



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΡΟΦΙΜΑ, ΔΙΑΤΡΟΦΗ & ΥΓΕΙΑ
(FOOD, NUTRITION & HEALTH)**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας
μέσω βρασμού υποπροϊόντων σαρδελών
στην προβλεπόμενη βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου

Αντιγόνη Π. Βαρδάκα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια
Καψοκεφάλου Μαρία, Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2023**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας
μέσω βρασμού υποπροϊόντων σαρδελών
στην προβλεπόμενη βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου

Study of the effect of heat treatment by boiling of by-products
of sardines on the predicted bioavailability of iron

Αντιγόνη Π. Βαρδάκα

Εξεταστική επιτροπή

Καψοκεφάλου Μαρία, Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Γαρδέλη Χρυσαιγή, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Μαλλούχος Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας μέσω βρασμού υποπροϊόντων σαρδελών στην προβλεπόμενη βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου

ΠΜΣ Τρόφιμα, Διατροφή & Υγεία

Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Χημείας & Ανάλυσης Τροφίμων

Περίληψη

Σκοπός της μελέτης είναι η διατροφική αξιολόγηση επιλεγμένων υποπροϊόντων του ψαριού της σαρδέλας μέσα από τη διαδικασία της *in vitro* προσομοίωσης της γαστρεντερικής πέψης. Η εκτιμώμενη βιοδιαθεσιμότητα σε σίδηρο προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της χρωμογόνου φερροζίνης. Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη προσδιορίστηκε με τη χρήση της μεθόδου Kjeldahl, ενώ για την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε ολικό λίπος χρησιμοποιήθηκε η εκχύλιση με τη βοήθεια της συσκευής Mojonnier. Ο προσδιορισμός υγρασίας και τέφρας επί ξηρού στα δείγματα των υποπροϊόντων των ψαριών της σαρδέλας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πυριαντηρίου. Η πρωτοτυπία της παρούσας μελέτης στηρίζεται στην ανάπτυξη της *in vitro* μεθόδου γαστρεντερικής πέψης, η οποία προσομοιάζει την γαστρεντερική πέψη στον ανθρώπινο οργανισμό και μας επιτρέπει να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα γι' αυτόν. Συγχρόνως, στόχο της αποτελεί η μελέτη της βιοδιαθεσιμότητας των υποπροϊόντων σαρδέλας που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία βρασμού σε εύρος διαφορετικών χρόνων σε σίδηρο και μακροθρεπτικά συστατικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 15 λεπτά είχαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού και ολικό λίπος συγκριτικά με τα υποπροϊόντα που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 10 λεπτά, ενώ δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και υγρασία. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 λεπτά είχαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες σε σύγκριση με τα υποπροϊόντα που έβρασαν για 15 λεπτά. Όσον αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα σε ολικό διαλυτό σίδηρο, βρέθηκε στατιστικά σημαντικά υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα στα υποπροϊόντα που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 15 λεπτά σε σχέση με αυτά που έβρασαν για 10 λεπτά, ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο χρόνο βρασμού και στη βιοδιαθεσιμότητα του δισθενούς διαλυτού σιδήρου. Σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου, φάνηκε να είναι στατιστικά σημαντικά υψηλότερη η βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους συγκριτικά με τον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι η θερμική επεξεργασία του βρασμού επηρεάζει την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού, ολικό λίπος και συνολικούς υδατάνθρακες, ενώ επηρεάζει και τη βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου.

Λέξεις κλειδιά: σαρδέλες, υποπροϊόντα σαρδελών, θερμική επεξεργασία βρασμού, εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, υγρασία, τέφρα επί ξηρού, ολικό λίπος και συνολικούς υδατάνθρακες, βιοδιαθεσιμότητα ολικού και δισθενούς σιδήρου, *in vitro* γαστρεντερική πέψη

Study of the effect of heat treatment by boiling of by-products of sardines on the predicted bioavailability of iron

MSc Food, Nutrition & Health

Department of Food Science & Human Nutrition

Laboratory of Food Chemistry & Analysis

Abstract

The aim of the study is the nutritional evaluation of selected by-products of sardine fish through the in vitro simulation of gastrointestinal digestion. The estimated iron bioavailability was determined using the ferrozine chromogenic method. The percent protein content was determined using the Kjeldahl method, while the percent total fat content was determined by extraction using the Mojonnier apparatus. The determination of moisture and ash on dry matter in the samples of sardine fish by-products was carried out using a pyranometer. The originality of the present study is based on the development of the in vitro method of gastrointestinal digestion, which simulates gastrointestinal digestion in the human body and allows us to draw safe conclusions about it. At the same time, it aims to study the bioavailability of heat-treated sardine by-products boiled over a range of different times in iron and macronutrients. The results showed that the samples of sardine by-products boiled for 15 minutes had statistically significantly higher percent dry ash and total fat content compared to the by-products heat treated by boiling for 10 minutes, while no statistically significant difference in percent protein and moisture content was found. On the contrary, it was observed that the samples of sardine by-products boiled for 10 minutes had a statistically significantly higher total carbohydrate content compared to the by-products boiled for 15 minutes. Regarding the bioavailability of total soluble iron, a statistically significantly higher bioavailability was found in the by-products subjected to the heat treatment of boiling for 15 minutes compared to those boiled for 10 minutes, while there was no statistically significant difference between the boiling time and the bioavailability of divalent soluble iron. Regarding the bioavailability of total soluble iron, there appeared to be statistically significantly higher bioavailability of high molecular weight total soluble iron compared to low molecular weight total soluble iron. It is therefore concluded that the heat treatment of boiling affects the percent dry ash, total fat and total carbohydrate content and also affects the bioavailability of total soluble iron.

Keywords: sardines, sardine by-products, boiling heat treatment, percentage protein, moisture, dry ash, total fat and total carbohydrates, total and divalent iron bioavailability, in vitro gastrointestinal digestion

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας και Ανάλυσης Τροφίμων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Διευθύντρια του Εργαστηρίου και Καθηγήτρια Δρ. Καψοκεφάλου Μαρία για τη διαρκή καθοδήγησή της. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τη Δρ. Κανδυλιάρη Αικατερίνη για τη συνεχή στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Θέλω να απευθύνω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου και στην εταιρεία «Κορνα» για την παροχή των δειγμάτων που επεξεργάστηκα για τη διεξαγωγή της μελέτης μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένειά μου και το σύζυγό μου για όλη τους την υποστήριξη κατά την ακαδημαϊκή μου πορεία.

Στον σύζυγό μου

Περιεχόμενα

1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
1.1. Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα	11
1.2. Υποπροϊόντα ψαριών	13
1.3. Χρήσεις των υποπροϊόντων	15
1.3.1. Τι γίνεται σήμερα	15
1.3.2. Τι θα μπορούσε να γίνει.....	17
1.4. Αντικείμενο και στόχοι μελέτης	20
2. Μεθοδολογία	22
2.1. Συλλογή και προετοιμασία δειγμάτων.....	22
2.2. Διατροφική Σύσταση	23
2.2.1. Προσδιορισμός πρωτεϊνών	23
2.2.2. Προσδιορισμός υγρασίας.....	25
2.2.3. Προσδιορισμός τέφρας επί ξηρού	26
2.2.4. Προσδιορισμός ολικού λίπους	27
2.2.5. Προσδιορισμός συνολικών υδατανθράκων	28
2.2.6. Προσδιορισμός εκτιμώμενης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου	28
3. Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα	34
3.1. Διατροφική σύσταση.....	34
3.1.1. Προσδιορισμός πρωτεϊνών	34
3.1.2. Προσδιορισμός υγρασίας.....	35
3.1.3. Προσδιορισμός τέφρας επί ξηρού	36
3.1.4. Προσδιορισμός ολικού λίπους	36
3.1.5. Προσδιορισμός συνολικών υδατανθράκων	37
3.1.6. Προσδιορισμός εκτιμώμενης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου	39
3.2. Στατιστική ανάλυση.....	40
3.2.1. Πρωτεΐνη	40
3.2.2. Υγρασία.....	41
3.2.3. Τέφρα επί ξηρού.....	42
3.2.4. Επί τοις εκατό ολικό λίπος.....	42
3.2.5. Συνολικοί υδατάνθρακες.....	43
3.2.6. Βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου	43
4. Κεφάλαιο 4: Συζήτηση	55
4.1. Συμπεράσματα	59
5. Βιβλιογραφία	61

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Παγκόσμια παραγωγή υδρόβιων ζώων (Χώτος, 2016)	13
Εικόνα 2: Υποπροϊόντα ψαριών και σύνθεσή τους (Martí-Quijal et al., 2020)	14
Εικόνα 3: Χρήσεις υποπροϊόντων ψαριών στη βιομηχανία (Martí-Quijal et al., 2020) .	17
Εικόνα 4: Εφαρμογές των ενώσεων που προκύπτουν από τη ζύμωση των υποπροϊόντων των ψαριών (Martí-Quijal et al., 2020).....	18
Εικόνα 5: Βρασμένη παρτίδα υποπροϊόντων σαρδέλας.....	22
Εικόνα 6: Βρασμένες παρτίδες υποπροϊόντων σαρδέλας σε σάκους προπροπυλενίου	23
Εικόνα 7: Συσκευή καύσης μεθόδου Kjeldahl	24
Εικόνα 8: Συσκευή απόσταξης μεθόδου Kjeldahl	25
Εικόνα 9: Τοποθέτηση δειγμάτων στον ηλεκτρικό φούρνο	26
Εικόνα 10: Εκχύλιση με τη χρήση της συσκευής Mojonnier	27
Εικόνα 11: Εξάτμιση των αιθέρων στο υδατόλουτρο	28
Εικόνα 12: Δείγματα στα 6-well-plates.....	30
Εικόνα 13: Ρύθμιση pH.....	31
Εικόνα 14: Δείγματα στο 96-well-plate μετά την προσθήκη φερροζίνης:HEPES	32

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας υποπροϊόντων σε πρωτεΐνη	34
Πίνακας 2: Μέσες τιμές σύστασης πρωτεΐνης των υποπροϊόντων	35
Πίνακας 3: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας υποπροϊόντων σε υγρασία .	35
Πίνακας 4: Μέσες τιμές σύστασης υγρασίας των υποπροϊόντων	35
Πίνακας 5: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε τέφρα επί ξηρού.....	36
Πίνακας 6: Μέσες τιμές σύστασης τέφρας επί ξηρού των υποπροϊόντων.....	36
Πίνακας 7: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε ολικό λίπος.....	37
Πίνακας 8: Μέσες τιμές σύστασης ολικού λίπους των υποπροϊόντων.....	37
Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε συνολικούς υδατάνθρακες.....	38
Πίνακας 10: Μέσες τιμές σύστασης συνολικών υδατανθράκων των υποπροϊόντων	38
Πίνακας 11: Μέσες τιμές διατροφικής σύστασης υποπροϊόντων σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού σε διαφορετικούς χρόνους.....	38

Πίνακας 12: Μέσος ολικός διαλυτός σίδηρος και μέσος δισθενής διαλυτός σίδηρος μικρού μοριακού βάρους δειγμάτων υποπροϊόντων σαρδέλας με την προσθήκη σιδήρου..... 39

Πίνακας 13: Μέσος ολικός συνολικός διαλυτός σίδηρος και μέσος δισθενής συνολικός διαλυτός σίδηρος υψηλού μοριακού βάρους δειγμάτων υποπροϊόντων σαρδέλας με την προσθήκη σιδήρου..... 39

Περιεχόμενα σχημάτων

Σχήμα 1: Καμπύλη βαθμονόμησης σιδήρου..... 33

Σχήμα 2: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε πρωτεΐνη στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 41

Σχήμα 3: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε υγρασία στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 41

Σχήμα 4: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε τέφρα επί ξηρού στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 42

Σχήμα 5: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε ολικό λίπος στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 43

Σχήμα 6: Εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 43

Σχήμα 7: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους (mg/L)..... 44

Σχήμα 8: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους (mg/L)..... 45

Σχήμα 9: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 45

Σχήμα 10: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους (mg/L)..... 47

Σχήμα 11: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους (mg/L)..... 48

Σχήμα 12: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους..... 48

Σχήμα 13: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του αρνητικού δείγματος ελέγχου..... 49

Σχήμα 14: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του αρνητικού δείγματος ελέγχου..... 50

Σχήμα 15: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του θετικού δείγματος ελέγχου	51
Σχήμα 16: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του θετικού δείγματος ελέγχου	51
Σχήμα 17: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 λεπτά.....	52
Σχήμα 18: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 λεπτά.....	53
Σχήμα 19: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά.....	54
Σχήμα 20: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά.....	54
Σχήμα 21: Μακροθρεπτικά συστατικά υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά.....	55
Σχήμα 22: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά	56
Σχήμα 23: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά.....	56
Σχήμα 24: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά	57
Σχήμα 25: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά.....	57

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Παρουσίαση της βιοδιαθεσιμότητας του ολικού διαλυτού σιδήρου των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους με boxplot	46
Διάγραμμα 2: Παρουσίαση της βιοδιαθεσιμότητας του δισθενούς διαλυτού σιδήρου των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους με boxplot	49

1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Η υδατοκαλλιέργεια, μερικές φορές γνωστή ως θαλάσσια καλλιέργεια, είναι η πρακτική της καλλιέργειας θαλάσσιων φυτών και ζώων.

Η υδατοκαλλιέργεια υπάρχει εδώ και πολλές χιλιετίες. Ενώ οι τοιχογραφίες από αιγυπτιακούς τάφους που απεικονίζουν ψάρια τιλάπια να συλλέγονται από λίμνες χρονολογούνται από το 2.500 π.Χ., υπάρχουν ενδείξεις ότι ψάρια αιχμαλωτίστηκαν και καλλιεργήθηκαν σε λίμνες και λιμνοθάλασσες που χρονολογούνται πριν από περισσότερα από 2.000 χρόνια. Η πρακτική της εκτροφής κυπρίνου χρονολογείται από το 2.000 π.Χ. στην Κίνα, τη χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδατοκαλλιέργειας. Υπάρχουν ενδείξεις ότι εκτεταμένες θαλάσσιες φάρμες υπήρχαν τον 6^ο αιώνα π.Χ. Επιπλέον, λαβράκια, σπαρίδες, μουλίδες και στρείδια καλλιεργούνταν σε ιταλικές λίμνες και λιμνοθάλασσες από τον ετρουσκικό πολιτισμό κατά τη ρωμαϊκή εποχή. Η υδατοκαλλιέργεια γλυκού νερού στην Κεντρική Ευρώπη ανέκαμψε τον 12^ο αιώνα. Ο όρος "vallicultura" αναφέρεται σε ουσιαστική ιχθυοκαλλιέργεια που έλαβε χώρα τον 15^ο αιώνα στις παράκτιες λιμνοθάλασσες της Αδριατικής. Αυτή η πρακτική ασκείται σήμερα και ήταν ο πρόδρομος της σύγχρονης μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας.

Αυτή η δραστηριότητα μπορεί να παρομοιαστεί με την ιχθυοκαλλιέργεια, η οποία ασκείται τα τελευταία 12.000 χρόνια, για όλους τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω. Με τον ίδιο τρόπο που οι άνθρωποι πέρασαν από το κυνήγι στη γεωργία και σταδιακά εξημερώνουν ζώα και φυτά, έτσι πηγαίνουν από το ψάρεμα στην υδατοκαλλιέργεια όσον αφορά τη θαλάσσια ζωή.

Από το 1970, η υδατοκαλλιέργεια έχει μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 8,8%, ξεπερνώντας τον ρυθμό ανάπτυξης της γεωργίας 2,8%, καθιστώντας την την ταχύτερα αναπτυσσόμενη γεωργική βιομηχανία παγκοσμίως. Η ιχθυοκαλλιέργεια παρήγαγε μόνο το 4% των θαλασσινών του κόσμου το 1970. Σήμερα, η ιχθυοκαλλιέργεια παράγει περισσότερο από το 50% όλων των θαλασσινών.

Στη Μεσόγειο, η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα με ποικίλα περιβάλλοντα και τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των λιμνών, των ποταμών και των θαλασσών, των κλειστών ή σχεδόν κλειστών συστημάτων ανακυκλοφορίας και της χρήσης εκτεταμένων και έντονων τεχνικών. Μικροί αγρότες που αγωνίζονται να ζήσουν σε αγροτικές τοποθεσίες και μεγάλες εμπορικές εταιρείες είναι μερικοί από τους πρωταγωνιστές σε αυτόν τον τομέα. Όλη η παραγωγή υδατοκαλλιέργειας, με πολύ λίγες εξαιρέσεις, προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Η τσιπούρα, η σπαρίδα και το λαυράκι, τα πλατύψαρα όπως το καλκάνι και η γλώσσα, τα οστρακοειδή όπως τα μύδια, τα στρείδια και οι αχιβάδες, και στις λίμνες και τα ποτάμια, η πέστροφα, ο κυπρίνος και η μουλίδα, είναι τα κύρια είδη που παράγονται.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας, έως το 2030 πρέπει να παραχθούν επιπλέον 37 εκατομμύρια τόνοι θαλασσινών προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση των καταναλωτών. Αντί της αναμενόμενης αύξησης της κατανάλωσης θαλασσινών, η οποία έχει ανέβει από 9,9 κιλά κατά μέσο όρο τη δεκαετία του 1960 σε 19,2 κιλά το 2012, αυτή η πρόβλεψη βασίζεται στην προβλεπόμενη αύξηση του πληθυσμού, εάν υπάρχει. Για να καλύψει τις απαιτήσεις του αυξανόμενου πληθυσμού, η ιχθυοκαλλιέργεια θα χρειαστεί να τριπλασιάσει την τρέχουσα παραγωγικότητά της.

Μόνο το 11% των 2,5 εκατομμυρίων τόνων που παράγονται στην Ευρώπη ετησίως παράγεται στη Μεσόγειο. Ωστόσο, όσον αφορά την πρόοδο και την ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης τις τελευταίες δεκαετίες, η περιοχή της Μεσογείου είναι μία από τις πιο δραστήριες. Μέχρι το 2008, η παραγωγικότητα στην περιοχή της Μεσογείου αυξήθηκε κατά μέσο όρο κατά 8%, ενώ η ιχθυοκαλλιέργεια στην Ευρώπη συνολικά σημείωσε ετήσια αύξηση 0,37% και η συνολική παραγωγή στην Ευρώπη σημείωσε αύξηση 1,7%.

Σχεδόν τα μισά από τα λαβράκια και τις τσιπούρες που εκτρέφονται στην περιοχή της Μεσογείου παράγονται στην Ελλάδα, όπου η επιχείρηση ιχθυοκαλλιέργειας έχει γνωρίσει εξαιρετική επιτυχία. Σχεδόν εξ ολοκλήρου επικεντρωμένη στις εξαγωγές, υποστηρίζει επί του παρόντος περισσότερες από 5.500 έμμεσες θέσεις εργασίας σε παρακείμενους τομείς όπως η παραγωγή ζωοτροφών, η κατασκευή κλουβιών, η μεταποίηση και οι υπηρεσίες υποστήριξης, καθώς και περισσότερες από 10.000 άμεσες εποχιακές και μόνιμες θέσεις εργασίας.

