρώνοντας όλα τα δεδομένα, τα περισσότερα ζωντανά άτομα καταγράφηκαν πριν από τον Ιούνιο του 2019, αλλά τα ποσοστά θνησιμότητας αυξήθηκαν ραγδαία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, φτάνοντας το 100% ήδη από τον Αύγουστο του 2020, στις περιοχές που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη (Εικόνα 17. Χρονική εξέλιξη του ΓΜΘ στο Θερμαϊκό Κόλπο από τον

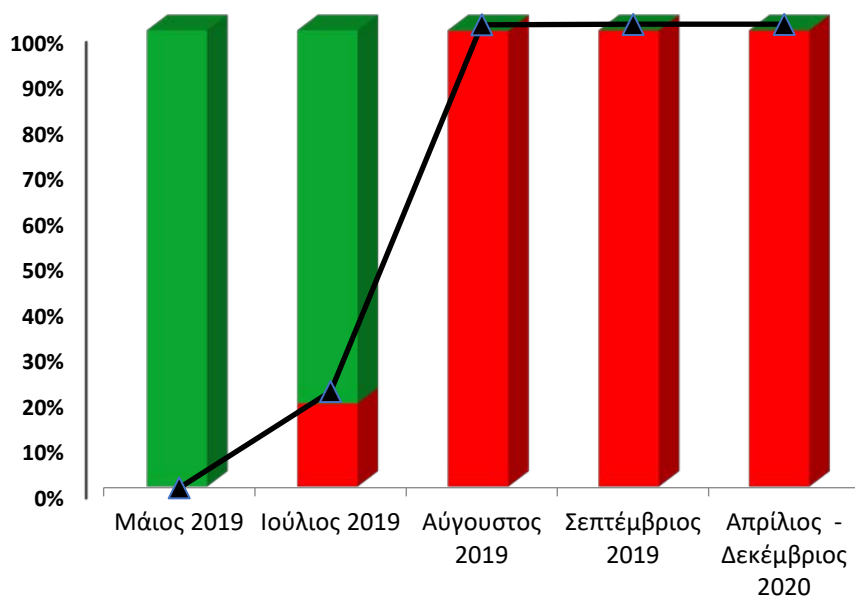
Μάιο του 2019 έως τον Δεκέμβριο του 2020 για το σύνολο των δεδομένων από τις τρεις ομάδες ερευνητών (πρωτόκολλα δειγματοληψίας και ευκαιριακές παρατηρήσεις). Κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει όλα τα νεκρά και ζωντανά άτομα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου, ενώ η γραμμή αναφέρεται στο μέσο ποσοστό θνησιμότητας μεταξύ των περιοχών που ερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου (δεν λαμβάνονται υπόψη οι διαφορές στις αφθονίες των επιμέρους πληθυσμών). Το μέσο ποσοστό θνησιμότητας από 0% το Μάιο του 2019 έφτασε το 20% δύο μήνες μετά, τον Ιούλιο του 2019 και το 100% ένα μήνα μετά, τον Αύγουστο του 2019. Καμία ανάκαμψη του πληθυσμού δεν διαπιστώθηκε μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2020.



Εικόνα 15. Αξιολόγηση της θνησιμότητας των πληθυσμών *Pinna nobilis* στις θέσεις δειγματοληψίας στον Θερμαϊκό Κόλπο, κατά την χρονική περίοδο Μάιος - Ιούλιος 2019 (Α) και Σεπτέμβριος 2019 (Β) και Αύγουστος 2019-Δεκέμβριος 2020. Το μέγεθος των γραφημάτων πίτας αντιπροσωπεύει τον αριθμό των καταγεγραμμένων ατόμων, όπως φαίνεται στο υπόμνημα. Το κόκκινο και το πράσινο χρώμα στα γραφήματα πίτας δείχνουν την αναλογία νεκρών και ζωντανών ατόμων, αντίστοιχα.



Εικόνα 16. Χρονολογική παρουσίαση της εξέλιξης του ΓΜΘ στις περιοχές δειγματοληψίας για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Το μέγεθος των γραφημάτων πίτας είναι σταθερό και όχι ανάλογο του αριθμού των καταγεγραμμένων ατόμων. Το κόκκινο και το πράσινο χρώμα στα γραφήματα πίτας δείχνουν την αναλογία νεκρών και ζωντανών ατόμων, αντίστοιχα.



Εικόνα 17. Χρονική εξέλιξη του ΓΜΘ στο Θερμαϊκό Κόλπο από τον Μάιο του 2019 έως τον Δεκέμβριο του 2020 για το σύνολο των δεδομένων από τις τρεις ομάδες ερευνητών (πρωτόκολλα δειγματοληψίας και ευκαιριακές παρατηρήσεις). Κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει όλα τα νεκρά και ζωντανά άτομα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου, ενώ η γραμμή αναφέρεται στο μέσο ποσοστό θνησιμότητας μεταξύ των περιοχών που ερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου (δεν λαμβάνονται υπόψη οι διαφορές στις αφθονίες των επιμέρους πληθυσμών).

3.1.2 Αποτελέσματα δειγματοληψίας σε μονάδες μυδοκαλλιέργειας

Όσον αφορά τη δειγματοληψία στις μυδοκαλλιέργειες στην περιοχή του Δέλτα του Αξιού, κοντά στη Χαλάστρα, στις δυτικές ακτές του Κόλπου της Θεσσαλονίκης (εσωτερικός Θερμαϊκός Κόλπος), βρέθηκαν στα τέλη του Νοεμβρίου του 2019 πολύ νεαρά (λίγων εκατοστών) άτομα *P. nobilis* που είχαν εγκατασταθεί και αναπτύσσονταν μεταξύ των μυδιών *M. Gallorprovincialis* πάνω στις πλωτές μονάδες καλλιέργειας (Εικόνα 18). Επιπλέον, ελάχιστα άτομα (παρόμοιου μεγέθους) εντοπίστηκαν μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2020. Τα άτομα αυτά δεν αποτέλεσαν υλικό προς δειγματοληψία αλλά «παράπλευρη απώλεια» κατά τη διαδικασία συλλογής των μυδιών της καλλιέργειας.

Καθώς, σύμφωνα με τους Hendriks et al. (2011), μήκος έως περίπου τα 6 cm αντιστοιχούν σε ηλικία ατόμων 6 μηνών (0.5 του χρόνου), υποθέτουμε χονδρικά ότι τα άτομα που παρατηρήθηκαν ήταν ηλικίας μικρότερης των 5 μηνών, δεδομένο που οδηγεί στην παραδοχή μια επιτυχημένης αναπαραγωγικής περιόδου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2019 και πριν την μαζική κατάρρευση των πληθυσμών της περιοχής. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο πως δεν εντοπίστηκαν πληθυσμοί του είδους στην περιοχή των δέλτα (ούτε στις καταδύσεις από την ακτή αλλά ούτε και σε αυτές που πραγματοποιήθηκαν σε μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή από βάρκα).

Σχετικά με μια χονδρική εκτίμηση του αριθμού των ατόμων, στην περιοχή που διερευνήθηκε, βρέθηκαν μέσο όρο 4-5 άτομα ανά πλωτό μέσο (σχοινί) σε συνολικό βάρος μυδιών 20 kg ανά σχοινί, ενώ η καλλιέργεια περιλαμβάνει 195 πλωτές μονάδες (780-975 άτομα, εφόσον υπάρχουν σε όλη την έκταση της συγκεκριμένης καλλιέργειας).



Εικόνα 18. Νεαρά άτομα του είδους *Pinna nobilis* που εντοπίστηκαν ανάμεσα στα μύδια κατά τη συλλογή τους από τις πλωτές μονάδες καλλιέργειας στην περιοχή του Δέλτα του Αξιού, κοντά στη Χαλάστρα, στις δυτικές ακτές του Κόλπου της Θεσσαλονίκης (εσωτερικός Θερμαϊκός Κόλπος), στα τέλη του μήνα Νοεμβρίου του 2019.

3.2 Αποτελέσματα συλλογής πληροφορίας μέσω επικοινωνίας με ομάδες πολιτών (Μέθοδος προσωπικής συνέντευξης) & Βάσεις Δεδομένων (Επιστήμη των πολιτών) - Άλλοι Κλειστοί Κόλποι/ Λιμνοθάλασσες

Η διερεύνηση δεδομένων δημοσιευμένων σε βάσεις όπως π.χ. το iNaturalist, δεν προέκυψε κάποια πληροφορία για την πρόσφατη παρουσία ζωντανών ατόμων *P. nobilis* στον ελλαδικό χώρο, παρ' όλο που τέτοιου είδους βάσεις παρατηρήσεων (που υλοποιούν την προσέγγιση της επιστήμης των πολιτών) μπορεί να λειτουργήσουν βοηθητικά στο επιστημονικό έργο και να καλύψουν, υπό προϋποθέσεις κενά στα διαθέσιμα στην επιστημονική έρευνα δεδομένα. Οι διαθέσιμες καταγραφές της παρουσίας της *P. nobilis* σε όλο το εύρος εξάπλωσης του είδους, στο περιβάλλον του iNaturalist φαίνονται στην Εικόνα 19.

Η μέθοδος της επικοινωνία με άτομα (δύτες), καταδυτικά κέντρα, Ενώσεις Αυτοδυτών, Φορείς Διαχείρισης προστατευόμενων Περιοχών, Τμήματα Σχολών Πανεπιστημίων κλπ. ανά περιοχή ενδιαφέροντος, δεν οδήγησε ούτε αυτή σε κάποια συγκεκριμένα στοιχεία για την παρουσία ζωντανών ατόμων *P. nobilis* στον ελλαδικό χώρο για διάφορους λόγους (δεν ανταποκρίθηκαν/ δεν γνώριζαν/ δεν είχαν εικόνα της σημερινής κατάστασης λόγω περιορισμού δραστηριοτήτων λόγω κατάστασης COVID29).



Εικόνα 19. Οι διαθέσιμες καταγραφές για το είδος *Pinna nobilis* στη Μεσόγειο, όπως αποτυπώνονται στο περιβάλλον της βάσης δεδομένων iNaturalist (Πηγή: <https://www.inaturalist.org/observations/34382485>)

4 Συζήτηση

Το ενδημικό δίθυρο της Μεσογείου *Pinna nobilis* έχει οδηγηθεί σε μια εξαιρετικά ανησυχητική κατάσταση πλήρους σχεδόν εξαφάνισης από ένα πρωτοφανές γεγονός μαζικής θνησιμότητας (ΓΜΘ) που ξεκίνησε στις αρχές του φθινοπώρου 2016 στη δυτική Μεσόγειο Θάλασσα (Vazquez-Luis et al., 2017) και εξαπλώθηκε γρήγορα Ανατολικά (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Katsanevakis et al., 2019; Kersting et al., 2020; Panarese et al., 2019). Οι πρώτες ιστολογικές εξετάσεις αποκάλυψαν την παρουσία ενός παρασίτου που μοιάζει με *Haplosporidium* στον πεπτικό αδένα των προσβεβλημένων ατόμων (Vazquez-Luis et al., 2017), ενώ μια μεταγενέστερη μελέτη περιέγραψε το παράσιτο ως *H. pinnae* (Catanese et al., 2018). Το παράσιτο αυτό, αλλά και τα διάφορα *Mycobacterium* sp. και άλλα πιθανά παθογόνα έχουν περιγραφεί σε αρκετές τοποθεσίες που επηρεάζονται από το ΓΜΘ (Carella et al., 2019; Carella et al., 2020; Čížmek et al., 2020; Lattos et al., 2020a; Lattos et al., 2020b). Οι επιπτώσεις της παρουσίας διαφορετικών παθογόνων στην ανάπτυξη της νόσου δεν έχουν ακόμη διευκρινιστεί. Οι περισσότεροι γνωστοί και μελετημένοι πληθυσμοί *P. nobilis* στη Δυτική Μεσόγειο Θάλασσα σχεδόν εξαφανίστηκαν, με ποσοστά θνησιμότητας άνω του 90% (García-March et al., 2020; Panarese et al., 2019; Vazquez-Luis et al., 2017), ενώ και οι πληθυσμοί στην Ανατολική Μεσόγειο και την Αδριατική Θάλασσα εμφανίζουν την ίδια εικόνα (Čížmek et al., 2020; Katsanevakis et al., 2019; Kersting et al., 2020; Öndes et al., 2020; Özalp and Kersting, 2020; Zotou et al., 2020).

