

**مقاله معرفی:****مرواری بر کارکرد مکمل‌های کاروتونوتئیدی در بهبود رنگدانه پوست و رشد آبزیان زینتی**

علیرضا رادخواه<sup>۱</sup>، سهیل ایگدری<sup>\*۱</sup>، هادی پورباقر<sup>۱</sup>، علی معزی<sup>۱</sup>

<sup>\*</sup>soheil.eagderi@ut.ac.ir

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

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۲

**چکیده**

کاروتونوتئیدها گروهی از رنگدانه‌های طبیعی محلول در چربی هستند که اساساً از منابع طبیعی مانند گیاهان و جانوران تولید می‌شوند، با این حال، کاروتونوتئیدها از طریق مصنوعی نیز سنتز می‌شوند و در بخش‌های مختلف صنعت آبزی پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارکرد مکمل‌های کاروتونوتئید در بهبود رنگدانه پوست و رشد آبزیان بهویژه ماهیان بهاجرا درآمد. از مهم‌ترین کارکردهای کاروتونوتئیدها می‌توان به کارکرد شباهتی اکسیدانی آن‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد و عوامل اکسید کننده، افزایش ایمنی بدن در برابر بیماری‌های باکتریایی و قارچی، نقش حیاتی در بهبود رشد، بقا و تولیدمثل آبزیان و همچنین، دلالت در مراحل نوزادی یا مراحل اوایله تغذیه اشاره کرد. تاکنون تحقیقات مختلفی پیرامون افزودن مکمل‌های کاروتونوتئیدی به جیره غذایی آبزیان گزارش شده است که تاثیرات مثبت و قابل توجهی بر بهبود رنگ پوست و همچنین، افزایش رشد بسیاری از گونه‌های آبزی از جمله آزادماهی اقیانوس اطلس *Caprinus*, تیلاپیای قرمز (*Oreochromis niloticus*), تترای جواهر (*Hyphessobrycon callistus*), کپور کوی (*Salmo salar*), ماهی طلایی (*Xiphophorus hellerii*), گربه‌ماهی سربزرگ (*Clarias macrocephalus*) و گربه‌ماهی کانالی (*Ictalurus punctatus*) داشته‌اند. مطالعه نتایج به دست آمده از منابع علمی مختلف نشان داد با توجه به تاثیرات نامطلوب کاروتونوتئیدهای مصنوعی بر رشد آبزیان، لازم است که از منابع گیاهی در جیره‌ای غذایی آبزیان به‌منظور بهبود رنگ پوست و همچنین، افزایش رشد و میزان بقای آبزیان در محیط‌های آکواریومی استفاده شود. پژوهش حاضر استخراج کاروتونوتئید از منابع گیاهی از جمله ریزجلبک‌های مختلف از قبیل *Arthrospira maxima*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis* مناسب می‌داند. انجام این قبیل از فعالیت‌ها می‌تواند به ارتقای بیشتر صنعت آبزیان زینتی در سطح بین‌المللی و همچنین، ایجاد اشتغال پایدار در کشور کمک نماید.

**کلمات کلیدی:** کاروتونوتئید، ماهیان زینتی، رنگدانه، آستاگزانتین، رشد

## مقدمه<sup>4</sup>

پرورش ماهیان زینتی، بازاری است که نه تنها در ایران بلکه در سرتاسر جهان به سرعت در حال توسعه است (Radkhah et al., 2019; Radkhah et al., 2020 و اجرای فناوری‌های پیشرفته است تا بتواند جایگاه خود را در حین رقابت در بازار بین‌المللی ارتقا دهد (Hoseinifar et al., 2021; Anjur et al., 2021). پرورش ماهیان زینتی به دلیل رنگ متفاوت و طبیعت جذاب ماهیان و همچنین، علاوه بر سیاری از افراد جامعه به این صنعت مهتم، در سراسر جهان رواج یافته است (Swain et al., 2020). اگرچه ماهیان در طبیعت پر چنبوجوش هستند، اما وقتی در مخازن شیشه‌ای یا مصنوعی آکواریوم پرورش می‌یابند و نگهداری می‌شوند، بیشتر رنگ خود را نسبت به همتایان وحشی خود از دست می‌دهند (Kaur and Shah, 2017). رنگدانه‌ها مسئول طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها در ماهیان می‌باشند و علاوه بر این، یک پیش نیاز ضروری برای کیفیت ماهی هستند، زیرا ماهیانی که از تنوع رنگی بالایی برخوردار باشند، قیمت آن‌ها در بازار تجاری نیز افزایش خواهد یافت (Sefc et al., 2014). از آنجایی که ماهیان نمی‌توانند رنگدانه‌های خود را سنتز کنند، عوامل رنگی که توسط برخی گیاهان، جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌ها سنتز می‌شوند، باید در رژیم غذایی آن‌ها گنجانده شوند (Brown et al., 2013). از این‌رو، برای افزایش رنگ ماهیان زینتی که در مخازن مصنوعی پرورش می‌یابند، استفاده از کارتونیئیدها در جیره غذایی این ماهیان بسیار ضروری است (Swain et al., 2020) با توجه به آنچه در بخش فوق ذکر گردید، مطالعه حاضر به منظور بررسی نفس و کارکرد مکمل‌های کارتونیئید در افزایش رنگدانه پوست و رشد ماهیان در قالب یک تحقیق مروری بهاجرا درآمد. در این مطالعه، با بررسی اهمیت رنگ در صنعت آبزیان زینتی، نقش مهم و کلیدی انواع کارتونیئیدهای گیاهی، جانوری و مصنوعی در بهبود عملکرد رنگدانه‌های پوست و همچنین رشد آبزیان بهویژه ماهیان زینتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## اهمیت رنگ در صنعت آبزیان زینتی

رنگ ویژگی اصلی مرتبط با پذیرش یا رد محصولات شیلاتی به ویژه ماهیان توسط مشتریان است. ماهیان رنگی اغلب جزو ماهیان باکیفیت در بین مصرف‌کنندگان محسوب می‌شوند. برخی از ماهیان به‌دلیل رنگ پریدگی یا نداشتن رنگ مناسب برای صادرات به کشورهای خارجی ارجحیت ندارند. ماهیانی مانند آزادماهی دارای ارزش صادراتی بالایی هستند. با این حال، کیفیت و ارزش بازار پسندی آن‌ها بواسطه رنگ گوشت‌شان تعیین می‌شود (Price et al., 2008). محصولات مختلفی برای کاهش این مشکل معرفی شده‌اند، اما هیچ کدام به اندازه رنگدانه‌های کارتونیئیدی به‌طور موثر عمل نکرده‌اند. امروزه، از انواع رنگدانه‌های کارتونیئیدی در رژیم غذایی ماهیان برای بهبود و افزایش رنگ پوست استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین کارتونیئیدهایی که در افزایش رنگ ماهیان موفق عمل نکرده‌اند، آستاگرانتین<sup>1</sup> می‌باشد که در بیشتر گونه‌های زینتی مانند تترا، سیکلید، گورامی، گلدفیش، گوی و بسیاری از گونه‌های دیگر تاثیر قابل توجهی در بهبود رنگ پوست نشان داده است (Swain et al., 2020).