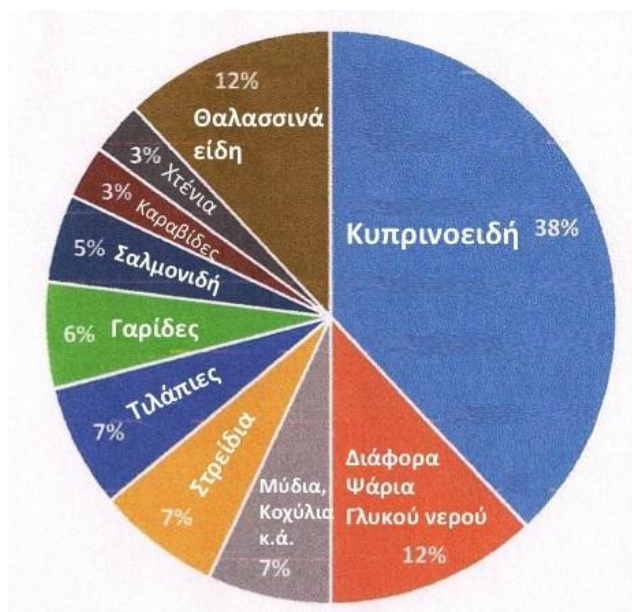
Πιο συγκεκριμένα, η ιχθυοκαλλιέργεια είναι συχνά η μοναδική δραστηριότητα που πραγματοποιείται σε απομονωμένες αγροτικές περιοχές της Ελλάδας, όπου το 99% του πληθυσμού ζει λιγότερο από 100 χιλιόμετρα από τον ωκεανό. Υπήρξε ένα κρίσιμο συστατικό της μακροπρόθεσμης επιτυχίας σε πολλές πόλεις και μια σημαντική αντικατάσταση του τουρισμού ως πηγή σταθερής, πλήρους απασχόλησης στην Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Επιπλέον, έχει αντικαταστήσει σταδιακά την παλιά αλιευτική βιομηχανία, διατηρώντας τις παραδοσιακές θέσεις εργασίας και τον τρόπο ζωής στα νησιά και στην παράκτια περιοχή. Οι εργασίες στον κλάδο της ιχθυοκαλλιέργειας αυξήθηκαν σταδιακά τα τελευταία δέκα χρόνια, σε αντίθεση με τη σταδιακή παρακμή ενός επαγγέλματος που δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για τις νεότερες γενιές. Από το 1997, η απασχόληση στον κλάδο της ιχθυοκαλλιέργειας

αυξήθηκε κατά 4,5% κατά μέσο όρο ετησίως λόγω της ασφάλειας της εργασίας και του πολύ υψηλότερου μέσου ετήσιου μισθού.

Παρά το γεγονός ότι επηρεάζεται από την οικονομική κρίση όπως πολλοί άλλοι τομείς της οικονομίας, ο κλάδος στην Ελλάδα προσφέρει τεράστιες αναπτυξιακές δυνατότητες. Είναι, από πολλές απόψεις, μια μικρογραφία ορισμένων από τα πιο σημαντικά οικονομικά προβλήματα: ένα μεγάλο χρέος, έλλειψη μακροπρόθεσμου σχεδιασμού και εμπορίου, μια γενική έλλειψη τεχνογνωσίας και, φυσικά, υπόκειται σε μια καφκική γραφειοκρατία.

Η ελληνική οικονομία θα έχει την ευκαιρία να προσθέσει 1 δισ. ευρώ στην Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία και 48.000 νέες θέσεις εργασίας τα επόμενα 10 χρόνια. Η βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας έχει αναγνωριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους της Στρατηγικής της για τη Γαλάζια Ανάπτυξη. Μέσω της ευρωπαϊκής υδατοκαλλιέργειας, η στρατηγική επιδιώκει να κλείσει το προβλεπόμενο χάσμα των 8 εκατομμυρίων τόνων μεταξύ της ποσότητας θαλασσινών που καταναλώνεται στην Ε.Ε. και της ποσότητας των ψαριών που αλιεύονται. Σύμφωνα με την τρέχουσα παραγωγικότητα της εργασίας, κάθε αύξηση κατά 1% της ποσότητας θαλασσινών τοπικής εκτροφής που καταναλώνονται στην Ευρώπη μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεταξύ 3.000 και 4.000 θέσεων πλήρους απασχόλησης (Bazargi–Γερούλάνου, 2016).



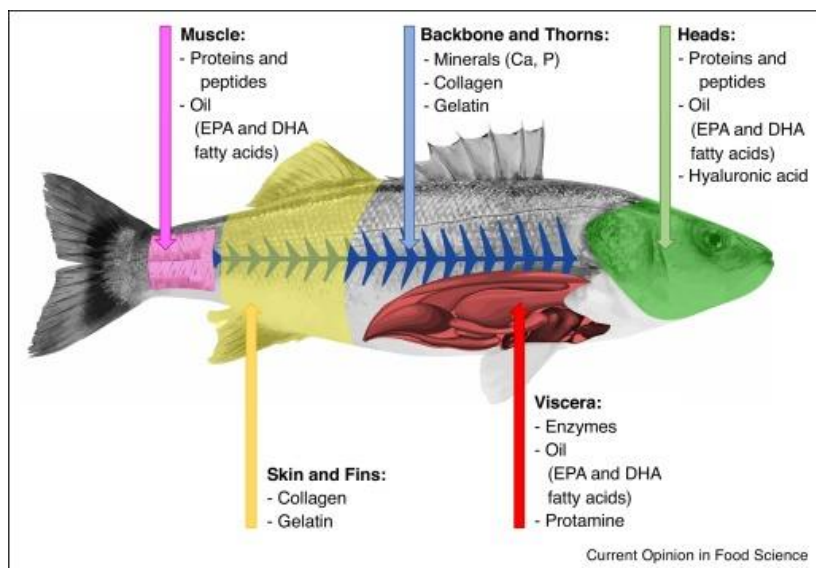
Εικόνα 1: Παγκόσμια παραγωγή υδρόθιων ζώων (Χώτος, 2016)

1.2. Υποπροϊόντα ψαριών

Η παγκόσμια παραγωγή ψαριών αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Για παράδειγμα, η παγκόσμια παραγωγή ψαριών ήταν περίπου 20 εκατομμύρια τόνοι το 1950 και αυξήθηκε σε

171 εκατομμύρια τόνους το 2016, (~50% υδατοκαλλιέργεια). Η κατανάλωση ψαριών έχει επίσης αυξηθεί παγκοσμίως, από 9,0 κιλά το 1961 σε 20,2 κιλά ανά άτομο το 2015. Μια τέτοια αύξηση της παραγωγής ψαριών έχει επίσης επιφέρει αύξηση των αποβλήτων ψαριών. Τα απόβλητα αυτά, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις απορρίπτονται άμεσα χωρίς να επιχειρείται η αξιοποίησή τους, αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό και οικονομικό πρόβλημα που μπορεί να επηρεάσει τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας αλιείας και υδατοκαλλιέργειας. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να δοθεί μια δεύτερη ζωή σε αυτά τα απόβλητα, ώστε να είναι δυνατή η μείωση της ρύπανσης και η αποτελεσματικότερη λειτουργία της ιχθυοβιομηχανίας (Marti–Quijal et al., 2020).

Η επεξεργασία των ψαριών οδηγεί συχνά σε ποσότητες υποπροϊόντων, όπως κεφάλια, ουρές, οστά, έντερα, επιδερμίδα και κελύφη. Αυτά τα υποπροϊόντα αντιπροσωπεύουν μεταξύ 30 και 70 τοις εκατό ολόκληρου του ψαριού και αποτελούν καλή πηγή μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών, ωστόσο συχνά μένουν ανεκμετάλλευτα (Reñarubia, 2021).



Εικόνα 2: Υποπροϊόντα ψαριών και σύνθεσή τους (Marti–Quijal et al., 2020)

Μεταξύ αυτών των ενώσεων, οι πρωτεΐνες, τα αμινοξέα, τα έλαια, ο υδροξυαπατίτης, τα ένζυμα, το κολλαγόνο και η ζελατίνη έχουν μεγάλη προστιθέμενη αξία, με αποτέλεσμα η μελέτη τους να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των ιχθυαποβλήτων (Marti–Quijal et al., 2020).

Για την ελαχιστοποίηση της απώλειας τροφίμων και των αποβλήτων στις αλυσίδες αξίας των ψαριών και, ταυτόχρονα, για τη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης των αποβλήτων ψαριών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι για τη μετατροπή των υποπροϊόντων σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας: συστατικά ζωοτροφών (ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια), βιοκαύσιμα και βιοαέριο, διαιτητικά προϊόντα (χιτοζάνη), φαρμακευτικά

προϊόντα (ωμέγα-3 έλαια) και συστατικά σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες. Άλλα δημοφιλή προϊόντα είναι το δέρμα ψαριών, το σιλό ψαριών και τα λιπάσματα (Peñarubia, 2021).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα υποπροϊόντα μπορεί να αντιπροσωπεύουν υψηλό ποσοστό του συνολικού βάρους των ψαριών, γεγονός που σημαίνει ότι, με την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης ψαριών, αυξάνεται και η παραγωγή υποπροϊόντων. Για παράδειγμα, στη Νορβηγία εκτιμήθηκε ότι το 2016 είχαν παραχθεί 401.000 τόνοι υποπροϊόντων ψαριών, εκ των οποίων οι 145.000 αντιστοιχούσαν στα σπλάχνα, που ήταν το κύριο υποπροϊόν ψαριών.

Από την άλλη πλευρά, εκτιμάται ότι η ποσότητα των υποπροϊόντων σαρδέλας και σκουμπριού που παρήχθησαν στην Πορτογαλία από τις βιομηχανίες κονσερβοποίησης ήταν περίπου 19.600 τόνοι/έτος, που αντιστοιχούσαν σε ολόκληρη σαρδέλα περίπου 1485 τόνων. Ομοίως, τα υποπροϊόντα που παρήχθησαν από την επεξεργασία κονσερβοποιημένου τόνου έφτασαν τους 3.720 τόνους το 2009. Εστιάζοντας στη βιομηχανία κατεψυγμένων ψαριών, η ποσότητα των παραπροϊόντων που προέκυψε το 2009 ήταν 11.970 τόνοι.

Τέλος, τουλάχιστον 1,5 εκατομμύριο τόνοι/έτος απορρίπτονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, με δυνητική αξία 655 εκατομμυρίων δολαρίων. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν την τεράστια ποσότητα παραπροϊόντων που παράγονται και, επομένως, η ανάγκη να τους δοθεί μια δεύτερη ζωή είναι προφανής, τόσο για οικολογικούς όσο και για οικονομικούς λόγους (Martí-Quijal et al., 2020).

1.3. Χρήσεις των υποπροϊόντων

1.3.1. Τι γίνεται σήμερα

Τα υποπροϊόντα ψαριών χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή πετρελαίου και την παραγωγή ζωοτροφών. Όπως είναι γνωστό, τα ψάρια αποτελούν πλούσια πηγή μακράς αλυσίδας ω-3 ελαίων, καθώς το συκώτι είναι το κύριο όργανο στο οποίο συσσωρεύονται τα λιπίδια, αν και μπορούν να βρεθούν και σε άλλα υποπροϊόντα, όπως το δέρμα ή το κεφάλι. Επιπλέον, έχει επίσης ελεγχθεί ότι μέσω της ζύμωσης των σπλάχνων, η ανάκτηση των ενδιαφερουσών λιπιδίων αυξάνεται έως και 85% της συνολικής περιεκτικότητάς τους.

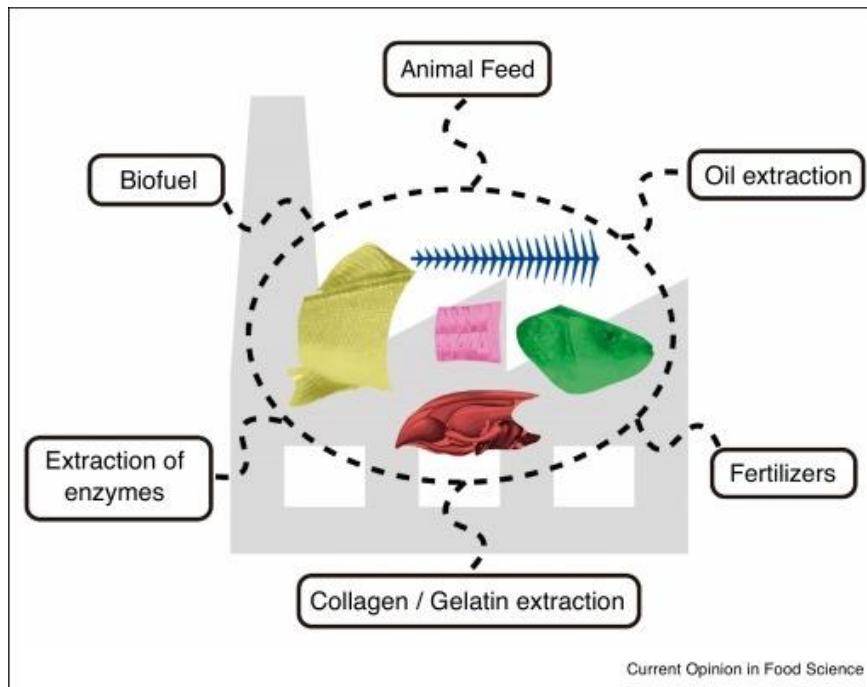
Το κολλαγόνο είναι ένα άλλο πολύ σημαντικό συστατικό που μπορεί να ληφθεί από τα απόβλητα ψαριών, ενώ η ζελατίνη είναι μια άλλη ένωση προστιθέμενης αξίας που μπορεί να ληφθεί από το κολλαγόνο. Το κολλαγόνο έχει μεγάλη σημασία για τη βιομηχανία, καθώς χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς όπως τα καλλυντικά, τα τρόφιμα ή η φαρμακευτική βιομηχανία. Το κολλαγόνο εξάγεται κυρίως από το δέρμα, αν και μπορεί επίσης να ληφθεί σε μικρότερη ποσότητα από τα αγκάθια και τα πτερύγια. Η ζελατίνη λαμβάνεται από την

υδρόλυση του κολλαγόνου και, ομοίως, χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, κυρίως στη φαρμακευτική και τη βιομηχανία τροφίμων.

Μία από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις των αποβλήτων ψαριών είναι η παραγωγή ζωοτροφών, είτε για άλλα ψάρια είτε για την κτηνοτροφία (π.χ. κοτόπουλα). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται υδρολυτικά πρωτεϊνών που λαμβάνονται από τα υποπροϊόντα, καθώς αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για την καλύτερη αφομοίωση των πρωτεϊνών και των ελεύθερων αμινοξέων, καθώς και για την επίτευξη αυξημένης ημερήσιας πρόσληψης πρωτεϊνών από τα ζώα.

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλες χρήσεις για τα υποπροϊόντα ψαριών, όπως η παραγωγή βιοκαυσίμων ή λιπασμάτων, οι οποίες, αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένες όσο η παραγωγή ζωοτροφών ή πετρελαίου, αποτελούν επίσης σημαντικό μέρος της βιομηχανικής δραστηριότητας που είναι αφιερωμένη στην αξιοποίηση των υποπροϊόντων ψαριών. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν πηγή ανανεώσιμης ενέργειας και είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα σημερινά ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο ή ο άνθρακας. Από τα απόβλητα ψαριών μπορεί να παραχθεί βιοαέριο ή βιοντίζελ. Λόγω της σύνθεσής τους που είναι πλούσια σε φώσφορο, ασβέστιο και άζωτο, τα απόβλητα ψαριών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή λιπασμάτων. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν ήδη αρκετά λιπάσματα στην αγορά, και ορισμένα από αυτά είναι εγκεκριμένα για τη χρήση τους στη βιολογική γεωργία.

Τέλος, μια άλλη σημαντική χρήση των υποπροϊόντων ψαριών είναι η παραγωγή ενζύμων. Η κύρια ομάδα θαλάσσιων ενζύμων είναι οι πρωτεάσες, οι οποίες έχουν σημαντική εμπορική εφαρμογή. Σε αυτές περιλαμβάνονται κυρίως η πεψίνη και η θρυψίνη, αλλά υπάρχουν και άλλες, όπως η κολλαγενάση, η ελαστάση και η χυμοθρυψίνη. Η χρήση των ενζύμων είναι πολύ σημαντική, ακόμη και ζωτικής σημασίας, σε μεγάλο αριθμό βιομηχανικών εφαρμογών, όπως η τεχνολογία τροφίμων ή η παρασκευή απορρυπαντικών μεταξύ άλλων (Martí-Quijal et al., 2020).



Εικόνα 3: Χρήσεις υποπροϊόντων των ψαριών στη βιομηχανία (Martí-Quijal et al., 2020)

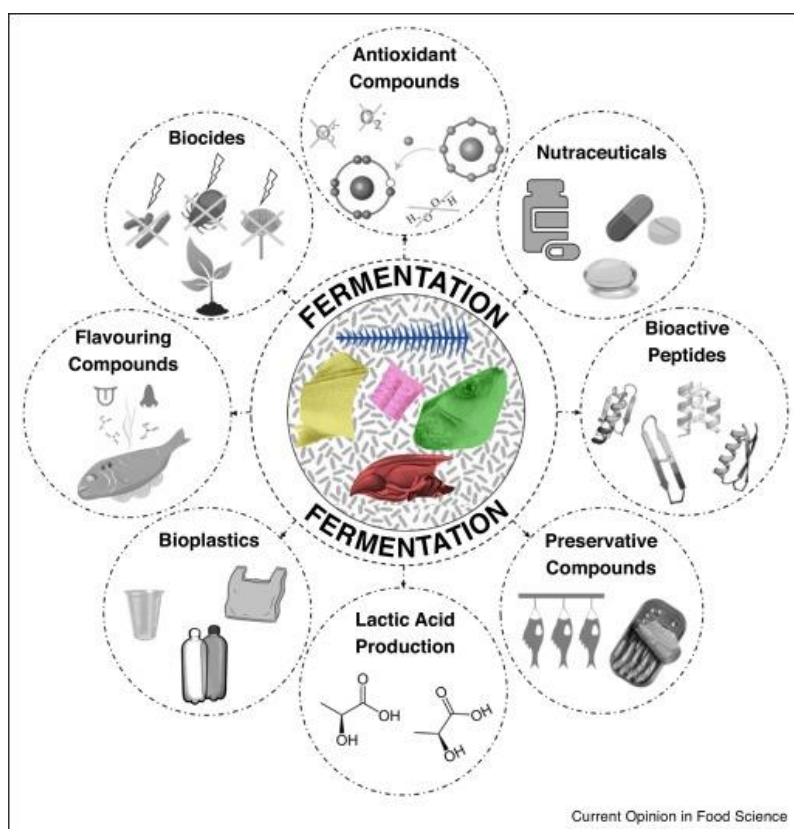
1.3.2. Τι θα μπορούσε να γίνει

Τα καρτενοειδή είναι μία ομάδα λιποδιαλυτών χρωστικών με πορτοκαλί-κόκκινο χρώμα. Σε αυτά οφείλεται το χρώμα διάφορων ψαριών και οστρακοειδών, όπως ο τόνος, ο σολωμός, η πέστροφα, το κοκκινόψαρο, το καβούρι, ο αστακός, η γαρίδα και η караβίδα. Εντοπίζονται στα περιβλήματα ή/και στη σάρκα των υδρόβιων οργανισμών και για το λόγο αυτό τα υποπροϊόντα των ψαριών και των οστρακοειδών αποτελούν μία από τις πιο σημαντικές πηγές καρτενοειδών. Τα καρτενοειδή που λαμβάνονται από τα υποπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, έναντι των συνθετικών ομόλογών τους, στην παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας και στην παραγωγή χιτίνης/χιτοζάνης, όπου χρησιμοποιούνται ευρέως από τις βιομηχανίες καλλυντικών και φαρμάκων (Shahidi et al., 1998).