Υπάρχει, ωστόσο, η εξαίρεση κάποιων περιοχών, με πολύ συγκεκριμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, όπου οι πληθυσμοί *P. nobilis* παρέμεναν, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον, ανεπηρέαστοι: Fangar Bay (Delta del Ebro, Ισπανία), Mar Menor (Ισπανία), Rhône Delta (Γαλλία), Etang de Thau (Γαλλία), λιμνοθάλασσα Étang d'Urbino (Κορσική, Γαλλία), λιμνοθάλασσα της Βενετίας (Ιταλία), εσωτερικός κόλπος Καλλονής και Κόλπος Λαγανά (Ελλάδα) (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Catanese et al., 2018; Foulquié et al., 2020; Kersting et al., 2020; Prado et al., 2020; Simide et al., 2019; Zotou et al., 2020). Σύμφωνα με την πλέον πρόσφατη επιστημονική βιβλιογραφία, οι μόνοι πληθυσμοί *P. nobilis* που παραμένουν εντελώς ανεπηρέαστοι από το ΓΜΘ είναι: 1. ο πληθυσμός που έχει εντοπιστεί στην περιοχή του Κόλπου του Fangar (βόρειο Δέλτα του Ebro, που περιέχει εκατοντάδες άτομα) (Prado et al., 2021), 2. ο πληθυσμός που καταγράφηκε στη Θάλασσα του Μαρμαρά (ακτές στα νότια νησιά της θάλασσας του Μαρμαρά) (CINAR et al., 2021), περιοχές όπου προς το παρόν λειτουργούν ως φυσικά καταφύγια του είδους και παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια διατήρησής του. Αυτό το ανησυχητικό σενάριο οδήγησε στον πρόσφατο χαρακτηρισμό είδους στην Κρισίμως Κινδυνεύον στην Κόκκινη Λίστα της IUCN (Kersting et al., 2020). Ενώ οι πληθυσμοί της *P. nobilis* εξαφανίζονται με επιταχυνόμενο ρυθμό, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το συγγενές είδος *P. rudis*, το οποίο μοιράζεται ενδιαίτηματα με τον *P. nobilis* σε πολλές περιοχές (Kersting & García-March 2017) παραμένει ανεπηρέαστο από το ΓΜΘ (Catanese et al., 2018) και recruits του καταγράφονται ακόμη σε συλλέκτες προνυμφών και στο πεδίου (García-March et al., 2020).

Ο Θερμαϊκός είναι ο μεγαλύτερος κόλπος στο Αιγαίο Πέλαγος, με πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 5 και 50 km. Λόγω των τεσσάρων ποταμών που εκβάλουν στον Θερμαϊκό, το νερό του κόλπου παρουσιάζει υψηλή αφθονία οργανικού υλικού, αποτελώντας εκ τούτου ιδανικό βιότοπο για διηθηματοφάγους οργανισμούς. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτόν παράγεται το 90% της παραγωγής διθύρων στην Ελλάδα με κατά προσέγγιση παραγωγικότητα 80-90% της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας στην Ελλάδα (Theodorou et al., 2015) με τα δίθυρα να παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης σε αυτόν (Karagiannis et al., 2018).

Όλα τα είδη βακτηρίων ευδοκούν στη βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους, δημιουργώντας περισσότερους παράγοντες μολυσματικότητας, και οδηγώντας, σε συνέργεια με άλλους

στρεσογόνους παράγοντες, σε ΓΜΘ των υδρόβιων οργανισμών. Με άλλα λόγια, βέλτιστα επίπεδα θερμοκρασίας για τους παθογόνους και χαμηλότερη ανοσοαπόκριση του ξενιστή, οδηγούν σε υψηλή παθογένεια του παθογόνου (Lattos et al., 2020a). Η εισαγωγή και ανίχνευση νέων παθογόνων μπορεί ενδεχομένως να σχετίζεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να επιταχύνει την ανάπτυξη και τη εξάπλωση των παθογόνων βακτηρίων στα θαλάσσια περιβάλλοντα, επηρεάζοντας την υγεία των υδρόβιων οργανισμών, ενώ η αυξημένη θερμοκρασία του θαλάσσιου νερού αναμένεται να προκαλέσει συχνότερες εκδηλώσεις μολυσματικών ασθενειών και παρασιτισμού (Harley et al., 2006). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν τόσο τα είδη ξενιστές όσο και τα παθογόνα. Έχει αποδειχθεί ότι οι κλιματικές συνθήκες, η αύξηση της θερμοκρασίας, η οξίνιση των ωκεανών και η υποξία είναι σημαντικοί παράγοντες και έχουν πρόσθετα και αθροιστικά αρνητικά αποτελέσματα στη φυσιολογία των υδρόβιων οργανισμών. Από τους προαναφερθέντες παράγοντες, εξαιρετικά σημαντικό για τα παθογόνα είναι κυρίως η θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα των συνεργιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να παρατηρηθούν αλλαγές στα πρότυπα εποχικότητας των παθογόνων και εισβολή παθογόνων σε νέες γεωγραφικές περιοχές, μολύνοντας νέους πληθυσμούς χωρίς αντιστάσεις σε αναδυόμενες λοιμώξεις (Lattos et al., 2020a).

Σύμφωνα με τα πρόσφατα ευρήματα, θεωρείται ότι οι παράκτιες λιμνοθάλασσες και οι εκβολές των ποταμών αποτελούν ίσως τη μόνη ελπίδα για βραχυπρόθεσμη επιβίωση του είδους υπό φυσικές συνθήκες και πιθανότατα την επανεισαγωγή ανηλίκων ατόμων (García-March et al., 2020). Οι παράμετροι ανάπτυξης των πληθυσμών που εντοπίζονται σε αυτά τα περιβάλλοντα δείχνουν ότι μπορεί αυτές να είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη του είδους κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής, αλλά οι πληθυσμοί που ζουν σε λιμνοθάλασσες και, σε μικρότερο βαθμό, στο Ebro Delta (εκβολές), φαίνεται να είναι ασταθείς μακροπρόθεσμα. Η σύντομη διάρκεια ζωής σε αυτούς τους οικοτόπους φανερώνει ότι αυτοί οι πληθυσμοί βασίζονται στην άφθονη πρόσληψη τροφής για άμεση ανάπτυξη αλλά η επιβίωση των εισαχθέντων ατόμων θα μπορούσε να περιοριστεί μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, η αστάθεια αυτών των οικοσυστημάτων, που οφείλεται τόσο σε φυσικούς όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες (Kennish and Paerl, 2010), θα μπορούσε να οδηγήσει σε ξαφνική κατάρρευση αυτών των πληθυσμών.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται αξιολόγηση της άφιξης και του μεγέθους των μέχρι τώρα επιπτώσεων του ΓΜΘ στο σύνολο την παράκτιας ζώνης του Θερμαϊκού Κόλπου, την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των πληθυσμών και την ικανότητα των κλειστών κόλπων να ενεργούν ως καταφύγια για το είδος, με απώτερο στόχο τη λήψη μέτρων από τους αρμόδιους διαχειριστικούς φορείς για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του ΓΜΘ και την πιθανή βαθμιαία αποκατάσταση των πληθυσμών στην περιοχή αυτή.

4.1 Η κατάσταση των πληθυσμών *P. nobilis* του Θερμαϊκού Κόλπου

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι παρ' όλο που οι πληθυσμοί της *P. nobilis* στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου άργησαν να επηρεαστούν από το ΓΜΘ - καθώς τον Μάιο του 2019, ένα χρόνο μετά την εμφάνιση του φαινομένου στην Ελλάδα, οι πληθυσμοί της περιοχής εμφάνιζαν θνησιμότητα 0% - το καλοκαίρι του 2019 η εξάπλωσή του και η επίδρασή του στην περιοχή υπήρξε ραγδαία, με αποτέλεσμα στα μέσα του Αυγούστου του 2019, όσοι πληθυσμοί εξετάστηκαν έδειξαν 100 % θνησιμότητα. Προηγούμενες μελέτες σχετικά με την εμφάνιση ΓΜΘ σε διάφορα είδη στη Μεσόγειο Θάλασσα δείχνουν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ γεγονότων ακραία υψηλών θερμοκρασιών του νερού και παρατεταμένη θερμική στρωμάτωση της στήλης νερού κατά τους τελευταίους καλοκαιρινούς μήνες (Garrabou et al., 2009). Αυτές οι καταστάσεις προκαλούν εκτεταμένο φυσιολογικό στρες, το οποίο μειώνει την ικανότητα αντίστασης των οργανισμών-ξενιστών στη διάδοση των παθογόνων μικροοργανισμών (Cerrano et al., 2000). Αντίστοιχα, οι υψηλές

θερμοκρασίες θαλασσινού νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ενδέχεται να πυροδότησαν την έξαρση του φαινομένου και στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου μειώνοντας τη φυσιολογική ικανότητα του *P. nobilis* να αντιστέκεται σε παρασιτικές λοιμώξεις λόγω της αυξημένης ανάγκης για οξυγόνο υπό υψηλές θερμοκρασίες (Trigos et al., 2014), η οποία στη συνέχεια ενίσχυσε την εκδήλωση των παρασίτων.

Τα αποτελέσματα της ιστοπαθολογικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα από τον Θερμαϊκό που συλλέχθηκαν πριν το καλοκαίρι του 2019, έδειξαν την παρουσία ενός είδους *Mycobacterium* παράλληλα με την ύπαρξη του *H. pinnae* (Lattos et al., 2020a). Το παράσιτο υπήρχε σε διαφορετικές φάσεις κυρίως στο επιθήλιο του πεπτικού αδένου. Ενώ το *Mycobacterium sp.* ανιχνεύθηκε σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα, το *H. pinnae* δεν ανιχνεύθηκε σε όλα τα δείγματα. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι η ανάλυση δείγματος *P. nobilis* από τον Θερμαϊκό Κόλπο, αποκάλυψε την παρουσία και των δύο παθογόνων σε μερικά δείγματα σε μεγαλύτερη συγκέντρωση απ' ότι στα δείγματα από τον Κόλπο της Καλλονής που εξετάστηκαν ταυτόχρονα, αλλά χωρίς συμπτώματα της νόσου, όπως στη περίπτωση της Καλλονής όπου τα άτομα είχαν ήδη εκδηλώσει συμπτώματα και είχαν καταγραφεί επίσης κάποια νεκρά. Εκτός αυτού, όλα τα δείγματα από τον Θερμαϊκό Κόλπο είχαν φλεγμονώδεις αποκρίσεις, όπως και τα προσβεβλημένα δείγματα από τον Κόλπο της Καλλονής (Lattos et al., 2020a). Τα αποτελέσματα των Lattos et al. (2020a) συνάδουν με τα αποτελέσματα των Carella et al. (2019) σχετικά με την ύπαρξη και την παθογένεση εδών *Mycobacterium*.

Οι πληθυσμοί *P. nobilis* στον Θερμαϊκό κόλπο πριν το καλοκαίρι του 2019 δεν είχαν επηρεαστεί αν και το παράσιτο *Mycobacterium* ανιχνεύθηκε σε μεγαλύτερη ποσότητα σε αυτά και μάλιστα ορισμένα από τα άτομα που συλλέχθηκαν ήταν θετικά και στα δύο παράσιτα, γεγονός που υποδηλώνει κάποια μορφή σχετική «ανθεκτικότητα» των πληθυσμών αυτών στους συγκεκριμένους παθογόνους. Το γεγονός αυτό είναι πολύ μεγάλης σημασίας, από την άποψη της διατήρησης του είδους, και παρόλο που ο πληθυσμός αυτός κατέρρευσε μπορεί να οδηγήσει στην αναγνώριση περιοχών με παρόμοια χαρακτηριστικά που μπορεί ακόμη να διατηρεί υγιείς πληθυσμούς. Σε επόμενη μελέτη (Lattos et al., 2020b) βρέθηκαν επιπρόσθετα είδη του γένους *Vibrio* στα δείγματα *P. nobilis* από τις ίδιες τρεις περιοχές στην Ελλάδα.

