

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΛΑΓΙΚΑ ΨΑΡΙΑ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ

Irving, K.¹, Μήλιου, Α.¹, Vasić, M.², Sainz, N.¹, Anderson, L.³, Weatherhead, W.³

¹ Αρχιπέλαγος Ινστιτούτο Θαλάσσιας Προστασίας, Τ.Θ. 42, Πυθαγόρειο 83103, Σάμος. E-mail: a.miliou@archipelago.gr

² Πανεπιστήμιο της Νις, Σχολή Θετικών Επιστημών και Μαθηματικών, 18000 Νις, Σερβία.

³ Manchester Metropolitan University, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Oxford Road, Μάντσεστερ, M16 6BH, Ηνωμένο Βασίλειο.

Περίληψη

Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού αυξάνεται εκθετικά, όπως και η εισροή μακροπλαστικών και μικροπλαστικών στους ωκεανούς του κόσμου. Η Μεσόγειος θεωρείται μία από τις πιο επιβαρυνμένες θάλασσες σε ρύπανση από πλαστικό παγκοσμίως. Ωστόσο, έως σήμερα δεν είναι γνωστές οι επιπτώσεις, τόσο της συσσώρευσης των μικροπλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα, όσο και της μεταφοράς τους μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο. Συνεπώς, μία αξιόπιστη αξιολόγηση των βιολογικών κινδύνων των μικροπλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα αποτελεί κύρια προτεραιότητα. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στο ΒΑ Αιγαίο, αναλύοντας τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών ινών σε τρία εμπορικά είδη πελαγικών/επιπελαγικών ψαριών: *Engraulis encrasicolus*, *Katsuwonus pelami*, *Scomber japonicus*. Αναλύθηκε το στομαχικό περιεχόμενο 47 ενήλικων ψαριών και στο 89% εντοπίστηκαν μικροπλαστικές ίνες. Δεν καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσότητα μικροπλαστικών που περιείχονταν στα τρία διαφορετικά είδη. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, αποδεικνύουν τη συσσώρευση των μικροπλαστικών ινών στα εμπορικά επιπελαγικά και μικρά πελαγικά ψάρια του Αιγαίου.

PRELIMINARY ASSESSMENT OF MICROPLASTIC FIBRE CONTENT IN AEGEAN SEA EPIPELAGIC FISH

Irving, K.¹, Miliou, A.¹, Vasić, M.², Sainz, N.¹, Anderson, L.³, Weatherhead, W.³

¹ Archipelagos Institute of Marine Conservation, P.O. Box 42, Pythagorio 83102, Samos, Greece. E-mail: a.miliou@archipelago.gr

² University of Niš, Faculty of Science and Mathematics, 18000 Niš, Serbia

³ Manchester Metropolitan University, Faculty of Science and Engineering, Oxford Road, Manchester, M16 6BH, United Kingdom

Abstract

Global plastic production grows exponentially, as does the influx of macro and microplastics into the world's oceans. The Mediterranean is considered one of the most highly exposed seas to plastic pollution. However, the impacts of microplastics on marine ecosystems, and their transport through the food web into man, are poorly understood. A reliable evaluation of the biological risks of microplastics, in particular a detailed monitoring of microplastics in the marine environments is therefore of foremost urgency. This study focuses on the analysis of microplastics in fish caught in the NE Aegean Sea, Greece. Microplastic fibre concentrations in three commercial pelagic/epipelagic fish species: *Engraulis encrasicolus*, *Katsuwonus pelami*, *Scomber japonicus* were assessed. The stomach contents of 47 adult fish individuals were analysed, and 89% contained microplastic fibres. However, no significant difference was shown between species in the microplastic quantity per individual. These results indicate the microplastic fibre prevalence in commercial, pelagic and epipelagic fish species from the Aegean.

Εισαγωγή

Περισσότεροι από 240 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού χρησιμοποιούνται κάθε χρόνο παγκοσμίως (Browne *et al.*, 2011). Τα περισσότερα από αυτά τα πλαστικά απορρίπτονται ακατάλληλα και από τη δεκαετία του 1970 έχουν αρχίσει να εισέρχονται στους ωκεανούς του κόσμου (Thompson *et al.*, 2004). Είναι ευρέως τεκμηριωμένο ότι οι μεγάλες ποσότητες πλαστικών απορριμμάτων προκαλούν σοβαρό πρόβλημα στα θαλασσοπούλια, τις χελώνες και τα θαλάσσια θηλαστικά. Έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζονται τουλάχιστον 267 είδη παγκοσμίως (Laist, 1997; Derraik, 2002), ωστόσο ο αριθμός αυτός εκτιμάται ότι ανέρχεται σε χιλιάδες είδη. Πολλές μελέτες έχουν επικεντρωθεί σε αυτό το πρόβλημα και άλλες πτυχές του, όπως το Great Pacific Garbage Patch (Μεγάλη Κηλίδα Απορριμμάτων Ειρηνικού) (Goldstein, 2012), ωστόσο, μία πιο πρόσφατη εστίαση στα πλαστικά απορρίμματα διερευνά το μικροσκοπικό στοιχείο του προβλήματος. Αυτά τα πλαστικά κομμάτια είναι γενικώς αναγνωρισμένα ως σωματίδια ≤ 5 χιλιοστών (Arthur *et al.*, 2009), και είναι αόρατα με γυμνό μάτι. Η κύρια εισροή ρύπανσης από μικροπλαστικά προέρχεται από 2 κύριες πηγές: Α. Τη μηχανική διάσπαση μεγαλύτερων πλαστικών ειδών (Thompson *et al.*, 2004) που περιλαμβάνει πλαστικά σκουπίδια που απορρίπτονται στο χερσαίο και παράκτιο περιβάλλον, ή στις θάλασσες (από αλιευτικά ή εμπορικά πλοία) (Derraik, 2002). Β. Την απελευθέρωση μικροπλαστικών από βιομηχανοποιημένα πλαστικά προϊόντα, όπως τα καθαριστικά προσώπου (Fendall *et al.*, 2009) και τα συνθετικά ρούχα μέσω του αποβαλλόμενου νερού πλυντηρίων ρούχων (Browne *et al.*, 2011).