Τα οστά ψαριών επίσης έχουν αναγνωριστεί ως μία σημαντική πηγή υποπροϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ασβεστίου. Δεδομένου ότι ετησίως τεράστια ποσότητα οστικών υποπροϊόντων απομακρύνεται από τις βιομηχανίες επεξεργασίας θαλασσινών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημαντική πηγή για την παραγωγή ανόργανου ασβεστίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως η βιοϊατρική και η βιομηχανία τροφίμων (Senevirathne et al., 2012).

Η ζύμωση επίσης είναι μια ασφαλής τεχνική, φιλική προς το περιβάλλον και επικερδής, η οποία επιτρέπει τη λήψη μιας μεγάλης ποικιλίας ενώσεων, ορισμένες από τις οποίες είναι βιοδραστικά πεπτίδια ή αρωματικές ενώσεις. Μέχρι σήμερα, η μέθοδος επιλογής στη βιομηχανία για τη λήψη των πεπτιδίων ήταν η χρήση οξέων ή βάσεων για την προώθηση της

υδρόλυσης των πρωτεϊνών, κυρίως επειδή είναι μια απλή και φθηνή διαδικασία. Ωστόσο, η χρήση της ζύμωσης μπορεί να προσφέρει διαφορετικά οφέλη όσον αφορά την υδρόλυση που υποβοηθείται από αλλαγές στο pH. Ως μερικά από τα κύρια οφέλη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει αύξηση της αποτελεσματικότητας των αντιοξειδωτικών πεπτιδίων που δρουν μαζί με τη γλουταθειόνη (GSH) προστατεύοντας από βλάβες που προκαλούνται από το οξειδωτικό στρες όταν χρησιμοποιείται η ζύμωση. Επιπλέον, η ζύμωση παράγει πιο εύπεπτες πρωτεΐνες, λόγω της υδρόλυσης και της αποικοδόμησής τους σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα, οπότε μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη βελτίωση της διατροφικής ποιότητας των ιχθυηρών που χρησιμοποιούνται ως πηγή πρωτεϊνών στις ζωοτροφές. Τέλος, μέσω της ζύμωσης, η ποιότητα του λαδιού που ανακτάται από τα ιχθυαπόβλητα αυξάνεται σε σύγκριση με την επεξεργασία με μυρμηκικό οξύ. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται οι διάφορες χρήσεις της ζύμωσης για την προώθηση της αξιοποίησης των υποπροϊόντων ψαριών. Επομένως, φαίνεται σαφές ότι η ζύμωση είναι μια τεχνική που προσφέρει πολλές δυνατότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη διαφόρων ενώσεων ενδιαφέροντος (Martí–Quijal et al., 2020).



Εικόνα 4: Εφαρμογές των ενώσεων που προκύπτουν από τη ζύμωση των υποπροϊόντων των ψαριών (Martí–Quijal et al., 2020)

Υπάρχουν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες ενώσεις που μπορούν να ληφθούν από τη ζύμωση των αποβλήτων ψαριών. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη ενώσεων ενδιαφέροντος για τη διαμόρφωση θρεπτικών προϊόντων, όπως τα συμπληρώματα διατροφής για ζώα ή ανθρώπους.

Τα βιοδραστικά πεπτίδια είναι αλληλουχίες αμινοξέων που κυμαίνονται από 2 έως 20, με συγκεκριμένη λειτουργία και οφέλη για την υγεία, όπως αντιυπερτασική, αντικαρκινική ή αντιοξειδωτική δράση. Τα βιοδραστικά πεπτίδια είναι ανενεργά μέσα στην αρχική πρωτεΐνη, αλλά κατά την απελευθέρωσή τους με υδρόλυση μπορούν να παρουσιάσουν διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες. Αυτή η ειδική δραστηριότητα εξαρτάται από την αλληλουχία και τον τύπο των αμινοξέων, καθώς και από το μήκος της αλυσίδας. Επιπλέον, πρέπει να ειπωθεί ότι ένα πεπτίδιο μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικές βιοδραστικές επιδράσεις. Η ζύμωση υποπροϊόντων ψαριών που περιέχουν πρωτεΐνες, όπως τα υπολείμματα κρέατος, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή βιοδραστικών πεπτιδίων, καθώς αυτά σχηματίζονται από την υδρόλυση των πρωτεϊνών. Είναι δυνατή η ανάκτηση πεπτιδίων με διαφορετικές φυσιολογικές επιδράσεις από τα ψάρια ή τα υποπροϊόντα τους. Ωστόσο, οι κύριες βιολογικές δραστηριότητες των βιοδραστικών πεπτιδίων που λαμβάνονται από τη ζύμωση υποπροϊόντων ψαριών βασίζονται τόσο στις αντιοξειδωτικές όσο και στις βιοκτόνες λειτουργίες τους.

Ένα από τα μεγαλύτερα σημερινά προβλήματα στα τρόφιμα είναι η μόλυνση των προϊόντων με παθογόνους μικροοργανισμούς ή ενώσεις που παράγονται από αυτούς. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), οι μολύνσεις αυτές προκαλούν 420.000 θανάτους κάθε χρόνο, ενώ επιπλέον παρήγαγαν 600 εκατομμύρια περιπτώσεις ασθενειών το 2010. Μεταξύ των κύριων αιτιών δηλητηρίασης, η μόλυνση από βακτήρια όπως η σαλμονέλα, το καμπυλοβακτηρίδιο, η εντεροαιμορραγική *Escherichia coli* (O157:H7) και η λιστέρια, καθώς και χημικές ενώσεις όπως οι μυκοτοξίνες, είναι μερικές από τις σημαντικότερες. Η ζύμωση με βακτήρια γαλακτικού οξέος χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες στα ψάρια και άλλα θαλασσινά για τη βελτίωση της συντήρησής τους. Ένας τρόπος για τη βελτίωση της συντήρησης των τροφίμων είναι η μείωση του μικροβιακού πολλαπλασιασμού, και υπό αυτή την έννοια τα βακτήρια γαλακτικού οξέος έχουν σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι τα βακτήρια αυτά μπορούν να παράγουν αντιμικροβιακές ενώσεις που εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό των παθογόνων ή των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση των τροφίμων, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Υπό αυτή την έννοια, οι βακτηριοσίνες έχουν σημαντικό ρόλο. Οι βακτηριοσίνες είναι πεπτίδια με αντιμικροβιακή δράση έναντι ορισμένων βακτηρίων, μεταξύ των οποίων και τα υπεύθυνα για τις ασθένειες των τροφίμων. Έχει διαπιστωθεί ότι

βακτήρια που απομονώνονται από υποπροϊόντα ψαριών (κυρίως σπλάχνα) μπορούν να παράγουν βακτηριοσίνες κατά των κυριότερων παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp., *E. coli*, *Listeria monocytogenes* κ.λπ. Για το λόγο αυτό, διερευνάται η χρήση υποπροϊόντων ψαριών για την παραγωγή γαλακτικού οξέος μέσω ζύμωσης για την εφαρμογή του και στη βιομηχανία καλλυντικών και φαρμάκων. Ωστόσο, όσον αφορά τα υποπροϊόντα ψαριών, είναι πιο συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται για τη λήψη αντιοξειδωτικών ενώσεων.

Η ζύμωση συμβάλλει στη βελτίωση της γεύσης του τροφίμου. Συνήθως τα τρόφιμα με βάση τα ψάρια που έχουν υποστεί ζύμωση παρουσιάζουν γεύση *umami*, και αυτό οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε γλουταμινικό και ασπαρτικό οξύ, τα οποία είναι υπεύθυνα για αυτό το άρωμα. Η ζύμωση από ψάρια ή υποπροϊόντα τους μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την απόκτηση οσμών και αρωμάτων.

Διερευνάται επίσης η χρήση των αποβλήτων ψαριών για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον πλαστικών.

Η έρευνα για την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων ψαριών μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της βιομηχανικής ανάπτυξης μέσω της βιώσιμης ανάπτυξης. Η ζύμωση μπορεί να δώσει μια δεύτερη ζωή στα υποπροϊόντα ψαριών από την αλιεία ή την υδατοκαλλιέργεια για την παραγωγή βιοδραστικών πεπτιδίων, βιοκτόνων, συντηρητικών, αντιοξειδωτικών ή άλλων προϊόντων. Ως εκ τούτου, τα απόβλητα ψαριών θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντική πηγή ενώσεων που ενδιαφέρουν τη φαρμακευτική βιομηχανία ή τη βιομηχανία τροφίμων. Πρόκειται για μια χρήσιμη στρατηγική για την αξιοποίηση των ιχθυαποβλήτων, βοηθώντας έτσι οικονομικά και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα της αλιευτικής παραγωγής. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί η πιθανή χρήση της ζύμωσης ως καθαρής τεχνολογίας για την παραγωγή αυτών των ενώσεων ενδιαφέροντος (Marti–Quijal et al., 2020).

1.4. Αντικείμενο και στόχοι μελέτης

Οι υδατοκαλλιέργειες είναι ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος κλάδος της ελληνικής οικονομίας. Ο όγκος των υποπροϊόντων (κεφάλια, κόκκαλα, πτερύγια, δέρμα, βράγχια, εντόσθια) που παράγονται κατά την επεξεργασία των ψαριών όμως είναι αρκετά μεγάλος. Τα υποπροϊόντα αυτά είτε χρησιμοποιούνται για την παραγωγή άλλων προϊόντων, όπως καύσιμα, λιπάσματα και ζωοτροφές, είτε απορρίπτονται με αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του περιβάλλοντος (Arvanitoyannis et al., 2008). Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντική η εύρεση σύγχρονων τρόπων αξιοποίησης των αποβλήτων.

Στόχος της μελέτης είναι η διατροφική αξιολόγηση επιλεγμένων υποπροϊόντων ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας που έχουν υποστεί τη θερμική επεξεργασία του βρασμού σε διαφορετικούς χρόνους με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησής τους εφόσον έχουν ήδη επεξεργαστεί θερμικά. Για το στόχο αυτό επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένα υποπροϊόντα (κεφάλια) από σαρδέλες που έβρασαν σε δύο ίσες σε αναλογία παρτίδες, σε δύο λίτρα νερό θερμοκρασίας 100°C, η μία για 10 λεπτά και η δεύτερη για 15 λεπτά.

Αντικείμενο της μελέτης είναι:

- η πρόβλεψη της βιοδιαθεσιμότητας σε σίδηρο επιλεγμένων υποπροϊόντων σαρδέλας που έχουν υποστεί τη θερμική επεξεργασία του βρασμού σε εύρος διαφορετικών χρόνων μετά τη διαδικασία της In Vitro Γαστρεντερικής Πέψης.
- η περιεκτικότητα των υποπροϊόντων σε μακροθρεπτικά συστατικά.
- η σύγκριση αυτών με τη βιοδιαθεσιμότητα διαλυτού σιδήρου και την περιεκτικότητα σε μακροθρεπτικά συστατικά σε υποπροϊόντα σαρδέλας και άλλων ψαριών που δεν έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία.

2. Μεθοδολογία

2.1. Συλλογή και προετοιμασία δειγμάτων

Πραγματοποιήθηκε συλλογή 1,5 kg κεφαλιών σαρδέλας ελεύθερης αλιείας, τα οποία είχαν μέσο μέγεθος περίπου 0,018 g. Τα ψάρια αλιεύθηκαν το Δεκέμβριο του 2022 και τοποθετήθηκαν άμεσα στην κατάψυξη. Στη συνέχεια αποκεφαλίστηκαν, αλατίστηκαν και εκσπλαχνίστηκαν, εφόσον είχε προηγηθεί απόψυξη. Στο σημείο αυτό, δείγματα των υποπροϊόντων απεστάλησαν σε κουτιά από φελιζόλ με παγοκύστες στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΓΠΑ).

Στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών στα δείγματα των υποπροϊόντων πραγματοποιήθηκε βρασμός για 10 και 15 λεπτά με τον παρακάτω τρόπο:

- Η μία παρτίδα μάζας 500 g έβρασε για 10 λεπτά σε δύο λίτρα νερό θερμοκρασίας 100°C.
- Η δεύτερη παρτίδα μάζας 500 g έβρασε για 15 λεπτά σε δύο λίτρα νερό θερμοκρασίας 100°C.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας βρασμού, κάθε παρτίδα αφέθηκε χωριστά να στραγγίσει για 10 λεπτά πριν έλθει σε θερμοκρασία δωματίου (Εικόνα 5) και τοποθετηθεί σε σάκους πολυπροπυλενίου στους 0°C (Εικόνα 6).

Ακολουθώντας τις προαναφερθείσες διαδικασίες, ένας μύλος άλεσης (Retsch ZM 200, Retsch, Haupp) χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση κάθε δείγματος. Μέχρι περαιτέρω εξέταση, τα ομογενοποιημένα δείγματα φυλάχθηκαν μεμονωμένα στους -80°C σε ερμητικά κλειστούς σάκους πολυπροπυλενίου.



Εικόνα 5: Βρασμένη παρτίδα υποπροϊόντων σαρδέλας



Εικόνα 6: Βρασμένες παρτίδες υποπροϊόντων σαρδέλας σε σάκους προπρωπυλενίου

2.2. Διατροφική Σύσταση

Η διατροφική σύσταση των υποπροϊόντων των σαρδελών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των μεθόδων AOAC. Η περιεκτικότητα σε άζωτο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου Kjeldahl, ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στην υποενότητα του Προσδιορισμού πρωτεϊνών. Η συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας την περιεκτικότητα του αζώτου με το συντελεστή μετατροπής 6,25.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία διεξήχθη με τη χρήση πυριαντηρίου, ενώ ο προσδιορισμός σε ολική τέφρα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο AOAC 938.08.

Η συνολική λιποπεριεκτικότητα πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο AOAC 948.15, ενώ ο προσδιορισμός των συνολικών υδατανθράκων υπολογίστηκε από την αφαίρεση του αθροίσματος των εκατοστιαίων ποσοστών της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, τέφρα επί ξηρού, υγρασία και ολικό λίπος από το 100.

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν.

2.2.1. Προσδιορισμός πρωτεϊνών

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε πρωτεΐνη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της μεθόδου Kjeldahl. Το πρώτο στάδιο της μεθόδου ήταν το στάδιο της καύσης, όπου ζυγίστηκαν 0,5 g δείγματος με τη χρήση χαρτιού ελεύθερου αζώτου και τοποθετήθηκαν στο σωλήνα καύσης. Στο σωλήνα προστέθηκαν επιπλέον 12 ml θειικού οξέος και 10 σταγόνες

αντιαφριστικού παράγοντα. Ο σωλήνας στη συνέχεια τοποθετήθηκε για καύση. Η καύση του δείγματος ολοκληρώθηκε εντός περίπου μίας ώρας, όταν εμφανίστηκε στο σωλήνα ασθενώς κυανοπράσινο χρώμα (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Συσκευή καύσης μεθόδου Kjeldahl

Το δεύτερο στάδιο που ακολούθησε ήταν το στάδιο της απόσταξης, όπου ο σωλήνας τοποθετήθηκε στη συσκευή απόσταξης. Σε κωνική φιάλη προστέθηκαν 25 ml διαλύματος βορικού οξέος με δείκτες πράσινο της βρωμοκρεσόλης και ερυθρό του μεθυλίου, ενώ στη συνέχεια προστέθηκαν επιπλέον 75 ml νερού και 50 ml NaOH 40% w/w. Στο τέλος της απόσταξης υπήρχαν 150-200 ml αποστάγματος (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Συσκευή απόσταξης μεθόδου Kjeldahl

Στο τελευταίο στάδιο της μεθόδου, το στάδιο της εξουδετέρωσης, Το περιεχόμενο της κωνικής φιάλης ογκομετρήθηκε με διάλυμα HCl 0,1 M μέχρι να αποκτήσει γκρι – ροζ χρώμα.

Αφού υπολογίστηκε η εκατοστιαία ποσότητα σε άζωτο, μετατράπηκε σε εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη πολλαπλασιάζοντας με το συντελεστή 6,25.

2.2.2. Προσδιορισμός υγρασίας

Η περιεκτικότητα των σαρδελών σε υγρασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πυριαντηρίου. Το χωνευτήριο προπυρώθηκε στο πυριαντήριο στους 103°C μέχρι σταθερού βάρους, ψύχθηκε στον ξηραντήρα και μόλις απέκτησε θερμοκρασία περιβάλλοντος ζυγίστηκε σε αναλυτικό ζυγό. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν 10 g δείγματος μαζί με το χωνευτήριο και καταγράφηκε η μάζα δείγματος + χωνευτηρίου με τη βοήθεια του αναλυτικού ζυγού. Ακολούθησε η τοποθέτηση του χωνευτηρίου στο πυριαντήριο στους 103°C (Εικόνα 9) και αφέθηκε όλο το βράδυ μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους. Την επόμενη ημέρα, το χωνευτήριο απομακρύνθηκε από το πυριαντήριο με τη βοήθεια πυράγρας, αφέθηκε να κρυώσει για ένα λεπτό και τοποθετήθηκε στον ξηραντήρα για μία ώρα, ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος. Με την απόκτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, το χωνευτήριο ζυγίστηκε σε αναλυτικό ζυγό και κατόπιν προσδιορίστηκε η εκατοστιαία περιεκτικότητα του δείγματος σε υγρασία.



Εικόνα 9: Τοποθέτηση δειγμάτων στον ηλεκτρικό φούρνο

2.2.3. Προσδιορισμός τέφρας επί ξηρού

Για τον προσδιορισμό της συνολικής τέφρας χρησιμοποιήθηκαν 4 g ξηρού δείγματος. Το χωνευτήριο προπυρώθηκε στον ηλεκτρικό φούρνο στους 550°C μέχρι σταθερού βάρους, ψύχθηκε στον ξηραντήρα και ζυγίστηκε στον αναλυτικό ζυγό μόλις απέκτησε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν 4 g ξηρού δείγματος και προσδιορίστηκε στον αναλυτικό ζυγό η συνολική μάζα δείγματος + χωνευτηρίου. Ακολούθησε ήπια θέρμανση του χωνευτηρίου με τη βοήθεια φλόγας λύχνου Bunsen, το οποίο ήταν τοποθετημένο σε τρίγωνο από πυρίμαχο υλικό. Η ήπια θέρμανση (αναγωγική φλόγα) διήρκησε μέχρι να απανθρακωθεί το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης. Αργότερα, το χωνευτήριο θερμάνθηκε έντονα με τη χρήση οξειδωτικής φλόγας, έως την απανθράκωση του δείγματος, και τοποθετήθηκε στον ηλεκτρικό φούρνο στους 550°C προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία της αποτέφρωσης. Με την ολοκλήρωση της αποτέφρωσης, το χωνευτήριο απομακρύνθηκε από το φούρνο με τη βοήθεια πυράγρας και επανατοποθετήθηκε στο φούρνο στους 550°C μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους. Τέλος, το χωνευτήριο απομακρύνθηκε από το φούρνο με τη βοήθεια πυράγρας, αφέθηκε να κρυώσει για ένα λεπτό και μεταφέρθηκε στον ξηραντήρα για μία ώρα, ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος και να ζυγιστεί με τη βοήθεια αναλυτικού ζυγού. Κατόπιν, προσδιορίστηκε η εκατοστιαία περιεκτικότητα του δείγματος σε τέφρα.