Ο Θερμαϊκός Κόλπος, σε αντίθεση με τον Κόλπο της Καλλονής στη Λέσβο και τις ακτές της Λήμνου, εμφανίζει σημαντική ρύπανση, κατάσταση η οποία επηρεάζει όλους τους θαλάσσιους οργανισμούς με διάφορους τρόπους (Giantsis et al., 2012). Η γεωργική παραγωγή, συμπεριλαμβανομένης της κτηνοτροφίας και της υδατοκαλλιέργειας, η οποία παράγει απόβλητα, επίσης συμβάλλει στη ρύπανση του κόλπου. Παρόλα αυτά, η υψηλή περιεκτικότητα του κόπου σε θρεπτικά συστατικά, οδηγεί στην ταχύτερη ανάπτυξη δίθυρων που μπορεί να φτάσουν σε μεγαλύτερο βάρος και μήκος οστράκου σε μικρότερες χρονικές περιόδους, καθώς και στην ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών (όπως διαπιστώθηκε από τις έρευνες στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας της παρούσας εργασίας). Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα άτομα *P. nobilis* από τον Θερμαϊκό ήταν περίπου δύο φορές μεγαλύτερα και βαρύτερα από τα δείγματα που προέρχονταν από την Καλλονή και τη Λέσβο (Lattos et al., 2020a), η επιβίωση των πληθυσμών σε αυτόν θα μπορούσε να εξηγηθεί και να συσχετιστεί με τα ποσοστά μόλυνσης. Συγκεκριμένα, η απουσία συμπτωμάτων της ασθένειας ή/και θνησιμότητας σε όλα τα άτομα που εξετάστηκαν από τον Θερμαϊκό Κόλπο, υποδηλώνει υψηλότερη ανοχή που ενδεχομένως σχετίζεται με το βάρος και το μήκος οστράκου των ατόμων αυτών των πληθυσμών. Οι μηχανισμοί με τους οποίους τα γεωγραφικά πρότυπα εξάπλωσης των παθογόνων και οι ανθρώπινες δραστηριότητες κάθε περιοχής μπορούν να επηρεάσουν την ποικιλότητα των παθογόνων που προσβάλλουν τα δίθυρα, είναι ακόμη υπό διερεύνηση. Ο πληθυσμός της *P. nobilis* του Θερμαϊκού κόλπου ήταν από τους τελευταίους πληθυσμούς που κατέρρευσαν, αν και δεν υπήρχαν σημάδια

θνησιμότητας την άνοιξη και τα ποσοστά θνησιμότητας ήταν χαμηλά τους πρώτους καλοκαιρινούς μήνες του 2019.

Είναι γνωστό ότι τα παθογόνα *Mycobacterium sp.* μπορεί να εμφανίζουν παρατεταμένη ασυμπτωματική ή λανθάνουσα περίοδο, μετά την οποία συμπτώματα της ασθένειας μπορεί να εμφανιστούν σε ένα υποσύνολο μολυσμένων ξενιστών (Palmer et al., 2011). Οι Šarić et al. (2020) αναφέρουν αντίστοιχο παράδειγμα με αυτό του Θερμαϊκού, καθώς σε μία θέση δειγματοληψίας κατά την αρχική δειγματοληψία από την περιοχή δεν παρατηρήθηκε θνησιμότητα, παρόλο που ένα άτομο βρέθηκε θετικό σε μυκοβακτηριακή λοίμωξη, ενώ μερικές εβδομάδες αργότερα ο βαθμός θνησιμότητας αυξήθηκε.

Σε περιοχές όπου εντοπίζονται ακόμη ζωντανοί πληθυσμοί οι μέσες τιμές θερμοκρασίας του νερού είναι μικρότερες, π.χ., η μέση θερμοκρασία ήταν 18,6 και 15,5 °C στο Αιγαίο Πέλαγος και στη Θάλασσα του Μαρμαρά (αν και, σύμφωνα με τους Cinar et al. (2021) σε αυτή την περίπτωση ο βασικός καθοριστικός παράγοντας είναι η αλατότητα) αντίστοιχα, για την περίοδο μεταξύ 1970 και 2018 (Öndes et al., 2020). Ως εκ τούτου, εικάζεται ότι το παράσιτο *H. pinnae* ή/και οι άλλοι παθογόνοι μικροοργανισμοί που έχουν ανιχνευτεί σε μολυσμένους πληθυσμούς, μπορεί να μην μπορεί να επηρεάσει πληθυσμούς *P. nobilis* σε ψυχρότερες περιοχές. Πράγματι, τα αποτελέσματα ορισμένων μελετών παρουσιάζουν συσχέτιση μεταξύ ΓΜΘ σε διάφορα είδη και υψηλών θερμοκρασιών θαλασσινού νερού (Cerrano et al., 2000; Garrabou et al., 2009) και ότι οι υψηλές θερμοκρασίες νερού ενδέχεται να έχουν μειώσει τη φυσιολογική ικανότητα της *P. nobilis* να αντιστέκεται σε μολύνσεις από παθογόνους (Katsanevakis et al., 2019; Trigos et al., 2014). Αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ περιοχών μπορεί να σχετίζεται με τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού και τις τιμές αλατότητας.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι στην περιοχή μελέτης σε ορισμένες θέσεις δεν καταγράφηκαν ή καταγράφηκε μικρός αριθμός οστράκων από νεαρά άτομα και αυτό μπορεί να αποτελεί ένδειξη για διάφορα προβλήματα στην διαδικασία αναπαραγωγής των πληθυσμών, όπως δυσκολίες πρόσφυσης προνυμφών ή ανωμαλίες αναπαραγωγής πριν ακόμη φτάσει το φαινόμενο του ΓΜΘ στην περιοχή. Οι Prado et al. (2014) αναφέρουν ότι η απουσία μικρών μεγεθών στον πληθυσμό *P. nobilis* προκαλείται από την παρουσία ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα άτομα ενός πληθυσμού *P. nobilis* ή/και στο βιότοπό του. Η περίοδος ωοτοκίας του *P. nobilis* είναι οι καλοκαιρινοί μήνες, κυρίως τον Ιούλιο (Acarli et al., 2018) και η προσκόλλησή του γόνου παρατηρείται συνήθως τον Αύγουστο (Acarli et al., 2018), μήνες κατά τους οποίους υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα αλλά και αυξημένα επίπεδα ρύπανσης και συγκεντρώσεων θρεπτικών που μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη αναπαραγωγική απόδοση στους πληθυσμούς της *P. nobilis*. Ως αποτέλεσμα, πριν παρατηρηθεί η μαζική θνησιμότητα, οι πληθυσμοί της *P. nobilis* στον Θερμαϊκό Κόλπο δέχονταν πλήθος πιέσεων και απειλών που πιθανότατα προκαλούσαν σταδιακή μείωση αυτών, όπως είχε παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές (Katsanevakis et al., 2019). Έχει αποδειχτεί ότι τα ενήλικα άτομα της *P. nobilis* παρουσιάζουν σαφώς μειωμένη μυϊκή δύναμη κατά τη διάρκεια της περιόδου ωοτοκίας (Deudero et al., 2017), γεγονός που θα μπορούσε να σημαίνει ότι είναι πιο ευάλωτα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, δηλαδή κατά την καλοκαιρινή περίοδο και, ως εκ τούτου, κατά την περίοδο αιχμής των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που επηρεάζουν το είδος και της ακραίας συχνά μεταβολής περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία και η αλατότητα και με ταυτόχρονη αύξηση των μεταβολικών αναγκών.

Πληθυσμοί *P. nobilis* που διαβιούν σε παράκτιες λιμνοθάλασσες και όρμους εκβολών, ενδέχεται να αναγκάζονται να παραμείνουν σε συνθήκες αλατότητας που είναι a priori εκτός των ορίων των βέλτιστων τιμών για την ανάπτυξη του είδους (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2011).

Παρά την επικράτηση τέτοιων μη βέλτιστων συνθηκών, περιστασιακά μαζικά γεγονότα στρατολόγησης κατά τη διάρκεια ευνοϊκών περιόδων μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία χιλιάδων ατόμων, όπως οι πληθυσμοί που αναφέρθηκαν στην περιοχή Mar Menor, τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας και τον κόλπο Alfacs (Prado et al., 2014; Russo, 2017). Ωστόσο, αυτοί οι πληθυσμοί μπορεί ταυτόχρονα να είναι πιο ευάλωτοι σε αλλαγές στον όγκο και τα χαρακτηριστικά των περιορισμένων υδάτινων σωμάτων από τα οποία εξαρτώνται, που οφείλονται σε έντονες ανθρωπογενείς αστικές και γεωργικές πιέσεις ή / και έντονες βροχοπτώσεις, που συνήθως οδηγούν στη μείωση της αλατότητας και παρέχουν μεγάλες ποσότητες ιζημάτων στις περιοχές που εκβάλλουν (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2011).

Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση αποτελεί η απουσία πληθυσμών *P. nobilis* στην περιοχή των δέλτα των ποταμών που εκβάλλουν στο Θερμαϊκό Κόλπο, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με παρατηρήσεις σε άλλες περιοχές της Μεσογείου (π.χ. (Prado et al., 2021). Ο πυθμένας στην περιοχή αυτές είναι λασπώδης και το νερό είχε ιδιαίτερα χαμηλή διαύγεια. Έχει βρεθεί ότι η *P. nobilis* απουσίαζε και από τον βαθύτερο λασπωμένο πυθμένα του κόλπου της Γέρας (Tsatis et al., 2018), γεγονός που συμφωνεί με τις μελέτες στη λίμνη Βουλιαγμένη (Katsanevakis 2007b) και στον κόλπο της Σούδας (Katsanevakis and Thessalou-Legaki, 2009). Το κύριο πρόβλημα είναι ότι τα άτομα δεν μπορούν να αγκυρωθούν επαρκώς, σε σταθερή κατακόρυφη θέση, σε λασπώδες ιζημα καθώς μπορούν εύκολα να βυθιστούν στο ιζημα λόγω της κίνησης των βαλβίδων τους. Επιπλέον, η υψηλή περιεκτικότητα σε λάσπη μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην αναπνοή και τη σίτιση (Cheung and Shin, 2005). Η *P. nobilis* στερείται σιφώνων, αλλά αντί αυτού φέρει μια ανοιχτή κοιλιακή κοιλότητα, η οποία προσφέρει αρκετά υψηλό ρυθμό άντλησης, αλλά με κόστος την υψηλή ευπάθεια στην είσοδο ιζημάτων (Butler et al., 1993). Αυτό εξηγεί την απουσία της *P. nobilis* από λασπώδεις περιοχές και, γενικά, περιοχές με έντονη διαταραχή των ιζημάτων, όπου μπορούν να ευδοκιμούν μόνο τα δίθυρα με σίφωνες (Butler et al., 1993).

