



مقاله مروری:

نقش اسیدهای چرب در تغذیه مولدین ماهیان و تأثیر آنها بر کیفیت تخم و لارو

علیرضا رادخواه^۱، سهیل ایگدری*^۱، اسماعیل صادقی نژاد ماسوله^۲، صدیقه آتش افرازه^۳

* soheil.eagderi@ut.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- پژوهشکده آبی پروری آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، بندر انزلی، ایران

۳- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۴

چکیده

تغذیه مولدین نقش اساسی در عملکرد تولیدمثلی و تولید تخم و لارو با کیفیت در آبی پروری ایفا می کند. این مقاله مروری، اثرات اسیدهای چرب غذایی در تغذیه مولدین را بر کیفیت تخم، رشد لاروی و بقا در گونه های مهم پرورشی شامل سالمونیدها، کپورماهیان، سی باس، سی بریم، ماهیان تخت و تاس ماهیان بررسی می کند. مطالعات منتشر شده بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ به طور جامع مرور شدند تا ارتباط میان ترکیب لیپیدی جیره مولدین و نتایج تولیدمثلی ارزیابی شود. یافته ها نشان دادند که تعادل و نسبت اسیدهای چرب ضروری، به ویژه ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA)، آراشیدونیک اسید (ARA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA)، اهمیت بیشتری نسبت به سطوح مطلق آنها در جیره غذایی دارند. نسبت اسیدهای چرب ۳-n به ۶-n به طور مستقیم بر ترکیب بیوشیمیایی تخم، رشد جنینی، کیفیت لارو و میزان بقا تأثیر می گذارد. همچنین، مطالعات مورد بررسی نشان دادند که استفاده از منابع ترکیبی چربی شامل روغن ماهی و روغن های گیاهی، در مقایسه با جیره های دارای یک منبع چربی، اثربخشی بیشتری در بهبود عملکرد تولیدمثلی و رشد لاروی دارد. علاوه بر این، ترکیبات گیاهی غنی از اسیدهای چرب ضروری می توانند به عنوان جایگزین های پایدار برای روغن ماهی در خوراک مولدین مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی، بهینه سازی ترکیب اسیدهای چرب در جیره مولدین می تواند کیفیت تخم، زنده ماندن لاروها و پایداری سامانه های آبی پروری را به طور قابل توجهی بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: تغذیه مولدین؛ اسیدهای چرب؛ کیفیت تخم؛ رشد لاروی؛ آبی پروری؛ تولیدمثل ماهیان.

مقدمه

ماهی شناخته شده‌اند (Bruce *et al.*, 1993). اسیدهای چرب DHA²، EPA³ و ARA⁴ به‌ویژه برای تخم و کیفیت لارو مهم هستند (شکل ۱) (Migaud *et al.*, 2013). این اسیدهای چرب اشباع نشده (PUFA) نقش کلی در فسفولیپیدهای دو لایه غشایی دارند تا به حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکردی سلول‌ها کمک کنند. به‌علاوه، اسیدهای EPA و ARA نقش ویژه‌تری به عنوان پیش‌سازهای ایکوزانوئیدها (پروستاگلاندین‌ها) دارند که فعالیت‌های فیزیولوژیک گسترده‌ای در ماهیان از جمله بلوغ نهایی تخمک و تخمک‌گذاری دارند (Planas and Swanson, 2008). به طور کلی، ایکوزانوئیدهای تولیدی از ARA فعال‌تر از مواردی هستند که از EPA تولید می‌شوند. با این حال، EPA به طور رقابتی با تولید ایکوزانوئید از ARA تداخل ایجاد کرده و برای گیرنده‌های غشایی مشابه رقابت می‌کند. بنابراین، عملکرد ایکوزانوئید با نسبت EPA: ARA در غشاء سلولی تعیین می‌شود که به نوبه خود با نوع رژیم غذایی PUFA مرتبط است (Bruce *et al.*, 1993; Bruce *et al.*, 1999).

لیپیدها دارای بیشترین ماده مغذی مورد مطالعه از نظر تغذیه مولدین هستند. بیشتر گونه‌های ماهی ترجیحاً از لیپیدها برای تأمین انرژی و رشد بدن استفاده می‌کنند. علاوه بر این، لیپیدها منبع اسیدهای چرب ضروری (EFA) برای تشکیل غشاهای سلولی هستند. بنابراین، برای رشد موفقیت‌آمیز لارو حیاتی هستند (Migaud *et al.*, 2013). از این رو، بسیار مهم است که EFA کافی و بیش از حد مورد نیاز فراهم شود تا تولید لاروهای قوی و سالم امکان پذیر شود. این بدان معناست که مولدین ماده باید اسیدهای چرب تأمین کننده انرژی و EFA را از رژیم غذایی خود تأمین کنند. شایان ذکر است، این مواد برای افزایش متابولیسم و تحویل اسیدهای چرب اشباع نشده چند زنجیره‌ای (LC-PUFAs)⁵ که برای تولید موفق لارو لازم است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تغذیه در پرورش آبزیان به ویژه در مراحل حساس تکثیر و تولیدمثل، نقش محوری و تعیین کننده‌ای دارد. موفقیت در صنعت آبزی پروری و تولید لاروهای باکیفیت به شدت به وضعیت فیزیولوژیک مولدین وابسته است و این وضعیت نیز به طور مستقیم تحت تأثیر کیفیت جیره غذایی قرار دارد (Radkhah and Eagderi, 2022). یک جیره غذایی کامل و متعادل، فراتر از تأمین انرژی و پروتئین باید شامل ریزمغذی‌ها و ترکیبات عملکردی باشد که برای فرآیندهای حیاتی بدن ضروری هستند. در میان این ترکیبات، لیپیدها به‌ویژه اسیدهای چرب ضروری (EFAs)¹، نقشی غیرقابل جایگزین در رشد، بلوغ جنسی، و موفقیت در تولیدمثل ایفاء می‌کنند (Espinosa-Salas and Gonzalez-Arias, 2025). تحقیقات گسترده در دهه‌های اخیر نشان داده است که کمبود یا عدم تعادل در اسیدهای چرب، می‌تواند عملکرد تولیدمثلی مولدین را به شدت کاهش دهد و منجر به تولید تخم‌های بی کیفیت و لاروهای ضعیف شود. این مسئله، چالش‌های جدی را برای پرورش دهندگان ایجاد می‌کند (Baroni *et al.*, 2024; Engdaw and Geremew, 2024). زیرا بقاء و رشد اولیه لاروها ارتباط مستقیمی با ذخایر غذایی موجود در کیسه زرده تخم دارد. بنابراین، درک دقیق نیازهای تغذیه‌ای مولدین به اسیدهای چرب و مکانیسم‌های انتقال آنها به تخم، برای بهینه‌سازی فرآیندهای تکثیر و تولید لاروهای سالم حیاتی است (Radkhah *et al.*, 2023).

تولید لارو ماهیان، رشد، توسعه و متعاقباً سلامتی آنها و بهره‌وری بالقوه از آنها به عنوان مولدهای آینده به کیفیت تخم‌های موجود بستگی دارد (Migaud *et al.*, 2013). از آنجایی که کیفیت تخم، از نظر درشت‌مغذی‌ها و ریزمغذی‌ها، به تحویل مواد مغذی از ماده وابسته است، بنابراین، برای اطمینان از بقاء خوب لارو و رشد زودهنگام آن، باید بهینه‌سازی تغذیه در مولدین مورد توجه قرار گیرد (Conceição and Tandler, 2018). از این رو، باید رژیم‌های غذایی برای پرورش مولدین اختصاص داده شود که اطمینان حاصل شود کلیه مواد مغذی ضروری را برای گونه‌های مورد نظر فراهم می‌کند (Baroni *et al.*, 2024; Engdaw and Geremew, 2024).