2.2.4. Προσδιορισμός ολικού λίπους

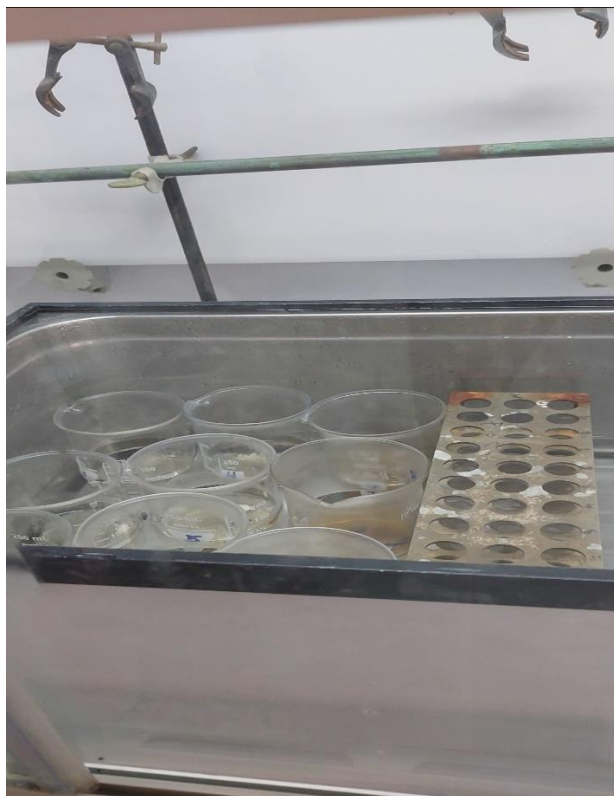
Για τον προσδιορισμό της συνολικής λιποπεριεκτικότητας ζυγίστηκαν 2 g ομογενοποιημένου δείγματος σαρδελών στη συσκευή Mojonnier, στα οποία προστέθηκαν 8 ml HCl για την ομογενοποίηση του δείγματος. Η συσκευή τοποθετήθηκε στο υδατόλουτρο για ενενήντα λεπτά, όπου πραγματοποιούνταν ανάδευση του δείγματος ανά δέκα λεπτά. Στη συνέχεια προστέθηκαν στη συσκευή 7 ml αιθανόλης 95% και πραγματοποιήθηκε ανάδευση του δείγματος, ενώ προστέθηκαν επιπλέον συνολικά 25 ml διαιθυλαιθέρα, του οποίου η προσθήκη πραγματοποιήθηκε σε τρεις δόσεις. Μετά από κάθε προσθήκη αντιδραστηρίου, η συσκευή πωματιζόταν με φελλό και πραγματοποιούνταν έντονη ανάδευση του δείγματος για ένα λεπτό. Στο τέλος της πρώτης ημέρας προστέθηκαν στη συσκευή 25 ml πετρελαιοϊκού αιθέρα και μετά από έντονη ανάδευση, το δείγμα αφέθηκε στην απαγωγό εστία για όλο το βράδυ (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Εκχύλιση με τη χρήση της συσκευής Mojonnier

Την επόμενη ημέρα ζυγίστηκαν ποτήρια ζέσεως των 125 ml, τα οποία είχαν ήδη ξηρανθεί σε ηλεκτρικό φούρνο, μαζί με κομμάτια πορσελάνης, σε αναλυτικό ζυγό. Ακολούθησε εκχύλιση με προσοχή όσο περισσότερου διαλύματος λίπους – αιθέρα στο ποτήρι ζέσεως με την πορσελάνη. Μετά την πρώτη εκχύλιση προστέθηκαν στη συσκευή 15 ml διαιθυλαιθέρα και 15 ml πετρελαιοϊκού αιθέρα και ύστερα από έντονη ανάδευση, εκχυλίστηκε ξανά με προσοχή

το διάλυμα στο ποτήρι ζέσεως. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε άλλη μία φορά. Το ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε στο υδατόλουτρο έως ότου εξατμιστούν οι αιθέρες (Εικόνα 11) και στη συνέχεια εισήλθε στον ηλεκτρικό φούρνο στους 100°C για ξήρανση, για περίπου ενενήντα λεπτά, μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους. Μετά την απομάκρυνση του ποτηριού από το φούρνο, αφέθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίστηκε σε αναλυτικό ζυγό, ώστε να προσδιοριστεί η εκατοστιαία λιποπεριεκτικότητα του δείγματος.



Εικόνα 11: Εξάτμιση των αιθέρων στο υδατόλουτρο

2.2.5. Προσδιορισμός συνολικών υδατανθράκων

Η συνολική περιεκτικότητα των σαρδελών σε υδατάνθρακες υπολογίστηκε αφαιρώντας το εκατοστιαίο άθροισμα της πρωτεΐνης, της τέφρας επί ξηρού, της υγρασίας και του ολικού λίπους από το 100.

2.2.6. Προσδιορισμός εκτιμώμενης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου

Ο σίδηρος είναι ένα από τα βασικά ιχνοστοιχεία για την ανθρώπινη διατροφή και αποτελεί ζωτικό στοιχείο για την ανθρώπινη ζωή. Διαδραματίζει κρίσιμους ρόλους στη μεταφορά οξυγόνου και ηλεκτρονίων, στην κυτταρική διαίρεση, στη διαφοροποίηση και στη ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης. Το 70% του σιδήρου στον ανθρώπινο οργανισμό συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη, τη χρωστική ουσία των ερυθρών αιμοσφαιρίων (RBC) που δίνει στο αίμα το

κόκκινο χρώμα του, και το υπόλοιπο συνδέεται με άλλες πρωτεΐνες, όπως η μυοσφαιρίνη, η τρανσφερρίνη και η φερριτίνη, ή αποθηκεύεται στα κύτταρα.

Δύο τύποι σιδήρου μπορούν να βρεθούν στα τρόφιμα, όπως ο αιμικός και ο μη αιμικός (ολικός διαλυτός). Ο αιμικός σίδηρος υπάρχει μόνο σε ζωικά προϊόντα, όπως το κρέας, τα ψάρια και τα πουλερικά, ενώ ο μη αιμικός σίδηρος βρίσκεται στα φρούτα, τα λαχανικά, τα αποξηραμένα φασόλια, τους ξηρούς καρπούς, τα προϊόντα δημητριακών και το κρέας. Ο αιμικός σίδηρος απορροφάται με καλύτερη αποτελεσματικότητα από το έντερο από ό,τι ο μη αιμικός σίδηρος (Monsen, 1988).

Αντίθετα, η ποσότητα του μη αιμικού σιδήρου στη διατροφή είναι πολλαπλάσια από εκείνη του αιμικού σιδήρου στα περισσότερα γεύματα. Έτσι, παρά τη χαμηλότερη βιοδιαθεσιμότητά του, ο μη αιμικός σίδηρος συμβάλλει γενικά περισσότερο στη διατροφή με σίδηρο από ό,τι ο αιμικός σίδηρος (Abbaspour et al., 2014).

Το ποσοστό απορρόφησης του σιδήρου έχει αναφερθεί ως 25-30% στην κατανάλωση κρέατος, 7-9% στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά, 4% στα δημητριακά και 2% στα αποξηραμένα όσπρια, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι τύποι τροφίμων ή άλλοι διαιτητικοί παράγοντες ενδέχεται να επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου (Monsen, 1988).

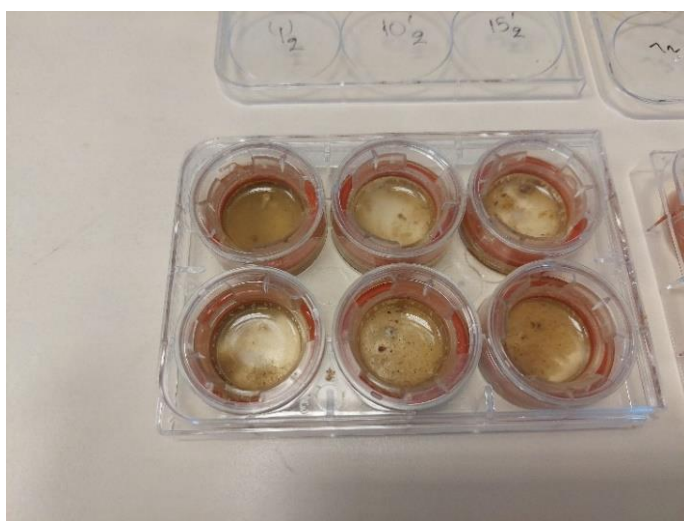
Σημαντικοί αναστολείς της απορρόφησης του σιδήρου είναι το φυτικό οξύ, οι πολυφαινόλες, το ασβέστιο και τα πεπτίδια από μερικώς πεπλεγμένες πρωτεΐνες. Ενισχυτές είναι το ασκορβικό οξύ και ο μυϊκός ιστός που μπορούν να αναγάγουν τον τρισθενή σίδηρο σε δισθενή σίδηρο και να τον δεσμεύσουν σε διαλυτά σύμπλοκα που είναι διαθέσιμα για απορρόφηση (Abbaspour et al., 2014).

Ο συνήθης ορισμός της εντερικής βιοδιαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών είναι το τμήμα των θρεπτικών συστατικών που απορροφώνται και χρησιμοποιούνται από τις χωνευμένες τροφές μέσω των εντεροκυττάρων του εντέρου (Monsen, 1988).

Η φυσική κατάσταση του σιδήρου που εισέρχεται στο δωδεκαδάκτυλο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απορρόφησή του. Σε φυσιολογικό pH, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται γρήγορα σε τρισθενή σίδηρο. Το γαστρικό οξύ μειώνει το pH στο δωδεκαδάκτυλο μειώνοντας τον τρισθενή σίδηρο στον εντερικό αυλό μέσω των αναγωγασών του σιδήρου, επιτρέποντας έτσι την επακόλουθη μεταφορά του δισθενούς μέσω της ακραίας μεμβράνης των εντεροκυττάρων. Αυτό ενισχύει τη διαλυτότητα και την πρόσληψη του σιδήρου. Όταν μειώνεται η παραγωγή γαστρικού οξέος, η απορρόφηση του σιδήρου μειώνεται σημαντικά (Abbaspour et al., 2014).

Έχει αποδειχθεί ότι ο δισθενής διαλυτός σίδηρος είναι καλύτερος δείκτης απορρόφησης του σιδήρου συγκριτικά με τον ολικό διαλυτό σίδηρο (Argyri et al., 2011).

Ο προσδιορισμός της εκτιμώμενης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου στα δείγματα σαρδελών πραγματοποιήθηκε με την προσομοίωση της διαδικασίας της *in vitro* γαστρεντερικής πέψης. Αρχικά τοποθετήθηκαν όλα τα γυαλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε HCl 1 M για όλο το βράδυ προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα σιδήρου και πριν τη χρήση τους ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό και αφέθηκαν να στεγνώσουν. Στη συνέχεια, προετοιμάστηκαν δείγματα υποπροϊόντων σαρδέλας σε πηγάδια από δοχεία 6 θέσεων (6-well-plates), ώστε στο τελικό δείγμα να υπάρχουν 4 g πρωτεΐνης ανά 100 g δείγματος. Για τα υποπροϊόντα που έβρασαν για 10 λεπτά ζυγίστηκαν 0,6 g δείγματος, ενώ για τα υποπροϊόντα που έβρασαν για 15 λεπτά ζυγίστηκαν 0,5 g δείγματος σε κάθε θέση. Το pH των δειγμάτων ρυθμίστηκε με τη βοήθεια πεχάμετρου στο 2,8 με την προσθήκη 2 σταγόνων διαλύματος HCl 12 M (Εικόνα 13) και σε κάθε θέση προστέθηκε HCl 0,01 M μέχρι τελικής μάζας 2 g (Εικόνα 12). Ως αρνητικό δείγμα ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν 2 ml HCl 0,01 M, ενώ ως θετικό δείγμα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε μείγμα όξινου διαλύματος που περιείχε 0,2 ml ασκορβικό οξύ σε συγκέντρωση 240 mg/L και 1,8 ml HCl 0,01 M. Σε όλες τις θέσεις προστέθηκαν επιπλέον 20 μl FeCl_3 συγκέντρωσης 12 mg/L.



Εικόνα 12: Δείγματα στα 6-well-plates



Εικόνα 13: Ρύθμιση pH

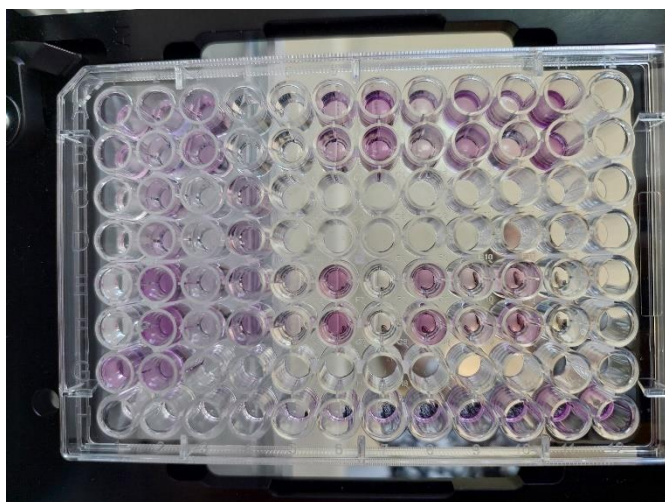
Για την έναρξη της διαδικασίας της *in vitro* πέψης, σε κάθε πηγάδι προστέθηκε επιπλέον 0,1 ml πεψίνης, τα πηγάδια καλύφθηκαν με πλαστικό καπάκι και τοποθετήθηκαν σε ανακινούμενο θερμοθάλαμο στους 37°C για δύο ώρες, με σκοπό την προσομοίωση της γαστρικής φάσης. Με την πάροδο των δύο ωρών, σε κάθε πηγάδι τοποθετήθηκε κυλινδρικό ένθετο, στο οποίο ήταν στερεωμένο ένα τεμάχιο μεμβράνης διαπίδυσης με ελαστικό δακτύλιο. Μετά την τοποθέτηση του ένθετου, προστέθηκαν 2 ml ρυθμιστικού διαλύματος PIPES (pH 6,3), ρυθμίζοντας το pH των διαλυμάτων από 2,8 σε 6,3 με σκοπό την προσομοίωση της μεταφοράς του φαγητού από το στομάχι στο έντερο και τα πηγάδια τοποθετήθηκαν ξανά για επώαση στο θερμοθάλαμο για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών, το ένθετο σηκώθηκε ελαφρά, ώστε να προστεθεί σε κάθε θέση 0,5 ml μείγματος παγκρεατικής – χολικών διαλυμένα σε NaHCO_3 0,1 M και να τοποθετηθούν ξανά τα πηγάδια για επώαση στο θερμοθάλαμο για δύο ώρες. Μετά το τέλος της επώασης αφαιρέθηκε το ένθετο μαζί με τη μεμβράνη. Στην επιφάνεια κάθε μεμβράνης υπήρχαν ο ολικός διαλυτός και ο δισθενής διαλυτός σίδηρος μικρού μοριακού βάρους, ενώ σε κάθε πηγάδι κάτω από την επιφάνεια της μεμβράνης υπήρχαν ο ολικός διαλυτός και ο δισθενής διαλυτός συνολικός σίδηρος υψηλού μοριακού βάρους. Τόσο ο ολικός διαλυτός και δισθενής διαλυτός σίδηρος μικρού μοριακού, όσο και ο ολικός διαλυτός και ο δισθενής διαλυτός συνολικός σίδηρος υψηλού μοριακού βάρους τοποθετήθηκαν με τη βοήθεια πλαστικής πιπέτας Pasteur σε φιαλίδια τύπου Eppendorf και φυγοκεντρήθηκαν στα 10.000 g για 20 λεπτά. Στο υπερκείμενο

πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της συγκέντρωσης του σιδήρου με τη μέθοδο της χρωμογονικής φερροζίνης.

Για τη συγκέντρωση του ολικού διαλυτού σιδήρου (δισθενούς και τρισθενούς) σε φιαλίδιο τύπου Eppendorf προστέθηκαν 0,5 ml του υπερκείμενου που περιείχε τις ενώσεις μικρού μοριακού βάρους σε 0,25 ml αναγωγικού διαλύματος κατακρήμνισης πρωτεΐνης (reducing protein precipitant solution). Σε άλλο φιαλίδιο τύπου Eppendorf προστέθηκαν 0,5 ml του υπερκείμενου που περιείχε τις ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους σε 0,25 ml αναγωγικού διαλύματος κατακρήμνισης πρωτεΐνης (reducing protein precipitant solution).

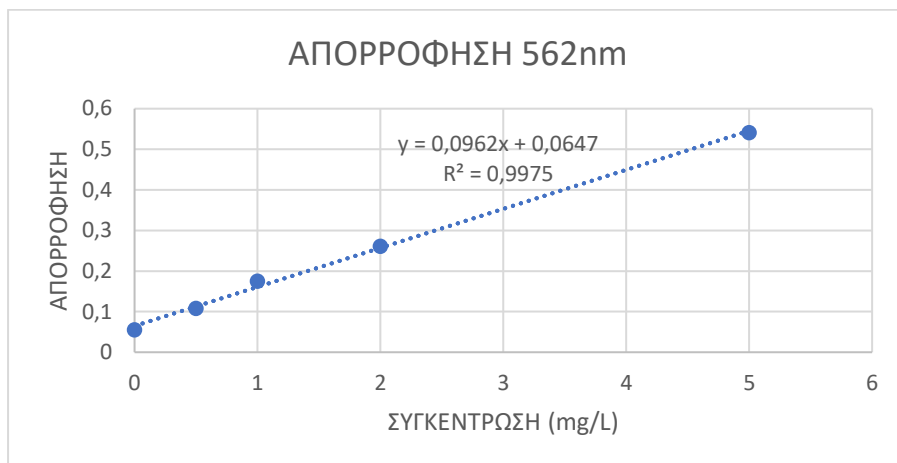
Αντίστοιχα, για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του δισθενούς σιδήρου σε φιαλίδιο τύπου Eppendorf προστέθηκαν 0,5 ml της υπερκείμενης φάσης που περιείχε τις ενώσεις μικρού μοριακού βάρους σε 0,25 ml μη αναγωγικού διαλύματος κατακρήμνισης πρωτεΐνης (non-reducing protein precipitant solution). Σε άλλο φιαλίδιο τύπου Eppendorf προστέθηκαν 0,5 ml του υπερκείμενου που περιείχε τις ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους σε 0,25 ml μη αναγωγικού διαλύματος κατακρήμνισης πρωτεΐνης (non-reducing protein precipitant solution).

Τα δείγματα αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου όλο το βράδυ και την επόμενη ημέρα πραγματοποιήθηκε φυγοκέντρωση αυτών σε 5.000 g για 10 λεπτά. Οι ποσότητες των υπερκείμενων φάσεων μεταφέρθηκαν σε πλακίδιο μικροκυψελίδων 96 θέσεων (96 well plate) εις διπλούν. Σε κάθε θέση προστέθηκαν 0,225 ml μείγματος ρυθμιστικού διαλύματος HEPES με φερροζίνη (1:9 v/v φερροζίνη:HEPES), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14. Για τον υπολογισμό του δισθενούς σιδήρου, η απορρόφηση μετρήθηκε με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου αμέσως μετά την προσθήκη του μείγματος φερροζίνης:HEPES, ενώ για τον ολικό διαλυτό σίδηρο, η απορρόφηση μετρήθηκε μία ώρα μετά την προσθήκη του μείγματος φερροζίνης:HEPES.



