



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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Θαλάσσια απορρίμματα και επιπτώσεις στους ιχθυοπληθυσμούς»



Γεώργιος Κάντας

ΒΟΛΟΣ 2022



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND
AQUATIC ENVIRONMENT**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

« Marine litter and its effects on fish populations »



Georgios Kantas

VOLOS 2022

Εικόνα εξωφύλλου. Ψάρια σε εγκαταλελειμμένα δίχτυα

(<https://www.dreamstime.com/ghost-nets-commercial-fishing-have-been-lost-abandoned-discarded-sea-left-ocean-fishermen-often-image143888725>)

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Μαραβέλιας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ιχθυολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*.

2) Εξαδάκτυλος Αθανάσιος, Καθηγητής, Γενετική Υδροβίων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

3) Γκάφας Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μοριακή Βιολογία της Διατήρησης Θαλάσσιων Θηλαστικών και Ιχθυοαποθεμάτων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των απορριμμάτων, γενικώς, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Τα θαλάσσια απορρίμματα είναι μια συνιστώσα αυτού του προβλήματος. Κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες στην ξηρά και απορρίπτονται απ' ευθείας στη θάλασσα ή στις ακτές απ' όπου εύκολα καταλήγουν στη θάλασσα με τη βοήθεια του ανέμου ή τις απορροές ομβρίων υδάτων ή του παλινδρομικού κυματισμού. Λιγότερα θαλάσσια απορρίμματα δημιουργούνται στη θάλασσα από ναυτιλιακές ή αλιευτικές δραστηριότητες ή δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας. Υπάρχουν πολλοί τύποι θαλάσσιων απορριμμάτων αλλά σε παγκόσμια κλίμακα έχει αποδειχθεί πλέον ότι κυριαρχούν τα συνθετικά οργανικά πολυμερή, γνωστά ως πλαστικά. Τα πλαστικά δημιουργούν προβλήματα στους ιχθυοπληθυσμούς μέσω εμπλοκής ψαριών σ' αυτά, μέσω κατάποσης αυτών από τα ψάρια και μέσω πνιγμού της θάλασσας χλωρίδας, ο οποίος πνιγμός ελαττώνει την πρωτογενή παραγωγή. Η εμπλοκή σε εγκαταλειμμένα δίχτυα και ιχθυοπαγίδες οδηγεί τα θύματα σε θάνατο σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι επιπτώσεις της κατάποσης πλαστικών, ιδιαίτερα των μικροπλαστικών και νανοπλαστικών, από τα ψάρια μπορεί να οφείλονται σε μηχανική ή σε τοξική δράση αυτών. Η μηχανική δράση προκαλεί εσωτερικές εκδορές, εντερική απόφραξη και ασφυξία, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της φυσικής κατάστασης και της αναπαραγωγικής τους ικανότητας του οργανισμού, χωρίς να αποκλείεται και ο θάνατος. Η τοξική δράση των πλαστικών κατ' αρχάς οφείλεται στις προσμίξεις τοξικών ουσιών που εμπεριέχονται στα συστατικά τους εξαρχής ή ως πρόσθετα κατά τη διαδικασία παρασκευής τους. Επιπλέον στο θαλάσσιο περιβάλλον επιβαρύνονται ακόμη περισσότερο με την προσρόφηση ή και απορρόφηση έμμονων ρύπων και άλλων μολυσματικών ουσιών που έχουν εισέλθει στη θάλασσα με άλλους

τρόπους. Αυτό το μίγμα τοξικών ουσιών διαταράσσει κρίσιμες διεργασίες του κύκλου ζωής των ψαριών, όπως η διαίρεση των κυττάρων και η έκκριση ορμονών με αποτέλεσμα την πρόκληση νοσηρών καταστάσεων: μείωση ικανότητας αναπαραγωγής και μείωση της ικανότητας αποφυγής των θηρευτών. Τα πλαστικά στο θαλάσσιο περιβάλλον λειτουργούν και ως μεταφορείς μικροοργανισμών από μία περιοχή σε άλλη, αφού έχει αποδειχθεί ότι τα πλαστικά απορρίμματα αποτελούν προσφιλέστατο υπόστρωμα για εποικισμό μικροοργανισμών. Το ζήτημα της κατάποσης πλαστικών από τα ψάρια απασχολεί τα τελευταία χρόνια όλο και πιο έντονα τους ερευνητές και διαρκώς εμπλουτίζεται η βιβλιογραφία με ευρήματα που δείχνουν πολλαπλασιασμό των ειδών (και μάλιστα εμπορικών ειδών) που καταπίνουν πλαστικά. Ιδιαίτερα η κατάποση νανοπλαστικών, λόγω της διείσδυσης αυτών στους ιστούς των ψαριών, ευνοεί τη βιομέθυνση στα ψάρια των ανώτερων επιπέδων της τροφικής αλυσίδας. Παρότι σήμερα δεν είναι σαφείς οι επιπτώσεις στον άνθρωπο από την κατανάλωση ψαριών και γενικότερα θαλάσσιων οργανισμών, που έχουν καταναλώσει μικρές ή μεγαλύτερες ποσότητες πλαστικών, τείνει να γενικευτούν οι φόβοι ότι στο μέλλον θα αναδειχθεί σε σοβαρό πρόβλημα. Εκτός από τα πλαστικά, μία άλλη κατηγορία θαλάσσιων απορριμμάτων που επηρεάζουν αρνητικά τους ιχθυοπληθυσμούς είναι εκείνα που περιέχουν βαρέα μέταλλα (ορισμένα τέτοια μέταλλα περιέχονται και σε κάποιους τύπου πλαστικών). Ποσοτικά τα απορρίμματα αυτά είναι πολύ λιγότερα από τα πλαστικά, αλλά δεν πρέπει να αγνοούνται. Τα βαρέα μέταλλα, όταν προσληφθούν από τα ψάρια σε συγκεντρώσεις που τα καθιστούν τοξικά, προκαλούν αλλοιώσεις στα κύτταρά τους επηρεάζοντας αρνητικά τις φυσιολογικές λειτουργίες τους. Ιδιαίτερα, προκαλούν βλάβες στο νευρικό τους σύστημα και υποβαθμίζουν τις ενζυμικές και ορμονικές διεργασίες τους με δυσμενή αντίκτυπο σε όλες τις βασικές λειτουργίες από την κινητικότητα μέχρι την αναπαραγωγή. Τα βαρέα μέταλλα μπορεί ακόμη να προκαλέσουν αλλεργίες, μεταλλάξεις, τερατογενέσεις και καρκινογενέσεις. Η παρούσα εργασία

με τη βοήθεια επιλεγμένης βιβλιογραφίας αφενός αποτυπώνει την εικόνα των θαλάσσιων απορριμμάτων στη Μεσόγειο Θάλασσα που θεωρείται αντιπροσωπευτικό παράδειγμα του παγκόσμιου προβλήματος της θαλάσσιας ρύπανσης και αφετέρου προσπαθεί να αναδείξει τις επιπτώσεις των θαλάσσιων απορριμμάτων στους ιχθυοπληθυσμούς και, γενικότερα στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Παράλληλα επισημαίνονται οι ανησυχίες των ειδικών επιστημόνων για πιθανές ευρύτερες επιπτώσεις, οι οποίες θα αναδειχθούν στο όχι μακρινό μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: πλαστικά, μικροπλαστικά, βαρέα μέταλλα, εγκαταλελειμμένα αλιευτικά εργαλεία, εμπλοκή, κατάποση.

2 Περιεχόμενα

1	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Ρύπανση – Απορρίμματα (γενικά).....	1
1.2	Θαλάσσια Ρύπανση – Θαλάσσια απορρίμματα.....	3
1.2.1	Θαλάσσια Ρύπανση.....	3
1.2.2	Θαλάσσια απορρίμματα.....	4
1.3	Πηγές θαλάσσιων απορριμμάτων.....	5
1.4	Τύποι θαλάσσιων απορριμμάτων.....	6
1.5	Οδοί μεταφοράς θαλάσσιων απορριμμάτων.....	6
2	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	10
2.1	Απορρίμματα στις παραλίες.....	10
2.2	Επιπλέοντα απορρίμματα στη Μεσόγειο.....	17
2.3	Βενθικά απορρίμματα στη Μεσόγειο.....	19
2.4	Ευαισθητοποίηση του κοινού.....	28
3	ΣΤΕΡΕΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ.....	32
3.1	Πλαστικά.....	32
3.1.1	Επιπτώσεις των πλαστικών απορριμμάτων στους θαλάσσιους οργανισμούς.....	40
3.1.1.1	Εμπλοκή.....	40
3.1.1.2	Πνιγμός και επιπτώσεις του.....	44
3.1.1.3	Κατάποση πλαστικού.....	44
3.1.1.4	Τα πλαστικά ως μεταφορείς ξενικών / χωροκατακτητικών ειδών.....	55
3.2	Μέταλλα.....	56
3.2.1	Υδράργυρος (Hg).....	58
3.2.2	Μόλυβδος (Pb).....	59
3.2.3	Κάδμιο (Cd).....	60
3.2.4	Ψευδάργυρος (Zn).....	61
3.2.5	Χαλκός (Cu).....	61
3.2.6	Χρώμιο (Cr).....	62
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64

5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79
6	ABSTRACT.....	88

1

1

2

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ρύπανση – Απορρίμματα (γενικά)

Στο άρθρο 2, παρ.2 του νόμου υπ' αριθμ. 1650/1986 (ΦΕΚ Α' 160/10-16.10.1986) ως *ρύπανση* του περιβάλλοντος ορίζεται η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις, δηλαδή αρνητικά αποτελέσματα, στην υγεία του ανθρώπου, στους άλλους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις. Ένας άλλος ορισμός της ρύπανσης ο οποίος περιορίζεται στη ρύπανση που προκαλεί ο άνθρωπος στο περιβάλλον, προσπερνώντας τη ρύπανση από φυσικές διεργασίες είναι εκείνος που αναφέρεται στην παρ. 2 του άρθρου 2 της Οδηγίας 96/61/ΕΚ της 24^{ης} Σεπτεμβρίου 1996, σύμφωνα με τον οποίο, ως *ρύπανση* ορίζεται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στην ατμόσφαιρα, το νερό ή το έδαφος, ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, ουσιών, κραδασμών, θερμότητας ή θορύβου που ενδέχεται να θίξουν την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να παραβιάσουν ή να εμποδίσουν την ψυχαγωγική λειτουργία, καθώς και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος.

Μία μορφή ρύπανσης είναι η *μόλυνση* του περιβάλλοντος. Η μόλυνση είναι η μορφή της ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών (άρθρο 2, παρ. 3 του Ν. 1650/1986, Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009, σ. 17).

Η ρύπανση ανάλογα με τον ρύπο που την προκαλεί μπορεί να είναι *χημική* (χημικές ουσίες), *βιολογική* (μικροοργανισμοί), *θερμική* (ακτινοβολία και άλλης μορφής ενέργεια), *ηχητική* (θόρυβος) και μπορεί να προστεθεί ακόμη η *αισθητική* ρύπανση (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009, σ. 17).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να προκληθεί είτε από *φυσικές διεργασίες* (π.χ. ηφαιστειακές δράσεις, πυρκαγιές από κεραυνούς, πλημμυρικά φαινόμενα, βιολογικές δράσεις) είτε από *ανθρωπογενείς δραστηριότητες* (π.χ. βιομηχανία, μέσα μεταφοράς, παραγωγή ενέργειας και μετατροπές της) (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009, σ. 17).

Έχει αποδειχθεί ότι η ρύπανση που προκαλεί η ίδια η φύση αργά ή γρήγορα εξαλείφεται με τους μηχανισμούς που η ίδια αναπτύσσει. Αντίθετα η ρύπανση που προκαλεί ο άνθρωπος είναι πολύ επικίνδυνη και δεν αντιμετωπίζεται εύκολα, καθώς η εξάλειψή της, ή έστω ελάττωσή της, προσκρούει σε οικονομικά ή άλλα συμφέροντα και σε πρόσκαιρη ικανοποίηση αναγκών (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009, σ. 18).

Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/EK (άρθρο 3), όπως τροποποιήθηκε και ισχύει με την παρ. 3 του άρθρου 1 της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/851 και ενσωματώθηκε στο ελληνικό δίκαιο με τον Ν. 4819/22.7.2021 (ΦΕΚ Α 129/23-07-2021), με τον όρο *απορρίμματα* ή *απόβλητα* νοείται κάθε ουσία ή αντικείμενο, το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει. Βάσει της ανωτέρω Οδηγίας τα απόβλητα διακρίνονται σε *επικίνδυνα* και *μη επικίνδυνα*. Ως επικίνδυνα χαρακτηρίζονται τα απόβλητα που εμφανίζουν μία ή περισσότερες από τις παρακάτω επικίνδυνες ιδιότητες που δηλώνει ο τίτλος τους: *εκρηκτικό, τοξικό*

(διάφορες περιπτώσεις τοξικότητας), οξειδωτικό, εύφλεκτο, καρκινογόνο, διαβρωτικό του δέρματος, μολυσματικό, μεταλλαξιογόνο, ευαισθητοποιητικό του δέρματος και των αναπνευστικών οργάνων, οικοτοξικό. Τα απορρίμματα που δεν εμφανίζουν καμία από τις παραπάνω ιδιότητες αποτελούν την ομάδα των μη επικίνδυνων αποβλήτων.

1.2 Θαλάσσια Ρύπανση – Θαλάσσια απορρίμματα

1.2.1 Θαλάσσια Ρύπανση.

Οι γενικοί ορισμοί της ρύπανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω καλύπτουν και τη θαλάσσια ρύπανση περιορίζοντας το περιβάλλον στη θάλασσα, στις ακτές και στις εκβολές των ποταμών. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την Οδηγία 2008/56/ΕΚ (άρθρο 3, παρ. 8) προχώρησαν στην ειδικότερη διατύπωση του ορισμού της θαλάσσιας ρύπανσης, ήτοι: «Ως "[θαλάσσια] ρύπανση" νοείται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή ουσιών ή ενεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον ως αποτέλεσμα ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, μεταξύ των οποίων και ο ανθρωπογενής υποθαλάσσιος θόρυβος, οι επιπτώσεις του οποίου είναι πιθανόν να είναι αρκούντως επιβλαβείς για τους ζωντανούς οργανισμούς και τα θαλάσσια οικοσυστήματα, οδηγώντας ιδίως στην απώλεια βιοποικιλότητας, να θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, να εμποδίζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η αλιεία, ο τουρισμός και η αναψυχή καθώς και άλλες θεμιτές χρήσεις της θάλασσας, να υποβαθμίζουν ποιοτικά τη χρήση του θαλάσσιου νερού και να αμαυρώνουν τα θέλγητρά του ή, γενικότερα, να υποβαθμίζουν την αειφόρο χρήση των θαλάσσιων αγαθών και υπηρεσιών».

Οι κυριότερες κατηγορίες ρύπων, που καταλήγουν στη θάλασσα, είναι:

Τα βαρέα μέταλλα.

Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες.

Οι διάφορες κατηγορίες φυτοπροστατευτικών ουσιών.

Οι συνθετικές οργανικές ενώσεις (απορρυπαντικά, PCBs, φάρμακα κτλ).

Τα απορρίμματα (πλαστικά, μέταλλα, χαρτί, γυαλί, λάστιχα, κεραμικά κ.ά.).

Τα θρεπτικά συστατικά (ενώσεις αζώτου – φωσφόρου).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Τα ραδιενεργά ισότοπα. (Φυτιάνος, 1996, σ. 35-37).

1.2.2 Θαλάσσια απορρίμματα.

Ο αρχικός ορισμός των θαλάσσιων απορριμμάτων δόθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών δια του Προγράμματός του για το Περιβάλλον (United Nations Environment Programme - UNEP). Σύμφωνα με το περιβαλλοντικό πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), θαλάσσια απορρίμματα είναι "κάθε μόνιμο, κατασκευασμένο ή επεξεργασμένο στερεό υλικό που απορρίπτεται, αποτίθεται ή εγκαταλείπεται στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον. Συναπτά με τον ορισμό αποσαφηνίστηκε ότι τα θαλάσσια απορρίμματα αποτελούνται από αντικείμενα που έχουν κατασκευαστεί ή χρησιμοποιηθεί από ανθρώπους και σκόπιμα απορρίπτονται στη θάλασσα ή στα ποτάμια ή στις παραλίες. Στα θαλάσσια απορρίμματα συμπεριλαμβάνονται και αντικείμενα που καταλήγουν στη θάλασσα από τη στεριά παρασυρόμενα από τα όμβρια ύδατα μέσω των ποταμών και των χειμάρρων ή με την επένεργεια του ανέμου. Τέλος στα θαλάσσια απορρίμματα συγκαταλέγονται και τα αντικείμενα που χάνονται σε κακές καιρικές συνθήκες (π.χ. αλιευτικά εργαλεία και εργαλεία υδατοκαλλιέργειας, φορτίο και άλλα αντικείμενα πλοίων) ή χάνονται ακούσια στις παραλίες (UNEP 2009). Ωστόσο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεώρησε τον

παραπάνω ορισμό ελλιπή καθώς δεν περιλάμβανε στα θαλάσσια απορρίμματα και τα ημιστερέα υπολείμματα ορυκτών και φυτικών ελαίων, παραφινών και άλλων χημικών ουσιών, τα οποία υπολείμματα μερικές φορές μολύνουν τις ακτές και τη θάλασσα (Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική, MSFD 2010).

Οι επιπτώσεις των θαλάσσιων απορριμμάτων, ανάλογα με το αντικείμενο που επηρεάζουν, διακρίνονται σε *κοινωνικές*, *οικονομικές* και *οικολογικές*. Στις κοινωνικές περιλαμβάνονται η μείωση της αισθητικής αξίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και οι κίνδυνοι για τη δημόσια ασφάλεια. Στις οικονομικές περιλαμβάνονται οι ζημιές σε σκάφη, εγκαταστάσεις και αλιευτικά εργαλεία, το κόστος καθαρισμού της θάλασσας και των ακτών και, βεβαίως, οι απώλειες από την υποβάθμιση του τουριστικού προϊόντος. Τέλος, στις οικολογικές επιπτώσεις συγκαταλέγονται ο θάνατος ή ο τραυματισμός υδρόβιων οργανισμών μέσω εγκλωβισμού σε εγκαταλελειμμένα αλιευτικά εργαλεία (δίχτυα – φαντάσματα, ιχθυοπαγίδες), οι βλάβες από κατάποση πλαστικών, μικροπλαστικών και άλλων μικρών ή μεγάλων αντικειμένων, και η απελευθέρωση χημικών ουσιών που διευκολύνουν την εισβολή ξενικών ειδών, τα οποία αλλοιώνουν και διαταράσσουν τα οικοσυστήματα και τις βενθικές κοινωνίες (MSFD 2010).

1.3 Πηγές θαλάσσιων απορριμμάτων

Οι πηγές προέλευσης των θαλάσσιων απορριμμάτων κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες: σ' αυτές που βρίσκονται στη χέρσο και σε εκείνες που βρίσκονται στη θάλασσα. Οι χερσαίες πηγές ευθύνονται για το ~ 80% των θαλάσσιων απορριμμάτων (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος 2014).

Α΄. Χερσαίες πηγές. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται παράκτιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τουριστικές παράκτιες εγκαταστάσεις, χερσαίες λιμενικές ζώνες, εγκαταστάσεις για εξυπηρέτηση σκαφών αναψυχής, ναυπηγοεπισκευαστικές ζώνες, ανεξέλεγκτοι χώροι απόθεσης απορριμμάτων κοντά σε ακτές, παράκτιες αστικές δραστηριότητες που απορρίπτουν ανεπεξέργαστα ημιστερεά απόβλητα και αγροτικές / κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Οι παραπάνω πηγές αποτελούν τις κυριότερες χερσαίες πρωτογενείς πηγές θαλάσσιων απορριμμάτων λόγω της εγγύτητάς τους με τη θάλασσα (UNEP 2009). Εκτός αυτών, έντονα φυσικά καιρικά φαινόμενα, όπως τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι και πλημμύρες, μπορούν να δημιουργήσουν και να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων από τη χέρσο στη θάλασσα (NOAA, 2008).

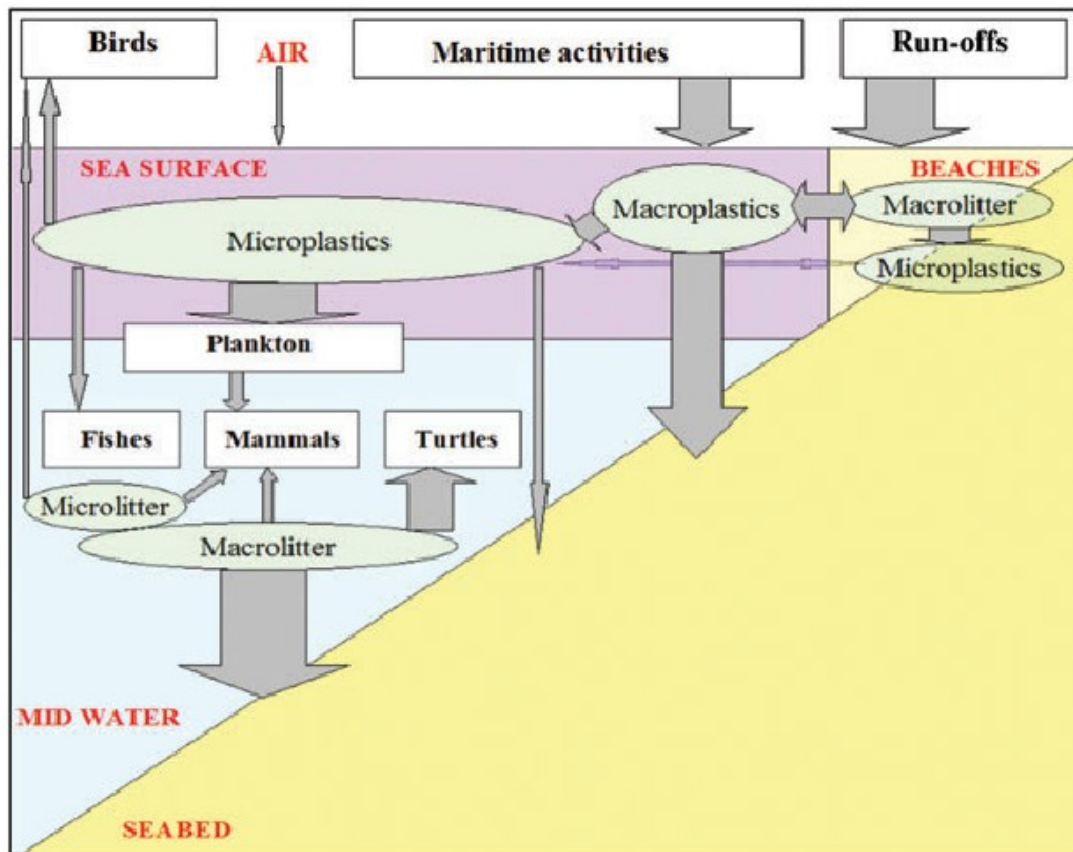
Β΄. Θαλάσσιες πηγές. Η ναυσιπλοΐα γενικώς: εμπορικά, ακτοπλοϊκά, πολεμικά και ερευνητικά πλοία, μικρά και μεγάλα σκάφη αναψυχής. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται ακόμη η αλιεία, οι υδατοκαλλιέργειες και οι υπεράκτιες πλωτές εγκαταστάσεις εξόρυξης υδρογονανθράκων. (Δασενάκης & συν. 2015, σ. 193· UNEP 2009· Koutsodendris et al. 2008).

1.4 Τύποι θαλάσσιων απορριμμάτων

Τα θαλάσσια απορρίμματα διακρίνονται σε στερεά και σε ημίρρευστα. Στα στερεά περιλαμβάνονται απορρίμματα που αποτελούνται από μέταλλο, πλαστικό, γυαλί, δέρμα, κεραμικά, καουτσούκ, λάστιχο, ύφασμα και επεξεργασμένο ή μη ξύλο. (Δασενάκης & συν. 2015, σ. 192). Στα ημίρρευστα περιλαμβάνονται ιλύς αποβλήτων, ορυκτέλαια κ.ά. Συχνά σε ορισμένα αντικείμενα που καταλήγουν στη θάλασσα περιέχονται υλικά, στερεά ή υγρά που είναι ικανά να μολύνουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Τέτοια είναι κάθε είδους μπαταρίες και δοχεία που περιέχουν υπολείμματα τοξικών ουσιών.

1.5 Οδοί μεταφοράς θαλάσσιων απορριμμάτων

Τα στερεά απορρίμματα καταλήγουν στη θάλασσα είτε με απευθείας ρίψη σ' αυτή από την ακτή ή από πλοία είτε μεταφερόμενα από τη χέρσο με τον άνεμο ή ακολουθώντας υδάτινες διαδρομές. Στις υδάτινες διαδρομές περιλαμβάνονται τα ποτάμια, οι χείμαρροι και τα ρέματα, μέσω των οποίων γίνεται η απορροή των όμβριων υδάτων προς τη θάλασσα (Φυτιάνος, 1996, σ. 36). (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Σχηματοποιημένος κύκλος των θαλάσσιων απορριμμάτων (Galvani et al. 2013).

Τα θαλάσσια απορρίμματα ανεξάρτητα από το αρχικό σημείο εισόδου τους στη θάλασσα παρασύρονται από τα κύματα και από τα θαλάσσια ρεύματα και διασπείρονται σε όλα τα μήκη, τα πλάτη και τα βάθη του ωκεανού. Γι' αυτόν ακριβώς

τον λόγο συναντώνται θαλάσσια απορρίμματα σε περιοχές που είναι πολύ μακριά από κατοικημένες περιοχές. (Karapanagioti & Klontza 2007· Kaberi et al. 2013· Kim et al. 2015). Κάποια θαλάσσια απορρίμματα επιπλέουν και παραμένουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Κάποια άλλα όμως διατρέχουν γρήγορα ή αργά την υδάτινη στήλη και καταλήγουν στον πυθμένα.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται στην αρχή μια περιγραφή της κατάστασης που επικρατεί στη Μεσόγειο τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Η επιλογή της Μεσογείου έγινε, επειδή είναι μία από τις πιο επιβαρυνμένες περιοχές του πλανήτη μας και επομένως προσφέρεται για την προβολή και την κατανόηση του προβλήματος (UNEP/MAP 2012· UNEP/MAP 2015). Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των πλαστικών και των βαρέων μετάλλων και οι τρόποι, με τους οποίους αυτά επηρεάζουν αρνητικά τα θαλάσσια οικοσυστήματα και ιδιαίτερα τους ιχθυοπληθυσμούς. Τα πλαστικά αναδεικνύονται στα πολυπληθέστερα απορρίμματα σε όλες τις έρευνες του παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος και οι επιπτώσεις τους στα οικοσυστήματα είναι πολυποίκιλες. Τα μέταλλα και ιδιαίτερα τα βαρέα συναντώνται σε πολύ μικρότερες ποσότητες από ό,τι τα πλαστικά, αλλά η τοξικότητά τους τα καθιστά εύλογο αντικείμενο για έρευνα. Άλλες κατηγορίες θαλάσσιων απορριμμάτων, όπως χαρτιά/χαρτόνια, γυαλιά, ξύλα, δέρματα, καουτσούκ και κεραμικά, αφενός συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες και αφετέρου οι επιπτώσεις τους στους θαλάσσιους οργανισμούς είναι σχεδόν αμελητέες. Γι' αυτό οι αναφορές σ' αυτά είναι λίγες και σύντομες.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αφενός να αναδείξει την υφιστάμενη κατάσταση, ποσοτικά και ποιοτικά, της παρουσίας απορριμμάτων στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον και αφετέρου να διερευνηθούν οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις

αυτής της κατάστασης στους ιχθυοπληθυσμούς. Η εργασία δεν περιλαμβάνει πειραματικό/εργαστηριακό τμήμα και στηρίζεται αποκλειστικά σε ευρήματα ερευνητών και μελετητών δημοσιευμένα στην συντριπτική τους πλειονότητα τις δύο τελευταίες δεκαετίες και κυρίως την τελευταία.