چربی و ترکیب اسیدهای چرب در رژیم غذایی به عنوان عوامل اصلی تعیین کننده تولیدمثل موفقیت‌آمیز و بقاء فرزندان در

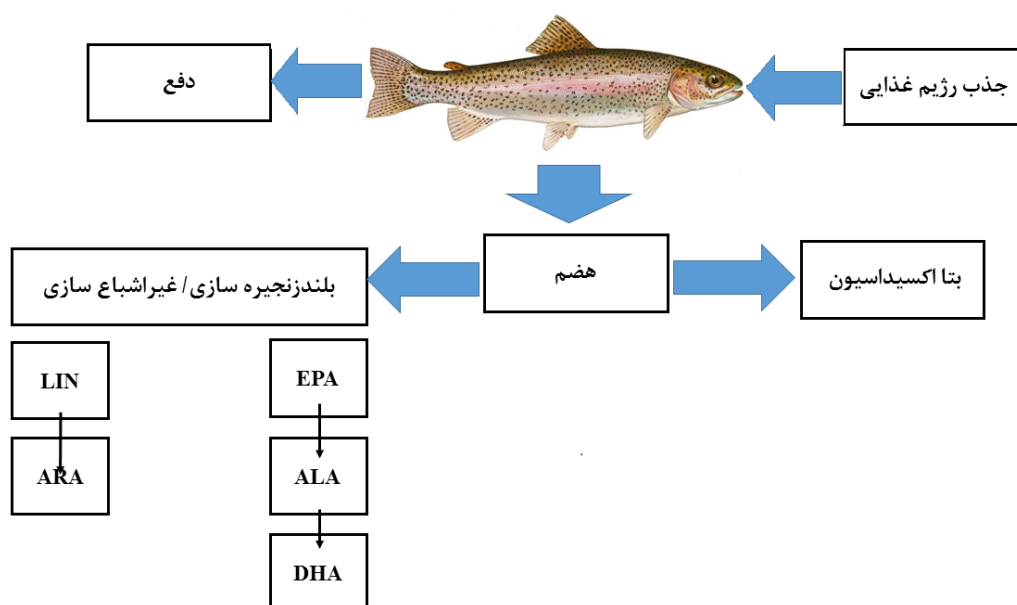
¹ Essential fatty acids (EFAs)

² Docosahexaenoic acid (DHA)

³ Eicosapentaenoic acid (EPA)

⁴ Arachidonic acid (ARA)

⁵ Long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFAs)



شکل ۱: نمایی شماتیک از اسیدهای چرب ماهیان

استفاده از روغن‌های گیاهی

روغن‌های گیاهی (VO)^۱ به دلیل کاهش دسترسی به روغن ماهی به طور گسترده در رژیم‌های غذایی ماهیان به عنوان منابع چربی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Muralisankar *et al.*, 2014). این نوع از منابع چربی با موفقیت در جیره گونه‌های مختلف ماهی مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان (۲۱/۳ درصد وزن تر ماهی) بدون ایجاد اختلال در عملکرد رشد ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Strobel *et al.*, 2012). در سی‌باس ژاپنی (*Lateolabrax japonicus*) رشد بهینه با روغن‌های گیاهی حاصل نمی‌شود، اما وضعیت سلامت ماهی طبیعی است. ترکیب اسیدهای چرب روغن ماهی و روغن‌های گیاهی کاملاً متفاوت هستند. ترکیب اسیدهای چرب غذا نقش بسیار مهمی در تعادل اکسیدکنندگی-آنتی‌اکسیدانی دارد. برای مثال، اسیدهای چرب اشباع نشده (PUFAs) عامل ایجادکننده استرس اکسیداتیو هستند. PUFA حساس به اکسیداسیون و رادیکال‌های اکسیژن است که می‌تواند برای سلول‌ها سمی باشد (Khezrian *et al.*, 2020). در چندین مطالعه، اثرات جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی بر دفاع آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفته است (Kutluyer *et al.*, 2017). مجموع این تحقیقات نشان دادند

با توجه به آنچه اشاره شد، مطالعه حاضر تاثیرات ناشی از اسیدهای چرب در تغذیه مولدین و اثرات آن بر کیفیت تخم و لارو را مورد بررسی قرار می‌دهد. این تحقیق با تمرکز بر برخی از گونه‌های مهم آزادماهیان (سالمونیدها)، کپورماهیان، ماهی‌باس و سیم‌ماهی، کفشک‌ماهیان و ماهیان خاویاری انجام شده است.

اسیدهای چرب

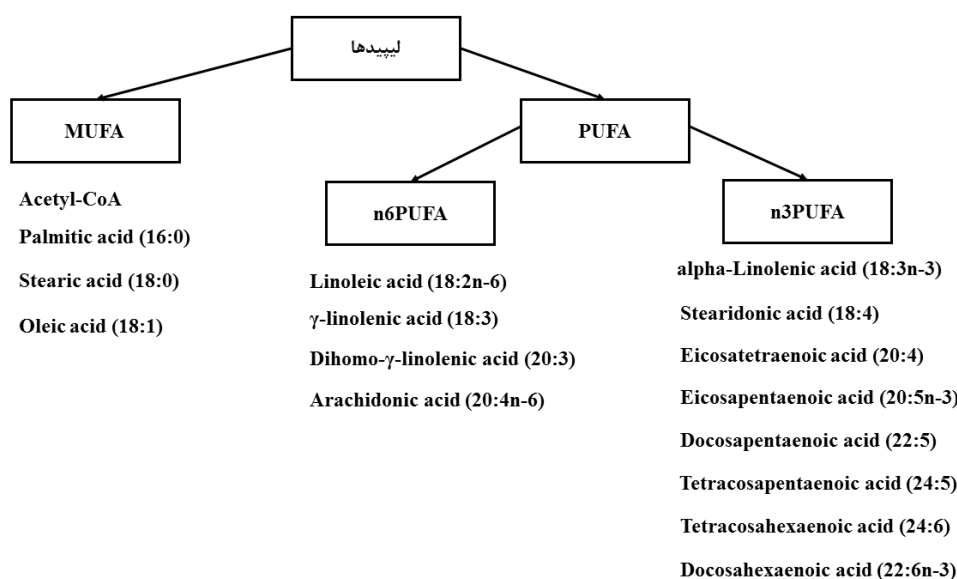
بسیاری از مطالعات، تأثیر لیپیدها و اسیدهای چرب بر سلامتی انسان را بررسی کرده‌اند. ماهی مهم‌ترین منبع اسیدهای چرب است. ماهی‌های سردین، ماکرل، آنچوی و برخی از گونه‌های آزادماهی، سرشار از EPA و DHA هستند. در این ماهی‌ها، نسبت اسید چرب n-3 به اسید چرب n-6 نزدیک است. از آنجایی که ماهیان نمی‌توانند این اسیدهای چرب را سنتز کنند، نیاز است که آنها را از غذایی که مصرف می‌کنند، به‌دست آورند (Falk-Petersen *et al.*, 1998). ترکیب اسیدهای چرب در ماهی‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله آنها می‌توان به محیط آبزیان (آب دریا، آب شیرین و آب سرد یا گرم) و خصوصیات بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی آن اشاره کرد. همچنین تغییرات فصلی، مهاجرت، بلوغ جنسی، دوره تخم‌ریزی و عادات تغذیه‌ای بر ترکیب لیپید/اسید چرب تأثیر می‌گذارند (Aras *et al.*, 2002) (شکل ۱).

¹ Vegetable oils (VO)

(Babalola *et al.*, 2011). روغن ماهی‌های دریایی دارای غلظت بالایی از اسیدهای EPA، DHA و سطح قابل توجهی از ARA هستند که در روغن‌های گیاهی وجود ندارند (Migaud *et al.*, 2013). این اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره بلند (PUFAs) برای رشد طبیعی ماهی ضروری هستند و تنظیم پاسخ هورمون‌های استروئیدی که بر رشد غدد جنسی، بلوغ جنسی و چرخه تولیدمثل تأثیر می‌گذارند، برعهده دارند (Ferosekhan *et al.*, 2020).

که رژیم غذایی مولدین می‌تواند بر رشد فرزندان موثر باشد (Migaud *et al.*, 2013).

روغن ماهی بهترین منبع اسیدهای چرب (شکل ۲) برای جیره‌های تجاری آبی‌پروری محسوب می‌شود، اما به دلیل هزینه‌های مالی و اثرات زیست‌محیطی آن، استفاده از این منبع برای تغذیه و تولید ماهیان آب شیرین با چالش همراه شده است. از روغن گیاهی برای جایگزینی پایدار یا کامل روغن ماهی در برخی از رژیم‌های ماهی (تغذیه جنین)، استفاده شده است



شکل ۲: انواع اسیدهای چرب ماهیان

مستقیم بر ترکیب و کیفیت تخم در یک گونه تأثیر می‌گذارد (Ng and Wang, 2011; Hilbig *et al.*, 2019).