Τρέχουσες έρευνες πάντως επιπτώσεις της ρύπανσης του θαλάσσιου οικοσυστήματος από μικροπλαστικά επιδεικνύουν ότι τα μικροπλαστικά προσλαμβάνονται από τα θαλάσσια είδη (Thompson *et al.*, 2004; Browne *et al.*, 2008; Fendall *et al.*, 2009; Wright *et al.*, 2013), ωστόσο, αυτά τα πειράματα έχουν υλοποιηθεί σε εργαστηριακές συνθήκες. Μέχρι πρόσφατα, υπήρξαν πολύ περιορισμένες έρευνες για την επικράτηση των μικροπλαστικών από φυσικούς πληθυσμούς. Πιο πρόσφατα, έρευνες έχουν επικεντρωθεί σε ιχθυικά είδη από φυσικά θαλάσσια ενδιαίτηματα, όπως για παράδειγμα των Boerger, *et al.* (2010) και Lusher, *et al.* (2012). Οι μελέτες αυτές, συμπεριλαμβανομένης αυτής του Carson (2013) αποδεικνύουν την κατάποση μικροπλαστικών μέσω τυχαίων δραστηριοτήτων σίτισης, δηλαδή πλαστικό που λανθασμένα αναγνωρίζεται ως θήραμα. Ωστόσο, οι επιπτώσεις των μικροπλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα και η μεταφορά τους μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο, είναι ελάχιστα κατανοητές έννοιες. Είναι τεκμηριωμένο ότι άλλα ζώα μπορούν να υποφέρουν θανάσιμη βλάβη από κατάποση πλαστικών, όπως υποσιτισμό (Lusher *et al.*, 2012) και λιμοκτονία (Possatto *et al.*, 2011). Με αυτό κατά νου, τα ψάρια που καταναλώνουν μικροπλαστικά κατά τη σίτιση θα μπορούσαν να υποστούν τα παραπάνω, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μαζικές μειώσεις φυσικών πληθυσμών (Boerger *et al.*, 2010). Λόγω της υψηλής οικολογικής και οικονομικής σημασίας των ψαριών, αυτό θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες για το θαλάσσιο οικοσύστημα και την παγκόσμια αλιευτική βιομηχανία.

Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως μία περιοχή υψηλής βιοποικιλότητας, με περίπου 16% των ειδών να είναι κρισίμως κινδυνεύοντα, κινδυνεύοντα, τρωτά ή σχεδόν απειλούμενα (Coll *et al.*, 2010). Μαζί με ένα μεγάλο ποσοστό (28%) ενδημικών ειδών (Fredj *et al.*, 1992), αποτελεί ένα ευαίσθητα ισορροπημένο οικοσύστημα όπου η προστασία είναι ζωτικής σημασίας. Στο ανατολικό σκέλος της Μεσογείου, το Αιγαίο στηρίζει μία υψηλή βιοποικιλότητα μέσα σε μία περιοχή συγκριτικά περιορισμένης ανθρωπογενούς ζήλησης στην παράκτια ζώνη. Επιπλέον, η τοπική αλιεία έχει μεγάλη κοινωνικοοικονομική σημασία.

Αυτή η προκαταρκτική έρευνα εξέτασε την περιεκτικότητα των μικροπλαστικών ινών μέσα στα στομάχια σημαντικών εμπορικών ιχθυικών ειδών, τοπικά αλιευμένων. Το ερώτημα ήταν

σε ποιο βαθμό προσλαμβάνονται τα μικροπλαστικά από τα είδη ψαριών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Μεθοδολογία

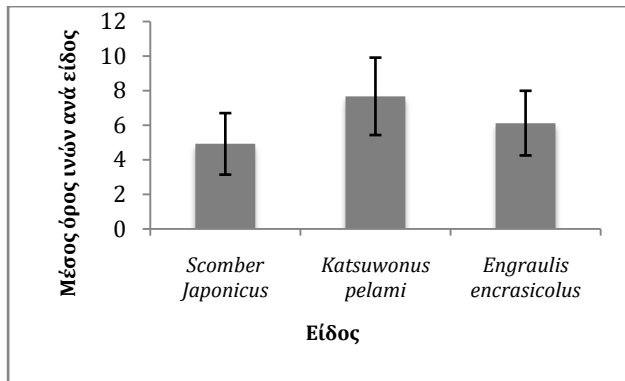
Τα ψάρια που περιλήφθηκαν στο δείγμα είναι όλα είδη που συνήθως αλιεύονται και πωλούνται στην τοπική αγορά. Τα πελαγικά είδη *Engraulis encrasicolus*, *Katsuwonus pelami* και *Scomber japonicus* αλιεύθηκαν μεταξύ της 5ης Σεπτεμβρίου και της 8ης Οκτωβρίου 2013. Τα *S. japonicus* και *E. encrasicolus* αλιεύθηκαν με μεμωμένα δίχτυα, ανοικτά των ακτών της Σάμου, και τα *K. pelamia* αλιεύθηκαν με γρι-γρι στη Λέσβο.