Συμπερασματικά, εκτός από το *H. pinnae* (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Catanese et al., 2018; Vazquez-Luis et al., 2017) και *Mycobacterium sp.* (Carella et al., 2019; Carella et al., 2020) αλλά και άλλων παθογόνων (Lattos et al., 2020b), που έχουν αναγνωριστεί ως οι κύριοι υπαίτιοι αυτής της μεσογειακής πανδημίας, η πραγματική εξάπλωση του παθογόνου οργανισμού μπορεί να ενισχυθεί από την ευρύτερη επιδείνωση του παράκτιου θαλάσσιου περιβάλλοντος και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να διευκολύνει την εμφάνιση παθογόνων και να εντείνει την παθογένεια συγκεκριμένων ειδών, όπως στην περίπτωση του *Vibrio mediterranei* που μολύνει την *P. nobilis* (Prado et al., 2020). Το παρατηρούμενο πλήθος των παθογόνων που σχετίζονται με τα ΓΜΘ στην *P. nobilis*, υποδεικνύει ότι η ανοσολογική κατάσταση των ατόμων πιθανότατα εμπλέκεται στην παθογένεση (Carella et al., 2020) και ότι η εξάπλωση και ο πολλαπλασιασμός των παθογόνων μπορεί να σχετίζεται με έναν κοινό καταλυτικό παράγοντα, που μπορεί να είναι μια αύξηση της θερμοκρασίας του θαλάσσιου νερού και μείωση της αλατότητας ή άλλες αιτίες / γεγονότα, μεταξύ των οποίων οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, που συνολικά μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση βιολογικών αλλαγών, μεταβάλλοντας έτσι την κατάσταση των ευπαθών οργανισμών του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Από τον Μάρτιο του 2020 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2020, 8 μήνες - 1,5 χρόνια μετά την καταγραφή της πλήρους εξαφάνισης του *P. nobilis* στις περιοχές που ερευνήθηκαν στον Κόλπο του Θερμαϊκού, δεν παρατηρήθηκε κανένα ίχνος ανάκαμψης των πληθυσμών, γεγονός που υποδηλώνει ότι στην παρούσα κατάσταση το είδος *P. nobilis* έχει εξαφανιστεί στην περιοχή μελέτης. Στο παρελθόν, διάφορα γεγονότα μαζικής θνησιμότητας έχουν επηρεάσει σοβαρά άλλους πληθυσμούς δίθυρων στη Μεσόγειο Θάλασσα, αλλά ποτέ δεν οδήγησαν σε βραχυπρόθεσμο κίνδυνο εξαφάνισης. Ωστόσο, στην περίπτωση της *P. nobilis*, θεωρείται μεγάλη η πιθανότητα οικολογικής ή ακόμη και ολικής

εξαφάνιση μεσοπρόθεσμα, εκτός εάν ενεργοποιηθούν σύντομα διαχειριστικές ενέργειες (García-March et al., 2020). Η παρούσα μελέτη παρέχει νέες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των πληθυσμών αυτού του εξαιρετικά απειλούμενου είδους μαλακίου κατά μήκος των ακτών του Θερμαϊκού, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη γρήγορης λήψης σοβαρών μέτρων για την αποφυγή της πλήρους εξαφάνισης ενός τέτοιου σημαντικού οικολογικά είδους.

4.2 Το φαινόμενο της συμβίωσης σε υδατοκαλλιέργειες του είδους *Mytilus galloprovincialis*

Ο εντοπισμός ζωντανών νεαρών (ηλικίας <6 μηνών) μεταξύ των ατόμων *M. galloprovincialis* πάνω στις πλωτές μονάδες καλλιέργειας στις μυδοκαλλιέργειες της περιοχής της Χαλάστρας στα τέλη του Νοεμβρίου 2019 φανερώνει επιτυχημένη αναπαραγωγή κατά την περίοδο του καλοκαιριού του 2019, παρόλο που (όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο) οι πληθυσμοί είχαν ήδη προσβληθεί από τους παθογόνους μικροοργανισμούς που υποστηρίζεται από μελέτες ότι προκαλούν το ΓΜΘ (όπως διαπιστώθηκε σε αναλύσεις δειγμάτων που συλλέχθηκαν πριν τον Ιούνιο του 2019). Υψηλά ποσοστά θνησιμότητας καταγράφονταν από τον Ιούλιο και οι πληθυσμοί κατέρρευσαν τον Αύγουστο του 2019. Ακόμη πιο αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ελάχιστα νεαρά άτομα (αντίστοιχου μεγέθους, άρα και ηλικίας) βρέθηκαν μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2020 (όχι όμως και αργότερα) πάνω στις καλλιέργειες κατά τη διαδικασία συλλογής των μυδιών, γεγονός που συνάδει με την πάροδο της περιόδου στρατολόγησης. Οι προνύμφες που εγκαταστάθηκαν στις δομές αυτές, θεωρητικά προέρχονται από τους πληθυσμούς των ανατολικών ακτών του Κόλπου του Θερμαϊκού (μεταξύ των οποίων και αυτοί που εξετάστηκαν και στην παρούσα μελέτη) καθώς στην περιοχή των δέλτα των ποταμών όπου είναι εγκατεστημένες οι υδατοκαλλιέργειες, δεν εντοπίστηκαν πληθυσμοί *P. nobilis*. Η ανάπτυξη πληθυσμών στην περιοχές αυτές δεν διαπιστώθηκε πιθανότατα λόγω του λασπώδους πυθμένα και της ιδιαίτερα χαμηλής διαύγειας του νερού..

Σε άλλες περιοχές της Μεσογείου, τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του ΓΜΘ είχαν επηρεάσει, όπως ήταν αναμενόμενο, και την αναπαραγωγική απόδοση των ατόμων *P. nobilis* και επομένως οδήγησαν σε μείωση της στρατολόγησης (Kersting et al., 2020). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν διακοπή της στρατολόγησης των προνυμφών *P. nobilis* σε μια τεράστια γεωγραφική περιοχή στη Δυτική Μεσόγειο Θάλασσα μέσα σε χρονικό διάστημα τριών (3) ετών μετά την έναρξη του ΓΜΘ (Kersting et al., 2020). Ωστόσο, έχουν καταγραφεί και ορισμένες εξαιρέσεις σε αυτή τη γενικευμένη τάση, σύμφωνα με την ίδια μελέτη. Στα Νησιά Columbretes, στρατολόγηση καταγραφόταν κάθε χρόνο μεταξύ 2017-2019, παρά το γεγονός ότι οι πληθυσμοί είχαν καταστραφεί σε αυτήν την περιοχή το καλοκαίρι του 2017 (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Kersting et al., 2020). Επιπλέον, αν και σε μικρότερο βαθμό, νεοσύλληκτα άτομα καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια τουλάχιστον και της επόμενης του αφανισμού αναπαραγωγικής περιόδου στις περιοχές Scandola (Κορσική, Γαλλία), Son Saura (Ισπανία), Calpe (Ισπανία), Mar Menor (Ισπανία) και Cabo de Gata (Ισπανία). Παρόλο που παλαιότερες μελέτες είχαν υποδείξει ότι το στάδιο της προνύμφης στο είδος *P. nobilis* διαρκεί έως 10-15 ημέρες (Butler et al., 1993), πιο πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι το στάδιο αυτό θα μπορούσε να διαρκέσει τουλάχιστον 1 μήνα (Deudero et al., 2017; Kersting and García-March, 2017; Trigos et al., 2018) γεγονός που εξηγεί την παρουσία στρατολόγησης και νεοσύλληκτων ατόμων μέσα στους επόμενους του αφανισμού των πληθυσμών φθινοπωρινούς μήνες. Κατά πόσο όμως μπορεί να εξηγήσει την εμφάνιση νεαρών ατόμων μετά από ένα ή δύο χρόνια, παραμένει υπό διερεύνηση. Πιθανή είναι και η ερμηνεία της διατήρησης ζωντανών ατόμων σε πληθυσμούς στον Θερμαϊκό Κόλπο, οι οποίοι δεν εντοπίστηκαν και δεν διερευνήθηκαν. Περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου της παραμονής της πελαγικής προνυμφικής μορφής για μεγάλα χρονικά διαστήματα και της μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί για να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα. Επιπρόσθετα, έχει βρεθεί ότι οι

πληθυσμοί *P. nobilis* στη Δυτική Μεσόγειο Θάλασσα παρουσιάζουν υψηλή γενετική συνδεσιμότητα (Wesselmann et al., 2018), εύρημα που θα μπορούσε να συμφωνεί με χρονικά μεγαλύτερα πελαγικά στάδια και μεταβατική μεταφορά από άλλες περιοχές (Kersting et al., 2020). Οι Kersting and García-March (2017) είχαν διερευνήσει τη σπουδαιότητα των «εξωτερικών» πηγών προνυμφών για έναν πληθυσμό και τη δυνατότητα διασποράς του είδους σε ορισμένους πληθυσμούς. Τέτοια ευρήματα (όπως αυτά που παρουσιάζονται μεταξύ άλλων περιοχών και για τον Θερμαϊκό Κόλπο) δείχνουν ότι, πιθανότατα, ένα πληθυσμός θα μπορούσε να ανακάμψει φυσικά μετά από ένα φαινόμενο ΓΜΘ με στρατολόγηση προνυμφών από άλλους πληθυσμούς, γεγονός βέβαια που προϋποθέτει την επιβίωση ατόμων σε κάποιους πληθυσμούς αλλά και τουλάχιστον μερικά από τα άτομα που θα εγκατασταθούν να εμφανίζουν αντίσταση στην εκδήλωση της ασθένειας από τη μόλυνση με τους παθογόνους που θα συνεχίσουν να υπάρχουν στην περιοχή, δεδομένο που αποτελεί ένα σημαντικό πρόσθετο εμπόδιο (Kersting et al., 2020). Ωστόσο, εάν μπορούσαν να δημιουργηθούν ανθεκτικά νεαρά άτομα (εργαστηριακά), οι ανακτηθέντες χώροι θα μπορούσαν τελικά να εξάγουν προνύμφες σε άλλες τοποθεσίες και να πυροδοτήσουν μια ενδιάμεση διαδικασία ανάκτησης μέσω της εξαγωγής και της εγκατάστασης των προνυμφών. Για την πιθανή επανεγκατάσταση/επανάκαμψη των πληθυσμών του είδους στον χώρο του Θερμαϊκού Κόλπου, καθοριστικό ρόλο θα διαδραματίσει ο υγιής πληθυσμός που εντοπίζεται στη Θάλασσα του Μαρμαρά.

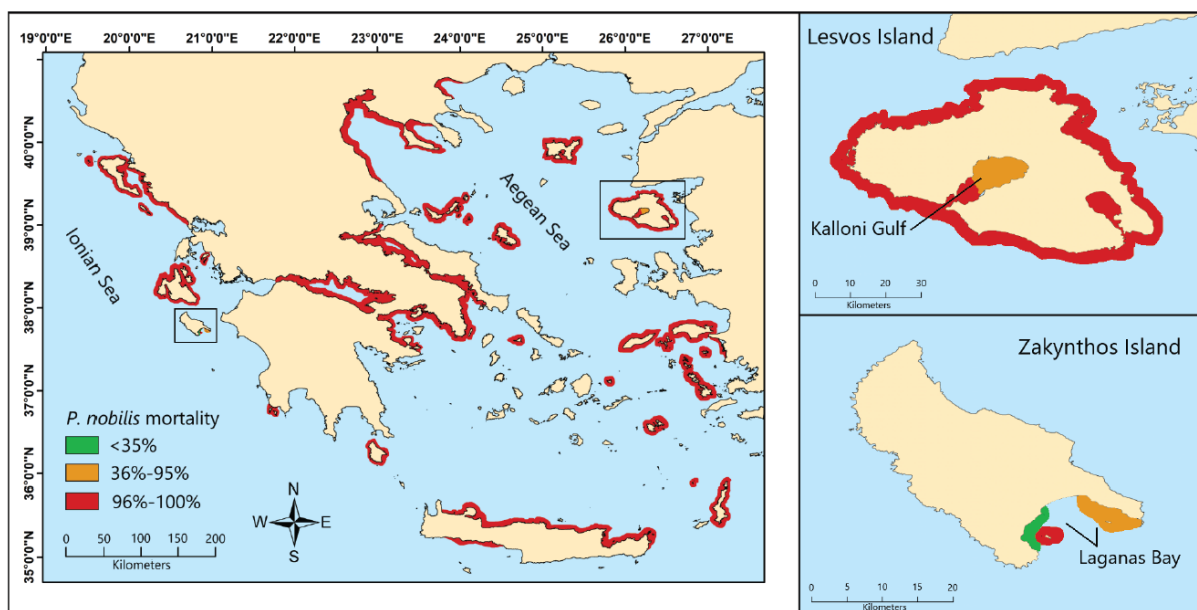
Όσον αφορά το φαινόμενο της εγκατάστασης προνυμφών και της ανάπτυξης νεαρών ατόμων *P. nobilis* σε μυδοκαλλιέργειες (García-March and Kersting, 2006), αυτό έχει αναφερθεί και μελετηθεί προηγουμένως και στην Ελλάδα στον Κόλπο του Μαλιακού από τους Theodorou et al. (2015), με στόχο την διερεύνηση σχετικών εμπειρικών παρατηρήσεων για τη διαδικασία στρατολόγησης (recruitment) νεαρών ατόμων της *P. nobilis* και τις δυνατότητες υδατοκαλλιέργειας του είδους. Η καταγραφή του φαινομένου αυτού είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς δείχνει ότι είναι δυνατή η φυσική στρατολόγηση του είδους. Οι Theodorou et al. (2015) κατέγραψαν περίπου 12 άτομα ανά τόνο μυδιών, πολύ μικρότερο αριθμό από αυτόν που υπολογίστηκε για τις καλλιέργειες του Θερμαϊκού (4-5 άτομα/ 20 kg), παρ' όλο που η αναπαραγωγή είχε επηρεαστεί και από το ΓΜΘ.