2 ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ

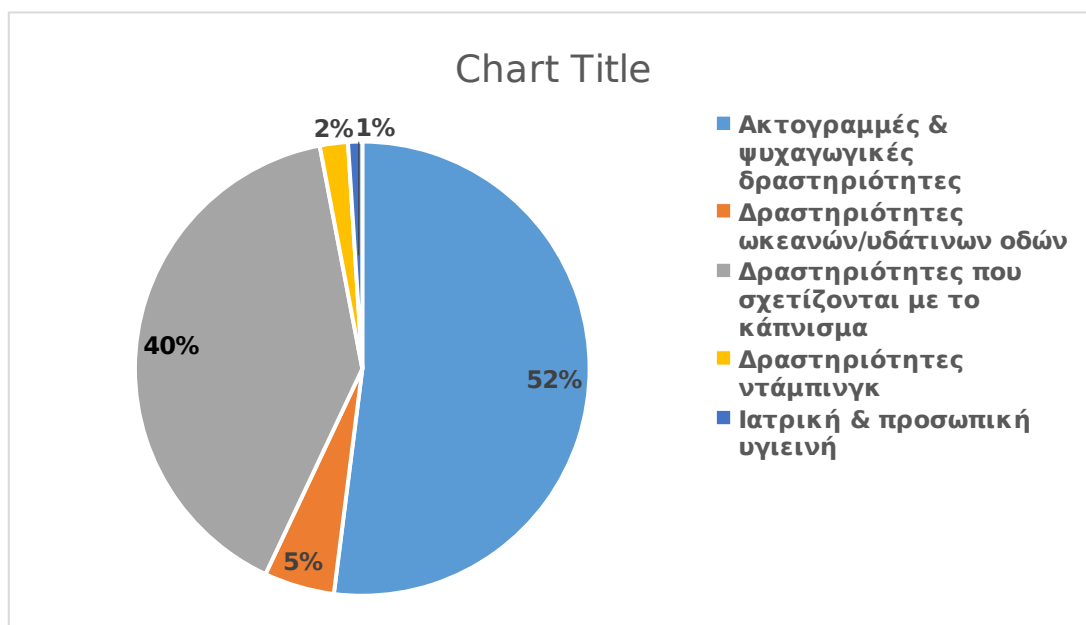
Η Μεσόγειος είναι μία ημίκλειστη θάλασσα. Οι παραθαλάσσιες περιοχές που την περιβάλλουν συγκεντρώνουν πληθυσμό σχεδόν 150 εκατομμυρίων κατοίκων και πολλές απ' αυτές ανήκουν στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες περιοχές. Είναι μια θάλασσα με εντονότατη ναυτιλιακή δραστηριότητα: ατμοπλοΐα, επαγγελματική και ερασιτεχνική αλιεία, παρουσία πολεμικών στόλων (UNEP/MAP 2012). Επιπλέον οι μεσογειακές χώρες προσελκύουν το ένα τρίτο του παγκόσμιου τουρισμού. Για όλους τους παραπάνω λόγους είναι αναμενόμενο να επιβαρύνεται με πολλά θαλάσσια απορρίμματα εγείροντας το ενδιαφέρον των ερευνητών, ένα ενδιαφέρον που εκδηλώνεται τα τελευταία χρόνια όλο και πιο έντονα (UNEP/MAP 2015).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δίνεται μία εικόνα της κατάστασης των θαλάσσιων απορριμμάτων στη Μεσόγειο. Η εικόνα συντίθεται από μελέτες καταγραφής ή/και συλλογής απορριμμάτων στις παραλίες, στην επιφάνεια και στο βυθό διαφόρων περιοχών.

2.1 Απορρίμματα στις παραλίες.

Οι παραλίες αποτελούν μία από τις κύριες χερσαίες πηγές απορριμμάτων στη θάλασσα (Veiga et al. 2016). Τα περισσότερα απορρίμματα που καταλήγουν σ' αυτές αργά ή γρήγορα θα εισέλθουν στη θάλασσα με την επίδραση του ανέμου, του παλινδρομικού κυματισμού και τις απορροές των ομβρίων υδάτων. Κάποια απ' αυτά θα μεταφερθούν ξανά στις παραλίες με την επίδραση των ρευμάτων, των κυμάτων ή/και των ανέμων και τανάπαλι. Γι' αυτούς ακριβώς τους λόγους η εικόνα απορριμμάτων στις παραλίες θεωρείται λογικός και αξιόπιστος δείκτης για το τι συμβαίνει στη θάλασσα (Commission 2018).

Η Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (HELMΕΡΑ) επεξεργάστηκε τα στοιχεία που προέκυψαν κατά την εκστρατεία Διεθνούς Καθαρισμού Ακτών (International Coast Cleanup - ICC), η οποία πραγματοποιείται το τρίτο Σαββατοκύριακο κάθε Σεπτεμβρίου και κατέληξε στο γενικό συμπέρασμα ότι το 89% των απορριμμάτων, που συλλέχθηκαν στις παραλίες της Μεσογείου κατά την προαναφερθείσα δράση τα έτη 2002 έως και 2006, αποτελούνταν από ελαφρά αντικείμενα και το υπόλοιπο 11% από βαριά. Από τα επιμέρους στοιχεία αξιοσημείωτο είναι το εύρημα ότι στα ελαφρά απορρίμματα κυριαρχούν τα ήδη καπνιστή, κυρίως αποσίγαρα και φίλτρα τσιγάρων αλλά και μύτες πούρων, συσκευασίες καπνού και περιτυλίγματα (Πίν. 1). Οι πηγές των απορριμμάτων των παραπάνω εκστρατειών ICC για τα έτη 2002-2006 φαίνονται στο Σχ. 1. Παρατηρούμε ότι η συντριπτική πλειονότητα των απορριμμάτων στις ακτές της Μεσογείου προέρχονται από τη χέρσο.



Σχήμα 1. Πηγές των απορριμμάτων των εκστρατειών ICC κατά τα έτη 2002-2006 στη Μεσόγειο (UNEP 2009. Ανάλυση των δεδομένων από την HELMEPA)

Πίνακας 1. Αριθμητικά δεδομένα των ελαφρών αντικειμένων για τις 12 «κορυφαίες» κατηγορίες απορριμμάτων στις παραλίες της Μεσογείου κατά τις εκστρατείες του ICC των ετών 2002-2006. Επεξεργασία: HELMEPA (UNEP 2009).

Αντικείμενο	Αριθμός τεμαχίων	Ποσοστό (%) (επί του συνόλου)
Τσιγάρα/φίλτρα τσιγάρων	222563	26,7
Μύτες (άκρες) πούρων	86146	10,3
Πλαστικές φιάλες (2 L ή λιγότερο)	81238	9,7
Πλαστικές σακούλες	70912	8,5
Κουτιά αναψυκτικών AI	63282	7,6
Καπάκια (πλαστικά)	60920	7,3
Μπουκάλια/ποτήρια γυάλινα	48085	5,8
Κύπελλα/πίατα/πιρούνια/ μαχαίρια/κουτάλια	32037	3,8
Συσκευασίες καπνού/περιτυλίγματα	23648	2,8
Περιτυλίγματα/δοχεία τροφίμων	21029	2,5
Καλαμάκια/αναδευτήρες	17184	2,1
Καρτέλες IPull	15488	1,9

Από τον Σεπτέμβριο του 2014 έως και τον Απρίλιο του 2016 διεξήχθη έρευνα εντοπισμού, καταγραφής (και απομάκρυνσης) θαλασσίων απορριμμάτων σε 31 παραλίες επτά χωρών της Αδριατικής Θάλασσας και του Βορείου Ιονίου Πελάγους από τους Vlachogianni et al. (2018), στα πλαίσια του έργου DeFishGear (project code:11str./00010) του Προγράμματος Διασυνοριακής Συνεργασίας IPA- Adriatic που συγχρηματοδοτούνταν από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι καταμετρήσεις γίνονταν κάθε περίπου τρεις μήνες (μέσα Σεπτεμβρίου-μέσα Οκτωβρίου, μέσα Δεκεμβρίου-μέσα Ιανουαρίου, Απρίλιο και μέσα Ιουνίου-μέσα Ιουλίου) στις ίδιες προκαθορισμένες περιοχές. Η επιλογή των παραλιών έγινε με κριτήρια τέτοια, ώστε στο πεδίο της έρευνας να περιληφθούν παραλίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά: απόσταση από πόλη, προσανατολισμός και κλιματικές συνθήκες, τύπος υποστρώματος, χρήση παραλίας και γύρω περιοχής. Η κατανομή των παραλιών στις διάφορες χώρες ήταν: Ιταλία 7, Σλοβενία 3, Κροατία 4, Βοσνία και Ερζεγοβίνη 2, Μαυροβούνιο 2, Αλβανία 3 και Ελλάδα 10. Από τις παραλίες της Ελλάδας ανήκαν τέσσερις στην Κέρκυρα, πέντε στη Θεσπρωτία και μία στην Πρέβεζα. Συγκεντρώθηκαν και μετρήθηκαν απορρίμματα που η μεγαλύτερη διάστασή τους ήταν τουλάχιστον 2,5cm. Υπήρξε ανομοιομορφία σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο σχετικά με την αφθονία και τη σύνθεση των απορριμμάτων. Ως προς το αναγνωρισμένο υλικό, από το οποίο ήταν κατασκευασμένα τα απορρίμματα, η αφθονία κατά μέσο όρο στην περιοχή μετρήθηκε ως εξής:

πλαστικό	91,1% (σε όλες τις χώρες το ποσοστό κυμάνθηκε μεταξύ 74 και 92%, πλην της Αλβανίας όπου ήταν 54,3%)
γυαλί/κεραμικά	3,2%
μέταλλο	1,5%
χαρτί	1,4%

ύφασμα	1,1%
καουτσούκ	0,6%

Η πυκνότητα των τεμαχίων φαίνεται στον Πιν. 2.

Πίνακας 2. Πυκνότητα απορριμμάτων με μεγαλύτερη διάσταση > 2,5cm σε παραλίες της Αδριατικής και του Βόρειου Ιονίου Πελάγους (Vlachogianni et al. 2018).

Χώρα	αριθμός παραλιών	items/m² (μέση τιμή)
Βοσνία/Ερζεγοβίνη	2	0,18
Ελλάδα	10	0,24
Ιταλία	7	0,29
Αλβανία	3	0,22
Μαυροβούνιο	2	0,38
Σλοβενία	3	0,50
Κροατία	4	3,03

Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε το 2017 διενεργήθηκαν έρευνες στα εξής νησιά της Μεσογείου: Μαγιόρκα (Ισπανία), Σικελία (Ιταλία), Ράμπ (Κροατία), Μάλτα, Κρήτη, Μύκονο και Ρόδο (Ελλάδα) και Κύπρο (Grelaud & Ziveri 2020). Επιλέχθηκαν τρεις παραλίες από κάθε νησί με διαφορετικά χαρακτηριστικά ή μία από την άλλη: η μία ήταν πολύ τουριστική (T παραλία), η δεύτερη χρησιμοποιούνταν κυρίως από τους ντόπιους (L παραλία) και η τρίτη ήταν σχεδόν ερημική (R παραλία). Σε κάθε παραλία παρακολούθηθηκε η παρουσία απορριμμάτων στο ίδιο τμήμα μήκους 100 m και πλάτους από τη γραμμή του θαλασσινού νερού μέχρι το πίσω μέρος της παραλίας. Η παρακολούθηση ήταν περιοδική κατά το διάστημα *Φεβρουάριος – Νοέμβριος*, καλύπτοντας έτσι τόσο τη χαμηλή (Φεβρουάριος-Απρίλιος και Οκτώβριος-Νοέμβριος) όσο και την υψηλή (Μάιος-Σεπτέμβριος) τουριστική περίοδο.

Συγκεντρώθηκαν όλα τα αντικείμενα που εντοπίστηκαν, συμπεριλαμβανομένων των pellets, των μεσοπλαστικών (MePs, 0,5-2,5 cm) και των μικροπλαστικών (MPs) που ήταν ορατά με γυμνό μάτι, δηλαδή εκείνων που η μεγαλύτερη διάτασή τους d ικανοποιούσε τη σχέση $0,1\text{cm} < d < 0,5\text{ cm}$. Η συλλογή αυτών των μικρού μεγέθους πλαστικών συνήθως δεν περιλαμβάνεται σε τέτοιου είδους έρευνες. Η έρευνα, πάντως, για την οποία γίνεται λόγος εδώ διαφοροποιείται, από τις ειδικές έρευνες που έχουν αντικείμενο τα μικροπλαστικά, μεσοπλαστικά και pellets, καθώς σε αντίθεση μ' αυτές κατέγραψε τα θραύσματα που εντοπίστηκαν στην επιφάνεια της άμμου και αγνόησε εκείνα που ήταν χωμένα σ' αυτή. Το σημαντικότερο στοιχείο αυτής της έρευνας είναι ότι η περιοδική καταμέτρηση των απορριμμάτων στο ίδιο καθορισμένο τμήμα κάθε παραλίας έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να προσδιορίσουν τον *ρυθμό συσσώρευσης AR* σύμφωνα με το τύπο

$$AR=N/S/T$$

όπου N ο αριθμός των αντικειμένων που συλλέχθηκαν, S το εμβαδόν της επιφάνειας του σταθερού τμήματος της παραλίας σε m^2 και T ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ του τελευταίου καθαρισμού της παραλίας από τις τοπικές αρχές και της ημέρας συλλογής μετρημένος σε ημέρες. Στις περιπτώσεις που μεταξύ δύο καταμετρήσεων δεν πραγματοποιήθηκαν εργασίες καθαρισμού, ως T λογίστηκε ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ των δύο καταμετρήσεων.

Για να γίνει κατανοητό πόσο σημαντικό είναι να προσδιορίζεται ο ρυθμός συσσώρευσης αρκεί να αναφερθεί ότι, αν ληφθεί υπόψη μόνο ο αριθμός των αντικειμένων που συλλέχθηκαν ανά 100 m παραλίας, προκύπτει ότι για όλους τους τύπους παραλιών (T, L και R) συλλέγονταν σε κάθε έρευνα περισσότερα απορρίμματα κατά τη χαμηλή τουριστική περίοδο. Προκύπτει ακόμη ότι στις παραλίες L

συλλέγονταν υπερδιπλάσιος αριθμός αντικειμένων ανά έρευνα από τον αριθμό που συλλέγεται στις παραλίες T. Η παρακολούθηση κατά την υψηλή τουριστική περίοδο για την παραλία T γινόταν κατά μέσο όρο 6,2 ημέρες μετά τον τελευταίο καθαρισμό, για την παραλία L κατά μέσο μετά 13,2 ημέρες και για την R κατά μέσο 27,8 ημέρες μετά τον τελευταίο καθαρισμό. Για τη χαμηλή τουριστική περίοδο οι αντίστοιχοι αριθμοί είναι 61,2, 79,0 και 105,3 ημέρες. Αυτά τα δεδομένα και ο συνυπολογισμός της έκτασης των παραλιών (αντί του σταθερού μήκους των 100 m) ανατρέπουν την πρώτη εικόνα για τους τύπους των παραλιών και για την εποχικότητα. Οι ρυθμοί συσσώρευσης (AR) δίνουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- i. Στους τύπους T και L παραλιών οι ρυθμοί συσσώρευσης απορριμμάτων είναι υψηλότεροι κατά την υψηλή τουριστική περίοδο συγκριτικά με τους αντίστοιχους της χαμηλής τουριστικής περιόδου. Ειδικότερα, ο ρυθμός συσσώρευσης των παραλιών T ήταν 4,72 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό της χαμηλής περιόδου. Για τις παραλίες L η αντίστοιχη αύξηση ήταν 3,46 φορές.
- ii. Κατά την υψηλή τουριστική περίοδο οι T παραλίες είχαν σχεδόν υπερδιπλάσια συσσώρευση από τις L παραλίες: 329,6 αντικείμενα/1000m²/ημέρα, έναντι 117,2. Ο ρυθμός συσσώρευσης στις R παραλίες ήταν μόλις 13,7 αντικείμενα/1000m²/ημέρα.
- iii. Κατά τη χαμηλή τουριστική περίοδο οι ρυθμοί συσσώρευσης δεν απείχαν πολύ για τις παραλίες T και L: 69,8 και 51,2 αντικείμενα/1000m²/ημέρα, αντίστοιχα.
- iv. Στις παραλίες R παρατηρήθηκε μικρότερος ρυθμός συσσώρευσης στο διάστημα Φεβρουάριος-Απρίλιος σε σχέση με το διάστημα Μάιος-Σεπτέμβριος, αλλά για το διάστημα Οκτώβριος-Νοέμβριος ήταν μεγαλύτερος εκείνου της υψηλής τουριστικής περιόδου. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν 20,3

αντικείμενα/1000m²/ημέρα κατά τη χαμηλή περίοδο, δηλαδή αυξημένος AR κατά 32,7% σε σχέση με τον AR της υψηλής περιόδου.

- v. Σε όλους τους τύπους των παραλιών της έρευνας και σε όλους τους μήνες συλλογής των θαλάσσιων απορριμμάτων κυριαρχούσαν τα αντικείμενα που ήταν κατασκευασμένα από πολυμερή. Το ποσοστό αυτών των αντικειμένων κατά την υψηλή περίοδο ήταν, κατά μέσο όρο 87,9% στις παραλίες T, 97,3% στις παραλίες L και 85,9 στις R παραλίες. Τα αντίστοιχα ποσοστά για την περίοδο χαμηλής τουριστικής κίνησης ήταν 87,7%, 95,9% και 88,3%.

Οι πέντε πιο συχνές κατηγορίες αντικειμένων που πιθανότατα άφησαν στις παραλίες οι επισκέπτες, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που αποτίθενται σ' αυτές λόγω της κακής διαχείρισης των απορριμμάτων των τουριστικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων, σύμφωνα με την έρευνα των Grelaud & Ziveri (2020), ήταν:

- i. Αποτσίγαρα (είχαν τον μεγαλύτερο ρυθμό συσσώρευσης κατά την υψηλή περίοδο σε όλους τους τύπους των παραλιών με 173,5 αντικείμενα/1000m²/ημέρα στις T παραλίες, 41,3 στις L παραλίες και 1,6 στις παραλίες R).
- ii. Πλαστικά καπάκια.
- iii. Μαχαιροπίρουνα, δίσκοι και καλαμάκια.
- iv. Περιτυλίγματα γλυκών και μπαστούνια γλειφιτζουριών.
- v. Μεταλλικά πόματα μπουκαλιών.

2.2 Επιπλέοντα απορρίμματα στη Μεσόγειο

Για τα επιπλέοντα απορρίμματα στη Μεσόγειο ενδεικτικά είναι τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποίησε η HELMEPA το 2008. Συγκεκριμένα το διάστημα Φεβρουαρίου-Απριλίου του 2008, η HELMEPA συνεργάστηκε με πλοία που ταξιδεύουν στη Μεσόγειο και κατέγραψε απορρίμματα που επέπλεαν σε διάφορες

περιοχές από τα Στενά του Γιβραλτάρ μέχρι τη θάλασσα νότια της Κύπρου και από την Αδριατική έως τη διώρυγα του Σουέζ. Σε 14 διαδρομές συνολικού μήκους 1051,8 ναυτικών μιλίων (nm) ή 1947,9 Km καταγράφηκαν 366 τεμάχια θαλάσσιων απορριμμάτων. Το πλάτος παρατήρησης δεν ήταν σταθερό καθώς αυτό επηρεαζόταν από τις καιρικές συνθήκες, τη θέση του παρατηρητή και τις δυνατότητες των οργάνων παρατήρησης. Κυμάνθηκε από 22 έως 150 m και εκτιμήθηκε ότι οι παρατηρήσεις σάρωσαν επιφάνεια 172,8 Km². Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνεται ότι κάθε τρία nm υπήρχε ένα συντρίμμα ή, αλλιώς, σε κάθε 1Km² υπήρχαν 2,1 συντρίμματα. Ωστόσο η εικόνα δεν ήταν ομοιόμορφη αφού οι ακραίες τιμές απείχαν πολύ από τις παραπάνω μέσες τιμές. Ο αριθμός των ειδών ανά nm κυμάνθηκε από 0,08 έως 71. Υπήρχαν μάλιστα διαδρομές μεγαλύτερες των 120 nm κατά τις οποίες δεν ανιχνεύθηκαν θαλάσσια απορρίμματα.

Ο ποιοτικός προσδιορισμός των απορριμμάτων έδειξε ότι το 83% ήταν πλαστικά. Το υπόλοιπο 17% του αριθμού των απορριμμάτων αποτελούνταν από ύφασμα, χαρτί, ξύλο ή μέταλλο (χαλύβδινα τύμπανα).

Από τις περιγραφές των απορριμμάτων που παρατηρήθηκαν η HELMEPA προχώρησε σε υπολογισμό της μάζας τους και εκτίμησε ότι στη Μεσόγειο επιπλέον απορρίμματα μάζας 230,8 Kg/Km². Οι εκτιμήσεις δίνουν σημαντικό προβάδισμα στα πλαστικά και βάσει του κριτηρίου της μάζας.

Τέλος, αναμενόμενο ήταν και το συμπέρασμα ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απορριμμάτων παρατηρήθηκαν σε διαδρομές κοντά σε παράκτιες περιοχές. (UNEP 2009).

2.3 Βενθικά απορρίμματα στη Μεσόγειο

Τα απορρίμματα που καταλήγουν στον βυθό (στο εξής βενθικά απορρίμματα) εκτιμάται ότι αποτελούν το 70% των θαλασσίων απορριμμάτων, ενώ τα επιπλέοντα αποτελούν το 1%. Η πλειονότητα των απορριμμάτων που ισορροπούν στα ενδιάμεσα βάθη καθώς και η πλειονότητα αυτών που επιπλέουν κάποια στιγμή θα καταλήξουν στον βυθό. Τα βενθικά απορρίμματα στον παγκόσμιο ωκεανό δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς, παρά το γεγονός ότι τις δύο τελευταίες δεκαετίες πληθαίνουν οι σχετικές έρευνες (Fakiris et al. 2022). Είναι επομένως φυσικό, να παρατηρείται υστέρηση στις γνώσεις μας για το εύρος των επιπτώσεων της παρουσίας τους στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Το γεγονός αυτό εγείρει την ανησυχία των επιστημόνων αλλά και των πολιτικών ανδρών η οποία εκδηλώνεται όλο και πιο έντονα. Την έντονη ανησυχία των πολιτικών αποδεικνύει το εκτενές και πολύ μελετημένο (και γι' αυτό πολύ σημαντικό) Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 25ης Μαρτίου 2021 σχετικά με τις επιπτώσεις των θαλασσίων απορριμμάτων στην αλιεία (Ελλ.Εφ. ΕΕ 8.12.2021). Το ψήφισμα αυτό δεν αρκείται στην καταγραφή των προβλημάτων η οποία στηρίζεται στα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα, αλλά προτείνει και τη λήψη τολμηρών μέτρων για την ελάττωση των επιπτώσεων των απορριμμάτων στη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα.

Οι έρευνες για τον προσδιορισμό του είδους και της αφθονίας των βενθικών θαλασσίων απορριμμάτων γίνονται (Galgani et al. 2013· Fakiris et al. 2022):

- i. Με τη χρήση τράτας βυθού.
- ii. Με δύτες (οπτική έρευνα).
- iii. Με υποβρύχια οχήματα, τηλεκατευθυνόμενα ή μη (οπτική έρευνα).

Η έρευνα με δύτες έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσεγγίσει κάθε τύπο υποστρώματος, αλλά περιορίζεται σε βάθος < 40m. Η χρήση υποβρυχίων οχημάτων

είναι πολύ δαπανηρή και προς το παρόν χρησιμοποιείται για έρευνα σε περιοχές μικρής έκτασης. Η χρήση τράτας παραμένει ο πιο συνηθισμένος τρόπος καταγραφής (και ταυτόχρονα συλλογής) των βενθικών απορριμμάτων. Συνήθως η έρευνα πραγματοποιείται παράλληλα με την αλιεία. Οι αλιείς συλλέγουν ψάρια και στην ίδια ανάσυρση οι επιστήμονες συλλέγουν, καταγράφουν και ταξινομούν απορρίμματα.

Παρακάτω περιγράφονται έρευνες που καλύπτουν και τους τρεις τρόπους καταγραφής των απορριμμάτων του βυθού σε διάφορες περιοχές της Μεσογείου.

Με τράτες βυθού

- Το 1994 (Απρίλιος και Ιούνιος) έλαβε χώρα έρευνα με τράτες βυθού συρόμενες στην υφαλοκρηπίδα της βορειοδυτικής Μεσογείου και σε βάθος έως 200m. Ο σάκκος των τρατών είχε μέσο άνοιγμα 10 ή 16m και το άνοιγμα του διχτυού ήταν 1 ή 1,6cm και σε μία περίπτωση 10cm. Η έρευνα κάλυψε έκταση βυθού 90000km² από τα ανατολικά παράλια της Ισπανίας έως τα δυτικά παράλια της Β. Ιταλίας και η μέση συγκέντρωση των συντριμμιών ήταν 1935 Item/km². Το 77,1% των συντριμμιών που συλλέχτηκαν ήταν πλαστικά από τα οποία το 92,8% ήταν πλαστικές τσάντες ή σακούλες. Το υπόλοιπο 22,9% των συντριμμιών που προσδιορίστηκε το υλικό τους, αποτελούνταν κατά φθίνουσα σειρά, από μέταλλο, δέρμα ή καουτσούκ και γυαλί. Ένα ποσοστό παραπλήσιο των μεταλλικών οι ερευνητές το κατέταξαν στην κατηγορία "άλλα είδη". Η μεγαλύτερη αφθονία απορριμμάτων μετρήθηκε γύρω από τη Μασσαλία. Ακολούθησαν κατά φθίνουσα σειρά οι περιοχές γύρω από τη Νάπολι, τη Γένοβα και τη Βαρκελώνη. Σημαντικός ήταν ο αριθμός των συντριμμιών που συλλέχτηκαν και νότια της Κορσικής, όπου παρατηρείται έντονη τουριστική κίνηση (Galgani et al. 1995).