Έγινε ανατομή των ψαριών την ημέρα της αγοράς και οι πεπτικοί σωλήνες αφαιρέθηκαν, τοποθετήθηκαν σε αλουμινόχαρτο, καταψύχθηκαν στους -20°C και αποψύχθηκαν 12 ώρες πριν από την ανάλυση. Για να αποφευχθεί η μόλυνση από αερομεταφερόμενες ίνες μικροπλαστικών, προ της ανάλυσης και μεταξύ κάθε δείγματος, όλες οι επιφάνειες και ο εξοπλισμός καθαρίζονταν με φιλτραρισμένο αποσταγμένο νερό και διάλυμα 70% αιθανόλης. Το αποσταγμένο νερό διηθήθηκε χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία όπως στην ανάλυση, για να αποφευχθεί η ρύπανση από πλαστικές συσκευασίες. Επίσης, για να περιοριστεί πιθανή επιμόλυνση, όλοι οι ερευνητές στο εργαστήριο φορούσαν 100% βαμβακερά ρούχα, ενώ επιπλέον προ της ανάλυσης, τα χέρια τους καθαρίζονταν με αιθανόλη και φιλτραρισμένο αποσταγμένο νερό. Επιπροσθέτως, μία δοκιμή ελέγχου διεξαγόταν για να προσδιοριστεί το επίπεδο των προσμειξών εντός της συσκευής και του κεκορεσμένου διαλύματος άλατος. Για να παραχθεί το διάλυμα άλατος: 100g αλάτι προστέθηκε σε 300ml αποσταγμένου φιλτραρισμένου νερού για κάθε παρτίδα. Τέσσερις παρτίδες διηθήθηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως στην ανάλυση του δείγματος και το χαρτί φίλτρου εξετάστηκε για την παρουσία μικροπλαστικών. Κρίθηκε απαραίτητο το διάλυμα άλατος να διηθείται δύο φορές πριν από την ανάλυση.

Τα περιεχόμενα του στομάχου προστέθηκαν σε 100ml διπλά φιλτραρισμένου κεκορεσμένου διαλύματος άλατος και ανακινήθηκαν για 1 λεπτό. Το δείγμα στη συνέχεια αφέθηκε να διαχωριστεί και να κατακαθίσει για τουλάχιστον 24 ώρες. Μία γυάλινη σύριγγα χρησιμοποιήθηκε για να ληφθούν 40ml του δείγματος από το υπερκείμενο στρώμα του διαλύματος. Το δείγμα διηθήθηκε με χαρτιά φίλτρου WhatmanTM 1.2μm47 χιλιοστών, χρησιμοποιώντας γυάλινη συσκευή διήθησης και αντλία κενού. Το χαρτί φίλτρου στη συνέχεια ξηράνθηκε και διάλυμα 40ml άλατος προστέθηκε στο δείγμα. Η διαδικασία επαναλήφθηκε δύο φορές ακόμη, για συνολικά 3 χαρτιά φίλτρου ανά δείγμα. Μόλις στεγνώσαν, κάθε χαρτί φίλτρου αναλύθηκε κάτω από μικροσκόπιο φωτός σε μεγέθυνση 4x, και ελεγχόταν σε 10x εάν χρειαζόταν. Η αναγνώριση των μικροπλαστικών ιών προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τον οδηγό που περιγράφεται από το Norén (2007). Η ποσότητα και το χρώμα του πλαστικού παρατηρήθηκε και κατηγοριοποιήθηκε ως μαύρο/σκούρο, μπλε, κόκκινο, διάφανο ή άλλα.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

