

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

«Σκελετικές δυσμορφίες εκτρεφόμενων ιχθύων»

Χουλιάρá Αικατερίνη

ΒΟΛΟΣ 2024

«Σκελετικές δυσμορφίες εκτρεφόμενων ιχθύων»

«Skeletal deformities in cultivated fish»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπουσα***.
- 2) **Γκολομάζου Ελένη**, Αναπληρώτρια καθηγήτρια, Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.
- 3) **Νικόλαος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Παναγιώτα Παναγιωτάκη για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη συγγραφή της παρούσας, εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κα Γκολομάζου Ελένη και κ. Νικόλαο Νεοφύτου. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεγάλη ζήτηση ιχθυηρών οδήγησε στην ανάπτυξη του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών. Οι σκελετικές δυσμορφίες των εκτρεφόμενων ιχθύων αποτελούν ένα από τα προβλήματα του τομέα αυτού καθώς τα ψάρια που πάσχουν πωλούνται σε χαμηλές τιμές ή δε πωλούνται καθόλου. Αιτιολογικοί παράγοντες αυτού του προβλήματος είναι γενετικοί και επιγενετικοί όπως διατροφικοί, η θερμοκρασία και η ενεργός οξύτητα. Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση διάφορων σκελετικών παραμορφώσεων και των αιτιών τους ώστε να αντιμετωπιστούν.

Λέξεις-κλειδιά

Σκελετικές δυσμορφίες, Λόρδωση, Κύφωση, Σκολίωση

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

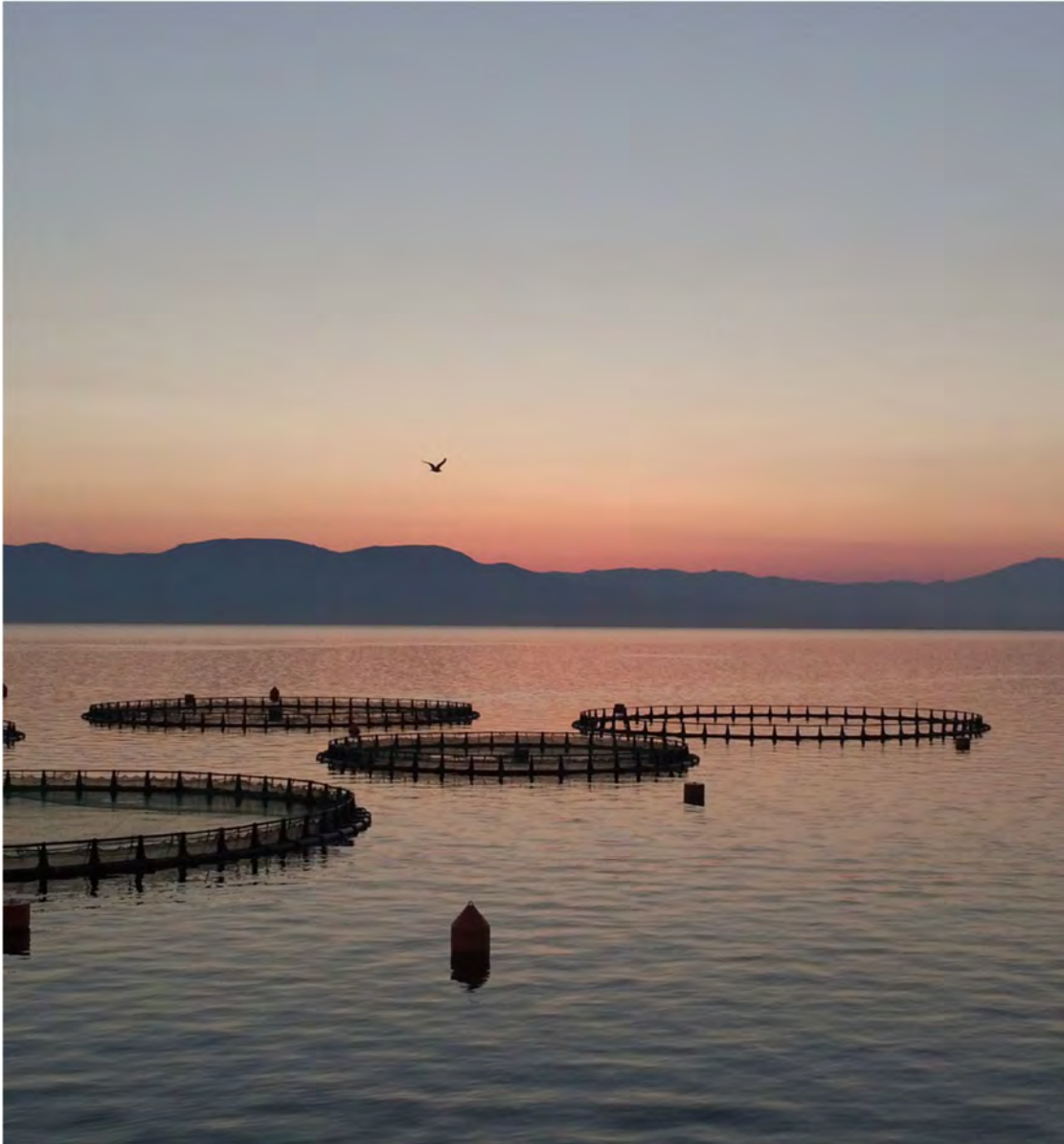
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Σκοπός εργασίας	7
2. ΣΚΕΛΕΤΙΚΕΣ ΔΥΣΜΟΡΦΙΕΣ	8
2.1. Κρανιακές δυσμορφίες	9
2.2. Δυσμορφίες σπονδυλικής στήλης	13
2.3. Πτερύγια	20
3. ΑΙΤΙΑ ΣΚΕΛΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.....	24
3.1. Θερμοκρασία	24
3.2. Ενεργός οξύτητα (pH)	27
3.3. Αλατότητα.....	27
3.4. Ταχύτητα ροής.....	28
3.5. Βαρέα μέταλλα	29
3.6. Πυκνότητα εκτροφής	29
3.7. Διατροφή.....	29
3.7.1. Βιταμίνες	30
3.7.2. Αμινοξέα	35
3.7.3. Λιπαρά οξέα	36
3.7.4. Ανόργανα στοιχεία	38
3.8. Γενετικοί παράγοντες.....	41
3.9. Παθογόνοι οργανισμοί.....	41
4. ΔΙΑΓΝΩΣΗ	42
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ιχθυηρών σε συνδυασμό με την αδυναμία κάλυψης αυτής μέσω της αλιείας οδήγησε σε ταχεία ανάπτυξη του κλάδου των ιχθυοκαλλιιεργειών. Οι ιχθυοκαλλιιεργειες με χρήση μικρού γεωγραφικά χώρου προσφέρουν μεγάλες ποσότητες προϊόντων υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και με πολύ καλή αναλογία λιπαρών οξέων (Πασχίδης 2019). Η εκτροφή υδρόβιων οργανισμών είναι γνωστή στην Ελλάδα αιώνες τώρα, ωστόσο η υδατοκαλλιιεργεία τους γνώρισε ταχύτατη ανάπτυξη στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (ΕΛΟΠΥ 2022), έτσι αποτελούν και έναν σημαντικό παράγοντα εσόδων, συγκεκριμένα για τη χώρα μας, οι εξαγωγές ελληνικής τσιπούρας και λαβρακιού το 2021 ανήλθαν σε 100.361 τόνους αξίας σχεδόν 499 εκατ. ευρώ σημειώνοντας αύξηση 9,3% ως προς τον όγκο και 9% ως προς την αξία εξαγωγών σε σχέση με το προηγούμενο έτος κατατάσσοντας την ιχθυοκαλλιιεργεια τον πρώτο εξαγωγικό κλάδο ζωικής παραγωγής της χώρας, ενώ το 2020, παρήχθησαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση 552.622 τόνοι ψαριών υδατοκαλλιιεργειας (ΕΛΟΠΥ 2022). Το 2018 η παγκόσμια παραγωγή οργανισμών υδατοκαλλιιεργειας έφτασε τους 82,1 εκατομμύρια τόνους (FAO 2020). Ωστόσο στο τομέα των υδατοκαλλιιεργειών προκύπτουν και προβλήματα τα οποία χρειάζεται να αντιμετωπιστούν και μεταξύ αυτών είναι και οι σκελετικές δυσμορφίες.

1.1. Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των διάφορων μορφών σκελετικών ανωμαλιών των εκτρεφόμενων ψαριών και των αιτιών που τις προκαλούν ώστε να αντιμετωπιστούν.



Εικόνα 1. Μονάδα υδατοκαλλιέργειών (ΕΛΟΠΥ 2022).

2. ΣΚΕΛΕΤΙΚΕΣ ΔΥΣΜΟΡΦΙΕΣ

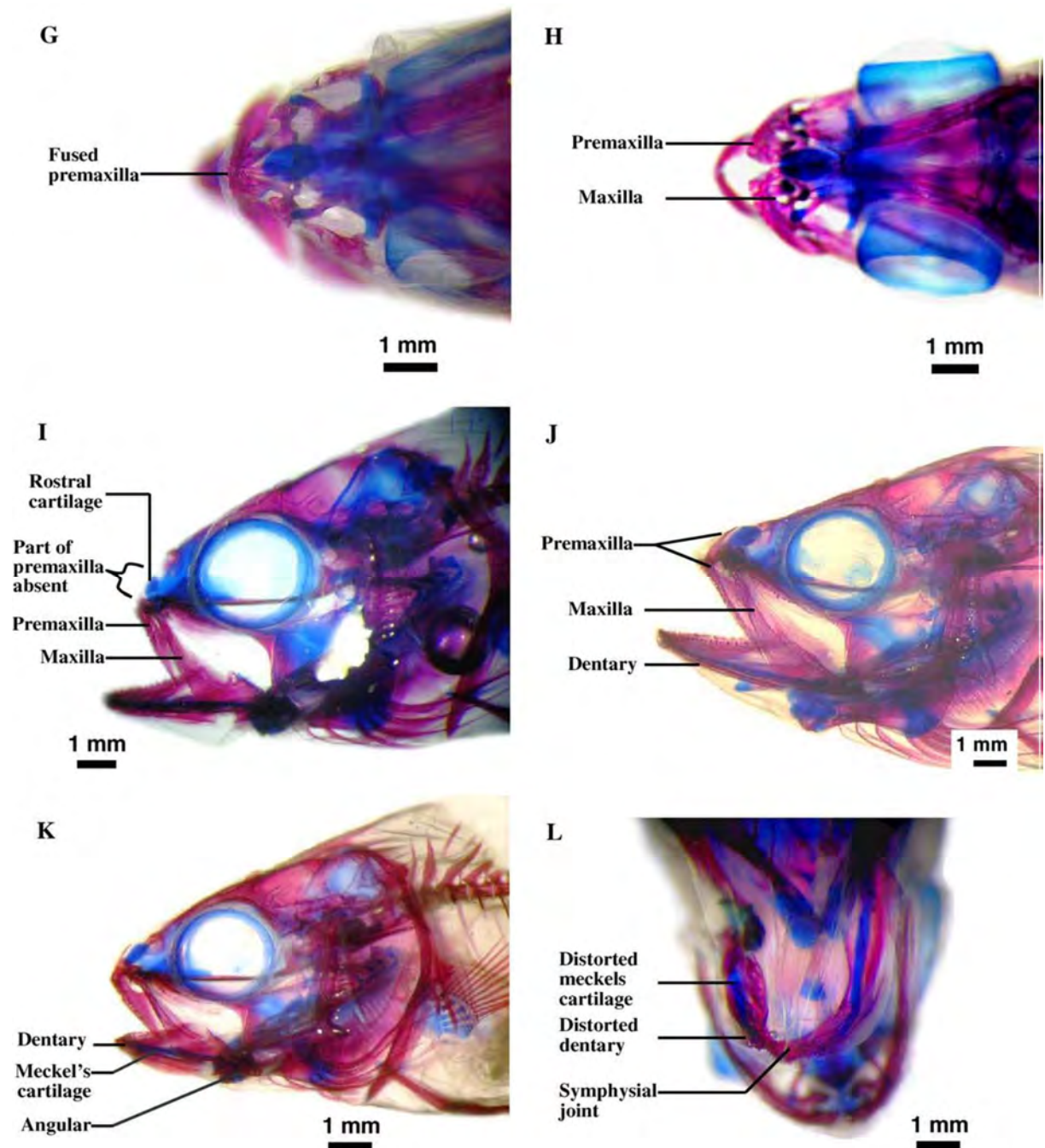
Σκελετικές δυσμορφίες στα ψάρια είναι οι μη φυσιολογικοί μετασχηματισμοί φυσιολογικών οστικών ή/και χόνδρινων δομών σε ανώμαλες σκελετικές δομές που διαφέρουν ιστολογικά και ανατομικά από τις φυσιολογικές πρότυπες (Eissa et al. 2021).

Οι σκελετικές παραμορφώσεις ποικίλουν ως προς τη θέση, τη μορφή και τις επιπτώσεις τους στον οργανισμό. Παρουσιάζονται στο κεφάλι, στη σπονδυλική στήλη και στα πτερύγια. Τα ψάρια μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους τύπους παραμορφώσεων με διαφορετικούς βαθμούς σοβαρότητας ανάλογα με την αιτία, την ηλικία και την ιστολογία του προσβεβλημένου ιστού ανεξάρτητα από το αν είναι οστέινος ή χόνδρινος (Boglione et al. 2013b, Eissa et al. 2009, Eissa et al. 2021). περιλαμβάνουν πολλαπλασιασμό ή απουσία σκελετικών στοιχείων και μεταβολές στη θέση ή τον προσανατολισμό ή και το σχήμα των οστών (Αρσενίου 2010). Η συχνότητα εμφάνισης σκελετικών δυσμορφιών είναι σχετικά μικρή τόσο σε συνθήκες εκτροφής όσο και σε άγριους πληθυσμούς. Όμως είναι ιδιαίτερα ενδεικτικές της περιβαλλοντικής ρύπανσης σε ανοιχτά υδάτινα οικοσυστήματα και των σωρευτικών προβλημάτων στη διαχείριση των υδατοκαλλιεργειών (Eissa et al. 2009).

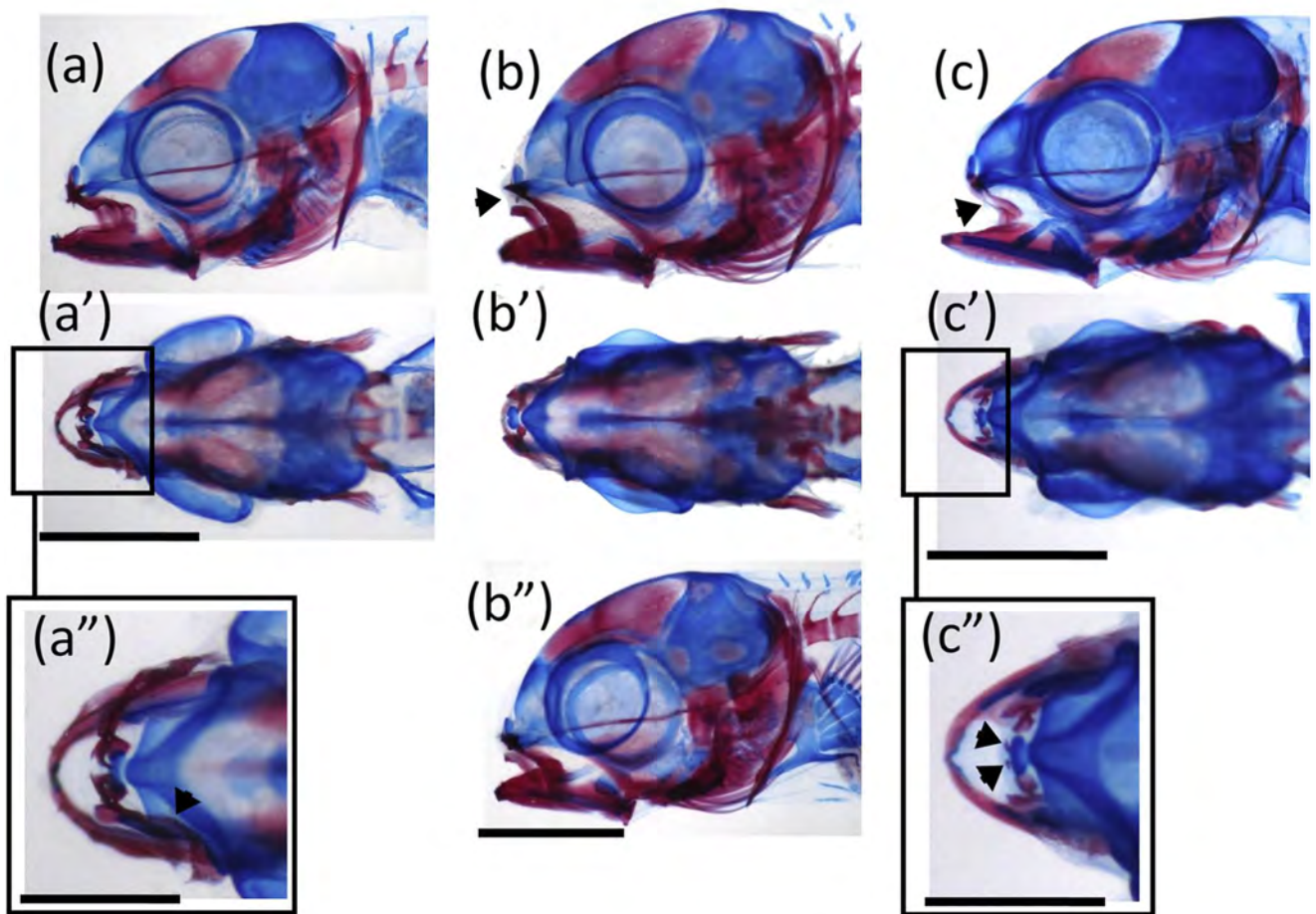
2.1. Κρανιακές δυσμορφίες

Το κρανίο έχοντας καθοριστικό ρόλο στη πρόσληψη της τροφής και της αναπνοής των ιχθύων, εάν παρουσιαστούν σε αυτό παραμορφώσεις μπορούν να επηρεαστούν η αύξηση, η ανάπτυξη και η ευαισθησία των ψαριών σε ασθένειες. Οι κυριότερες δυσμορφίες του κρανίου παρουσιάζονται στο βραγχιακό επικάλυμμα, στις γνάθους και στο υοειδές τόξο. Κάθε τύπος παρουσιάζει διαφορετικό βαθμό έντασης και μορφολογία. Οι παραμορφώσεις που εμφανίζονται συχνότερα είναι αυτές του βραγχιακού επικαλύμματος, ιδιαίτερα στην τσιπούρα και δύνανται να επηρεάσουν έως και το 80% του πληθυσμού (Andrades et al., 1996). Οι τύποι οστών του σπλαγχοκράνιου που εμπλέκονται στις παραμορφώσεις του βραγχιακού επικαλύμματος είναι: οι βραγχοστεγείς ακτίνες, το καλυπτρικό οστό, το