- Οι Koutsodendris et. al. συνέλεξαν βενθικά απορρίμματα χρησιμοποιώντας δίχτυ τράτας ανοίγματος 1,5cm σε πέντε περιοχές: Δυτικό Κορινθιακό Κόλπο, Ανατολικό Πατραϊκό Κόλπο, Δυτικό Πατραϊκό Κόλπο, Κόλπο Εχινάδων και Βόρειο Λακωνικό Κόλπο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο διάστημα 2000-2003 κατά τις περιόδους αλιείας που εκτείνονταν από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Μάιο. Οι ανασύρεις έγιναν από περιοχές κοντά στις εκβολές των ποταμών που χύνονται στους αντίστοιχους κόλπους και κατά μήκος των ναυτιλιακών λωρίδων. Το βάθος ανασύρσης κυμάνθηκε από 15m έως 350m και σαρώθηκαν συνολικά 20km². Η συγκέντρωση απορριμμάτων βρέθηκε μεγαλύτερη στον Πατραϊκό Κόλπο όπου κυμάνθηκε μεταξύ 150 και 500 Item/km². Ακολούθησαν κατά φθίνουσα σειρά οι συγκεντρώσεις στον Κορινθιακό, τον Λακωνικό και τον Κόλπο Εχινάδων. Και στους τρεις αυτούς κόλπους η συγκέντρωση απορριμμάτων που καταγράφηκε ήταν μικρότερη των 150 Item/km². Σε όλες τις περιοχές κυριαρχούσαν τα πλαστικά με εξαίρεση τον Δυτικό Πατραϊκό Κόλπο όπου τα γυάλινα αντικείμενα ήταν ελαφρώς περισσότερα από τα πλαστικά.. Στο σύνολο των περιοχών το ποσοστό των πλαστικών που συγκεντρώθηκε υπολογίστηκε στο 56% του συνόλου των απορριμμάτων, ενώ ακολούθησε η συγκέντρωση των μεταλλικών και των γυάλινων σε ποσοστό 17 και 11% αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 16% ήταν απορρίμματα από ύφασμα, καουτσούκ, νάιλον, ξύλο ή απροσδιόριστο υλικό (πολύ μικρό ποσοστό ανά κατηγορία). Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι στον Βόρειο Λακωνικό, στον Δυτικό Κορινθιακό και στον Ανατολικό Πατραϊκό τα συλλεχθέντα απορρίμματα προέρχονταν από χερσαίες πηγές σε ποσοστά 93,3%, 92,6% και 82,8%, αντίστοιχα. Αντίθετα, στον Ανατολικό Πατραϊκό τα απορρίμματα προέρχονταν σε ποσοστό 86,6% από δραστη-

ριότητες εμπορικών και επιβατικών πλοίων και σε ποσοστό 2,5% από αλιευτικές δραστηριότητες. Στις άλλες περιοχές η συμμετοχή των πηγών αλιείας στην αφθονία των απορριμμάτων ήταν 2,3% στον Κορινθιακό, 3,6% στον Ανατολικό Πατραϊκό, 4,9% στον Βόρειο Λακωνικό και 13,5% στον Κόλπο Εχινάδων (Koutsodendris et. al. 2008).

- Το 2012 (Ιανουάριο έως Μάιο) διεξήχθη έρευνα με τράτα βυθού στον κόλπο της Αττάλειας (βορειοανατολική Μεσόγειος) και σε βάθη μεταξύ 200m και 800m. Ο αριθμός των συντριμμίων που συλλέχθηκαν στα ανωτέρω βάθη κυμάνθηκε από 115 έως 2762 είδη ανά km². Από αυτά, τα πλαστικά κατείχαν την πρώτη θέση με ποσοστό 81,1%, ακολούθησαν τα γυάλινα με ποσοστό 3,9% και τέλος τα μεταλλικά με ποσοστό 2,2%. Το υπόλοιπο 12,8% τοποθετήθηκαν στην κατηγορία "άλλο υλικό". Το ποσοστό βάρους των παραπάνω υλικών ήταν 27,2%, 7,3%, 2,9% και 62,2% αντίστοιχα. Τα πλαστικά αντικείμενα ήταν τα πιο πολυάριθμα σε όλες τις περιοχές (και άρα σε όλα τα βάθη) που ερευνήθηκαν και κατείχαν τη δεύτερη θέση στα ποσοστά βάρους μέχρι τα 600m (Güven et al. 2013). Σημειώνεται ότι οι παράκτιες περιοχές του κόλπου της Αττάλειας είναι πυκνοκατοικημένες με έντονη τουριστική κίνηση και το θαλάσσιο περιβάλλον υφίσταται τις συνέπειες αυτών των χαρακτηριστικών. Επιπλέον υφίσταται τις συνέπειες της πυκνής κυκλοφορίας εμπορικών και τουριστικών σκαφών και βεβαίως δεν μπορεί να αγνοηθεί το γεγονός ότι στον συγκεκριμένο κόλπο χύνονται δύο σημαντικά ποτάμια (Güven et al. 2013).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών ανωτέρω ερευνών που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση τράτας βυθού προκύπτει ότι στη βορειοδυτική και τη βορειοανατολική υφαλοκρηπίδα της Μεσογείου συναντώνται πολύ περισσότερα συντρίμ-

μια από ότι σε τμήματα της ελληνικής υφαλοκρηπίδας. Κοινά ευρήματα των τριών ερευνών ήταν ότι το πλαστικό κυριαρχεί με μεγάλη διαφορά έναντι των απορριμμάτων από άλλο υλικό και ότι η συγκέντρωση των συντριμμιών ήταν μεγαλύτερη γύρω από μεγάλες πόλεις (Βαρκελώνη, Μασσαλία, Γένοβα, Νάπολι, Πάτρα, Ατάλλεια) και μικρότερη στην υφαλοκρηπίδα της ανοικτής θάλασσας.

Μία τέταρτη έρευνα που διεξήχθη στο βορειοανατολικό άκρο της Μεσογείου και συγκεκριμένα στον κόλπο της Μερσίνας με τράτα βυθού μεταξύ 20 Σεπτεμβρίου 2010 και 19 Φεβρουαρίου 2012 και σε βάθη μεταξύ 19m και 178m, έδειξε ότι και εκεί κυριαρχούν τα πλαστικά απορρίμματα έναντι των απορριμμάτων που αποτελούνται από άλλο υλικό (Raif et al. 2014). Η μεγάλη σημασία αυτής της έρευνας, όμως, εδράζεται στη διαπίστωση ότι τα μεγάλου μεγέθους πλαστικά φράσουν τα πλέγματα επιλεκτικότητας των τρατών με αποτέλεσμα να μπλοκάρουν παρεμπόδιοντα αλιεύματα, τα οποία κανονικά θα ξέφευγαν και θα παρέμεναν στα οικοσυστήματα. Αυτό το μπλοκάρισμα δεν έχει αξιολογηθεί επαρκώς στη βιβλιογραφία.

Επισημαίνεται ότι η χρήση της τράτας βυθού επιφέρει φυσικές και βιολογικές επιπτώσεις στον πυθμένα της θάλασσας και έχει προγραμματιστεί η σταδιακή κατάργησή της (Commission 2020). Εκτός αυτού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συλλογή απορριμμάτων που έχουν καταλήξει σε πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα βάθη και επιπλέον δεν ενδείκνυται η χρήση της σε κοραλλιογενείς υφάλους και σε βυθούς που είναι γνωστό ότι είναι βραχώδεις. Για τους παραπάνω λόγους τα τελευταία χρόνια κερδίζουν έδαφος οι μέθοδοι οπτικής ανίχνευσης και ταξινόμησης των βενθικών απορριμμάτων (Fakiris et al. 2022).

Με δύτες (οπτική έρευνα)

Οι Katsanevakis & Katsarou (2004) κατέγραψαν θαλάσσια απορρίμματα οπτικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της κατάδυσης σε 59 σημεία παράκτιων περιοχών της Νότιας Ελλάδας. Συγκεκριμένα επέλεξαν 25 σημεία στον Σαρωνικό Κόλπο, 15 σημεία νοτιοδυτικά, νότια και νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου, τρία σημεία γύρω από τα Κύθηρα, δέκα σημεία δυτικά και βορειοδυτικά της Κρήτης και έξι σημεία κοντά στις ακτές της Θήρας και της Θηρασίας. Ο αριθμός των αντικειμένων που εντοπίστηκαν κυμάνθηκε από 0 έως 251 ανά 1000m², ενώ ο μέσος όρος ήταν 14,9 τεμάχια ανά 1000m² (ή 14900/km²). Η έρευνα έδειξε ότι τα περισσότερα συντρίμματα αποτελούνταν από πλαστικό σε ποσοστό 55,47%. Ακολουθούσαν τα μεταλλικά σε ποσοστό 25,73 %, εκείνα από καουτσούκ (5,16 %), από χαρτί-χαρτόνι (3,53%), από είδη ρουχισμού (2,71%), από γυαλί (2,09%), από κεραμικό (0,59%), ενώ ένα ποσοστό 4,72% αποτελούνταν από διάφορα απορρίμματα που δεν μπορούσαν να καταταγούν σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες. Από τις ανωτέρω μετρήσεις παρατηρούμε ότι το ποσοστό των πλαστικών υπερβαίνει το μισό του συνόλου των απορριμμάτων. Πέρα από τα παραπάνω αριθμητικά στοιχεία η έρευνα αυτή έδειξε ότι η πυκνότητα των θαλάσσιων απορριμμάτων ήταν μεγαλύτερη στο εσωτερικό των κόλπων παρά στην ανοιχτή θάλασσα. Επίσης διαπιστώθηκε ότι στις περιοχές που συνήθιζαν να αγκυροβολούν αλιευτικά σκάφη η πυκνότητα των απορριμμάτων ήταν μεγαλύτερη από ότι στις γύρω περιοχές. Από τις περιοχές που ερευνήθηκαν ο Σαρωνικός Κόλπος ήταν με διαφορά ο πιο επιβαρυσμένος, γεγονός που δεν μπορεί παρά να οφείλεται στο ότι βρίσκεται στην πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Ελλάδας (Αθήνα - Πειραιά) με τις περισσότερες βιομηχανίες.

Με υποβρύχια οχήματα (τηλεκατευθυνόμενα)

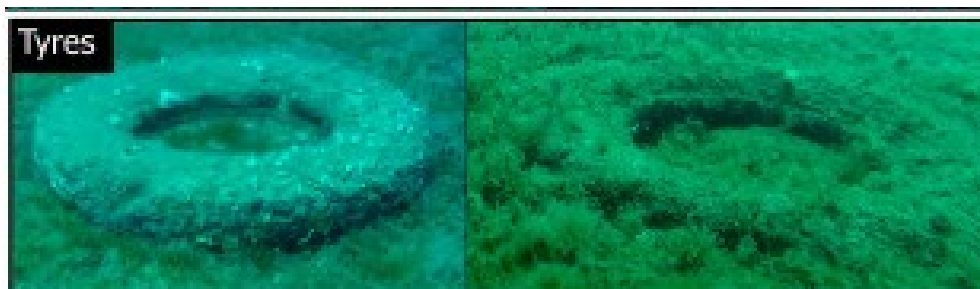
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των ερευνών που πραγματοποιήθηκαν από τους Fakiris et al. (2022), στον σχεδόν κλειστό κόλπο του λιμένα της Σύρου, στα πλαίσια του έργου της Ευρωπαϊκής Ένωσης *LIFEDEBAG «Ολοκληρωμένη εκστρατεία ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης για τη μείωση της πλαστικής σακούλας στο θαλάσσιο περιβάλλον» (LIFE14 GIE/GR/001127)*. Η παρακολούθηση των απορριμμάτων στον πυθμένα έγινε με χρήση ρυμουλκούμενων υποβρύχιων καμερών (towed underwater cameras – TUC). Ο πυθμένας ερευνήθηκε τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούνιο του 2016, Φεβρουάριο και Μάιο του 2017, Αύγουστο του 2018 και Ιανουάριο του 2019. Οι κάμερες έδωσαν τη δυνατότητα δημιουργίας χαρτών πυκνότητας απορριμμάτων στον πυθμένα της θάλασσας κατά τους μήνες διεξαγωγής της έρευνας. Από τους χάρτες αυτούς διαπιστώθηκε ότι:

- i. Τα πλαστικά απορρίμματα κυριαρχούσαν στον βυθό του κόλπου. Ακολουθούσαν τα χαρτιά/χαρτόνια, τα λάστιχα και ζώνες, τα μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα, τα μεταλλικά κουτιά κονσερβών και τα υφάσματα.
- ii. Τα μπουκάλια ποτών ήταν ο πιο άφθονος τύπος πλαστικών και ακολουθούσαν οι σακούλες. Κύπελλα, καπάκια φλυτζανιών και άλλα πλαστικά παρουσίασαν αισθητά μικρότερες πυκνότητες.
- iii. Στη διάρκεια του προγράμματος τα απορρίμματα στον κόλπο μειώθηκαν κατά 40% κατά μέσο όρο. Ελαττώθηκαν, οι πυκνότητες όλων των τύπων απορριμμάτων εκτός από την πυκνότητα των πλαστικών μπουκαλιών, η οποία παρουσίασε μείωση μέχρι τον Απρίλιο του 2017 και στη συνέχεια ακολούθησε ανοδική πορεία, με αποτέλεσμα τον Ιανουάριο του 2019 η τιμή της να βρίσκεται στο επίπεδο του Φεβρουαρίου του 2016.

- iv. Τα περισσότερα απορρίμματα, ιδιαίτερα τα μπουκάλια, τα ποτήρια και οι σακούλες συγκεντρώνονται σε μεγάλες φυσικές κοιλότητες του πυθμένα ή σε μικρότερες που έχουν δημιουργηθεί από εργασίες βυθοκόρησης ή αγκυροβολήσεις.
- v. Στα ρηχά τμήματα του κόλπου (βάθος $h < 20\text{m}$) παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες πυκνότητες απορριμμάτων από ό,τι στα βαθύτερα τμήματα (βάθος $h > 20\text{m}$).
- vi. Περισσότερα απορρίμματα κατέληγαν στον βυθό το καλοκαίρι και το φθινόπωρο από ότι τον χειμώνα και την άνοιξη.

Από το είδος των απορριμμάτων και τις περιοχές του βυθού, στις οποίες εντοπίστηκαν αυτά, οι ερευνητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι κύρια πηγή των βενθικών απορριμμάτων σ' αυτόν τον κλειστό κόλπο είναι δραστηριότητες που σχετίζονται με πλοία (ναυπηγεία, μαρίνες, ναυσιπλοΐα) και δευτερευόντως οι τουριστικές δραστηριότητες και τα πλήθη που ακολουθούν παράκτιους περιπάτους. Η συμμετοχή των περιπατητών της ακτής είναι πιο έντονη στην απόρριψη χαρτιών/χαρτονιών, κουτιών κονσερβών (ποτών), κυπέλλων και καπακιών, ενώ η αστική αγορά είναι υπεύθυνη για μεγάλο ποσοστόν πλαστικών σακουλών.

Σημειώνεται ότι η αρχική μέση πυκνότητα των απορριμμάτων στον κόλπο της Ερμούπολης ανήλθε σε 211 τεμάχια/εκτάριο (ή $21100/\text{Km}^2$) και ήταν περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητά απορριμμάτων σε άλλους όρμους της Σύρου.



Εικόνες 2. Βενθικά απορρίμματα στο λιμάνι της Ερμούπολης (Fakiris et al, 2022)

2.4 Ευαισθητοποίηση του κοινού

Για τον περιορισμό των απορριμμάτων στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον οι προσπάθειες συνίστανται αφενός στη λήψη νομοθετικών μέτρων και αφετέρου στην ευαισθητοποίηση των πληθυσμών. Το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο τροποποιείται και εμπλουτίζεται κατά διαστήματα, αποτελείται από πληθώρα Νόμων, Αποφάσεων και Οδηγιών (ενδεικτικά αναφέρουμε τη MARPOL 73/78 και την ΚΥΑ 180036/95/2017 επιβολής τέλους χρήσης πλαστικών σακουλών).

Για το δεύτερο σκέλος (ευαισθητοποίηση του κοινού) δύο πιλοτικές προσπάθειες που διεξήχθησαν παρέχουν αξιόπιστα στοιχεία για την αποτελεσματικότητα του μέτρου.

Το Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο του 2019 εφαρμόστηκε ένα πιλοτικό πρόγραμμα σε 11 από τις 24 παραλίες της έρευνας των Grelaud & Ziveri (2020). Αυτές ήταν οι T και L παραλίες της Σικελίας, της Μάλτας, της Κρήτης, της Ρόδου και της Κύπρου (από μία σε αριθμό), καθώς και η T της Μαγιόρκα (οι R παραλίες εξαιρέθηκαν λόγω του μικρού ρυθμού συσσώρευσης κατά την υψηλή τουριστική περίοδο του 2017). Το πρόγραμμα ευαισθητοποίησης περιλάμβανε διανομή φυλλαδίων και τοποθέτηση αφισών στις εισόδους των 11 παραλιών. Στις αφίσες αναγράφονταν τα αποτελέσματα της έρευνας του 2017 και η πιθανή σύνδεση των ευρεθέντων απορριμμάτων με τους τότε επισκέπτες. Σε έξι παραλίες τοποθετήθηκαν τασάκια (παραλίες Μάλτας, Κρήτης και Κύπρου). Σε πέντε παραλίες προστέθηκαν κάδοι απορριμμάτων και το σύνολο των κάδων προσαρμόστηκε έτσι, ώστε να συλλέγονται χωριστά τα ανακυκλώσιμα υλικά (με ενδείξεις στην τοπική γλώσσα και στα αγγλικά). Σε εννέα παραλίες παρευρίσκονταν εκπρόσωποι του πιλοτικού προγράμματος και ενημέρωναν τους επισκέπτες για το θέμα της σοβαρότητας του προβλήματος των θαλάσσιων απορριμμάτων και την ανάγκη

περιορισμού τους. Στο διάστημα μεταξύ δύο εβδομάδων και δύο μηνών από την έναρξη των δραστηριοτήτων των προγράμματος πραγματοποιήθηκε μία και μόνο έρευνα (συλλογή και καταμέτρηση απορριμμάτων) σε κάθε παραλία, στα ίδια ακριβώς τμήματα που ερευνήθηκαν το 2017 και με την ίδια διαδικασία. Στις παραλίες T οι έρευνες έλαβαν χώρα 6,7 ημέρες κατά μέσο όρο μετά τον τελευταίο καθαρισμό και στις L παραλίες ο αντίστοιχος χρόνος ήταν 35,1 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός συσσώρευσης (AR) των απορριμμάτων που συνήθως οφείλονται στον τουρισμό και τις ψυχαγωγικές εκδηλώσεις ελαττώθηκε σε όλες τις παραλίες T και η μείωση αυτή ήταν 47,7% κατά μέσο όρο, σε σύγκριση με τον AR των ίδιων μηνών του 2017. Η μικρότερη μείωση του AR σημειώθηκε στην T παραλία της Κύπρου (20,8%) και η μεγαλύτερη στην T παραλία της Ρόδου (98,8%). Μείωση παρατηρήθηκε και στις τέσσερις από τις πέντε παραλίες L που μελετήθηκαν. Σ' αυτές τις τέσσερις παραλίες ο ρυθμός συσσώρευσης των απορριμμάτων που άφησαν οι επισκέπτες κατά μέσο όρο ελαττώθηκε κατά 50,1% σε σχέση με το 2017. Η παραλία L της Σικελίας ήταν η μόνη που παρουσίασε αύξηση, και μάλιστα εξαπλάσια του AR. Σ' αυτή την παραλία δεν διατέθηκαν τασάκια και επίσης δεν υπήρχε εκπρόσωπος των ερευνητών για να ενημερώνει τους επισκέπτες.

Τα αποτσίγαρα στις έξι παραλίες που το 2019 διατέθηκαν τασάκια μειώθηκαν κατά μέσο όρο κατά 54,5% σε σχέση με το 2017. Στις παραλίες που δεν διατέθηκαν τασάκια παρατηρήθηκε ελάττωση των αποτσίγαρων κατά 57,8% (δεν περιλαμβάνεται η παραλία L της Σικελίας, στην οποία μετρήθηκαν οκταπλάσια αποτσίγαρα από ότι το 2017). Φαίνεται ότι η παρουσία ή όχι σταχτοδοχείων δεν επηρέασε τη συμπεριφορά των καπνιστών ως προς το πού αποθέσαν τα αποτσίγαρά τους.

Για τα υπόλοιπα πιο άφθονα απορρίμματα οι ρυθμοί συσσώρευσης κινήθηκαν το 2019 σε σχέση με το 2017 ως ακολούθως:

- i. Πλαστικά καπάκια: -51,8% στις T παραλίες και -50,7 στις L παραλίες.
- ii. Μαχαιροπίρουνα, δίσκοι και καλαμάκια: -74,0% στις T παραλίες και -65,0% στις L παραλίες.
- iii. Περιτυλίγματα γλυκών και μαστούνια γλειφιτζουριών: -59,5% στις T παραλίες και +153,8% στις L παραλίες (εξαιρουμένης της Σικελίας).
- iv. Μεταλλικά πόματα μπουκαλιών: -40,6% στις T παραλίες και -42,4% στις L παραλίες.

Το έργο *LIFE DEBAG*, που αναφέρθηκε στα προηγούμενα (Fakiris et al. 2022), είχε βασική συνιστώσα μια εκστρατεία ευαισθητοποίησης των πολιτών με κύριο στόχο την ελάττωση των πλαστικών σακουλών στον σχεδόν κλειστό κόλπο της Ερμούπολης Σύρου. Στο χρονικό διάστημα εξέλιξης του έργου (Φεβρουάριος 2016 – Ιανουάριος 2019) και ενώ η προσπάθειά της στοχευμένης ευαισθητοποίησης των πολιτών είχε ήδη φέρει θετικά αποτελέσματα, επισυνέβησαν δύο γεγονότα, τα οποία ενίσχυσαν την προσπάθεια. Το πρώτο ήταν το αγκάλιασμα του έργου από τον τοπικό Δήμο, ο οποίος από το δεύτερο έτος αύξησε σημαντικά τους καθαρισμούς στο χερσαίο περιβάλλον και ενίσχυσε τις προσπάθειες ανακύκλωσης. Το δεύτερο ήταν η επιβολή τέλους στις πλαστικές σακούλες που ξεκίνησε την 1η Ιανουαρίου 2018, σύμφωνα με τη Κ.Υ.Α. 180036/95/2017. Οι ερευνητές κατέγραψαν σχεδόν κατακόρυφη τάση της μείωσης της πλαστικής σακούλας στο θαλάσσιο περιβάλλον από την αρχή των δράσεων ευαισθητοποίησης του έργου *LIFE DEBAG* και αυτή η τάση δεν έγινε πιο απότομη μετά την

εφαρμογή της Κ.Υ.Α. (προφανώς οι κάτοικοι ήταν ήδη ευαισθητοποιημένοι σε υψηλό βαθμό από την εφαρμογή του πιλοτικού προγράμματος).

Τα ανωτέρω αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των δράσεων ευαισθητοποίησης των πολιτών στη γενικότερη προσπάθεια ελάττωσης της ρύπανσης των θαλασσών και γενικότερα του περιβάλλοντος. Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται από το δεδομένο ότι η μείωση των απορριμμάτων στον κόλπο της Ερμούπολης ήταν μεγαλύτερη στα πιο ρηχά μέρη που γειτνιάζαν με τη χέρσο, όπου και ελάμβαναν χώρα οι δράσεις ευαισθητοποίησης του κοινού. Σημαντικότατο είναι και το εύρημα ότι τη μεγαλύτερη μείωση παρουσίασαν οι πλαστικές σακούλες που ήταν ο στοχευμένος τύπος απορριμμάτων του έργου (μείωση 65% στα τρία χρόνια παρακολούθησης).

1 ΣΤΕΡΕΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ

Παρακάτω θα εξεταστούν οι κατηγορίες απορριμμάτων χωριστά. Θα αναφερθούν οι πηγές τους και οι οδοί διοχέτευσής τους στη θάλασσα, θα αναλυθεί η πορεία τους στη θαλάσσια υδάτινη στήλη και τέλος θα επισημανθούν οι επιπτώσεις τους στους ιχθυοπληθυσμούς.

1.1 Πλαστικά

Τα πλαστικά είναι υλικά που προκύπτουν από απλές οργανικές ενώσεις με τη διαδικασία του *πολυμερισμού*. Κατά τον πολυμερισμό συνενώνονται χιλιάδες μόρια της ίδιας ένωσης (μικρού Μοριακού Βάρους) και δημιουργείται, σε σχήμα αλυσίδας, ένα μεγαλομόριο με πολλαπλάσιο Μ.Β. από εκείνο της αρχικής. Η αρχική ένωση ονομάζεται *μονομερές* και η τελική *πολυμερές*. Πολυμερή παράγονται από ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς και ονομάζονται *φυσικά πολυμερή* (π.χ. το μετάξι και η κυτταρίνη) ή δημιουργούνται στο εργαστήριο, οπότε ονομάζονται *συνθετικά πολυμερή*. *Βαθμός πολυμερισμού* ονομάζεται ο αριθμός των μονομερών που συμμετέχουν στη δημιουργία του αντίστοιχου πολυμερούς. Επομένως, από το ίδιο μονομερές δημιουργούνται πολλά πολυμερή. Τα πολυμερή συνήθως ονομάζονται με σύνθετη λέξη που προκύπτει αν στο όνομα του αντίστοιχου μονομερούς τεθεί το πρόθεμα πολυ-. Έτσι, τα πολυμερή του αιθυλενίου ονομάζονται πολυαιθυλένια, του στυρενίου ονομάζονται πολυστυρένια κ.ο.κ. Τα πολυμερή σπάνια χρησιμοποιούνται καθαρά. Συνήθως προστίθενται σ' αυτά άλλες ουσίες και τότε ονομάζονται *πλαστικά*: στην καθημερινότητα οι λέξεις πολυμερή και πλαστικά ταυτίζονται. Τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο παγκοσμίως είναι εκείνα που αποτελούνται από PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο), PET (τερεφθαλικό πολυαι-

θυλένιο), PP (πολυπροπυλένιο) και PE (πολυαιθυλένιο) (Βάρβογλης Γ. & Βάρβογλης Ν. 1971· Ανώνυμος 2022).

Το πλαστικό, λόγω των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του, έχει μπει πλέον στην καθημερινότητα του σύγχρονου ανθρώπου. Είναι υλικό εύπλαστο, ανθεκτικό, ελαφρύ, μονωτικό και επιπλέον φθηνότερο από άλλα υλικά. Έτσι για τη δημιουργία πάρα πολλών αντικειμένων (ή τμημάτων αυτών) ή συσκευών ή κατασκευών (ή τμημάτων αυτών) χρησιμοποιείται πλαστικό, εκτοπίζοντας όλο και περισσότερο υλικά, όπως μέταλλο, γυαλί, ξύλο, πηλός και πορσελάνη, τα οποία είναι ακριβότερα ή/και εύθραυστα. Τα πλεονεκτήματα του πλαστικού οδήγησαν σε πολύ μεγάλη αύξηση της ζήτησης τις τελευταίες δεκαετίες και για να ικανοποιηθεί αυτή η ζήτηση χρειάστηκε να αναπτυχθεί ταχύτατα η τεχνολογία παραγωγής συνθετικών πολυμερών. Τα νέα και αναβαθμισμένα προϊόντα οδήγησαν (και εξακολουθούν να οδηγούν) σε διαρκώς αυξανόμενη χρήση προϊόντων αυτής της τεχνολογίας. Είναι χαρακτηριστικό ότι τη δεκαετία του 2010 παράγονταν σχεδόν 300 εκατομμύρια τόνοι ανά έτος, ενώ τη δεκαετία του 1950 παράγονταν 2 έως 5 τόνοι πλαστικών ανά έτος (Laglbauer et al. 2014· Lozoya et al. 2016). Αυτή η αλυσίδα των εξελίξεων είχε ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση τεράστιων ποσοτήτων υπολειμμάτων πλαστικού σε ολόκληρη τη γη και ιδιαίτερα στις πιο ανεπτυγμένες χώρες. Άμεσο επακόλουθο των παραπάνω είναι η διαρκώς αυξανόμενη ποσότητα του πλαστικού που καταλήγει στη θάλασσα, καθώς οι εκτιμήσεις ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με το θέμα τοποθετούν το ποσοστό του πλαστικού, που καταλήγει στη θάλασσα ως υπόλειμμα, στο 10% του χρησιμοποιούμενου πλαστικού (Laglbauer et al. 2014· Kim et al. 2015). Τα πλαστικά καταλήγουν στη θάλασσα είτε με απευθείας ρίψη σ' αυτή είτε μεταφερόμενα από τη

χέρσο με τον άνεμο ή ακολουθώντας τις γνωστές υδάτινες διαδρομές (ποτάμια, χείμαρροι, ρέματα). Για την απευθείας ρίψη δράστες είναι οι επιβάτες/επιβαίνοντες πλοίων κάθε κατηγορίας και οι λουόμενοι σε παράκτιες θαλάσσιες περιοχές.