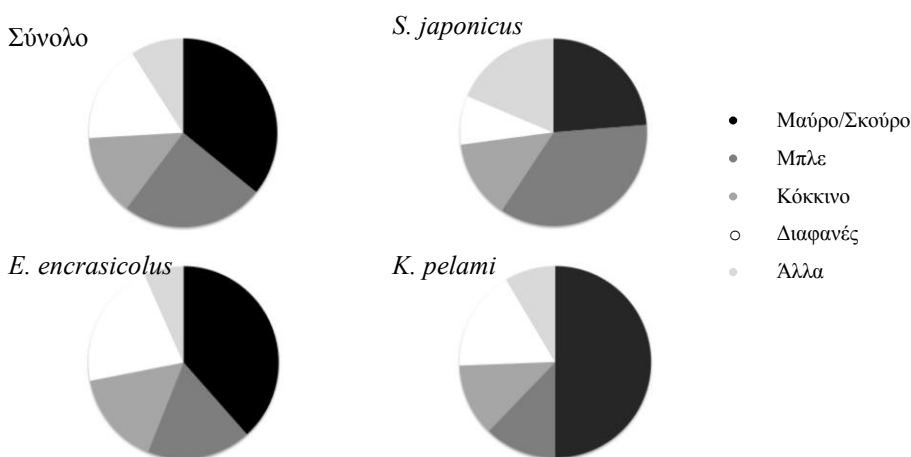
Διεξήχθη μία δοκιμή σύγκρισης όσον αφορά στη συνολική ποσότητα μικροπλαστικών ιών που βρέθηκαν στα περιεχόμενα του στομάχου των 3 διαφορετικών ειδών χρησιμοποιώντας διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, μαζί με μία σύγκριση της περιεκτικότητας ιών διαφορετικού χρώματος μεταξύ των ειδών. Το είδος *K. pelami* είχε μέσο όρο 7.67 (± 3.43), το *S. japonicus* 4.92 (± 3.15) και το *E. encrasicolus* 6.12 (± 5.002) μικροπλαστικές ίνες στο στομαχικό περιεχόμενο. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσότητα της περιεκτικότητας μικροπλαστικών ιών (Εικ. 1).



Εικόνα 1 – Συνολικός μέσος όρος αφθονίας μικροπλαστικών ινών σε 3 είδη ψαριών – 47 άτομα συνολικά. Οι γραμμές σφάλματος αποτελούν διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.

Συνολικά, το 89% των ατόμων που εξετάστηκαν είχαν καταπιεί κατά μέσο όρο 6.36 (± 4.64) μικροπλαστικές ίνες. Όσον αφορά στο είδος *E. encrasicolus*, το 85% των ατόμων είχαν ίνες στο στομάχι, στο *S. japonicus* 91%, και στο *K. pelami* 100%.

Κατά την ανάλυση, το χρώμα κάθε μικροπλαστικού που είχε καταποθεί παρατηρήθηκε και διανεμήθηκε στις ακόλουθες κατηγορίες: Μαύρο/σκούρο, μπλε, κόκκινο, διάφανο και άλλα (συνήθως πράσινο), για να καθοριστεί ομοιότητα σε φυσικά είδη θηραμάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πιο κοινό χρώμα πλαστικών ινών που βρέθηκε στα περιεχόμενα του στομάχου των ψαριών ήταν μαύρο/σκούρο με 36%, ακολουθούμενο από μπλε (24%), διαφανές (17%) και κόκκινο (14%) (Εικ. 2). Κοιτάζοντας το συνολικό ποσοστό των ινών που έχουν καταποθεί, μόνο τα είδη *K. pelami* και *E. encrasicolus* αντανακλούν αυτή τη γενίκευση, με ένα σχεδόν πανομοιότυπο μοτίβο χρώματος κατάποσης (Εικ. 2). Το *S. japonicus*, είχε το μπλε ως το πιο συχνά προσλαμβανόμενο χρώμα (Εικ. 2).

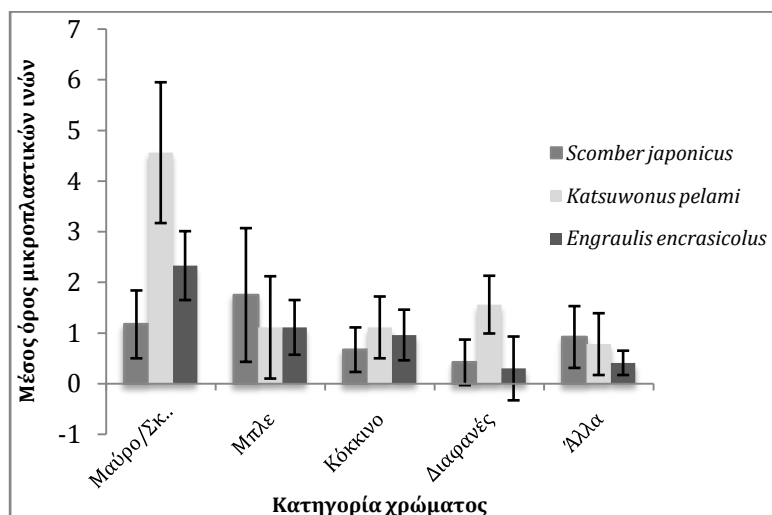


Εικόνα 2 – Το ποσοστό χρώματος μικροπλαστικών ινών που βρέθηκε στα τρία είδη.