کیپور ماهیان

به طور کلی، در مقایسه با مطالعات مربوط به نقش پروتئین در تغذیه و در مقایسه با سایر گونه‌های ماهی، تحقیقات بسیار اندکی در زمینه نقش چربی در رژیم غذایی کیپور ماهیان انجام شده است. در مطالعه Khan و همکاران (۲۰۰۴) که بر تأثیر پروتئین بر عملکرد تخم و لارو را در کیپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) و کیپور معمولی (*Cyprinus carpio*) انجام شد، مولدین کیپور علف‌خوار از جیره‌های غذایی فرموله شده با پروتئین ۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪، ۳۵٪ و ۴۰٪ تغذیه شدند. بیشترین افزایش وزن در ماهیانی که از رژیم‌های

اگرچه در روغن‌های گیاهی EPA، ARA و DHA وجود ندارند اما این ترکیبات در ماهیان آب شیرین به واسطه پیش‌سازهای اسیدچرب مانند اسیدهای لینولئیک (LA) و لینولنیک (LNA) تولید می‌شوند. اکثر ماهیان آب شیرین می‌توانند LA را به ARA و LNA را به EPA و متعاقباً به DHA، از طریق اشباع شدن تبدیل کنند (Hilbig *et al.*, 2019). با این حال، تعاملات رقابتی بین LA و LNA رخ می‌دهد، زیرا این دو اسیدچرب برای آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز EPA، ARA و DHA رقابت می‌کنند (Migaud *et al.*, 2013). در بسیاری از مطالعات نسبت اسیدهای چرب n3/n6 در رژیم غذایی ماهیان پرورشی به‌ویژه مورد توجه قرار گرفته است (Furuita *et al.*, 2007)، زیرا نسبت اسیدهای چرب (EPA/ARA/DHA، n3/n6) به طور

چرب می‌تواند رژیم غذایی مطلوب را برای ماهی کپور معمولی تشکیل دهد.

آزادماهیان

آزادماهیان نسبت به اکثر گونه‌های دریایی دارای مزیت هستند، زیرا اندازه تخم آنها بسیار بزرگتر است. تخم این ماهیان قادر است مواد مغذی بیشتری را نسبت به اکثر تخم‌های دریایی ذخیره کند. بنابراین، پرورش آزادماهیان آسان‌تر است (Migaud *et al.*, 2013). به همین دلیل، تحقیقات صورت گرفته مربوط به تخم و مولدین در آزادماهیان بسیار کمتر از گونه‌های دریایی است. با این حال، هنگام تهیه رژیم‌های غذایی مولدین برای هر گونه ماهی، تجزیه و تحلیل ترکیب اسیدهای چرب تخم‌های وحشی مفید است، زیرا این اطلاعات می‌تواند برای بهینه‌سازی فرمولاسیون‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

Ballestrazzi و همکاران (۲۰۰۳) قزل‌آلای رنگین‌کمان را به مدت ۱۶۸ روز با چهار رژیم غذایی آزمایشی حاوی روغن شاه‌ماهی، روغن جگر ماهی و روغن نارگیل تغذیه نمودند. ترکیب رژیم‌های به ترتیب غذایی عبارت بودند از: الف) ۱۰-۱۲ درصد؛ ب) ۶-۱۶ درصد؛ ج) ۱۲-۱۰ درصد؛ د) ۱۳-۰-۰ درصد. در این مطالعه، از نظر مقدار تخم، وزن متوسط تخم و میزان چربی تفاوت معنی‌داری در تیمارها مشاهده نشد. با این حال، پروفایل اسیدهای چرب تخم به طور قابل توجهی تحت تأثیر رژیم‌های غذایی قرار گرفت. محتوای اسیدهای چرب اشباع نشده به ویژه اسیدهای چرب سری n-3 شامل EPA و DHA با افزایش سطح روغن نارگیل در رژیم غذایی به طور قابل توجهی کاهش یافت (Ballestrazzi *et al.*, 2003).

Khezrian و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی مختلف در رژیم‌های غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بر توسعه دفاع آنتی‌اکسیدانی تخم و لارو پرداختند. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر تغذیه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان با نسبت‌های مختلف روغن‌های گیاهی برای ارزیابی تغییرات وضعیت دفاعی آنتی‌اکسیدانی در لاروها انجام شد. در رژیم‌های غذایی، روغن ماهی با ترکیبی از چهار روغن مختلف (روغن ذرت، روغن زیتون، روغن آفتابگردان و روغن نارگیل)، جایگزین شد تا سطوح مختلفی از اسیدهای چرب اشباع نشده (PUFA) و اسیدهای چرب بسیار غیراشباع (HUFA) در بدن دریافت شود. در این

پروتئینی ۳۰٪ و ۳۵٪ تغذیه کردند، مشاهده شد. این در حالی است که مقادیر شاخص گنادوسوماتیک، میزان لقاح و قابلیت تفریح در این ماهیان شبیه ماهیانی بود که با رژیم ۲۵٪ پروتئین، تغذیه شدند.

در مطالعه Nandi و همکاران (۲۰۰۷) بر کپور هندی (*Catla catla*)، یک رژیم غذایی کنترل شده که فاقد هر نوع-LC PUFA بود، با رژیم غذایی آزمایشی که همراه با ۱۰ درصد پودر ماهی و ۱ درصد روغن ماهی بود، طی یک دوره ۲ ساله مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که پاسخ تخم‌ریزی در ماهیان تغذیه شده (۹۶٪) در مقایسه با گروه کنترل (۷۶٪) بیشتر بود و علاوه بر این، کیفیت تخم و لارو با تغذیه از لیپیدها بهبود یافت. همچنین افزایش میزان لقاح و بقاء لارو در گروه تغذیه مشاهده شد. Demir و Sargoz (۲۰۱۹) دریافتند که ماهیان آب شیرین در رژیم غذایی خود به اسید لینولئیک (ALA)، اسید لینولئیک (ALA) یا هر دو نیاز دارند در حالی که ماهیان دریایی به اسیدهای EPA و DHA احتیاج دارند. با این حال، این پژوهشگران گزارش کردند که مکمل‌های غذایی DHA بر میزان تفریح در کپورهای معمولی تأثیر مثبت می‌گذارد. با وجود این، نیازهای اسیدهای چرب لاروهای ماهیان زینتی به اندازه کافی بررسی نشده است (Bruce *et al.*, 1993). Demir و Sargoz (۲۰۱۹) بیان داشتند که در خوراک ماهی، استفاده از روغن ماهی ضمن گران بودن، به راحتی اکسید می‌شود. بنابراین، لازم است تا حدی یا کاملاً آن را با روغن‌های گیاهی جایگزین نمود. تحقیقات نشان داده است که گنجاندن روغن‌های گیاهی غیراشباع در رژیم‌های غذایی لارو ماهیان، رشد و بقاء آنها را افزایش می‌دهد (Geurden *et al.*, 1999). در مطالعه Parameshwaran و همکاران (۲۰۰۲) نیازهای غذایی اسیدهای چرب n-3 برای ماهی قرمز (*Carassius auratus*) و کپور معمولی ۰/۱-۰/۵ درصد بود. Gordon و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که سطوح پایین اسیدهای چرب بسیار اشباع نشده (HUFA) در رژیم غذایی این ماهیان منجر به مرگ و میر لاروها شد. Radunz-Neto و همکاران (۱۹۹۶) از جمله پژوهشگرانی بودند که نیازهای ضروری برای اسیدهای چرب را در لاروهای کپور معمولی بررسی کردند. در این تحقیق، از روغن‌های ماهی، روغن گیاهی و ترکیب این دو استفاده شد. نتایج نشان داد که بقاء و رشد با سطوح بالاتر اسیدهای چرب بهبود نیافت. همچنین این مطالعه نشان داد که ترکیب اسیدهای

آزمایش، ماهی‌ها هشت هفته قبل از تولیدمثل با رژیم‌های آزمایشی تغذیه کردند. پس از تخم‌ریزی، نمونه‌ها در روزهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ پس از لقاح گرفته شد. نتایج نشان داد که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به طور قابل توجهی از اولین نمونه‌گیری تا روز ۳۵ در همه گروه‌های تیماری افزایش یافته است (Khezrian *et al.*, 2020).