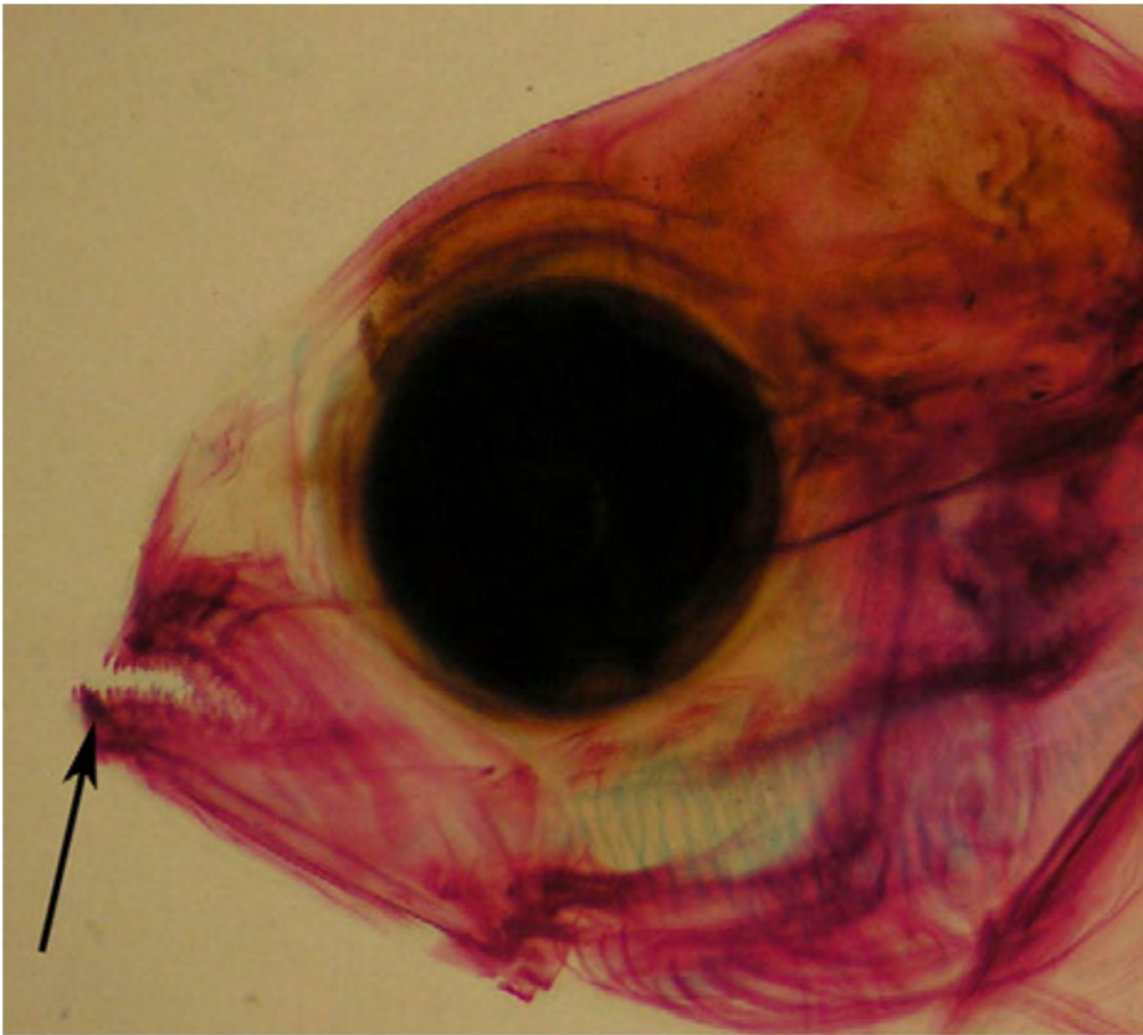
υποκαλυπτρικό και το προκαλυπτρικό οστό. Τα οστά αυτά είτε εμφανίζονται αναδιπλωμένα, είτε στρέφονται προς το εσωτερικό ή εξωτερικό του σώματος, έχουν κανονικό ή μικρότερο του φυσιολογικού μέγεθος και συχνά παρουσιάζουν συντήξεις. Η γενική εικόνα είναι εκείνη του αναδιπλωμένου προς το εσωτερικό βραγχιακού επικαλύμματος, αφήνοντας εκτεθειμένα τα βράγχια (Koumoundouros et al. 1997b, Αρσενίου 2010). Στις δυσμορφίες των γνάθων περιλαμβάνονται οι εξής τύποι: κοντή κάτω γνάθος και «διασταυρωμένο δάγκωμα». Πρόκειται για μία βραχυκεφαλική παραμόρφωση που χαρακτηρίζεται από μία πρόσθια και οπίσθια συμπίεση ή υποπλασία του μετώπου. Η τυπική μορφή ενός ψαριού που πάσχει από αυτή την ασθένεια είναι: απότομα κυρτό και κοντό μέτωπο, το οποίο καμπυλώνει απότομα προς τα κάτω ακριβώς μπροστά από τα μάτια (Gemmell 1912, Gudger 1936, Bruno 1990, Branson and Turnbull 2008, Boglione et al. 2013b, Joacim Naslund and Laith Jawad 2021). Στη σκελετική δυσμορφία του διασταυρωμένου δαγκώματος η κάτω γνάθος αποκλίνει πλευρικά από το επίπεδο αμφίπλευρης συμμετρίας. Η εξωτερική μορφολογία των ατόμων με κοντή κάτω γνάθο ομοιάζει με αυτή των ατόμων που πάσχουν από το σύνδρομο του διασταυρωμένου δαγκώματος (Divanach et al., 1996). Τέλος οι δυσμορφίες του υοειδούς τόξου αφορούν στην κοιλιακή προβολή του υπουοειδούς και γλωσσοειδούς οστού του υποβραγχιακού σκελετού (Divanach et al. 1996, Cobcroft et al. 2001).



Εικόνα 2.1. (G) Dorsal view of a 38 DAH *L. calcarifer* post larvae with dpinch jawT of the upper jaw with fused maxilla and premaxilla (H) Φυσιολογική άνω γνάθος (I) Κοντ'ή άνω γνάθος (J) Φυσιολογική άνω και κάτω γνάθος (K) Κοντή κάτω γνάθος (L) Στριμένη κάτω γνάθος (Fraser & Nys, 2005).



Εικόνα 2.2. Παραμορφώσεις σε προνύμφες τσιπούρας που σχετίζονται με διαφορετικούς τύπους ανωμαλιών (Fragkoulis et al. 2018).



Εικόνα 2.3. Παραμόρφωση σαγονιού σε ιχθύδιο *Pagrus major* (Nguyen et. al. 2008).

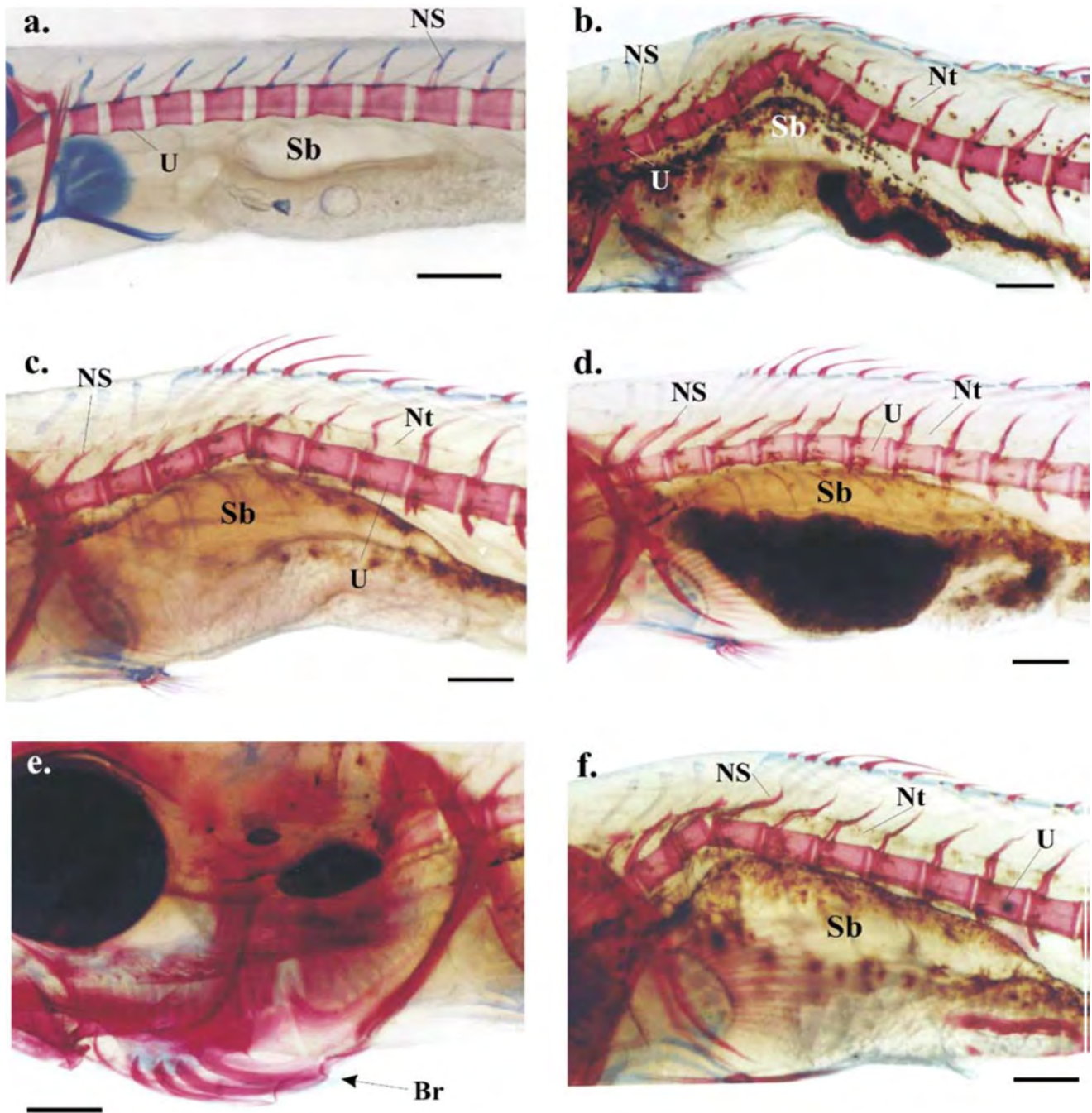
2.2. Δυσμορφίες σπονδυλικής στήλης

Οι κυριότερες παραμορφώσεις της σπονδυλικής στήλης διακρίνονται στις: λόρδωση, κύφωση, και σκολίωση. Εμφανίζονται είτε μεμονωμένα, είτε σε διάφορους συνδυασμούς των τριών αυτών δυσμορφιών και είναι κοινές στην εκτροφή τσιπούρας και λαβρακιού και σε διάφορους βαθμούς βαρύτητας (Divanach et al. 1996). Ακόμη

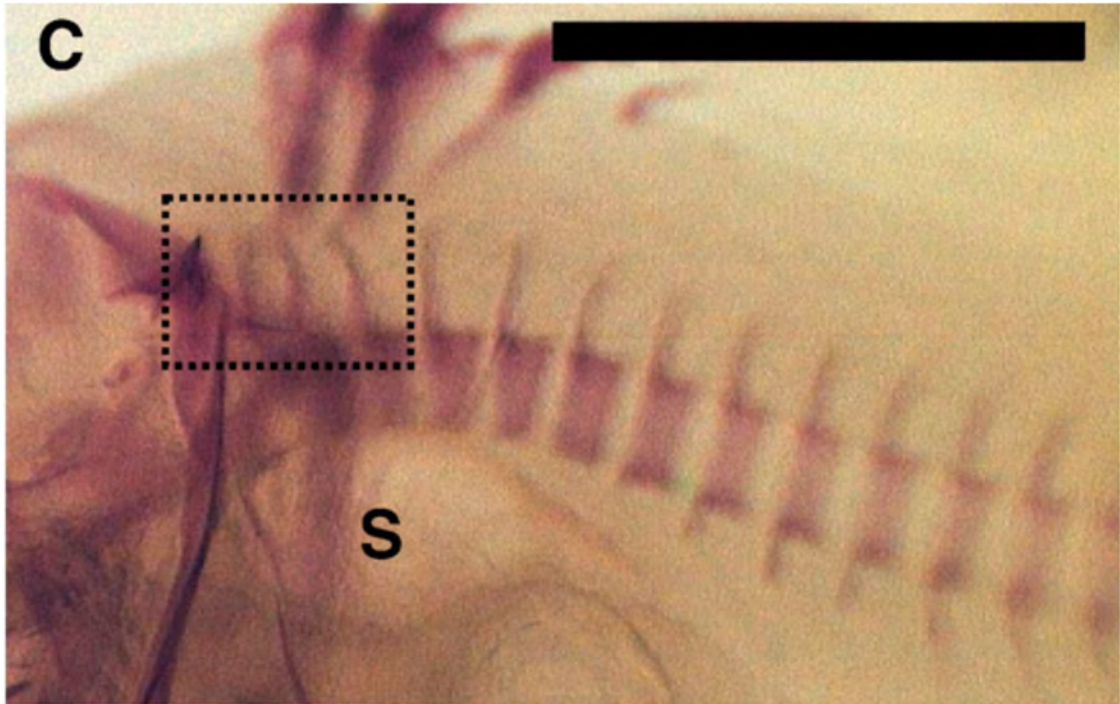
έχουν βρεθεί παραμορφώσεις μεμονωμένων σκελετικών στοιχείων της σπονδυλικής στήλης (Biglione et al. 1995, Divanach et al. 1997, Fraser et al. 2004). Η λόρδωση (L), που μαζί με τη κύφωση αποτελούν τις περισσότερες μελετημένες παραμορφώσεις, χαρακτηρίζεται από νωτοκοιλιακή κάμψη της σπονδυλικής στήλης, του πάσχοντος ατόμου, σχήματος V (Andreades et al. 1996). Μπορεί να εμφανιστεί στη προαιματική και στην αιματική περιοχή της σπονδυλικής στήλης (Koumoundouros et al. 2010). Στη προαιματική λόρδωση συνήθως εμπλέκονται 2-3 σπόνδυλοι στο σημείο φυσικής κάμψης της σπονδυλικής στήλης (Chatain 1989). Οι σπόνδυλοι που συμμετέχουν στη πρόκληση λόρδωσης έχουν τραπεζοειδές σχήμα αντί του φυσιολογικού τετραγωνισμένου και εμφανίζουν υπερβολική εναπόθεση αλάτων σε σχέση με τους φυσιολογικούς. Τα κυριότερα αίτια εκδήλωσής της είναι η έλλειψη λειτουργικής νηκτικής κύστης στα ιχθύδια (Chatain 1986, 1994, Chatain & Qunais-Guschemann 1990), η έντονη κολυμβητική δραστηριότητα των ψαριών και η ανισόρροπη ανάπτυξη του μυϊκού και σκελετικού συστήματος (Divanach et al. 1997, Sfakianakis et al. 2006a.). Όταν πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός των ζωοπλακτονικών οργανισμών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως τροφή για τις νύμφες και τα ιχθύδια, δημιουργείται ένα στρώμα ελαίου στην επιφάνεια του νερού, το οποίο αποτρέπει την αρχική κατάποση αέρα και το σχηματισμό λειτουργικής νυκτικής κύστης (Τσουγκράνη 2017).

Η κύφωση (K) αποτελεί σκελετική δυσμορφία που στα πάσχοντα άτομα παρατηρείται νωτοκοιλιακή κάμψη σχήματος Λ. Η προαιματική κύφωση σύμφωνα με τους Koumoundouros et al. (2002b) στο λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) επηρέασε συχνά τους σπονδύλους 5 και 6 και ραχιαία προς τη νυκτική κύστη, εμφανίστηκε στο εύρος των 10-17mm TL και μετά από αυτό το στάδιο ήταν θανατηφόρος. Τα πάσχοντα άτομα

παρουσίαζαν ληθαργική συμπεριφορά. Η προαιματική κύφωση συνδυάστηκε με παραμορφώσεις στις βραγχοστεγείς ακτίνες.