Είναι προφανές ότι το *K. pelami* είχε καταπιεί μία υψηλή ποσότητα – στατιστικά σημαντική – μαύρων/σκούρων και διαφανών ινών, σε σύγκριση με τα *S. japonicus* και *E. encrasicolus* (Εικ. 3). Τα *K. pelami* και *E. encrasicolus* έχουν ένα παρόμοιο μοτίβο σίτισης συγκρίνοντας το χρώμα προτίμησης των προσλαμβανόμενων πλαστικών, με την εξαίρεση διαφανών ινών, καθώς το *E. encrasicolus* παρουσίασε χαμηλή ποσότητα αυτού του χρώματος. Τα αποτελέσματα που αφορούν το *S. japonicus* δείχνουν ότι έχει την τάση να καταναλώνει μπλε πλαστικό αντί μαύρου/σκούρου, αν και αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Το ποσοστό των ατόμων που είχε καταπιεί μικροπλαστικές ίνες (89%), είναι ένα σχετικά υψηλό αποτέλεσμα όταν συγκρίνεται με τις δύο παρόμοιες μελέτες των Lusher, *et al.* (2012)

και Beorger, *et al.* (2010), οι οποίοι ανακάλυψαν ότι περίπου το ένα τρίτο των ατόμων είχε καταπιεί πλαστικό σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Ωστόσο, αυτές οι διαφορές θα μπορούσαν να εξηγηθούν με διάφορες μεθόδους. Σε αυτή τη μελέτη, τα μικροπλαστικά εντοπίστηκαν οπτικά, και δεν επιβεβαιώθηκαν χρησιμοποιώντας φασματομετρία FT-IR. Σε μία ανασκόπηση μεθοδολογιών για μικροπλαστικά των Hidalgo-Ruz, *et al.* (2012), διαπιστώθηκε ότι το 70% των μικροπλαστικών που είχαν εντοπισθεί οπτικά δεν επιβεβαιώθηκαν ως πλαστικό υλικό με τη χρήση φασματομετρίας FT-IR. Επίσης, για να ποσοτικοποιηθεί η ποσότητα της ρύπανσης από πλαστικό στην οποία τα δείγματα εκτέθηκαν κατά την εξέταση, ελήφθη μία διαδικαστική δοκιμή ρύπανσης. Τα αποτελέσματα αυτής έδειξαν ένα μέτρια υψηλό επίπεδο ρύπανσης, δηλαδή κατά μέσο όρο 1.8 ίνες ανά χαρτί φίλτρου. Με αυτό το αποτέλεσμα, είναι λογικό να προβούμε σε εκτιμήσεις για το σχετικά υψηλό ποσοστό των στομάχων που περιείχαν μικροπλαστικά, παρά τα η μόλυνση ήταν ακόμα συγκριτικά χαμηλότερη από το μέσο αριθμό ινών ανά ψάρι και ως εκ τούτου ένα αποτέλεσμα που υποδηλώνει ότι τα ψάρια έχουν καταναλώσει μικροπλαστικά παραμένει, παρά τη ρύπανση. Ωστόσο, αυτό εγείρει ερωτήματα σχετικά με την πιθανή επιμόλυνση από μικροπλαστικές ίνες κατά τη διάρκεια της ανάλυσης του δείγματος, και θα πρέπει να εξεταστεί εκτενέστερα.



Εικόνα 3 – Σχέση μεταξύ ειδών και έγχρωμων μικροπλαστικών ινών που έχουν καταποθεί. Οι στήλες δείχνουν το μέσο όρο ινών, με γραμμές σφάλματος για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.

Συνολικά, είναι προφανές ότι τα μικροπλαστικά προσλαμβάνονται από πελαγικά είδη ψαριών. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης συμπίπτουν με αυτά των Lusher, *et al.* (2012), οι οποίοι δε βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά σε 10 είδη ψαριών. Ωστόσο, το είδος *K. pelami* κατάπιε κατά μέσον όρο το υψηλότερο ποσό ινών, αλλά με μέσο βάρος 11kg, και τη δυνατότητα να καταναλώσει έως και το 15% του βάρους του σώματός του (Magnuson, 1969; Sivadas & Wesley, 2007), συνεπώς εκτιμάται ότι το είδος αυτό θα είχε το υψηλότερο ποσό προσλαμβανόμενων μικροπλαστικών. Αυτό είναι παρόμοιο με τα ευρήματα των Beorger, *et al.* (2010), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι το μεγαλύτερο ψάρι είχε καταπιεί το υψηλότερο ποσό ινών, όμως δε μπορούσε να προσδιοριστεί για πόσο χρονικό διάστημα είχαν παραμείνει οι ίνες στο εσωτερικό του στομάχου.

Τα είδη *E. encrasicolus*, *K. pelami* και *S. japonicus* είναι σημαντικά οικονομικά και οικολογικά. Αυτά τα πελαγικά ψάρια έχουν μεγάλη αφθονία, δηλαδή μεγάλη βιομάζα στο ενδιάμεσο επίπεδο του οικοσυστήματος, και επομένως έχουν ζωτικό ρόλο στη σύνδεση των άνω και κάτω επιπέδων της τροφικής αλυσίδας (Plounevez & Champalbert, 2000; Pethybridge *et al.*, 2013). Το *E. encrasicolus* τείνει να τρέφεται σε συνεχές ημερήσιο μοτίβο, αποκλειστικά με ζωοπλαγκτόν, με κυρίως κωπήποδα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και

ασκείτύπους διατροφής διηθηματοφαγίας και αρπακτικώς (Plounevez & Champalbert, 2000). Αυτό το είδος ήταν το μικρότερο ψάρι του δείγματος, με μέσο μήκος 13.5cm, και μέσο βάρος 5.5g (Lisovenko *et al.*, 1996), ωστόσο κατάπνευσε παρόμοιο αριθμό μικροπλαστικών σωματιδίων με τα μεγαλύτερα είδη.