Συνηθισμένα πλαστικά που καταλήγουν στη θάλασσα είναι σακούλες, τσάντες, είδη ένδυσης και υπόδησης (ρούχα, παπούτσια, γαλότσες κ.ά.), δομικά υλικά, είδη οικιακής χρήσης (λεκάνες, κουβάδες, δοχεία μεταφοράς υγρών), είδη που χρησιμοποιούνται στην εστίαση (πιάτα, πιρούνια και κουτάλια μίας χρήσης, καλαμάκια και συσκευασίες καφέ και αναψυκτικών), εργαλεία αλιείας και υδατοκαλλιέργειας, πλαστικές βάρκες, σωσίβια και παιδικά παιχνίδια. Στα παραπάνω προστίθενται πρώτες ύλες και παράγωγα των βιομηχανιών πλαστικών που απορρίπτονται ανεξέλεγκτα ή από λάθος στο περιβάλλον (Kaberli et al., 2013). Πολλά αντικείμενα που καταλήγουν στη θάλασσα ως απορρίμματα συντίθενται από περισσότερα του ενός υλικά. Τέτοια είναι, π.χ., ηλεκτρικές συσκευές και καλώδια (πλαστικό και μέταλλο) και εξαρτήματα αυτοκινήτων και άλλων μηχανημάτων (πλαστικό, μέταλλο, γυαλί). Η ανασκόπηση μερικών δεκάδων μελετών, που έγιναν στο διάστημα 1987-2001 από αρκετές ομάδες ερευνητών σε διάφορες περιοχές του παγκόσμιου ωκεανού, έδειξε ότι τα πλαστικά τεμάχια αποτελούν το 60 έως το 80% των συνολικών τεμαχίων των απορριμμάτων που καταλήγουν στη θάλασσα (J. και G.B. Derraik, 2002). Νεότερες εκτιμήσεις ανεβάζουν αυτό το ποσοστό στο 80-85% (Commission, 2018).

Έχει διαπιστωθεί ότι η ανθεκτικότητα του πλαστικού στη *βιοαποδόμηση*, στη μετατροπή του δηλαδή σε απλούστερες ουσίες μέσω της δράσης βακτηρίων και μυκήτων, είναι πολύ μεγάλη. Επακόλουθο αυτής της ανθεκτικότητας είναι η μακρόχρονη παραμονή του στις ακτές και στη θάλασσα χωρίς να αλλοιώνεται. Το γεγονός αυτό, συνδυασμένο με το δεδομένο της διαρκούς αύξησης ποσοτήτων

πλαστικού που απορρίπτονται, έχει δημιουργήσει έντονη ανησυχία στην επιστημονική κοινότητα για τους κινδύνους που μπορεί να δημιουργούν τα πλαστικά στα θαλάσσια οικοσυστήματα (Karapanagioti & Klontza, 2007· Fok et al., 2017).

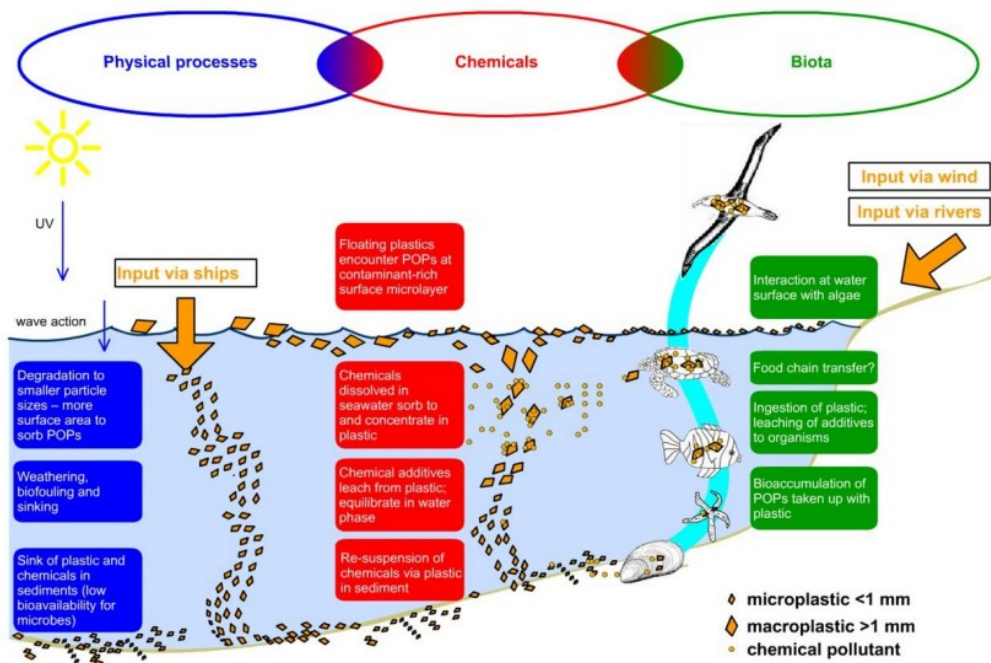
Το μέγεθος των πλαστικών στις θάλασσες και στις ακτές ποικίλλει από κλάσματα του mm έως μερικά m (το μέγεθος καθορίζεται από τη μεγαλύτερη διάσταση). Η έρευνα έχει δείξει ότι πηγή κινδύνων για τους οργανισμούς είναι κυρίως τα πλαστικά μικρού μεγέθους και σε αυτά δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στο πλαίσιο εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας. Το 2004 άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος *μικροπλαστικά* (microplastics) για τα πλαστικά μικρού μεγέθους (χωρίς να ορίζεται ακριβές όριο μεγέθους). Ένας πρώτος αυστηρός ορισμός των μικροπλαστικών προτάθηκε το 2008 από την Εθνική Διοίκηση για τον Ωκεανό και την Ατμόσφαιρα (National Oceanic and Atmospheric Administration / NOAA) των Η.Π.Α. Σύμφωνα με την πρόταση, ως μικροπλαστικά ορίζονται τα τεμάχια πλαστικών που η μεγαλύτερη διάστασή τους είναι μικρότερη των 5mm (Kaberli et al. 2013· Fok & Cheung 2015). Ο παραπάνω ορισμός έχει γίνει μεν αποδεκτός από πολλούς επιστήμονες, αλλά αμφισβητείται από μεγάλη μερίδα της επιστημονικής κοινότητας. Έτσι, πολλές σχετικές μελέτες επεκτείνονται σε πλαστικά μεγέθους διαστάσεων μικρότερων των 20mm (Hidalgo-Ruz et al. 2012). Ορισμένοι ερευνητές υπερβαίνουν και το όριο των 20mm για το μέγεθος των πλαστικών τεμαχίων της έρευνάς τους (Laglbauer et al. 2014· Esiukova 2017). Τα τελευταία χρόνια κατά την εξέταση των πλαστικών αντικειμένων που καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα για τεμάχια που έχουν διαστάσεις μεταξύ 5mm και 10mm. Γι' αυτή την κατηγορία έχει σχεδόν καθιερωθεί η ονομασία *μεσοπλαστικά* (Laglbauer et al. 2014· Fok & Cheung 2017). Οι αμφισβητήσεις, πάντως, των ορισμών δεν είναι χωρίς βάση. Η πιθανότητα πολλά

πλαστικά, που σήμερα δεν θεωρούνται μικροπλαστικά (με οποιοδήποτε ορισμό), να μετατραπούν σε μικροπλαστικά είναι πολύ μεγάλη, λόγω θρυμματισμού και διαδοχικών κατατμήσεων. Θρυμματισμοί και κατατμήσεις μπορεί να επισυμβούν είτε λόγω προσκρούσεων σε σκληρά αντικείμενα (μηχανική διαδικασία) είτε λόγω φωτοχημικών διεργασιών. Συνήθως τα δύο αίτια (μηχανικές και φωτοχημικές διεργασίες) λειτουργούν συνεργατικά, αφού έχει αποδειχθεί ότι η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου και η ισχυρή παρουσία οξυγόνου, σε συνδυασμό με μηχανική δράση και αυξημένη θερμοκρασία, υποβαθμίζουν τις χημικές ιδιότητες των πολυμερών και διευκολύνουν τον θρυμματισμό των πλαστικών (Andrady 2011). Σήμερα το ενδιαφέρον των ερευνητών στρέφεται και στη μελέτη τεμαχίων πλαστικού μεγέθους nm (Mentozza et al. 2018).

Το κύριο συστατικό των μικροπλαστικών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ένα συνθετικό πολυμερές, δηλαδή οργανική ένωση που σχηματίζεται από τη συνένωση πολλών ομοίων απλούστερων μορίων με ομοιοπολικό δεσμό. Τα πιο συνηθισμένα πολυμερή-συστατικά των μικροπλαστικών είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο και το νάιλον (Karapanagioti & Klontza 2007· Wessel et al. 2016), αλλά συχνά συναντώνται και μικροπλαστικά που αποτελούνται από πολυεστέρα, ακρυλικό, πολυβινυλοχλωρίδιο και πολυβινυλική αλκοόλη, πολυστυρόλιο, πολυουρεθάνη, πολυακρυλονιτρίλιο, αλκυδική ρητίνη και ίνες πολυαμιδίου (Laglbauer et al. 2014· Wessel et al. 2016).

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μικροπλαστικών είναι το μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα, η πυκνότητα και η σύστασή τους. Η ποικιλία όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι μεγάλη.

Η συγκέντρωσή των μικροπλαστικών στο θαλασσινό νερό, δηλαδή ο αριθμός τεμαχίων ανά μονάδα όγκου θαλασσινού νερού, αυξάνεται με τον χρόνο, επειδή διοχετεύονται αδιάκοπα στη θάλασσα μικροπλαστικά και πλαστικά απορρίμματα μεγαλύτερου μεγέθους (που πολλά απ' αυτά με την πάροδο του χρόνου θα μετατραπούν σε μικροπλαστικά) αλλά και επειδή τα ήδη διαμορφωμένα μικροπλαστικά κατακερματίζονται περαιτέρω (Εικ. 3). Ανάλογα φαινόμενα συμβαίνουν και στα παράκτια ιζήματα. Στα μικροπλαστικά συναντώνται όλα τα χρώματα και πολλές αποχρώσεις τους. Συνήθως είναι μονόχρωμα, αλλά δεν λείπουν και τα δίχρωμα ή πολύχρωμα, ενώ ορισμένα εμφανίζονται διαφανή. Το ξεθώριασμα του χρώματος από τον ήλιο είναι δηλωτικό του μεγάλου χρόνου παραμονής τους στις παραλίες ή/και στα επιφανειακά νερά.



Εικόνα 3. Μικροπλαστικά από πηγές στη χέρσο και τη θάλασσα μεταφέρονται στο θαλάσσιο περιβάλλον και κατανέμονται στις διαφορετικές υποενοότητες (παράκτια ιζήματα, επιφάνεια και στήλη του νερού, ιζήματα του πυθμένα, οργανισμοί). Φυσικές και βιοχημικές διεργασίες συμβάλουν στην κατάτμηση αρχικά μεγαλύτερων τεμαχίων. Χημικοί τοξικοί ρύποι προσροφώνται στις

επιφάνειες των μικροπλαστικών που καταναλώνονται από θαλάσσιους οργανισμούς με αποτέλεσμα τη βιοσυσσώρευσή τους (Leslie 2014).

Με κριτήριο το αν ήταν ήδη μικροπλαστικά ή όχι όταν αποτέθηκαν στο περιβάλλον, τα μικροπλαστικά διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: στα *πρωτογενή* και στα *δευτερογενή*. Ως πρωτογενή χαρακτηρίζονται εκείνα που εισέρχονται στο περιβάλλον έχοντας ήδη μέγεθος μικροπλαστικών. Τέτοια είναι μικροτεμάχια που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στις βιομηχανίες καλλυντικών και υλικών καθαρισμού, μικροπλαστικά σωματίδια που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες λείανσης επιφανειών μέσω αμμοβολής και συνθετικές ίνες που αποσπώνται από ρούχα κατά τη πλύση τους. Στην κατηγορία των δευτερογενών μικροπλαστικών ανήκουν εκείνα που προέρχονται από αρχικά μεγαλύτερα τεμάχια, τα οποία υπέστησαν διαδοχικές κατατμήσεις και θρυμματισμούς.

Μικροπλαστικά και πλαστικά αντικείμενα μεγαλύτερου μεγέθους στο άβιο θαλάσσιο περιβάλλον συναντώνται στην επιφάνεια (επιπλέοντα), στη στήλη του νερού και στα ιζήματα του πυθμένα (βενθικά). Συναντώνται επίσης και στα παράκτια χερσαία ιζήματα. Το είδος της περιοχής (σύμφωνα με την παραπάνω διάκριση) που θα ερευνηθεί καθορίζει και τη μέθοδο δειγματοληψίας. Με άλλο τρόπο θα ληφθούν δείγματα από μία αμμώδη παραλία, με άλλο από τον θαλάσσιο πυθμένα, με άλλο από τη στήλη του νερού και με άλλο από την επιφάνεια της θάλασσας. Μετά τη δειγματοληψία ακολουθεί ο διαχωρισμός των πλαστικών τεμαχίων. Και εδώ οι διαδικασίες διαφοροποιούνται και καθορίζονται κυρίως από την πυκνότητα και το μέγεθος των πλαστικών αντικειμένων. Οι τεχνικές που μπορεί να ακολουθηθούν είναι *διαχωρισμός* τεμαχίων αξιοποιώντας τη διαφορά πυκνότητάς τους, *διήθηση*, *κοσκίνισμα*, και *οπτική διαλογή*. Η τελευταία, η οπτική διαλογή δηλαδή, είναι αναγκαία για όλα τα δείγματα καθώς μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των

πλαστικών από άλλα υπολείμματα, όπως γυαλιά, θραύσματα κελύφους αυγών ή οστών ζώων, ξύλα, αποξηραμένα φύκια ή φύλλα, πίσσα κ.ά. (Hidalgo-Ruz et al. 2012). Εκτός από το άβιο περιβάλλον, όπως περιεγράφηκε παραπάνω, μικροπλαστικά ανιχνεύονται τα τελευταία χρόνια και στους θαλάσσιους οργανισμούς. Ιδιαίτερα φαίνεται να επικάθονται στο πεπτικό σύστημα ή να εισχωρούν στους ιστούς ενός ευρύτατου φάσματος ταξινομικών ομάδων (Karapanagioti & Klontza 2007· Laglbauer et al. 2014· Wessel et al. 2016). Γι' αυτό το θέμα θα γίνει εκτενέστερη αναφορά παρακάτω.

Η TSG-ML (Technical Subgroup for Marine Litter) του Ινστιτούτου Περιβάλλοντος και Αειφορίας του Κοινού Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής πρότεινε το 2013 μία ταξινόμηση/κωδικοποίηση για τα μικροπλαστικά, κατατάσσοντάς τα σε πέντε βασικές κατηγορίες: fragments (θραύσματα), pellets (σφαιρίδια), filaments (ίνες), films (μεμβράνες) και foamed (αφρώδη υλικά π.χ. φελιζόλ). Οι δύο πρώτες κατηγορίες διαιρούνται σε υποκατηγορίες με κριτήριο το σχήμα και τον βαθμό στρογγυλότητας των τεμαχίων. (Πίν. 2)

Πίνακας 2. Κατηγορίες και κωδικοί μικροπλαστικών (TSG-ML 2013)

TSG_ML General - Code	General Name	
G103	Plastic fragments rounded < 5 mm	Πλαστικά θραύσματα στρογγυλεμένα
G104	Plastic fragments subrounded <5 mm	Πλαστικά θραύσματα υποστρογγυλεμένα
G105	Plastic fragments subangular < 5 mm	Πλαστικά θραύσματα υπογωνιακά
G106	Plastic fragments angular < 5 mm	Πλαστικά θραύσματα γωνιακά
G107	Cylindrical pellets < 5 mm	Κυλινδρικοί σβώλοι (κόκκοι)
G108	Disks pellets < 5 mm	Δισκοειδείς σβώλοι (κόκκοι)
G109	Flat pellets < 5 mm	Επίπεδοι σβώλοι (κόκκοι)

G110	Ovoid pellets < 5 mm	Ωοειδείς σβώλοι (κόκκοι)
G111	Spheruloids pellets < 5 mm	Σφαιροειδείς σβώλοι (κόκκοι)
G113	Filament < 5 mm	Νήμα
G114	Films < 5 mm	Μεμβράνες
G115	Foamed plastic < 5 mm	Αφρώδες πλαστικό

1.1.1 Επιπτώσεις των πλαστικών απορριμμάτων στους θαλάσσιους οργανισμούς

Οι κίνδυνοι που διατρέχουν οι θαλάσσιοι οργανισμοί από τη παρουσία πλαστικών απορριμμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- i. Κίνδυνοι από εμπλοκή οργανισμών στα απορρίμματα.
- ii. Κίνδυνοι από πνιγμό.
- iii. Κίνδυνοι από κατάποση τεμαχίων από τους οργανισμούς.
- iv. Κίνδυνοι από μεταφορά ξενικών/χωροκατακτητικών ειδών.

1.1.1.1 Εμπλοκή

Το συνηθέστερο φαινόμενο εμπλοκής θαλάσσιων οργανισμών σε πλαστικά απορρίμματα είναι εκείνο που σχετίζεται με τα εγκαταλελειμμένα εργαλεία αλιείας. Εδώ πρωτεύοντα ρόλο παίζει η παρουσία χαμένων ή εγκαταλελειμμένων δίχτων (αυτά τα δίχτυα συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως δίχτυα-φαντάσματα) (Εικ, 4). Παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο από εμπλοκή σε δίχτυα-φαντάσματα είναι το μέγεθος, η δομή και η θέση τους (Sancho et al. 2003). Ένα δίχτυ που έχει εγκαταλειφθεί και είναι τεντωμένο εγκλωβίζει και εξουδετερώνει περισσότερους θαλάσσιους οργανισμούς από ένα παρόμοιο δίχτυ που είναι συμμαζωμένο (Good et al. 2010). Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η διάρκεια του χρόνου που ένα δίχτυ-φάντασμα

επιφέρει πλήγματα στη θαλάσσια πανίδα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία και σχετίζεται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και την τοποθεσία που βρίσκεται (Erzini 1997· Hébert et al. 2001· Humborstad et al. 2003· Reville & Dunlin 2003· Erzini et al. 2008· Newman et al. 2011). Έχει παρατηρηθεί ότι ο εγκλωβισμός ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών σε χαμένα δίχτυα συνεχίζεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στα βαθύτερα νερά από ότι στα ρηχότερα (Humborstad et al. 2003· Large et al. 2009). Από παραβολή διαφόρων μελετών έχει εκτιμηθεί ότι ο χρόνος εμπλοκής αλιευμάτων σε δίχτυα-φαντάσματα εκτείνεται από 30 έως 568 ημέρες από τη στιγμή της εγκατάλειψης των δικτύων (Kühn et al. 2015). Ωστόσο πείραμα των Tschernij και Larsson (2003) στη Βαλτική με απλάδια βυθού έδειξε ότι ο χρόνος αυτός μπορεί να ξεπεράσει τις 800 ημέρες με μειούμενη απόδοση σύλληψης. Όλα τα δεδομένα, πάντως, συνηγορούν ότι η δράση των εγκαταλελειμμένων δικτύων μειώνεται εκθετικά με τον χρόνο (Erzini 1997· Tschernij & Larsson 2003· Ayaz et al. 2006· Baeta et al. 2009). Αυτό συμβαίνει, επειδή με το πέρασμα του χρόνου τα δίκτυα - φαντάσματα αλλοιώνονται με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το ειδικό βάρος τους και το μέγεθος των ματιών και έτσι τελικά καθίστανται ανενεργά (Erzini 1997· Humborstad et al. 2003· Sancho et al. 2003). Αυτό οδήγησε στη σκέψη να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δικτύων υλικά που αποικοδομούνται σχετικά γρήγορα. Η ιδέα αυτή προσκρούει στο γεγονός ότι έτσι θα μειώνεται και ο χρόνος που τα δίκτυα θα είναι επιχειρησιακά ενεργά.

Εκτός από τα δίχτυα και άλλα εγκαταλελειμμένα εργαλεία αλιείας, όπως οι παγίδες, δρουν με τον ίδιο τρόπο, εγκλωβίζουν δηλαδή ψάρια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς. Ο χρόνος δράσης των εγκαταλελειμμένων παγίδων μπορεί να ελαττωθεί, αν τα κορδόνια τους κατασκευαστούν από υλικά που αποικοδομούνται εύκολα, χωρίς

να μειώνεται ουσιαστικά ο χρόνος επιχειρησιακής χρήσης τους, αφού το κόστος αντικατάστασης είναι πολύ μικρό (Antonelis et al. 2011).

Άλλα πλαστικά αντικείμενα που πετάει ή εγκαταλείπει ο άνθρωπος στη θάλασσα και στα οποία μπορεί να μπλεχτούν θαλάσσιοι οργανισμοί είναι σχοινιά, πλαστικές σακούλες και θήκες πολλών ποτών (Norman et al. 1995· Camphuysen 2001· Gomerc'ic' et al. 2009· Votier et al. 2011· Bond et al. 2012· Moore et al. 2013· Rodrvquez et al. 2013).

Επιπτώσεις εμπλοκής. Τα ψάρια που έχουν μπλεχτεί σε δίκτυα – φαντάσματα, παγίδες και άλλα θαλάσσια απορρίμματα είναι φανερό ότι, όσο παραμένουν ζωντανά δυσκολεύονται να εξασφαλίσουν τροφή και έτσι εξαντλούνται και πεθαίνουν. Επίσης αδυνατούν να αποφύγουν τους θηρευτές τους και καθίστανται εύκολα θύματα. Ακόμη και αν καταφέρουν να ξεπλέξουν μετά από πάλη και προσπάθεια οι πληγές τους δυσκολεύουν τις κινήσεις τους και λιγοστεύουν οι πιθανότητες επιβίωσης τους (Arnould & Croxall 1995· Moore et al. 2009· Allen et al. 2012). Ορισμένοι ερευνητές επισημαίνουν, ακόμη, ότι ψάρια και άλλοι θαλάσσιοι οργανισμοί πεθαίνουν από άγχος, όταν εγκλωβίζονται σε εγκαταλελειμμένες παγίδες στον βυθό της θάλασσας (Al-Masroori et al. 2004· Erzini et al. 2008· Antonelis et al. 2011· Cho 2011). Στην ανοικτή θάλασσα έχει παρατηρηθεί δυσπλασία της σπονδυλικής στήλης σε καρχαρίες μετά από παρατεταμένη εμπλοκή σε εγκαταλελειμμένα δίκτυα, φαινόμενο που επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξή του. Σε καρχαρίες, πάλι, ανάλογη εμπλοκή μείωσε το άνοιγμα του στόματος με αποτέλεσμα τη μείωση της δυνατότητας σύλληψης τροφής και ελάττωση της οξυγόνωσης των βραγχίων (Sazima et al. 2002).

Πειράματα έχουν δείξει ότι βενθικοί οργανισμοί που παγιδεύονται σε εγκαταλελειμμένες παγίδες στον βυθό, όταν δεν καταφέρνουν να βρουν δίοδο διαφυγής

πεθαίνουν από την πείνα (Adey et al. 2008· Erzini et al. 2008· Antonelis et al. 2011· Anderson & Alford 2014· Kim et al. 2014· Uhrin et al. 2014). Αυτό, βέβαια θα συμβεί, αν πριν τον θάνατο από αστία, τα εγκλωβισμένα ψάρια δεν έχουν καταβροχθισθεί από άλλα μεγαλύτερα ψάρια, τα οποία με τη σειρά τους τα περιμένει ανάλογη τύχη (Kaiser et al. 1996· Stevens et al. 2000· Hébert et al. 2001). Αυτή η διαδοχή γεγονότων ελαττώνει τα χρήσιμα για τον άνθρωπο αλιεύματα, τουλάχιστον σε τοπικό επίπεδο. Έχει παρατηρηθεί ακόμη ότι κάποια ψάρια και άλλοι θαλάσσιοι οργανισμοί βρίσκουν καταφύγιο σε θαλάσσια απορρίμματα και αυτό αυξάνει τον κίνδυνο εμπλοκής και τραυματισμού των θηρευτών τους (Tschernij & Larsson 2003). Είναι χαρακτηριστικό ότι εντοπίστηκε τσιπούρα (*Pagellus acarne*) νεαρής ηλικίας, στο στόμα της οποίας είχε σφηνωθεί ένα δαχτυλίδι από πλαστικό μπουκάλι που της δημιούργησε βαθιά τομή και της προκάλεσε τον θάνατο (Barreiros & Raykov 2014).

Γενικώς, τα παραδείγματα ζημιών λόγω εμπλοκής σε επίπεδο ευρύτερων πληθυσμών είναι σπάνια. Ωστόσο, η αφθονία των παραδειγμάτων σοβαρών επιπτώσεων σε επίπεδο ατόμου, ενισχύει την υποψία ότι η παρουσία των θαλάσσιων απορριμμάτων και η εμπλοκή σ' αυτά λειτουργεί ανασχετικά στην ομαλή ανάπτυξη των άγριων πληθυσμών σε όλα τα στάδιά της (Kühn et al. 2015).



Εικόνα 4. Ψάρι μπλεγμένο σε εγκαταλελειμμένο δίχτυ

(https://atlantea.news/dixty_fantasma_150_metron_anasyrthike_apo_ton_vytho_tis_calderas/ (28.9.2022))

1.1.1.2 Πνιγμός και επιπτώσεις του.

Παρατηρήσεις αλλά και πειράματα έχουν δείξει ότι αλιευτικές παγίδες και άλλα βαριά θαλάσσια απορρίμματα (συμπεριλαμβανομένων και ναυαγισμένων πλοίων) που έχουν καταλήξει στον πυθμένα της θάλασσας καταστρέφουν την πυκνότητα της βλάστησης, πνίγοντας ουσιαστικά τα φυτά, με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης (Uhrin et al. 2005· Uhrin & Schellinger 2011· Viehman et al. 2011). Αυτό με τη σειρά του οδηγεί στην ελάττωση της πρωτογενούς παραγωγής επηρεάζοντας τελικά την ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων, άρα και την ομαλή εξέλιξη των ιχθυοπληθυσμών. Σοβαρό αρνητικό ρόλο παίζουν ιδιαίτερα πλαστικές σακούλες ή άλλα πλαστικά φύλλα που καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες του βυθού, καθιστώντας την περιοχή ανοξική (Gal-ganietal. 1996, Wattersetal. 2010, Mordecaietal. 2011, Schliningetal. 2013, Greene-

tal.2015). Μικρότερο ρόλο παίζουν συσσωρεύσεις σε κοιλώματα του βυθού πλαστικών δοχείων, μπουκαλιών, πιάτων και ποτηριών μιας χρήσης (Fakiris et al. 2022).

1.1.1.3 Κατάποση πλαστικού.