Εικόνα 2.5. (a) Ήπιες παραμορφώσεις μεμονωμένων σπονδύλων σε προνύμφη λαβρακιού 11,7 mm TL. (b) Σοβαρή κύφωση σε α δείγμα 15,9 mm TL με έναν σπόνδυλο που βρίσκεται στο κέντρο παραμόρφωσης. (c) Σοβαρή κύφωση σε δείγμα του 17,8 mm TL με δύο παρακείμενους σπόνδυλους που βρίσκονται στο κέντρο παραμόρφωσης. (d) Ήπια κύφωση σε δείγμα 18.3 mm TL. (e) Παραμόρφωση των διακλαδοστέγαλων ακτίνων στο δείγμα του (b). (f) Κύφωση σε νεκρό δείγμα του 17,5 mm TL. Br, διακλαδοστέγαλες ακτίνες; NS, νευρική διαδικασία; Nt, νευρικός σωλήνας; Sb, νηκτική κύστη; U, σπονδυλική κέντρο. Οι ράβδοι κλίμακας είναι ίσες με 0,5 mm σε TL. Η αφαίρεση της χρωστικής ήταν ατελής για να έχουμε μια σαφή εικόνα του νευρικού σωλήνα και της ουροδόχου κύστης. Το μπλε υποδηλώνει χόνδρο. Το κόκκινο υποδηλώνει οστεοποίηση των οστών (Koumoundouros et al. 2002b).

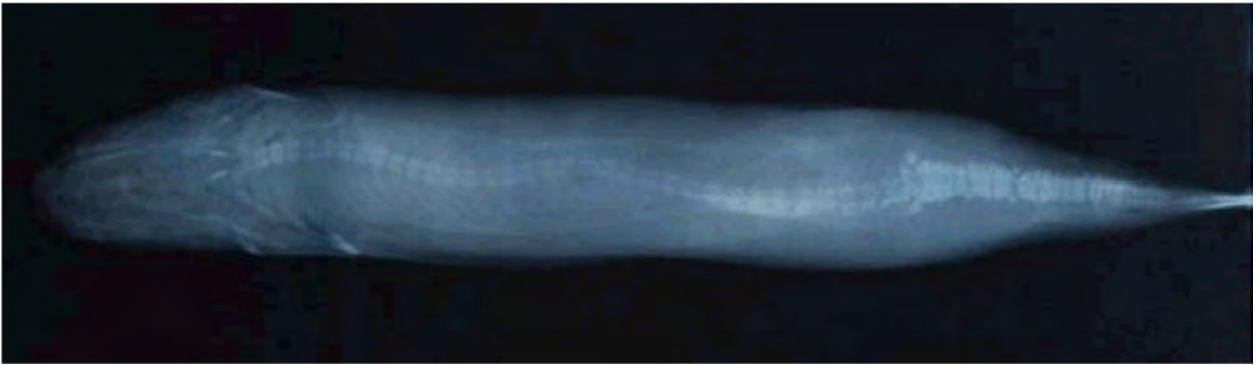


Εικόνα 2.6. Υπερβολικά διογκωμένη νηκτική κύστη (s) και κύφωση στους σπονδύλους (περιοχή κεφαλικών σπονδύλων) (Boglione et al. 2009)

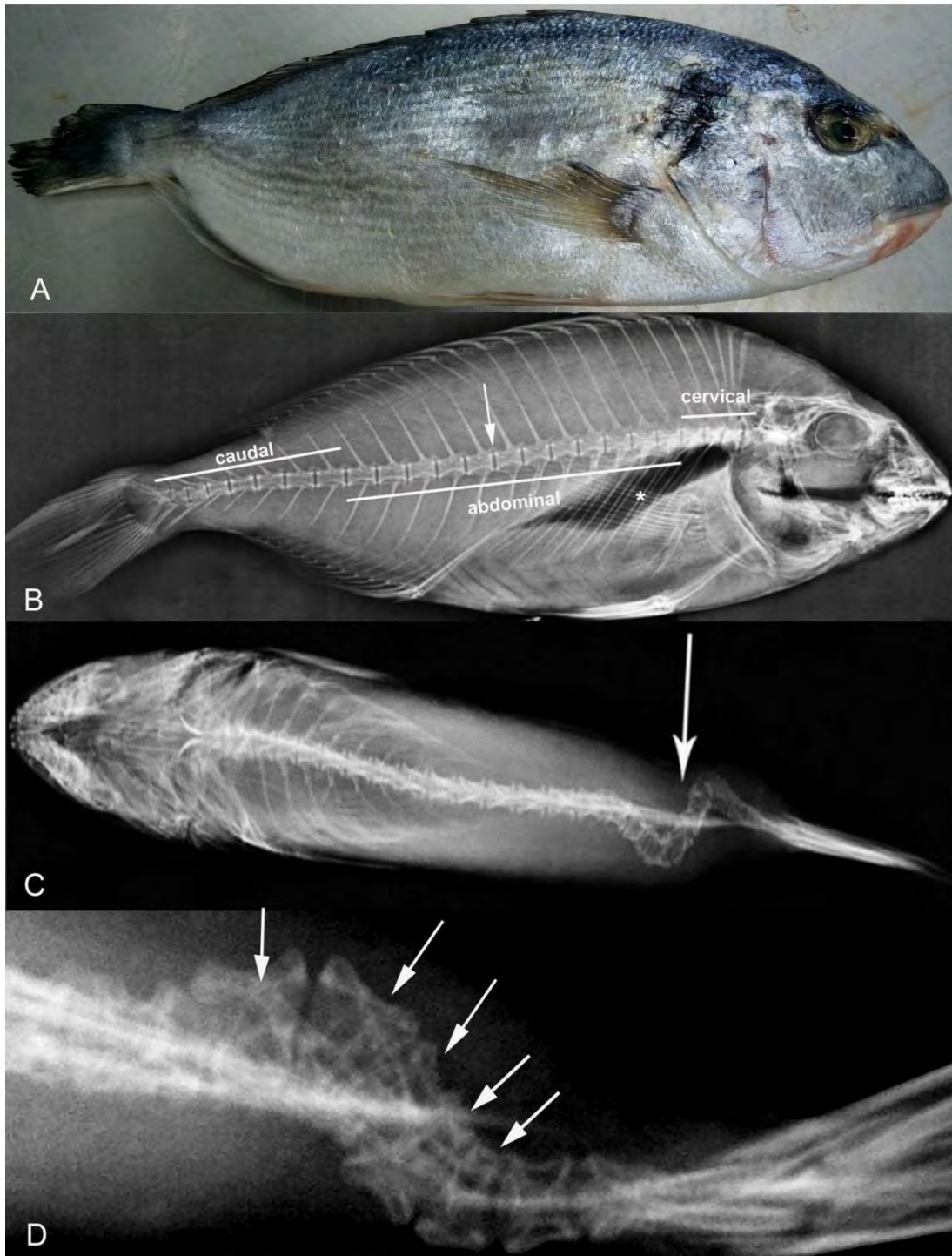


Εικόνα 2.7. Σφυρίδες: (a) απουσία νηκτικής κύστης και ουραία παραμόρφωση, (b) λόρδωση και ουραία παραμόρφωση (c) φυσιολογική νηκτική κύστη και σπονδυλική στήλη, (d), κύφωση, ουραία παραμόρφωση και ασύμμετρη νηκτική κύστη (Elsadin et al. 2018)

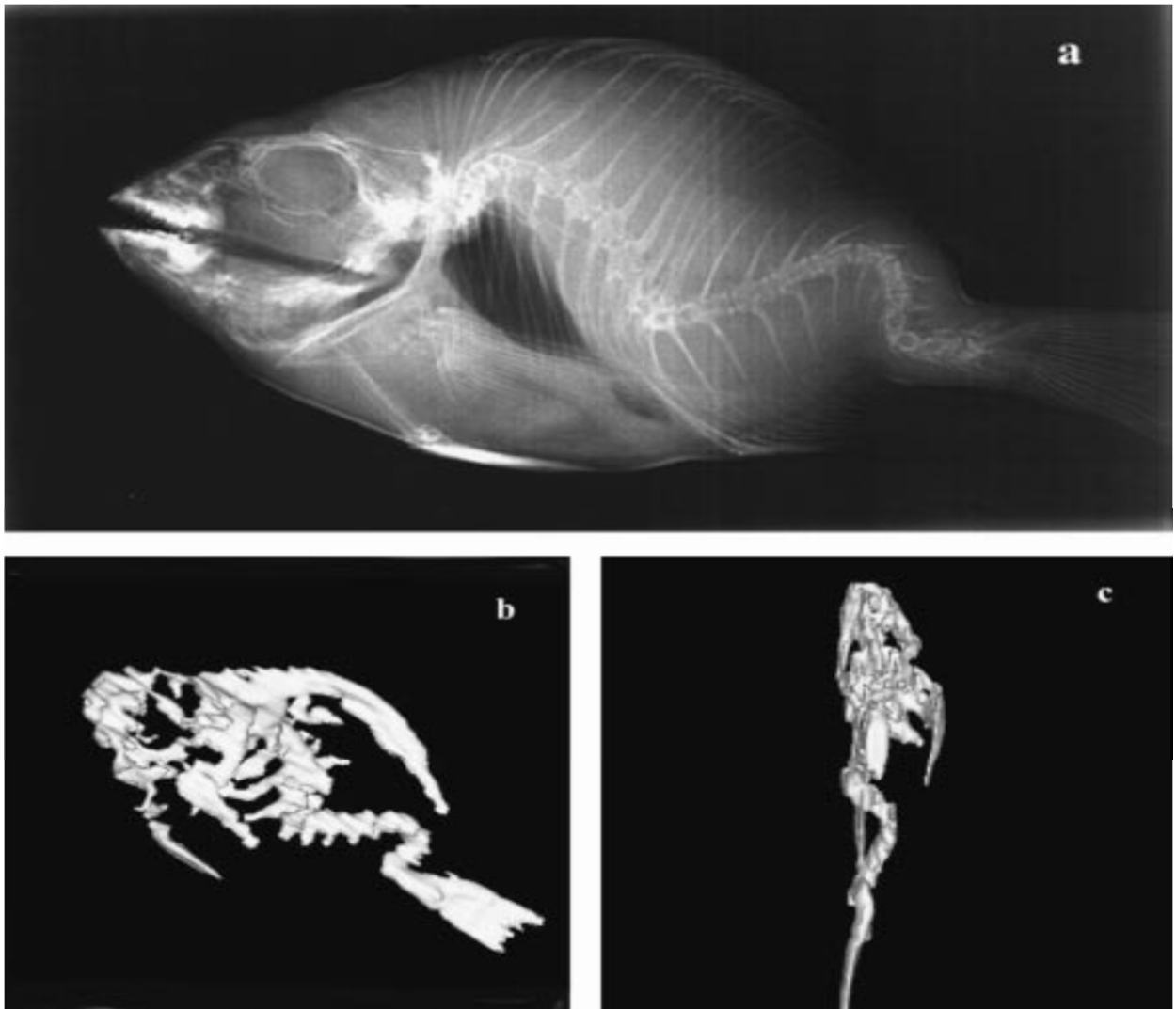
Στη σκολίωση (S) παρατηρείται πλευρική κάμψη της σπονδυλικής στήλης. Σύμφωνα με τους Boursiaki et al. (2019) η ανεπάρκεια Ca και P στους σπονδύλους δε σχετίζεται με την εμφάνιση σκολίωσης στην ενήλικη τσιπούρα (*Sparous aurata*) σε αντίθεση με τις ανωμαλίες στη διάμετρο των ινιδίων κολλαγόνου. Παράλληλα από την ίδια έρευνα προέκυψε πως ο συντελεστής ελαστικότητας των σκολιωτικών σπονδύλων ήταν μειωμένος.



Εικόνα 2.8. Σοβαρή σκολίωση και σύντηξη σπονδύλων (Yadegari et al. 2011)



Εικόνα 2.9. (Α) Τσιπούρα με σκολίωση στην ουραία περιοχή. (Β) Ακτινογραφία τσιπούρας χωρίς σκολίωση. Ο μεσοσπονδυλικός χώρος τονίζεται με ένα βέλος ενώ η νηκτική κύστη υποδεικνύεται με ένα αστέρι. (C) ακτινογραφία τσιπούρας με σκολίωση. Η περιοχή της σκολίωσης επισημαίνεται με ένα βέλος. (D) Μεγεθυμένη ακτινογραφία της ουραίας περιοχής της τσιπούρας με σκολίωση. Οι παραμορφωμένοι σπόνδυλοι επισημαίνονται με βέλη (Boursiaki et al., 2019).

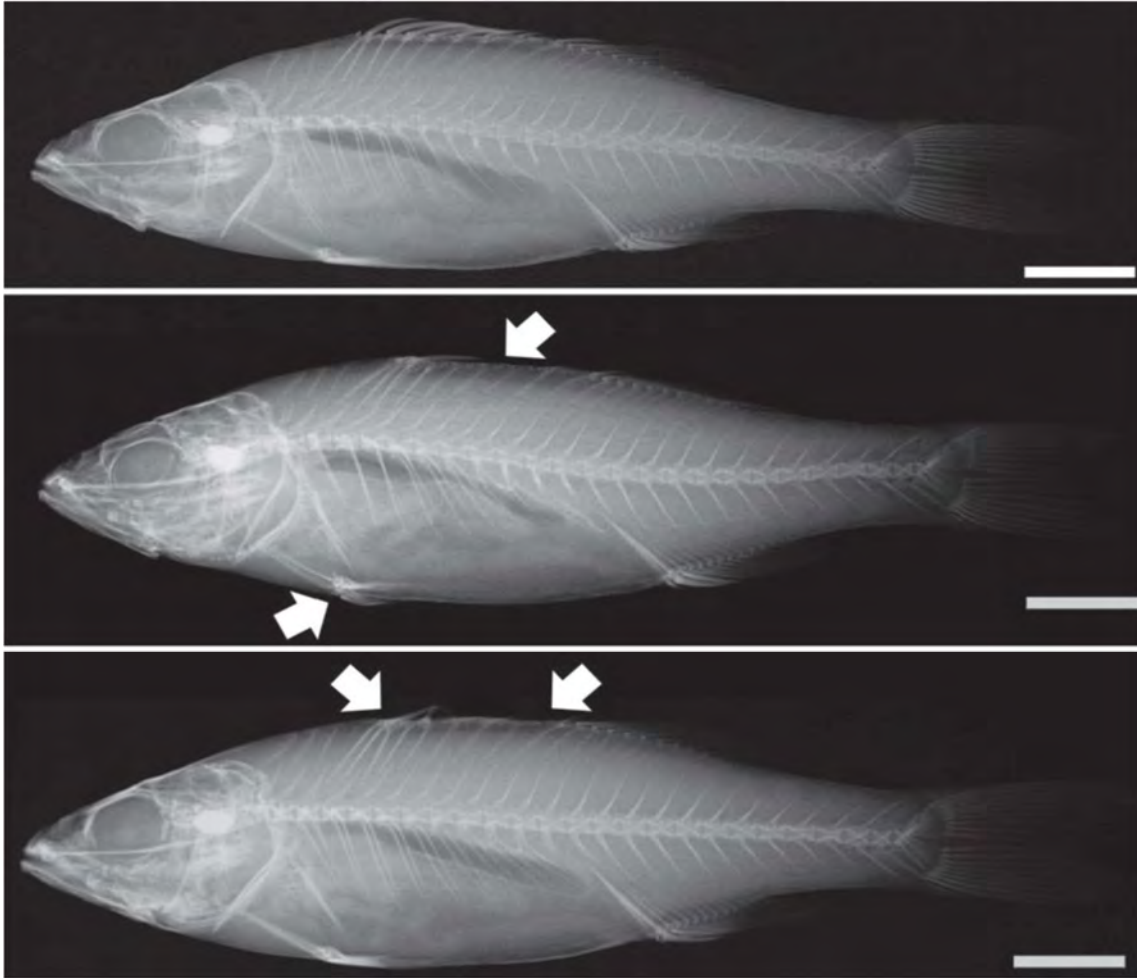


Εικόνα 2.10. (a) Ακτινογραφία πλάγιας όψης τσιπούρας με σύνδρομο Λόρδωσης/Σκολίωσης/Κύφωση (LSK). (b) scanner πλάγιας όψης του ίδιου δείγματος. (c) scanner κοιλιακής-ραχιαία όψης του ίδιου δείγματος (Afonso et al. 2000).