سوپراکسید دیسموتاز آنزیمی است که به طور متناوب رادیکال سوپراکسید (O_2^-) را به اکسیژن مولکولی (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) کاتالیز می‌کند. سوپراکسید به عنوان یک محصول جانبی از متابولیسم اکسیژن تولید شده و اگر تحت کنترل قرار نگیرد، باعث بسیاری از آسیب‌های سلولی می‌شود (Thayyan *et al.*, 2016). پراکسید هیدروژن نیز مضر است و به وسیله سایر آنزیم‌ها (کاتالاز)، تجزیه می‌شود. بنابراین، SOD یک دفاع آنتی‌اکسیدانی مهم در تقریباً تمام سلول‌های زنده می‌باشد. در تحقیق مذکور، فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) روند نزولی نشان داد، زیرا بالاترین فعالیت CAT بلافاصله پس از لقاح در تخمک‌ها مشاهده شد (Khezrian *et al.*, 2020). کاتالاز یک آنزیم رایج است که تقریباً در تمام موجودات زنده در معرض اکسیژن (باکتری‌ها، گیاهان و حیوانات) یافت می‌شود که تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن را کاتالیز می‌کند. شایان ذکر است، آنزیم CAT یک آنزیم بسیار مهم در محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو است (Ucheliani *et al.*, 2004). در این تحقیق، فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPx) تا روز پنجم کاهش یافت و سپس روند افزایشی را نشان داد (Khezrian *et al.*, 2020). گلوکوتاتیون پراکسیداز نام کلی یک خانواده آنزیمی با فعالیت پراکسیداز است که نقش اصلی بیولوژیک آن محافظت از ارگانسیم در برابر آسیب اکسیداتیو است (Muthukumar and Nachiappan, 2010). در مطالعه Khezrian و همکاران (۲۰۲۰) محتوای مالون دی‌آلدئید (MDA) تغییرات قابل توجهی در گروه‌های مختلف و در زمان‌های نمونه‌گیری متفاوت نشان نداد (Khezrian *et al.*, 2020). مالون دی‌آلدئید یکی از محصولات نهایی حاصل از پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده در سلول است. افزایش رادیکال‌های آزاد باعث تولید بیش از حد مالون دی‌آلدئید می‌شود. سطح مالون دی‌آلدئید معمولاً به عنوان نشانگر استرس اکسیداتیو و وضعیت آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته می‌شود (Pettersson, 2010). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به طور قابل توجهی تحت تأثیر سطح PUFA رژیم غذایی در

فزل‌آلای رنگین‌کمان شود. در مطالعه Pettersson (۲۰۱۰) گزارش گردید که همراه با افزایش تولید گونه‌های آبری و افزایش مصرف ماهی به دلیل ازدیاد جمعیت انسانی، تقاضای غذای آنها با افزایش تولید آبریان قابل تامین است. روغن ماهی (FO) که به طور انحصاری از ماهی‌های وحشی مشتق شده است، به طور سنتی به عنوان منبع اصلی چربی در خوراک ماهی استفاده می‌شود. بسیاری از محققان بیان داشتند به منظور توسعه پایدار آبری‌پروری ضروری است که روغن ماهی با منابع چربی پایدارتر جایگزین شود. Pettersson (۲۰۱۰) اثرات جایگزینی روغن ماهی با دو روغن گیاهی را بر رشد، محتوای چربی، ترجیح غذایی و عملکرد شنا دو گونه سالمونید شامل فزل‌آلای رنگین‌کمان و آزادماهی قطب شمال (*Salvelinus alpinus*) بررسی کرد. علاوه بر این، مقایسه محتوای چربی و ترکیب آن با ماهی‌های وحشی برای نشان دادن اهمیت شبکه‌های غذایی طبیعی برای تولید موفق گونه‌های خاص ماهی انجام شد. نتایج حاصله هیچ‌گونه تأثیر منفی بر رشد ماهیان تغذیه شده با روغن‌های گیاهی نشان نداد. در این مطالعه، اثرات کاهش کلسترول در ماهیان تغذیه شده با روغن کلزا مشاهده شد که با توجه به وجود فیتوسترول‌ها در رژیم غذایی قابل توجه است. نتایج نشان داد که عملکرد شنا آزادماهی قطب شمال که از مخلوطی از روغن کلزا و روغن پالم استفاده کرده بود، کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که اضافه شدن روغن پالم به جیره غذایی، نه تنها عملکرد رشد و شنای ماهی را بهبود نمی‌بخشد بلکه بر اثربخشی روغن کلزا نیز تأثیرات منفی برجای می‌گذارد. نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیب مناسب روغن‌های گیاهی و ماهی می‌تواند جایگزین استفاده تنها از روغن ماهی در خوراک ماهیان شود. با این حال، محققان و تولیدکنندگان خوراک باید تشویق شوند تا تنوع خوراک را افزایش دهند تا نیازهای تغذیه‌ای ماهیان پرورشی را بهینه‌سازی کنند (Pettersson, 2010).

ماهیان خاویاری

ماهیان خاویاری گونه‌هایی با اهمیت بیولوژیک (تکاملی، جغرافیایی، ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک) و اقتصادی (اکولوژیک، تفریحی و آبی‌پروری) بالا هستند (Froese and Pauly, 2021). تاکنون، ۲۷ گونه در خانواده Acipenseridae گزارش شده است که ۴ گونه از آنها در حال انقراض هستند (Birstein, 1993). از ۲۳ گونه باقی‌مانده، ۲ گونه در جنس *Huso* ۲ گونه در جنس *Scaphirhynchus*، ۳ گونه در جنس *Pseudoscaphirhynchus* و ۱۶ گونه در جنس *Acipenser* گروه‌بندی شدند (Birstein, 1993; Billard and Lecointre, 2001).

ماهیان خاویاری نام متداول ۲۷ گونه ماهی متعلق به خانواده Acipenseridae است. تاکنون ترکیب شیمیایی و اسیدهای چرب بافت ماهیچه در برخی از گونه‌ها و هیبریدهای ماهیان خاویاری (ماهیان خاویاری روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*))، ماهیان خاویاری سبیری (*Acipenser baerii*) و هیبرید (*Acipenser baerii* × *Acipenser gueldenstaedtii*) مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی و درصد اسیدهای چرب در بین گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری بسیار متغیر است و حتی در درون افراد گونه نیز متفاوت است (Badiani et al., 1996). در بسیاری از تحقیقات رابطه منفی بین میزان چربی و آب در عضله ماهیان خاویاری مشاهده شد (Ljubojevic et al., 2013). محتوای چربی در گوشت گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری پرورشی متفاوت بود و درصد گزارش شده ۱۵-۵ درصد متغیر بود (Badiani et al., 1996, 1997).

در مطالعه Atshani و همکاران (۲۰۱۲) اثرات استفاده از روغن ماهی و روغن‌های گیاهی (ذرت و آفتابگردان) بر ترکیب بیوشیمیایی و سطوح اسیدهای چرب موجود در لاشه بچه تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، سه تیمار مورد مقایسه قرار گرفتند که تیمار اول حاوی ۱۰۰ درصد روغن ذرت، تیمار دوم شامل ۱۰۰ درصد روغن آفتابگردان و تیمار سوم حاوی ۱۰۰ درصد روغن ماهی بود. نتایج نشان داد که لارو تاس‌ماهیان ایرانی از جیره‌ای که حاوی روغن ماهی بود، پروتئین بیشتری جذب کردند. بنابراین، استفاده از روغن ماهی، علاوه بر تاثیرات مثبتی که بر سلامت لارو ماهیان دارند، به جذب سایر مواد ضروری بدن نیز