Η κατάποση του πλαστικού έχει παρατηρηθεί σε όλα τα είδη των θαλάσσιων χελωνών, στο 59% των ειδών των φαλαινών, στο 36% των ειδών των φωκιών και στο 40% των ειδών των θαλάσσιων πτηνών (Kühn et al. 2015). Για τα ψάρια δεν έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες, αλλά τα στοιχεία που βλέπουν στο φως της δημοσιότητας, δείχνουν ότι ο αριθμός των ειδών των ψαριών, στα οποία διαπιστώνεται κατάποση πλαστικού, αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Σημειώνεται ότι για πρώτη φορά παρατηρήθηκε τέτοια κατάποση στα ψάρια το 1972 (Kühn et al. 2015). Πολλά αρπακτικά ψάρια και άλλοι θαλάσσιοι οργανισμοί καταπίνουν πλαστικά τεμάχια έχοντας ξεγελαστεί από το σχήμα, το μέγεθος και το χρώμα τους, χαρακτηριστικά που τα κάνουν να μοιάζουν με τη λεία τους. Σφαιρικά ή σφαιροειδή μικροπλαστικά, που έχουν μέγεθος και χρώμα παραπλήσιο με τη φυσική τροφή ειδών της θαλάσσιας πανίδας, παραπλανούν πολύ εύκολα τους αντίστοιχους οργανισμούς και γι' αυτό είναι τα πιο επικίνδυνα. Η κατάποση αυτή έχει καθιερωθεί να ονομάζεται *σκόπιμη* κατάποση (Kühn et al. 2015). Μελέτη δείγματος 595 ατόμων μεγάλων αρπακτικών ψαριών, που ανήκαν σε επτά είδη, έδειξε ότι είχαν καταπιεί πλαστικά σε ποσοστό 19% (Choy & Drazen 2013). Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι το 54% των βελανίδων (πελαγικό ψάρι) καταπίνει πλαστικά (Kühn et al. 2015).

Τέσσερις έρευνες των τελευταίων ετών που ασχολούνται αποκλειστικά με την κατάποση πλαστικών από ψάρια δίνουν μία σαφή εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί σήμερα και προϊδεάζει για την εικόνα που θα αναδυθεί, αν ενταθούν οι έρευνες και οι μελέτες.

Από τον Μάρτιο έως και τον Μάιο του 2014 εξελέχθη έρευνα σε διάφορα σημεία της ευρείας περιοχής των Βαλεαρίδων Νήσων και έδειξε ότι το 68% των δειγμάτων γόπας *Boops boops* είχαν καταπιεί μικροπλαστικά διαστάσεων 1nm έως 5mm και σε κάθε άτομο ανιχνεύτηκαν 3,75 συντρίμια κατά μέσο όρο (Nadal et al. 2016). Στη συνέχεια το *B. boops* προσδιορίστηκε από την UNEP/MAP SPA/RAC (2018) ως ψάρι-δείκτης που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα για τη κατάποση πλαστικών από ψάρια.

Ακολούθησε νέα μελέτη στη δυτική Μεσόγειο σε τρεις ιταλικές περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζονταν από εισροή ποταμών, ναυτιλιακή κίνηση, απόσταση από την ακτή και παράκτιο ανθρώπινο πληθυσμό. Σε σύνολο 379 ατόμων ανιχνεύθηκαν μικροπλαστικά στον γαστρεντερικό σωλήνα σε ποσοστό 56% και σε κάθε άτομο υπήρχαν 1,8 συντρίμια κατά μέσο όρο (Sbrana et al. 2020).

Σε προηγούμενη μελέτη που διεξήχθη στην Αδριατική Θάλασσα σε 80 άτομα από το είδος *Sardinia pilchardus* (σαρδέλα) και 80 άτομα από το είδος *Engraulis encrasicolus* (γαύρος), είδη πλαγκτοφάγα με μεγάλη οικολογική και εμπορική αξία, διαπιστώθηκε ότι, και στα δύο είδη το ποσοστό των ατόμων που είχαν καταπιεί πλαστικά ήταν μεγαλύτερο του 90%, με τις σαρδέλες να καταπίνουν περισσότερα αλλά μικρότερου μεγέθους μικροπλαστικά, από τα αντίστοιχα των γαύρων (4,6 τεμάχια ανά άτομο κατά μέσο όρο, έναντι 1,25 των γαύρων). Ο αριθμός των τεμαχίων που κατάπιαν οι σαρδέλες φάνηκε να είναι ανεξάρτητος από το φύλο τους και την εποχή δειγματοληψίας. Στο γαύρο διαπιστώθηκαν διαφορές στην ποσότητα κατάποσης που είχαν σχέση με το φύλο του και το χρώμα των συντριμμίων (προτιμούσε τα μαύρα και μπλε μικροπλαστικά) (Renzi et al. 2019).

Στις τρεις προηγούμενες έρευνες αντικείμενο μελέτης υπήρξε η κατάποση πλαστικών από μικρά ψάρια. Για τα μεγάλα πελαγικά ψάρια δημοσιεύτηκε έρευνα που αναφέρεται σε ψάρια που αλιεύτηκαν στην Μεσόγειο Θάλασσα την περίοδο 2012-2013. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι σε δείγμα 56 ατόμων ξιφία (*Xiphias gladius*) το 12,5% είχε καταπιεί πλαστικά. Επίσης σε δείγμα 34 ατόμων *Thunnus thynnus* είχε καταπιεί πλαστικά το 32,4% ενώ σε δείγμα 31 ατόμων *Thunnus alalunga* το αντίστοιχο ποσοστό ανερχόταν σε 12,9%. Αναμενόμενο ήταν το εύρημα τα μεγάλα ψάρια να καταπίνουν και μακροπλαστικά μεγαλύτερου μεγέθους άνω των 25mm (Romeo et al. 2015).

Οι οργανισμοί (ψάρια, καρκινοειδή και οστρακοειδή) που τρέφονται φιλτράροντας μικρούς ή μεγάλους όγκους νερού είναι δυνατόν να καταπιούν πλαστικά και αυτά να καταλήξουν στο πεπτικό τους σύστημα, χωρίς να τα έχουν επιλέξει ως τροφή. Αυτή η περίπτωση κατάποσης χαρακτηρίζεται ως *τυχαία* ή *δευτερογενής*. Δευτερογενής θεωρείται και η κατάποση πλαστικού που προκύπτει από θήραμα που έχει ήδη τραφεί με πλαστικό (Kühn et al. 2015). Είναι χαρακτηριστικό ότι βρέθηκε αφθονία μικροπλαστικών στα *μυκτοφειδή* (*Myctophid fishes*), ένα είδος ψαριού που αποτελεί σύνηθες θήραμα για πολλά είδη μεγαλύτερων ψαριών (Boerger et al. 2010· Davison & Asch 2011). Αυτό το δεδομένο δείχνει πόσο εύκολα το πλαστικό μπορεί να διαδοθεί κατακόρυφα στην τροφική αλυσίδα. Προϊδεάζει και για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αν οι έρευνες επικεντρωθούν περισσότερο σε ευρύ φάσμα ειδών ψαριών.

Υπάρχουν και είδη ψαριών που τρέφονται εν μέρει στοχεύοντας την τροφή τους και εν μέρει φιλτράροντας το νερό. Τέτοια είδη, για τα οποία ανιχνεύονται μελέτες κατάποσης πλαστικού, είναι η ρέγγα (*Clupea harengus*) και το σαφρίδι (*Trachurus*

trachurus) (Kühn et al. 2015). Ανεξάρτητα από τον τρόπο κατάποσης (σκόπιμα ή δευτερογενώς) το βέβαιο είναι ότι τα μικροπλαστικά στη συνέχεια διατρέχουν ολόκληρη την τροφική αλυσίδα μέχρι τον άνθρωπο (Kim et al. 2015· Esiukova 2017).

Από περιορισμένη τοπικά μελέτη σε ακτή της Βραζιλίας διαπιστώθηκε ότι η κατάποση πλαστικών από γατόψαρα της οικογένειας *Ariidae*, ήταν ποσοτικά παρόμοια στις διάφορες ηλικιακές ομάδες του δείγματος (Possatto et al. 2011), δηλαδή δεν έπαιξε ρόλο η ηλικία. Σε ανάλογο συμπέρασμα οδηγήθηκαν οι Anastasopoulou et al. το 2013 για τον γατοκαρχαρία (*Galeus melastomus*) των βαθιών νερών. Υπάρχουν επίσης ευρήματα μικρών πλαγκτοφάγων ψαριών που δείχνουν ότι άτομα μεγαλύτερου μήκους καταπίνουν περισσότερα πλαστικά τεμάχια από άτομα μικρότερου μήκους (Boerger et al. 2010).

Το φύλο δεν φαίνεται, γενικά, να παίζει ρόλο στην κατάποση πλαστικών από τους θαλάσσιους οργανισμούς, εκτός από περιπτώσεις ειδών που παρουσιάζουν έντονη σεξουαλική διμορφία, για τις οποίες έχει παρατηρηθεί σύνδεση της πρόσληψης πλαστικού με το φύλο (Kühn et al. 2015). Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι σε ορισμένα πλαγκτοφάγα ψάρια, π.χ. *E. encrasicolus*, τα αρσενικά καταπίνουν περισσότερα μικροπλαστικά από ότι τα θηλυκά (Renzi et al. 2019).

Οι επιπτώσεις της κατάποσης μικροπλαστικών από τους θαλάσσιους οργανισμούς μπορεί να οφείλονται σε μηχανική ή σε τοξική δράση αυτών.

Μηχανικές βλάβες λόγω κατάποσης. Η μηχανική δράση προκαλεί εσωτερικές εκδορές, εντερική απόφραξη και ασφυξία, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της φυσικής κατάστασης και της αναπαραγωγικής τους ικανότητας, χωρίς να αποκλείεται και ο θάνατος (Laglbauer et al. 2014· Fok et al. 2015). Περιστατικά μηχανικής δράσης μικροπλαστικών έχουν παρατηρηθεί σε εκατοντάδες είδη θαλασσίων οργανισμών:

καρκινοειδών, μαλακίων, ψαριών, πτηνών και θηλαστικών (Laglbauer et al. 2014). Το φράξιμο του γαστρεντερικού σωλήνα από πλαστικό μπορεί να οδηγήσει ταχύτατα στον θάνατο ενός άτυχου ζώου που το έχει καταπιεί. Αυτό εκτιμούν οι επιστήμονες, αλλά είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί ένα τέτοιο γεγονός, καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστεί ο χρόνος της κατάποσης. Τα παραδείγματα είναι σποραδικά και εστιασμένα σε άτομα και η επέκταση των όποιων συμπερασμάτων σε επίπεδο πληθυσμού είναι επισφαλής (Kühn et al. 2015). Γι' αυτό οι έρευνες και οι μελέτες επικεντρώνονται στις επί μέρους βλάβες που επιφέρει η κατάποση πλαστικού, οι οποίες βλάβες με αργό ρυθμό μπορεί να οδηγήσουν τους οργανισμούς στον θάνατο. Σε ψάρια έχουν παρατηρηθεί έλκη στα τοιχώματα του στομάχου, τα οποία έχουν αποδοθεί σε πρόσκρουση σ' αυτά πλαστικών. Η κατάληψη τμήματος του στομάχου από πλαστικά δημιουργεί αίσθημα κορεσμού και αυτό ελαττώνει την επιθυμία αναζήτησης τροφής (Hoss & Settle 1990· Kühn et al. 2015). Μικρά πλαστικά σε διαστάσεις λεπτού φύλλου, είναι δυνατόν να καλύψουν τμήματα του εντέρου και να εξασθενίσουν την αποτελεσματικότητα των διεργασιών της πέψης. Πειράματα σε θαλάσσιες χελώνες έδειξαν πράγματι, ότι η μείωση του στομαχικού χώρου από μη τροφικά υλικά προκάλεσε τη μείωση πρόσληψης θρεπτικών συστατικών (Mc Cauley & Bjorndal, 1999). Αυτές οι πειραματικές μελέτες είναι πολύ σημαντικές, καθώς δείχνουν ότι ναι μεν το πλαστικό ως υλικό μπορεί να μην είναι άμεσα θανατηφόρο, αλλά έχει επιπτώσεις στη σωματική ανάπτυξη, τη μέση επιβίωση και την αναπαραγωγική ικανότητα των οργανισμών που συσσωρεύουν το υλικό αυτό στο πεπτικό τους σύστημα. Και παρότι είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί ανάλογο συμπέρασμα για τους άγριους πληθυσμούς (Kühn et al. 2015), είναι εύλογο να αναμένει κανείς ότι τέτοια προβλήματα θα παρουσιάζονται και σ' αυτούς. Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στον

κίνδυνο που εγκυμονεί να προκληθούν διαταραχές στη δομή και τη σύνθεση των κοινοτήτων και των οικοσυστημάτων από τη μηχανική δράση μικροπλαστικών στο εσωτερικό των θαλασσίων οργανισμών.

Τοξική δράση των υλικών κατάποσης. Όπως, όμως, έχει ήδη αναφερθεί τα πλαστικά συνδέονται με ένα σύνθετο μείγμα χημικών ουσιών. Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες αποτελούν συστατικά του ίδιου του πλαστικού στην τελική μορφή του. Κατά τον πολυμερισμό ενός μονομερούς χρησιμοποιούνται αρχικά διαλύτες και καταλύτες και στη συνέχεια διάφορα πρόσθετα προκειμένου το τελικό προϊόν να αποκτήσει τις επιθυμητές ιδιότητες. Στα πρόσθετα περιλαμβάνονται επιβραδυντικά φλόγας, σταθεροποιητές, τασιενεργά, χρωστικές ουσίες κ.ά. (Rochman 2015). Ποσότητες αυτών των ουσιών και τα υποπροϊόντα τους απελευθερώνονται στο περιβάλλον κατά την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη του τελικού προϊόντος. Το ανησυχητικό είναι ότι πολλές από αυτές τις ουσίες είναι επιβλαβείς για τους φυτικούς και τους ζωικούς οργανισμούς (Halden et al. 2010· Lithner et al. 2011). Εκτιμήσεις, μάλιστα, των Ηνωμένων Εθνών και της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεωρούν ότι τα πλαστικά είναι επικίνδυνα σε ποσοστό > 50%, με κριτήριο τα μονομερή τους, τα πρόσθετα και τα υποπροϊόντα που παράγονται κατά τη διαδικασία παραγωγής του πλαστικού και κατά τη διαδικασία υποβάθμισής τους. Επομένως, η παρουσία των πλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον συνιστά εξαρχής ρύπανση. Όμως, το κακό δεν σταματάει εδώ. Στην επιφάνεια των πλαστικών προσροφώνται πλήθος άλλων ρύπων που έχουν εισέλθει με άλλους τρόπους στον ωκεανό. Τέτοιοι ρύποι είναι: έμμοιοι οργανικοί ρύποι (POPs), ανθεκτικές, βιοσυσσωρεύσιμες και τοξικές ουσίες (PBTs), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), πολυβρωμιωμένοι διφαινυλαιθέρες (PBDE) και ABT (Mato et al. 2001· Endo et

al. 2005· Ogata et al. 2009· Hirai et al. 2011· Heskett et al. 2012). Εκτός αυτών στις επιφάνειες των πλαστικών προσροφώνται και μόρια μετάλλων (Ashton et al. 2010· Holmes et al. 2012· Rochman et al. 2014a). Η παρουσία μετάλλων στα πλαστικά τα τελευταία χρόνια ενισχύεται από τη χρήση τους ως πρόσθετων υλικών κατά τη παρασκευή των πλαστικών. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η χρήση του μολύβδου ως πρόσθετου υλικού του PBC (Lithner et al. 2011· Nakashima et al. 2011, 2012).

Το είδος των ρύπων που προσροφώνται στις επιφάνειες των πλαστικών απορριμμάτων είναι φυσικό να εξαρτάται από τη περιοχή του ωκεανού που γίνεται η προσρόφιση, καθώς δεν καταλήγουν σε όλες τις περιοχές του ωκεανού οι ίδιοι ρύποι (Ogata et al. 2009· Hirai et al. 2011). Επίσης ο βαθμός προσρόφισης ρύπων διαφέρει μεταξύ των πλαστικών. Η σύσταση τους και το πόσο πορώδης ή κρυσταλλική είναι η επιφάνεια τους είναι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν και το είδος και τη συγκέντρωση των ρύπων που θα προσροφηθούν (Mato et al. 2001· Karapanagioti & Klontza 2008). Συγκεκριμένα η προσρόφιση είναι πιο έντονη όσο περισσότερο πορώδης είναι η επιφάνεια του μικροπλαστικού. Για τον ρόλο της σύστασης αναφέρουμε ότι σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο και το πολυστυρένιο προσροφούν μεγαλύτερες ποσότητες οργανικών ρύπων από ότι το PBC και το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (Pascall et al. 2005· Teuten et al. 2007· Karapanagioti & Klontza 2008· Rochman et al. 2013c, d). Επίσης η παρουσία του βενζολίου στο πολυστυρένιο που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς, τα οποία προσφέρονται για τη προσκόλληση μεγαλύτερων ποσοτήτων ρύπων (Pascall et al. 2005).

Εκτός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά του πλαστικού (σύσταση και φύση επιφάνειας) σημαντικότατο ρόλο στην ικανότητα προσρόφισης παίζει το μέγεθος του

πλαστικού τεμαχίου. Έχει διαπιστωθεί ότι οι οργανικές χημικές ουσίες προσροφώνται με πιο ταχείς ρυθμούς από πλαστικά τεμάχια μεγέθους νανομέτρου και μικρομέτρου σε σχέση με τα αντίστοιχα που είναι μεγέθους χιλιοστού (Koelmans et al. 2013· Velzeboer et al. 2014). Τα νανοπλαστικά διεισδύουν εύκολα στους ιστούς των ψαριών, δεν παραμένουν δηλαδή στο στομάχι τους, ώστε να αποβληθούν κατά μεγάλο ποσοστό (Mendoza et al. 2018). Έτσι οι προσροφημένοι μολυσματικοί ρύποι διατρέχουν ολόκληρη την τροφική αλυσίδα μέχρι των άνθρωπο, αφού οι ιστοί αποτελούν το κύριο μέρος της τροφής κάθε είδους. Έχει διαπιστωθεί, ακόμη, ότι η προσρόφηση μολυσματικών ουσιών είναι πιο έντονη στα σφαιρικά μικροπλαστικά (Karapanagioti & Klontza 2007· Kim et al. 2015· Wessel et al. 2016· Esiukova, 2017) παρά στα επίπεδα και, όπως προαναφέρθηκε, τα σφαιρικού σχήματος μικροπλαστικά είναι από τα πιο ελκυστικά για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Έρευνες έχουν δείξει ότι η συγκέντρωση των τοξικών ουσιών PCBs (πολυχλωριωμένα διφαινύλια), που είχαν προσροφηθεί στην επιφάνεια κόκκων πλαστικής ρητίνης μεγέθους μικροπλαστικών, ήταν 10^5 - 10^6 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ίδιων ουσιών στο θαλασσινό νερό των περιοχών των ερευνών (Mato et al. 2001). Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι συχνά μολυσματικές ουσίες διεισδύουν βαθύτερα στη μάζα του πλαστικού, δηλαδή ουσιαστικά απορροφώνται απ' αυτό, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου παραμονής σ' αυτό, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την επικινδυνότητα της διαδρομής του πλαστικού στην τροφική αλυσίδα.

Επισημαίνεται εδώ ότι ο ρυθμός συσσώρευσης ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι πολύ βραδύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό συσσώρευσης ρύπων σε εργαστηριακό περιβάλλον. Έτσι ενώ στο εργαστήριο πειράματα για προσρόφηση PAH και μετάλλων έδειξαν αποκατάσταση ισορροπίας σε λιγότερο από 72 ώρες (Holmes et

al. 2012), άλλη μελέτη προσρόφησης οργανικών και μεταλλικών ρύπων σε πλαστικά στο πεδίο (Κολπος San Diego) έδειξε ότι για τους περισσότερους ρύπους η ισορροπία (κορεσμός) δεν είχε αποκατασταθεί στη λήξη του ενός έτους, που διήρκησε η μελέτη (Rochman et al. 2013c, 2014a).

Έχει παρατηρηθεί ότι στη διεπιφάνεια θάλασσας - ατμοσφαιρικού αέρα η συγκέντρωση ορισμένων χημικών ρύπων, όπως PBT και μέταλλα, είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη συγκέντρωση των ίδιων ρύπων σε βαθύτερα πελαγικά στρώματα. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο στα πλωτά πλαστικά συντρίμια συναντώνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αυτών των ρύπων. Το γεγονός αυτό αυξάνει την πυκνότητα του συσσωματώματος πλαστικών και ρύπων με αποτέλεσμα την αργή ή γρήγορη καταβύθιση του. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι η προσρόφηση επικίνδυνων χημικών ουσιών στα πλαστικά απαλλάσσει την υδάτινη στήλη από αυτά και άρα η παρουσία των πλαστικών επηρεάζει θετικά το θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό ως ένα σημείο είναι σωστό. Όμως τα μολυσμένα πλαστικά μετακινούμενα με τα θαλάσσια ρεύματα, τον άνεμο και τη βαρύτητα σε όλα τα μήκη, τα πλάτη και τα βάθη των ωκεανών, μολύνουν παρθένες περιοχές και τους οργανισμούς που ζουν σε αυτές (Rochman. 2015).

Έρευνες στο πεδίο έχουν δείξει ότι πολλοί οργανικοί ή μεταλλικοί ρύποι προσροφημένοι σε πλαστικά συντρίμια βιοσυσσωρεύονται στα ψάρια (Rochman et al. 2013b· Rochman et al. 2014b). Βεβαίως, οι θαλάσσιοι οργανισμοί δεν συσσωρεύουν μολυσματικές ουσίες μόνο καταπίνοντας πλαστικά. Οι χημικοί μολυσματικοί ρύποι βρίσκονται παντού στον ωκεανό: στην επιφάνεια, στη στήλη του νερού, στο βένθος, στο ίζημα και στη χλωρίδα. Τα πλαστικά επιβαρύνουν με τέτοιες ουσίες το θαλάσσιο περιβάλλον καθώς οι ουσίες αυτές αποτελούν μέρος των συστατικών τους αλλά και

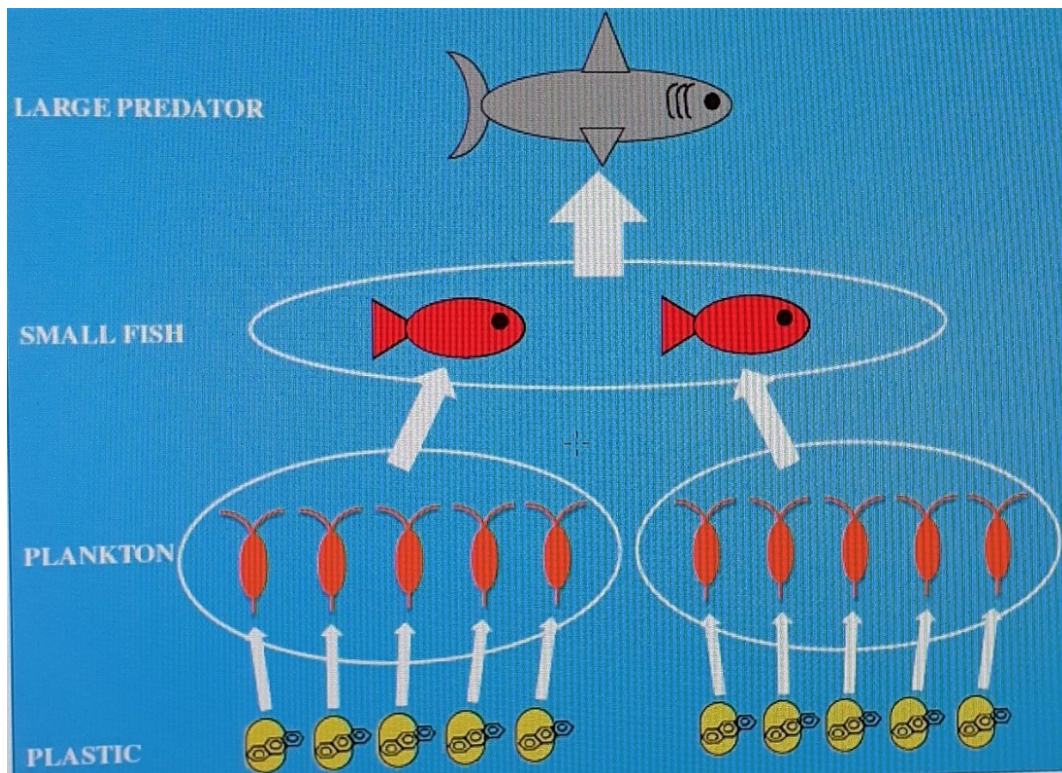
επειδή καθίστανται υποδοχείς προσρόφησης (και κάποιες φορές απορρόφησης) των εν λόγω ουσιών που εισήλθαν στη θάλασσα ακολουθώντας άλλες διαδρομές. Το αποτέλεσμα είναι η μεγέθυνση της βιοσυσσώρευσης σε άγριους πληθυσμούς μέχρι το ανώτατο επίπεδο της τροφικής αλυσίδας (Εικ.5).

Οικοτοξικολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι πολλοί οργανικοί ρύποι και μέταλλα που σχετίζονται με τα πλαστικά συντρίμια στη θάλασσα υποβαθμίζουν τη δομή και τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων (Rochman, 2015). Διεργασίες, όπως η διαίρεση των κυττάρων και η έκκριση ορμονών, διαταράσσονται και αυτό οδηγεί σε νοσηρές καταστάσεις: μείωση ικανότητας αναπαραγωγής και μείωση της ικανότητας αποφυγής των θηρευτών (Brown et al. 2004· Cartwright et al. 2006· Vasseur & Cossu-Leguille 2006· Zhuang et al. 2009). Ειδικότερα, σε ημίκλειστο φυσικό περιβάλλον (θαλάσσιο κόλπο) τροφοδοτήθηκαν ψάρια με πλαστικά πολυαιθυλενίου, στα οποία είχαν προσροφηθεί POPs και μέταλλα και σε δύο μήνες παρατηρήθηκαν τοξικότητα στο συκώτι, μείωση του γλυκογόνου, σημάδια ενδοκρινικής διαταραχής, ανώμαλη ανάπτυξη γεννητικών κυττάρων, κυτταρικός θάνατος και ανάπτυξη καρκινικών όγκων. Οι ερευνητές που ανέπτυξαν αυτό το πείραμα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κατάποση πλαστικών από τα ψάρια έχει επιβλαβή αποτελέσματα, τα οποία είναι δυσμενέστερα όταν στα πλαστικά έχουν προσροφηθεί οργανικές ουσίες προτεραιότητας και μέταλλα (Rochman et al. 2013b· Rochman et al. 2014c).

Ωστόσο η παράμετρος του τοξικολογικού κινδύνου δεν έχει μελετηθεί επαρκώς και είναι αβέβαιο, εάν τα θαλάσσια μικροπλαστικά μπορούν μέσω της κατάποσης από τους θαλάσσιους οργανισμούς, να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της ποιότητάς τους και ακολούθως μέσω της κατανάλωσης να επηρεάσουν δυσμενώς τον άνθρωπο (Laglbauer et al., 2014· Lozoya et al., 2016). Γενική, όμως, είναι η πεποίθηση ότι, και αν ακόμη δεν

συμβαίνει σήμερα αυτό, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να συμβεί στο κοντινό μέλλον. Είναι ένα θέμα που καλείται να δώσει απάντηση η επιστημονική κοινότητα τα επόμενα χρόνια, παράλληλα με την εντατικοποίηση σε παγκόσμιο επίπεδο της προσπάθειας μείωσης της χρήσης του πλαστικού αφενός και της ανεξέλεγκτης απόρριψης των υπολειμμάτων στο περιβάλλον.

Η διαπίστωση, πάντως, ότι η κατάποση πλαστικών, που περιέχουν στη σύνθεσή τους τοξικές ουσίες ή είναι συνδεδεμένα με τέτοιες ουσίες, μειώνει την αναπαραγωγική ικανότητα των ψαριών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κατάποση συντελεί στη μείωση των ιχθυοπληθυσμών ακόμη και χωρίς να είναι άμεσα θανατηφόρα.