رنگ یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده قیمت ماهیان زینتی در بازار جهانی است. رنگ پوست ماهی عمدهاً به کروماتوفورها (ملانوفورها، گزان توفورها، اریتروفورها، ایریدوفورها، لکوفورها و سیانوفورها) وابسته است که حاوی رنگدانه‌هایی مانند ملانین، کارتونیئیدها (مانند آستاگرانتین، کانتاگرانتین<sup>2</sup>، لوئین، زیورینین، لوئین و زیتونین) هستند (Saini et al., 2022). بر اساس نظر بسیاری از محققان و کارشناسان، ماهیان توانایی سنتز کارتونیئیدها را ندارند. رنگدانه کارتونیئیدی ماهی ناشی از رنگدانه موجود در رژیم غذایی است. بسیاری از گزارش‌های نشان داده‌اند که تغییر رنگ پوست در طول زمان به سطح کارتونیئید در رژیم غذایی بستگی دارد و در بین گونه‌ها متفاوت است. بنابراین، برای افزایش رنگ پوست ماهی و همچنین گوشت آن در شرایط اسارت، ماهیان باید سطح بهینه‌ای از کارتونیئیدها را در رژیم غذایی خود دریافت نمایند (Das and Biswas, 2016).

کارتونیئیدها توسط جلبک‌ها، گیاهان، قارچ‌ها و باکتری‌ها سنتز می‌شوند، در حالی که سایر موجودات باید کارتونیئیدهای لازم را

<sup>1</sup> Astaxanthin

<sup>2</sup> Canthaxanthin

رنگ‌های زرد (گزان توفیل)، قرمز و نارنجی (کاروتو نوئیدها) و قهوه‌ای و سیاه (ملانین) استفاده می‌کنند (Bagnara and Matsumoto, 2006). گزان توفیل‌ها و کاروتو نوئیدها مهم‌ترین گروه رنگدانه‌ها در بین ماهیان هستند (Fernandes et al., 2018). رنگ‌های زرد و قرمز دو رنگی هستند که بیشترین تأثیر را از غذاهای تقویت‌کننده رنگ می‌گیرند و توسط کروماتوفورها استفاده می‌شود. با این حال، پروتئین و غذاهایی مانند جلبک‌های دریابی همراه با کروماتوفورها برای ایجاد رنگ‌های آبی، بنفش و سبز روش در ماهیان موثر هستند (Das and Biswas, 2016).

سیکلیدماهیان (Perciformes: Cichlidae)، گروهی از ماهیان استخوانی هستند که سیستمی عالی برای آزمایش فرضیه‌های مربوط به تنوع رنگ و گونه‌زایی ارائه می‌دهند. در میان سیکلیدهای آفریقای شرقی که نشان دهنده برخی از مهم‌ترین وضعیت تکامل در میان مهره‌داران می‌باشند (Meyer, 1993)، رنگ بدن به طور جداً یا ناپذیری با تنوع مرتبط است. الگوهای رنگی سیکلیدها در پاسخ به انتخاب طبیعی و جنسی متفاوت است (شکل ۱). در بسیاری از گونه‌های سیکلید، انتخاب جفت و تعاملات مختلف عمیقاً تحت تأثیر رنگ بدن قرار می‌گیرد (Sefc et al., 2014; Arathi et al., 2015).

## رنگدانه‌های کاروتو نوئیدها

کاروتو نوئیدها یکی از رایج‌ترین رنگدانه‌های طبیعی هستند که مسئول بسیاری از رنگ‌های موجود در طبیعت و همچنین عملکردهای مختلف هستند. کاروتو نوئیدها دسته ای از ۸۰۰ رنگدانه طبیعی محلول در چربی هستند که عمدتاً در گیاهان، جلبک‌ها، قارچ‌ها، جانوران، باکتری‌های فتوسنتزی و برخی از باکتری‌های غیرفتوسنتزی یافت می‌شوند (Maoka, 2019). فقط گیاهان، باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها می‌توانند کاروتو نوئیدها را سنتز کنند. جانوران نمی‌توانند کاروتو نوئیدها را بیوسنتز کنند، بنابراین باید آن‌ها را به واسطه رژیم غذایی بدست آورند. در قلمرو جانوران، کاروتو نوئیدها پس از ملانین بیشترین رنگدانه را دارند (Abd El-Gawad et al., 2019). کاروتو نوئیدها نقش مهمی در فرآیند فتوسنتز دارند و عملکرد محافظتی در برابر آسیب‌های ناشی از نور و اکسیژن انجام می‌دهند. این ترکیبات علاوه بر این، عملکردهای حیاتی مختلفی مانند پیش‌ساز ویتامین A (پرو-ویتامین A)، فعالیت آنتی-اکسیدانی و تنظیم‌کننده ایمنی را ایفا می‌کنند و از عضله‌ها

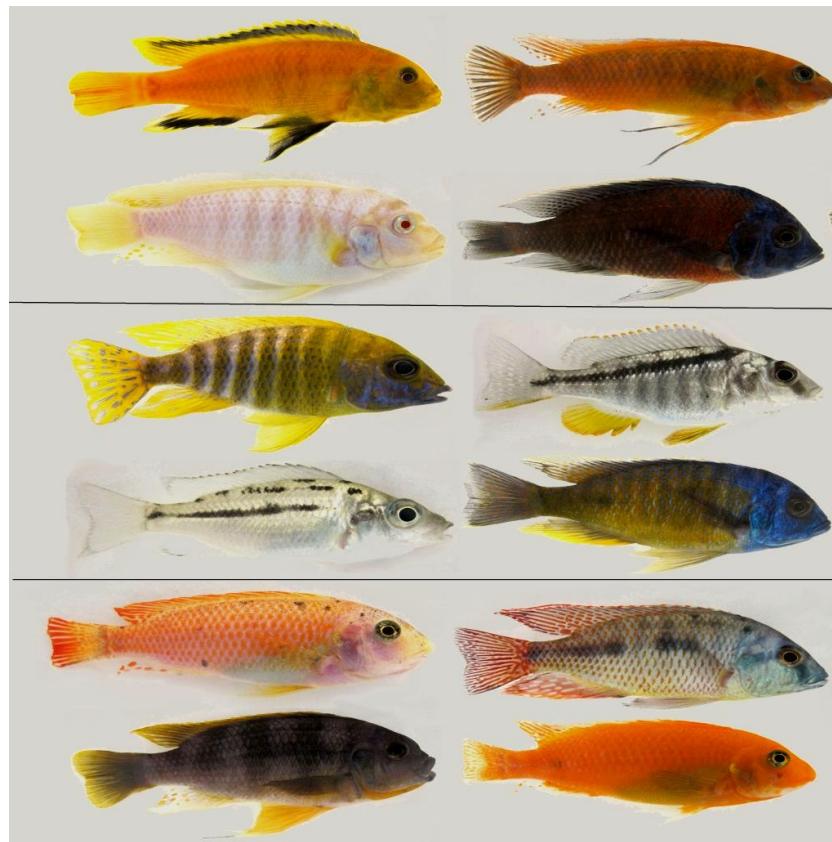
یا مستقیماً از رژیم غذایی دریافت نمایند (Miki, 1991) یا پیش‌سازهای کاروتو نوئیدی رژیم غذایی را از طریق واکنش‌های متابولیکی اصلاح کنند (Lim et al., 2022). در اتوتروف‌ها، کاروتو نوئیدها عمدتاً به عنوان حفاظت‌کننده از نور، مرتبط با فرآیند فتوسنتز عمل می‌کنند، در حالی که سایر ارگانیسم‌های موجود در شبکه غذایی از پتانسیل محافظت‌کنندگی کاروتو نوئیدها در برابر اشعه ماوراء بنفس (UV)، خواص آنتی اکسیدانی آن‌ها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و Radiکال‌های آزاد بهره می‌برند (Nakano and Wiegertjes, 2020). علاوه بر این موارد، نقش کاروتو نوئیدها در بینایی و همچنین در سیستم ایمنی بدن نیز مطرح شده است (et al., 2004; Nakano and Wiegertjes, 2020) در مهره‌داران، رنگ بدن نقش مهمی در استقرار، ارتباطات، فعل و انفعالات اکولوژیکی و گونه‌زایی دارد (Sefc et al., 2014). در ماهیان، رنگ بدن مبتنی بر کاروتو نوئید، تحت تأثیر رژیم غذایی و وضعیت بدن است و با موفقیت در جفت‌گیری مرتبط است (Maan and Sefc, 2013). در باکتری‌ها، کاروتو نوئیدها قابلیت تحمل شرایط استرس‌زا و همچنین سازگاری با شرایط مختلف شامل شوری، دما، ترکیبات رادیواکتیو و pH را دارا هستند (Carvalho and Caramujo, 2017).