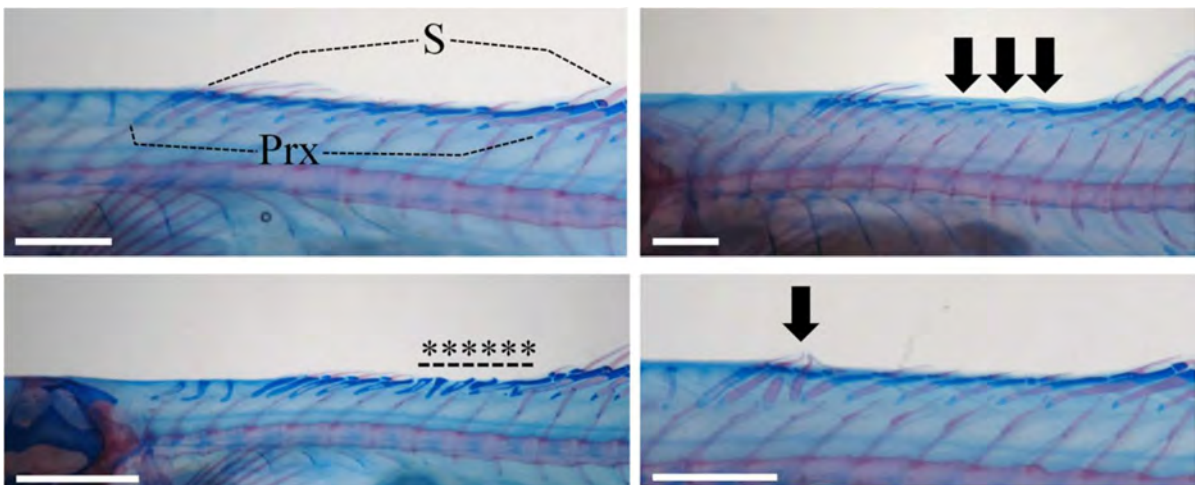
2.3. Πτερύγια

Γενικά, οι πιο σοβαρές παρατηρούμενες ανωμαλίες πτερυγίων είναι η παντελής έλλειψη πτερυγίου, η παρουσία υπεράριθμου πτερυγίου ή πτερυγίου σε μη φυσιολογική θέση (Boglione et al. 2013b). Η συχνότητα, το προσβεβλημένο πτερύγιο και η σοβαρότητα της ανωμαλίας ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα

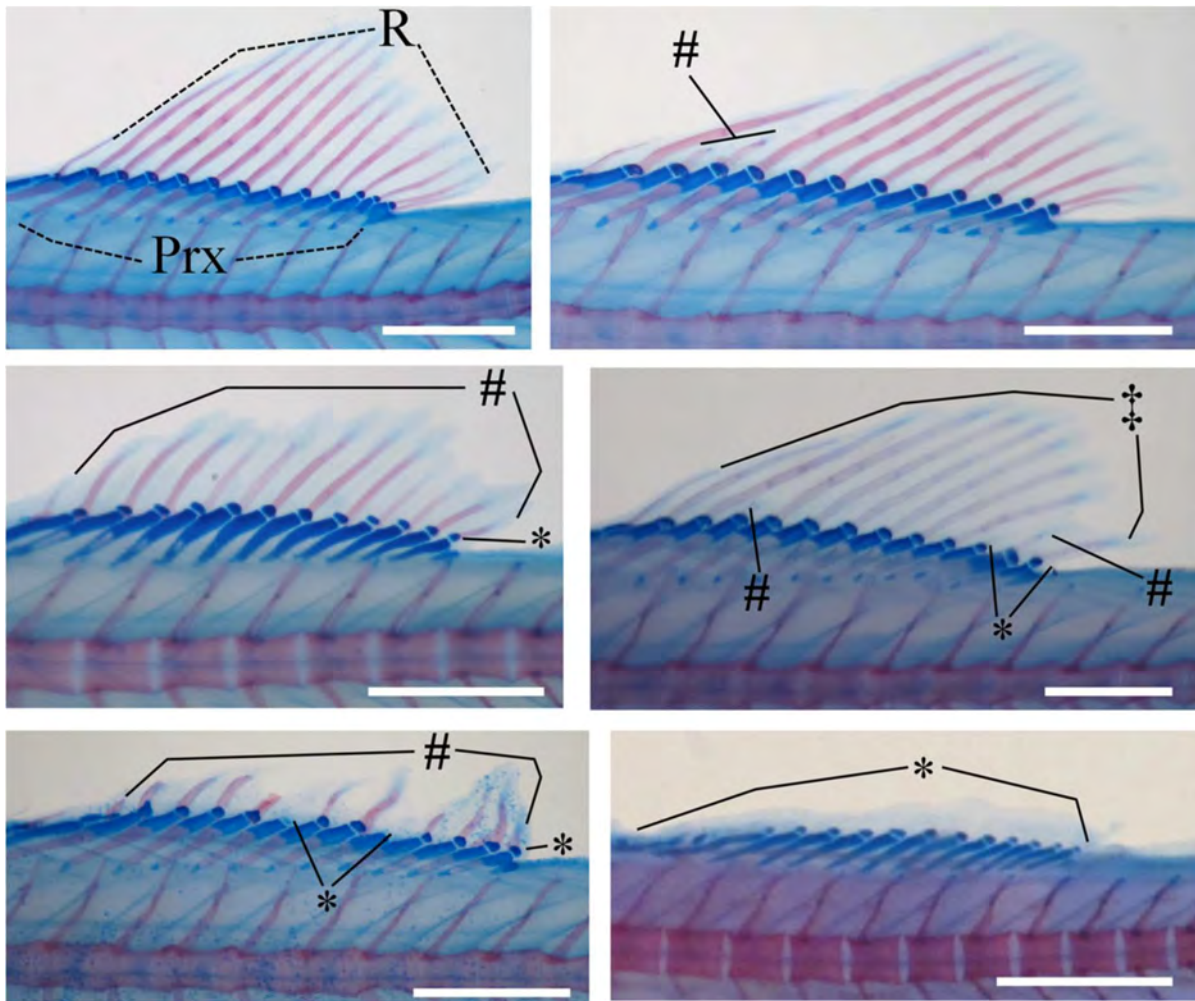
με το είδος, τη μεθοδολογία εκτροφής και τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής στα εκτρεφόμενα ψάρια (Boglione et al. 2013b). Η έλλειψη ενός τμήματος ή ολόκληρου του ραχιαίου ή του εδρικού πτερυγίου χαρακτηρίζεται ως σύνδρομο saddleback. Η ατελής ανάπτυξη του ραχιαίου ή του εδρικού πτερυγίου αποτελεί μία από τις σοβαρότερες παραμορφώσεις τους. Οι δυσμορφίες αυτές έχουν παρατηρηθεί στη τσιπούρα (*S. aurata*), στο λαβράκι (*D. labrax*), καθώς και στη συναγρίδα (*D. Dentex*) (Koumoundouros 2010). Ο σχηματισμός πρόσθετου ή διπλού ραχιαίου πτερυγίου είναι μια άλλη σοβαρή, αλλά σπάνια, ανωμαλία των πτερυγίων (Komada 1980, Matsusato 1986, Boglione et al., 2013b). Η πλάγια κάμψη, διπλασιασμός, μερική έλλειψη και στένωση του ουραίου πτερυγίου είναι σοβαρές οστεολογικές παραμορφώσεις και, λόγω της εμπλοκής του ουραίου πτερυγίου στην κολύμβηση, τέτοιες παραμορφώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε δευτερογενείς τροποποιήσεις των παρακείμενων σπονδύλων, που συστρέφονται ή συντήκονται και καταλήγουν τελικά σε λόρδωση, κύφωση ή/και σκολίωση στην περιοχή του ουραίου μίσχου (Koumoundouros, 2010). Σύντηξη, έλλειψη, επιπλέον σχηματισμός, μετατόπιση των υποστηρικτικών στοιχείων του πτερυγίου (Marino et al., 1993, Koumoundouros et al. 2001) και η κύρτωση των ακτίνων και των σπονδύλων (Paperna 1978, Daoulas et al. 1991), έχουν αμελητέα σημασία όσον αφορά την επίδρασή τους στο εξωτερική μορφολογία του τελικού προϊόντος (Boglione et al., 2013b).



Εικόνα 2.11. Παραμορφώσεις ραχιαίων και πυελικού πτερυγίου σε λαβράκια (Fragkoulis et al. 2017).



Εικόνα 2.12. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις συνδρόμου saddleback που επηρεάζει το πρόσθιο ραχιαίο πτερύγιο σε προνύμφες, 1^η εικόνα φυσιολογική (Fragkoulis et al. 2017).



Εικόνα 2.13. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις συνδρόμου saddleback που επηρεάζει το οπίσθιο ραχιαίο πτερύγιο σε προνύμφες. 1^η εικόνα φυσιολογική (Fragkoulis et al. 2017).

3. ΑΙΤΙΑ ΣΚΕΛΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Οι παράγοντες των σκελετικών παραμορφώσεων είναι ποικίλοι και διακρίνονται σε επιγενετικούς και γενετικούς. Στους επιγενετικούς ανήκουν:

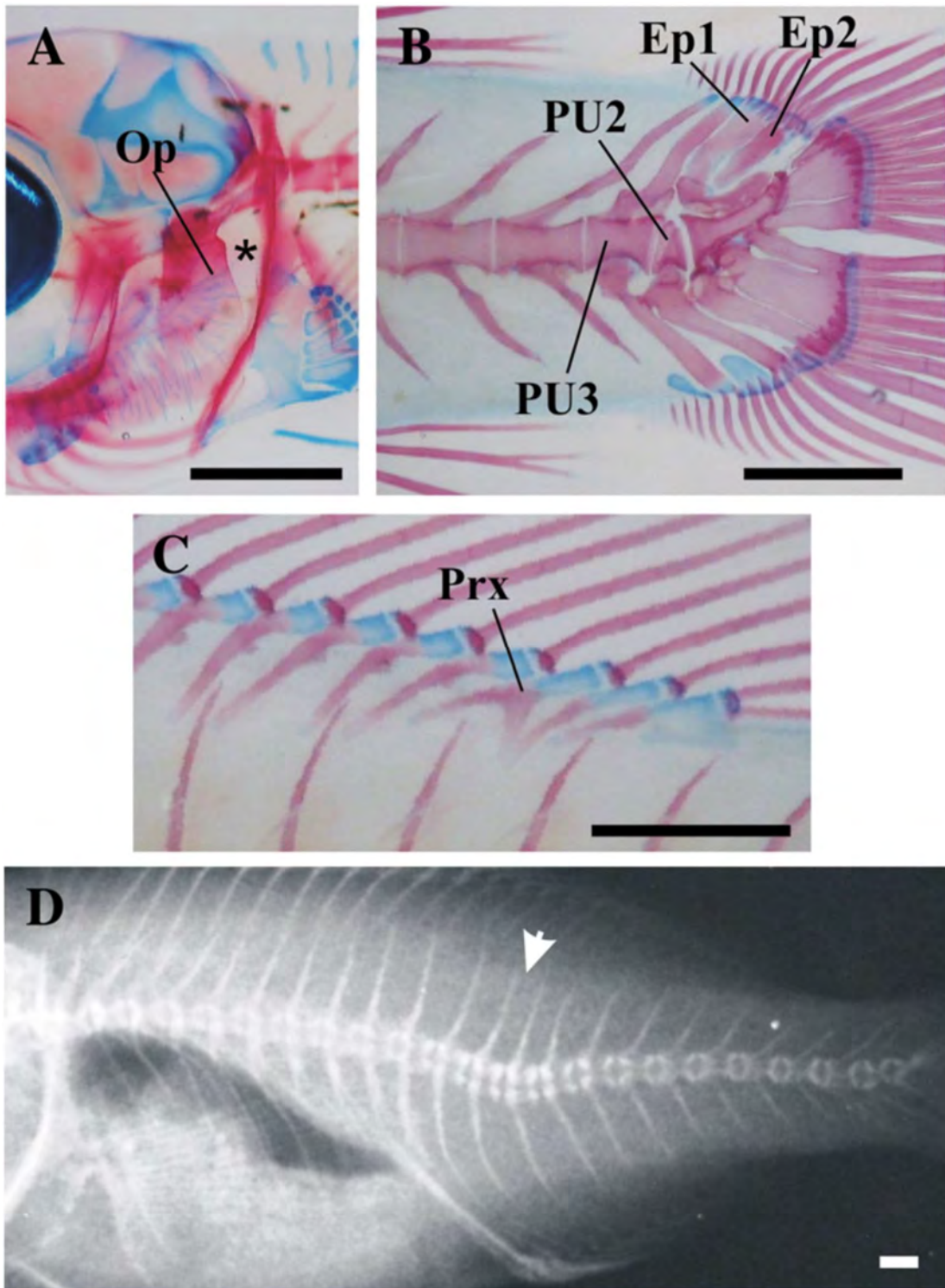
- οι αβιοτικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία το Ph και η αλατότητα
- οι βιοτικοί παράγοντες που περιλαμβάνουν τις διατροφικές ανάγκες των ειδών και τις μολύνσεις και
- τα βιομηχανικά λύματα, βαρέα μέταλλα, διάφορα εντομοκτόνα, παρασιτοκτόνα και φυτοφάρμακα.

Στους γενετικούς παράγοντες ανήκουν οι μεταλλάξεις, οι υβριδισμοί και αυτοί που σχετίζονται με τη ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης.

3.1. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού αποτελεί τη πιο σπουδαία από τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις των ψαριών. Είναι καθοριστικός παράγοντας λειτουργία ενός υδάτινου οικοσυστήματος καθώς επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και των άλλων ενώσεων, τον μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών και τη διάσπαση οργανικών ουσιών (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος 2010). Ακόμη η θερμοκρασία επηρεάζει τα ποικιλόθερμα ζώα δια μέσου της αναπνοής, της ανάπτυξης, της αναπαραγωγής και γενικότερα όλη τη δραστηριότητά τους. Τα ψάρια έχουν θερμικά όρια τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω, με βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης, επώασης των αυγών, πέψης της τροφής και αντίστασης σε ορισμένες ασθένειες (Νεοφύτου και Νεοφύτου 2017). Για τη τσιπούρα οι Georgakopoulou et al.(2010) πραγματοποίησαν έξι συνδυασμούς τριών θερμοκρασιών (16, 19 και 22 °C) κατά τη διάρκεια τριών

σταδίων: της ενδογενούς και της εξωγενούς διατροφής στο στάδιο της λάρβας (προνύμφης) και στο στάδιο του ιχθυδίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην ανάπτυξη της εσωτερικής πτύχωσης του βραγχιακού καλύμματος, της λόρδωσης, καθώς και των ήπιων παραμορφώσεων των στηρικτικών στοιχείων του ουραίου και ραχιαίου πτερυγίου. Πείραμα των Sfakianakis et al. (2006b) έδειξε ότι η λόρδωση ήταν πιο συχνή στα λαβράκια (*Dicentrarchus labrax*) που αναπτύχθηκαν στους 20 °C, σε σύγκριση με αυτά που αναπτύχθηκαν στους 15 °C.



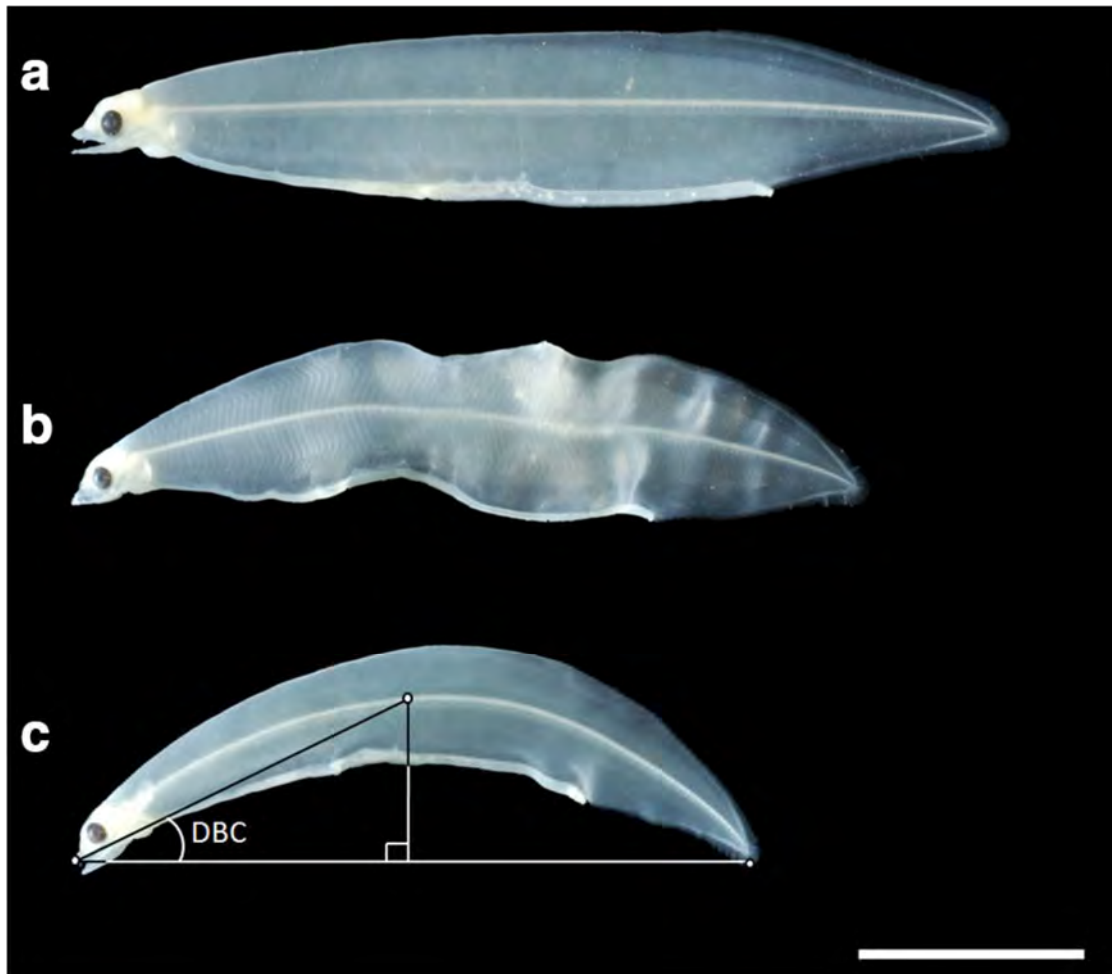
Εικόνα 3.1. Οι κύριες σκελετικές παραμορφώσεις αναπτύχθηκαν στους πειραματικούς πληθυσμούς του *Sparus aurata*. Α. Εσωτερική αναδίπλωση του οπίσθιου και του υποπεράκρου. Β. Μη φυσιολογική ανάπτυξη στα υποστηρικτικά στοιχεία του ουραίου πτερυγίου. Γ. Μη φυσιολογική ανάπτυξη των πτερυγιοφόρων του ραχιαίου πτερυγίου. Δ. Αιμαλόρδωση (βέλος). Ep1–Ep2, Epural 1 και 2. Op, operculum (βραγχιακό επικάλυμμα). Prx, εγγύς πτερυγιοφόρο. PU2, PU3, προ-ουρικό κέντρο 2 και 3. Ο αστερίσκος υποδεικνύει το μέρος του περιβλήματος που είναι διπλωμένο μέσα. Ράβδοι κλίμακας ίσες με 1 mm. (Georgakopoulou et al. 2010).