Επιπλέον, το *E. encrasicolus* κατέδειξε το χαμηλότερο ποσοστό κατάποσης μικροπλαστικών (85%). Οι Brooks & Dodson (1965) εξήγησαν ότι οι θηρευτές του ζωοπλαγκτού επιλέγουν το θήραμά τους με βάση το μέγεθος, την αφθονία και τη βρωσιμότητα, πέραν του πόσο εύκολο είναι να πιαστεί. Επίσης, η θήρευση εξαρτάται από το μέγεθος και το χρώμα, το πιο σκούρο χρώμα όντας το πιο συνήθως τρωγόμενο (Plounevez & Champalbert, 1999). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι το πιο αφθόνως τρωγόμενο πλαστικό χρώμα ήταν το μαύρο/σκούρο (Εικ. 2). Αυτό, μαζί με τις στρατηγικές σίτισης του *E. encrasicolus*, θα μπορούσε να εξηγήσει τη σύγχυση ινών με φυσικό θήραμα, που συμπίπτει με τους Lusher, *et al.* (2012) και τους Boerger, *et al.* (2010), που δείχνουν ότι οι πλαστικές ίνες προσλήφθηκαν λόγω της ομοιότητάς τους με φυσική λεία.

Το είδος *S. japonicus* είναι παράκτιο πελαγικό ψάρι που τρέφεται νυκτόβια, παραμένοντας στη βενθική ζώνη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Είναι μη-επιλεκτικό, και ως εκ τούτου τρέφεται ευκαιριακά κατά κύριο λόγο με κωπήποδα και άλλα μικρά οστρακόδερμα, ψάρια και μαλάκια (Bayhan *et al.*, 2007). Επιπλέον, μαρτυρίες δείχνουν τη χρήση διηθηματοφαγικής στρατηγικής όταν το θήραμα είναι σε μεγάλη αφθονία. Αλλιώς επιδεικνύουν μία τεχνική δαγκώματος (Plounevez & Champalbert, 2000). Σε αυτή τη μελέτη το *S. japonicus* έδειξε διαφορετική προτίμηση ως προς το χρώμα των μικροπλαστικών, σε σύγκριση με τα δύο ημερόβια είδη, πράγμα που μπορεί να σημαίνει ότι η όραση, ή η έλλειψή της, πιθανώς παίζει ρόλο στη διάκριση μεταξύ προτιμώμενων θηραμάτων. Αυτή η προτιμώμενη διατροφική συμπεριφορά, μαζί με ένα νυκτόβιο, ευκαιριακό τύπο διατροφής, περαιτέρω δείχνει τη δυνατότητα σύγχυσης πλαστικών σωματιδίων με θήραμα. Είναι ασαφές ωστόσο, η ακριβής πηγή των πλαστικών σωματιδίων που καταπόθηκαν. Καθώς το είδος αυτό τρέφεται με άλλα ψάρια, οστρακόδερμα και μαλάκια, είναι πιθανό ότι αυτοί οι οργανισμοί έχουν ήδη συσσωρεύσει πλαστικό στο έντερό τους, έτοιμο να περάσει στο αρπακτικό που τα θηρεύει. Αυτό είναι επίσης εμφανές στο *K. pelami*: Παρόλο που τρέφεται άκρως καιροσκοπικά, δεν είναι γενικά γνωστό να τρέφεται με πλαγκτόν (Collette & Nauen, 1983), καθώς κυρίως τρέφεται με μαλάκια, ψάρια και κεφαλόποδα. Επομένως, είναι λογικό ότι αυτό το ψάρι συσσωρεύει πλαστικό, όχι από τη στήλη ύδατος, αλλά από θηράματα που ήδη έχουν καταπιεί μικροπλαστικά. Πάραυτα, δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε το χρόνο παραμονής των μικροπλαστικών εντός του εντέρου, και ως εκ τούτου δε γνωρίζουμε εάν το πλαστικό συσσωρεύεται με την πάροδο του χρόνου, ή εάν περνάει το πεπτικό σύστημα (Lusher *et al.*, 2012).

Μία έρευνα σχετικά με την αναλογία μικροπλαστικών σωματιδίων και ζωοπλαγκτού, βρήκε μικροπλαστικά στο 90% των σταθμών δειγματοληψίας, που βρίσκονται στη Μεσόγειο Θάλασσα (Collignon *et al.*, 2012). Η μελέτη αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι καθώς τα μικροπλαστικά ήταν σε τόσο μεγάλη αφθονία στη ζώνη φωτός, θα μπορούσαν να προκαλέσουν σύγχυση στην πανίδα που ενεργά θηρεύει ή τρέφεται μέσω διηθηματοφαγίας με ζωοπλαγκτόν. Κατά κύριο λόγο το ζωοπλαγκτόν είναι διαφανές, συχνά άορατο, και είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η διαφάνεια χρησιμοποιείται ως καμουφλάζ (Johnsen & Widder, 2001). Επομένως, αναμένεται ότι το πιο κοινό χρώμα των πλαστικών που προσλαμβάνεται από πλαγκτοφάγα πελαγικά ψάρια θα είναι το διαφανές. Αντιθέτως, τα ψάρια σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζουν μία προτίμηση για τα πιο σκούρα χρώματα πλαστικού. Ωστόσο, τα είδη αυτά είναι μη-επιλεκτικά και παρουσιάζουν ιδιαίτερα καιροσκοπικό τύπο διατροφής, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση της όρασης για την ανίχνευση χρώματος είναι ασήμαντη.