## عملکرد کاروتو نوئیدها

در ماهیان، کاروتو نوئیدها عملکردهای مشابهی دارند که در سایر گونه‌های جانوری یافت می‌شود. این ترکیبات پیش‌ساز ویتامین A هستند و به طور قابل توجهی بر عملکرد تولید ممثل تأثیر می‌گذارند (Blaner, 2020). کاروتو نوئیدها آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند، به طوری که موجب تقویت سیستم ایمنی بدن می‌شوند و بر ساختار کبد تأثیر می‌گذارند (Page et al., 2005). اگرچه برخی از پژوهشگران بر این باور هستند که عملکردهای بیولوژیکی کاروتو نوئیدها در ماهیان هنوز به طور کامل مشخص نشده است، اما برخی دیگر از کارشناسان، این ترکیبات را ریز‌مغذی‌های مهمی می‌دانند که ماهی قادر به سنتز آن‌ها نیست و بنابراین باید در رژیم غذایی آن گنجانده شوند (García et al., 2013). (Chavarría and Lara-Flores, 2013)

## رنگدانه در ماهیان

پوست ماهی دارای کرومافور می‌باشد که در واقع، نوعی سلول حاوی رنگدانه است. این رنگدانه‌ها از کاروتو نوئیدها برای ایجاد



(Bloomquist, 2014; Georgia Tech, 2014)

گرفته‌اند. علاوه بر این، کاروتونوئیدهای C<sub>40</sub> توسط ارگانیسم‌های یوکاریوت و باکتری‌ها بیوسنترز می‌شوند و ساختارهای شیمیایی آن‌ها توسط طیف متنوعی از گروههای پایانی تشکیل شده است (Yabuzaki, 2017). بر عکس، کاروتونوئیدهای C<sub>30</sub> و C<sub>50</sub> توسط باکتری‌ها بیوسنترز می‌شوند و به ترتیب تنها حاوی ۶ و ۱۰ واحد ایزوپرنوئید C<sub>5</sub> هستند. در مقابل، تنها باکتری‌های مسئول سنتز کاروتونوئیدهای C<sub>45</sub> متشکل از ۹ واحد ایزوپرنوئید هستند (Rodriguez-Concepcion et al., 2018).

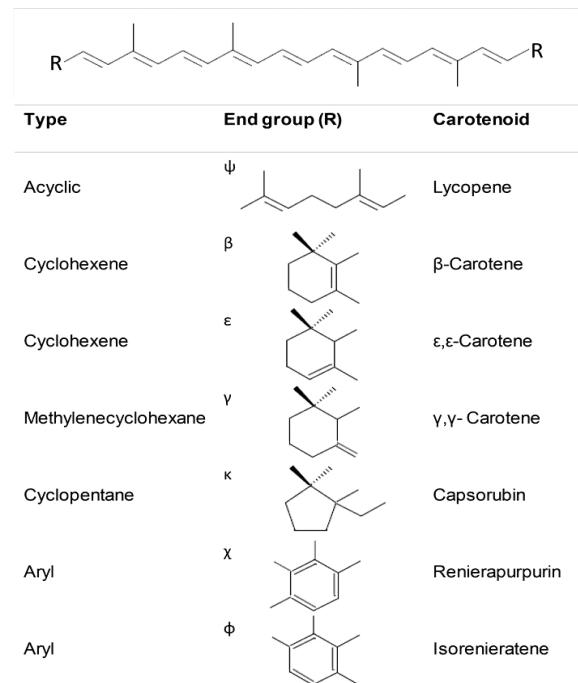
بر طبق مطالعه Fernandes و همکاران (۲۰۱۸)، برجسته‌ترین کاروتونوئیدها با گروههای پایانی - $\beta$ ، - $\beta$ -، - $\gamma$  و - $\epsilon$  به ترتیب لیکوپن (licopene)، بتا-کاروتون ( $\beta$ -carotene)،  $\gamma$ , $\gamma$ -carotene و  $\epsilon$ , $\epsilon$ -carotene هستند (شکل ۲).

با توجه به عناصر شیمیایی موجود در ساختار کاروتونوئیدها، می‌توان آن‌ها را به کاروتون‌ها و گزان توفیل‌ها طبقه‌بندی کرد که در شکل ۳ نشان داده شده است. کاروتون‌ها ترکیباتی هستند که در ساختار خود فقط هیدروکربن دارند (مانند بتاکاروتون و لیکوپن).

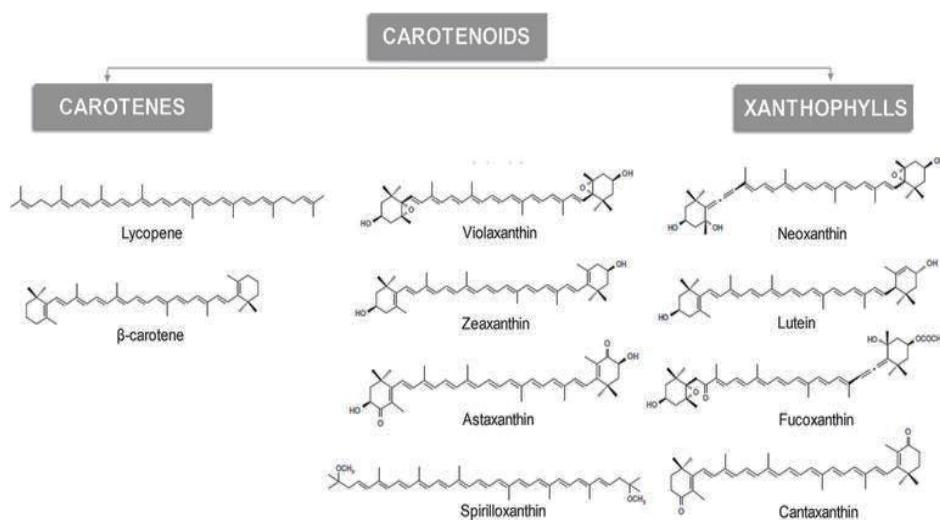
به تخدمان منتقل می‌شوند که موجب عملکرد در بخش تولید مثل می‌شوند (Palace et al., 1999). تحقیقات نشان داده است ماهیانی که دارای سطح بالایی از کاروتونوئیدها هستند، در برابر بیماری‌های باکتریایی و قارچی نیز مقاوم‌تر هستند (Swain et al., 2020).