Η υδατοκαλλιέργεια του *M. galloprovincialis* ακολουθεί ένα καθορισμένο χρονοδιάγραμμα διαδικασιών. Η καλλιέργεια ξεκινά με τη συλλογή του γόνου που προσκολλάται σε ειδικά σχοινιά, τους γονοσυλλέκτες. Οι μυδοκαλλιεργητές αφαιρούν το γόνο από τα σχοινιά και τον τοποθετούν σε πλαστικά κυλινδρικά δίχτυα, τους αρμαθούς, που κρέμονται με σχοινί στο νερό. Η εκτροφή γίνεται είτε πάνω σε πασσάλους (πασσαλωτά μυδοτροφεία), είτε πάνω σε σχοινιά που κρέμονται από πλωτήρες (πλωτά ή long-line μυδοτροφεία). Από τον Μάιο μέχρι τον Ιούλιο, οι μυδοκαλλιεργητές φροντίζουν να ανοίγουν κατά καιρούς τους αρμαθούς, να αραιώνουν τα μύδια, που στο μεταξύ έχουν μεγαλώσει, και να τα επανατοποθετούν στα μυδοτροφεία στο διάστημα μεταξύ Αυγούστου και Οκτωβρίου, ώσπου να ολοκληρωθεί η ανάπτυξή τους και να είναι έτοιμα για συγκομιδή στις αρχές του καλοκαιριού (Theodorou et al., 2015). Η κρίσιμη περίοδος είναι αυτή της επανατοποθέτησης (καθώς η πρόσληψη (early spat recruitment) στην *P. nobilis* λαμβάνει χώρα την τελευταία εβδομάδα του Αυγούστου και την πρώτη εβδομάδα του Σεπτεμβρίου) και τότε μπορεί να παρατηρηθούν άτομα μεταξύ των μυδιών που έχουν αποσπαστεί για αραιώση και επανατοποθέτηση (Cabanellas-Reboredo et al., 2009). Οι Theodorou et al. (2015) κατέγραψαν άτομα με μήκος οστράκου έως και 19.36 cm, πολύ μεγαλύτερα από αυτά που καταγράφηκαν στον Θερμαϊκό, αλλά μικρότερα του ενός έτους σε ηλικία, λόγω της ετήσιας συχνότητας συλλογής των μυδιών. Εκτός βέβαια από τον περιοριστικό παράγοντα του χρόνου ανάπτυξης, ο ανταγωνισμός για χώρο με το κυρίαρχο *M. galloprovincialis* πιθανότατα επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη αυτών των ατόμων, ώστε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για τη δυνατότητα καλλιέργειας του είδους.

4.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα – πιθανές περιοχές καταφύγια του είδους *P. nobilis*

Στην Ελλάδα, πρόσφατα (Zotou et al., 2020) αναφέρθηκαν πληθυσμοί που δεν έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά σε δύο περιοχές (Κόλπος Καλλονής, Κόλπος Λαγανά) (όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 5.2) (Εικόνα 20). Ο πληθυσμός της *P. nobilis* στον Κόλπο της Καλλονής θεωρείται ο μεγαλύτερος πληθυσμός που ζει πιθανότατα ακόμη και σήμερα στην Ανατολική Μεσόγειο. Παρά τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας που εκτιμήθηκαν μετά τον Ιούνιο του 2019 από ευκαιριακές καταγραφές (Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2019: 93,7%, Μάιος-Ιούνιος 2020: 89,2%) - που μεταφράζονται σε εκατοντάδες χιλιάδες νεκρά άτομα - νεαρά άτομα *P. nobilis* καταγράφηκαν στην περιοχή (30,8% των ζωντανών ατόμων που καταγράφηκαν τον Μάιο-Ιούνιο του 2020), γεγονός που φανερώνει επιτυχημένη αναπαραγωγή κατά το 2019 (Zotou et al., 2020). Η συνεχής παρακολούθηση και εκτίμηση της κατάστασης των πληθυσμών αυτών, καθώς και η λήψη μέτρων προστασίας από τις τοπικές αρχές μέσω συνεργασίας φορέων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο με τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένου του ευρύτερου κοινού και της τουριστικής βιομηχανίας, είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση του είδους στο σύνολο του εύρους εξάπλωσής του. Επιπρόσθετα, απαιτούνται πιο πολύπλοκα και συστηματικά προγράμματα συλλογής πληροφορίας για τον εντοπισμό πληθυσμών με ζωντανά άτομα σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά, καθώς και για τον προσδιορισμό της κατάστασής τους, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης παθογόνων ή/και ατόμων με ανθεκτικότητα στη μόλυνση από αυτούς.

Η απόπειρα εξ' αποστάσεως συλλογής τέτοιας πληροφορίας στην παρούσα εργασία, δυστυχώς, δεν οδήγησε σε νεότερα δεδομένα για την κατάσταση ή την ύπαρξη τέτοιων πληθυσμών.



Εικόνα 20. Η κατάσταση των πληθυσμών της *P. nobilis* στον Ελλαδικό χώρο, όπως είχε διαμορφωθεί μέχρι το Καλοκαίρι (Ιούνιος) του 2020 (από Zotou et al. 2020).

Η συμμετοχή των πολιτών στην επιστήμη (citizen science) μέσω μιας ειδικής δομημένης διαδικτυακής πλατφόρμας (π.χ. <https://pinnanobilis.eu/>) και μιας σωστής στρατηγικής επαλήθευσης της πληροφορίας έχει αποδειχτεί σε διάφορες περιπτώσεις ότι μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για την κάλυψη του κενού της γνώσης και τη συμβολή πολύτιμων πληροφοριών, βοηθώντας τους επιστήμονες να κατανοήσουν τη χωρο-χρονική πρόοδο του ΓΜΘ και ιδιαίτερα σε μεγάλες χωρικές κλίμακες (Cabanellas-Reboredo et al., 2019; Vazquez-Luis et al., 2017) και σε όλα τα στάδια της διαδικασίας απόκρισης στο ΓΜΘ, από την αρχική ανίχνευση του προβλήματος έως τη συμμετοχή σε δράσεις μετριασμού και παρακολούθησης (Katsanevakis et al., 2019).

5 Βιβλιογραφία

- Acarlı, D., Acarlı, S., Öktener, A., 2020. Mass Mortality Report of Critically Endangered Fan Mussel (*Pinna nobilis*, Linnaeus 1758) from Cunda Island, Ayvalık (Aegean Sea, Turkey). *Acta Natura et Scientia* 1, 109-117.
- Acarlı, S., Acarlı, D., Semih, K., 2021. Current status of critically endangered fan mussel *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) population in Çanakkale Strait, Turkey. *Marine Science and Technology Bulletin*, 62-70.
- Acarlı, S., Lök, A., Acarlı, D., Kırtık, A., 2018. Reproductive cycle and biochemical composition in the adductor muscle of the endangered species fan mussel *Pinna nobilis*, Linnaeus 1758 from the Aegean Sea, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 10, 6506-6518.
- Addis, P., Secci, M., Brundu, G., Manunza, A., Corrias, S., Cau, A., 2009. Density, size structure, shell orientation and epibiotic colonization of the fan mussel *Pinna nobilis* L. 1758 (Mollusca: Bivalvia) in three contrasting habitats in an estuarine area of Sardinia (W Mediterranean). *Scientia Marina* 73, 143-152.
- Alomar, C., Vazquez-Luis, M., Magraner, K., Lozano, L., Deudero, S., 2015. Evaluating stable isotopic signals in bivalve *Pinna nobilis* under different human pressures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 467, 77-86.
- Antoniadou, C., Krestenitis, Y., Chintiroglou, C., 2004. Structure of the “Amphioxus sand” community in Thermaikos bay (Eastern Mediterranean). *Fresenius Environmental Bulletin* 13, 1122-1128.
- Antoniadou, C., Vafidis, D., 2009. Population structure and morphometric relationships of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in the South Aegean Sea.
- Barber, B.J., 2004. Neoplastic diseases of commercially important marine bivalves. *Aquatic Living Resources* 17, 449-466.
- Basso, L., Vázquez-Luis, M., García-March, J.R., Deudero, S., Alvarez, E., Vicente, N., Duarte, C.M., Hendriks, I.E., 2015. The pen shell, *Pinna nobilis*: A review of population status and recommended research priorities in the Mediterranean Sea. *Advances in marine biology* 71, 109-160.
- Betti, F., Venturini, S., Merotto, L., Cappanera, V., Ferrando, S., Aicardi, S., Mandich, A., Castellano, M., Povero, P., 2021. Population trends of the fan mussel *Pinna nobilis* from Portofino MPA (Ligurian Sea, Western Mediterranean Sea) before and after a mass mortality event and a catastrophic storm. *The European Zoological Journal* 88, 18-25.
- Blicher, M.E., Rysgaard, S., Sejr, M.K., 2010. Seasonal growth variation in *Chlamys islandica* (Bivalvia) from sub-Arctic Greenland is linked to food availability and temperature. *Marine Ecology Progress Series* 407, 71-86.
- Braeckman, U., Provoost, P., Gribsholt, B., Van Gansbeke, D., Middelburg, J.J., Soetaert, K., Vincx, M., Vanaverbeke, J., 2010. Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation. *Marine Ecology Progress Series* 399, 173-186.
- Butler, A., Vicente, N., de Gaulejac, B., 1993. Ecology of the pteroid bivalves *Pinna bicolor* Gmelin and *Pinna nobilis* L. *Marine Life (Marseille)* 3, 37-45.
- Cabanellas-Reboredo, M., Deudero, S., Alós, J., Valencia, J., March, D., Hendriks, I.E., Álvarez, E., 2009. Recruitment of *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) on artificial structures. *Marine Biodiversity Records* 2.
- Cabanellas-Reboredo, M., Vázquez-Luis, M., Mourre, B., Álvarez, E., Deudero, S., Amores, Á., Addis, P., Ballesteros, E., Barrañón, A., Coppa, S., 2019. Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: A collaborative effort of scientists and citizens. *Scientific reports* 9, 1-11.
- Camacho-Mondragón, M.A., Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B.P., 2012. Particular features of gonadal maturation and size at first maturity in *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae). *Scientia Marina* 76, 539-548.