3.2. Ενεργός οξύτητα (pH)

Στα περισσότερα υδάτινα οικοσυστήματα οι τιμές του Ph κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 4 έως 9. Η πλειοψηφία των εκτρεφόμενων ειδών προτιμάει τιμές Ph μεταξύ 6 -8. Συχνά η αντοχή των ειδών ως προς την ενεργό οξύτητα αυξάνει με την ηλικία, το μέγεθος και με την περίοδο εγκλιματισμού των ειδών σε χαμηλά επίπεδα αυτής. Το Ph αυξάνει την τοξική δράση της αμμωνίας και την τοξικότητα πολλών μετάλλων, πολλά από τα οποία είναι ακίνδυνα σε αλκαλικό περιβάλλον (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος 2010). Στην τσιπούρα pH (μεταξύ 6.0 και 7.5 συγκριτικά με 8.0) επιδρά αρνητικά στην εκκόλαψη, στην επιβίωση, στην αύξηση και στις σκελετικές δυσμορφίες (Basallote *et al.*, 2012, Pimentel *et al.*, 2016, Κολυγάς κ.σ. 2019).

3.3. Αλατότητα

Η αλατότητα μπορεί να επηρεάσει έμμεσα τους οργανισμούς, επειδή η μεταβολή της προκαλεί τροποποίηση της φυσικοχημικής κατάστασης του νερού (μεταβολή της διαλυτότητας των αερίων, αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ωσμωρύθμιση κ.ά.). Στα γλυκά νερά συνήθως οι τιμές της είναι μικρότερες από 0,5, στα υφάλμυρα βρίσκονται μεταξύ 0,5 και 30, ενώ στην ανοιχτή θάλασσα η αλατότητα κυμαίνεται μεταξύ 33 και 39 (Νεοφύτου και Νεοφύτου 2017). Το ποσοστό εμφάνισης παραμορφωμένων προνυμφών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που έπασχαν από κύφωση και σκολίωση, ήταν σημαντικά υψηλότερο στο 50 % SW (35,8 %) από ότι στο 100 % SW (25,4%) στο ιαπωνικό χέλι (*Anguilla japonica*) (Okamura *et al.* 2015).



Εικόνα 3.2. *Anguilla japonica* (a) άρτια (κανονική) προνύμφη (b) προνύμφη με σκολίωση (c) προνύμφη με κύφωση (Okamura et al. 2015).

3.4. Ταχύτητα ροής

Η ταχύτητα ροής μπορεί να επηρεάσει πολύ την εμφάνιση σκελετικών ανωμαλιών. Ο Divanach (1997) έδειξε ότι όταν εκτρέφονταν λαβράκια σε δεξαμενές με μικρή ταχύτητα κίνησης του νερού_μόνο το 7% θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πολύ ελαφρά ή ελαφρά παραμορφωμένα με βάση τις ακτινογραφίες. Αντίθετα τα λαβράκια που εκτρέφονταν σε συνθήκες υψηλής ρευμάτωσης παρουσίασαν σε ποσοστό 47% ελαφριές ή πολύ ελαφριές παραμορφώσεις εμφανείς στις ακτινογραφίες και το 20% είχε σοβαρές δυσμορφίες.

3.5. Βαρέα μέταλλα

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στους υδρόβιους οργανισμούς, υποδηλώνει είτε προηγούμενη είτε παρούσα έκθεσή τους σε αυτά. Η τοξικότητά μεταξύ των μετάλλων διαφέρει. Στο νερό βρίσκονται μέσω των βιογεωχημικών κύκλων καθώς και των ανθρωπογενών επιδράσεων (Νεοφύτου και Νεοφύτου 2017). Ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu), μπορούν να δράσουν επιβαρυντικά στα ψάρια.

Η χρόνια έκθεση στο Pb προκαλεί σκολίωση και ουραία ατροφία στην ιριδίζουσα πέστροφα (Davies et al. 1976). Επιπλέον υποανάπτυξη γνάθου, δυσπλασίες σπονδυλικής στήλης και κρανίου παρουσιάστηκαν στις προνύμφες *Cyprinus carpio* μετά από έκθεση κατά την εμβρυϊκή ανάπτυξη σε χαλκό (Cu) σε pH 6,3 (Stouthart et al. 1996).

3.6. Πυκνότητα εκτροφής

Η πυκνότητα εκτροφής μπορεί να επηρεάσει την ευζωία των ψαριών με έμμεσο κυρίως τρόπο, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας νερού ή/ και να εμποδίσει την έκφραση κοινωνικών σχέσεων και συμπεριφορών που απαιτούνται για την καλή διαβίωση των ζώων. Στη τσιπούρα, χαμηλότερο ποσοστό σκελετικών ανωμαλιών έχει παρατηρηθεί σε εκτροφές με μικρότερη ιχθυοφόρτιση (16 έναντι 100 ατόμων ανά λίτρο) (Prestinicola et al. 2013, Κολυγάς κ.σ. 2019).

3.7. Διατροφή

Η ορθή διατροφή των οργανισμών είναι πολύ σημαντική ούτως ώστε να μπορέσουν να αναπτυχθούν φυσιολογικά.

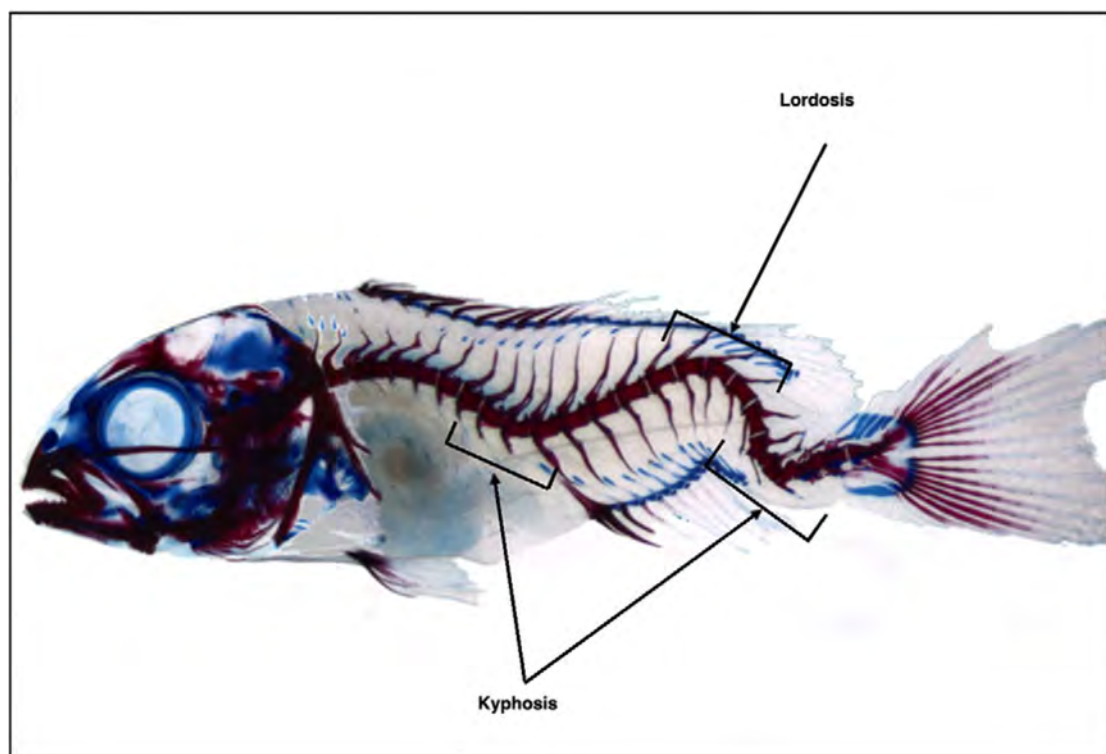
3.7.1. Βιταμίνες

Οι βιταμίνες αποτελούν μικρού μοριακού βάρους οργανικές ενώσεις με ποικίλη χημική σύσταση, βρίσκονται σε μικροποσότητες στις τροφές, δεν προσφέρουν ενέργεια, αλλά είναι αναγκαίες για την υγεία, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των ζωικών οργανισμών. Η ανεπάρκεια ή η έλλειψη μιας βιταμίνης μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στον οργανισμό γνωστά ως αβιταμινώσεις, η υπερβολική πρόσληψη βιταμινών μπορεί και αυτή να οδηγήσει σε παθολογικές τις χαρακτηριζόμενες ως υπερβιταμινώσεις. Οι βιταμίνες μπορούν διακριθούν σε αυτές που συντίθενται από τον οργανισμό, αλλά σε ποσότητες που δεν επαρκούν ούτως ώστε να καλύψουν τις ανάγκες του, και σε αυτές που δεν συντίθενται από τον οργανισμό. Επιπλέον οι βιταμίνες μπορούν να διαχωριστούν στις λιποδιαλυτές (Α, D, E, K) και τις υδροδιαλυτές (C και βιταμίνες συμπλέγματος Β). Ακόμη οι βιταμίνες μπορούν να διακριθούν σε αυτές που μετέχουν ή δρουν ως συνένζυμα (όλες του συμπλέγματος Β) και σε αυτές που δε χαρακτηρίζονται από συνενζυμική δράση (όλες οι λιποδιαλυτές, C, ινσιτολή και χολίνη) (Παπουτσόγλου 2008, Καραπαναγιωτίδης αδημοσίευτα αρχεία).

Βιταμίνη Α (ρετινόλη)

Η βιταμίνη Α είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό στα ζώα, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών. Η ανεπάρκεια βιταμίνης οδηγεί σε καθυστέρηση ανάπτυξης, κακή όραση, δερματικές αιμορραγίες, εξωφθαλμία και αλλοιωμένο ηπατοσωματικό δείκτη (Haga et al. 2011). Στη φύση συναντάται σε 3 μορφές αλκοόλη αλδεύδη και οξύ (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία). Η βιταμίνη Α παίζει

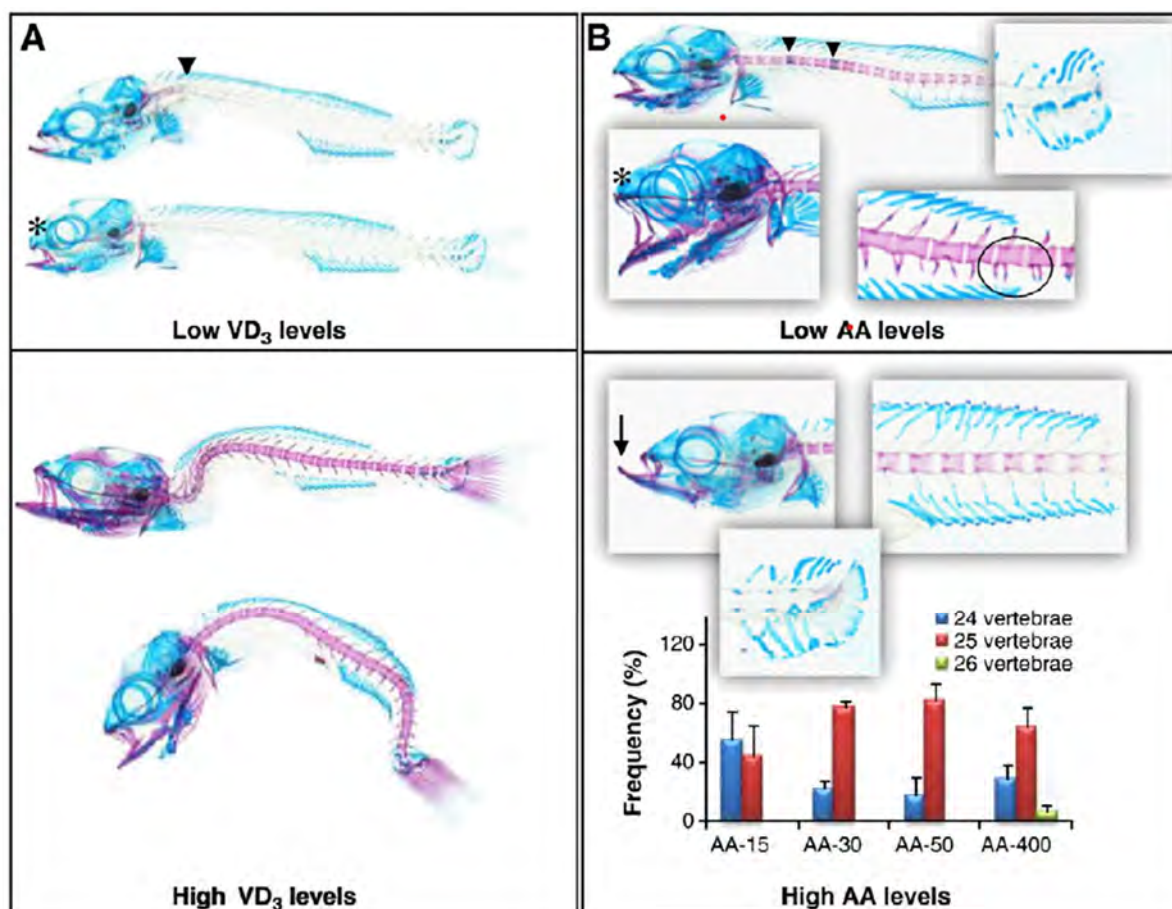
σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των οστών και την αναπαραγωγή και φυσιολογική διατήρηση του επιθηλιακού ιστού σε όλα τα σπονδυλωτά (Lall & Lewis-McCrea 2007). Από πείραμα των Fernandez et al. (2008) προέκυψε ότι υψηλότερα επίπεδα βιταμίνης A από αυτά που περιλαμβάνονται στο εμπορικό γαλάκτωμα για εμπλουτισμό rotifer οδήγησαν σε διαφορετικά επίπεδα και τύπους σκελετικών παραμορφώσεων, υποδεικνύοντας ότι οι προνύμφες της τσιπούρας ήταν πολύ ευαίσθητες σε μικρές αυξήσεις της βιταμίνης A οι σκελετικές δομές που επηρεάστηκαν κυρίως από υψηλές ποσότητες βιταμίνης A ήταν αυτές από τον κρανιακό σκελετό, τα σπονδυλικά κέντρα και το σύμπλεγμα του ουραίου πτερυγίου. Ακόμη στο λαβράκι έχει αναφερθεί ότι η περίσσεια και η ανεπάρκεια βιταμίνης A οδήγησε στην εμφάνιση σκελετικών παραμορφώσεων (Villeneuve et al. 2006 ,Mazurais et al. 2009, Darias et al. 2011).



Εικόνα 3.3. Ψάρι που παρουσιάζει λόρδωση και κύφωση (Fernandez et al. 2008).

Βιταμίνη D (καλσιφερόλη)

Η βιταμίνη D είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ομοιόστασης του ασβεστίου, των ανόργανων φωσφορικών αλάτων και τη προστασία της ακεραιότητας των οστών, ακόμη διεγείρει την απορρόφηση του ασβεστίου από το εντερικό βλεννογόνο και επηρεάζει τη δράση της παραθυρεοειδούς ορμόνης στους σκελετικούς ιστούς (Halver 2002, Boglione et al. 2013b). Οι Darías et al. (2010a) βρήκαν πως οι υψηλές ποσότητες βιταμίνης D3 μπορούν να οδηγήσουν σε σκελετικές δυσμορφίες σε νεαρά άτομα ευρωπαϊκού λαβρακιού σύμφωνα με τους Darías et al. (2011). Επιπλέον οι Haga et al. (2004a) ανέφεραν ότι τα πρώιμα νεανικά ιαπωνικής χωματίδας (*Japanese flounder*) όταν τρέφονταν με υπερβολική ποσότητα βιταμίνη D3 παρουσίασαν αύξηση στις σκελετικές διαταραχές (Boglione et al. 2013b).



Εικόνα 3.4. Σκελετικές διαταραχές που παρατηρήθηκαν σε προνύμφες ευρωπαϊκού λαβρακιού εξαιτίας ανεπαρκών επιπέδων βιταμίνης D3 (VD3) και ασκορβικού οξέος (AA) (Darias et al. 2011).

Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ)

Συνηθισμένα συμπτώματα όταν παρουσιάζεται έλλειψη βιταμίνης C, είναι η μειωμένη σύνθεση κολλαγόνου στα οστά, η εμφάνιση σκολίωσης και λόρδωσης, μειωμένα επίπεδα αιματοκρίτη και οι αιμορραγίες στο δέρμα (Παπουτσόγλου, 2008).