## ساختار شیمیایی کارتنوئیدها

کاروتونوئیدها به طور طبیعی توسط همه موجودات فتوسنترزی و برخی غیرفسنترزی مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها که متابولیسم کاروتونوزنیک پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهند، سنتز می‌شوند (Britton et al., 2004). اکثر کاروتونوئیدها از یک زنجیره پلی-کربنی مشتق شده‌اند که می‌تواند به عنوان پایه و اساس مولکول در نظر گرفته شود (Swain et al., 2020). آن‌ها بر اساس تعداد کربن‌هایی که ساختارشان را تشکیل می‌دهند به کاروتونوئیدهای C<sub>30</sub>, C<sub>45</sub>, C<sub>40</sub> و C<sub>50</sub> تقسیم می‌شوند، اما تنها کاروتونوئیدهای C<sub>40</sub> مواردی هستند که در طبیعت به وفور یافته می‌شوند و در نتیجه، در تحقیقات متعدد مورد توجه قرار



شکل ۲: کارتنوئیدها با گروههای پایانی مختلف (Fernandes et al., 2018)



شکل ۳: نمونه‌هایی از کاروتنهای و زانتوفیلها (Fernandes et al., 2018)

ماهیان دریایی نیز یافت می‌شود. توناگزانتین به طور گسترده در ماهیان متعلق به راسته سوف‌ماهی شکلان (Perciformes) توزیع می‌شود. رنگ زرد درخشان در باله‌ها و پوست ماهیان دریایی بهدلیل وجود توناگزانتین<sup>۹</sup> است. آزمایشات تغذیه در کپور قرمز نشان داد که توناگزانتین از طریق زآگزانتین، از آستاگزانتین متابولیزه می‌شود. برخی از کاروتونوئیدها مخصوص گروه خاصی از ماهیان هستند. ماهیان معمولاً حاوی کاروتونوئیدهای مختلف در مقادیر کمتری هستند که نسبت آن‌ها اغلب بین نمونه‌ها بهدلیل شرایط فیزیولوژیکی و یا رژیم غذایی آن‌ها متفاوت است (Mezzomo *et al.*, 2016). اگرچه ماهیان نمی‌توانند کاروتونوئیدهای جدید را سنتز کنند، اما برخی از ماهیان خاص، توانایی تبدیل یک شکل از کاروتونوئیدها را به شکل دیگر دارند (García-Chavarría and Lara-Flores, 2013; Swain *et al.*, 2020). بر اساس این ظرفیت، ماهیان به سه نوع طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. نوع کپور قرمز: در این گروه، لوتین به مولکول‌های آستاگزانتین تبدیل می‌شود.
۲. نوع سیم: در این دسته از ماهی‌ها، لوتین کاروتون در بافت‌ها باقی می‌ماند و به شکل دیگری به داخل بدن منتقل نمی‌شود.
۳. نوع میگو: در این گروه، مولکول بتاکاروتون به مولکول آستاگزانتین تبدیل می‌شود (Swain *et al.*, 2020).

### جذب و انتقال کاروتونوئیدها

جذب و توزیع کاروتونوئیدها در ماهیان تحت تأثیر سن و وضعیت فیزیولوژیکی، نوع خوراکی که مصرف می‌کنند و زیستگاه آن‌ها می‌باشد. از آنجایی که کاروتونوئیدها آب‌گریز هستند، به سختی در محیط آبی دستگاه گوارش حل می‌شوند. در نتیجه کاروتونوئیدها به لیبیدها متصل می‌شوند تا امکان انتقال آن‌ها فراهم شود (González-Peña *et al.*, 2023). جذب روده‌ای کاروتونوئیدها شامل فرآیندهای بسیاری است. علاوه بر این، در مقایسه با سایر مواد غذایی ماهی، کاروتونوئیدها به طور قابل توجهی گندتر جذب می‌شوند (Monica and Swamy, 2022). به عنوان مثال تقریباً ۱۸ تا ۳۰ ساعت برای جذب تقریباً ۳۵ درصد آستاگزانتین در آزادماهیان از طریق پروگزیمال روده نیاز است (Das and Biswas, 2016).

از طرف دیگر، گزانتوفیل‌ها در واقع کاروتونوئیدهای اکسیژن دار هستند (Britton *et al.*, 2004) که حاوی گروه‌های عملکردی مختلفی مانند یک اپوکسی (وبولاگزانتین<sup>۱</sup>، نئوگزانتین<sup>۲</sup> و فوکوگزانتین<sup>۳</sup>)، هیدروکسی (لوتین<sup>۴</sup> و زآگزانتین<sup>۵</sup>، کتو (آستاگزانتین و کانتاگزانتین) و گروه‌های متوكسی

(اسپیریلوگزانتین<sup>۶</sup>) هستند (Fernandes *et al.*, 2018). بهنوبه خود، گزانتوفیل‌ها جزو کاروتونوئیدهای اصلی در بافت‌های فتوسنتری هستند (Arathi *et al.*, 2015).

### کاروتونوئیدها در ماهیان

Das و Biswas (2016) به مطالعه تنوع کاروتونوئیدها در ماهیان پرداختند و اظهار داشتند که ماهیان حاوی انواع مختلفی از کاروتونوئیدها هستند که غالباً آن‌ها مختص گونه مورد نظر است (Kalinowski *et al.*, 2007). کاروتونوئیدهای خاصی برای هر گونه ماهی وجود دارند. آن‌ها بیان داشتند کاروتونوئیدهای متنوعی که معمولاً در ماهیان به‌واسطه رنگ آن‌ها یافت می‌شوند شامل توناگزانتین<sup>۷</sup> (زرد)، لوتین (زرد مایل به سبز)، بتا کاروتون (نارنجی)، دورادگزانتین<sup>۸</sup> (زرد)، زآگزانتین (نارنجی زرد)، کانتاگزانتین (قرمز نارنجی)، آستاگزانتین (قرمز) و تاراگزانتین<sup>۹</sup> (زرد) می‌باشند (Das and Biswas, 2016; Carvalho and Caramujo, 2017). تجمع کاروتونوئیدها در ماهیان بیشتر در غدد جنسی آن‌ها اتفاق می‌افتد (Maoka, 2009)، به استثنای چند مورد از خانواده آزادماهیان (Salmonidae) که در آن‌ها آستاگزانتین در عضله/ماهیچه تجمع می‌باید (Das and Biswas, 2016).