- Carella, F., Aceto, S., Pollaro, F., Miccio, A., Iaria, C., Carrasco, N., Prado, P., De Vico, G., 2019. A mycobacterial disease is associated with the silent mass mortality of the pen shell *Pinna nobilis* along the Tyrrhenian coastline of Italy. *Scientific reports* 9, 1-12.
- Carella, F., Elisabetta, A., Simone, F., Fulvio, S., Daniela, M., Prado, P., Rossella, P., Marino, F., Eleonora, F., Tobia, P., 2020. In the wake of the ongoing mass mortality events: Co-occurrence of *Mycobacterium*, *Haplosporidium* and other pathogens in *Pinna nobilis* collected in Italy and Spain (Mediterranean Sea). *Frontiers in Marine Science* 7, 48.
- Catanese, G., Grau, A., Valencia, J.M., Garcia-March, J.R., Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., Deudero, S., Darriba, S., Carballal, M.J., Villalba, A., 2018. *Haplosporidium pinnae* sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. *Journal of invertebrate pathology* 157, 9-24.
- Centoducati, G., Tarsitano, E., Bottalico, A., Marvulli, M., Lai, O.R., Crescenzo, G., 2007. Monitoring of the endangered *Pinna nobilis* Linne, 1758 in the Mar Grande of Taranto (Ionian sea, Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 131, 339-347.
- Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C.N., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology letters* 3, 284-293.
- Cheung, S., Shin, P., 2005. Size effects of suspended particles on gill damage in green-lipped mussel *Perna viridis*. *Marine pollution bulletin* 51, 801-810.
- CINAR, M.E., BİLECENOĞLU, M., YOKEŞ, M.B., GÜÇLÜSOY, H., 2021. *Pinna nobilis* in the south Marmara Islands (Sea of Marmara); still remains uninfected by the epidemic and acts as egg laying substratum for an alien invader. *Mediterranean Marine Science*.
- Čižmek, I.Z., Stipić, S., Čižmek, H., Mocos, M., 2020. Fast, Not Furious-Adaptation of the Species List and Fish Size Classes for Fish Assemblage Survey Technique (FAST) for the Adriatic Sea. *Croatian Journal of Fisheries* 78, 195-202.
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F.B.R., Aguzzi, J., Ballesteros, E., Bianchi, C.N., Corbera, J., Dailianis, T., 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PloS one* 5, e11842.
- Coppa, S., de Lucia, G.A., Magni, P., Domenici, P., Antognarelli, F., Satta, A., Cucco, A., 2013. The effect of hydrodynamics on shell orientation and population density of *Pinna nobilis* in the Gulf of Oristano (Sardinia, Italy). *Journal of Sea Research* 76, 201-210.
- Coppa, S., Guala, I., de Lucia, G.A., Massaro, G., Bressan, M., 2010. Density and distribution patterns of the endangered species *Pinna nobilis* within a *Posidonia oceanica* meadow in the Gulf of Oristano (Italy). *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90, 885.
- Cox, L., Hertlein, L., Newell, N., Boyd, D., Branson, C., Casey, R., Chavan, A., Coogan, A., Dechaseaux, C., Fleming, C., 1969. Superfamily Pinnacea Leach, 1819. *Treatise on Invertebrate Paleontology*.
- Darriba, S., 2017. First haplosporidan parasite reported infecting a member of the Superfamily Pinnoidea (*Pinna nobilis*) during a mortality event in Alicante (Spain, Western Mediterranean). *Journal of invertebrate pathology* 148, 14-19.
- Davenport, J., Ezgeta-Balić, D., Peharda, M., Skejić, S., Ninčević-Gladan, Ž., Matijević, S., 2011. Size-differential feeding in *Pinna nobilis* L.(Mollusca: Bivalvia): exploitation of detritus, phytoplankton and zooplankton. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 246-254.
- Deudero, S., Grau, A., Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Alomar, C., Hendriks, I., 2017. Reproductive investment of the pen shell *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 in Cabrera National Park (Spain). *Mediterranean Marine Science* 18, 271-284.
- Deudero, S., Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., 2015. Human stressors are driving coastal benthic long-lived sessile fan mussel *Pinna nobilis* population structure more than environmental stressors. *PloS one* 10, e0134530.
- Eleftheriou, A., 2013. *Methods for the study of marine benthos*. John Wiley & Sons.

- Fariñas-Franco, J.M., Sanderson, W.G., Roberts, D., 2016. Phenotypic differences may limit the potential for habitat restoration involving species translocation: a case study of shape ecophenotypes in different populations of *Modiolus modiolus* (Mollusca: Bivalvia).
- Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J.L., 2011. Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669, 21-33.
- Foulquié, M., Dupuy de la Grandrive, R., Dalias, N., Vicente, N., 2020. Inventaire et état de santé des populations de *Pinna nobilis* (L. 1758) dans l'étang de Thau (Hérault, France). *Marinelife-revue*. fr-2020, 1-25.
- Galinou-Mitsoudi, S., Vlahavas, G., Papoutsis, O., 2006. Population study of the protected bivalve *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) in Thermaikos Gulf (north Aegean Sea). *Journal of Biological Research* 5, 47-53.
- García-March, J., Márquez-Aliaga, A., Carter, J., 2008. The duplivincular ligament of Recent *Pinna nobilis* L., 1758: further evidence for pterineid ancestry of the Pinnoidea. *Journal of Paleontology* 82, 621-627.
- García-March, J., Pérez-Rojas, L., García-Carrascosa, A., 2007a. Influence of hydrodynamic forces on population structure of *Pinna nobilis* L., 1758 (Mollusca: Bivalvia): The critical combination of drag force, water depth, shell size and orientation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 342, 202-212.
- García-March, J.R., García-Carrascosa, A., Cantero, A.P., Wang, Y.-G., 2007b. Population structure, mortality and growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at different depths in Moraira bay (Alicante, Western Mediterranean). *Marine Biology* 150, 861-871.
- García-March, J.R., Kersting, D.K., 2006. Preliminary data on the distribution and density of *Pinna nobilis* and *Pinna rudis* in the Columbretes Islands Marine Reserve (Western Mediterranean, Spain). *Org. Divers. Evol* 6, 06-16.
- García-March, J.R., Marquez-Aliaga, A., 2007. *Pinna nobilis* L., 1758 age determination by internal shell register. *Marine Biology* 151, 1077-1085.
- García-March, J.R., Marquez-Aliaga, A., Wang, Y.-G., Surge, D., Kersting, D.K., 2011. Study of *Pinna nobilis* growth from inner record: How biased are posterior adductor muscle scars estimates? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407, 337-344.
- García-March, J.R., Tena, J., Henandis, S., Vázquez-Luis, M., López, D., Téllez, C., Prado, P., Navas, J.I., Bernal, J., Catanese, G., 2020. Can we save a marine species affected by a highly infective, highly lethal, waterborne disease from extinction? *Biological Conservation* 243, 108498.
- García March, J.R., 2005. Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna Nobilis* Linneo, 1758 (Mollusca bivalvia) en el litoral mediterráneo ibérico.
- Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonné, P., Cigliano, M., Díaz, D., Harmelin, J.G., Gambi, M.C., Kersting, D., 2009. Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global change biology* 15, 1090-1103.
- Giantsis, I., Kravva, N., Apostolidis, A., 2012. Genetic characterization and evaluation of anthropogenic impacts on genetic patterns in cultured and wild populations of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from Greece. *Genetics and Molecular Research* 11, 3814-3823.
- Gómez-Alba, J., 1988. Guía de Campo de los Fósiles de España y de Europa. Ediciones Omega.
- Harley, C.D., Randall Hughes, A., Hultgren, K.M., Miner, B.G., Sorte, C.J., Thornber, C.S., Rodriguez, L.F., Tomanek, L., Williams, S.L., 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology letters* 9, 228-241.
- Hendriks, I.E., Cabanellas-Reboredo, M., Bouma, T.J., Deudero, S., Duarte, C.M., 2011. Seagrass meadows modify drag forces on the shell of the fan mussel *Pinna nobilis*. *Estuaries and Coasts* 34, 60-67.
- Hendriks, I.E., Sintés, T., Bouma, T.J., Duarte, C.M., 2008. Experimental assessment and modeling evaluation of the effects of the seagrass *Posidonia oceanica* on flow and particle trapping. *Marine Ecology Progress Series* 356, 163-173.

- Horton, T., Kroh, A., Ahyong, S., et al., 2021. World Register of Marine Species (WoRMS). WoRMS Editorial Board.
- Jordà, G., Marbà, N., Duarte, C.M., 2012. Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming. *Nature Climate Change* 2, 821-824.
- Karagiannis, D., Michaelidis, B., Theodoridis, A., Angelidis, P., Feidantsis, K., Staikou, A., 2018. Field studies on the effects of *Marteilia* sp. on growth of mussel *Mytilus galloprovincialis* in Thermaikos Gulf. *Marine environmental research* 142, 116-123.
- Katsanevakis, S., 2005. Population ecology of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in a marine lake. *Endangered species research* 1, 51-59.
- Katsanevakis, S., 2007a. Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: the *Pinna nobilis* example in a marine lake. *Marine Biology* 152, 77-85.
- Katsanevakis, S., 2007b. Growth and mortality rates of the fan mussel *Pinna nobilis* in Lake Vouliagmeni (Korinthiakos Gulf, Greece): a generalized additive modelling approach. *Marine Biology* 152, 1319-1331.
- Katsanevakis, S., 2016. Transplantation as a conservation action to protect the Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*. *Marine Ecology Progress Series* 546, 113-122.
- Katsanevakis, S., Lefkaditou, E., Galinou-Mitsoudi, S., Koutsoubas, D., Zenetos, A., 2008. Molluscan species of minor commercial interest in Hellenic seas: distribution, exploitation and conservation status. *Mediterranean marine science* 9, 77-118.
- Katsanevakis, S., Poursanidis, D., Issaris, Y., Panou, A., Petza, D., Vassilopoulou, V., Chalداiou, I., Sini, M., 2011. "Protected" marine shelled molluscs: thriving in Greek seafood restaurants. *Mediterranean Marine Science* 12, 429-438.
- Katsanevakis, S., Thessalou-Legaki, M., 2009. Spatial distribution, abundance and habitat use of the protected fan mussel *Pinna nobilis* in Souda Bay, Crete. *Aquatic Biology* 8, 45-54.
- Katsanevakis, S., Tsirintanis, K., Tsaparis, D., Doukas, D., Sini, M., Athanassopoulou, F., Kolygas, M.N., Tontis, D., Koutsoubas, D., Bakopoulos, V., 2019. The cryptogenic parasite *Haplosporidium pinnae* invades the Aegean Sea and causes the collapse of *Pinna nobilis* populations. *Aquatic Invasions* 14.
- Katsanevakis, S., Verriopoulos, G., Nicolaidou, A., Thessalou-Legaki, M., 2007a. Effect of marine litter on the benthic megafauna of coastal soft bottoms: a manipulative field experiment. *Marine pollution bulletin* 54, 771-778.
- Katsanevakis, S., Xanthopoulos, J., Protopapas, N., Verriopoulos, G., 2007b. Oxygen consumption of the semi-terrestrial crab *Pachygrapsus marmoratus* in relation to body mass and temperature: an information theory approach. *Marine biology* 151, 343-352.
- Katsares, V., Tsiora, A., Galinou-Mitsoudi, S., Imsiridou, A., 2008. Genetic structure of the endangered species *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) inferred from mtDNA sequences. *Biologia* 63, 412-417.
- Keeling, R.F., Körtzinger, A., Gruber, N., 2009. Ocean deoxygenation in a warming world.
- Kennish, M.J., Paerl, H.W., 2010. Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. CRC Press.
- Kersting, D., Benabdi, M., Cizmek, H., Grau, A., Jimenez, C., Katsanevakis, S., Ozturk, B., Tuncer, S., 2020. *Pinna Nobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019.
- Kersting, D.K., García-March, J.R., 2017. Long-term assessment of recruitment, early stages and population dynamics of the endangered Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis* in the Columbretes Islands (NW Mediterranean). *Marine environmental research* 130, 282-292.
- Kožul, V., Glavić, N., Bolotin, J., Antolović, N., 2012. Growth of the fan mussel *Pinna nobilis* (Linnæus, 1758) (Mollusca: Bivalvia) in experimental cages in the South Adriatic Sea. *Aquaculture Research* 44, 31-40.
- Kroeker, K.J., Kordas, R.L., Crim, R., Hendriks, I.E., Ramajo, L., Singh, G.S., Duarte, C.M., Gattuso, J.P., 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global change biology* 19, 1884-1896.