Εικόνα 14: Δείγματα στο 96-well-plate μετά την προσθήκη φερροζίνης:HEPES

Ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας του σιδήρου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της καμπύλης βαθμονόμησης σιδήρου που απεικονίζεται στο Σχήμα 1, η οποία κατασκευάστηκε με χρήση διαλύματος FeCl_3 1200mg/L, όπου προετοιμάστηκαν διαλύματα συγκεντρώσεων 0, 0,5, 1, 2 και 5 mg/L FeCl_3 και προσδιορίστηκε η απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 562 nm.



Σχήμα 1: Καμπύλη βαθμονόμησης σιδήρου

3. Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα

3.1. Διατροφική σύσταση

Το συνολικό δείγμα που μελετήθηκε αποτελούνταν από 1 kg υποπροϊόντων σαρδέλας, που περιελάμβανε κεφάλια. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα 500 g της πρώτης παρτίδας έβρασαν για 10 λεπτά στους σε δύο λίτρα νερό θερμοκρασίας 100°C, ενώ δεύτερη παρτίδα μάζας 500 g έβρασε για 15 λεπτά σε δύο λίτρα νερό θερμοκρασίας 100°C.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας βρασμού, κάθε παρτίδα αφέθηκε χωριστά να στραγγίσει πριν έλθει σε θερμοκρασία δωματίου και τοποθετηθεί σε σάκους πολυπροπυλενίου στους 0°C, ενώ στη συνέχεια τα δείγματα ομογενοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός μύλου άλεσης (Retsch ZM 200, Retsch, Hann) μέχρι την περαιτέρω εξέταση, όπου φυλάχθηκαν μεμονωμένα στους -80°C σε ερμητικά κλειστούς σάκους πολυπροπυλενίου, όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τα προαναφερθέντα ομογενοποιημένα δείγματα αναλύθηκαν για την εκατοστιαία περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη, ολικό λίπος, τέφρα επί ξηρού, υγρασία, συνολικούς υδατάνθρακες, αλλά και για την εκτιμώμενη βιοδιαθεσιμότητά τους σε ολικό και δισθενή διαλυτό σίδηρο. Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων μακροθρεπτικών συστατικών και σιδήρου παρατίθενται στις επόμενες παραγράφους.

3.1.1. Προσδιορισμός πρωτεϊνών

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στην παρτίδα των υποπροϊόντων που έβρασε για 10 λεπτά βρέθηκε $14,36 \pm 1,11$, ενώ στην παρτίδα που έβρασε για 15 λεπτά είναι $15,76 \pm 0,33$.

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών δειγμάτων που προέκυψαν από τους διαφορετικούς χρόνους βρασμού των υποπροϊόντων σαρδέλας και ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τη σύσταση πρωτεΐνης (μέσο όρο) των δειγμάτων των υποπροϊόντων.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε πρωτεΐνη

Είδος	Μάζα δείγματος (g)	% Άζωτο	% Πρωτεΐνη
B10'	0,5000	2,095	13,10
	0,5022	2,376	14,85
	0,4995	2,423	15,14
B15'	0,5073	2,543	15,89
	0,5022	2,560	16,00
	0,5067	2,460	15,38

Πίνακας 2: Μέσες τιμές σύστασης πρωτεΐνης των υποπροϊόντων

Μέσος Όρος		Τυπική Απόκλιση		Μ.Ο. ± SD	
B10'	14,36	B10'	1,11	B10'	14,36 ± 1,11
B15'	15,76	B15'	0,33	B15'	15,76 ± 0,33

3.1.2. Προσδιορισμός υγρασίας

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε υγρασία των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε $10,50 \pm 0,77$, ενώ στα υποπροϊόντα που έβρασαν για 15 λεπτά η περιεκτικότητα βρέθηκε $10,55 \pm 1,32$.

Ο Πίνακας 3 συνοψίζει τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών παρτίδων των υποπροϊόντων σαρδέλας που προέκυψαν από τους διαφορετικούς χρόνους βρασμού και ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τη σύσταση της υγρασίας (μέσο όρο) των δειγμάτων των υποπροϊόντων.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε υγρασία

Είδος	Μάζα δείγματος (g)	% Υγρασία
B10'	10,0039	9,6
	10,0675	10,9
	10,0286	11,0
B15'	10,0154	9,2
	10,1083	11,9
	10,0698	10,6

Πίνακας 4: Μέσες τιμές σύστασης υγρασίας των υποπροϊόντων

Μέσος Όρος		Τυπική Απόκλιση		Μ.Ο. ± SD	
B10'	10,50	B10'	0,77	B10'	10,50 ± 0,77
B15'	10,55	B15'	1,32	B15'	10,55 ± 1,32

3.1.3. Προσδιορισμός τέφρας επί ξηρού

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού της παρτίδας των υποπροϊόντων που έβρασε για 10 λεπτά βρέθηκε $19,77 \pm 0,33$, ενώ για την παρτίδα των υποπροϊόντων που έβρασε για 15 λεπτά η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού βρέθηκε $21,49 \pm 0,17$.

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εκατοστιαίας περιεκτικότητας σε τέφρα επί ξηρού των υποπροϊόντων σαρδέλας που επεξεργάστηκαν σε διαφορετικούς χρόνους βρασμού και ο Πίνακας 6 συνοψίζει τη σύσταση της τέφρας επί ξηρού (μέσο όρο) των δειγμάτων.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε τέφρα επί ξηρού

Είδος	Μάζα δείγματος (g)	% Τέφρα επί ξηρού
B10'	2,7313	20,02
	3,0347	19,89
	2,0113	19,40
B15'	3,0208	21,36
	2,1238	21,43
	3,3260	21,68

Πίνακας 6: Μέσες τιμές σύστασης τέφρας επί ξηρού των υποπροϊόντων

Μέσος Όρος		Τυπική Απόκλιση		Μ.Ο. \pm SD	
B10'	19,77	B10'	0,33	B10'	$19,77 \pm 0,33$
B15'	21,49	B15'	0,17	B15'	$21,49 \pm 0,17$

3.1.4. Προσδιορισμός ολικού λίπους

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα ολικού λίπους των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε $4,74 \pm 0,29$, ενώ στα υποπροϊόντα που έβρασαν για 15 λεπτά η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε ολικό λίπος βρέθηκε $7,93 \pm 1,23$.

Ο Πίνακας 7 συνοψίζει τα αποτελέσματα σε περιεκτικότητα επί τοις εκατό του ολικού λίπους που βρέθηκαν στα υποπροϊόντα σαρδέλας που υπέστησαν σε θερμική επεξεργασία σε διαφορετικούς χρόνους βρασμού και ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τη σύσταση του ολικού λίπους (μέσο όρο) των δειγμάτων.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε ολικό λίπος

Είδος	Μάζα δείγματος (g)	% Ολικό λίπος
B10'	2,0625	4,6982
	2,0918	5,0483
	2,0436	4,4774
B15'	2,0909	7,0639
	2,0339	8,8057

Πίνακας 8: Μέσες τιμές σύστασης ολικού λίπους των υποπροϊόντων

Μέσος Όρος		Τυπική Απόκλιση		Μ.Ο. ± SD	
B10'	4,74	B10'	0,29	B10'	4,74 ± 0,29
B15'	7,93	B15'	1,23	B15'	7,93 ± 1,23

3.1.5. Προσδιορισμός συνολικών υδατανθράκων

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες στην παρτίδα υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασε για 10 λεπτά βρέθηκε $50,62 \pm 1,73$, ενώ στην παρτίδα υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασε για 15 λεπτά βρέθηκε $45,02 \pm 2,03$.

Ο Πίνακας 9 συνοψίζει τα αποτελέσματα συνολικής εκατοστιαίας περιεκτικότητας συνολικών υδατανθράκων που βρέθηκε στα υποπροϊόντα σαρδέλας που επεξεργάστηκαν σε διαφορετικούς χρόνους βρασμού και ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τη σύσταση των συνολικών υδατανθράκων (μέσο όρο) στα δείγματα.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκατοστιαίας περιεκτικότητας των υποπροϊόντων σε συνολικούς υδατάνθρακες

Είδος	% Συνολικοί υδατάνθρακες
B10'	52,58
	49,30
	50,00
B15'	46,46
	43,59

Πίνακας 10: Μέσες τιμές σύστασης συνολικών υδατανθράκων των υποπροϊόντων

Μέσος Όρος		Τυπική Απόκλιση		Μ.Ο. ± SD	
B10'	50,62	B10'	1,73	B10'	50,62 ± 1,73
B15'	45,02	B15'	2,03	B15'	45,02 ± 2,03

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τη σύσταση των θρεπτικών συστατικών (μέσες τιμές) των δειγμάτων των υποπροϊόντων των σαρδελών.

Πίνακας 11: Μέσες τιμές διατροφικής σύστασης υποπροϊόντων σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού σε διαφορετικούς χρόνους

Περιεκτικότητα %	Βραστά 10λεπτα		Βραστά 15λεπτα	
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Πρωτεΐνη	14,36	1,11	15,76	0,33
Υγρασία	10,50	0,77	10,55	1,32
Τέφρα επί ξηρού	19,77	0,33	21,49	0,17
Λίπος	4,74	0,29	7,93	1,23
Υδατάνθρακες	50,62	1,73	45,02	2,03

3.1.6. Προσδιορισμός εκτιμώμενης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου

Η προβλεπόμενη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου προσδιορίστηκε μέσω της in vitro προσέγγισης. Για το λόγο αυτό, όπου αναφέρεται στο εξής ο όρος «βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου», εννοείται ο όρος «προβλεπόμενη βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου».

Η βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου στα υποπροϊόντα των σαρδελών προσδιορίστηκε τόσο στις ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, όσο και στις ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους. Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει τις μετρήσεις του ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους ως μέση τιμή ± τυπική απόκλιση, ενώ ο Πίνακας 13 παρουσιάζει τις αντίστοιχες μετρήσεις του ολικού συνολικού διαλυτού και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους. Ως θετικό δείγμα ελέγχου ορίστηκε το δείγμα του ασκορβικού οξέος (AA).

Πίνακας 12: Μέσος ολικός διαλυτός σίδηρος και μέσος δισθενής διαλυτός σίδηρος μικρού μοριακού βάρους δειγμάτων υποπροϊόντων σαρδέλας με την προσθήκη σιδήρου

Είδος δείγματος	Σίδηρος στο αρχικό δείγμα (mg)	Μέσος ολικός διαλυτός σίδηρος (mg/L)	Τυπική απόκλιση	Μέσος δισθενής διαλυτός σίδηρος (mg/L)	Τυπική απόκλιση
Fe (αρνητικό δείγμα ελέγχου)	0,0240	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe+AA (θετικό δείγμα ελέγχου)	0,0240	13,12	11,86	11,59	6,91
Βραστά υποπροϊόντα για 10 λεπτά	0,0240	0,00	0,00	0,00	0,00
Βραστά υποπροϊόντα για 15 λεπτά	0,0240	21,94	11,42	0,00	0,00

Πίνακας 13: Μέσος ολικός συνολικός διαλυτός σίδηρος και μέσος δισθενής συνολικός διαλυτός σίδηρος υψηλού μοριακού βάρους δειγμάτων υποπροϊόντων σαρδέλας με την προσθήκη σιδήρου

Είδος δείγματος	Σίδηρος στο αρχικό δείγμα (mg)	Μέσος ολικός διαλυτός σίδηρος (mg/L)	Τυπική απόκλιση	Μέσος δισθενής διαλυτός σίδηρος (mg/L)	Τυπική απόκλιση
Fe (αρνητικό δείγμα ελέγχου)	0,0240	48,72	10,22	10,27	4,15
Fe+AA (θετικό δείγμα ελέγχου)	0,0240	48,72	30,84	53,75	34,65

Βραστά υποπροϊόντα για 10 λεπτά	0,0240	23,38	16,50	3,86	2,50
Βραστά υποπροϊόντα για 15 λεπτά	0,0240	57,81	24,74	1,59	0,76

3.2. Στατιστική ανάλυση

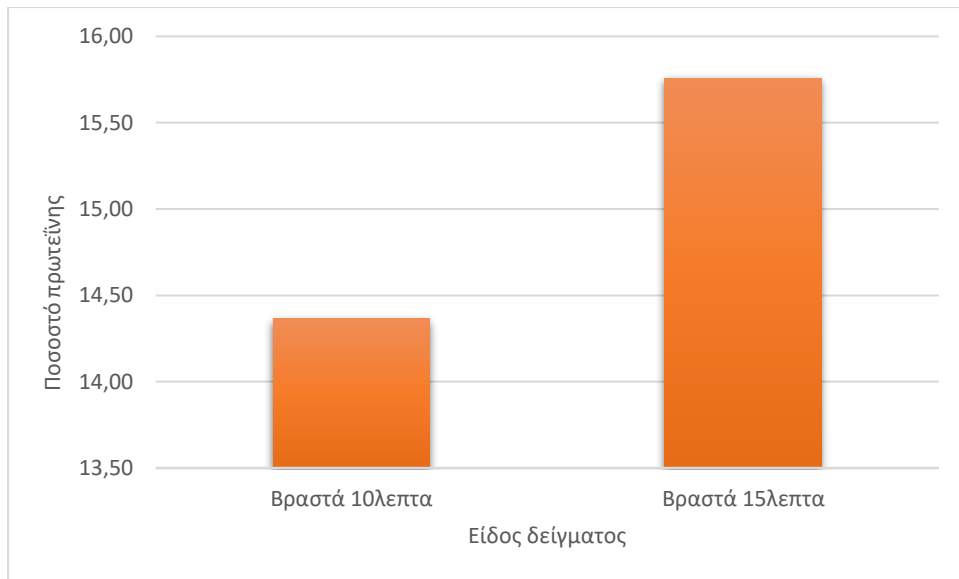
Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα StatGraphics Centurion XVII, έκδοση 17.2.00 (32-bit). Η κανονική κατανομή όλων των μεταβλητών ελέγχθηκε μέσω της δοκιμασίας Shapiro-Wilk. Οι διαφορές μεταξύ των μεταβλητών ελέγχθηκαν με t-test για όσες μεταβλητές ακολουθούσαν κανονική κατανομή. Για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή, οι διαφορές τους ελέγχθηκαν με το μη παραμετρικό Mann-Whitney test. Η στατιστική διαφορά έγινε αποδεκτή και η μηδενική υπόθεση απορρίφθηκε σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p < 0,05$).

3.2.1. Πρωτεΐνη

Συνολικά μελετήθηκε δείγμα που αποτελούνταν από 500 g υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν σε νερό για 10 λεπτά και 500 g υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν σε νερό για 15 λεπτά, όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω.

Τα υποπροϊόντα που έβρασαν για 10 λεπτά είχαν μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη $14,36 \pm 1,11$, ενώ τα υποπροϊόντα που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 15 λεπτά η μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη βρέθηκε $15,76 \pm 0,33$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.

Συγκρίνοντας τους διαφορετικούς χρόνους βρασμού, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ($p > 0,05$).

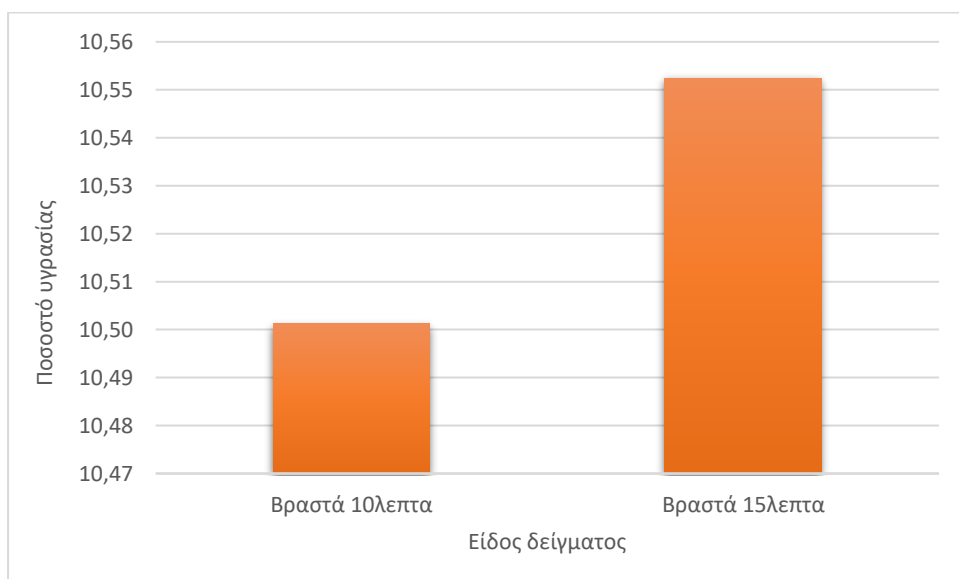


Σχήμα 2: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε πρωτεΐνη στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους

3.2.2.Υγρασία

Όσον αφορά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε υγρασία, στα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά η μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε υγρασία βρέθηκε $10,50 \pm 0,77$, ενώ στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά βρέθηκε $10,55 \pm 1,32$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.

Κάνοντας την απαραίτητη στατιστική ανάλυση, παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε υγρασία ($p > 0,05$).

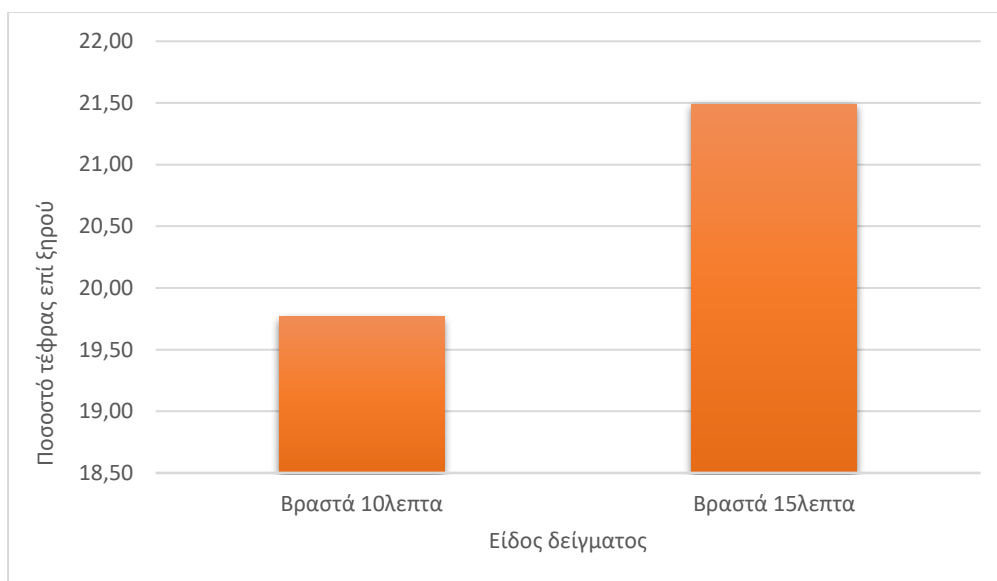


Σχήμα 3: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε υγρασία στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους

3.2.3. Τέφρα επί ξηρού

Η μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού στα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε $19,77 \pm 0,33$, ενώ στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά βρέθηκε $21,49 \pm 0,17$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.

Συγκρίνοντας τους διαφορετικούς χρόνους βρασμού, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού στην παρτίδα που έβρασε για 10 λεπτά συγκριτικά με την παρτίδα που έβρασε για 15 λεπτά ($p < 0,05$).