Εκτός των πελαγικών ψαριών, έρευνες πάνω στην κατάποση μικροπλαστικών από ασπόνδυλα (Thompson *et al.*, 2004; Browne *et al.*, 2008; Murray & Cowie, 2011) παρέχουν αποδείξεις ότι οι θαλάσσιοι οργανισμοί τρέφονται με μικροπλαστικά στο κάτω και στο ενδιάμεσο τροφικό επίπεδο. Παρόμοια με τις μελέτες στα ψάρια, τα ασπόνδυλα τρέφονται μη-επιλεκτικά, λόγω της ομοιότητας του πλαστικού με θήραμα, πλην μίας μελέτης στην κατάποση πλαστικού από ολόθουρια, όπου η επιλεκτική σίτιση ήταν εμφανής (Graham & Thompson, 2009).

Λαμβάνοντας υπόψιν αυτές τις θεωρίες, μαζί με την απόδειξη ότι τα μικροπλαστικά είναι άφθονα στην πελαγική ζώνη, το μικρό τους μέγεθος ($\leq 5\text{mm}$) και τον παθητικό τρόπο με τον οποίο εμφανίζονται στη στήλη του ύδατος, πράγμα που αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα των μικροπλαστικών, παρουσιάζεται το επιχείρημα ότι όλα τα πλαγκτοφάγα πελαγικά ψάρια εκτίθενται στην κατάποση μικροπλαστικών.

Συμπεράσματα

Αυτή η έρευνα παρέχει περαιτέρω αποδείξεις ότι η ρύπανση από μικροπλαστικά καταναλώνεται από εμπορικά είδη ψαριών, γεγονός που προκαλεί ανησυχία για το μέλλον της βιωσιμότητας των ιχθυοποθεμάτων, μαζί με την ύπαρξη μίας πιθανής οδού προς την ανθρώπινη διατροφή. Υπάρχουν επίσης πιθανές αποδείξεις ότι η βιοσυσσώρευση είναι παρούσα μεταξύ των ειδών ψαριών, ωστόσο αυτό δεν είναι στατιστικά αποδεδειγμένο, λόγω αδυναμίας να προσδιοριστεί με ακρίβεια εάν το πλαστικό που καταπόθηκε καταναλώνεται μη-επιλεκτικά από τη στήλη του ύδατος, ή από μεγαλύτερα θηράματα που έχουν ήδη καταπιεί το πλαστικό από άλλη πηγή. Πρόσφατα όμως, υπήρξε πειραματική εργαστηριακή ανάλυση, η οποία προσκόμισε αποδεικτικά στοιχεία για τη μεταβίβαση πλαστικού στα τροφικά επίπεδα από ένα μύδι σε ένα καβούρι (Farrell & Nelson, 2013). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης σχετικά με το *K. pelami* που τρέφεται κυρίως με ψάρια, οστρακοειδή και μαλάκια, παρουσιάζεται η δυνατότητα του πλαστικού να μεταφέρεται κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας.

Με αυτά τα στοιχεία, μπορεί να υποτεθεί ότι η βιοσυσσώρευση μικροπλαστικών είναι παρούσα, αλλά περαιτέρω μελέτη που λαμβάνει υπόψιν της τη συνολική δυναμική της τροφικής αλυσίδας είναι απαραίτητη για να διαπιστωθεί σε ποιο βαθμό τα μικροπλαστικά συσσωρεύονται μέσα από τα τροφικά επίπεδα. Επιπλέον, για να διαπιστωθεί εάν το πλαστικό συσσωρεύεται με την πάροδο του χρόνου, μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να λάβουν υπόψιν τους την ηλικία των ψαριών σε σχέση με την αφθονία των μικροπλαστικών.

Βιβλιογραφία

Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9–11, 2008. Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., Eds.; NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009.

Bayhan, Bahar, Tuncay M. Sever, and Murat Kaya. 2007 "Diet composition of the chub mackerel, *Scomber japonicus* (pisces: scombridae), in candarli bay (aegean sea, turkey)." *rapp. Comm. Int. Mer médit.* 38 n. Pag.

Brooks, J. L., and S. I. Dodson. 1965 "Predation, Body Size, and Composition of Plankton." *Science* 150.3692 : 28-35.

Boerger, Christiana M., Gwendolyn L. Lattin, Shelly L. Moore, and Charles J. Moore. 2010: "Plastic Ingestion by Planktivorous Fishes in the North Pacific Central Gyre." *Marine Pollution Bulletin* 60 2275-278.

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. & Thompson, R. 2011 "Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks." *Environmental Science & Technology*, 45

Browne, Mark A., Awantha Dissanayake, Tamara S. Galloway, David M. Lowe, and Richard C. Thompson. 2008: "Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, (L)." *Environmental Science & Technology* 42.13 5026-031.