کمک می‌کنند. با توجه به این موضوع، ترکیب اسیدهای چرب در جیوه بسیار حائز اهمیت است. همچنین حضور اسیدهای چرب سری n-3PUFA و n-6PUFA، در روغن‌های گیاهی به‌خصوص روغن آفتابگردان بسیار سودمند است و می‌تواند در عرصه کاهش هزینه‌های پرورش ماهیان در مراحل ابتدایی حیات و دوران لاروی مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعه Pourhosein و همکاران (۲۰۱۹) تاثیر روغن ماهی و کلزا بر عملکرد رشد، ترکیب اسیدهای چرب تخم و کیفیت فرزندان در تاس‌ماهی ایرانی (*A. persicus*) مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات طولانی مدت (۷ ماهه) رژیم‌های غذایی شامل روغن ماهی (ماهی کیلکا) و روغن گیاهی (کلزا) بر عملکرد تولیدمثل تاس‌ماهیان ایرانی بود. برای این منظور، سه رژیم غذایی تجربی با سطوح درجه‌بندی روغن ماهی (FO: ۱۰۰ درصد)، روغن گیاهی (VO: ۱۰۰ درصد) و ترکیبی از روغن ماهی و روغن گیاهی (هر کدام ۵۰ درصد) فرموله شد. نتایج نشان داد که تغذیه مولدین با رژیم غذایی شامل ترکیب FO + VO می‌تواند بر عملکرد رشد لاروها در مقایسه با رژیم‌های روغن ماهی یا روغن گیاهی تأثیر مثبت بگذارد. علاوه‌براین، مقادیر بالای 18:1n-9، محتوای اسید لینولئیک (ALA)، اسید لینولئیک (ALA) در تخمک‌های موجود در مولدین تغذیه شده با روغن گیاهی مشاهده شد، این در حالی است که کمترین میزان اسید لینولئیک در تخمک‌های موجود در مولدین تغذیه شده با روغن ماهی وجود داشت. در این مطالعه، میزان بازماندگی در مولدین تغذیه شده با روغن گیاهی و روغن ماهی به ترتیب ۸۲ و ۶۵ درصد تعیین گردید، این در حالی است که میزان بازماندگی در مولدین تغذیه شده با ترکیب روغن ماهی و روغن گیاهی (FO+VO) ۹۴ درصد گزارش شد. به طور کلی، در این مطالعه به‌خوبی نقش مهم رژیم‌های غذایی را در فرآیند تولیدمثل و عملکرد رشد جنین و لاروها منعکس گردید.

کفشک‌ماهیان

کفشک‌ماهیان گروهی از گونه‌های پهن هستند. این ماهیان در نزدیکی کف بستر و در بخش‌های تحتانی اقیانوس‌ها در سراسر جهان یافت می‌شوند. البته برخی از گونه‌ها نیز وارد مصب‌ها می‌شوند (Froese and Pauly, 2021). پرورش کفشک‌ماهیان با افزایش طیف وسیعی از گونه‌های پرورشی طی ۱۰ سال گذشته گسترش یافته است (FAO, 2021).

در موفقیت آمیز بود اما ذخیره آن دشوار بود و خطر انتقال عوامل بیماری از ماهیان فاسد را افزایش می داد. دور رژیم غذایی فرموله شده همراه با کنجاله کریل، یا روغن ماهی تن، غنی از DHA و ARA، با یک رژیم غذایی مرطوب مقایسه شد. نتایج نشان داد که دو خوراک فرموله شده از نظر باروری نسبی و میزان لقاح عملکرد مشابهی با رژیم غذایی مرطوب دارند. در یک آزمایش دوم، کیفیت تخم ریزی و عملکرد تخم در مولدین تغذیه شده با دو رژیم غذایی که فقط در محتوای اسید آراشیدونیک آنها متفاوت بود یا ۰/۴ درصد یا ۱/۸ درصد از کل اسیدهای چرب، در طول دو فصل تخم ریزی متوالی انجام شد، مقایسه شدند. غلظت بالاتر ARA منجر به افزایش میزان باروری (۵۹ درصد)، امتیاز مورفولوژی بلاستومر (۱۴/۲ درصد) و میزان تفریح (۵۱ درصد) در مقایسه با گروه ARA شد که مقادیر آن برای هر کدام از شاخص های مذکور به ترتیب برابر با ۳۱ درصد، ۱۲/۵ درصد و ۲۸ درصد بود (Mazorra et al., 2003).

در مطالعه Lund و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات اسیدهای چرب تخم و شاخص های کیفیت تخم در کفشک ماهیان (*Solea solea*) وحشی صید شده و پرورشی مورد مقایسه قرار گرفت. تخم های حاصل از ذخایر پرورشی سطح بالاتری 18:2n-6، 3n-6 و 20:1n-9 داشتند، در حالی که تخم های وحشی از نظر 16:1n-7، 20:4n-6 و 20:5n-3 غالب بودند. رشد لارو بین گروه های وحشی و پرورشی مقایسه گردید و نتایج نشان داد اگرچه رشد لارو با منشا مولد ارتباط نداشت، اما ترکیب اسیدهای چرب، اندازه تخم یا لارو و بقاء لاروی در لاروهای پرورشی بسیار کمتر بود. Lavens و همکاران (۱۹۹۹) و Montero و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تغذیه برای ۳-۲ ماه قبل از فصل تولیدمثل، با n-3 و n-6 HUF منجر به افزایش قطر تخم، قطر گویچه روغن و میزان لقاح می شود.

سی باس و ماهی سیم

در حال حاضر، سی باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) و سیم ماهی گیلتهد (*Sparus aurata*) بیشترین میزان پرورش در بین گونه های دریایی در جنوب اروپا را به خود اختصاص داده اند و به طور گسترده در سراسر اروپا و فراتر از آن، به فروش می رسند (Halver, 2021; FAO, 2021). بیشتر ماهیان دریایی، اندازه تخم در مقایسه با آزاد ماهیان کم است به طوری که بیشترین قطر آن حدود یک میلی متر در مقایسه با ۵-۶ میلی متر

در مطالعه Furuita و همکاران (۲۰۰۲) کفشک ماهی ژاپنی (*Paralichthys olivaceus*) با رژیم های غذایی حاوی ۰/۴، ۰/۸ و ۲/۱ درصد ماده خشک به عنوان n-3 LC-PUFA به مدت ۳ ماه قبل و در حین تخم ریزی تغذیه شدند. نتایج نشان داد که درصد بقاء لارو در ۳ روز پس از تفریح و شاخص تحمل گرسنگی با مصرف n-3 LC-PUFA رژیم غذایی ارتباط مثبتی نشان داشت. علاوه بر این، میزان ARA نیز همراه با بهبود کیفیت تخم افزایش یافت (Furuita et al., 2002). در آزمایش بعدی، با استفاده از همان گونه، ماهی ها به مدت ۲ ماه قبل و در حین تخم ریزی با سطح بالاتری از n-3 LC-PUFA (۲/۱ درصد، ۴/۸ درصد و ۶/۲ درصد از رژیم غذایی خشک) تغذیه شدند. اگرچه شاخص های کیفیت تخم از جمله درصد تخم های شناور، میزان تفریح و درصد لاروهای طبیعی در گروه تغذیه شده با رژیم غذایی n-3 LC-PUFA به میزان ۲/۱ درصد بیشترین بود، اما تولید تخم در ماهیانی که دارای بالاترین سطح n-3 LC-PUFA بودند، بیشتر بود (Furuita et al., 2002; Migaud et al., 2013). نتایج نشان داد که ۲/۱ درصد n-3 LC-PUFA به عنوان درصد رژیم غذایی خشک می تواند سطح مطلوبی برای کفشک ماهی ژاپنی باشد و غلظت های بالاتر ممکن است مضر باشد. در مطالعه Lavens و همکاران (۱۹۹۹) عدم محافظت آنتی اکسیدانی گزارش گردید. این پژوهشگران کاهش کیفیت تخم را در توربوت تغذیه شده با n-3 LC-PUFA مشاهده کردند. از این حالت با افزودن ویتامین های E و C پشتیبانی شد که باعث بهبود نرخ تفریح توربوت تغذیه شده با n-3 LC-PUFA می شود (Lavens et al., 1999). در کفشک ماهیان تغذیه شده با غذای غنی از اسید ARA (۰/۱ درصد، ۰/۶ درصد و ۱/۲ درصد رژیم غذایی خشک) به مدت سه ماه قبل و هنگام تخم ریزی، بیشترین تولید تخم در ماهیانی که از رژیم غذایی ۰/۶ درصد تغذیه کردند و کمترین آن در رژیم ۱/۲ درصد مشاهده شد (Furuita et al., 2002). افزایش ARA در رژیم غذایی باعث کاهش میزان EPA تخم شد و این مسئله می تواند عاملی برای کاهش کیفیت تخم در ماهیان تغذیه شده با ۱/۲ درصد ARA باشد. این موضوع نشان می دهد که افزایش بیش از اندازه ARA در رژیم غذایی نه تنها تاثیر مثبتی بر کیفیت تخم ندارد بلکه به واسطه تغییر میزان سایر اسیدهای چرب نیز موجبات کاهش کیفیت آن را به همراه دارد. در پرورش اولیه هالیبوت آتلانتیک (*Hippoglossus hippoglossus*) از رژیم های غذایی مرطوب استفاده می شد که اگرچه گاهی