Το ασκορβικό οξύ, λειτουργεί ως αναγωγικό μέσο για τη μεταφορά υδρογόνου, ενώ δρα και ως αντιοξειδωτικό είναι απαραίτητο για τη σύνθεση κολλαγόνου και του χόνδρινου ιστού των δοντιών και των οστών. Βιταμίνη C απαιτείται συμπλήρωμα για τα περισσότερα ψάρια καθώς είναι ανίκανα να τη συνθέσουν ή να τη συνθέσουν επαρκώς (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία, Lall & Lewis-McCrea, 2007). Σολομοί του

Ατλαντικού που τρέφονταν με σιτηρέσιο που περιείχε 0,05 g βιταμίνης C/kg _εμφάνισαν λόρδωση και σκολίωση (Hardie et al. 1991)._Σύμφωνα με τους Madsen και Dalsgaard (1999) η εκτερφόμενη ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) μπορεί να αναπτύξει πιο σοβαρές σκελετικές ανωμαλίες στο κρανιακό, έσω και ουραίο τμήμα της σπονδυλικής στήλης όταν αυτά τρέφονται με δίαιτα με χαμηλή συγκέντρωση βιταμίνης C (Berillis 2015).

Βιταμίνη E (τοκοφερόλη)

Η βιταμίνη E έχει αντιοξειδωτική δράση, πραγματοποιεί πολλές λειτουργίες στα εκτερφόμενα ψάρια, όπως η πρόληψη υπεροξειδωσης των φωσφολιπιδίων της κυτταρικής και υποκυτταρικής μεμβράνης, βοηθά στη διατήρηση της δομικής και λειτουργικής ακεραιότητας του ζωικού κυττάρου, ενισχύει την ανοσολογική απόκριση, την ανάπτυξη και αλληλεπιδρά με μικροθρεπτικά συστατικά κυρίως τη βιταμίνη C και το Se (El- Sayed & Izquierdo 2021). Η πιο δραστική από τις ενώσεις που δρουν ως βιταμίνη E είναι η τοκοφερόλη A. (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία). Προνύμφες τσιπούρας (*Sparus aurata*) τράφηκαν με υψηλές ποσότητες βιταμίνης C και βιταμίνης E και παρουσιάστηκε αύξηση των σκελετικών ανωμαλιών (Izquierdo et al. 2019).

Βιταμίνη K (ναφθοκινόνη)

Η βιταμίνη K ρυθμίζει τον σχηματισμό οστών μέσω της σύνθεσης οστεοκαλσίνης από οστεοβλάστες, η οποία είναι σημαντική για την ανοργανοποίηση και τη δομή των οστών (Berillis 2015). Είναι γνωστό ότι η βιταμίνη K ρυθμίζει την οστική διαμόρφωση μέσω των οστεοβλαστών οι οποίοι συνδέονται με τη δομή των οστών. Η ανεπάρκεια της βιταμίνης K μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του χρόνου πήξεως του

αίματος ,σε δερματικές αιμορραγίες και σε αναιμία (Παπουτσόγλου 2008). Αυτή η βιταμίνη εμφανίζεται σε τρεις διαφορετικές μορφές, K1 (φυλλοκινόνες, 2-μεθυλ-3-φυτυλ-1, 4-ναφθοκινόνη), K2 (μενακινόνες, 2- μεθυλ-1, 4-ναφθοκινόνες) και K3 (μεναδιόνες) (Lall & Lewis McCrea 2007). Σύμφωνα με τους Sivagurunathan et al. (2023) η ανεπάρκεια και η περίσσεια βιταμίνης K3 επηρεάζουν αρνητικά την υγεία των οστών της τσιπούρας (*Sparus aurata*).

Βιταμίνη B3 (νιασίνη)

Οι βιταμίνες B λειτουργούν ως συνένζυμα στα κύρια μεταβολικά μονοπάτια που παράγουν ενέργεια και στην αποδόμηση και σύνθεση νουκλεϊκών οξέων, πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων (Boglione et al., 2013b).

3.7.2. Αμινοξέα

Οι πρωτεΐνες είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις οι οποίες συντίθενται από αμινοξέα,τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς,αποτελούν δομικά υλικά των κυττάρων και καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των ζωικών οργανισμών. Τα αμινοξέα διακρίνονται σε:

- α) απαραίτητα, τα οποία είναι αναγκαία για την επιβίωση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή και τα ψάρια θα πρέπει να τα προσλάβουν απευθείας από τη τροφή τους
- β) ημι-απαραίτητα αμινοξέα, τα οποία μπορεί ο οργανισμός να τα συνθέσει από κάποια απαραίτητα
- γ) μη απαραίτητα αμινοξέα, που ο οργανισμός είναι σε θέση να τα συνθέσει ώστε να καλύψει τις ανάγκες του (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία)

Σπονδυλικές ανωμαλίες βρέθηκαν σε ιριδίζουσες πέστροφες που προσέβαλαν υψηλή ποσότητα λευκίνης (Choo et al. 1991, Boglione et al., 2013b). Επιπλέον έχει αναφερθεί ότι η ανεπάρκεια του αμινοξέος τρυπτοφάνη προκαλεί σκολίωση σε σαλμονοειδή, όπως ο σολομός sockeye, η ιριδίζουσα πέστροφα, ο σολομός coho και ο σολομός chum (Akiyama et al. 1986, Cahu et al. 2003b).

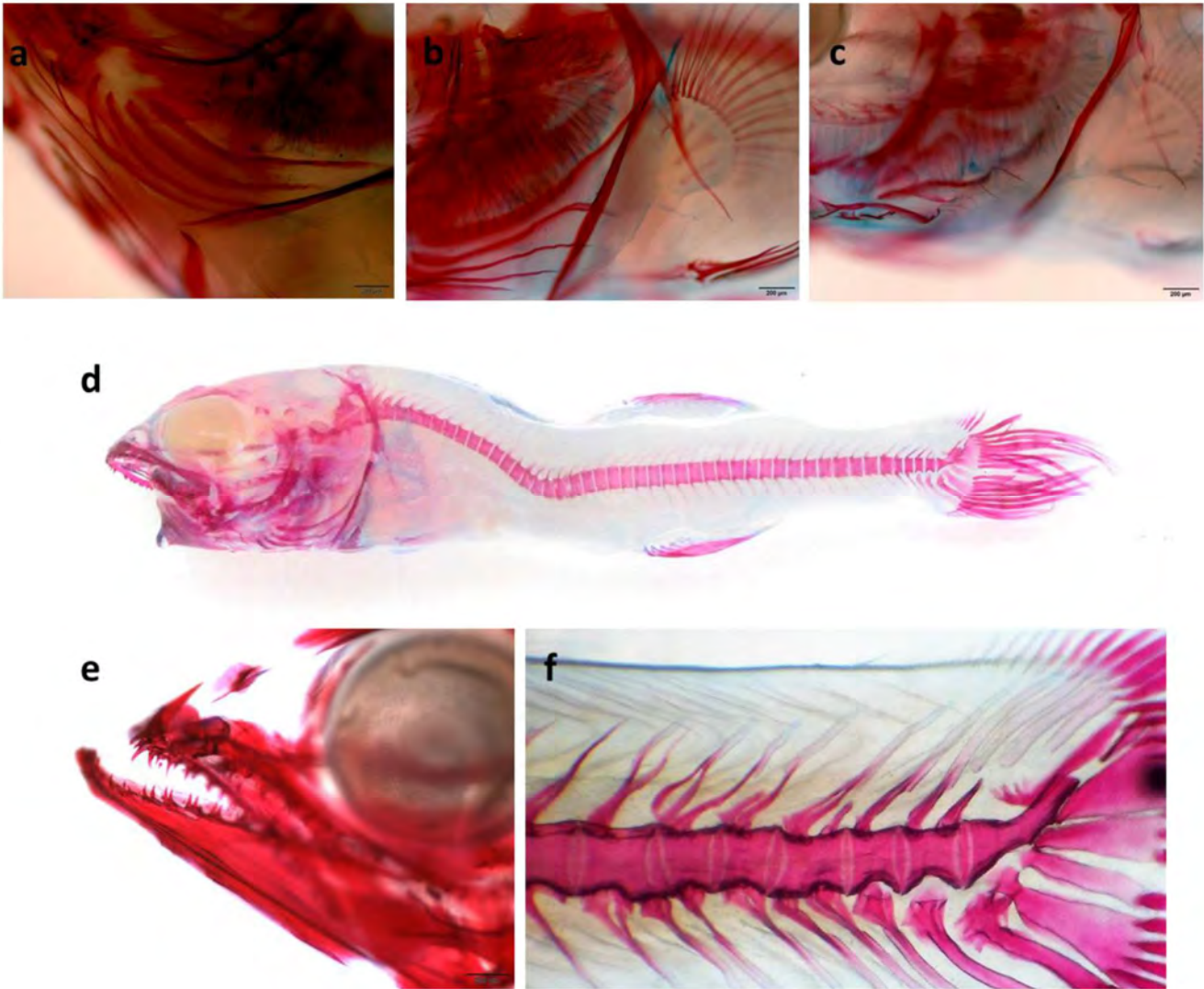
3.7.3. Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν τη δομική μονάδα, όλων των λιπιδίων (εκτός της χοληστερόλης), τα οποία είναι οι κύριες αποθήκες ενέργειας για τους οργανισμούς, αποτελούνται από μία καρβοξυλική ομάδα και μία μεταβλητή R-ομάδα ανθρακικής αλυσίδας. Τα λιπαρά οξέα με βάση την απουσία ή την ύπαρξη διπλών δεσμών στη ανθρακική αλυσίδα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- 1) κορεσμένα λιπαρά οξέα στα οποία η ανθρακική τους αλυσίδα δε περιέχει διπλούς δεσμούς
- 2) μονοακόρεστα λιπαρά οξέα τα οποία έχουν ένα διπλό δεσμο στην ανθρακική τους αλυσίδα
- 3) πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) που έχουν δύο ή περισσότερους δεσμούς στην αλυσίδα τους

Τα ψάρια και όλοι οι σπονδυλωτοί ζωικοί οργανισμοί δεν είναι σε θέση να συνθέσουν τα ω-3 και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και έτσι ονομάζονται απαραίτητα λιπαρά οξέα· είναι αναγκαία για τη φυσιολογική ανάπτυξη, την υγεία και την αναπαραγωγή, ιδίως τα 20: 4ω-6 (αραχιδονικό οξύ), 20:5ω-3 (εικοσαπεντανοϊκό οξύ ή EPA), και 22:6ω-3

(εικοσιδιεξαεξαενοϊκό οξύ ή DHA) (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία). Μελέτες για τις προνύμφες του ευρωπαϊκού λαβρακιού έχουν δείξει μια σχέση μεταξύ των διαιτητικών PUFA, ιδιαίτερα διαιτητική συγκέντρωση EPA και DHA, και των σπονδυλικών δυσπλασιών (Villeneuve et al., 2005, 2006, Lall & Lewis-McCrea 2007). Επιπλέον έρευνα των Kertaoui et al (2021), έδειξε ότι το διαιτητικό επίπεδο και η αναλογία DHA και ARA επηρεάζει την εμφάνιση σκελετικών ανωμαλιών στις προνύμφες του *Sander lucioperca* μέσω μιας ρύθμισης της γονιδιακής έκφρασης που σχετίζεται με την ανοσία και το στρες.



Εικόνα 3.5. Σκελετικές ανωμαλίες σε προνύμφες *Sander lucioperca*. (α) Προνύμφες που εμφανίζουν φυσιολογική μορφολογία βραγχιοστεγών ακτίνων ακτίνων. (β) Οι προνύμφες εμφανίζουν ελαφρώς παραμορφωμένες διακλαδόμενες ακτίνες. (γ) Συνεστραμμένες και συντηγμένες βραγχιοστεγείς ακτίνες. (δ) Προνύμφες που παρουσιάζουν σοβαρή λόρδωση και ανωμαλία του κρανίου με έντονη μείωση της κάτω γνάθου. (ε) Αύξηση κάτω γνάθου. (φ) Προνύμφες που παρουσιάζουν συμπίεση του σπονδυλικού σώματος και σύντηξη με νευρικές ανωμαλίες της σπονδυλικής στήλης. (Kertaoui et al., 2021).

3.7.4. Ανόργανα στοιχεία

Τα ανόργανα στοιχεία βρίσκονται σε μικροποσότητες στους ιστούς των ψαριών και αποτελούν δομικά συστατικά των κυττάρων και των ιστών. Ελέγχουν το

μεταβολισμό των θρεπτικών ουσιών, την ανταλλαγή αερίων και ενέργειας στα διάφορα κυτταρικά συστήματα, ρυθμίζουν το οξυ-βασικό ισοζύγιο, την ωσμωτική ρύθμιση με το νερό, το νευρικό και το ενδοκρινικό σύστημα (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία). Οι συγκεντρώσεις των διάφορων ανόργανων στοιχείων στο σώμα των ψαριών εξαρτώνται από τη χημική σύσταση του περιβάλλοντος στο οποίο ζουν, τη χημική σύσταση της τροφής τους, το είδος τους, τη βιολογική φάση και τη φυσιολογική κατάσταση στην οποία βρίσκονται (Παπουτσόγλου 2008). Τα ανόργανα στοιχεία διακρίνονται στα μακροστοιχεία (Ca,P,Mg,K,Na,Cl,S) και ιχνοστοιχεία (Fe,Cu,Zn,Mn,Se,Co,F,Cr,Ni,V,M,I). Τα μακροστοιχεία απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα ιχνοστοιχεία.

Μακροστοιχεία:

- Ασβέστιο (Ca)

Το Ca και ο P αποτελούν τα κύρια συστατικά της σκελετικής δομής των υδρόβιων οργανισμών (Eissa et al. 2021) και σχετίζονται με την ανάπτυξη και συντήρηση του σκελετικού συστήματος. Η ρύθμιση του Ca πραγματοποιείται στα βράγχια, στα πτερύγια και στο στοματικό επιθηλιακό ιστό. Το απορροφούμενο ασβέστιο εναποτίθεται στα οστά, στα λέπια και στο δέρμα (Lall & Lewis-McCrea 2007) Το ασβέστιο είναι απαραίτητο για την πήξη του αίματος, τη μυϊκή λειτουργία, την ωσμορύθμιση και ως συν-παράγοντας για ενζυμικές διεργασίες (Lall 2002, Boglione et al. 2013b). Έχει αναφερθεί ότι η διατροφική ανεπάρκεια Ca στην ιριδίζουσα πέστροφα οδηγεί σε τροποποιήσεις στο σχήμα και στο μέγεθος των σπονδύλων (μικρότεροι σπόνδυλοι στο πρόσθια και μεσαία περιοχή της σπονδυλικής στήλης και ακανόνιστη τοποθέτηση των σπονδύλων στη στήλη) (Fontagne et al. 2009).

-Φώσφορος (P)

Ο φώσφορος (P) είναι συστατικό πολλών οργανικών φωσφορικών αλάτων και παίζει ρόλο σε μεταβολικές διεργασίες (Boglione et al. 2013b). Συμπτώματα ανεπάρκειας φώσφορου αποτελούν η μειωμένη ανάπτυξη, η μειωμένη απόδοση της τροφής, κακή ανοργανοποίηση των οστών και σκελετικές ανωμαλίες (για ανασκόπηση, βλέπε Lall 2002, Sugiura et al. 2004, Lall & Lewis-McCrea 2007, NRC 2011, Παραμορφώσεις των οστών έχουν αναφερθεί σε σολομό (Watanabe et al. 1980) σε κυπρίνο και σε ιριδίζουσα πέστροφα (Ogino and Takeda, 1976, 1978, Ogino et al. 1979) που τρέφονταν με δίαιτες χαμηλής περιεκτικότητας σε φωσφόρο (Berillis 2015).

-Μαγνήσιο (Mg)

Το μαγνήσιο βρίσκεται κυρίως στα οστά των ψαριών και στους μαλακούς ιστούς τους και συμμετέχει σε ενζυμικές αντιδράσεις του μεταβολισμού (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία). Στα ψάρια των γλυκών υδάτων η παρατεταμένη έλλειψη μαγνησίου από τη τροφή τους προκαλεί μείωση της ορέξεως και του ρυθμού αναπτύξεώς τους, λήθαργο, μείωση της κολυμβητικής δραστηριότητας και αύξηση της θνησιμότητας (Παπουτσόγλου 2008). Ακόμη η ανεπάρκεια μαγνησίου μπορεί να προκαλέσει σκελετικές δυσμορφίες και μυϊκή δυστροφία (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία).

Ιχνοστοιχεία:

-Μαγγάνιο (Mn)

Η ανεπαρκής παρουσία διαθέσιμου μαγγανίου μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή διάφορων ενζυμικών διεργασιών των ηπατοκυττάρων, ανεπαρκή αξιοποίηση της τροφής,

σε κάποιες περιπτώσεις σε παρουσίαση καταρράκτη των οφθαλμών (Παπουτσόγλου 2008) και σε σκελετικές δυσμορφίες (Καραπαναγιωτίδης, αδημοσίευτα αρχεία).

3.8. Γενετικοί παράγοντες

Γενετικοί παράγοντες είναι πιθανώς υπεύθυνοι για τον επιπολασμό διαφορετικών σκελετικών παραμορφώσεων σε διαφορετικά είδη (Berillis, 2017). Στην τσιπούρα *Sparus aurata* διαδοχική επανάληψη λόρδωσης, σκολίωσης και κύφωσης (LSK) από το κεφάλι προς το ουραίο περύγιο συσχετίστηκε στατιστικά με την οικογενειακή δομή (Afonso 2000, Berillis, 2015). Επιπλέον στο ίδιο είδος λόρδωση θα μπορούσε γενετικά να αποδοθεί σε αδυναμία πλήρωσης και διόγκωσης της νηκτικής_ κύστης (García-Celdrán et al. 2016, Eissa et al. 2021).