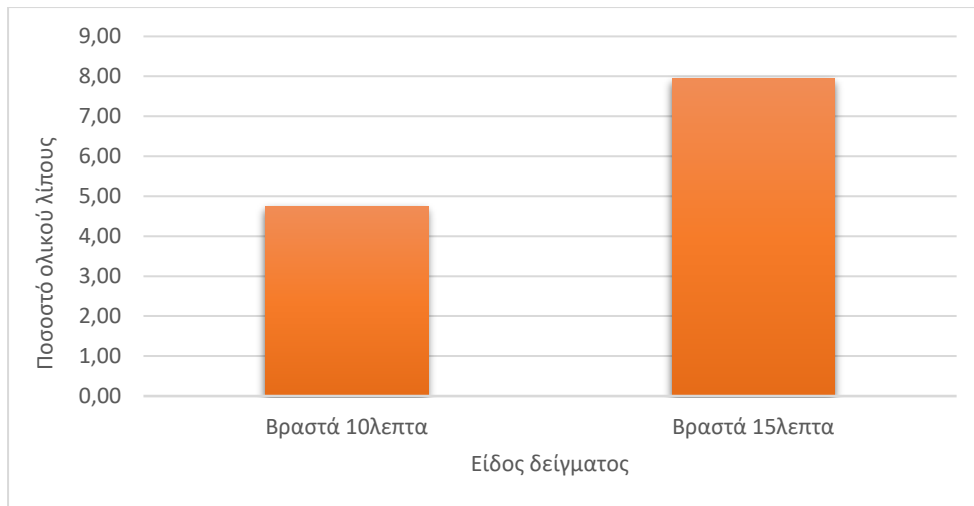


Σχήμα 4: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε τέφρα επί ξηρού στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους

3.2.4. Επί τοις εκατό ολικό λίπος

Στα υποπροϊόντα τα οποία υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 10 λεπτά η μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε ολικό λίπος βρέθηκε $4,74 \pm 0,29$, ενώ στην παρτίδα των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 15 λεπτά βρέθηκε $7,93 \pm 1,23$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.

Παρατηρήθηκε ότι διαφέρουν συνολικά ως προς την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε ολικό λίπος τα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά συγκριτικά με τα δείγματα που έβρασαν για 15 λεπτά ($p < 0,05$).

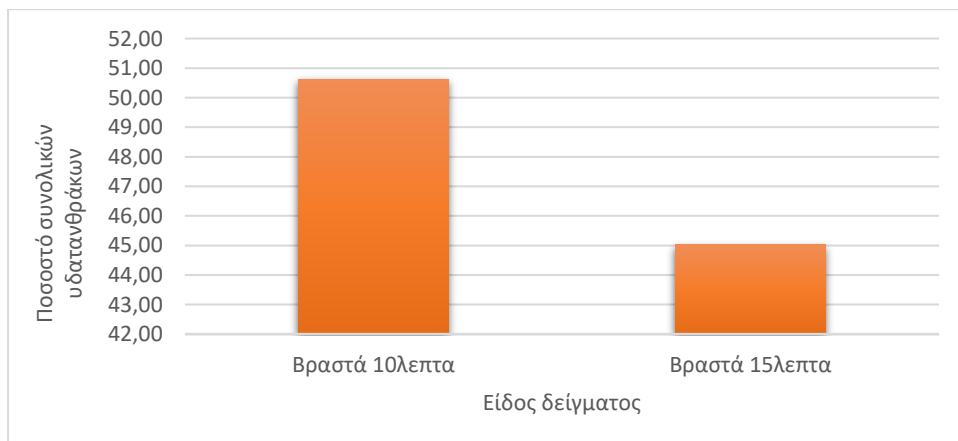


Σχήμα 5: Εκατοστιαία περιεκτικότητα (% m/m) σε ολικό λίπος στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους

3.2.5.Συνολικοί υδατάνθρακες

Η μέση εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες στα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε $50,62 \pm 1,73$, ενώ στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά βρέθηκε $45,02 \pm 2,03$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.

Συγκρίνοντας τους διαφορετικούς χρόνους βρασμού, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα δείγματα που έβρασαν για 10 λεπτά συγκριτικά με την παρτίδα των δειγμάτων που έβρασε για 15 λεπτά όσον αφορά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες ($p < 0,05$).

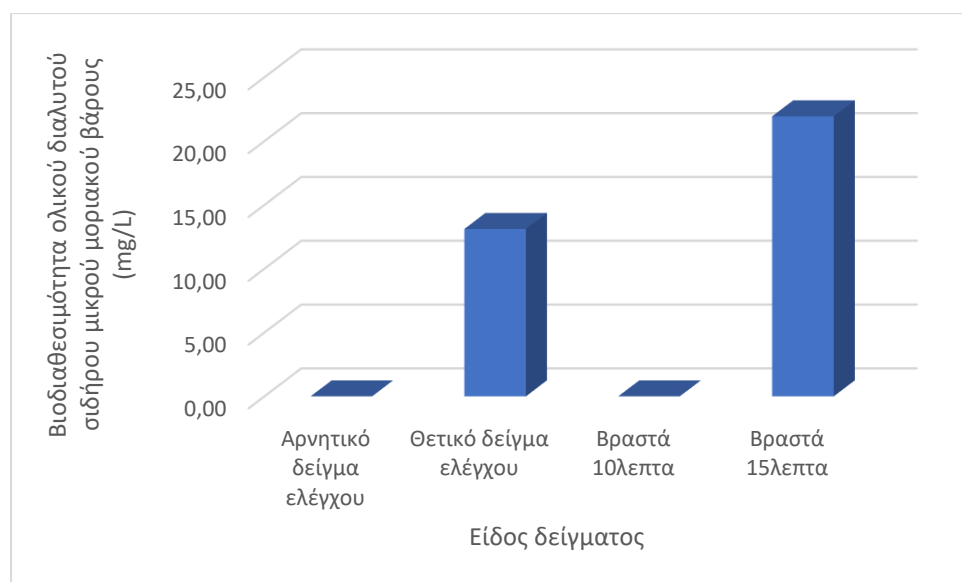


Σχήμα 6: Εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους

3.2.6.Βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου

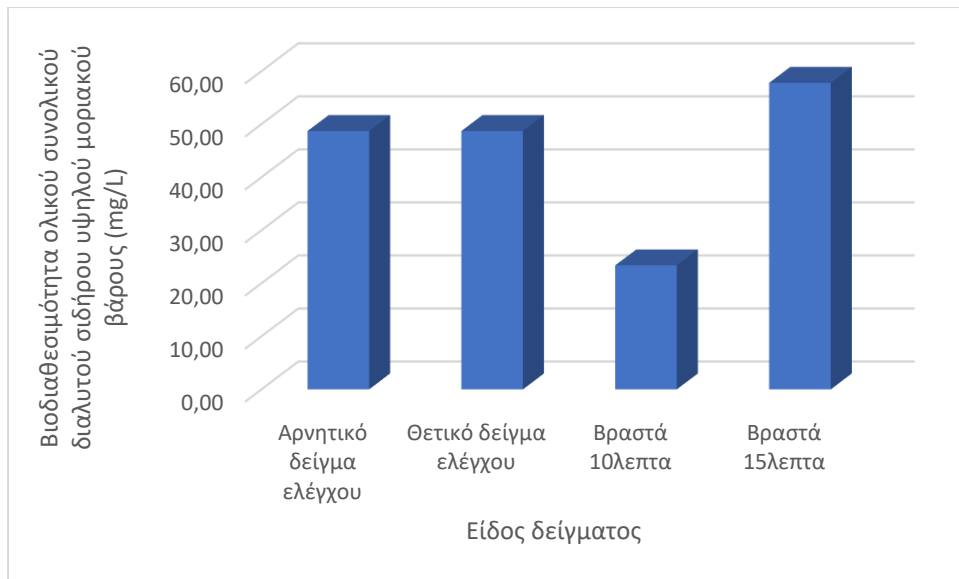
3.2.6.1. Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου

Τα αποτελέσματα της μέσης βιοδιαθεσιμότητας ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο αρνητικό και το θετικό δείγμα ελέγχου, στο αρνητικό δείγμα ελέγχου και την παρτίδα των δειγμάτων των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά, στο θετικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα που έβρασαν για 10 και για 15 λεπτά, αλλά και ανάμεσα στις παρτίδες των δειγμάτων των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά ($p < 0,05$). Δεν εκτιμήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο αρνητικό δείγμα ελέγχου και το δείγμα των υποπροϊόντων που έβρασε για 10 λεπτά ($p > 0,05$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους βρέθηκε στα υποπροϊόντα σαρδέλας που έβρασαν για 15 λεπτά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.



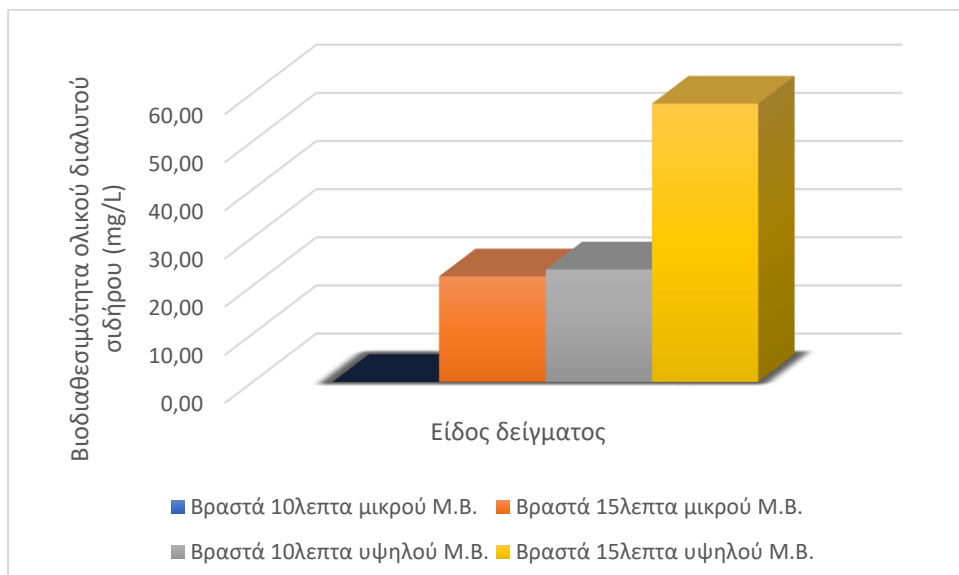
Σχήμα 7: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους (mg/L)

Η μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο αρνητικό δείγμα ελέγχου και την παρτίδα των δειγμάτων που έβρασε για 10 λεπτά, στο θετικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα που έβρασαν για 10 λεπτά, αλλά και ανάμεσα στις παρτίδες των δειγμάτων των υποπροϊόντων σαρδέλας που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά ($p < 0,05$). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο αρνητικό και το θετικό δείγμα ελέγχου, στο αρνητικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα που έβρασαν για 15 λεπτά και στο θετικό δείγμα ελέγχου το δείγμα των υποπροϊόντων που έβρασε για 15 λεπτά ($p > 0,05$). Η μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου βρέθηκε στα υποπροϊόντα σαρδέλας που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 15 λεπτά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.

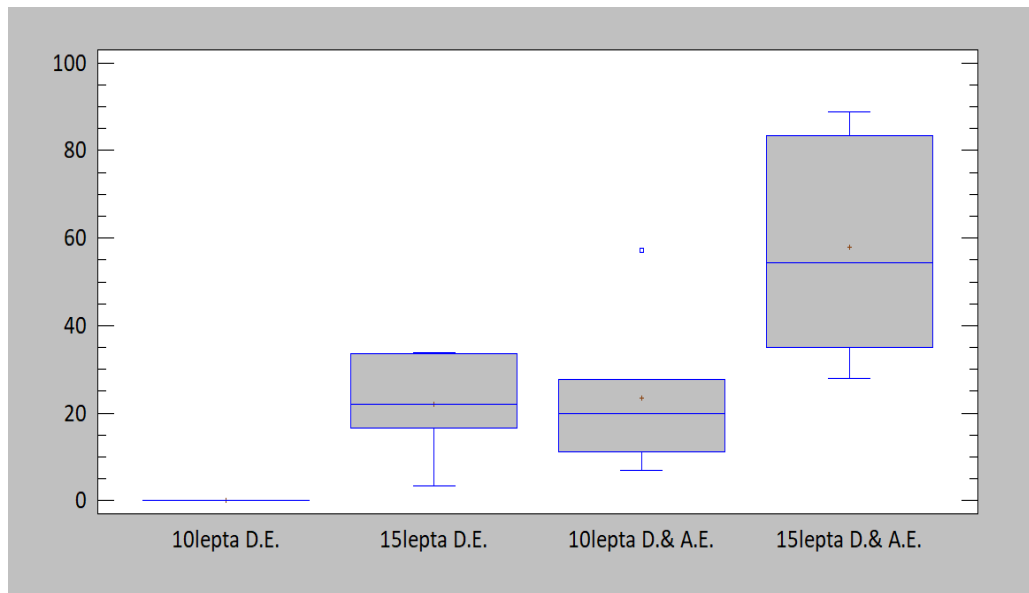


Σχήμα 8: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους (mg/L)

Σχετικά με τη μέση βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους των δειγμάτων των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά, δεν εκτιμήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους των δειγμάτων που έβρασαν για 15 λεπτά και στον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, των δειγμάτων που έβρασαν για 10 λεπτά ($p > 0,05$), όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 και στο Διάγραμμα 1.



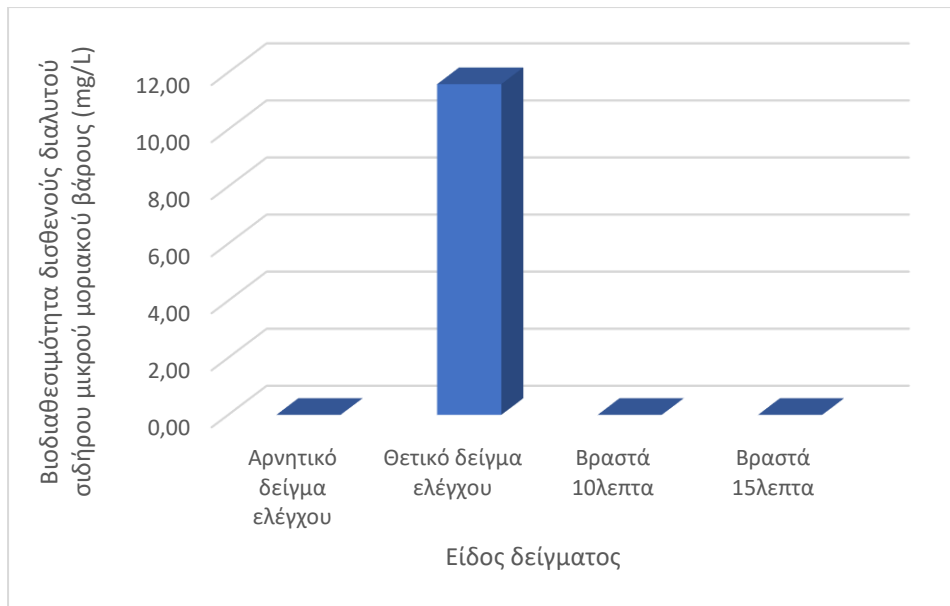
Σχήμα 9: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους



Διάγραμμα 1: Παρουσίαση της βιοδιαθεσιμότητας του ολικού διαλυτού σιδήρου των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους με boxplot

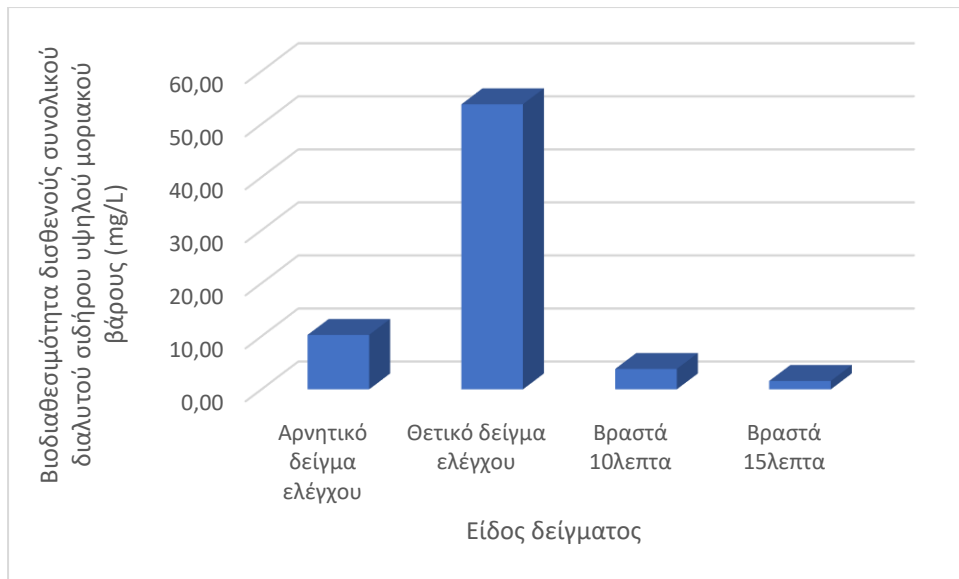
3.2.6.2. Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου

Τα αποτελέσματα της μέσης βιοδιαθεσιμότητας δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο θετικό δείγμα ελέγχου και το αρνητικό δείγμα ελέγχου, αλλά και στο θετικό δείγμα ελέγχου και τις παρτίδες των δειγμάτων των υποπροϊόντων που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 10 και 15 λεπτά ($p < 0,05$). Αντίθετα, δε φάνηκαν να διαφέρουν συνολικά το αρνητικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά μεταξύ τους ($p > 0,05$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους επηρεάζεται από τη θερμική επεξεργασία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 10.



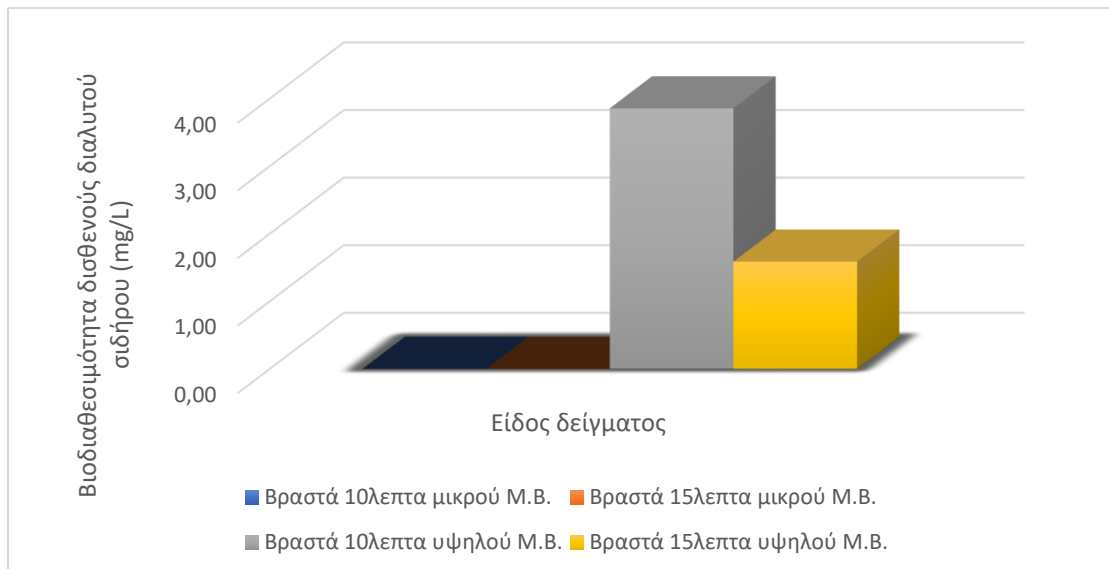
Σχήμα 10: Βιοδιαθεσιμότητα διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους (mg/L)

Όσον αφορά τη μέση βιοδιαθεσιμότητα διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με αυτά που βρέθηκαν στη βιοδιαθεσιμότητα του διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο αρνητικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά ($p > 0,05$), ενώ βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο θετικό δείγμα ελέγχου και το αρνητικό δείγμα ελέγχου, αλλά και στο θετικό δείγμα ελέγχου και τα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά ($p < 0,05$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση βιοδιαθεσιμότητα διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους επηρεάζεται από τη θερμική επεξεργασία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 11.