اولین بار Rodríguez و همکاران (۱۹۹۸) اثرات مصرف n-3 LC-PUFA را در رژیم‌های غذایی سیم‌ماهی گیلتهد گزارش کردند. در این مطالعه، رژیم‌های غذایی حاوی ۱/۸ درصد n-3 LC PUFA با رژیم‌های غذایی فاقد n-3 LC PUFA مقایسه قرار گرفتند. سطح بالاتر n-3 PUFA در رژیم‌های غذایی منجر به گسترش EPA و DHA در بخش‌های لپیدی بافت‌ها شده و موجب افزایش کیفیت تخم شد (Rodríguez *et al.*, 1998). در مطالعه بعدی با پرورش مولدین دریایی، بقاء تخم‌ها افزایش یافت و تخم‌های غیرطبیعی و غیربارور هنگامی که با بیش از ۱/۶ درصد n-3 LC-PUFA تغذیه شدند، کاهش یافتند. با این حال، در بالاترین سطح n-3 (۳/۱۵ درصد)، کاهش باروری و هایپرتروفی کیسه زرده مشاهده شد. محتوای n-3 LC-PUFA تخم‌ها، با n-3 و عمدتاً EPA همبستگی مثبتی داشت (Fernandez-Palacios *et al.*, 1995).

در مطالعه Almansa و همکاران (۱۹۹۹) ماهیان سیم دریایی که با یک رژیم غذایی n-3 LC-PUFA حاصل از روغن ماهی تغذیه می‌کردند، با ماهیان دیگری که از رژیم غذایی فاقد n-3 LC-PUFA (حاوی روغن‌های زیتون و دانه کتان) تغذیه می‌کردند، مورد مقایسه قرار گرفتند. اگرچه تخم‌های حاصل از تخم‌ریزی اولیه تحت تأثیر رژیم‌های غذایی واسط و اواخر فصل قرار نگرفتند، اما کاهش n-3 LC-PUFA در تخم ماهیانی که از رژیم غذایی فاقد n-3 LC-PUFA استفاده می‌کردند، مشاهده شد (Almansa *et al.*, 1999; Bruce *et al.*, 1999).

در مطالعه Cejas و همکاران (۲۰۰۳) بر سیم دریایی سفید (*Diplodus sargus*)، ترکیبات اسیدهای چرب در تخمدان حاصل از ماهیان وحشی و پرورشی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که هیچ تفاوتی بین سطح DHA تخمدان در ماهیان وحشی و پرورشی وجود ندارد، اگرچه EPA افزایش یافت و ARA در ماهیان پرورشی در مقایسه با وحشی کاهش یافت، اما نسبت‌های EPA/ARA در اولی ۵/۴۵ و در دومی ۱/۶۱ بود. با توجه به اهمیت ARA در فرآیندهای تولیدمثل و تأثیر ARA و EPA در تولید ایکوزانوئید بافتی، احتمالاً حفظ هر دو-L-PUFA n-3 و n-6 در مقادیر نزدیک به مقادیر وحشی به موفقیت تخم و لارو منجر خواهد شد (Cejas *et al.*, 2003).

در ماهی آزاد آتلانتیک مشاهده شد (Moffett *et al.*, 2006). بنابراین، تخم باید حاوی تمام مواد مغذی ضروری و مورد نیاز برای رشد سریع باشد به طوری که لاروهای کیسه زرده دارای انرژی کافی و اسیدهای چرب ضروری (EFA)، اسیدهای آمینه (AA)، ویتامین‌ها و مواد معدنی باشند تا بتوانند در اولین تغذیه موفق عمل کنند (Conceição and Tandler, 2018).

سی‌باس مانند تمام گونه‌های دریایی پرورشی قادر به سنتز زنجیره بلند EFA، EPA، DHA و ARA از پیش‌سازهای زنجیره کوتاه C18، 18:2n-6 و 18:3n-3 نیست. بنابراین، لازم است که این EFA و اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع در مقادیر کافی در اختیار مولد قرار گیرند تا رشد بهینه غدد جنسی صورت گیرد. تخمین زده می‌شود، در ماهیان دریایی نوجوان ۵/۷-۰/۱ درصد رژیم غذایی خشک باید شامل اسیدهای چرب n-3 با زنجیره بلند (n-3 LC-PUFA) باشد (Migaud *et al.*, 2013). با این حال، با توجه به رشد سریع لاروها و شاخص Neurosomatic بالا در لاروهای کوچک ممکن است موارد مورد نیاز بیش از این مقادیر باشد. کمبود n-3 LC-PUFA در اوایل تغذیه لارو می‌تواند باعث نقص رشد در سیستم عصبی شود که می‌تواند بر عملکرد بینایی و گرفتن طعمه تأثیر بگذارد (Bell *et al.*, 1995).

اگرچه استفاده از رژیم‌های غذایی مرطوب، خطر انتقال بیماری را به همراه دارد، اما بسیاری از مولدین ماهی سیم به میزان زیادی به رژیم‌های غذایی مرطوب وابسته هستند (Pérez *et al.*, 2007). بر طبق مطالعات انجام شده، افزایش ARA و DHA در رژیم غذایی سیم‌ماهی گیلتهد اثرات مفیدی بر کیفیت تخم و لارو داشته است. بنابراین، استفاده از رژیم‌های غذایی مرطوب در گونه‌های دریایی (ماهی سیم)، میزان بیشتری از ARA و DHA را برای رشد اولیه تخم و لارو فراهم می‌کنند. این در حالی است که روغن ماهی پتانسیل کمی برای تأمین اسیدهای چرب ضروری به منظور نیازهای رشد و نمو دارد. مقادیر بالای ARA و DHA در رژیم غذایی مرطوب بهترین رشد و بقاء را برای سیم دریایی به ارمغان می‌آورد. باید خاطر نشان کرد که رژیم‌های غذایی خشک در مقایسه با جیره‌های مرطوب (که می‌توانند مستعد خطر بیماری و زوال کیفیت خوراک باشند)، می‌توانند سطح تغذیه‌ای یکسان یا بهتری را برای لارو ماهیان دریایی فراهم کنند (Bruce *et al.*, 1993, 1999).

چالش‌های پیش‌رو

هنوز تحقیقات زیادی در زمینه توسعه خوراک مولدین به ویژه برای گونه‌هایی که اخیراً در صنعت آبی‌پروری معرفی شده‌اند، باید صورت گیرد. با این حال، انجام آزمایش‌ها با مولدین دشوار و گران است. این موضوع به‌ویژه هنگامی که برای تهیه داده‌های دقیق و آماری نیاز به تکرار است، مطرح می‌شود. به‌علاوه، شرکت‌های تولیدکننده خوراک نیز علاقه چندانی به انجام آزمایش‌ها ندارند. با توجه به این مسئله، لازم است محققین تحقیقات ویژه‌ای را انجام دهند. اگر چه اهمیت اسیدهای چرب در جیره بسیاری از گونه‌های پرورشی اثبات شده است، اما اثرات احتمالی رژیم‌های غذایی که دارای سطوح بالاتری از اسیدهای چرب هستند نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این، باید مشخص شود که آیا این رژیم‌ها برای کیفیت تخم و تولید لارو مضر هستند یا خیر، زیرا این رژیم‌های جایگزین احتمال دارد که برای برخی از گونه‌ها در آینده نزدیک استفاده شود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نقش اسیدهای چرب در تغذیه مولدین و اثرات آن بر کیفیت تخم و لارو ماهیان را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که استفاده از اسیدهای چرب در جیره غذایی گروه‌های مختلف ماهیان از جمله آزادماهیان، کپور ماهیان، ماهی باس و سیسم‌ماهی و کفشک‌ماهیان از اهمیت زیادی برخوردار است. با این حال، آنچه در مورد اسیدهای چرب و چگونگی اثرگذاری آنها بر کیفیت تخم و لارو ماهیان مهم است نه تنها میزان اسیدهای چرب نیست بلکه مهم‌تر ترکیب گروه‌های مختلف اسیدهای چرب است که می‌تواند اثرات مستقیمی بر کیفیت تخم و لارو ماهیان داشته باشد. بررسی اکثر مطالعات نشان داد که استفاده توأم از رژیم‌های حاوی روغن گیاهی و روغن ماهی می‌تواند اثرگذاری بالاتری بر میزان رشد و نمو لاروها و کیفیت تخم ماهیان داشته باشد. با این حال، نباید نادیده گرفت که افزایش بی‌رویه میزان اسیدهای چرب در جیره غذایی ماهیان نیز اثرات زیان‌باری بر کیفیت تخم و لارو ماهیان خواهد داشت که این مسئله باید از دیدگاه آبی‌پروری به طور ویژه مورد توجه قرار گیرد. از بین منابع حاوی اسیدهای چرب، استفاده از مواد گیاهی می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی به جای روغن ماهی باشد. امید است یافته‌های ارائه شده در این مطالعه بتواند در زمینه مدیریت