Εικόνα 4. Βιομεγέθυνση χημικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα. Το διάγραμμα απεικονίζει ένα σενάριο όπου οργανικές χημικές ουσίες (π.χ. PAH) προσροφημένοι σε πλαστικό μπορεί να μεταφερθούν σε οργανισμούς χαμηλότερου τροφικού επιπέδου (π.χ. ζωοπλαγκτόν) μέσω της κατάποσης και συσσωρεύονται σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μέσω βιομεγέθυνσης σε οργανισμούς υψηλότερου τροφικού επιπέδου (π.χ. μικρά ψάρια και καρχαρίες), που μπορεί τελικά να οδηγήσουν σε μολυσμένα

θαλασσινά για τον άνθρωπο, ως αποτέλεσμα της μόλυνσης από πλαστικό στους θαλάσσιους ιστούς τροφίμων. Το πάχος των βελών απεικονίζει το μέγεθος της βιοσυσώρευσης χημικών ουσιών στα αρπακτικά σε σύγκριση με το θήραμά τους (από Rochman 2015).

1.1.1.4 Τα πλαστικά ως μεταφορείς ξενικών / χωροκατακτητικών ειδών

Η εγκατάσταση μικροοργανισμών σε μη αποικοδομήσιμα (ή δύσκολα αποικοδομήσιμα) θαλάσσια απορρίμματα, σε συνδυασμό με τη μεταφορά τους από τον άνεμο και τα ρεύματα, μπορεί να προκαλέσει εισβολή αυτών των οργανισμών σε νέους βιότοπους (UNEP 2009). Στο νέο περιβάλλον ο ανταγωνισμός για τους διαθέσιμους διατροφικούς πόρους με τα ήδη υπάρχοντα είδη θα διαταράξει την ισορροπία του οικοσυστήματος με αντίκτυπο σε όλη την τροφική αλυσίδα της περιοχής (Majer et al. 2012· Zettler et al. 2013· Goldstein et al. 2014· Galgani et al. 2015). Ανασκόπηση δεκάδων δημοσιευμένων μελετών ανέδειξε τα πλαστικά απορρίμματα ως το προσφιλέστατο υπόστρωμα για εποικισμό μικροοργανισμών. Ελάχιστα taxa βρέθηκαν σε μεταλλικές, γυάλινες ή χάρτινες επιφάνειες. Το μέγεθος και η τραχύτητα της επιφάνειας των απορριμμάτων φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο για τον αποικισμό τους από θαλάσσιους οργανισμούς (Kiessling et al. 2015). Για τα πλαστικά φαίνεται να παίζει κάποιο ρόλο και η σύστασή τους (Carson et al. 2013· Zettler et al. 2013). Οι βλάβες που έχει προκαλέσει ως τώρα στα οικοσυστήματα αυτή η μεταφορά δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, αλλά οι φόβοι των ερευνητών διαρκώς ενισχύονται (Kiessling et al. 2015).

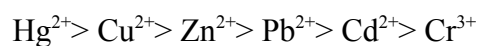
1.2 Μέταλλα

Τα μεγάλου μεγέθους μεταλλικά θαλάσσια απορρίμματα είναι αντικείμενα που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο ή αλουμίνιο. Σε αυτά περιλαμβάνονται κυρίως κουτιά αναψυκτικών, κουτιά που περιείχαν κονσερβοποιημένα τρόφιμα, ηλεκτρικές συσκευές,

δοχεία αποθήκευσης ή μεταφοράς υγρών, εξαρτήματα μηχανημάτων ή και ολόκληρα μηχανήματα. Αυτά τα αντικείμενα, βεβαίως, υποβαθμίζουν την αισθητική του θαλασσίου περιβάλλοντος, αλλά οι επιπτώσεις τους στα οικοσυστήματα είναι μικρές (συσσωρεύσεις τέτοιων αντικειμένων προκαλούν πνιγμό της θαλάσσιας βενθικής χλωρίδας σε περιορισμένη κλίμακα). Όμως, στα θαλάσσια απορρίμματα περιλαμβάνονται αντικείμενα που συναποτελούνται από *βαρέα μέταλλα*, τα οποία είναι επικίνδυνα για τα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Ο όρος *βαρέα μέταλλα* περιλαμβάνει τα μέταλλα με πυκνότητα (ρ) μεγαλύτερη εκείνης του σιδήρου, δηλαδή τα μέταλλα που έχουν $\rho > 7,9 \text{ g/cm}^3$. Στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων περιλαμβάνονται πληθώρα μετάλλων και μεταλλοειδών. Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά σε ορισμένα απ' αυτά με κριτήριο την αποδεδειγμένη τοξική δράση τους στα ψάρια, όταν βρεθούν στο θαλασσίνο νερό. Τα μέταλλα αυτά, κατά φθίνουσα τιμή Ατομικού Βάρους (Α.Β.) είναι: μόλυβδος (Α.Β.=207,20), υδράργυρος (200,59), κάδμιο (112,41), ψευδάργυρος (65,39), χαλκός (63,55) και χρώμιο (51,99).

Τα βαρέα μέταλλα στο θαλασσίνο νερό συναντώνται με μοριακή ή ιοντική μορφή, μόνα τους ή αποτελούν τμήματα μορίων ή ιόντων οργανικών ή ανόργανων ενώσεων. Μέτρο της οξείας τοξικότητας μιας χημικής ουσίας είναι ο δείκτης LC_{50} (θανατηφόρα συγκέντρωση που οδηγεί, εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος, στον θάνατο το 50% των οργανισμών που εκτίθενται στην ουσία). Με κριτήριο τον LC_{50} για 48 ώρες που έχει εφαρμοστεί για νεογνά διαφόρων θαλασσίων οργανισμών η σειρά τοξικότητας των παραπάνω μετάλλων είναι η εξής (Φυτιάνος 1996, σ. 105-106· Δασενάκης 2015):



Η παραπάνω σειρά τοξικότητας μπορεί να ανατραπεί στο πεδίο της έρευνας, καθώς η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων (και επομένως ο δείκτης LC_{50}) επηρεάζεται από αβιοτικούς παράγοντες και από παράγοντες που σχετίζονται με τους οργανισμούς που τα προσλαμβάνουν. Στους αβιοτικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η αλατότητα, η θερμοκρασία και το pH του νερού, η ένταση του φωτός, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και η παρουσία άλλων μετάλλων που δρουν συνεργατικά ή ανταγωνιστικά. Ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες επηρεάζουν ή/και καθορίζουν και τη μορφή του μετάλλου, με την οποία βρίσκεται αυτό στο νερό (ανόργανη, οργανική, μοριακή, ιοντική). Στους παράγοντες που σχετίζονται με τους οργανισμούς περιλαμβάνονται το στάδιο του βιολογικού κύκλου προς την ενηλικίωση του οργανισμού, το φύλο, η ηλικία και το μέγεθος, η διατροφή, το είδος του ιστού που δέχεται την επίδραση του μετάλλου και ο εθισμός που έχει πιθανόν προκαλέσει γενετικές μεταβολές ικανές να αυξήσουν την άμυνά του. (Φυτιάνος 1996, σ. 106· Δασενάκης 2015)

Η πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τους θαλάσσιους οργανισμούς γίνεται αφενός μέσω της επιδερμίδας και των βραγχίων τους και αφετέρου μέσω της τροφής τους. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί αποβάλλουν ποσότητες βαρέων μετάλλων μέσω του ουροποιητικού τους συστήματος, κατά την έκδυση των εξωτερικών ιστών τους και συσσωρεύοντάς τα στα αυγά τους, τα οποία τελικά θα αποχωριστούν. Με τους παραπάνω μηχανισμούς αποβολής οι οργανισμοί προσπαθούν να αποκαταστήσουν μία δυναμική ισορροπία μεταξύ εισερχομένων σ' αυτούς ποσοτήτων βαρέων μετάλλων και των αντίστοιχων αποβαλλομένων (Δασενάκης 2015).

Τα τοξικά βαρέα μέταλλα, όταν προσληφθούν από τους θαλάσσιους οργανισμούς προκαλούν αλλοιώσεις στα κύτταρά τους, επηρεάζοντας αρνητικά τις

φυσιολογικές λειτουργίες αυτών των οργανισμών (ιδιαίτερα, προκαλούν βλάβες στο νευρικό τους σύστημα). Οι αλλοιώσεις των κυττάρων είναι δυνατόν να υποβαθμίσουν τις ενζυμικές και ορμονικές διεργασίες με δυσμενή αντίκτυπο σε όλες τις βασικές λειτουργίες τους από την κινητικότητά μέχρι την αναπαραγωγή τους. Τέλος, τα προαναφερθέντα βαρέα μέταλλα μπορεί να προκαλέσουν αλλεργίες, μεταλλάξεις, τερατογενέσεις και καρκινογενέσεις (Φυτιάνος 1996, σ. 106· Δασενάκης 2015).

Παρακάτω δίνονται περισσότερα στοιχεία για κάθε μέταλλο χωριστά.

1.2.1 Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος με τη μορφή αλάτων του ή μετέχοντας σε οργανικές ενώσεις δημιουργεί τοξικότερες ουσίες και ως απόρριμμα καταλήγει στη θάλασσα όταν ηθελημένα ή κατά λάθος καταλήξουν στη θάλασσα αντικείμενα που τον περιέχουν και δεν είναι λίγα σε αριθμό. Ενδεικτικά αναφέρουμε: ορυκτέλαια, θερμόμετρα, ορισμένοι τύποι μπαταριών, οδοντιατρικά κράματα και ορισμένοι τύποι φωτιστικών (λαμπτήρες φθορίου ή ατμών Hg) (Tangahu et al. 2011· Δασενάκης 2015). Ο Hg βιοσυσσωρεύεται στα ψάρια και γι' αυτό ακριβώς οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υδραργυρικών ενώσεων παρατηρούνται στα σαρκοφάγα ψάρια που βρίσκονται στα ανώτερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας (τόνος, ξιφίας, βακαλάος, καρχαρίας). Αυτά τα μεγάλα ψάρια αφενός καταπίνουν τον Hg που έχει σωρευτεί στη λεία τους και αφετέρου, κολυμπώντας με ανοικτό στόμα για πρόσληψη του αναγκαίου οξυγόνου από το νερό, καταπίνουν και ποσότητες υδραργυρικών ενώσεων που βρίσκονται διαλυμένες στο θαλασσίνο νερό. Επιπλέον προσλαμβάνουν Hg και μέσω των βραγχίων τους. Η πιο τοξική μορφή του Hg είναι η HgCH_3^+ (μεθυλοϋδραργυρικό ιόν ή μεθυλοϋδράργυρος) (Φυτιάνος 1996, σ. 108-111). Η μεθυλίωση του Hg ευνοείται από την ελάττωση του pH. Λόγω της βιοσυσσώρευσης ο λόγος της συγκέντρωσης του HgCH_3^+ στους μύες των ψαριών προς την συγκέντρωσή

του στο νερό του περιβάλλοντός τους συνήθως είναι $10^6:1$ και μπορεί να φθάσει και να ξεπεράσει το $10^9:1$. Ο HgCH_3^+ , όταν εισέλθει στο ψάρι, ενώνεται με τη σουλφυδρυλική ομάδα των πρωτεϊνών του και κατ' αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται και κατανέμεται σε όλους τους ιστούς του ψαριού (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου 2009, σ. 244-245). Άτομα του είδους *Hippoglossus hippoglossus* με βάρος μεγαλύτερο των 115 Kg λόγω της μεγάλης βιοσυσσωρεύσης περιέχουν μεγάλες ποσότητες Hg στους μύες τους και συνήθως, όταν αλιεύονται απορρίπτονται. Η έρευνα έχει δείξει ότι το 50% των δειγμάτων ψαριών αυτού του είδους, βάρους μεταξύ 60 Kg και 115 Kg, είναι ακατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης Hg στους μύες τους (Φυτιάνος 1996, σ. 111-112). Αυτές οι διαπιστώσεις δείχνουν μία έμμεση ελάττωση των ιχθυοπληθυσμών, αφού ναι μεν δεν ελαττώνονται λόγω θανάτου, αλλά καθίστανται μη εκμεταλλεύσιμοι.

1.2.2 Μόλυβδος (Pb)

Θαλάσσια απορρίμματα που περιέχουν Pb είναι παλιοί σωλήνες υδραυλικών εγκαταστάσεων (Tangahu et al. 2011), μπαταρίες αυτοκινήτων, σφαίρες και σκάγια, χρωματισμένα υλικά, πλαστικά (περιέχουν Pb ως σταθεροποιητικό) (Δασενάκης 2015). Στην ιλύ των αστικών αποβλήτων περιέχονται έως και 770 ppm Pb (Φυτιάνος 1996, σ. 112) και μικρότερα ποσά περιέχονται στα αποτσίγαρα (Δουμά 2001). Ο Pb επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη διαφόρων πλαγκτονικών οργανισμών (Σκούλλος 2008, σ. 179). Η κατάποσή του από τους οργανισμούς αναστέλλει τη δράση πολλών ενζύμων (Δασενάκης 2015). Επιπλέον επιδρά στο νευρικό σύστημα των ψαριών και έχει φανεί ότι ορισμένα είδη ψαριών είναι ευαίσθητα κατά την περίοδο της ανάπτυξης ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις Pb (Υψηλάντη 2012).

1.2.3 Κάδμιο (Cd)

Το Cd καταλήγει στη θάλασσα ως συστατικό μπαταριών Cd-Ni, ως σταθεροποιητικό πλαστικών καθώς και ως συστατικό χρωμάτων και κραμάτων (Δασενάκης 2015). Περιέχεται επίσης στην ιλύ που παράγεται κατά την επεξεργασία αποβλήτων. Πολλές φορές αυτή η ιλύς καταλήγει στη θάλασσα. Ως χρωστική ουσία με τη μορφή των αλάτων με θείο και σελήνιο (CdS και CdSe) χρησιμοποιείται ευρέως για τη βαφή πλαστικών. Το CdSe χρησιμοποιείται και στην κατασκευή τμημάτων τηλεοπτικών οθονών και φωτοβολταϊκών, το δε CdS χρησιμοποιείται στην παραγωγή κίτρινων λαμπών (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου 2009, σ. 255). Τα αποτίγματα είναι μία ακόμη πηγή Cd στο θαλάσσιο περιβάλλον (Δουμά 2001· Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου 2009, σ.255· Δασενάκης 2015). Σε υψηλές συγκεντρώσεις επιδρά αρνητικά σε βασικές λειτουργίες του φυτοπλαγκτού, όπως είναι η παραγωγή ενέργειας και η σύνθεση πρωτεϊνών (Δασενάκης 2015), επιφέροντας επιπτώσεις σε ολόκληρη τη τροφική αλυσίδα. Συγκεντρώσεις Cd \geq 0,01 mg/l προκαλούν ελάττωση της φωτοσύνθεσης του φυτοπλαγκτού κατά 20%. Τα ψάρια φαίνεται να προσλαμβάνουν το Cd μέσω των βραγχίων και δια μέσου της διατροφής ενώ η συσσώρευση γίνεται κυρίως στο ήπαρ και στα νεφρά (Φυτιάνος 1996, σ. 118). Μελέτη σε νεαρά άτομα πέστροφας (*Salmo gairdneri*) έδειξε 50% θνησιμότητα μετά από έκθεσή τους για 96 ώρες σε συγκεντρώσεις Cd < 0,5 μg/l σε νερό με pH=7 (Cusinamo 1986).

1.2.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο Zn καταλήγει στη θάλασσα ως συστατικό μπαταριών, ως σταθεροποιητικό πλαστικών, ως συστατικό χρωμάτων και οδοντιατρικών κραμάτων (Δασενάκης 2015). Τα αποτίγματα συνεισφέρουν επίσης ποσότητες Zn στο θαλασσινό νερό (Δουμά 2001). Στους θαλάσσιους οργανισμούς εισέρχεται κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας και η

τάση βιοσυσσώρευσης και βιομεγέθυνσης είναι έντονη. Ενώ σε μικρές συγκεντρώσεις ωφελεί τους θαλάσσιους οργανισμούς, δρώντας ως καταλύτης σε πολλές ενζυματικές αντιδράσεις, σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικός (Δασενάκης 2015). Προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ενώ στα ψάρια η πρόσληψη είναι μικρότερη και με διακυμάνσεις μεταξύ ειδών. Η τοξική δράση του είναι οξεία ή χρόνια. Αποτέλεσμα της οξείας είναι η καταστροφή των κυττάρων στα βράγχια ενώ η χρόνια τοξικότητα αλλοιώνει τους ιστούς πολλών οργάνων και επιβραδύνει τον ρυθμό ανάπτυξης του οργανισμού. Η πρόσληψη Zn από τα ψάρια μπορεί να τα οδηγήσει τελικά στον θάνατο. Η θνησιμότητα, μάλιστα, ενισχύεται αν η πρόσληψη του Zn συνδυαστεί με αύξηση της θερμοκρασίας και ελάττωση της αλατότητας του νερού (Φυτιάνος 1996, σ. 126-127).

1.2.5 Χαλκός (Cu)

Τα απορρίμματα που καταλήγουν στη θάλασσα και περιέχουν χαλκό είναι ηλεκτρικές συσκευές, αντικείμενα κατασκευασμένα από κράματα που περιέχουν χαλκό, ξύλα με συντηρητικά ξυλείας και πάσης φύσεως χρωματισμένα αντικείμενα. Για τα τελευταία έχει αποδειχθεί ότι ελευθερώνουν στη θάλασσα ολόκληρη την ποσότητα του Cu που περιέχουν (Φυτιάνος 1996, σ. 120). Μικρές ποσότητες Cu στο θαλασσινό νερό συνεισφέρουν και τα αποσίγαρα (Δουμά 2001). Η συμμετοχή του Cu ως ιχνοστοιχείου σε πολλούς βιοχημικούς κύκλους των οργανισμών είναι καθοριστική για τη διατήρηση της ζωής των οργανισμών. Αν όμως η συγκέντρωση του αυξηθεί πολύ, η δράση του γίνεται τοξική. Στους ζωικούς οργανισμούς καταστρέφει τα ένζυμα που δρουν καταλυτικά στην αφομοίωση άλλων ιχνοστοιχείων (π.χ. Zn και Mn) που είναι απαραίτητα για τις βιολογικές διεργασίες των οργανισμών (Δασενάκης 2015). Μελέτη σε νεαρά άτομα πέστροφας (*Salmo gairdneri*) έδειξε 50% θνησιμότητα μετά από

έκθεσή τους για 96 ώρες σε συγκεντρώσεις Cu 2,8μg/l σε νερό με pH=7 (Cusimano 1986). Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί θάνατοι ψαριών και θηλαστικών σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,3ppm Cu (Φυτιάνος 1996, σ. 121). Σοβαρότατες είναι οι επιπτώσεις των αυξημένων συγκεντρώσεων του Cu και στο φυτοπλαγκτόν, καθώς προσβάλλεται η μεμβράνη των κυττάρων του και παρεμποδίζεται έτσι η φωτοσύνθεση. Αυτό βεβαίως επηρεάζει αρνητικά ολόκληρη την τροφική αλυσίδα. (Δασενάκης 2015).

1.2.6 Χρώμιο (Cr)

Το Cr καταλήγει στη θάλασσα ως συστατικό χρωμάτων και συντηρητικών βερνικιών ξύλου, ως συστατικό αντισκωριακών μεταλλικών επιφανειών, ως συστατικό μελανιών, και ως συστατικό υφασμάτων και δερμάτινων αντικειμένων (Δασενάκης 2015). Ποσότητες Cr στο θαλασσινό νερό συνεισφέρουν και τα αποτίγματα (Δουμά 2001). Στο θαλάσσιο περιβάλλον συναντάται και ως τρισθενές (Cr³⁺) και ως εξασθενές (Cr⁶⁺). Η επικίνδυνη μορφή είναι το εξασθενές χρώμιο, το οποίο εύκολα διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη και προκαλεί βλάβες στο DNA (Δασενάκης 2015). Η τοξικότητα του Cr⁶⁺ εκδηλώνεται έντονα στο φυτοπλαγκτόν η φωτοσύνθεση του οποίου ελαττώνεται κατά 50%, αν η συγκέντρωση του Cr⁶⁺ γίνει 5,0mg/l. Τα ψάρια είναι πιο ανθεκτικά, αλλά η αυξανόμενη συσσώρευση καθιστά τοξικότερο το Cr⁶⁺, προκαλώντας βλάβες σε πολλές βιολογικές λειτουργίες τους (Φυτιάνος 1996, σ. 131-132).

1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ύπαρξη θαλασσίων απορριμμάτων, δηλαδή απορριμμάτων στην παραλία και στην επιφάνεια, τη στήλη του νερού και τον βυθό της θάλασσας, έχει αναγνωριστεί εδώ και μερικές δεκαετίες ως μεγάλο πρόβλημα με οικονομικές και οικολογικές επιπτώσεις.

Τα θαλάσσια απορρίμματα επιδρούν αρνητικά στους θαλάσσιους οργανισμούς μέσω πνιγμού, εμπλοκής, κατάποσης και μεταφοράς ξενικών ειδών.

Τα πλαστικά αποτελούν αριθμητικά το 80-85% των θαλάσσιων απορριμμάτων (Commission 2018). Αυτή η διαπίστωση, σε συνδυασμό με το δεδομένο ότι πολύ δύσκολα βιοδιασπώνται, τα καθιστούν εύλογα τα πιο ενδιαφέροντα απορρίμματα για τους ερευνητές. Συναντώνται στο θαλάσσιο περιβάλλον σε μεγάλο πλήθος μεγεθών και σε μεγάλη ποικιλία χημικής σύνθεσης. Επιπλέον, είναι δεκτικά στην προσρόφηση ή την απορρόφηση πολλών μολυσματικών ρύπων, ιδιαίτερα των υδρόφοβων. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είτε μόνα είτε συνεργατικά δημιουργούν επικίνδυνες καταστάσεις και δυσάρεστα τελικά αποτελέσματα και με τους τέσσερις τρόπους (πνιγμό, εμπλοκή, κατάποση, μεταφορά ξενικών/χωροκατακτητικών ειδών).

Πλαστικές σακούλες και άλλα πλαστικά φύλλα που καταλήγουν στον βυθό της θάλασσας εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει εκεί, με αποτέλεσμα το *πνίξιμο* της χλωρίδας και τη δημιουργία ανοξικών καταστάσεων. Εκτός από τα παραπάνω αντικείμενα, το ίδιο αποτέλεσμα δημιουργούν και συσσωρεύσεις πλαστικών αντικειμένων μιας χρήσης που, δυστυχώς, συσσωρεύονται σε κοιλάτες του βυθού, κυρίως κοντά σε λιμάνια ή περιοχές με έντονη τουριστική κίνηση (πιάτα, μπουκάλια, ποτήρια, κύπελλα κ.ά). Σχοινιά και εγκαταλελειμμένα αλιευτικά εργαλεία, όταν με την πάροδο του χρόνου καταλήξουν στον βυθό, συμβάλλουν επίσης στο πρόβλημα. Σε τέτοιες πε-

ριοχές παρατηρείται ελάττωση της πυκνότητας της βλάστησης που φθάνει μέχρι την ερήμωση. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η ελάττωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης και της πρωτογενούς παραγωγής. Η ελάττωση της τροφής έχει ως επακόλουθο τον ανταγωνισμό των αυτόχθονων οργανισμών σε κάθε τροφικό επίπεδο και πιθανόν τη μετανάστευση, η οποία με τη σειρά της θα προκαλέσει αναταραχή στα νέα ενδιαιτήματα. Τελικό αποτέλεσμα είναι η ελάττωση των ιχθυοπληθυσμών, τουλάχιστον σε τοπικό επίπεδο. Βεβαίως, το μέγεθος αυτής της ελάττωσης δεν είναι γνωστό ούτε και είναι εύκολο να μετρηθεί. Η μείωση των αλιευμάτων, που διαπιστώνουν οι αλιείς σε ορισμένες κυρίως παράκτιες περιοχές, μπορεί να οφείλεται και σε τέτοιους λόγους (συνήθως αποδίδονται στα φαινόμενα υπεραλίευσης). Τα φαινόμενα πνιξίματος της θαλάσσιας χλωρίδας θα μπορούσαν να ελαττωθούν, αν αποφευγόταν η απόθεση στην παραλία ή η απόρριψη στη θάλασσα των αντικειμένων που τα προκαλούν. Πολλά θα πρόσφερε ο έγκαιρος και συστηματικός καθαρισμός των παραλιών, πριν τα υπεύθυνα για τον πνιγμό της χλωρίδας αντικείμενα καταλήξουν στη θάλασσα. Σημειώνεται ότι άμεσος πνιγμός, δηλαδή θάνατος λόγω φραγής των αγωγών αναπνοής από πλαστικά, δεν έχει παρατηρηθεί σε ψάρια. Έχει, όμως, παρατηρηθεί σε άλλους θαλάσσιους οργανισμούς (π.χ. σε φάλαινες).

Στον πνιγμό της θαλάσσιας χλωρίδας συμβάλει σε πολύ μικρό ποσοστό και η παρουσία στον πυθμένα αντικειμένων από άλλο υλικό: δέρμα, γυαλί, ύφασμα, χαρτόνι, ελαστικό, καουτσούκ και κεραμικό.

Η **εμπλοκή** ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών σε πλαστικά θαλάσσια απορρίμματα είναι μια παρενέργεια με άμεσα καταστροφικά αποτελέσματα σε πολλά είδη και ιδιαίτερα στα ψάρια. Τα αντικείμενα που είναι κυρίως υπεύθυνα για την εμπλοκή ψαριών σ' αυτά είναι τα εγκαταλελειμμένα εργαλεία αλιείας. Τα δίχτυα-

φαντάσματα εγκλωβίζουν ψάρια σε ολόκληρη τη στήλη του νερού, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ζουν στον πυθμένα. Οι επιπτώσεις από την εμπλοκή θαλάσσιων οργανισμών στα εγκαταλελειμμένα δίκτυα δεν περιορίζονται στην απώλεια αυτών των οργανισμών. Τα μπλεγμένα ψάρια δεν θα μεγαλώσουν και δεν θα συμβάλλουν στην αναπαραγωγή του είδους τους. Επιπλέον λειτουργούν ως δόλωμα για μεγαλύτερα ψάρια, τα οποία με τη σειρά τους πιθανότατα θα εμπλακούν στα δίκτυα και κατ' αυτόν τον τρόπο η ελάττωση των ιχθυοπληθυσμών εξελίσσεται πολλαπλασιαστικά. Παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι η πιθανότητα επιβίωσης είναι πολύ μικρή για ψάρια που καταφέρνουν να ελευθερωθούν από δίκτυα μετά από πάλη. Πληγές και εξάντληση δυσκολεύουν τις δυνατότητες άμυνας και εξασφάλισης τροφής, με αποτέλεσμα να πεθαίνουν ή να γίνονται ευκολά θύματα των θηρευτών τους. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα εγκαταλελειμμένα εργαλεία αλιείας οδηγούν τα ψάρια στον θάνατο σχεδόν αμέσως ή σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή της εμπλοκής τους σε αυτά. Η αντοχή του υλικού κατασκευής των δικτύων επιμηκύνει τον χρόνο δράσης τους. Από πολλές μελέτες που στηρίζονται σε παρατηρήσεις και από ελάχιστα πειράματα εκτιμάται ότι τα εγκαταλελειμμένα δίκτυα παραμένουν ενεργά και πέραν των δύο ετών από τη στιγμή της εγκατάλειψής τους. Ο χρόνος αυτός θα μπορούσε να ελαττωθεί αν τα δίκτυα κατασκευάζονταν από υλικά που αποικοδομούνται σχετικά γρήγορα. Η ιδέα όμως αυτή προσκρούει σίγουρα στον μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο που συνεπάγεται, αφού θα μειωθεί έτσι ο χρόνος ζωής των επιχειρησιακών δικτύων και επομένως θα αυξηθεί το κόστος της αλιείας.