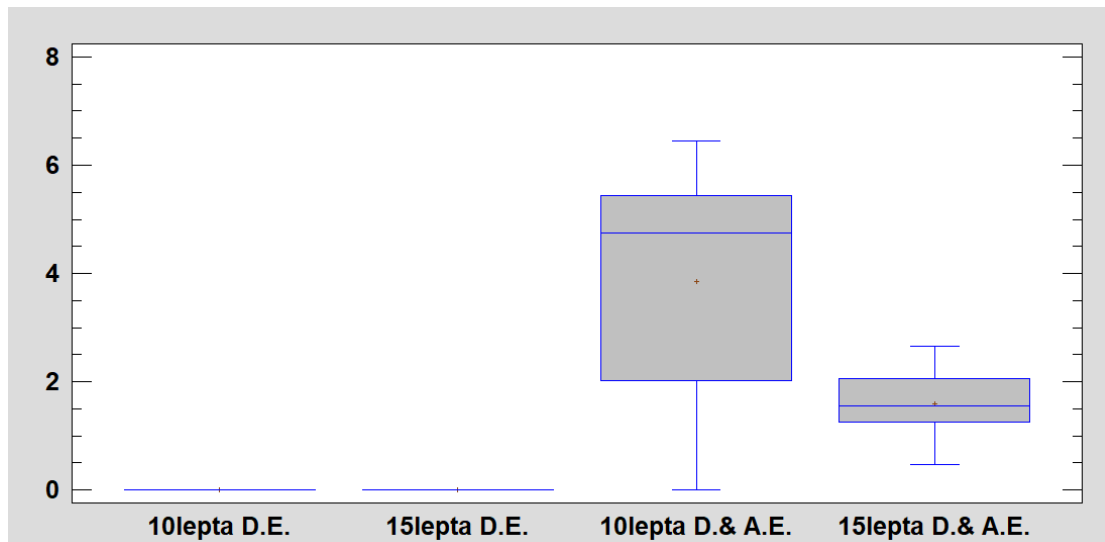


Σχήμα 11: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους (mg/L)

Όσον αφορά τη μέση βιοδιαθεσιμότητα του δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου μοριακού βάρους των δειγμάτων των υποπροϊόντων που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 10 και 15 λεπτά, δεν εκτιμήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και στο δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους των δειγμάτων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά ($p > 0,05$), όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 και στο Διάγραμμα 2.



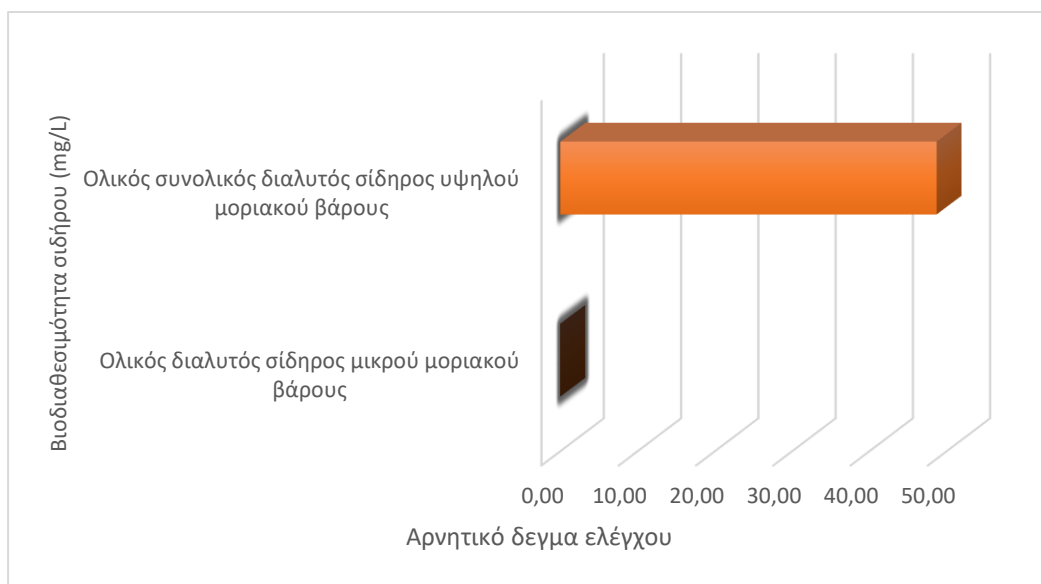
Σχήμα 12: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους



Διάγραμμα 2: Παρουσίαση της βιοδιαθεσιμότητας του δισθενούς διαλυτού σιδήρου των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους με boxplot

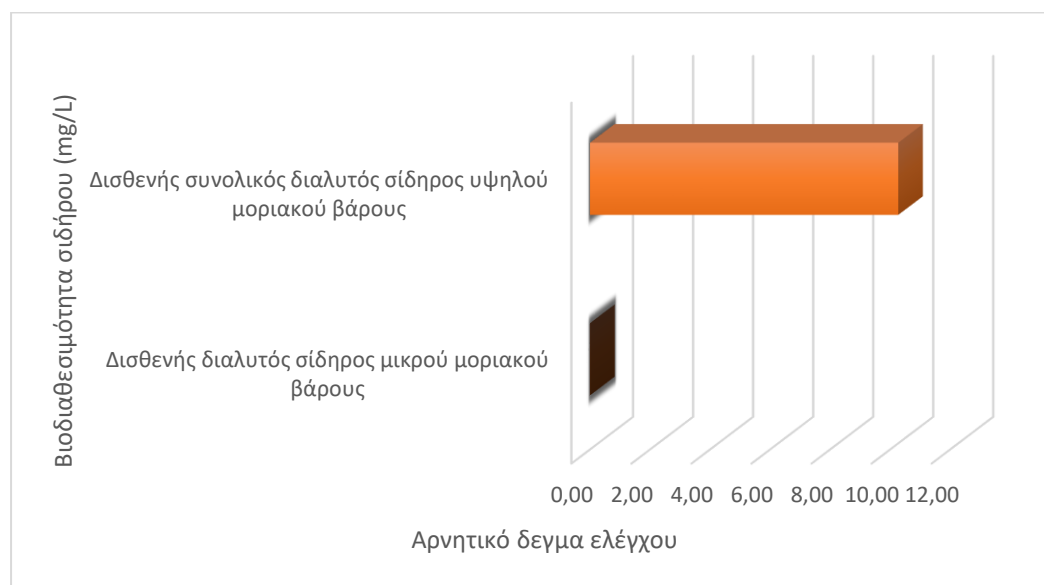
3.2.6.3. Βιοδιαθεσιμότητα ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου στο αρνητικό δείγμα ελέγχου

Σχετικά με τη μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου στο αρνητικό δείγμα ελέγχου, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και τον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), ενώ μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα εντοπίστηκε στον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του αρνητικού δείγματος ελέγχου

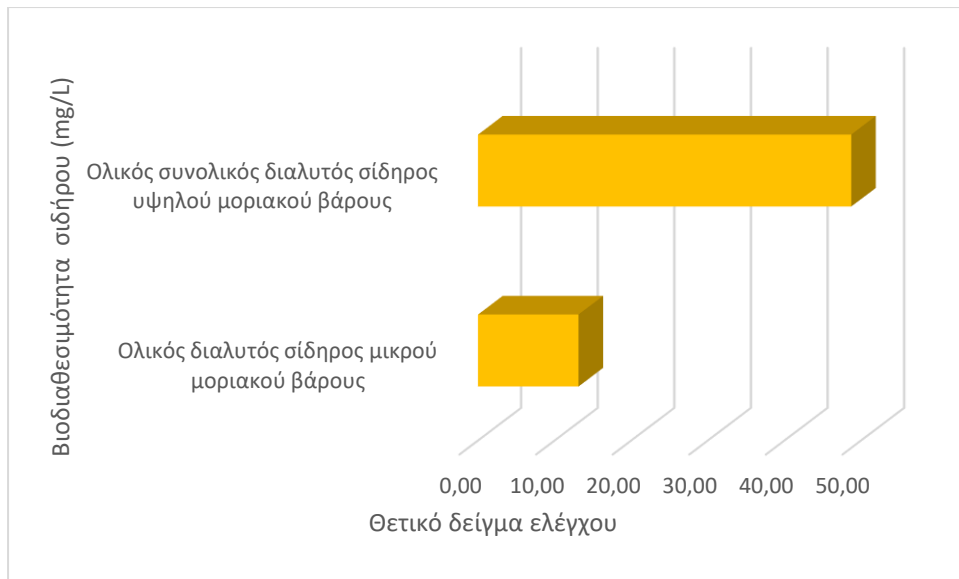
Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα της μέσης βιοδιαθεσιμότητας δισθενούς διαλυτού σιδήρου στο αρνητικό δείγμα ελέγχου παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και το δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), ενώ η μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα βρέθηκε επίσης στο δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του αρνητικού δείγματος ελέγχου

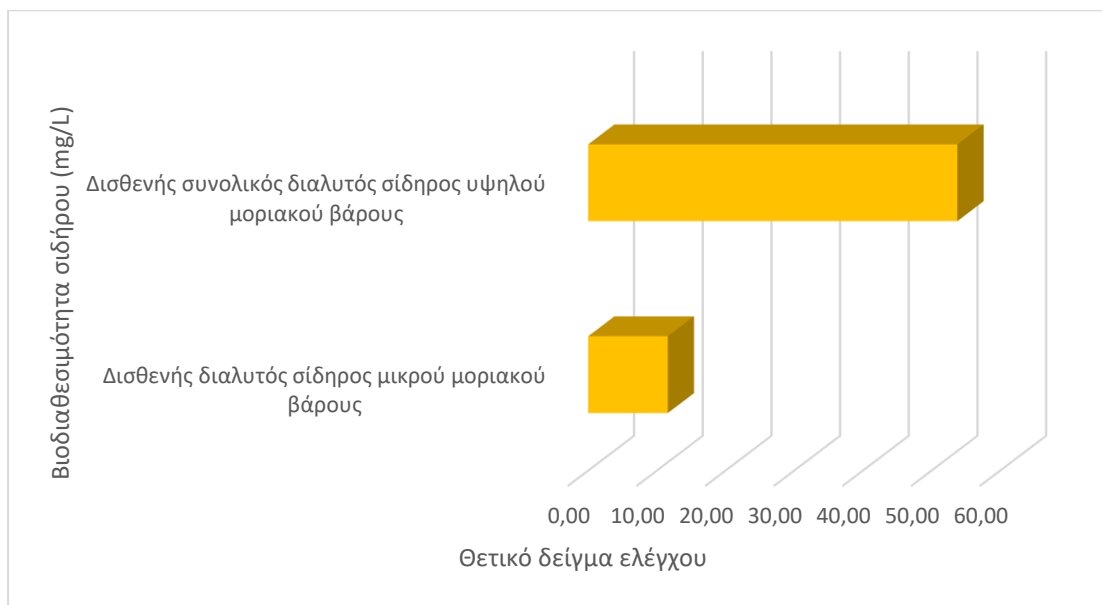
3.2.6.4. Βιοδιαθεσιμότητα ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου στο θετικό δείγμα ελέγχου

Τα αποτελέσματα της μέσης βιοδιαθεσιμότητας ολικού διαλυτού σιδήρου στο θετικό δείγμα ελέγχου ήταν παρόμοια με αυτά που βρέθηκαν στο αρνητικό δείγμα ελέγχου, δηλαδή φάνηκε να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και τον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), με τη μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα να εντοπίζεται στον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του θετικού δείγματος ελέγχου

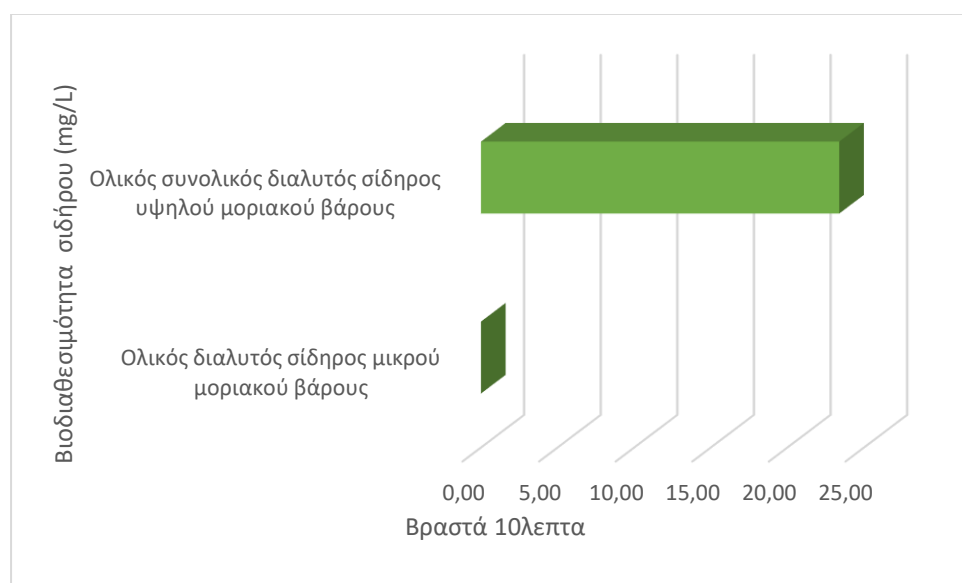
Αντίστοιχα και για τη μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου, βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και το δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), ενώ η μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα εντοπίστηκε στο δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.



Σχήμα 16: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του θετικού δείγματος ελέγχου

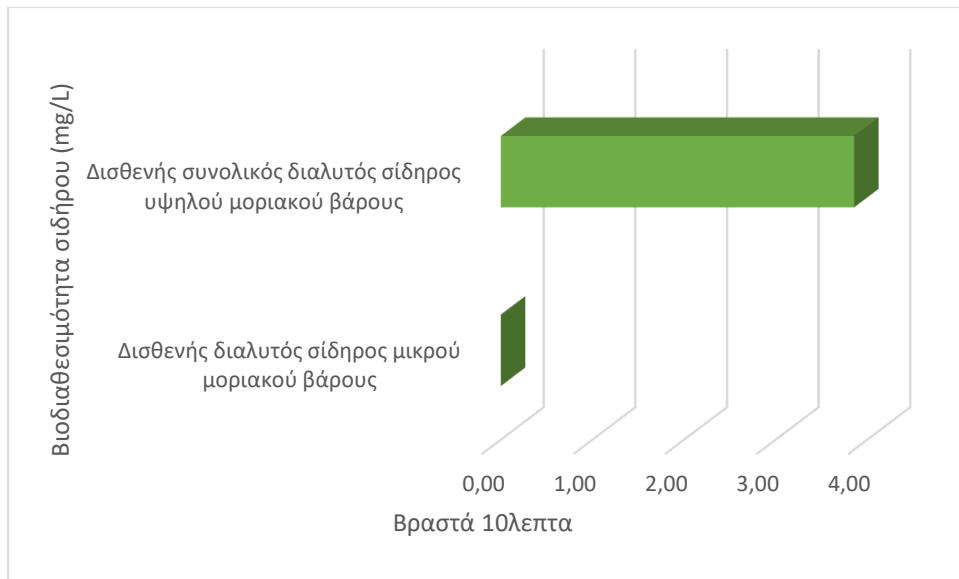
3.2.6.5. Βιοδιαθεσιμότητα ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου στα υποπροϊόντα που έβρασαν για 10 λεπτά

Η μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου στην παρτίδα των δειγμάτων των υποπροϊόντων που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 10 λεπτά φάνηκε να έχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και τον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), ενώ η μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα εντοπίστηκε στον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 λεπτά

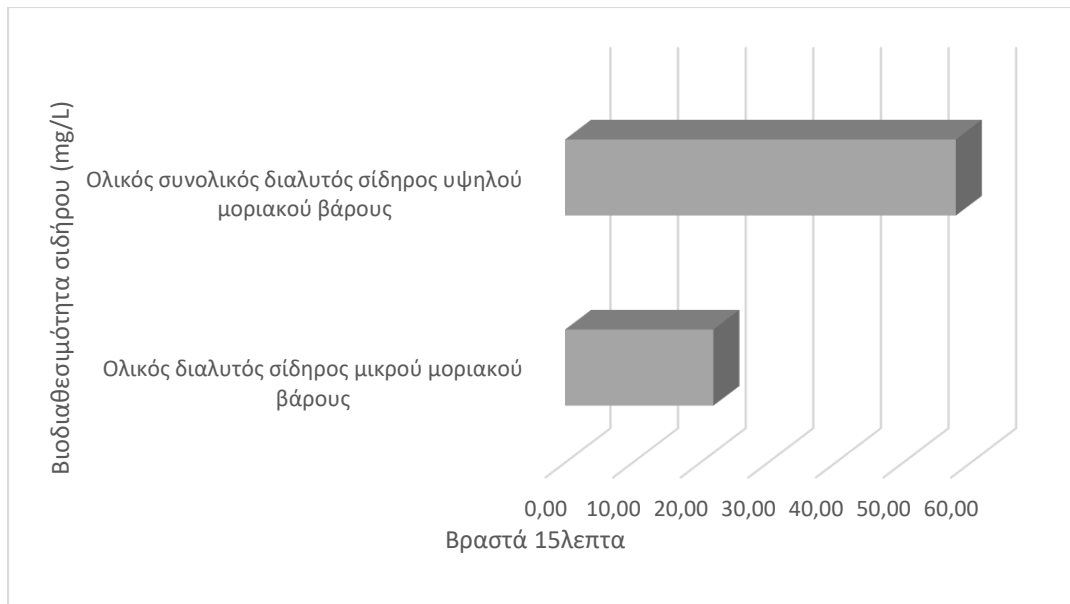
Αντίθετα, όσον αφορά τη μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και το δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p > 0,05$), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 18.



Σχήμα 18: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 λεπτά

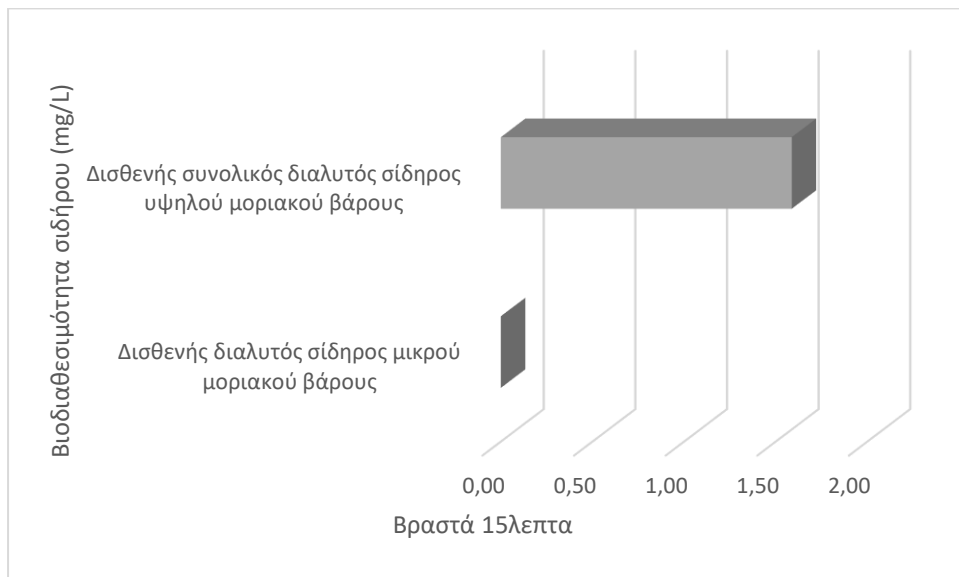
3.2.6.6. Βιοδιαθεσιμότητα ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου στα υποπροϊόντα που έβρασαν για 15 λεπτά

Σχετικά με τη μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου στα δείγματα των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με αυτά των δειγμάτων που έβρασαν για 10 λεπτά. Βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και τον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p < 0,05$), με μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα να εντοπίζεται στον ολικό συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19.