- Lande, R., 1993. Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes. *The American Naturalist* 142, 911-927.
- Lattos, A., Giantsis, I.A., Karagiannis, D., Michaelidis, B., 2020a. First detection of the invasive Haplosporidian and Mycobacteria parasites hosting the endangered bivalve *Pinna nobilis* in Thermaikos Gulf, North Greece. *Marine environmental research* 155, 104889.
- Lattos, A., Giantsis, I.A., Karagiannis, D., Theodorou, J.A., Michaelidis, B., 2020b. Gut Symbiotic Microbial Communities in the IUCN Critically Endangered *Pinna nobilis* Suffering from Mass Mortalities, Revealed by 16S rRNA Amplicon NGS. *Pathogens* 9, 1002.
- Lutz, R.A., Rhoads, D.C., 1980. Growth patterns within the molluscan shell-An overview.
- Lykousis, V., Chronis, G., 1989. Mechanisms of sediment transport and deposition: sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos plateau, the continental slope, and basin (Sporadhes basin), northwestern Aegean sea, Greece. *Marine Geology* 87, 15-26.
- Malea, P., Haritonidis, S., 2000. Use of the green alga *Ulva rigida* C. Agardh as an indicator species to reassess metal pollution in the Thermaikos Gulf, Greece, after 13 years. *Journal of Applied Phycology* 12, 169-176.
- Marbà, N., Duarte, C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global Change Biology* 16, 2366-2375.
- Marrocco, V., Zangaro, F., Sicuro, A., Pinna, M., 2019. A scaling down mapping of *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) through the combination of scientific literature, NATURA 2000, grey literature and citizen science data. *Nature Conservation* 33, 21.
- Morton, B., Puljas, S., 2019. An improbable opportunistic predator: the functional morphology of *Pinna nobilis* (Bivalvia: Pterioidea: Pinnidae). *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 99, 359-373.
- Munguia, P., 2004. Successional patterns on pen shell communities at local and regional scales. *Journal of Animal Ecology* 73, 64-74.
- Öndes, F., Kaiser, M.J., Güçlüsoy, H., 2020. Human impacts on the endangered fan mussel, *Pinna nobilis*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30, 31-41.
- Özalp, H.B., Kersting, D.K., 2020. A pan-Mediterranean extinction? *Pinna nobilis* mass mortality has reached the Turkish straits system. *Marine Biodiversity* 50, 1-2.
- Palmer, M.V., Welsh, M.D., Hostetter, J.M., 2011. Mycobacterial diseases of animals. Hindawi.
- Panarese, R., Tedesco, P., Chimienti, G., Latrofa, M.S., Quaglio, F., Passantino, G., Buonavoglia, C., Gustinelli, A., Tursi, A., Otranto, D., 2019. Haplosporidium pinnae associated with mass mortality in endangered *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) fan mussels. *Journal of invertebrate pathology* 164, 32-37.
- Passarelli, C., Olivier, F., Paterson, D.M., Meziane, T., Hubas, C., 2014. Organisms as cooperative ecosystem engineers in intertidal flats. *Journal of Sea Research* 92, 92-101.
- Poulos, S., Chronis, G.T., Collins, M., Lykousis, V., 2000. Thermaikos Gulf coastal system, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. *Journal of Marine Systems* 25, 47-76.
- Prado, P., Caiola, N., Ibáñez, C., 2014. Habitat use by a large population of *Pinna nobilis* in shallow waters. *Scientia Marina* 78, 555-565.
- Prado, P., Carrasco, N., Catanese, G., Grau, A., Cabanes, P., Carella, F., García-March, J.R., Tena, J., Roque, A., Bertomeu, E., 2020. Presence of *Vibrio mediterranei* associated to major mortality in stabled individuals of *Pinna nobilis* L. *Aquaculture* 519, 734899.
- Prado, P., Grau, A., Catanese, G., Cabanes, P., Carella, F., Fernández-Tejedor, M., Andree, K.B., Añón, T., Hernandis, S., Tena, J., 2021. *Pinna nobilis* in suboptimal environments are more tolerant to disease but more vulnerable to severe weather phenomena. *Marine Environmental Research* 163, 105220.
- Przeslawski, R., Davis, A., Benkendorff, K., 2005. Synergistic effects associated with climate change and the development of rocky shore molluscs. *Global Change Biology* 11, 515-522.

- Rabaoui, L., Belgacem, W., Ismail, D.B., Mansour, L., Tlig-Zouari, S., 2015. Engineering effect of *Pinna nobilis* shells on benthic communities. *Oceanologia* 57, 271-279.
- Rabaoui, L., Tlig-Zouari, S., Cosentino, A., Hassine, O.K.B., 2009. Associated fauna of the fan shell *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) in the northern and eastern Tunisian coasts. *Scientia Marina* 73, 129-141.
- Rabaoui, L., Zouari, S.T., Katsanevakis, S., Hassine, O.K.B., 2007. Comparison of absolute and relative growth patterns among five *Pinna nobilis* populations along the Tunisian coastline: an information theory approach. *Marine Biology* 152, 537-548.
- Richardson, C., Kennedy, H., Duarte, C., Kennedy, D., Proud, S., 1999. Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Marine Biology* 133, 205-212.
- Richardson, C., Peharda, M., Kennedy, H., Kennedy, P., Onofri, V., 2004. Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg: Ca and Sr: Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 299, 1-16.
- Rouanet, E., Trigos, S., Vicente, N., 2015. From youth to death of old age: the 50-year story of a *Pinna nobilis* fan mussel population at Port-Cros Island (Port-Cros National Park, Provence, Mediterranean Sea). *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park* 29, 209-222.
- Russo, P., 2017. Lagoon malacofauna: results of malacological research in the Venice Lagoon. *Boll. Malacol* 53, 49-62.
- Šarić, T., Župan, I., Aceto, S., Villari, G., Palić, D., De Vico, G., Carella, F., 2020. Epidemiology of noble pen shell (*Pinna nobilis* L. 1758) mass mortality events in adriatic sea is characterised with rapid spreading and acute disease progression. *Pathogens* 9, 776.
- Schultz, P.W., Huber, M., 2013. Revision of the worldwide Recent Pinnidae and some remarks on fossil European Pinnidae. *ConchBooks*.
- Siletic, T., Peharda, M., 2003. Population study of the fan shell *Pinna nobilis* L. in Malo and Veliko Jezero of the Mljet National Park (Adriatic Sea). *Scientia Marina* 67, 91-98.
- Simide, R., Couvray, S., Vicente, N., 2019. Présence de *Pinna nobilis* (L. 1758) dans l'étang littoral de Diana (Corse). *Mar.-Rev* 2019, 1-4.
- Sini, M., Katsanevakis, S., Koukourouvli, N., Gerovasileiou, V., Dailianis, T., Buhl-Mortensen, L., Damalas, D., Dendrinou, P., Dimas, X., Frantzis, A., 2017. Assembling ecological pieces to reconstruct the conservation puzzle of the Aegean Sea. *Frontiers in Marine Science* 4, 347.
- Sureda, A., Tejada, S., Box, A., Deudero, S., 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbon levels and measures of oxidative stress in the Mediterranean endemic bivalve *Pinna nobilis* exposed to the Don Pedro oil spill. *Marine pollution bulletin* 71, 69-73.
- Theodorou, J.A., James, R., Tagalis, D., TZOVENIS, I., Hellio, C., Katselis, G., 2017. Density and size structure of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758), in the shallow water zone of Maliakos Gulf, Greece. *Acta Adriatica* 58.
- Theodorou, J.A., James, R., Tzovenis, I., Hellio, C., 2015. The recruitment of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) on the ropes of a Mediterranean mussel long line farm. *Journal of Shellfish Research* 34, 409-414.
- Trigos, S., García-March, J., Vicente, N., Tena, J., Torres, J., 2014. Utilization of muddy detritus as organic matter source by the fan mussel *Pinna nobilis*. *Mediterranean Marine Science* 15, 667-674.
- Trigos, S., Vicente, N., Prado, P., Espinós, F.J., 2018. Adult spawning and early larval development of the endangered bivalve *Pinna nobilis*. *Aquaculture* 483, 102-110.
- Tsatiris, A., Papadopoulos, V., Makri, D., TOPOUZELIS, K., Manoutsoglou, E., Hasiotis, T., Katsanevakis, S., 2018. Spatial distribution, abundance and habitat use of the endemic Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis* in Gera Gulf, Lesvos (Greece): comparison of design-based and model-based approaches. *Mediterranean Marine Science* 19, 642-655.

- Vazquez-Luis, M., Álvarez, E., Barrajon, A., Garcia-March, J.R., Grau, A., Hendriks, I.E., Jiménez, S., Kersting, D., Moreno, D., Perez, M., 2017. SOS *Pinna nobilis*: a mass mortality event in western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science* 4, 220.
- Voultsiadou, E., 2009. Reevaluating sponge diversity and distribution in the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 628, 1-12.
- Wesselmann, M., González-Wangüemert, M., Serrão, E.A., Engelen, A.H., Renault, L., García-March, J.R., Duarte, C.M., Hendriks, I.E., 2018. Genetic and oceanographic tools reveal high population connectivity and diversity in the endangered pen shell *Pinna nobilis*. *Scientific reports* 8, 1-11.
- Yonge, M., 1953. Form and habit in *Pinna carnea* Gmelin. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 237, 335-374.
- Zakhama-Sraieb, R., Sghaier, Y., Omrane, A., Charfi Cheikhrouha, F., 2011. Density and population structure of *Pinna nobilis* (Mollusca, Bivalvia) in the Ghar El Melh lagoon (NE Tunisia).
- Zavodnik, D., 1967. Contribution to the ecology of *pinna nobilis* L.(moll. hivalvia) in the northern Adriatic. JAZU.
- Zavodnik, D., Hrs-Brenko, M., Legac, M., 1991. Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*, 169-178.
- Zervakis, V., Karageorgis, A., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V., Lykousis, V., 2005. Hydrology, circulation and distribution of particulate matter in Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea), during September 2001–October 2001 and February 2002. *Continental Shelf Research* 25, 2332-2349.
- Zotou, M., Gkrantounis, P., Karadimou, E., Tsirintanis, K., Sini, M., Poursanidis, D., Azzolin, M., Dailianis, T., Kytinou, E., Issaris, Y., 2020. *Pinna nobilis* in the Greek seas (NE Mediterranean): on the brink of extinction? *Mediterranean Marine Science* 21, 575-591.
- Αθανασούλη, Α., 2010. Η παραγωγή του μυδιού *Mytilus Galloprovincialis* στην Ελλάδα και η αξιοποίησή του.
- Λεγάκις, Α., Μαραγκού, Π., 2009. Το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας. Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα 528.
- Παπαθανασίου, Ε., 2016. Διαχειριστική μελέτη των ζωνών παράγωγης μυδιών των Κόλπων Θεσσαλονίκης και Θερμαϊκού.
- Χαριτωνίδης, Σ., 1978. Συμβολή στην έρευνα των πληθυσμών των βενθικών μακροφύκων (χλωροφύκων, φαιοφύκων και ροδοφύκων) του Θερμαϊκού Κόλπου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Βιολογίας.

6 Παραρτήματα

Παράρτημα Ι – Πίνακας πρωτογενών δεδομένων

Πίνακας 2. Περιγραφικά στοιχεία και δεδομένα δειγματοληψίας για την περιοχή μελέτης, όπως αυτά προέκυψαν από την ανεξάρτητη δράση των τριών ερευνητικών ομάδων.

Σταθμός	Συντεταγμένες N	Συντεταγμένες E	Ημ/νία (μήνας/ημέρα /έτος)	Περιοχή	Θαλάσσια έκταση	Βάθος_m	Νεκρά άτομα	Ζωντανά άτομα	Σύνολο ατόμων	Νεαρά μεταξύ των ζωντανών	Κυρίαρχοι Οικότοποι	Πηγή
D1	40.5503640	22.9788220	5/15/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	7-8	0	85	85	15	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D2	40.5153630	22.9373540	5/15/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	7-8	0	65	65	20	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D7	40.5122480	22.8302060	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	5-9	35	320	355	0	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D2'	40.5153630	22.9373540	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	4-6	40	191	231	15	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows with big stones	Zotou <i>et al.</i> 2020
D6	40.5398510	22.9751610	7/19/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	4-6	20	66	86	10	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D1'	40.5505810	22.9765040	7/20/2019	Inner Thermaikos Gulf	Thermaikos Gulf	4-6	52	44	96	0	Sandy bottom with <i>C. nodosa</i> meadows	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D11	39.9139590	23.6541650	9/6/2019	Loutra (Paliouri, Avlaki area), Κασσάνδρα, Chalkidiki Prefecture	Thermaikos gulf	18	5	0	5	0	Posidonia mixed with rocks, boulders	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D10	39.9533060	23.6844590	9/27/2019	Paliouri (Porto Valitsa area), Chalkidiki Prefecture	Thermaikos gulf	10-13	18	0	18	0	Posidonia Mixed (sandy with rocks, boulders)	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D16	40.5623710	22.7558460	10/7/2019	Chalastra (Aliankmonas - Loudias Delta), Thessaloniki Prefecture	Thermaikos gulf	0-1.5	0	0	0	0	Cystoseira sp. (40% coverage), silt substrate	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D17	40.5640810	22.7837840	10/7/2019	Chalastra (Aliankmonas - Loudias Delta), Thessaloniki Prefecture	Thermaikos gulf	0-1.5	0	0	0	0	Cystoseira sp. (30% coverage), silt substrate	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D18	40.6183990	22.8351420	10/7/2019	Chalastra (Axios - Gallikos Delta), Thessaloniki Prefecture	Thermaikos gulf	0-1.5	0	0	0	0	Cystoseira sp. (30% coverage), silt substrate	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D22	40.4470410	22.6009700	10/19/2019	Methoni, Pieria Prefecture	Thermaikos gulf	0.5-3	0	0	0	0	Zostera sp. (?) (90 % coverage), Sandy substrate mixed with small rocks	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής

D15	40.3769910	22.6333820	10/19/2019	Alyki (Kitros salt marshes), Pieria Prefecture	Thermaikos gulf	0.5-4	110	0	110	0	Cymodocea nodosa (70 % coverage), Sandy substrate	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D12	40.2442790	23.3638140	3/4/2020	Agios Mamas, Toronean Gulf	Toronean Gulf	8-10	15	0	15	0	Sandy bottom with Posidonia oceanica meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D13	40.2657230	23.4426730	3/4/2020	Gerakini	Toronean Gulf	5-10	23	0	23	0	Sandy bottom with Posidonia oceanica meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D14	40.2323960	23.5239050	3/4/2020	Nisi	Toronean Gulf	8-10	7	0	7	0	Rocky substrate	Zotou <i>et al.</i> 2020
D10'	39.9537420	23.6839550	3/4/2020	Porto Valitsa	Toronean Gulf	4-10	12	0	12	0	Sandy bottom with Posidonia oceanica meadows	Zotou <i>et al.</i> 2020
D2''	40.5144470	22.9390270	6/11/2020	Peraia Thessalonikis	Inner Thermaikos Gulf	0-3	254	0	254	0	Cymodocea nodosa meadow	Zotou <i>et al.</i> 2020
D9'	40.4416250	22.8640360	6/12/2020	Epanomi	Outer Thermaikos Gulf	0-3	486	0	486	0	Cymodocea nodosa meadow	Zotou <i>et al.</i> 2020
D2'''	40.5144690	22.9373120	12/19/2020	Peraia Thessalonikis	Thermaikos gulf	0.5-3	992	0	992	0	Sandy; Mixed (sandy with rocks, boulders) with Cymodocea nodosa meadows	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής
D4'	40.5774490	22.9408150	12/22/2020	Plazz Aretsous	Thermaikos gulf	1-4	325	0	325	0	Sandy bottom with Cymodocea nodosa meadows	Πρωτογενή δεδομένα παρούσας διατριβής

Παράρτημα ΙΙ – Λίστα επικοινωνίας με ιδιώτες, φορείς, ινστιτούτα, συλλόγους

Πίνακας 3. Λίστα ιδιωτών, φορέων, ινστιτούτων και συλλόγων για επικοινωνία ανά περιοχή ενδιαφέροντος με σκοπό τη συλλογή πληροφορίας για την ύπαρξη ζωντανών ατόμων *Rhinna nobilis*.

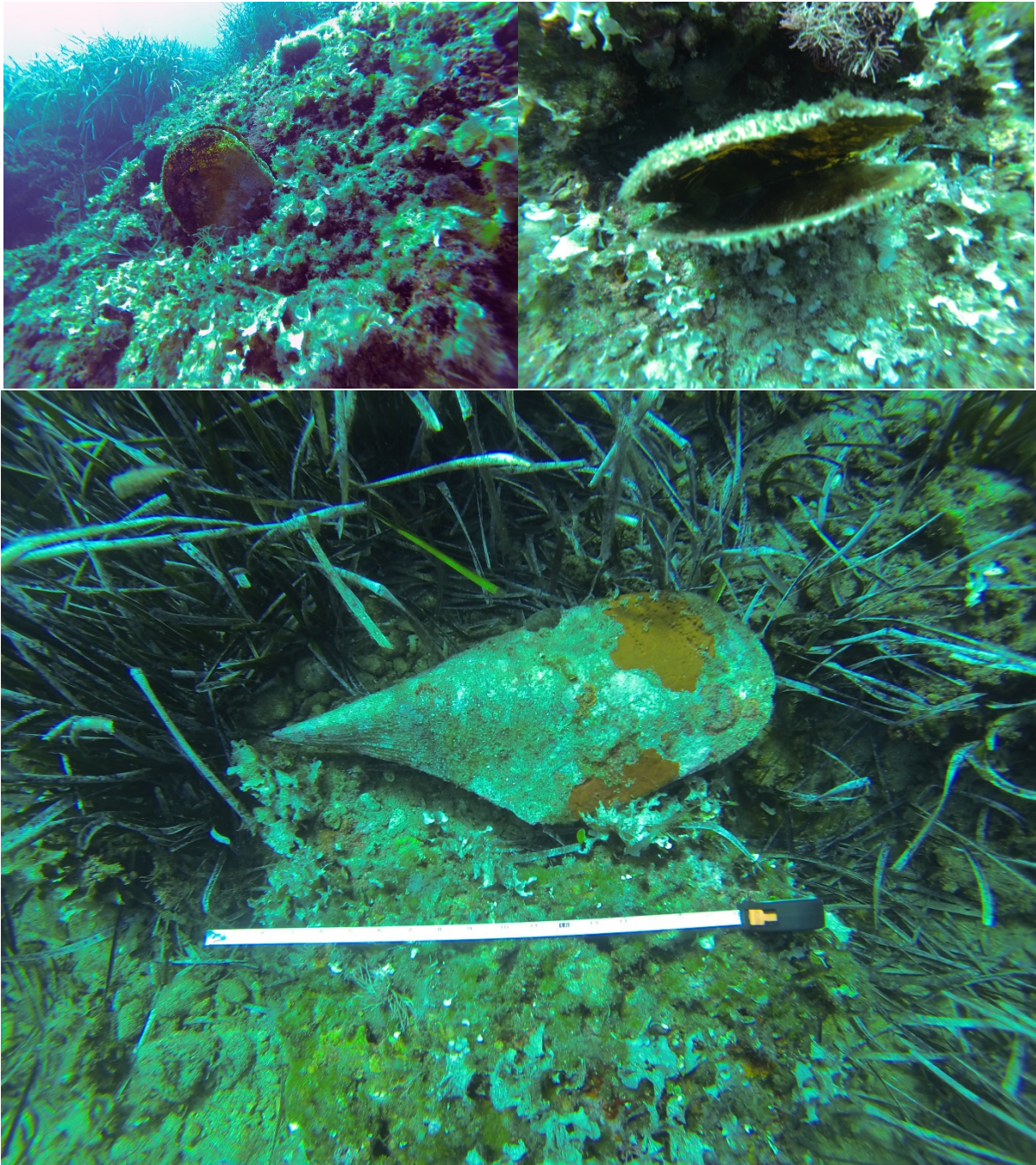
Περιοχή/Λιμνοθάλασσα	Ινστιτούτο, Φορέας, Ιδιώτης
Πρέβεζα/Αμβρακικού	Καταδυτικό Κέντρο - PACIFIC OCEAN
Μεσολόγγι/Μεσολογγίου	Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ
Αιτωλικό/Μεσολογγίου	Φορέας Διαχείρισης Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου-Ακαρνανικών Ορέων
Θερμαϊκός Κόλπος	Οστρία Α.Ε. Ομάδα Παραγωγών Μυδιών
Θερμαϊκός Κόλπος/Πιερία	ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΣ ΜΥΔΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΩΝ ΜΑΚΡΥΓΙΑΛΟΥ ΠΙΕΡΙΑΣ
Κάρπαθος/Κόλπος Τρίστομο	Φορέας Διαχείρισης Καρπάθου Σαρίας
Λίμνη Βιστωνίδα	Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Νέστου-Βιστωνίδας-Ισμαρίδας
Παγασητικός Κόλπος	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
Παγασητικός Κόλπος	Σύλλογος Αυτοδυτών Βόλου

Παράρτημα III – Φωτογραφικό υλικό δειγματοληψιών: Πληθυσμοί του είδους *P. nobilis* στις περιοχές δειγματοληψίας.

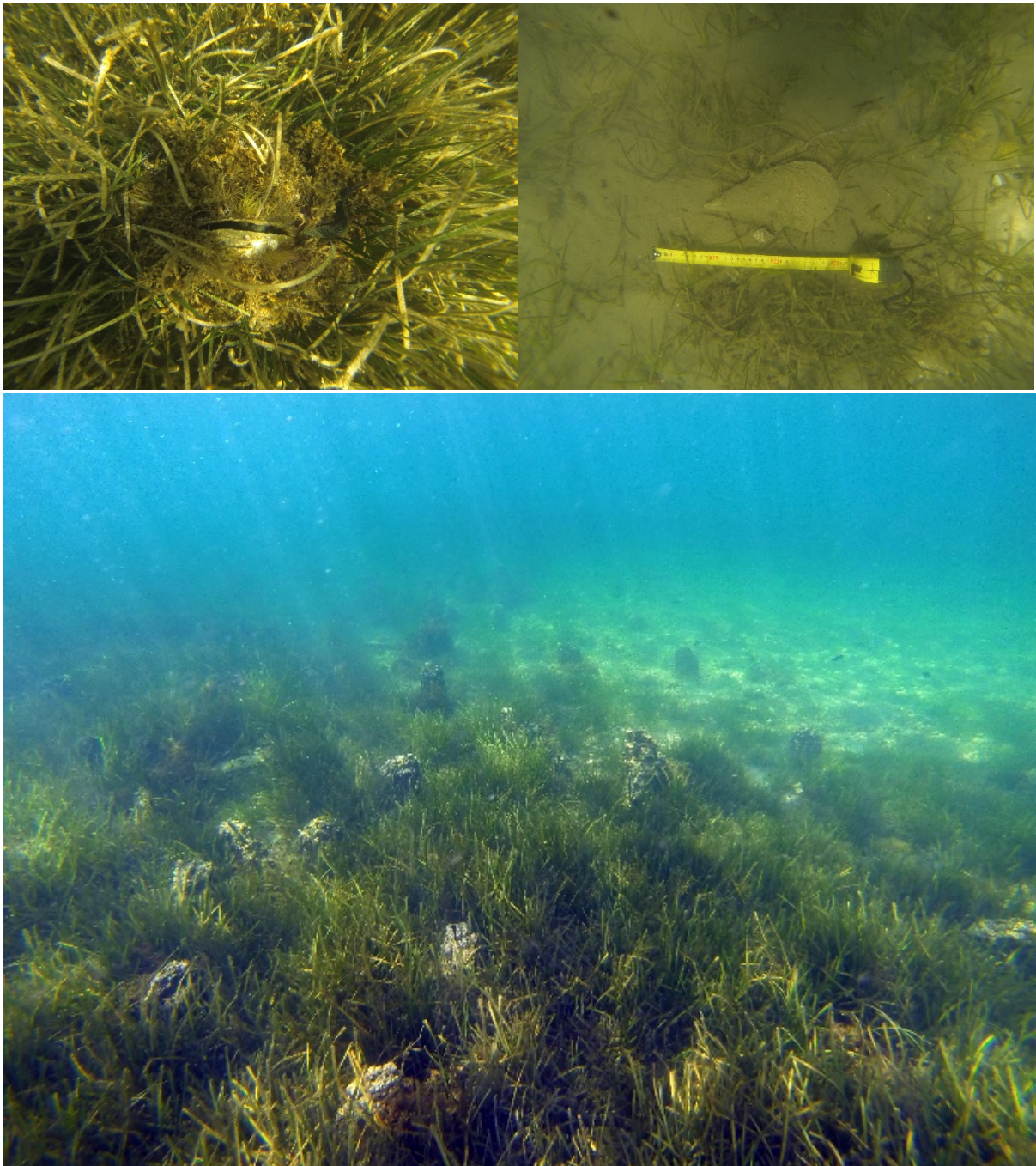
1. Πληθυσμός *P. nobilis* στις Αλυκές Κίτρους (Πιερία) (φωτογραφίες: Ε. Καραδήμου, 19.10.2019).



2. Πληθυσμός *P. nobilis* στο Παλιούρι Χαλκιδικής, θέση Αυλάκι (φωτογραφία: Ε. Καραδήμου, 27.09.2019).



3. Πληθυσμός *P. nobilis* στο Αγγελοχώρι Θεσ/νίκης (φωτογραφία: Ε. Καραδήμου, 13.08.2019).





4. Πληθυσμός *P. nobilis* στην Επανομή, (φωτογραφία: Ε. Καραδήμου, 13.08.2019).