Οι εγκαταλελειμμένες παγίδες έχουν τελικά αποτελέσματα στους άγριους πληθυσμούς ανάλογα με εκείνα των δικτύων. Ωστόσο, ο θάνατος των εγκλωβισμένων σε παγίδες ψαριών αργεί περισσότερο. Η έλλειψη τροφής και το άγχος που τους δημιουργ-

γεί ο περιορισμένος χώρος κίνησης τα οδηγεί στον θάνατο. Η απώλεια για τους ιχθυοπληθυσμούς είναι διπλή, αν πριν πεθάνουν τα πρώτα εγκλωβισμένα προσελκύσουν θηρευτές τους, οι οποίοι με τη σειρά τους θα έχουν την ίδια τύχη.

Εκτός από τα δίχτυα και τις παγίδες έχει παρατηρηθεί εμπλοκή ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών και σε άλλα αντικείμενα που εγκαταλείπει ο άνθρωπος στη θάλασσα. Τέτοια είναι πλαστικές σακούλες, σχοινιά, θήκες ποτών και νήματα νάιλον.

Ένας ακόμη κίνδυνος εμπλοκής προέρχεται από το γεγονός ότι κάποια ψάρια βρίσκουν καταφύγιο σε θαλάσσια απορρίμματα. Η επίθεση των θηρευτών σε τέτοια περιβάλλοντα μπορεί να τους εμπλέξει ή να τους τραυματίσει, ιδιαίτερα αν υπάρχουν μεταξύ των απορριμμάτων αιχμηρά αντικείμενα (π.χ. αγκίστρια παραγαδιών).

Γενικώς, τα γνωστά περιστατικά ζημιών λόγω εμπλοκής σε επίπεδο ευρύτερων πληθυσμών είναι σπάνια. Ωστόσο, η αφθονία των παραδειγμάτων σοβαρών επιπτώσεων σε επίπεδο ατόμου, ενισχύει την υποψία ότι η παρουσία των θαλάσσιων απορριμμάτων και η εμπλοκή σ' αυτά λειτουργεί ανασχετικά στην ομαλή ανάπτυξη των άγριων πληθυσμών σε όλα τα στάδιά της (Kühn et al. 2015).

Η **κατάποση** πλαστικών από τους θαλάσσιους οργανισμούς και ειδικότερα από τα ψάρια είναι γεγονός αναμφισβήτητο. Η έρευνα έχει δείξει ότι τα πλαστικά αποτελούν μεγαλύτερη πηγή κινδύνων για τους θαλάσσιους οργανισμούς, όταν έχουν μέγεθος που τα κατατάσσει στα μικροπλαστικά ή στα νανοπλαστικά. Το μικρό μέγεθός τους και η ποικιλία των εξωτερικών χαρακτηριστικών τους τα καθιστά ελκυστικούς και εύκολους στόχους σκόπιμης ή τυχαίας κατάποσης από τους θαλάσσιους οργανισμούς. Σφαιρικά ή σφαιροειδή μικροπλαστικά, που έχουν μέγεθος και χρώμα παραπλήσια με τη φυσική τροφή ειδών της θαλάσσιας πανίδας, παραπλανούν πολύ εύκολα τους αντίστοιχους οργανισμούς και γι' αυτό είναι τα πιο επικίνδυνα.

Υπάρχουν και είδη ψαριών που τρέφονται εν μέρει στοχεύοντας την τροφή τους και εν μέρει φιλτράροντας το νερό. Τέτοια είδη, για τα οποία ανιχνεύονται μελέτες ακούσιας κατάποσης πλαστικού, είναι η ρέγγα (*Clupea harengus*) και το σαφρίδι (*Trachurus trachurus*) (Kühn et al. 2015).

Στο στομάχι των ψαριών καταλήγουν και μικροπλαστικά χωρίς να τα έχουν στοχεύσει τα ίδια τα ψάρια, αλλά τα θηράματά τους (δευτερογενής ή ακούσια κατάποση). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εύρεση αφθονίας μικροπλαστικών στα *μυκτοφειδή* (*M. fishes*). Επειδή τα *μυκτοφειδή* είναι ένα είδος ψαριού που αποτελεί σύνηθες θήραμα για πολλά είδη μεγαλύτερων ψαριών, το παραπάνω παράδειγμα δείχνει πόσο εύκολα το πλαστικό μπορεί να διαδοθεί κατακόρυφα στην τροφική αλυσίδα μέχρι τον άνθρωπο (Kim et al. 2015· Esiukova 2017). Προϊδεάζει και για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αν επεκταθούν οι έρευνες σε ευρύτερο φάσμα ειδών ψαριών. Ήδη έχει δημοσιευτεί μελέτη δείγματος 595 ατόμων μεγάλων αρπακτικών ψαριών, που ανήκαν σε επτά είδη, η οποία έδειξε κατάποση πλαστικών σε ποσοστό 19% (Choy & Drazen 2013).

Στη βιβλιογραφία καταγράφεται ότι το 54% των βελανίδων (πελαγικό ψάρι) καταπίνει πλαστικά (Kühn et al. 2015). Έρευνες των τελευταίων ετών στη Μεσόγειο δείχνουν ότι μικρά ψάρια (γόπα, σαρδέλα, γαύρος) που καταναλώνονται από λαϊκά στρώματα του πληθυσμού καταπίνουν πλαστικά σε μεγάλα ποσοστά (Nadal et al. 2016· Renzi et al. 2019· Sbrana et al. 2020). Αυτές οι έρευνες συμπληρώνουν κατά κάποιον τρόπο προηγούμενες έρευνες στην ίδια Θάλασσα που είχαν αντικείμενο την κατάποση πλαστικών από *X. Gladius*, *Th. thynnus* και *Th. alalunga* (Romeo et al. 2015).

Από τις λιγοστές μελέτες που έχουν δημοσιευτεί η ηλικία των ψαριών δεν φαίνεται να παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα κατάποσης μικροπλαστικών. Απ'

αυτή τη διαπίστωση ξεφεύγουν ορισμένα μικρά πλαγκτοφάγα ψάρια, για τα οποία έχει βρεθεί ότι τα μεγαλύτερα σε μήκος καταπίνουν αναλογικά περισσότερα πλαστικά τεμάχια από ό,τι τα μικρότερα. Το φύλο κατά κανόνα δεν φαίνεται να παίζει ρόλο στην κατάποση πλαστικών από ψάρια. Απ' αυτόν τον κανόνα ξεφεύγουν πάλι ορισμένα πλαγκτοφάγα ψάρια.

Οι βλάβες που προκαλούνται στους θαλάσσιους οργανισμούς και, φυσικά, στα ψάρια από την κατάποση μικροπλαστικών μπορεί να οφείλονται σε μηχανική ή/και τοξική δράση αυτών.

Η **μηχανική δράση** προκαλεί εσωτερικές εκδορές, εντερική απόφραξη και ασφυξία, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της φυσικής κατάστασης και της αναπαραγωγικής τους ικανότητας, χωρίς να αποκλείεται και ο θάνατος (Laglbauer et al. 2014· Fok et al. 2015).

Περιστατικά μηχανικής δράσης μικροπλαστικών έχουν παρατηρηθεί σε εκατοντάδες είδη θαλασσιών οργανισμών: καρκινοειδών, μαλακίων, ψαριών, πτηνών και θηλαστικών (Laglbauer et al., 2014).

Το φράξιμο του γαστρεντερικού σωλήνα από πλαστικό μπορεί να οδηγήσει ταχύτατα στον θάνατο ενός άτυχου ζώου που το έχει καταπιεί. Αυτό εκτιμούν οι επιστήμονες, αλλά είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί ένα τέτοιο γεγονός, καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστεί ο χρόνος της κατάποσης. Τα παραδείγματα είναι σποραδικά και εστιασμένα σε άτομα και η επέκταση των όποιων συμπερασμάτων σε επίπεδο πληθυσμού είναι επισφαλής (Kühn et al. 2015). Γι' αυτό οι έρευνες και οι μελέτες επικεντρώνονται στις επί μέρους βλάβες που επιφέρει η κατάποση πλαστικού, οι οποίες βλάβες με αργό ρυθμό μπορεί να οδηγήσουν τους οργανισμούς στον θάνατο.

Σε ψάρια έχουν παρατηρηθεί έλκη στα τοιχώματα του στομάχου, τα οποία έχουν αποδοθεί σε πρόσκρουση πλαστικών σ' αυτά.

Μικρά πλαστικά σε διαστάσεις λεπτού φύλλου, είναι δυνατόν να καλύψουν τμήματα του εντέρου και να εξασθενίσουν την αποτελεσματικότητα των διεργασιών της πέψης.

Η κατάληψη τμήματος του στομάχου από πλαστικά δημιουργεί αίσθημα κορεσμού και αυτό ελαττώνει την επιθυμία αναζήτησης τροφής (Hoss & Settle 1990).

Πειράματα, όχι σε ψάρια, αλλά σε θαλάσσιες χελώνες, έδειξαν ότι, πράγματι η μείωση του στομαχικού χώρου από μη τροφικά υλικά προκάλεσε τη μείωση πρόσληψης θρεπτικών συστατικών (McCauley & Bjorndal 1999). Αυτές οι πειραματικές μελέτες είναι πολύ σημαντικές, καθώς δείχνουν ότι ναι μεν το πλαστικό, ως υλικό, μπορεί να μην είναι άμεσα θανατηφόρο, αλλά έχει επιπτώσεις στη σωματική ανάπτυξη, τη μέση επιβίωση και την αναπαραγωγική ικανότητα των οργανισμών που συσσωρεύουν αυτό το υλικό στο πεπτικό τους σύστημα. Και παρότι είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί ανάλογο συμπέρασμα για τους άγριους πληθυσμούς (Kühn et al. 2015), είναι εύλογο να αναμένει κανείς ότι τέτοια προβλήματα θα παρουσιάζονται και σ' αυτούς.

Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι είναι προφανής ο κίνδυνος να προκληθούν διαταραχές στη δομή και τη σύνθεση των οικοσυστημάτων και των κοινοτήτων από τη μηχανική δράση των μικροπλαστικών στο εσωτερικό των θαλασσίων οργανισμών και ιδιαίτερα των ψαριών.

Η **τοξική δράση** των μικροπλαστικών έχει πολλές διαστάσεις. Ορισμένα από τα μονομερή που πολυμερίζονται για να δημιουργηθούν τα πλαστικά είναι ήδη τοξικά. Κατά τη διαδικασία του πολυμερισμού χρησιμοποιούνται διαλύτες, καταλύτες και πρόσθετα. Πολλά απ' αυτά τα υλικά είναι τοξικά για τους φυτικούς και τους ζωικούς

οργανισμούς. Τοξικά υλικά παράγονται και κατά την υποβάθμισή των πλαστικών. Για όλους τους παραπάνω λόγους διεθνείς οργανισμοί θεωρούν ότι περισσότερο από 50% των πλαστικών είναι επικίνδυνα. Επιπλέον στο θαλάσσιο περιβάλλον τα πλαστικά και κυρίως τα μικροπλαστικά λειτουργούν ως φορείς και μεταφορείς μεγάλου αριθμού ρύπων που έχουν εισέλθει στον ωκεανό με άλλους τρόπους. Αυτό γίνεται εξαιτίας της ευκολίας με την οποία προσκολλώνται ή προσροφώνται στις επιφάνειες των μικροπλαστικών έμμονοι οργανικοί ρύποι (POPs), ανθεκτικές, βιοσυσσωρεύσιμες και τοξικές ουσίες (PBTs), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), πολυβρωμιωμένοι διφαινυλαιθέρες (PBDE) και μόρια επικίνδυνων μετάλλων. Ορισμένοι μάλιστα μολυσματικοί ρύποι διεισδύουν βαθύτερα στη μάζα του πλαστικού, δηλαδή ουσιαστικά απορροφώνται απ' αυτό, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου παραμονής σ' αυτό, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την επικινδυνότητα της διαδρομής του πλαστικού στην τροφική αλυσίδα. Στις πορώδεις επιφάνειες προσροφώνται μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων και ο κορεσμός επέρχεται ταχύτερα από ό,τι στις λείες. Ο κατακερματισμός των πλαστικών ενισχύει αυτά τα φαινόμενα αφού αυξάνει το εμβαδόν των προσφερόμενων επιφανειών και επιπλέον έχει αποδειχθεί ότι στα πλαστικά μεγέθους μικρομέτρου (μm) ή και νανομέτρου (nm) ο κορεσμός των ρύπων επέρχεται ταχύτερα. Έχει διαπιστωθεί, ακόμη, ότι η προσρόφηση μολυσματικών ουσιών είναι πιο έντονη στα σφαιρικά μικροπλαστικά παρά στα επίπεδα και τα σφαιρικού σχήματος μικροπλαστικά είναι τα πιο ελκυστικά για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Μικρά και σφαιρικά πλαστικά, λοιπόν, φέρουν και μεταφέρουν πλήθος μολυσματικών ουσιών και, όταν καταποθούν από ζωικούς οργανισμούς διατρέχουν ολόκληρη την τροφική αλυσίδα μέχρι και τον άνθρωπο. Για να γίνει κατανοητό πόσο επικίνδυνο μπορεί να είναι το φαινόμενο της φόρτωσης μολυσματικών ουσιών

στα μικροπλαστικά, ειδικά στα πορώδη σφαιρικά, αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι η συγκέντρωσή τους εκεί είναι 10^5 - 10^6 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ίδιων ουσιών στο θαλασσινό νερό της περιοχής των μετρήσεων.

Οικοτοξικολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι πολλοί οργανικοί ρύποι και μέταλλα που σχετίζονται με τα πλαστικά συντρίμια στη θάλασσα υποβαθμίζουν τη δομή και τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων (Rochman 2015). Διεργασίες, όπως η διαίρεση των κυττάρων και η έκκριση ορμονών, διαταράσσονται και αυτό οδηγεί σε νοσηρές καταστάσεις: μείωση ικανότητας αναπαραγωγής και μείωση της ικανότητας αποφυγής των θηρευτών (Brown et al. 2004· Cartwright et al. 2006· Vasseur & Cossu-Leguille 2006· Zhuang et al. 2009). Σε πείραμα που εξελίχθηκε σε ημίκλειστο φυσικό περιβάλλον (θαλάσσιο κόλπο) τροφοδοτήθηκαν ψάρια με πλαστικά πολυαιθυλενίου, στα οποία είχαν προσροφηθεί POPs και μέταλλα και σε δύο μήνες παρατηρήθηκαν τοξικότητα στο σκώτι, μείωση του γλυκογόνου, σημάδια ενδοκρινικής διαταραχής, ανώμαλη ανάπτυξη γεννητικών κυττάρων, κυτταρικός θάνατος και ανάπτυξη καρκινικών όγκων. Οι ερευνητές που ανέπτυξαν αυτό το πείραμα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κατάποση πλαστικών από τα ψάρια έχει επιβλαβή αποτελέσματα, τα οποία είναι δυσμενέστερα όταν στα πλαστικά έχουν προσροφηθεί οργανικές ουσίες προτεραιότητας και μέταλλα (Rochman et al. 2013b· Rochman et al. 2014c).

Ωστόσο η παράμετρος του τοξικολογικού κινδύνου δεν έχει μελετηθεί επαρκώς και είναι αβέβαιο, εάν τα μικροπλαστικά μπορούν μέσω της κατάποσης να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της ποιότητάς των θαλάσσιων οργανισμών σε τέτοιο βαθμό που ακολούθως να επηρεάσουν δυσμενώς τον άνθρωπο (Laglbauer et al. 2014· Lozoya et al. 2016). Γενική όμως είναι η πεποίθηση ότι, και αν ακόμη δεν συμβαίνει σήμερα αυτό, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να συμβεί στο κοντινό μέλλον. Είναι ένα θέμα που καλείται

να δώσει απάντηση η επιστημονική κοινότητα τα επόμενα χρόνια, παράλληλα με την εντατικοποίηση σε παγκόσμιο επίπεδο της προσπάθειας μείωσης της χρήσης του πλαστικού αφενός και της ανεξέλεγκτης απόρριψης των υπολειμμάτων του στο περιβάλλον αφετέρου.

Μία ακόμη παρενέργεια της παρουσίας των πλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η διευκόλυνση εισβολής *ξενικών / χωροκατακτητικών* ειδών σε νέα περιβάλλοντα. Ανασκόπηση δεκάδων δημοσιευμένων μελετών ανέδειξε τα πλαστικά απορρίμματα ως το προσφιλέστατο υπόστρωμα για εποικισμό μικροοργανισμών. Στη συνέχεια με την επενέργεια των ρευμάτων ή/και του ανέμου μεταφέρονται σε νέους βιότοπους, προκαλώντας διαταραχές στην ισορροπία του οικοσυστήματος με αντίκτυπο σε όλη την τροφική αλυσίδα της περιοχής, επομένως και στους ιχθυοπληθυσμούς. Καταγράφεται και εδώ μία υστέρηση των γνώσεών μας σχετικά με το μέγεθος των βλαβών που έχει επιφέρει αυτή η παράμετρος στα οικοσυστήματα.

Η δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία θαλάσσιων απορριμμάτων μετά τα πλαστικά είναι τα μεταλλικά αντικείμενα. Βεβαίως, η ποσοτική παρουσία τους στο θαλάσσιο περιβάλλον υστερεί πολύ των πλαστικών, αλλά οι παρενέργειές τους στα οικοσυστήματα και ιδιαίτερα στους ζωικούς οργανισμούς δεν είναι αμελητέες.

Τα μεγάλου μεγέθους μεταλλικά θαλάσσια απορρίμματα είναι αντικείμενα που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο ή αλουμίνιο (μηχανήματα ή εξαρτήματά τους, κουτιά αναψυκτικών ή κονσερβοποιημένων τροφίμων, δοχεία αποθήκευσης και μεταφορά υγρών). Αυτά τα αντικείμενα, λόγω του μεγάλου βάρους τους, καταλήγουν γρήγορα στον βυθό σε σχετικά μικρές αποστάσεις από το σημείο απόρριψης. Όταν προέρχονται από την ακτή ή απορρίπτονται από πλοία μέσα σε λιμάνια, είναι δυνατόν με τη δράση των ρευμάτων και του κυματισμού να συσσωρευτούν σε περιορισμένες εκτάσεις του

βυθού και να προκαλέσουν φαινόμενα πνιγμού της χλωρίδας ανάλογα με εκείνα των πλαστικών. Δεν μπορεί να αποκλειστεί και ο κίνδυνος εμπλοκής κάποιων μικρών ψαριών καθώς και ο κίνδυνος τραυματισμού κατά τις επιθέσεις των θηρευτών σε ψάρια που έχουν βρει καταφύγιο σε αυτά τα απορρίμματα. Οι όποιες μεταφορές μεταλλικών αντικειμένων από μία περιοχή του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε άλλη ελάχιστα συμβάλλει στη μεταφορά ξενικών ειδών, καθώς οι μεταλλικές επιφάνειες φαίνεται να μη προτιμώνται από τους μικροοργανισμούς για εποικισμό.

Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι για τα ψάρια σχετίζονται με την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων. Τα βαρέα μέταλλα (Hg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+}) εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον με διάφορους τρόπους. Ένας απ' αυτούς είναι και τα θαλάσσια απορρίμματα. Υδραυλικοί σωλήνες, μπαταρίες, χρωματισμένα υλικά, πλαστικά, τηλεοπτικές οθόνες, τμήματα φωτοβολταϊκών, ηλεκτρονικοί λαμπτήρες, οδοντιατρικά κράματα, δερμάτινα ή υφασμάτινα είδη και αποτσίγαρα είναι αντικείμενα που περιέχουν βαρέα μέταλλα και περιλαμβάνονται στα θαλάσσια απορρίμματα. Βαρέα μέταλλα περιέχονται και στα πυκνότερα απορρίμματα όπως είναι τα ορυκτέλαια και η ιλύς των αστικών λυμάτων.

Ορισμένα βαρέα μέταλλα είναι χρήσιμα ή/και απαραίτητα για τις λειτουργίες των θαλάσσιων οργανισμών με την προϋπόθεση ότι η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται εντός συγκεκριμένων ορίων (Zn, Cu). Επομένως, η αναφορά σε τοξικότητα των βαρέων μετάλλων περιλαμβάνει τις περιπτώσεις που υπερβαίνονται αυτά τα όρια ή τις περιπτώσεις που κάποιο στοιχείο δεν είναι απαραίτητο στους οργανισμούς.

Τα βαρέα μέταλλα στο θαλασσινό νερό συναντώνται με πολλές μορφές: μόρια, ιόντα, ανόργανες ή οργανικές χημικές ενώσεις. Η τοξικότητά τους επηρεάζεται από αβιοτικούς (αλατότητα, θερμοκρασία, pH, ένταση φωτός, συγκέντρωση διαλυμένου

οξυγόνου, παρουσία άλλων μετάλλων) και βιοτικούς παράγοντες (στάδιο βιολογικού κύκλου, φύλο, ηλικία, μέγεθος και διατροφικές συνήθειες του ψαριού).

Η πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τους θαλάσσιους οργανισμούς γίνεται αφενός μέσω της επιδερμίδας και των βραγχίων τους και αφετέρου μέσω της τροφής τους. Οι γενικές επιπτώσεις απ' αυτή την πρόσληψη είναι αλλοιώσεις των κυττάρων που υποβαθμίζουν τις ενζυμικές και ορμονικές διεργασίες, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν δυσμενώς όλες τις βασικές λειτουργίες του οργανισμού από την κινητικότητα μέχρι την αναπαραγωγή.

Λόγω της μεγάλης βιοσυσώρευσης βαρέων μετάλλων στα μεγάλα σαρκοφάγα ψάρια που βρίσκονται στα ανώτερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας (τόνος, ξιφίας, βακαλάος, καρχαρίας) συναντώνται συγκεντρώσεις μέχρι και 10^9 φορές μεγαλύτερες από εκείνες του θαλασσινού νερού που τα περιβάλλει.

Ερευνητικά δεδομένα έχουν δείξει ότι περισσότερα από τα μισά άτομα του είδους *Hippoglossus hippoglossus* που αλιεύονται είναι ακατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης Hg στους μύες τους, η οποία οφείλεται στη βιοσυσώρευση. Αυτό αποτελεί έμμεση ελάττωση των ιχθυοπληθυσμών, αφού ναι μεν δεν ελαττώνονται λόγω θανάτου, αλλά καθίστανται μη εκμεταλλεύσιμοι.

Σύμφωνα με μελέτες, η πρόσληψη Pb ακόμη και μικρών ποσοτήτων από νεαρά άτομα ορισμένων ψαριών προκαλεί βλάβες στο νευρικό τους σύστημα και επηρεάζει την ανάπτυξή τους.

Ευρήματα υπάρχουν και για το Cd, για το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι σε υψηλές συγκεντρώσεις επιδρά αρνητικά σε βασικές λειτουργίες του φυτοπλαγκτού (φωτοσύνθεση, παραγωγή ενέργειας, σύνθεση πρωτεϊνών), ενώ πειράματα έδειξαν ότι αυξημένες συγκεντρώσεις προκαλούν σε ορισμένα ψάρια θνησιμότητα 50% σε 96 ώρες.

Οι παρενέργειες του Zn είναι επίσης γνωστές: εύκολη πρόσληψη από το πλαγκτόν που βρίσκεται στη βάση της τροφικής αλυσίδας και αργός ή γρήγορος θάνατος των ψαριών, ανάλογα με την ποσότητα που προσλήφθηκε και το είδος του ψαριού.

Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί θάνατοι ψαριών και θηλαστικών σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,3 ppm Cu, ενώ το ίδιο μέταλλο προκαλεί σοβαρές βλάβες στις μεμβράνες του φυτοπλαγκτού και περιορίζει έτσι τον ρόλο του στην τροφική αλυσίδα.

Το φυτοπλαγκτόν είναι το μεγαλύτερο θύμα και του Cr σε συγκεντρώσεις ανθεκτικές για τα ψάρια.

Συμπυκνώνοντας τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η παρουσία των θαλάσσιων απορριμμάτων στους ωκεανούς διαταράσσει σίγουρα την ισορροπία των οικοσυστημάτων. Τα θαλάσσια απορρίμματα και ελαττώνουν τους ιχθυοπληθυσμούς και τους υποβαθμίζουν ποιοτικά ποικιλοτρόπως. Ωστόσο οι μετρήσεις για το ύψος της ελάττωσης είναι δύσκολες και μόνο εκτιμήσεις μπορούν να διατυπωθούν. Για την ποιοτική υποβάθμιση, λόγω της δυσκολίας προσέγγισης των άγριων πληθυσμών για μελέτη, έχουν δημοσιευτεί λιγότερες έρευνες. Πειραματικά εργαστηριακά δεδομένα δεν είναι εύκολο να γενικευτούν στους άγριους πληθυσμούς, καθώς προκύπτουν από μετρήσεις σε περιβάλλοντα που επικρατούν διαφορετικές συνθήκες από εκείνες που επικρατούν στη θάλασσα. Παρ' όλα αυτά και τα ευρήματα στη θάλασσα και τα πειραματικά δεδομένα δεν αφήνουν καμία αμφιβολία για τις επιπτώσεις ορισμένων τύπων θαλάσσιων απορριμμάτων στα ψάρια λόγω της τοξικότητάς τους. Και όσο και αν ακόμη δεν έχει εξακριβωθεί ο βαθμός των κινδύνων που διατρέχει ο τελευταίος καταναλωτής της τροφικής αλυσίδας, που είναι ο άνθρωπος, οι επιστήμονες φοβούνται ότι λεπτομερέστερες έρευ-

νες θα αποκαλύψουν ότι το μέγεθος των κινδύνων για την υγεία του είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι φαίνεται σήμερα.

Ο στόχος της διατήρησης των (θαλάσσιων) οικοσυστημάτων σε υγιή, καθαρή, μη τοξική, παραγωγική και ανθεκτική κατάσταση, ώστε να συνεχίσουν να παρέχουν στους ανθρώπους τα αγαθά και τις υπηρεσίες που μπορούν (Οδηγία 2008/56/EK), θα προσεγγιστεί και μέσω της ελάττωσης της ποσότητας των θαλάσσιων απορριμμάτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πολλές παράλληλες δράσεις:

- i. Ελάττωση (και σε ορισμένες περιπτώσεις, κατάργηση) της παραγωγής αντικειμένων από επιβλαβή υλικά.
- ii. Ορθή διαχείριση απορριμμάτων από τους αρμόδιους φορείς, ώστε να μη φθάνουν αυτά στη θάλασσα.
- iii. Αυστηρή εφαρμογή της υφιστάμενης νομοθεσίας και λήψη νέων μέτρων, αν χρειαστεί. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται χρειάζεται στον μετριασμό της δράσης των εγκαταλελειμμένων εργαλείων αλιείας, αφού αυτά ελαττώνουν άμεσα τους ιχθυοπληθυσμούς.
- iv. Ευαισθητοποίηση του κοινού αφενός για την αποφυγή χρήσης αντικειμένων από επικίνδυνα υλικά και αφετέρου για τη σωστή απόθεση των απορριμμάτων. Η ευαισθητοποίηση του κοινού μπορεί να διαδραματίσει σοβαρότατο ρόλο, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα πιλοτικών προγραμμάτων προς την κατεύθυνση αυτή.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α'. Ελληνική

- Ανώνυμος Μακρομοριακή Χημεία (Πολυμερή) 2022.
: <https://eclass.uoa.gr/courses/CHEM126/> (Πρόσβαση: 16.6.2022).
- Βάρβογλης Γ. & Βάρβογλης Ν. (1971) Οργανική Χημεία⁵.
- Δασενάκης Μ. (2015) Χημεία Περιβάλλοντος, Heavy Metals, 1.0. Αθήνα.
: <http://opencourses.uoa.gr/courses/CHEM3/> (Πρόσβαση: 15.03.2022).
- Δασενάκης Μ., Λαδάκης Μ., Καραβόλτσος Σ., Παρασκευοπούλου Β. (2015) Χημική Ωκεανογραφία, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, σελ. 283. : [Heallink, www.kallipos.gr](http://heallink.kallipos.gr) (Πρόσβαση: 12.03.2022).
- Δουμά Δ.-Κ. (2001) Η επίδραση διαφόρων υποστρωμάτων ανάπτυξης φυτών καπνού στα επικίνδυνα για την υγεία προϊόντα του καπνίσματος. Διδακτορική διατριβή Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, σελ. 238.
- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2014, τελευταία τροποποίηση 05.11.2021) Απορρίμματα στις θάλασσές μας. : <https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2014/analytiki-proseggisi/aporrimmata-stis-thalasses-mas> (Πρόσβαση: 16.5.2022).
- Σκούλλος Μιχαήλ (2008) Χημική Ωκεανογραφία^δ, Συμμετρία, Αθήνα.
- Υψηλάντη Ο. (2012), Βαρέα μέταλλα σε υγρά απόβλητα. Η περίπτωση του υδραργύρου, του καδμίου και του μολύβδου, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας (Πτυχιακή Εργασία), Μυτιλήνη.
- Φυτιάνος Κ. (1996), Η ρύπανση των θαλασσών^β, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 337.
- Φυτιάνος Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (2009) Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 372.