آزادماهیان (Salmonidae) به‌طور ویژه آستاگزانتین را در عضله‌ها انباشت می‌کنند (Nakano *et al.*, 2004). رنگدانه لوتین در ماهیان آب شیرین شایع است، اما در بسیاری از

<sup>1</sup> Violaxanthin

<sup>2</sup> Neoxanthin

<sup>3</sup> Fucoxanthin

<sup>4</sup> Zeaxanthin

<sup>5</sup> Spirilloxanthin

<sup>6</sup> Tunaxanthin

<sup>7</sup> Doradexanthins

<sup>8</sup> Taraxanthin

<sup>9</sup> Tunaxanthin

Yoshikawa *et al.*, 2001; *officinalis* گزارش شده است (Harrison, 2012).

### ثبت رنگ در ماهیان

مهمنترین مسئله برای پرورش دهنده‌گان ماهیان زینتی و آبزی-پروران حفظ رنگ پوست به دست آمده پس از عدم تغذیه ماهی است. Dananjaya و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که رنگ پوست ماهی طلایی پس از ۹۰ روز پرورش ناپایدار است (Monica and Swamy, 2022). یک رویکرد سنتی برای ترویج آسان رنگ پوست وجود دارد، که شامل پرورش ماهیان زینتی در یک مخزن یا استخر با جلبک‌های غنی از کاروتونؤید است و به ماهی اجازه می‌دهد تا رنگ پوست مورد نظر را ایجاد کند (Lamers *et al.*, 2008). اگرچه این روش ساده است، اما ثبات رنگ را تضمین نمی‌کند و گاهی اوقات می‌تواند منجر به مشکلات کیفیت آب شود. رنگ پوست ماهی ممکن است با تنظیم عوامل محیطی مانند شدت نور، دما، استرس مدیریت و نیازهای تغذیه-ای تغییر یابد (Gouveia *et al.*, 2003). برای درک کامل ثبات رنگ در ماهیان، پژوهش‌ها و مطالعات بیشتری مورد نیاز است (Monica and Swamy, 2022).

تحقیقات کمی در مورد رژیم غذایی ماهیان زینتی و افزایش رنگ آن‌ها وجود دارد. بر اساس یافته‌های به دست آمده، کاروتونؤیدها جزء ضروری در صنعت تجاری ماهیان زینتی هستند. منابع گیاهی طبیعی را می‌توان در رژیم‌های غذایی فرموله شده برای حفظ رنگ یا افزایش آن در محیط‌های آبی استفاده کرد (Guedes *et al.*, 2011). این امر فرسته‌هایی را برای بخش ماهیان زینتی و همچنین و ایجاد شغل در این صنعت مهم ایجاد می‌کند (Monica and Swamy, 2022).

### عوامل موثر بر رنگ ماهیان زینتی

نوع کاروتونؤید استفاده شده در جیره، منبع رنگدانه، غلظت، طول مدت تغذیه با کاروتونؤید، سایر مواد غذایی موجود در جیره، روش‌های استخراج کاروتونؤید، اندازه و وزن بدن، چرخه زندگی، ژنتیک، متabolیسم کاروتونؤیدها، عوامل محیطی و استرس همگی بر نوع و میزان رنگ در ماهیان زینتی تأثیر می‌گذارد (Monica and Swamy, 2022).

### منابع کاروتونؤیدها

### متabolیسم کاروتونؤیدها

هیچ مکانیسم مشترکی برای متabolیسم کاروتونؤیدها در بافت‌ها و تبدیل‌های بعدی آن‌ها در ماهی وجود ندارد. بر طبق مطالعات، اندام‌هایی مانند کبد یا روده که در آن‌ها متabolیت‌های کاروتونؤیدها وجود دارد، متabolیسم این ترکیبات را انجام می-دهند (Das and Biswas, 2016). تحقیقات نشان می‌دهد که ماهیان بر اساس ظرفیت متabolیسم کاروتونؤیدها، طبقه‌بندی می‌شوند. یک نوع ماهی نیاز به افزودن مشتق‌ات اکسیژن‌دار خاص به رژیم غذایی خود دارد، زیرا قادر به اکسیداسیون یونی نیست (Swain *et al.*, 2020). در حالی که نوع دیگر، مانند ماهی طلایی یا کپور قرمز، قادر به اکسیداسیون است و بنابراین پتانسیل تبدیل زاگرانه‌ی و لوتین را به آستاگرانه‌ی دارد (Monica and Swamy, 2022).

### تقویت رنگدانه ماهیان

تاکنون، فعالیت‌های قابل توجهی بر روی رنگدانه بسیاری از گونه‌های تجاری ماهی با استفاده از کاروتونؤیدها انجام شده است. از این نظر، جلبک‌هایی مانند کلراولا و لگاریس (*Chlorella vulgaris*) به اندازه همتای مصنوعی خود در رنگدانه‌سازی دو گونه مهم ماهی زینتی شامل کپور کوی (*Cyprinus carpio*) و ماهی طلایی (*Carassius auratus*) موثر هستند (Ukiya *et al.*, 2011) و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند افزایش رنگدانه در ماهی دُمشمشیری (*Xiphophorus hellerii*) در *Calendula* هنگام تغذیه با خوراک فرموله شده حاوی *Calendula officinalis* مشاهده شد و محققان به این نتیجه دست یافتند که لوتین می‌تواند به عنوان منبع رنگدانه مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که گونه‌ی *Calendula officinalis* معروف به گل همیشه بهار یک گیاه گل‌دار با گلبرگ‌های زردرنگ از خانواده کاسنیان (Asteraceae) است. این گونه احتمالاً بومی اروپای جنوبی است، اگرچه ساقه طولانی کشت آن باعث می‌شود منشاء دقیق آن ناشناخته باشد (Ukiya *et al.*, 2006). این گیاه در بخش‌های دیگر در مناطق گرم و معتدل‌له جهان نیز یافت می‌شود (Yoshikawa *et al.*, 2001). تاکنون کاربردهای دارویی و گیاهی مختلفی از گیاه C.

خوبی به دست آورده، این در حالی است که استفاده از فلفل قرمز اثربخشی کمتری در مقایسه با آستاگرانتین تجاری داشت. علاوه بر این، رنگدانه‌های اولئورزین پاپریکا (*Paprika oleoresin*) در مقایسه با کانتاگرانتین در قزل‌آلای رنگین‌کمان، رنگ مطلوب کمتری ایجاد می‌کنند (*Yanar et al.*, 2007). در مطالعه‌ای که سیم‌ماهی گیلتهد (Sparus aurata) با رژیم غذایی حاوی گلوتن ذرت تغذیه شد، رنگ سر و ناحیه آبشش ماهی به رنگ زرد همنوعان خود در طبیعت نزدیک شد. با این حال، کاروتونوئیدهای گیاهی عمدتاً از رنگدانه میکروجلبک‌ها مشتق می‌شوند. به عنوان مثال، اگر شرایط پرورش مانند کاهش نیتروژن، شدت نور بالا و دما در حد مطلوب تگه داشته شود، جلبک‌هایی از قبیل هماتوکوس پلوبالیس، کلرلا ولگاریس (*C. vulgaris*), دونالیلا سالینا (*Dunaliella salina*) و آرتروسپیرا ماسیما (*Arthrospira maxima*) می‌توانند کاروتونوئیدهای ثانویه را انباست کنند و زیست‌توده آن‌ها را می‌توان به عنوان رنگ در بخش آبزی‌پروری استفاده کرد (*Lamers et al.*, 2008).