- Carson, Henry S. 2013: "The Incidence of Plastic Ingestion by Fishes: From the Prey's Perspective." *Marine Pollution Bulletin* 74 170-74.
- Coll, Marta, Chiara Piroddi, Jeroen Steenbeek, Kristin Kaschner, Frida Ben Rais Lasram, Jacopo Aguzzi, Enric Ballesteros, Carlo Nike Bianchi, Jordi Corbera, Thanos Dailianis, Roberto Danovaro, Marta Estrada, Carlo Frogli, Bella S. Galil, Josep M. Gasol, Ruthy Gertwagen, João Gil, François Guilhaumon, Kathleen Kesner-Reyes, Miltiadis-Spyridon Kitsos, Athanasios Koukouras, Nikolaos Lampadariou, Elijah Laxamana, Carlos M. López-Fé De La Cuadra, Heike K. Lotze, Daniel Martin, David Mouillot, Daniel Oro, Saša Raicevich, Josephine Rius-Barile, Jose Ignacio Saiz-Salinas, Carles San Vicente, Samuel Somot, José Templado, Xavier Turon, Dimitris Vafidis, Roger Villanueva, and Eleni Voultziadou. 2010: "The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats." Ed. Steven J. Bograd. *PLoS ONE* 5.8 E11842.
- Collette, B.B. and C.E. Nauen., 1983 FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. Rome: FAO. FAO Fish. Synop. 125(2)137 p.
- Collignon, Amandine., Hecq, Jean-Henri., Glagani, François., Voisin, Pierre., Collard, France., Goffart, Anne., 2012 "Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea", *Marine Pollution Bulletin* 64.4 861–864
- Derraik J.G.B, 2002, "The pollution of the marine environment by plastic debris: A review." *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), pp. 824-852.
- Farrell, Paul, and Kathryn Nelson. 2013: "Trophic Level Transfer of Microplastic: *Mytilus Edulis* (L.) to *Carcinus Maenas* (L)." *Environmental Pollution* 177 1-3.
- Fendall, Lisa S., and Mary A. Sewell. 2009 "Contributing to Marine Pollution by Washing Your Face: Microplastics in Facial Cleansers." *Marine Pollution Bulletin* 58.8: 1225-228.
- Fredj, G., Bellan-Santini, D. and Menardi, M., 1992. "Etat des connaissances sur la faune marine Méditerranéenne," Bull Inst Oc, No 9, Monaco, pp. 133–145.
- Goldstein M.C., Rosenberg M., Cheng L., 2012 "Increased Oceanic Microplastic Debris Enhances Oviposition in an Endemic Pelagic Insect. *Biology Letters*." Letter. N.d. MS. N.p.
- Graham, E.R., Thompson, J.T., 2009. "Deposit and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments." *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 368, 22–29.
- Hidalgo-Ruz, Valeria, Lars Gutow, Richard C. Thompson, and Martin Thiel. 2012 "Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification." *Environ. Sci. Technol* 46: 3060-075.
- Murray, Fiona, and Phillip Rhys Cowie. 2011 "Plastic Contamination in the Decapod Crustacean *Nephrops Norvegicus* (Linnaeus, 1758)." *Marine Pollution Bulletin* 62.6: 1207-217.
- Laist, D.W., 1997. "Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records." In: Coe, J.M., Rogers, D.B. (Eds.), *Marine Debris—Sources, Impacts and Solutions*. Springer- Verlag, New York, pp. 99–139.
- Lisovenko, Leonid a., and Dimitri p. Andrianov. 1996: "Reproductive biology of anchovy (*Engraulis encrasicolus ponticus alexandrov* 1927) in the black sea*." *sci. Mar* 60.2: 209-18.
- Lusher, A. L., M. McHugh, and R. C. Thompson. 2012 "Occurrence of Microplastics in the Gastrointestinal Tract of Pelagic and Demersal Fish from the English Channel." *Marine Pollution Bulletin* <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>: n. pag.
- Norén, F. Small Plastic Particles in Coastal Swedish Waters. 2007. Print. KIMO Report.
- Pethybridge, H., D. Roos, V. Loizeau, L. Pecquerie, and C. Bacher. 2013 "Responses of European Anchovy Vital Rates and Population Growth to Environmental Fluctuations: An Individual-based Modeling Approach." *Ecological Modelling* 250: 370-83.
- Plounevez, S., and G. Champalbert. 1999 "Feeding Behaviour and Trophic Environment of *Engraulis Encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49.2: 177-91.
- Plounevez, S. Champalbert, H., 2000. "Diet, feeding behaviour and trophic activity of the anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) In the Gulf of Lions (Mediterranean Sea)." *Oceanografica Acta* 23, 175–192.
- Sivadas, M., and Godwin Wesley, S. 2007 "Feeding habits of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* associated with flotsam in minicoy, Lakshadweep." *Journal of Ecobiology* 21.1: 57-62.
- Somarakis, S., Palomera, I., Garcíá, A., Quintanilla, L., Koutsikopoulos, C., Uriarte A., Motos, L., 2004. "Daily egg production of anchovy in European waters." *ICES J. Mar. Sci.* 61,944–958.
- Thompson, R. C. 2004 "Lost at Sea: Where Is All the Plastic?" *Science* 304.5672: 838. Print.
- Wright, Stephanie L., Richard C. Thompson, and Tamara S. Galloway. 2013 "The Physical Impacts of Microplastics on Marine Organisms: A Review." *Environmental Pollution* 178: 483-92.