Κ.Υ.Α. 180036/95/2017 (ΦΕΚ 12Β/10.8.2017

Νόμος 1650/1986 (ΦΕΚ 160Α/16.10.1986)

Νόμος 4819/23.7.2021 (ΦΕΚ 129Α/23.7.2021)

Οδηγία 2008/56/ΕΚ (Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική – MSFD)

Οδηγία 2018/851(ΕΕ)

Οδηγία 96/61/ΕΚ

Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 25ης Μαρτίου 2021 σχετικά με τις επιπτώσεις των θαλασσιών απορριμμάτων στην αλιεία (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης 8.12.2021 C494/14)

Β'. Ξένη

- .Andrady A.L. (2011) Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8):1596–1605.

- Adey J.M., Smith I.P., Atkinson R.J.A., Tuck I.D., Taylor A.C. (2008) Ghost fishing' of target and non-target species by Norway lobster *Nephrops norvegicus* creels. *Marine Ecology Progress Series*, 366: 119–127.
- Raif A.E., Özbilgin H., Gücü A.G., Sakınan S. (2014) Marine debris in bottom trawl catches and their effects on the selectivity grids in the north eastern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 81: 80–84.
- Allen R., Jarvis D., Sayer S., Mills C. (2012) Entanglement of grey seals, *Halichoerus grypus* at a haul out site in Cornwall, UK. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 2815–2819.
- Al-Masroori, H., Al-Oufi, H., McIlwain, J., & McLean, E. (2004) Catches of lost fish traps (ghost fishing) from fishing grounds near Muscat, Sultanate of Oman. *Fisheries Research*, 69: 407–414.
- Anastasopoulou A., Mytilineou C., Smith C.J., Papadopoulou K.N. (2013) Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean), *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 74: 11-13.
- Anderson J. A., & Alford A. B. (2014) Ghost fishing activity in derelict blue crab traps in Louisiana. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 261–267.
- Antonelis K., Huppert D., Velasquez D., June J. (2011) Dungeness crab mortality due to lost traps and a cost-benefit analysis of trap removal in Washington state waters of the Salish Sea. *North American Journal of Fisheries Management*, 31(5), 880–893.
- Arnould J. P. Y. & Croxall J. P. (1995) Trends in entanglement of Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazella*) in man-made debris at South Georgia. *Marine Pollution Bulletin*, 30, 707–712.
- Ashton K., Holmes L., Turner A. (2010) Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2050–2055.
- Ayaz A., Acarli D., Altinagac U., Ozekinci U., Kara A., Ozen O. (2006) Ghost fishing by monofilament and multifilament gillnets in Izmir Bay, Turkey. *Fisheries Research*, 79, 267–271.
- Baeta F., Costa M. J., & Cabral H. (2009) Trammel nets' ghost fishing off the Portuguese central coast. *Fisheries Research*, 98, 33–39.
- Barreiros J. P. & Raykov V. S. (2014) Lethal lesions and amputation caused by plastic debris and fishing gear on the loggerhead turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). Three case reports from Terceira Island, Azores (NE Atlantic). *Marine Pollution Bulletin*, 86, 518–522.
- Boerger C. M., Lattin G. L., Moore S. L., Moore C. J. (2010) Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2275–2278.
- Bond A. L., Montevecchi W. A., Guse N., Regular P. M., Garthe S., Rail J. F. (2012) Prevalence and composition of fishing gear debris in the nests of northern gannets (*Morus bassanus*) are related to fishing effort. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 907–911.
- Brown R. J., Galloway T. S., Lowe D., Browne M. A., Dissanayake A. (2004) Differential sensitivity of three marine invertebrates to copper assessed using multiple biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 66, 267–278.
- Browne M. A., Niven S. J., Galloway T. S., Rowland S. J., Thompson R. C. (2013) Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology*, 23(23), 2388–2392.
- Camphuysen C. J. (2001) Northern gannets *morus bassanus* found dead in the Netherlands 1970–2000. *Atlantic Seabirds*, 3, 15–30.

- Carson H. S., Lamson M. R., Nakashima D., Toloumu D., Hafner J., Maximenko N., McDermid K. (2013) Tracking the sources and sinks of local marine debris in Hawai‘i. *Marine Environmental Research*, 84, 76–83.
- Cartwright S. R., Coleman R. A., Browne M. A. (2006) Ecologically relevant effects of pulse application of copper on the limpet. *Patella vulgata*. *Marine Ecology Progress Series*, 326, 187–194.
- Cho D. (2011) Removing derelict fishing gear from the deep seabed of the East Sea. *Marine Policy*, 35, 610–614.
- Choy C. A. & Drazen J. C. (2013) Plastic for dinner? Observations of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the Central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 155–163.
- Cusimano R., Brakke D., Chapman G. (1986) Effects of pH on the toxicities of cadmium, copper, and zinc to steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Can J Fish. Aquat Sci*, 43: 1497-1503.
- Davison P. & Asch R. G. (2011) Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific subtropical gyre. *Marine Ecology Progress Series*, 432, 173–180.
- Derraik J. (2002) The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine Pollution Bulletin*, 44:842–852.
- Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. (2005) Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences, *Marine Pollution Bulletin*: 50 1103-1114.
- Erzini K. (1997) An experimental study of gill net and trammel net ‘ghost fishing’ off the Algarve (southern Portugal). *Marine Ecology Progress Series*, 158, 257–265.
- Erzini K., Bentes, L., Coelho, R., Lino, P. G., Monteiro, P., Ribeiro, J. (2008) Catches in ghost-fishing octopus and fish traps in the northeastern Atlantic Ocean (Algarve, Portugal). *Fishery Bulletin*, 106, 321–327.
- Esiukova E. (2017) Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia. *Marine Pollution Bulletin* 114, 1072–1080.
- European Commission (2018) Brussels, 28.5.2018 SWD(2018) 254 final PART 1/3 COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT Reducing Marine Litter: action on single use plastics and fishing gear. Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.
- European Commission (2020) Mission Starfish 2030: Restore Our Ocean and Waters. : https://ec.europa.eu/info/publications/mission-starfish-2030-restore-our-ocean-and-waters_en (Πρόσβαση: 05-05-2022)).
- Fakiris E., Papatheodorou G., Kordella S., Christodoulou D., Galgani F., Geraga M. (2022) Insights into seafloor litter spatiotemporal dynamics in urbanized shallow Mediterranean bays. An optimized monitoring protocol using towed underwater cameras, *Journal of Environmental Management*, Volume 308 (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114647>) Get rights and content (Πρόσβαση: 03-08-2022)
- Fok L., Cheung P.K. (2015) Hong Kong at the Pearl River Estuary: A hotspot of microplastic pollution. *Marine Pollution Bulletin* 99, 112–118.

- Fok L., Cheung P.K., Tang G., Li W.C. (2017) Size distribution of stranded small plastic debris on the coast of Guangdong, South China. *Environmental Pollution* 220, 407-412.
- Galgani F., Hanke, G., Maes Th. (2015) Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M., Marine Anthropogenic Litter, p. 29-56. : [DOI 10.1007/978-3-319-16510-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3) (Πρόσβαση: 18.5.2022).
- Galgani F., Hanke, G., Werner, S., De Vrees, L. (2013) Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES J. Mar. Sci.: J. Conseil* 70(6), 1055–1064.
- Galgani F., Jaunet S., Campillo A., Guenegon X., His E. (1995) Distribution and abundance of Debris on the continental shelf of the North-Western Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 30, No. 11, pp. 713-717.
- Goldstein M. C., Carson H. S., Eriksen M. (2014) Relationship of diversity and habitat area in north pacific plastic-associated rafting communities. *Marine Biology*, 161, 1–13.
- Gomercić M. D., Galov A., Gomercić T., Škrtic D., Čurković S., Lucić H. (2009) Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) depredation resulting in larynx strangulation with gill-net parts. *Marine Mammal Science*, 25, 392–401.
- Good T. P., June J. A., Etnier M. A., Broadhurst G. (2010) Derelict fishing nets in puget sound and the northwest straits: Patterns and threats to marine fauna. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 39–50.
- Green D. S., Boots B., Blockley D. J., Rocha C., Thompson R. C. (2015) Impacts of discarded plastic bags on marine assemblages and ecosystem functioning. *Environmental Science and Technology*, 49, 5380–5389.
- Grelaud M., Ziveri P. (2020) Seasonal marine litter abundances and accumulation rates on 24 beaches of 8 Mediterranean islands (2017-2019). PANGAEA : <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.923731> (Πρόσβαση: 25-08-2022)).
- Güven O., Gülyavuz H, Deval M. (2013) Benthic Debris Accumulation in Bathyal Grounds in the Antalya Bay, Eastern Mediterranean, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13: 43-49.
- Halden R. U. (2010) Plastics and health risks. *Annual Review of Public Health*, 31, 179–194.
- Hebert M., Miron G., Moriyasu M., Vienneau R., DeGrâce P. (2001) Efficiency and ghost fishing of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps in the Gulf of St Lawrence. *Fisheries Research*, 52, 143–153.
- Heskett M., Takada H., Yamashita R., Yuyama M., Ito M. (2012) Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: Toward establishment of background concentrations for International Pellet Watch. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 445–448.
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson C. R., Thiel M. (2012) Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46, 3060-3075.
- Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., et al. (2011) Organic micropollutants in marine plastic debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1683–1692.

- Holmes L. A., Turner A., & Thompson, R. C. (2012) Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution*, 160, 42–48.
- Hoss D., Settle L. (1990) Ingestion of plastics by teleost fishes. In R. S. Shomura & M. L. Godfrey (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference of Marine Debris* (pp. 693–709).
- Humborstad O.B., Lokkeborg S., Hareide N.-R., Furevik D.M. (2003) Catches of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in deepwater ghost-fishing gillnets on the Norwegian continental slope. *Fisheries Research*, 64, 163–170.
- Kaberi H., Tsangaris C., Zeri C., Mousdis G., Papadopoulos A., Streftaris N. (2013) Microplastics along the shoreline of a Greek island (Kea isl., Aegean Sea): types and densities in relation to beach orientation, characteristics and proximity to sources. *Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2013) and SECOTOX Conference*, June 24–28, Mykonos island, Greece, pp. 197–202.
- Kaiser M. J., Bullimore B., Newman P., Lock K., Gilbert S. (1996) Catches in ‘ghost fishing’ set nets. *Marine Ecology Progress Series*, 145, 11–16.
- Karapanagioti K. H., Klontza I. (2007) Investigating the properties of plastic resin pellets found in the coastal areas of Lesbos island, *Global NEST Journal*, 9(1), 71–76.
- Karapanagioti K. H., Klontza I. (2008) Testing phenanthrene distribution properties of virgin plastic pellets and plastic eroded pellets found on Lesbos island beaches (Greece). *Marine Environmental Research*, 65, 283–290.
- Katsanevakis S. & Katsarou A. (2004) Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallowcoastal areas in Greece (Eastern Mediterranean), *Water, Air, and Soil Pollution* 159: 325–337.
- Kiessling T., Gutow L., Thiel M. (2015) Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M., *Marine Anthropogenic Litter*, p. 141–181 DOI 10.1007/978-3-319-16510-3 (Πρόσβαση: 18.5.2022).
- Kim I.S., Chae D.H., Kim S.K., Choi S., Woo S.B. (2015) Factors influencing the spatial variation of microplastics on high-tidal coastal beaches in Korea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69(3), 299–309.
- Kim S.G., Lee W.I.L., Yuseok M. (2014) The estimation of derelict fishing gear in the coastal waters of South Korea: Trap and gill-net fisheries. *Marine Policy*, 46, 119–122.
- Koelmans A., Besseling E., Wegner A., Foekema E. M. (2013) Plastic as a carrier of POPs to aquatic organisms: A model analysis. *Environmental Science and Technology*, 47, 7812–7820.
- Koutsodendris A., Papatheodorou G., Kougiourouki Ou., Georgiadis M. (2008) Benthic marine litter in four Gulfs in Greece, Eastern Mediterranean; abundance, composition and source identification, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77 (3) 501–512.
- Kühn S., Elisa L. Bravo R. and Jan A. van Franeker (2015) Deleterious Effects of Litter on Marine Life. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M., *Marine Anthropogenic Litter*, p.75–116 DOI 10.1007/978-3-319-16510-3 (Πρόσβαση: 18.5.2022)
- Laglbauer B.J.L., Franco-Santos R.M., Andreu-Cazenave M., Brunelli L., Papadatou M., Palatinus A., Grego M., Deprez T. (2014) Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine Pollution Bulletin* 89, 356–366.
- Large P. A., Graham N. G., Hareide N.R., Misund R., Rihan D. J., Mulligan M.C. (2009) Lost and abandoned nets in deep-water gillnet fisheries in the Northeast At-

- lantic: Retrieval exercises and outcomes. *ICES Journal of Marine Science*, 66, 323–333.
- Leslie H. A. (2014) Review of Microplastics in Cosmetics. Report R14/29, IVM Institute for Environmental Studies, pp. 33.
- Lithner D., Larsson A., Dave G. (2011) Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, 409, 3309–3324.
- Lozoya P. J., Teixeira de Mello F., Carrizo D., Weinstein F., Olivera Y., Cedres F., Pereira M., Fossati M. (2016) Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents? *Environmental Pollution* 218, 93-941.
- Majer A. P., Vedolin M. C., & Turra A. (2012) Plastic pellets as oviposition site and means of dispersal for the ocean-skater insect *Halobates*. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 1143–1147.
- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. (2001) Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science and Technology*, 35, 318–324.
- McCauley S. J., Bjorndal K. A. (1999) Conservation implications of dietary dilution from debris ingestion: Sublethal effects in post-hatchling Loggerhead Sea turtles. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 13, 925–929.
- Mendoza L., Karapanagioti Hr., Álvarez N. R. (2018) Micro(nanoplastics) in the marine environment: Current knowledge and gaps, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1:47–51.
- Moore E., Lyday S., Roletto J., Litle K., Parrish J. K., Nevins H. (2009) Entanglement of marine mammals and seabirds in Central California and the North–West coast of the United States 2001–2005. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1045–1051.
- Moore M., Andrews R., Austin T., Bailey J., Costidis A., George C. (2013) Rope trauma, sedation, disentanglement, and monitoring-tag associated lesions in a terminally entangled North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). *Marine Mammal Science*, 29, E98–E113.
- Mordecai G., Tyler P. A., Masson D. G., & Huvenne V. A. I. (2011) Litter in submarine canyons off the west coast of Portugal. *Deep-Sea Research II*, 58, 2489–2496.
- MSFD (2010) (Task Group 10 Report, Marine litter, European Commission).
- Nadal MA, Alomar C, Deudero S. (2016) High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue boops boops (L.) around the Balearic Islands. *Environ Pollut* 2016, 214:517–523.
- Nakashima E., Isobe A., Kako S. I., Itai T., Takahashi S. (2012) Quantification of toxic metals derived from macroplastic litter on Ookushi Beach, Japan. *Environmental Science and Technology*, 46(18), 10099–10105.
- Nakashima E., Isobe A., Magome S., Kako S. I., Deki N. (2011) Using aerial photography and *in situ* measurements to estimate the quantity of macro-litter on beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62(4), 762–769.
- Newman S. J., Skepper C. L., Mitsopoulos G. E. A., Wakefield C. B., Meeuwig J. J., & Harvey E. S. (2011) Assessment of the potential impacts of trap usage and ghost fishing on the northern demersal scalefish fishery. *Reviews in Fisheries Science*, 19, 74–84.

- Ogata Y., Takada H., Mizukawa K., Hirai H., Iwasa S., Endo S. (2009) International pellet watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1437–1446.
- Pain D.J. 1991a. Lead poisoning in birds: an international perspective. *Acta XX Congressus Int. Ornithol.*, 2343–2352.
- Pascall M. A., Zabik M. E., Zabik M. J., Hernandez R. J. (2005) Uptake of Poly chlorinated biphenyls (PCBs) from an aqueous medium by polyethylene, polyvinyl chloride, and polystyrene films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 164–169.
- Possatto F. E., Barletta M., Costa M. F., Ivar do Sul J. A., Dantas D. V. (2011) Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1098–1102.
- Raif A., Özbilgin H., Cemal A., Sakınan S. (2014) Marine debris in bottom trawl catches and their effects on the selectivity grids in the north eastern Mediterranean, *Marine Pollution Bulletin* 81 (2014) 80–84.
- Revell A. S. & Dunlin G. (2003) The fishing capacity of gillnets lost on wrecks and on open ground in UK coastal waters. *Fisheries Research*, 64, 107–113.
- Renzi M., Specchiulli A., Blaskovic A., Manzo C., Mancinelli G., Cilenti L. (2019) Marine litter in stomach content of small pelagic fishes from the Adriatic Sea: sardines (*Sardina pilchardus*) and anchovies (*Engraulis encrasicolus*), *Environmental Science and Pollution Research* volume 26, p.2771–2781.
- Rochman C. M. (2015) The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. In M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.) *Marine anthropogenic litter* (pp. 117–140). Berlin: Springer DOI [10.1007/978-3-319-16510-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3) (Πρόσβαση: 18.5.2022)
- Rochman C. M., Hentschel B. T., Teh S. J. (2014a) Long-term sorption of metals is similar among plastic types: Implications for plastic debris in aquatic environments. *PLOS One*, 9, e85433.
- Rochman C. M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S. J. (2013b) Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3, 3263.
- Rochman C. M., Kurobe, T., Flores, I., Teh, S. J. (2014c) Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment*, 493, 656–661.
- Rochman C. M., Lewison R. L., Eriksen M., Allen H., Cook A. M., Teh, S. J. (2014b) Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Science of the Total Environment*, 476, 622–633.
- Rochman C. M., Manzano C., Hentschel B., Massey L., Simonich, S., Hoh, E. (2013d) Polystyrene plastic: A source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. *Environmental Science and Technology*, 47, 13976–13984.
- Romeo T., Pietro B., Peda C., Consoli P., Andaloro F., Fossi M. (2015) First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 95, Issue 1, p.358-361
- Sancho G., Puente E., Bilbao A., Gomez E., Arregi L. (2003) Catch rates of monkfish (*Lophius* spp.) by lost tangle nets in the Cantabrian Sea (northern Spain). *Fisheries Research*, 64, 129–139.

- Sazima I., Gadig O. B. F., Namora R. C., Motta, F. S. (2002) Plastic debris collars on juvenile carcharhinid sharks (*Rhizoprionodon lalandii*) in Southwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1149–1151.
- Sbrana A., Valente T., Scacco U., Bianchi J., Silvestri C., Palazzo L., Andrea de Lucia G., Valerani C., Ardizzone G., Matiddi M. (2020) Spatial variability and influence of biological parameters on microplastic ingestion by Boops boops (L.) along the Italian coasts (Western Mediterranean Sea) *Environmental Pollution* 263 114429.
- Schlining K., von Thun S., Kuhn L., Schlining B., Lundsten L., Jacobsen Stout, N., et al. (2013) Debris in the deep: Using a 22-year video annotation database to survey marine litter in Monterey Canyon, Central California, USA. *Deep-Sea Research I*, 79, 96–105.
- Tangahu B., Abdullah S., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. (2011) A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering Volume, Article ID 939161, 31 pages. : [doi:10.1155/2011/939161](https://doi.org/10.1155/2011/939161) (Πρόσβαση: 11.8.2022)
- Teuten E. L., Rowland S. J., Galloway T. S., Thompson R. C. (2007) Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science and Technology*, 41(22), 7759–7764.
- Tschernij V., Larsson, P. O. (2003) Ghost fishing by lost cod gill nets in the Baltic Sea. *Fisheries Research*, 64, 151–162.
- TSG-ML (2013) (Technical Subgroup on Marine Litter). Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas, A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive, European Commission, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, pp 128. [doi:10.2788/99475](https://doi.org/10.2788/99475) (Πρόσβαση: 11.7.2022).
- Uhrin A. V., Matthews T., Lewis C. (2014) Lobster trap debris in the Florida Keys National Marine Sanctuary: Distribution, abundance, density and patterns of accumulation. *Management and Ecosystem Science*, 6, 20–32.
- Uhrin A. V. & Schellinger J. (2011) Marine debris impacts to a tidal fringing-marsh in North Carolina. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2605–2610.
- Uhrin A. V., Fonseca M. S., DiDomenico G. P. (2005) Effect of caribbean spiny lobster traps on seagrass beds of the Florida Keys National Marine Sanctuary: Damage assessment and evaluation of recovery. American Fisheries Society Symposium (pp. 579–588). American Fisheries Society.
- UNEP (2009) (United Nations Environment - Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον) *Marine Litter: A Global Challenge*, Prepared by Ljubomir Jeftic, Seba Sheavly and Ellik Adler (Edited by Nikki Meith) : <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/marine-litter> (Πρόσβαση: 14.7.2022).
- UNEP/MAP (2012) State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment, Barcelona Convention, Athens. : <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3013.2648> (Πρόσβαση: 18.7.2022).
- UNEP/MAP (2015) Αξιολόγηση θαλάσσιων απορριμμάτων στη Μεσόγειο. : <http://hdl.handle.net/20.500.11822/7098> (Πρόσβαση: 18.5.2022).
- UNWTO (2018) (Παγκόσμιος Οργανισμός Τουρισμού. Σημαντικά σημεία. : <https://doi.org/10.18111/9789284419876> (Πρόσβαση: 28.5.2022).

- Vasseur P. & Cossu-Leguille C. (2006) Linking molecular interactions to consequent effects of persistent organic pollutants (POPs) upon populations. *Chemosphere*, 63, 1033–1042.
- Veiga J.M., Fleet D., Kinsey S., Nilsson P., Vlachogianni T., Werner S., Galgani F., Thompson R.C., Dagevos J., Gago J., Sobral P., Cronin R. (2016) Identifying Sources of Marine Litter. MSFD GES, December 2016, (doi: 10.2788/018068).
- Velzeboer I., Kwadijk C. J. A. F., Koelmans, A. A. (2014) Strong sorption of PCBs to nanoplastics, microplastics, carbon nanotubes, and fullerenes. *Environmental Science and Technology*, 48(9), 4869–4876.
- Viehman S., Vander Pluym J. L., Schellinger, J. (2011) Characterization of marine debris in North Carolina salt marshes. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2771–2779.
- Vlachogianni Th, Fortibuoni T., Ronchi Fr., Zeri C., Mazziotti C., Tutman P., Bojanić Varezić D., Palatinus A., Trdan S., Peterlin M., Mandić M., Markovic O., Prvan M., Kaberi H., Prevenios M., Kolutari J., Kroqi G. Fusco M., Kalampokis E., Scoullou M. (2018) Marine litter on the beaches of the Adriatic and Ionian Seas: An assessment of their abundance, composition and sources, *Marine Pollution Bulletin* 131:745–756.
- Votier S. C., Archibald K., Morgan G., Morgan, L. (2011) The use of plastic debris as nesting material by a colonial nesting seabird and associated entanglement mortality. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 168–172.
- Watters D. L., Yoklavich M. M., Love M. S., Schroeder, D. M. (2010) Assessing marine debris in deep seafloor habitats off California. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 131–138.
- Wessel C.C., Lockridge G.R., Battiste D., Cebrian J. (2016) Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin* 109, 178–183.
- Zettler E. R., Mincer T. J., Amaral-Zettler L. A. (2013) Life in the “Plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology*, 47, 7137–7146.
- Zhuang P., McBride M. B., Xia H., Li N., Li, Z. (2009) Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*, 407(5), 1551–1561.

3 ABSTRACT

Waste management, in general, constitutes one of the biggest environmental problems that humanity is facing today. Marine litter is a component of this problem. Most of them come from human activities on land and are dumped directly into the sea or on the coasts from where they easily end up in the sea with the help of wind or stormwater runoff or ebb and flow. Less marine litter is generated in the sea by shipping or fishing activities or aquaculture activities. There are many types of marine litter but on a global scale it has now been shown that synthetic organic polymers, known as plastics, dominate. Plastics create problems for fish populations by entangling fish in them, through ingestion of these by fish and through suffocation of marine flora, which suffocation reduces primary production. Entanglement in abandoned nets and fish traps leads victims to death within a short period of time. The effects of ingesting plastics, especially microplastics and nanoplastics, from fish may be due to their mechanical or toxic action. Mechanical action causes internal abrasions, intestinal obstruction and suffocation, resulting in the degradation of the organism's physical condition and reproductive capacity, without excluding death. The toxic effect of plastics is primarily due to the admixtures of toxic substances contained in their components from the beginning or as additives during their preparation process. In addition, in the marine environment they are burdened even more by the adsorption or absorption of persistent pollutants and other pollutants that have entered the sea in other ways. This mixture of toxic substances disrupts critical processes in the life cycle of fish, such as cell division and hormone secretion resulting in disease states: reduced reproductive capacity and reduced ability to avoid predators. Plastics in the marine environment also act as carriers of micro-organ-

isms from one area to another, since it has been proven that plastic waste is a very favorable substrate for the colonization of microorganisms. The issue of plastic ingestion by fish has been of increasing concern to researchers in recent years, and the literature is constantly being enriched with findings that show a proliferation of species (and even commercial species) that ingest plastics. In particular, the ingestion of nanoplastics, due to their penetration into fish tissues, favors biodegradation in fish of the upper levels of the food chain. Although today the effects on humans from the consumption of fish and marine organisms in general are not clear, who have consumed small or large amounts of plastics, fears tend to become general that it will become a serious problem in the future. In addition to plastics, another category of marine litter that negatively affects fish populations is that which contains heavy metals (some such metals are also contained in some types of plastics). Quantitatively, this waste is much less than plastic, but it should not be ignored. Heavy metals, when ingested by fish in concentrations that make them toxic, they cause changes in their cells, negatively affecting their normal functions. In particular, they cause damage to their nervous system and degrade their enzymatic and hormonal processes with an adverse impact on all essential functions from motility to reproduction. Heavy metals can also cause allergies, mutations, teratogenesis and carcinogenesis. This paper, with the help of selected bibliography, on the one hand captures the image of marine litter in the Mediterranean Sea, which is considered a representative example of a global problem of marine pollution, and on the other hand, tries to highlight the effects of marine litter on fish populations and, more generally, on marine ecosystems. At the same time, the concerns of expert scientists are highlighted for possible wider effects, which will emerge in the not-too-distant future.