Σχήμα 19: Μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά

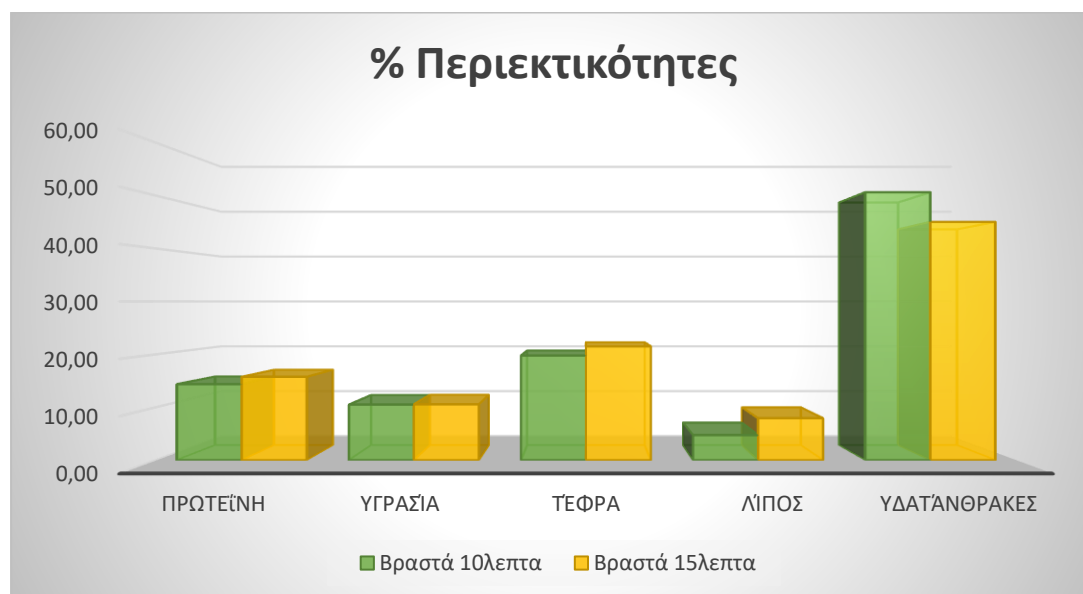
Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα της μέσης βιοδιαθεσιμότητας δισθενούς διαλυτού σιδήρου έδειξαν ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους και το δισθενή συνολικό διαλυτό σίδηρο υψηλού μοριακού βάρους ($p > 0,05$), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 20.



Σχήμα 20: Μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους του δείγματος των υποπροϊόντων που έβρασαν για 15 λεπτά

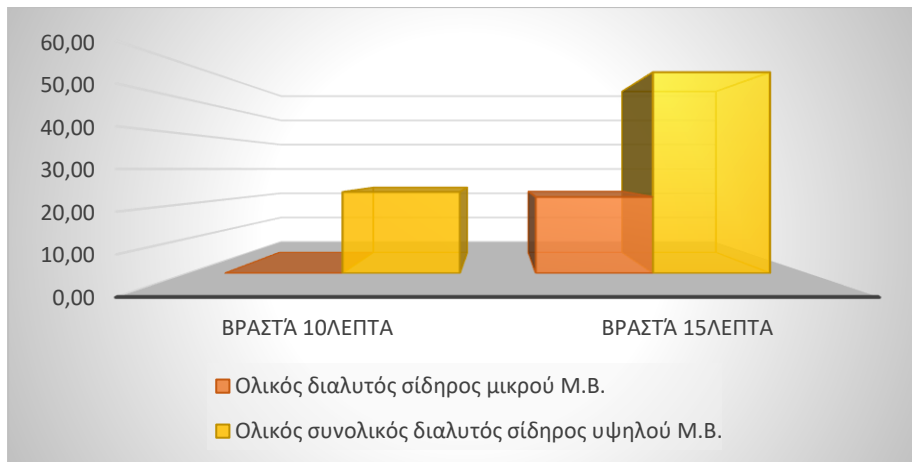
4. Κεφάλαιο 4: Συζήτηση

Σύμφωνα με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, η θερμική επεξεργασία του βρασμού σε διαφορετικούς χρόνους φαίνεται να επηρεάζει θετικά την περιεκτικότητα των υποπροϊόντων των ψαριών της σαρδέλας σε πρωτεΐνη, υγρασία, τέφρα επί ξηρού και λίπος, εφόσον στα δείγματα που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε μικρότερη περιεκτικότητα των προαναφερθέντων μακροθρεπτικών συστατικών σε σχέση με τα δείγματα που έβρασαν για 15 λεπτά, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδραση του διαφορετικού χρόνου βρασμού και την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και υγρασία ($p > 0,05$). Αντίθετα, βρέθηκε αρνητική συσχέτιση του χρόνου βρασμού στην εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες, εφόσον στα δείγματα που έβρασαν για 10 λεπτά βρέθηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα συγκριτικά με αυτά που έβρασαν για 15 λεπτά ($p < 0,05$), όπως φαίνεται λεπτομερώς και στο Σχήμα 21.



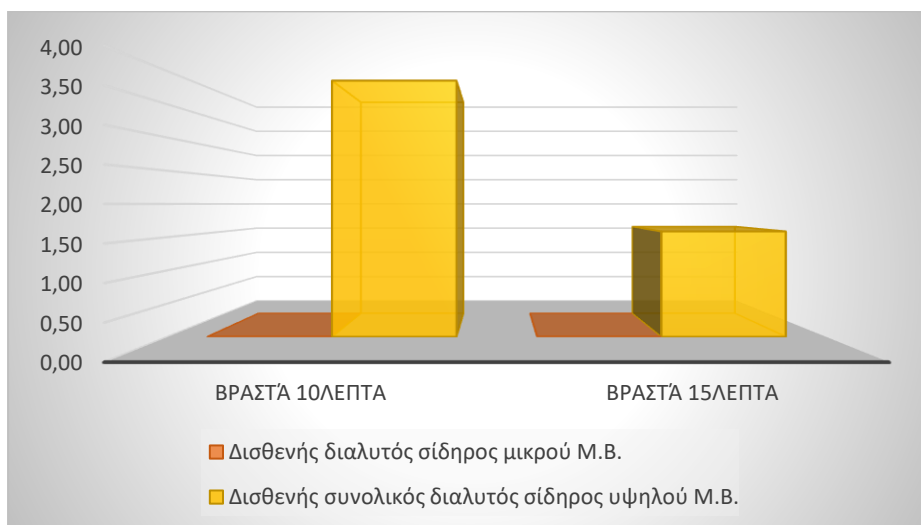
Σχήμα 21: Μακροθρεπτικά συστατικά υποπροϊόντων που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά

Όσον αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου, φάνηκε ότι ο χρόνος βρασμού την επηρεάζει θετικά, εφόσον στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου εντοπίστηκε στην παρτίδα των δειγμάτων που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 15 λεπτά ($p < 0,05$), σύμφωνα και με το Σχήμα 22.



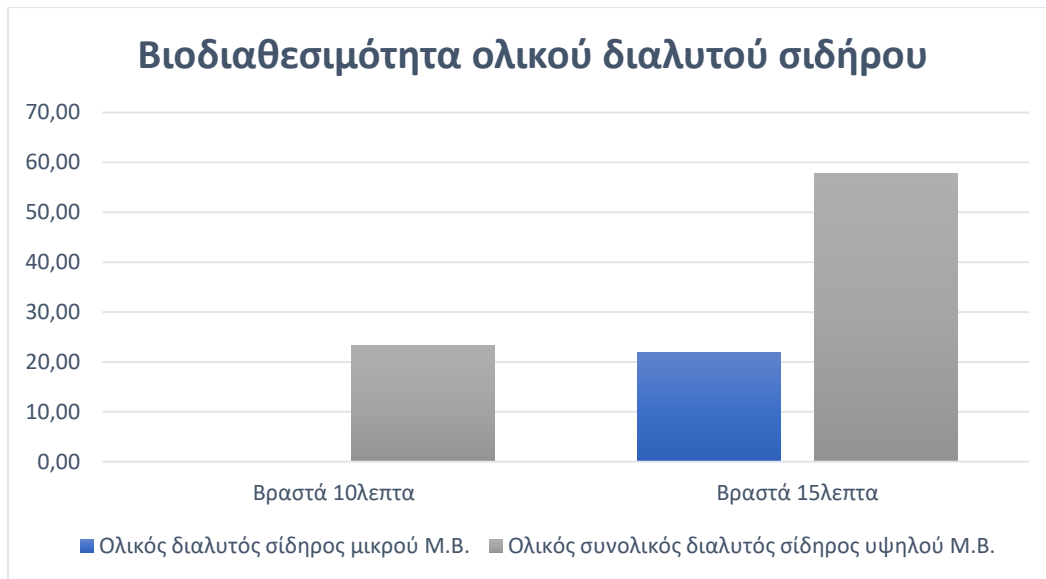
Σχήμα 22: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά

Αντίθετα, σε ό,τι αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου, φάνηκε ότι η θερμική επεξεργασία επιδρά αρνητικά σε αυτήν, καθώς η βιοδιαθεσιμότητα που βρέθηκε στα δείγματα που έβρασαν ήταν ελάχιστη έως μηδενική (Σχήμα 23), χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους διαφορετικούς χρόνους βρασμού ($p > 0,05$).



Σχήμα 23: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά

Επιπλέον, βρέθηκε ότι η μέση βιοδιαθεσιμότητα ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη ($p < 0,05$) σε σύγκριση με τον ολικό διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους (Σχήμα 24).



Σχήμα 24: Βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά

Αντίθετα, η μέση βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με το δισθενή διαλυτό σίδηρο μικρού μοριακού βάρους, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p > 0,05$), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 25.



Σχήμα 25: Βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου (mg/L) μικρού μοριακού βάρους και δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους υποπροϊόντων σαρδελών που έβρασαν για 10 και 15 λεπτά

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, υγρασία και ολικό λίπος βρέθηκε υψηλότερη στα υποπροϊόντα κρανιών και τσιπούρων που δεν είχαν υποστεί καμία θερμική επεξεργασία συγκριτικά με τα υποπροϊόντα σαρδελών που είχαν υποστεί τη θερμική επεξεργασία του βρασμού. Αντίθετα, η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες φάνηκε να είναι υψηλότερη στα υποπροϊόντα σαρδέλας που έβρασαν για διαφορετικά χρονικά διαστήματα σε σχέση με τα υποπροϊόντα κρανιών και τσιπούρων που δεν επεξεργάστηκαν θερμικά. Σχετικά με την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα, φάνηκε να είναι περίπου στα ίδια επίπεδα στα υποπροϊόντα κρανιών και τσιπούρων που δεν υπέστησαν θερμική επεξεργασία και στα υποπροϊόντα σαρδελών που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους (Kandyliari et al., 2020).

Όσον αφορά τις σαρδέλες που είχαν υποστεί κονσερβοποίηση, φάνηκε ότι η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε υγρασία είναι χαμηλότερη στα υποπροϊόντα σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού. Το ίδιο συμπέρασμα εξήχθη και για την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και ολικό λίπος. Αντίθετα, η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα και συνολικούς υδατάνθρακες φάνηκε να είναι υψηλότερη στα δείγματα των υποπροϊόντων σαρδελών που είχαν υποστεί τη θερμική επεξεργασία του βρασμού, συγκριτικά με τις σαρδέλες που υπέστησαν τη διαδικασία της κονσερβοποίησης (USDA, 2019).

Τα δεδομένα της διαθέσιμης βιβλιογραφίας έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, υγρασία και ολικό λίπος στις φρέσκιες σαρδέλες, αλλά και στις σαρδέλες που επεξεργάστηκαν θερμικά μέσω τηγανίσματος ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με τα υποπροϊόντα σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού. Αντίθετα, η περιεκτικότητα σε τέφρα ήταν υψηλότερη στα υποπροϊόντα σαρδελών που επεξεργάστηκαν θερμικά μέσω βρασμού σε σχέση με τις φρέσκιες σαρδέλες, αλλά και τις σαρδέλες που τηγανίστηκαν (Vaquero, 1998).

Όσον αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους, βρέθηκε υψηλότερη στα δείγματα των υποπροϊόντων των σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού για 15 λεπτά, συγκριτικά με τα δείγματα των υποπροϊόντων των σαρδελών που έβρασαν για 10 λεπτά και με τα υποπροϊόντα κρανιών και τσιπούρων που δεν υπέστησαν καμία θερμική επεξεργασία, ενώ παρατηρείται ότι στο κεφάλι υπάρχει πολύ μικρή περιεκτικότητα ολικού και δισθενούς διαλυτού σιδήρου (Kandyliari et al., 2018).

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου σε φρέσκιες σαρδέλες φάνηκε να είναι υψηλότερη συγκριτικά με τη βιοδιαθεσιμότητα που βρέθηκε στα δείγματα των υποπροϊόντων που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού (Seiquer et al., 2002).

Αντίστοιχα, η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου σε ψάρια σαρδέλας που επεξεργάστηκαν θερμικά μέσω τηγανίσματος βρέθηκε υψηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη στα υποπροϊόντα σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού (Seiquer et al., 2002).

Όσον αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου σε έλαιο που εξήχθη από φρέσκιες σαρδέλες, φάνηκε ότι η βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου ήταν υψηλότερη στα υποπροϊόντα σαρδελών που επεξεργάστηκαν θερμικά μέσω βρασμού συγκριτικά με την αντίστοιχη που βρέθηκε στο έλαιο από φρέσκιες σαρδέλες (Pérez-Granados et al., 1995).

Αντίστοιχα, η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου σε έλαιο που εξήχθη από ψάρια σαρδέλας που επεξεργάστηκαν θερμικά μέσω τηγανίσματος φάνηκε ότι ήταν χαμηλότερη από την αντίστοιχη στα υποπροϊόντα σαρδελών που υπέστησαν τη θερμική επεξεργασία του βρασμού (Pérez-Granados et al., 1995).

4.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

- ❖ Ο χρόνος βρασμού επηρεάζει στατιστικά σημαντικά θετικά την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού και ολικό λίπος ($p < 0,05$). Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην εκατοστιαία περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και υγρασία ($p > 0,05$).
- ❖ Αντίθετα, το χρονικό διάστημα της θερμικής επεξεργασίας του βρασμού έχει στατιστικά σημαντικά αρνητική συσχέτιση με την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε συνολικούς υδατάνθρακες ($p < 0,05$).
- ❖ Ο χρόνος βρασμού επηρεάζει στατιστικά σημαντικά θετικά τη βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου ($p < 0,05$).
- ❖ Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο χρόνο βρασμού και στη βιοδιαθεσιμότητα του δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους, αλλά και στη βιοδιαθεσιμότητα του δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους ($p > 0,05$).
- ❖ Η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους είναι στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) υψηλότερη σε σχέση με τη

βιοδιαθεσιμότητα του ολικού διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους.

- ❖ Αντιθέτως, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς συνολικού διαλυτού σιδήρου υψηλού μοριακού βάρους συγκριτικά με τη βιοδιαθεσιμότητα δισθενούς διαλυτού σιδήρου μικρού μοριακού βάρους των υποπροϊόντων που έβρασαν σε διαφορετικούς χρόνους.

5. Βιβλιογραφία

- Abbaspour, N. (2014, February 1). Review on iron and its importance for human health. PubMed Central (PMC). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3999603>
- Argyri, K., Theophanidi, E., Kapna, A., Staikidou, C., Pounis, G., Komaitis, M., Georgiou, C. A., & Kapsokefalou, M. (2011). Iron or zinc dialyzability obtained from a modified in vitro digestion procedure compare well with iron or zinc absorption from meals. *Food Chemistry*, 127(2), 716–721. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.005>
- Arvanitoyannis, I. S., & Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(4), 726–745. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01513.x>
- Barazi-Γερουλάνου, Λ. (2016, June 1). Η υδατοκαλλιέργεια και η ελληνική οικονομία. *HuffPost Greece*. https://www.huffingtonpost.gr/lara-barazigeroulanou/aquaculture_b_7476478.html
- Fish By-Products Utilization, Getting more benefits from fish processing | Food loss and waste in fish value chains | Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). <https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/resources/articles/fish-by-products-utilization-getting-more-benefits-from-fish-processing/en/>
- FoodData Central. (n.d.). <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/175139/nutrients>
- Hotos, G. N. (2016). ENTATIKH IXΘYOKAMMIEPΓEIA ME ANAKYKΛΩΣH NEPOY (θεμελιώδεις βιολογικές και τεχνικές γνώσεις). ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16557.51682/2>
- Kandyliari, A., Mallouchos, A., Papandroulakis, N., Golla, J. P., Lam, T. T., Sakellari, A., Karavoltzos, S., Vasiliou, V., & Kapsokefalou, M. (2020). Nutrient composition and fatty acid and protein profiles of selected fish By-Products. *Foods*, 9(2), 190. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
- Kandyliari K, Mallouchos A, Sakellari A, Papandroulakis N, Karavoltzos S, Kapsokefalou M (2018). Nutrient Composition and Prediction of Iron Bioavailability of Fish By-Products. AQUA 2018, Montpellier, France
- Martí-Quijal, F. J., Remize, F., Meca, G., Ferrer, E., Ruiz, M., & Barba, F. J. (2020). Fermentation in fish and by-products processing: an overview of current research and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 31, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.08.001>
- Monsen, E. R. (1988). Iron nutrition and absorption: Dietary factors which impact iron bioavailability. *Journal of the American Dietetic Association*, 88(7), 786–790. [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(21\)07902-5](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(21)07902-5)
- Pérez-Granados, A. M., Vaquero, M. P., & Navarro, M. H. (1995). Iron metabolism in rats consuming oil from fresh or fried sardines. *Analyst*, 120(3), 899–903. <https://doi.org/10.1039/an9952000899>

Seiquer, I., Aspe, T., Pérez-Granados, A. M., & Navarro, M. H. (2002). Consumption of raw and fried sardine (*Clupea pilchardus*) as protein source of diets: effects on iron metabolism in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(13), 1497–1503. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1211>

Senevirathne, M., & Kim, S. (2012). Utilization of seafood processing by-products. In *Advances in food and nutrition research* (pp. 495–512). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416003-3.00032-9>

Shahidi, F., Metusalach, & Brown, J. A. (1998). Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(1), 1–67. <https://doi.org/10.1080/10408699891274165>

Vaquero M. P. (1998). View of Minerals. *Grasas y Aceites Vol. 49. Fase. 3-4* (1998), 352-358
<https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/739/752>