جیره ماهیان مولد و در نتیجه، تولید تخم‌ها و لاروهای باکیفیت مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- Almansa, E., Pérez, M.J., Cejas, J.R., Badía, P., Villamandos, J.E. and Lorenzo, A., 1999.** Influence of broodstock gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) dietary fatty acids on egg quality and egg fatty acid composition throughout the spawning season. *Aquaculture*, 170, 323-336. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00415-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00415-3)
- Aras, N.M., Haliloğlu, H.İ. and Atamanalp, M., 2002.** Balıklarda Yağ Asitlerinin Önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(3), 331-335.
- Atshani, M.S., Ahabzadeh Rudsari, H.V. and Pajand, Z., 2012.** The effect of using fish oil and vegetable oils (corn and sunflower) on biochemical composition and fatty acid levels of *Acipenser persicus*. *New Technologies in Aquaculture Development*, 6(4), 21-32. (In Persian)
- Babalola, T.O., Apata, D.F., Omotosho, J.S. and Adebayo, M., 2011.** Differential effects of dietary lipids on growth performance, digestibility, fatty acid composition and histology of African catfish (*Heterobranchus longifilis*) fingerlings. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 11-21. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.21002>
- Badiani, A., Anfossi, P., Fiorentini, L., Gatta, P.P., Manfredini, M. and Nanni, N., 1996.** Nutritional composition of cultured sturgeon (*Acipenser* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 9, 171-190. <https://doi.org/10.1006/jfca.1996.0024>

- Badiani, A., Stipa, S., Nanni, N., Gatta, P.P. and Manfredini, M., 1997.** Physical indices, processing yields, compositional parameters and fatty acid profile of three species of cultured sturgeon (Genus *Acipenser*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74: 257-264.
- Ballestrazzi, R., Rainis, S., Tulli, F. and Bracelli, A., 2003.** The effect of dietary coconut oil on reproductive traits and egg fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, 11, 289-299. <https://doi.org/10.1023/A:1024876024720>
- Baroni, L., Rizzo, G., Zavoli, M. and Battino, M.A., 2024.** Plant-Based Food Guide Adapted for Low-Fat Diets: The VegPlate Low-Fat (VP_LF). *Foods*, 13(24), 4050. <https://doi.org/10.3390/foods13244050>
- Bell, J.G., Castell, J.D., Tocher, D.R., MacDonald, F.M. and Sargent, J.R., 1995.** Effects of different dietary arachidonic: docosahexaenoic acid ratios on phospholipid fatty acid compositions and prostaglandin production in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 14, 139-151. <https://doi.org/10.1007/BF00002457>
- Billard, R. and Lecointre, G., 2001.** Biology and conservation of sturgeon and paddlefish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10, 355-392. <https://doi.org/10.1023/A:1012231526151>
- Birstein, V.J., 1993.** Sturgeons and paddlefishes: threatened fishes in need of conservation. *Conservation Biology*, 7, 773-787. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740773.x>
- Bruce, M.P., Shields, R.J., Bell, M.V. and Bromage, N.R., 1993.** Lipid class and fatty acid composition of eggs of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.), in relation to egg quality in captive broodstock. *Aquaculture Research*, 24(3), 417-422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1993.tb00565.x>
- Bruce, M., Oyen, F., Bell, J., Asturiano, J.F., Farndale, B. and Carillo, M., 1999.** Development of broodstock diets for the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 highly unsaturated fatty acids to reproductive performance. *Aquaculture*, 177, 85-97. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00071-X)
- Cejas, J.R., Almansa, E., Villamandos, J.E., Badia, P., Bolanos, A. and Lorenzo, A., 2003.** Lipid and fatty acid composition of ovaries from wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (*Diplodus sargus*). *Aquaculture*, 216:299-313. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00525-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00525-2)
- Conceição, L. and Tandler, A., 2018.** *Success factors for fish larval production*. 1st edition. Wiley-Blackwell, New Jersey, USA.
- Demir, O. and Sargoz, S., 2019.** The effects of different feeding times and diets on the whole-body fatty acid composition of goldfish (*Carassius auratus*) larvae. *Journal of Food Science and Technology*, 39, 1-11. <https://doi.org/10.1590/fst.01018>
- Engdaw, F. and Geremew, A., 2024.** Broodstock nutrition in Nile tilapia and its implications on reproductive efficiency. *Frontiers in Aquaculture*, 30(1), 1-25. <https://doi.org/10.3389/faquc.2024.1281640>
- Espinosa-Salas, S. and Gonzalez-Arias, M., 2025.** Nutrition: Micronutrient Intake, Imbalances, and Interventions. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

- Falk-Petersen, S., Sargent, J.R., Henderson, J., Hegseth, E.N., Hop, H. and Okolodkov, Y.B., 1998. Lipids and fatty acids in ice algae and phytoplankton from the Marginal Ice Zone in the Barents Sea. *Polar Biology*, 20(1), 41-47. <https://doi.org/10.1007/s003000050274>
- FAO, 2021. *Food and Agriculture Organization*. Available from: <http://www.fao.org/home/en>. Accessed on 23 May 2021.
- Fernandez-Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M. and Vergara, J.M., 1995. Effect of n-3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 132, 325-337. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00345-O](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00345-O)
- Ferosekhan, S., Xu H. and Turkmen, S., 2020. Reproductive performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) broodstock showing different expression of fatty acyl desaturase 2 and fed two dietary fatty acid profiles. *Scientific Reports*, 10, 15547. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72166-5>
- Froese, R. and Pauly, D., 2021. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. Available from: www.fishbase.org. Accessed on 25 May 2021.
- Furuita, H., Tanaka, H., Yamamoto, T., Suzuki, N. and Takeuchi, T., 2002. Effects of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 210:323-333. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00855-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00855-9)
- Furuita, H., Hori, K., Suzuki, N. and Yamamoto, T., 2007. Effect of n-3 and n-6 fatty acids in broodstock diet on reproduction and fatty acid composition of broodstock and eggs in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 267(1), 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.039>
- Geurden, I., Bergot, P., Van Ryckeghem, K. and Sorgeloos, P., 1999. Phospholipid composition of common carp (*Cyprinus carpio*) larvae starved or fed different phospholipid classes. *Aquaculture*, 171(1-2), 93-107. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00423-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00423-2)
- Halver, J.E., 2021. Food and Agriculture Organization. Chapter 4. Lipids and Fatty Acids. Available from: <http://www.fao.org/3/x5738e/x5738e05.htm>. Accessed on 25 December 2021.
- Hilbig, C.C., Nascimento, N.F., Heinen, A.L., Tovo Neto, A., Funghetto, J.P., Bombardelli, R.A., Meurer, F. and Nakaghi, L.S.O., 2019. Effects of dietary fatty acids on the reproduction of South American female catfish *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(3), 456-466. <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue3-fulltext-8>
- Khan, M.A., Jafri, A.K. and Chadha, N.K., 2004. Growth, reproductive performance, muscle and egg composition in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), fed hydrilla or formulated diets with varying protein levels. *Aquaculture Research*, 35, 1277-1285.
- Khezrian, S., Salati, A.P., Agh, N. and Pasha-Zanoosi, H., 2020. Effect of replacement of fish oil with different plant oils in *Oncorhynchus mykiss* broodstocks diets on egg and larval antioxidant defense development. *Veterinary Research Forum*, 11(1), 83-88. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.92045.2228>
- Kutluyer, F., Sirkecioğlu, A.N. and Aksakal, E., 2017. Effect of dietary fish oil replacement with plants oils on growth performance and genes expression in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Annals of Animal Science*,