ریزجلبک آب شیرین (*Haematococcus pluvialis*) عمدتاً به دلیل رشد سریع و محتوای بالای آستاگرانتین به طور تجاری برای آبزی‌پروری مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این ریزجلبک، منبع اصلی رنگدانه در ماهیان زینتی استوایی است که مسئول گونه‌های مختلف رنگ زرد، قرمز و رنگ‌های دیگر است. این رنگ‌ها از طریق کاروتونوئیدهای موجود در زنجیره غذایی آبزیان به دست می‌آیند. بر طبق مطالعه انجام شده توسط Hancz و همکاران (۲۰۰۳)، کپورماهیان کوی و ماهیان طلایی تغذیه شده با فلفل قرمز (پاپریکا) به میزان ۱۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن ماده غذایی، رنگ قرمز متمایل به روشن را در پوست خود نشان دادند. علاوه بر این، Gouveia و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که استفاده از کلرلا ولگاریس، هماتوکوس پلوبالیس و آرتروسپیرا ماسیما به میزان ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ماهی کوی و ماهی طلایی، رنگ هر دو گونه را بهبود بخشید. Xu و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیان داشتند که در ماهی طلایی (*C. auratus*) تغذیه شده با آستاگرانتین حاصله از مخمر قرمز به مقدار ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان رنگدانه در گوشت، فلس، سر و باله‌های ماهی افزایش یافت.

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با فلفل قرمز اولئورسین بود، رنگ قابل توجهی از دست نداد. ادغام رژیم غذایی هماتوکوس پلوبالیس (

سه منبع اصلی وجود دارد که جانوران از طریق آن‌ها می‌توانند کاروتونوئیدها را به دست آورند. این موارد شامل منابع گیاهی، جانوری و مصنوعی می‌باشند. در ادامه، به بررسی هر یک از منابع کاروتونوئیدها پرداخته می‌شود.

### کاروتونوئیدهای گیاهی

کاروتونوئیدها توسط جلبک‌های فتوسنتری و گیاهان، قارچ‌ها و باکتری‌ها سنتز می‌شوند، در حالی که سایر موجودات باید کاروتونوئیدهای لازم را یا مستقیماً از رژیم غذایی دریافت کنند، یا پیش‌سازهای کاروتونوئیدی رژیم غذایی را از طریق واکنش‌های متابولیکی اصلاح کنند. در اوتوفوفها، کاروتونوئیدها عمدتاً به عنوان محافظ نور مرتبط با فرآیند فتوسنتر عمل می‌کنند (Carvalho and Caramujo, 2017) موجودات در شبکه غذایی از محافظت آنها در برابر اشعه مأموراء بنفس (UV)، خواص آنتی اکسیدانی آن‌ها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و رادیکال‌های آزاد (Maoka, 2011) نقش آن‌ها در بینایی، به عنوان پیش‌سازهای تنظیم کننده Carvalho, 2017 رونویسی، و در سیستم ایمنی بدن بهره می‌برند (and Caramujo, 2017 در استارتار، ارتباطات، فعل و انفعالات اکولوژیکی و گونه‌زایی دارد. در ماهی، رنگ بدن مبتنی بر کاروتونوئید تحت تأثیر رژیم غذایی و وضعیت بدن است و به طور مثبت با موقوفیت جفت‌گیری و تسلط اجتماعی مرتبط است (Maan and Sefc, 2013). در باکتری‌ها، کاروتونوئیدها همچنین با تحمل و سازگاری با چندین شرایط استرس‌زا مرتبط هستند که شامل شوری، ترکیبات رادیواکتیو، pH و دما هستند (Asker et al., 2007).

گیاهان همچنین دارای پتانسیل به عنوان منابع کاروتونوئیدی هستند. کاروتونوئیدهای گیاهی عمدتاً از رنگدانه میکروجلبک‌ها به دست می‌آیند. محصولات تجاری موجود از مخمر غنی از آستاگرانتین *Phafia rhodozyma* و محصول تخمیر *Xanthophyllomyces dendrorhous* به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mata-Gómez et al., 2014). مواد تشکیل دهنده خوارک مانند ذرت زرد، کنجاله گلوتن ذرت و یونجه عمدتاً به عنوان منابع کاروتونوئیدها در فرمولاسیون جیره آبزی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ranjan, 2016). سایر مواد غنی از کاروتونوئیدهای مورد استفاده شامل کنجاله گل همیشه بهار (*Tagetes erecta*) و فلفل قرمز (*Capsicum sp.*) بودند. آزمایش‌های انجام شده با استفاده از فلفل قرمز نتایج

پوست را از خاکستری تیره به صورتی قرمز تغییر داد. همچنین، ترکیب پوسته میگو به میزان ۱۶ درصد در جیره غذایی این ماهی، باعث افزایش ثبات کاروتونوئید در بافت پوست شد (Swain *et al.*, 2020).

### کاروتونوئیدهای مصنوعی

منابع کاروتونوئیدی گیاهی و جانوری حاوی مخلوطی از رنگدانه‌های مختلف هستند. از سوی دیگر، کاروتونوئیدهای مصنوعی فقط حاوی یک رنگدانه خاص هستند، اما مشکل ذخیره‌سازی دارند چراکه به گرما، نور و هوا بسیار حساس هستند. با این حال، اشکال پایدار رنگدانه‌های مصنوعی در بازار موجود هستند که با آسکوربیل پالمیتات<sup>۱</sup>، اتوکسیکین<sup>۲</sup> و ترکیبات دیگر امولسیون شده‌اند (Swain *et al.*, 2020).

آستاگزانتین (Naturose®) با مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، باعث افزایش رنگ مایل به قرمز روشن در هر دو ناحیه پشتی و شکمی سیم‌ماهی دریایی (*P. pagrus*) شد. در مطالعه دیگری، و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که آستاگزانتین به میزان ۷/۴-۸/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، رنگ تیره بیشتری در لابستر استوایی (*Panulirus ornatus*) نسبت به گروه شاهد ایجاد کرد.