3.9. Παθογόνοι οργανισμοί

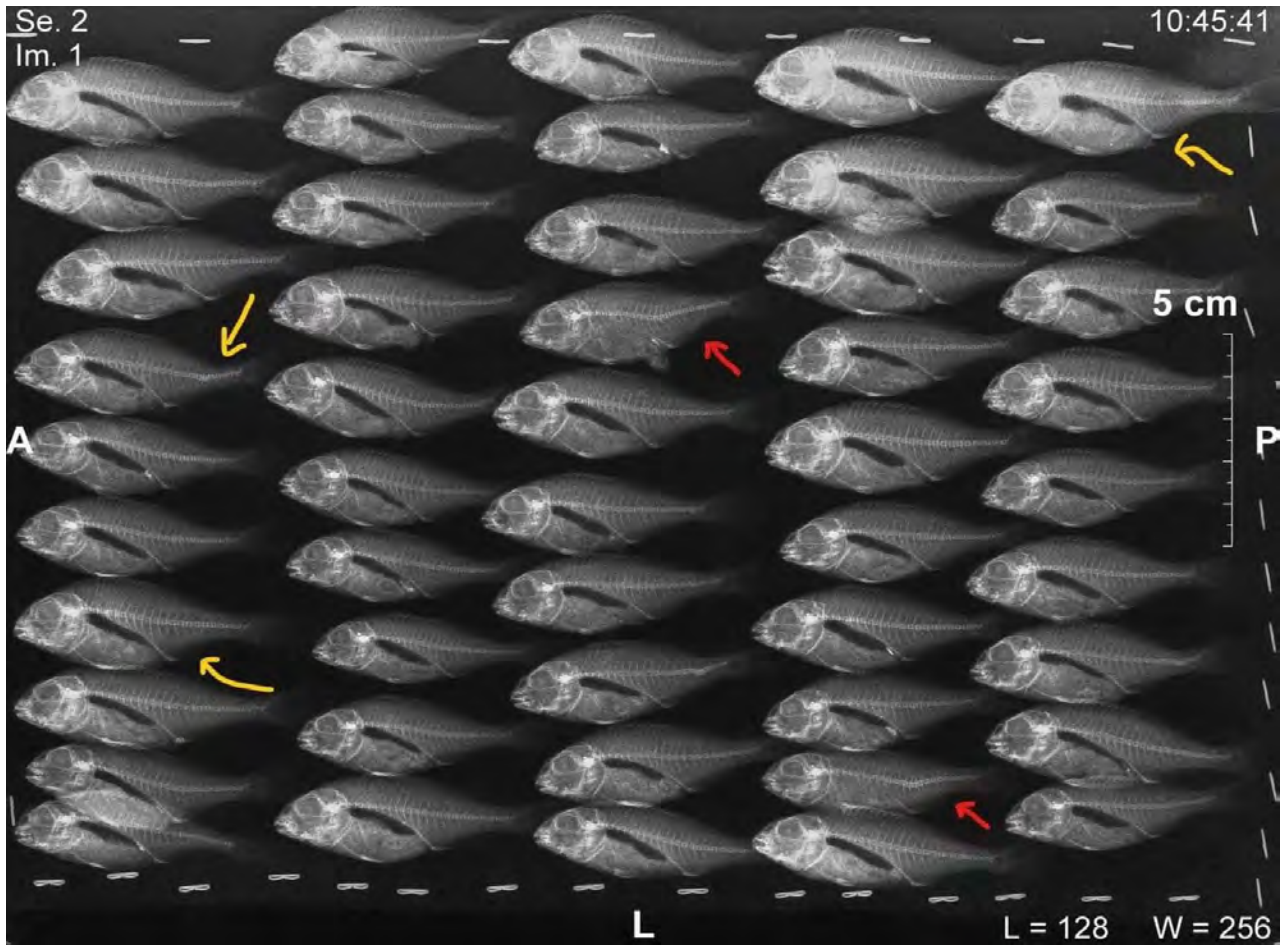
Το βακτήριο *Streptococcus agalactiae* μπορεί να προκαλέσει κύφωση, κρανιακή κοιλότητα,_σκολίωση, απουσία πτερυγίων και απουσία ουράς στη τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (Pasnik et al. 2007). Ακόμη από το παράσιτο *Myxobolus cerebralis* έχουν καταγραφεί πολυάριθμες περιπτώσεις σκολίωσης και κεφαλικών παραμορφώσεων στη πέστροφα της λίμνης και στην ιριδίζουσα πέστροφα σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιεργειών από διαφορετικές πολιτείες των ΗΠΑ (MacConnell & Vincent 2002, Treasurer 1992, Eissa et al. 2021).



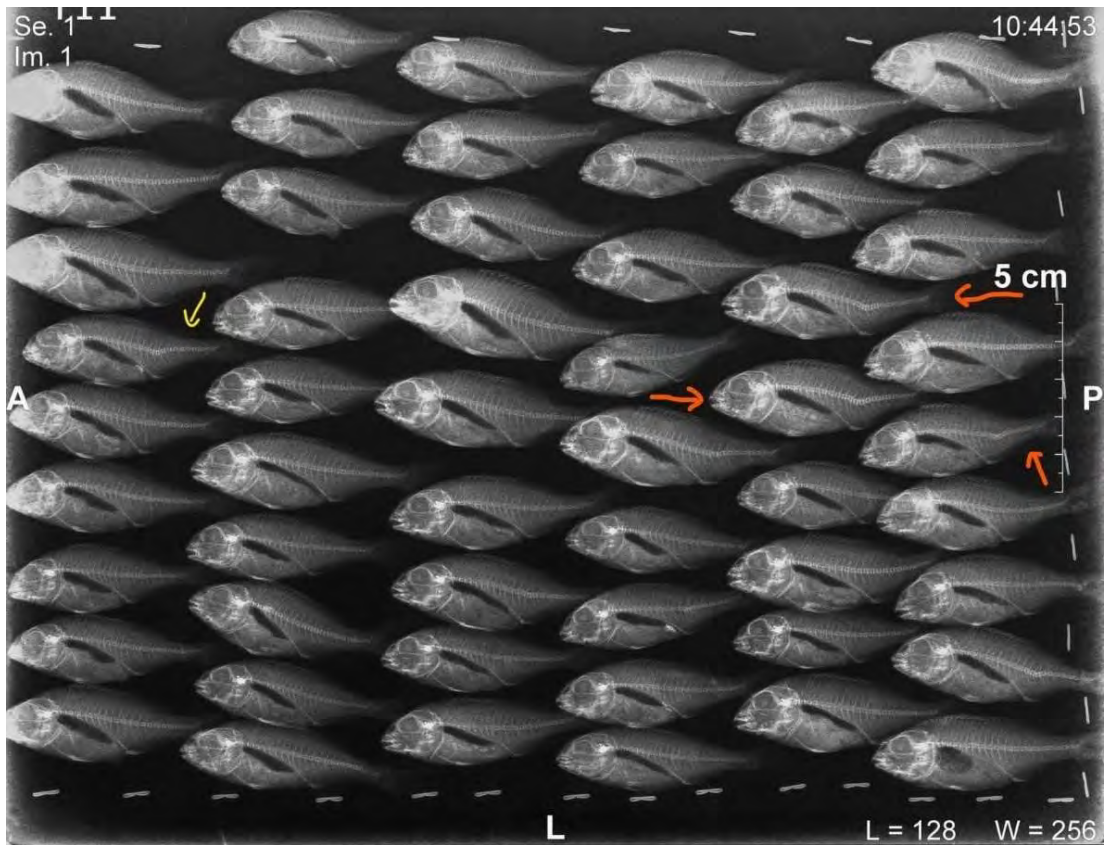
Εικόνα 3.6. Σκολίωση σε ιριδίζουσα πέστροφα (Eissa et al. 2009, 2021).

4. ΔΙΑΓΝΩΣΗ

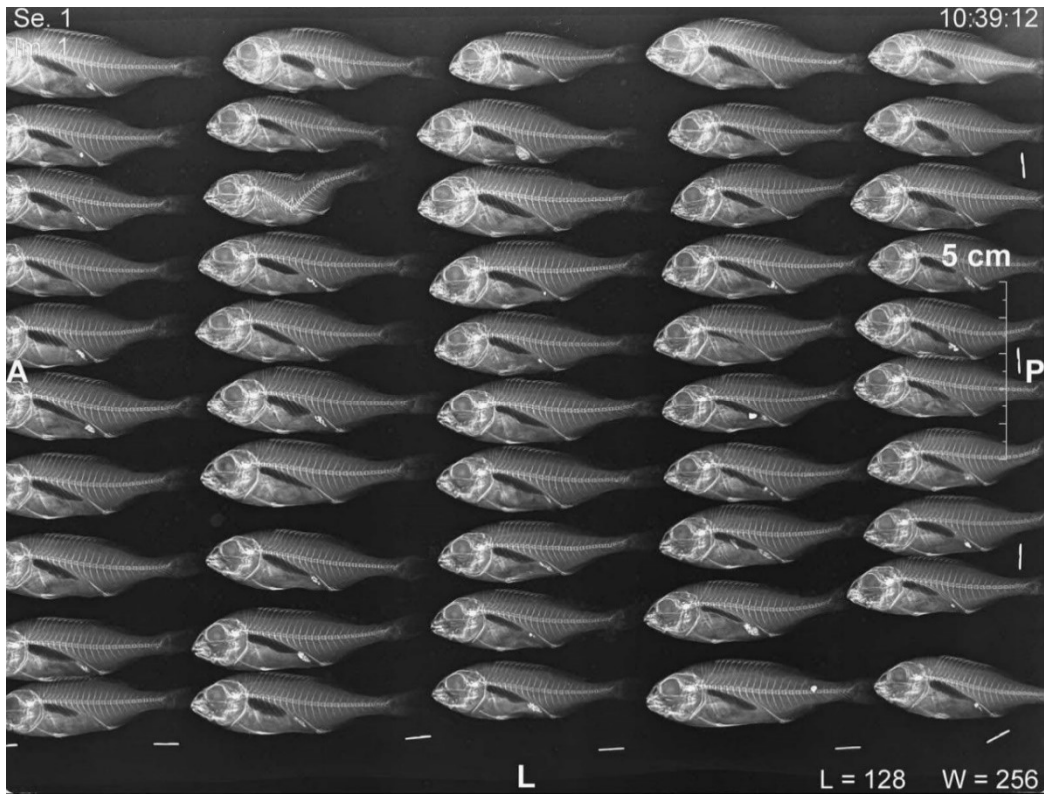
Για τη διερεύνηση των σκελετικών ανωμαλιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιστολογικές, υπερηχογραφικές και ακτινολογικές εξετάσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται ακτινογραφίες για τη μελέτη του ποσοστού σκελετικών δυσμορφιών από μονάδα υδατοκαλλιεργειών.



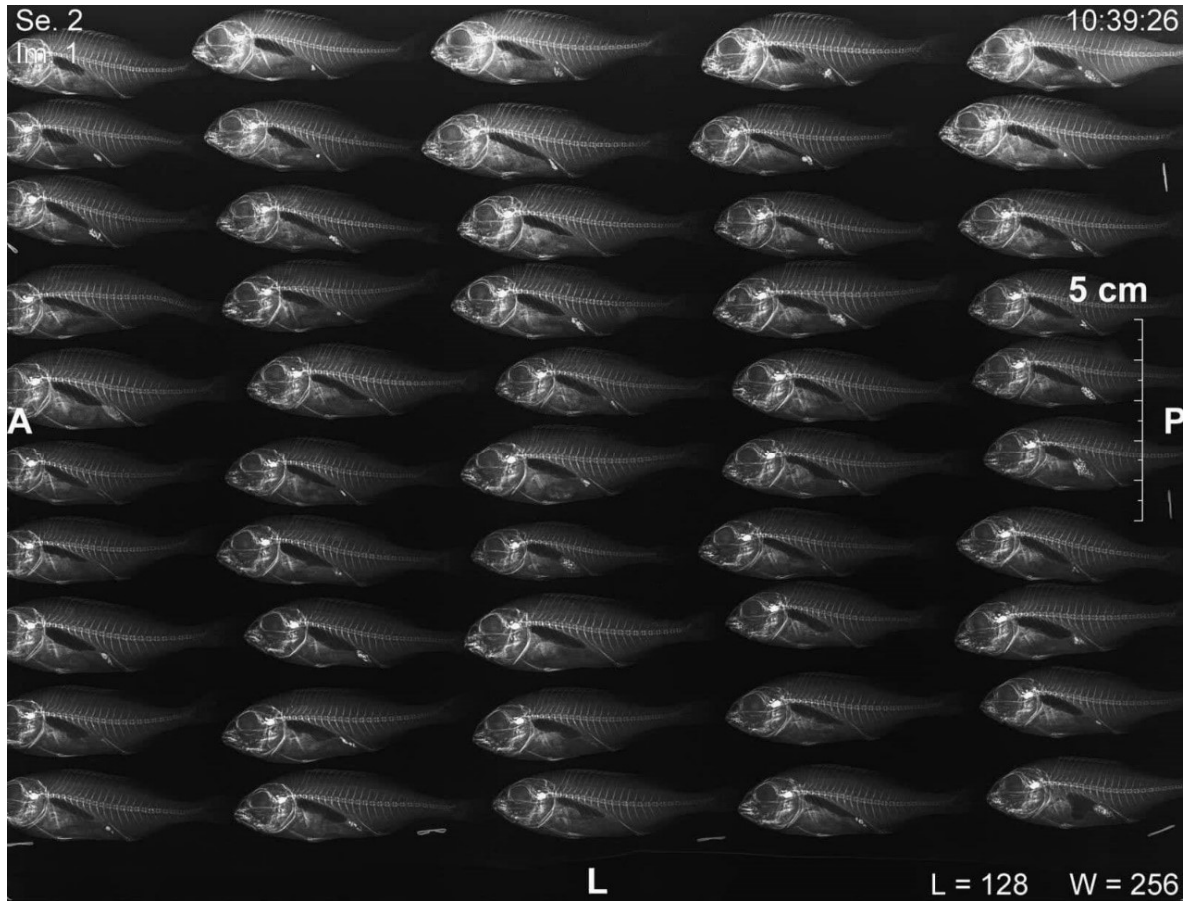
Εικόνα 4.1. Μελέτη σκελετικών δυσμορφιών σε μονάδα υδατοκαλλιεργειών (αρχείο Παπαπάσχου 2022).



Εικόνα 4.2. Μελέτη σκελετικών δυσμορφιών σε μονάδα υδατοκαλλιέργειών (αρχείο Παπαπάσχου 2022).



Εικόνα 4.3. Μελέτη σκελετικών δυσμορφιών μονάδας υδατοκαλλιεργειών (αρχείο Παπαπάσχου 2022).



Εικόνα 4.4. Έλεγχος σκελετικών δυσμορφιών σε μονάδα υδατοκαλλιεργειών (αρχείο Παπαπάσχου 2022).

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι σκελετικές δυσμορφίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες των ψαριών επηρεάζοντας π.χ. την άνωση, τη κολύμβηση και την αναπνοή. Ο βαθμός εμφάνισης των σκελετικών παραμορφώσεων είναι ενδεικτικός λανθασμένης διαχείρισης ή/και μεταβολής περιβαλλοντικών συνθηκών (Eissa et al. 2021). Ιχθύες με σκελετικές παραμορφώσεις ζουν λιγότερο από τους φυσιολογικούς και είτε πωλούνται σε χαμηλές τιμές είτε δεν πωλούνται καθόλου καθώς δεν προτιμώνται από τους καταναλωτές. Οι σκελετικές ανωμαλίες είναι ένα σύνθετο μείγμα από διαφορετικές διαταραχές των οστών και δεν είναι καλά κατανοητές (Berillis 2015). Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως, η θερμοκρασία νερού η ταχύτητα ροής και ρύπανση από βαρέα μέταλλα και διατροφικοί παράγοντες, όπως η έλλειψη κάποιων βιταμινών, η παρουσία παθογόνων οργανισμών και γενετικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνισή τους. Το πρόβλημα προαιματικής λόρδωσης λόγω μη λειτουργικής νυκτικής κύστης, περιορίστηκε με τη χρήση μηχανισμών απομάκρυνσης ελαιώδους φίλμ από την επιφάνεια των δεξαμενών, έτσι οι νύμφες έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν τη φυσαλίδα αέρα για τη πλήρωση της νηκτικής τους κύστης (Chatain 1989). Χρειάζεται συνεχής έλεγχος της διαβίωσης των ιχθύων και η χρήση της σωστής διατροφής, ώστε οι εταιρείες παραγωγής ψαριών να κατορθώσουν, αν όχι να εξαλείψουν, τουλάχιστον να περιορίσουν την εμφάνιση των σκελετικών ανωμαλιών (Αρσενίου 2010). Λόγω του μεγάλου αριθμού, της κοινής συμπτωματολογίας της συνεργατικής δράσης και των ευρέων αναπτυξιακών φάσεων που δρουν, ο ακριβής προσδιορισμός των υπεύθυνων γενεσιουργών παραγόντων των σκελετικών δυσμορφιών είναι ακόμη δύσκολος (Divanach et al. 1996).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία.

Αρσενίου Κ. (2010) Σκελετικές δυσμορφίες των εκτρεφόμενων ιχθύων. Προπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Καραπαναγιωτίδης Ι.(2020). Διατροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών.

Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Βόλος.

Κλαουδάτος Σ. και Κλαουδάτος Δ.(2010) Κατασκευές υδατοκαλλιεργητικών συστημάτων θαλάσσιες – λιμνοθαλάσσιες – χερσαίες. Αθήνα.