- 17(4), 1135-1153. <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0010>
- Lavens, P., Lebegue, E., Jaunet, H., Brunel, A., Dhert, P. and Sorgeloos, P., 1999.** Effect of dietary essential fatty acids and vitamins on egg quality in turbot broodstocks. *Aquaculture International*, 7, 225-240. <https://doi.org/10.1023/A:1009225028889>
- Ljubojevic, D., Trbović, D., Lujić, J., Bjelić-Čabrilo, O., Kostic, D., Novakov, N. and Ćirković, M., 2013.** Fatty acid composition of fishes from Inland Waters. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, 62-71.
- Lund, I., Steenfeldt, S.J., Suhr, K.I. and Hansen, B.W., 2008.** A comparison of fatty acid composition and quality aspects of eggs and larvae from cultured and wild broodstock of common sole (*Solea solea* L.). *Aquaculture Nutrition*, 14, 544-555. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00560.x>
- Mazorra, C., Bruce, M., Bell, J.G., Davie, A., Alorend, E. and Jordan, N., 2003.** Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 227, 21-33. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00493-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00493-9)
- Migaud, H., Bell, G., Cabrita, E., McAndrew, B., Davie, A., Bobe, J., Herraes, M.P. and Carrillo, M., 2013.** Gamete quality and broodstock management in temperate fish. *Reviews in Aquaculture*, 5(1), 194-223. <https://doi.org/10.1111/raq.12025>
- Moffett, I.J.J., Allen, M., Flanagan, C., Cozier, W.W. and Kennedy, G.J.A., 2006.** Fecundity, egg size and early hatchery survival for wild Atlantic salmon, from the River Bush. *Fisheries Management and Ecology*, 13, 73-79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2006.00478.x>
- Montero, D., Torrecillas, S., Benítez-Dorta, V., Caballero, M.J., Izquierdo, M.S. and Zamorano, M.J., 2019.** Effects of dietary vegetable oils on the expression of eicosanoid receptors genes in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) intestine. *Aquaculture Reports*, 15, 100201. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100201>
- Muralisankar, T., Bhavan, S., Radhakrishnan, S., Seenivasan, C., Manickam, N. and Shanthi, R., 2014.** Effects of dietary supplementation of fish and vegetable oils on the growth performance and muscle compositions of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 67(2), 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2014.09.004>
- Muthukumar, K. and Nachiappan, V., 2010.** Cadmium-induced oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae*. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 47(6), 383-387.
- Nandi, S., Routray, P., Gupta, S.D., Rath, S.C., Dasgupta, S. and Meher, P.K., 2007.** Reproductive performance of carp, *Catla catla* (Ham.), reared on a formulated diet with PUFA supplementation. *Journal of Applied Ichthyology*, 23, 684-691. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00874.x>
- Ng, W.K. and Wang, Y., 2011.** Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. *Aquaculture*, 314, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.034>
- Parameshwaran, K., Edirisinghe, U. and Dematawewa, C.M.B., 2002.** Replacement of cod

- liver oil with soybean or coconut oil in diets of larval goldfish, *Carassius auratus* L. *Tropical Agricultural Research and Extention*, 5(1-2), 62-67.
- Pelić, M., Knezevic, S.V., Baloš, M.Z. and Ljubojević, D., 2019.** Fatty acid composition of Acipenseridae -sturgeon fish. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 333, 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012092>
- Pérez, M.J., Rodríguez, C. and Cejas, J.R., 2007.** Lipid and fatty acid content in wild white seabream (*Diplodus sargus*) broodstock at different stages of the reproductive cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 146(2), 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.10.097>
- Pettersson, A., 2010.** Effects of replacing fish oil with vegetable oils in feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). MSc thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Planas, J.V. and Swanson, P., 2008.** Physiological function of gonadotropins in fish. In: Rocha M.J., Arukwe A. and Kapoor B.G. (Eds.). *Fish Reproduction*. Science Publishers, New Hampshire, USA, pp. 37-66.
- Pourhosein, S., Bahri, A.H., Falahatkar, B., Yarmohammadi, M. and Salarzadeh, A.R., 2019.** The effect of fish and rapeseed oils on growth performance, egg fatty acid composition and offspring quality of sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Nutrition*, 25(3), 543-554. <https://doi.org/10.1111/anu.12856>
- Radkhah, A.R. and Eagderi, S., 2022.** Biosecurity in Aquaculture Systems as one of the Requirements for Sustainable Development. *Journal of Biosafety*, 15(2), 97-118. URL: <http://journalofbiosafety.ir/article-1-467-en.html>
- Radkhah, A.R., Eagderi, S., Poorbagher, H. and Sadeghinejad Masouleh, E., 2023.** Human Feeding of Fish Contaminated with Heavy Metals: A Serious Challenge for Human Food Security. *Journal of Biosafety*, 16(3), 51-74. URL: <http://journalofbiosafety.ir/article-1-529-en.html>
- Radunz-Neto, J., Corraze, G., Bergot, P. and Kaushik, S.J., 1996.** Estimation of essential fatty acid requirements of common carp larvae using semi-purified artificial diets. *Archives of Animal Nutrition*, 49(1), 41-48. <https://doi.org/10.1080/17450399609381862>
- Rodríguez, C., Cejas, J.R., Martín, M.V., Badia, P., Samper, M. and Lorenzo, A., 1998.** Influence of n-3 highly unsaturated fatty acid deficiency on the lipid composition of broodstock gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) and on egg quality. *Fish Physiology and Biochemistry*, 18, 177-187. <https://doi.org/10.1023/A:1007750218840>
- Strobel, C., Jahreis, G. and Kuhnt, K., 2012.** Survey of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish and fish products. *Lipids in Health and Disease*, 11, 144. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-144>
- Thayyan, M., Aahabzadeh, Rudsari, H.V. and Pajand, Z., 2016.** Superoxide Ion: Generation and Chemical Implications. *Chemical Reviews*, 116(5), 3029-3085. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00407>
- Uchelikani, P., Fita, I. and Loewen, P.C., 2004.** Diversity of structures and properties among catalases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61(2), 192-208. <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3206-5>

Review Article:**Role of Dietary Fatty Acids in Fish Broodstock Nutrition and Their Effects on Egg and Larval Quality**Radkhah A.R.¹; Soheil Eagderi^{1*}; Sadeghinejad Masouleh E.²; Atash Afrazah S.³

* soheil.eagderi@ut.ac.ir

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2-Inland Water Aquaculture Research Institute, National Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bandar Anzali, Iran

3- Bachelor's degree Bachelor of Environment, Faculty of Natural Resources, Birjand University, Birjand, Iran

Abstract

Broodstock nutrition plays a fundamental role in reproductive performance and the production of high-quality eggs and larvae in aquaculture. This review evaluates the effects of dietary fatty acids in broodstock nutrition on egg quality, larval development, and survival in major cultured fish species, including salmonids, cyprinids, sea bass, sea bream, flatfish, and sturgeon. Relevant studies published between 2010 and 2022 were comprehensively reviewed to assess the relationship between broodstock dietary lipid composition and reproductive outcomes. The findings indicate that the balance and ratio of essential fatty acids, particularly eicosapentaenoic acid (EPA), arachidonic acid (ARA), and docosahexaenoic acid (DHA), are more critical than their absolute dietary levels. The dietary n-3/n-6 fatty acid ratio directly affects egg biochemical composition, embryonic development, larval quality, and survival. Evidence from the reviewed studies further demonstrates that combined lipid sources containing both fish oil and vegetable oil are generally more effective in improving reproductive performance and larval growth than single-source lipid diets. In addition, plant-based ingredients rich in essential fatty acids may serve as sustainable alternatives to conventional fish oil in broodstock feeds. Overall, optimizing fatty acid composition in broodstock diets can significantly enhance egg quality, larval viability, and the sustainability of aquaculture production systems.

Keywords: Broodstock nutrition; Fatty acids; Egg quality; Larval development; Aquaculture; Fish reproduction.