Tejera و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که در گونه‌ی *P. pagrus* تغذیه شده با ۵۰ تا ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آستاگزانتین، رنگدانه مایل به قرمز در این ماهی پدیدار شد. در تحقیق دیگری، Doolan و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثر ترکیب رژیم غذایی آستاگزانتین بر حفظ رنگدانه پوست در اسنپر استرالیایی (*Pagrus auratus*) پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که ترکیب رژیم غذایی آستاگزانتین به میزان ۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث حفظ رنگدانه بیشتر در پوست اسنپر استرالیایی (*P. auratus*) شد. همچنین، مصرف کاروتونوئید مصنوعی به میزان ۱/۵ گرم بر کیلوگرم در کپور‌ماهی زینتی ژاپنی (*Cyprinus carpio L.*) باعث بهبود رنگدانه پوست شد (Sun *et al.*, 2012). بر طبق مطالعه Yi و همکاران (۲۰۱۴)، ترکیب رژیم غذایی گزانتوفیل‌ها به میزان ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۱/۲۰-۱/۱۰ برابر رنگ زرد بیشتری را در ناحیه شکمی پوست و ۱/۳۵-۱/۲۵ برابر رنگ زرد بیشتری را ناحیه پشتی

(*pluvialis*) به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گونه‌ای از سیم‌ماهی دریایی (*Pagrus pagrus*) باعث ایجاد پوست صورتی رنگ شد (Tejera *et al.*, 2007). ترکیب رژیم غذایی یونجه ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث بهبود رنگدانه در بافت‌ها شد. Sun و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند در ماهی کپور زینتی ژاپنی (C. carpio L.) که با ۷۵ گرم بر کیلوگرم ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*) تغذیه شده بود، امکان بهبود رنگدانه‌ها در پوست بدنه طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. افزودن غذای اسپیرولینا پلاتنسیس (Spirulina) در رژیم غذایی با ۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث بهبود رنگدانه شد (Pham *et al.*, 2020). Swain *et al.*, 2020 بیان کردند که ترکیب رژیم غذایی پاپریکا و همکاران (۲۰۱۴) بهتر رنگدانه شد (Swain *et al.*, 2020). بیان کردند که ترکیب رژیم غذایی پاپریکا و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم عصاره *H. pluvialis* موجب بهبود رنگدانه‌های پوست در کفشک‌ماهی زیتونی (Paralichthys olivaceus) شد.

### کاروتونوئیدهای جانوری

منابع جانوری که از نظر تجاری توسط صنعت آبزی پروری به عنوان افزودنی خوارک برای تقویت رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند، عمدها از محصولات جانبی جانوران و برخی از میکروارگانیسم‌ها که حاوی کاروتونوئیدها هستند، به دست می‌آیند. جانورانی مانند میگو، کریل، خرچنگ و غیره به عنوان منابع بالقوه کاروتونوئیدها استفاده می‌شوند. این جانوران همچنین سرشار از نمک‌های معدنی (۳۰-۳۵ درصد)، پروتئین‌ها (۲۵-۵۰ درصد) و کیتین (۲۵-۳۵ درصد) هستند. در میان میکروارگانیسم‌ها، مخمر (*Phaffia Rhodozyma*) منبع اصلی آستاگزانتین می‌باشد (Johnson, 2003). این مخمر به عنوان منبع مطلوبی از پروتئین‌ها و لیپیدها عمل می‌کند. گنجاندن این منبع کاروتونوئید، گذشته از تأثیر مثبت آن بر رنگدانه‌های ماهی، عملکرد کبد و پتانسیل دفاعی آن را در برابر استرس اکسیداتیو افزایش می‌دهد (Abd El-Gawad *et al.*, 2019). ترکیب رژیم غذایی آستاگزانتین حاصله از پوسته‌های میگو (Pleisonika sp.) به مقدار ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد که رنگ پوست به دست آمده توسط ماهی *P. pagrus* شبیه به نمونه‌های وحشی پرورش یافته این گونه است. ماهی *P. pagrus* تغذیه شده با پوسته‌های میگو به میزان ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، رنگ

<sup>1</sup> Ascorbyl palmitate

<sup>2</sup> Ethoxyquin

طلایی تأثیری نداشت (Swain *et al.*, 2020). با این حال، ماهی طلایی تغذیه شده با ۶ درصد هویج، نرخ رشد ویژه بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد. Swain و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که افزودن ۱ درصد پودر هویج به جیره کپور کوی در افزایش رشد و بهبود رنگ پوست مؤثر بود. بر طبق نتایج Maiti و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزودن ۱۸۰ ppm اولوئرسین گل همیشه بهار به جیره غذایی در افزایش رشد و رنگ در کپور کوی (*C. carpio*) تأثیرگذار بود. Ninwichian و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که سه نوع مختلف از منابع طبیعی کارتونوئید شامل *Paracoccus sp.*, *Phafia rhodozyma* و *Haematococcus pluvialis* در سطح ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره، تفاوت معنی‌داری در رشد ماهی کوی نشان ندادند. بر خلاف این مطالعه، در تحقیق Swain و همکاران (۲۰۲۰) بیان شد که یک رژیم غذایی مبتنی بر ژلاتین غنی‌شده با پودر گلبرگ گل همیشه بهار و مواد پروتئینی می‌تواند نتیجه بهتری از افزایش رشد و بهبود رنگ پوست در ماهی دُم‌شمیشیر (*X. hellerii*) نشان دهد (Swain *et al.*, 2020).

تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که ترکیب کارتونوئیدهای مصنوعی یا مواد غذایی غنی از کارتونوئید طبیعی در رژیم غذایی ماهیان باعث افزایش رشد و بهبود رنگ پوست آن‌ها می‌شود (Choubert, 2010; Ansari *et al.*, 2013; Nhan *et al.*, 2019). با این حال، سطح مکمل غذایی بهینه برای هر یک از رنگدانه‌های کارتونوئیدی (کانتاگزانتین، آستاگزانتین، گزان توفیل) برای گونه‌های مختلف ماهی متفاوت است (Ahmed and Ahmed, 2000; Delgado, 2000).

Baccaunaud و Choubert (۲۰۰۶) به بررسی اثرات استفاده از کانتاگزانتین یا آستاگزانتین روی فیله‌های قزل‌آلای رنگین-کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرداختند و بیان کردند که اثرات استفاده از کانتاگزانتین یا آستاگزانتین در سطح مکمل غذایی ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رژیم غذایی موثر است. در مطالعه دیگری، Yi و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که هم گزان توفیل‌ها و هم آستاگزانتین (۳۷/۷۵-۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم رژیم غذایی (منابع کارتونوئیدی مؤثری برای بهبود رنگ پوست در گونه‌ی *Larimichthys croceus* هستند.

Hien و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثرات رنگدانه‌های کارتونوئیدی مکمل بر رشد و عملکرد رنگ در گربه‌ماهی سر-بزرگ (*Clarias macrocephalus*) پرداختند. در این مطالعه، دو آزمایش برای تعیین انواع مناسب، مدت زمان تغذیه و غلظت

پوست ماهی *Larimichthys polyactis* نشان داد. مطالعه مشابه دیگری توسط Wade و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که در میگوی ببری غول پیکری که با آستاگزانتین ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم تغذیه شده بود، رنگدانه‌های قابل ملاحظه‌ای در ناحیه پوست مشاهده شدند.