Κολυγάς Μ., Παπαχαρίσης Λ., Παυλίδης Μ., Σαμαράς Α.Τσικοπούλου Ε., Φρέντζος Α.
(2019) Ευζωία μεσογειακών ιχθύων Οδηγός καλών πρακτικών και δείκτες εκτίμησης. ΕΛΟΠΥ (Ελληνική Οργάνωση Παραγωγών Υδατοκαλλιέργειας).

Νεοφύτου Χ. και Νεοφύτου Ν.(2017). Ιχθυολογία. Θεσσαλονίκη.

Παπαπάσχος Α. (2022) Ιδιωτικό αρχείο.

Παπουτσόγλου Σ. (2008) Διατροφή ιχθύων. Αθήνα.

Πασχίδης Α. (2019) Σκελετικές ανωμαλίες εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων. Προπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Πελεκανάκης Γ., Μπογδάνου Ι., Παπαχαρίσης Λ., Λύτρα Κ., Καρναβά Λ. Ετήσια Έκθεση Υδατοκαλλιέργειας 2022. ΕΛΟΠΥ (Ελληνική Οργάνωση Παραγωγών Υδατοκαλλιέργειας).

Τσουγκράνη Ε. (2017) Σκελετικές δυσμορφίες της σπονδυλικής στήλης σε εντατικά εκτρεφόμενα ψάρια. Προπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Ξένη βιβλιογραφία.

Afonso J.M., Montero D., Robaina L., Astorga N., Izquierdo M.S., Gines R. (2000) Association of a lordosis-scoliosis-kyphosis deformity in gilthead seabream (*Sparus aurata*) with family structure. *Journal of Sea Research*, 22: 159–163.

Akiyama T., Murai T., Nose T. (1986) Oral administration of serotonin against spinal deformity of chum salmon fry induced tryptophan deficiency. *Bull. Jpn. Soc. Scient. Fish*, 52: 1249–1254.

Andrades J.A, Beccera J., Fernandez-Llenrez P. (1996) Skeletal deformities in larval, juvenile and adult stages of cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 141: 1–11.

Basallote M. D., Rodríguez-Romero A., Blasco J., DelValls A., Riba, I. (2012) Lethal effects on different marine organisms, associated with sediment–seawater acidification deriving from CO₂ leakage. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 2550–2560.

Berillis P. (2015) Factors that can lead to the development of skeletal deformities in fishes: a review. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 9(3): 017-023.

Berillis, P. (2017) Skeletal deformities in seabreams. understanding the genetic origin can improve production. *Journal of Fisheries Sciences*, 11(2): 57–59.

- Boglione C., Marino G., Fusari A., Ferreri F., Cataudella S. (1995) Skeletal anomalies in *Dicentrarchus labrax* juveniles selected for functional swimbladder. *Aquaculture*, 201: 163–169.
- Boglione C., Marino G., Giganti M., Longobardi A., De Marzi P., Cataudella S. (2009) Skeletal anomalies in dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) juveniles reared with different methodologies and larval densities. *Aquaculture*, 291: 48–60.
- Boglione C., Gisbert E., Gavaia P., Witten P.E., Morren M., Fontage S., Koumoundouros G. (2013b) Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. 2: main typologies, occurrences and causative factors. *Reviews in Aquaculture*, S121-S167.
- Boursiaki V., Theochari C., Zaoutsos S., Mente E., Vafidis D., Apostologamvrou C. and Berillis P. (2019) Skeletal Deformity of Scoliosis in Gilthead Seabreams (*Sparus aurata*): Association with Changes to Calcium-Phosphor Hydroxyapatite Salts and Collagen Fibers. *Water*, 11, 257: 1- 13.
- Branson EJ., Turnbull T. (2008) Welfare and deformities in fish. In: Branson EJ (Ed). *Fish welfare*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Bruno DW. (1990) Miscellaneous external abnormalities of farmed salmonids. *Aquaculture Inf Ser.* 11:1–6.
- Cahu C., Zambonino Infante JL., Takeuchi T. (2003b) Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture*, 227: 245–258.
- Chatain B. (1986) La vessie natatoire chez *Dicentrarchus labrax* et *Sparus aurata*: 1. Aspects morphologiques du développement. *Aquaculture*, 53: 303-311.

- Chatain B. (1989) Problems related to the lack of functional swimbladder in intensive rearing of *Dicentrarchus labrax* and *Sparus aurata*. In: Advances in tropical aquaculture. Actes de colloque, 9: 699-709.
- Chatain B, Ounais-Guschemann N. (1990) Improved rate of initial swimbladder inflation in intensively reared *Sparus aurata*. Aquaculture, 84: 345–353.
- Chatain B. (1994) Abnormal swimbladder development and lordosis in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus aurata*). Aquaculture, 97: 169–180.
- Choo P-S, Smith T.K., Cho C.Y., Ferguson H.W. (1991) Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. Journal of Nutrition, 121: 1932–1939.
- Cobcroft J.M., Pankhurst P.M., Sadler J., Hart P.R. (2001) Jaw development and malformation in cultured striped trumpeter *Latris lineata*. Aquaculture, 199: 267–282.
- Daoulas C., Economou A.N., Bantavas I. (1991) Osteological abnormalities in laboratory reared sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fingerlings. Aquaculture, 97: 169–180.
- Darias M.J., Mazurais D., Koumoundouros G, Glynatsi N., Christodouloupoulou S., Huelvan C. (2010a) Dietary vitamin D3 affects digestive system ontogenesis and ossification in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758). Aquaculture, 298: 300–307.
- Darias M.J., Mazurais D., Koumoundouros G., Cahu C.L., Zambonino-Infante J.L. (2011) Overview of vitamin D and C requirements in fish and their influence on the skeletal system. Aquaculture, 315: 49–60.
- Divanach P., Boglione C., Menu B., Koumoundouros G., Kentouri M., Catadaulla S. (1996) Abnormalities in finfish mariculture: An overview of the problem, causes

and solutions. In: Chatain B., Saroglia M., Sweetman J. and Lavens P. (eds).
Seabass and seabream culture: Problems and prospects. European Aquaculture
Society. Oostende, Belgium, 45-66.

Divanach P., Papandroulakis N., Anastasiadis P., Koumoundouros G., Kentouri M.
(1997) Effect of water currents on the development of skeletal deformities in sea
bass (*Dicentrarchus labrax* L.) with functional swimbladder during post larval and
nursery phase. *Aquaculture*, 156: 145–155.

Davies P.H., Goettl Jr. J.P., Sinley J.R., Smith N.F., (1976) Acute and chronic toxicity of
lead to rainbow trout *Salmo gairdneri* in hard and soft water. *Water Research*,
10(3):199-206.

Eissa, A. E., Moustafa M., El-Husseiny I. N., Saeid S., Sale O., Borhan T. (2009)
Identification of some skeletal deformities in freshwater teleosts raised in
Egyptian aquaculture. *Chemosphere*, 77, 419–425.

Eissa A.E., Abu-Seida A.M., Ismail M.M., Abu-Elala N.M., Abdelsalam M. (2021) A
comprehensive overview of the most common skeletal deformities in fish.
Aquaculture research.

Elsadin S., Nixon o., Mozes N., Allon G., Gaon A., Kiflawi M., Tandler A., Koven W.
(2018) The effect of dissolved carbon dioxide (CO₂) on white grouper
(*Epinephelus aeneus*) performance, swimbladder inflation and skeletal
deformities. *Aquaculture*, 486: 81–89.

El-Sayed A.M., Izquierdo M. (2021) The importance of vitamin E for farmed fish—A
review. *Reviews in aquaculture*, 14:688–703.

FAO (2020) In brief, the state of world fisheries and aquaculture, sustainability in action

- Fernández I., Hontoria F., Ortiz-Delgado J.B., Kotzamanis Y., Estévez A., Zambonino-Infante J.L., Gisbert E., (2008) Larval performance and skeletal deformities in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with graded levels of Vitamin A enriched rotifers (*Brachionus plicatilis*). *Aquaculture*, 283(1): 102-115.
- Fontagne S., Silva N., Bazin D., Ramos A., Aguirre P., Surget A. (2009) Effects of dietary phosphorus and calcium level on growth and skeletal development in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Aquaculture*, 297: 141–150.
- Fragkoulis S., Paliogiannis H.P., Kokkinias P., Chiers K., Adriaens D., Koumoundouros G. (2017) Saddleback syndrome in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758): anatomy, ontogeny and correlation with lateral-line, anal and pelvic fin abnormalities. *Journal of Fish Diseases*, 40: 83–95.
- Fragkoulis S., Batargias C., Kolios P., Koumoundouros G. (2018) Genetic parameters of the upper-jaw abnormalities in Gilthead seabream *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 497: 226–233.
- Fraser M., Anderson T., de Nys R. (2004) Ontogenic development of the spine and spinal deformities in larval barramundi (*Lates calcarifer*) culture. *Aquaculture*, 242: 697– 711.
- Fraser M., de Nys R. (2005) The morphology and occurrence of jaw and operculum deformities in cultured barramundi (*Lates calcarifer*) larvae. *Aquaculture*, 250:496– 503.
- García-Celdrán M., Cutáková Z., Ramis G., Estévez A., Manchado M., Navarro A., María-Dolores E., Peñalver J., Sánchez J. A., Armero E. (2016) Estimates of heritabilities and genetic correlations of skeletal deformities and uninflated

swimbladder in a reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juvenile population sourced from three broodstocks along the Spanish coasts. *Aquaculture*, 464: 601–608.

Gemmell JF. (1912) The teratology of fishes. Glasgow: Maclehoose and Sons.

Georgakopoulou E., Katharios P., Divanach P., Koumoundouros G. (2010) Effect of temperature on the development of skeletal deformities in Gilthead seabream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 308: 13–19.

Gudger E.W. (1936) Beginnings of fish teratology, 1555-1642– Belon, Rondelet, Gesner and Aldrovandi, the fathers of ichthyology, the first to figure abnormal fishes. *SciMon.* 43:252–261.

Haga Y., Takeuchi T., Murayama Y., Ohta K., Fukunaga T. (2004a) Vitamin D3 compounds induce hypermelanosis on the blind side and vertebral deformity in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fisheries Science*, 70: 59–67.

Haga Y., Du S-J, Satoh S, Kotani T., Fushimi H., Takeuchi T. (2011) Analysis of the mechanism of skeletal deformity in fish larvae using a vitamin A-induced bone deformity model. *Aquaculture*, 315: 26–33.

Halver J.E., Hardy R.W. (eds) (2002) *Fish Nutrition*, 3rd edn, pp. 182–259. Academic Press Inc., San Diego, CA.

Hardie L.J., Fletcher T.C., Secombes C.J. (1991) The effect of dietary vitamin C on the immune response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 95: 201–214.

Izquierdo M., Domínguez D., Jiménez J.I, Saleha R., , Hernández-Cruza C.M. , Zamorano , Kristin Hamrec M.J.(2019) Interaction between taurine, vitamin E and

- vitamin C in microdiets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 498: 246–253.
- Joachim N., Jawad L.A. (2021) Pugheadedness in Fishes. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* VOL. 30, NO. 3: 306–329.
- Kertaoui N. , Lund I. , Betancor M. B , Carpentier C. , Montero D. , Kestemont P. (2021) Dietary DHA and ARA level and ratio affect the occurrence of skeletal anomalies in pikeperch larvae (*Sander lucioperca*) through a regulation of immunity and stress related gene expression. *Aquaculture*, 544: 737060.
- Komada N. (1980) Incidence of gross malformations and vertebral anomalies of natural and hatchery *Plecoglossus altivelis*. *Copeia* 1: 29–35.
- Koumoundouros G., Oran G., Divanach P., Stefanakis S., Kentouri M. (1997b) The opercular complex deformity in intensive gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larviculture. Moment of apparition and description. *Aquaculture*, 156:165– 177.
- Koumoundouros G., Divanach P., Kentouri M. (2001) The effect of rearing conditions on development of saddleback syndrome and caudal fin deformities in *Dentex dentex* (L.). *Aquaculture*, 200: 285–304.
- Koumoundouros G., Maindot E., Divanach P., Kentouri M. (2002b) Kyphosis in reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): ontogeny and effects on mortality. *Aquaculture*, 209: 49–58.
- Koumoundouros G. (2010) Morpho-anatomical abnormalities in Mediterranean marine aquaculture. In: Koumoundouros G (ed.) *Recent Advances in Aquaculture Research*, pp. 125–148.
- Lall S.P. (2002) The minerals. In: Halver JE, Hardy RW (eds) *Fish Nutrition*, 3rd edn, pp. 259–308. Academic Press Inc., San Diego, CA.

- Lall S.P, Lewis-McCrea L.M. (2007) Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish – An overview. *Aquaculture*, 267: 3–19.
- MacConnell, E., Vincent, E. R. (2002) The effects of *Myxobolus cerebralis* on the salmonid host. In J. L. Bartholomew, & J. C. Wilson (Eds.), *Whirling Disease Reviews and Current Topics*. Symposium Number 29. American Fisheries Society and the Whirling Disease Foundation; 2002.
- Madsen, L., Dalsgaard, I. (1999) Vertebral column deformities in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 171(1): 41-48.
- Marino G., Boglione C., Bertolini B., Rossi A., Ferreri F., Cataudell S. (1993) Observations on development and anomalies in the appendicular skeleton of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. 1758, larvae and juveniles. *Aquaculture and Fisheries Management*, 24: 445–456.
- Matsusato T. (1986) Studies on skeletal anomaly of fishes. *Bulletin of the National Research Institute of Aquaculture*, 10: 57–179
- Mazurais D., Glynatsi G., Darias M.J., Christodouloupoulou S., Cahu C.L., Zambonino-Infante J.L., Koumoundouros G. (2009) Optimal levels of dietary vitamin A for reduced deformity incidence during development of European sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) depend on malformation type. *Aquaculture*, 294: 262–270.
- Nguyen V.T., Satoh S., Haga Y., Fushimi H., Kotani T. (2008) Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. *Aquaculture*, 285: 184–192.
- Ogino C., Takeda H., (1976) Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus requirements in carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 42: 793–799.

- Ogino C., Takeda H., (1978). Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 44: 1019–1022.
- Ogino C., Takeuchi L., Takeda H., Watanabe T., (1979) Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45: 1527–1532.
- Okamura A., Yamada Y., Mikawa N., Horie N., Tsukamoto K. (2015) Effect of salinity on occurrence of notochord deformities in Japanese eel *Anguilla japonica* larvae. *Aquaculture International*, 24: 549-555.
- Paperna I. (1978) Swimbladder and skeletal deformations in hatchery bred *Sparus aurata*. *Journal of Fish Biology*, 12: 109–114.
- Pasnik D. J., Evans J. J., Klesius, P. H. (2007) Development of skeletal deformities in a *Streptococcus agalactiae* challenged male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) brood fish and in its offspring. *Bulletin-European Association of Fish Pathologists*, 27, 169–176.
- Pimentel M. S., Faleiro F., Marques T., Bispo R., Dionísio G., Faria A. M., Machado J., (2016) Foraging behaviour, swimming performance and malformations of early stages of commercially important fishes under ocean acidification and warming. *Climatic Change*, 137: 495–509.
- Prestinicola L., Boglione C., Makridis P., Spanò A., Rimatori V., Palamara E., Scardi, M. (2013) Environmental Conditioning of Skeletal Anomalies Typology and Frequency in Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L., 1758) Juveniles. *PLoS ONE*, 8: e55736.

- Sfakianakis D.G, Georgakopoulou E., Kentouri M., Koumoundouros G. (2006a) Geometric quantification of lordosis effects on body shape in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 256: 27–33.
- Sfakianakis D.G, Georgakopoulou E, Papadakis I.E, Divanach P, Kentouri M, Koumoundouros G. (2006b) Environmental determinants of haemal lordosis in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 254: 54–64.
- Sivagurunathan U., Dominguez D , Tseng Y. , Zamorano M. , Prabhu A., Izquierdo M. (2023) Deficiency and excess in dietary vitamin K3 negatively affect gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae performance and bone health. *Aquaculture*, 574: 739646.
- Stouthart, X.J., Haans, J.L., Lock, R.A., Bonga, S.E.W., (1996) Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*), *Environmental toxicology and Chemistry*, 15(3): 376-383.
- Treasurer J. (1992) Vertebral anomalies associated with *Myxobolus* sp. In perch, *Perca fluviatilis* L., in Scottish loch. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 12, 61–63.
- Villeneuve L., Gisbert, E., Zambonino-Infante, J., Quazuguel, L., Cahu,P., (2005) Effect of nature of dietary lipids on European sea bass morphogenesis: implication of 12 retinoid receptors. *Br. J. Nutr.* 94, 877–884.
- Villeneuve L., Gisbert, E., Moriceau, J., Cahu, C., Zambonino-Infante, J.L., (2006) Intake of different levels of vitamin A and polyunsaturated fatty acids during different developmental periods modifies the expression of morphogenesis genes in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Brit. J. Nutr.* 95, 677–687.

- Watanabe, T., Murakami, A., Takeuchi, L., Nose, T., Ogino, C., (1980). Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 46: 361–367.
- Yadegari M., Raissy M., Ansari M. (2011) A Radiographical Study on Skeletal Deformities in Cultured Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Iran. Global Veterinaria, 7 (6): 601-604.

ABSTRACT

The high demand for fish led to the development of the aquaculture industry. Skeletal malformations of farmed fish are one of the problems in this sector as affected fish are sold at low prices or not at all. Causative factors of this problem are genetic and epigenetic such as nutritional, temperature and active acidity. The purpose of this thesis is to present various skeletal deformities and their causes so that they can be treated.

Key-words

Skeletal deformities, Lordosis, Kyphosis, Scoliosis