## تأثیر کارتونوئیدها بر رشد آبزیان

در مورد نقش کارتونوئیدها در رشد ماهیان اختلاف نظرهای زیادی وجود دارد. در این رابطه، چندین مطالعه تأثیرات مثبتی را گزارش کردند در حالی که سایرین هیچ تأثیری مشاهده نکردند. در بچه‌ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*), افزودن آستاگزانتین مصنوعی و کانتاگزانتین نه تنها رشد، بلکه بقا را نیز افزایش داد. به عنوان مثال، رشد بهبود یافته آزاده‌ماهی اقیانوس اطلس با تکمیل رژیم غذایی حاوی آستاگزانتین یا کانتاگزانتین مشاهده شد و هیچ تفاوت قابل توجهی بین رژیم غذایی حاوی آستاگزانتین و کانتاگزانتین مشاهده نشد. نتایج مشابهی برای ماهی تیلاپیای قرمز (*Oreochromis niloticus*) و میگوی کوروما<sup>۱</sup> (*Penaeus japonicus*) گزارش شد (Swain *et al.*, 2020) و همکاران (۲۰۰۶) اظهار نمودند که با افزودن مکمل‌های کارتونوئید به جیره غذایی گونه‌ی *Hypessobrycon callistus* مقایسه با جیره‌های معمولی بدون کارتونوئید مشاهده شد. تعامل بین آستاگزانتین و مکمل ویتامین A بر رشد و بقا در اولین تغذیه بچه‌ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*S. salar*) مورد بررسی قرار گرفت. جیره‌های آزمایشی بر اساس یک رژیم غذایی نیمه خالص مبتنی بر کازئین بدون ویتامین و کارتونوئید و ژلاتین به عنوان منابع پروتئین بود. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که تغذیه ۱۳۵ روزه به وضوح رشد و بقای قابل توجهی در مکمل آستاگزانتین نسبت به رژیم غذایی آزمایشی را نشان داد و مکمل ویتامین A به تنها یی از رشد و بقا حمایت نکرد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که یک پرووویتامین تابعی از آستاگزانتین است، اما این ترکیب به تنها یی قادر به توضیح اثر مکمل‌سازی آستاگزانتین نیست (Wang *et al.*, 2006; Swain *et al.*, 2020).

تحقیقات انجام شده نشان دادند که گنجاندن رنگدانه‌های کارتونوئیدی در رژیم غذایی، بر رشد و کارایی تغذیه بچه ماهی

<sup>۱</sup> Kuruma shrimp

## نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

تحقیق حاضر نشان داد که کاروتونئیدها جزء ضروری صنعت ماهیان زینتی محسوب می‌شوند. با توجه به اثرات نامطلوب کاروتونئیدهای مصنوعی بر محیط آبی، می‌توان از منابع گیاهی و طبیعی ترکیب جیره غذایی ماهیان استفاده نمود. انجام این قبیل از فعالیت‌ها می‌تواند به ارتقای صنعت ماهیان زینتی و همچنین، ایجاد اشتغال در این حوزه کمک نماید. با توجه تخریب محیط‌زیست، پسماندها و سایر مشکلات مرتبط با آلودگی، شیوه‌های اخیر آبزیپروری اهمیت بیشتری به بخش ارگانیک می‌دهد، چراکه عرضه افزودنی‌های مصنوعی در جیره غذایی جانوران محدود شده است. علاوه بر این، ترکیب کاروتونئیدهای مصنوعی در جیره می‌تواند هزینه خوراک را افزایش دهد. منابع طبیعی گیاهی و جانوری حاوی منابع فراوانی از کاروتونئیدها هستند. در نتیجه، استفاده از کاروتونئیدهای مشتق شده از گیاهان و جانوران باید بهوفور برای فرمولاسیون خوراک آبزیان تجاری مورد استفاده قرار گیرند.

تاکنون، تحقیقاتی روی اثرات کاروتونئیدها بر سلامت انسان، تقریباً منحصرأ روی بتاکاروتون، متمنکر شده‌اند. علاوه بر این، بررسی تأثیر کاروتونئیدهای مختلف بر سیستم ایمنی و غدد درون‌ریز، متابولیسم آن‌ها، مکانیسم اثر و برهمنکش کاروتونئیدها در داخل بدن باید آشکار شود. همچنین، در صنعت آبزی‌پروری درک و کنترل چندین پارامتر که بر رشد بدن و رنگدانه ماهی تأثیر می‌گذارند، بسیار مهم است و از ضروریت‌های تحقیقاتی در این حوزه بهشمار می‌رود. به عنوان مثال، قابلیت هضم کاروتونئیدها که ظاهرأ تحت تأثیر مصرف خوراک است، باید مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین، حفظ کاروتونئید توسط بافت که به گونه ماهی بستگی دارد و همچنین، چرخه متabolیک کاروتونئیدها و اثرات فیزیولوژیکی ناشی از دریافت کاروتونئیدها در مراحل رشد گونه‌های پرورشی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. فرمول‌های غذایی باید اثرات احتمالی را نه تنها روی رنگدانه‌ها، بلکه بر سیستم ایمنی و رشد عضله‌ها، اسکلت و سیستم عصبی ماهیان مورد توجه قرار دهنند.

## منابع

**Abd El-Gawad, E.A., Wang, H.-P. and Yao, H.,**

**2019.** Diet supplemented with synthetic carotenoids: Effects on growth performance and

رنگدانه‌های آستاگزانتین (As)، کانتاگزانتین (Ca) و گزانتوفیل (Xa) به صورت جداگانه و ترکیبی انجام شد. بر طبق نتایج، به‌طور مداوم، بالاترین محتوای کاروتونئید عضلانی در ماهیان تغذیه شده با رژیم غذایی گزانتوفیل (Xa) یافت شد. رژیم غذایی گزانتوفیل برای آزمایش انتخاب شد. این آزمایش شامل چهار رژیم غذایی مکمل گزانتوفیل با مقادیر ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و یک رژیم غذایی پایه بدون مکمل گزانتوفیل بود. نتایج نشان داد که تفاوتی در نرخ رشد ویژه<sup>۱</sup> (SGR) یا نرخ بقای<sup>۲</sup> (SR) ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف گزانتوفیل وجود نداشت. ماهیانی که با جیره گزانتوفیل به میزان ۷۵ میلی- گرم بر کیلوگرم تغذیه شده بودند، بدليل «زردی» طبیعی عضله‌ها، بیشترین ترجیح را در میان مصرف‌کنندگان داشتند. بنابراین، نتایج مطالعه Hien و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که رنگدانه‌های کاروتونئیدی بر عملکرد رشد ماهی تأثیر نمی‌گذارد. با توجه به این موضوع، پرورش دهنده‌گان ماهی و تولیدکنندگان جیره می‌توانند از گزانتوفیل (Xa) با غلظت بهینه ۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم برای افزایش عملکرد رنگ در گربه‌ماهی سریزگ (C. macrocephalus) جهت رسیدن به اندازه بازاری آن برای حداقل ۴ هفته قبل از برداشت استفاده کنند.

مطالعات نشان داده‌اند که کمبود ویتامین A و اسیدهای چرب غیراشباع چندزنجدیره<sup>۳</sup> (HUFA) بر میزان عملکرد رنگدانه‌های پوست تأثیر می‌گذارند (Huang et al., 2018). بر طبق مطالعه Lovell و Lim (۱۹۷۸) پوست ویتامین A باعث بی‌رنگ شدن پوست گربه ماهی کانالی (Ictalurus punctatus) می‌شود. به نظر می‌رسد این کمبود با غنی‌سازی غذای زنده با جلبک‌های حاوی کاروتونئید کاهش می‌یابد. بر طبق مطالعات انجام شده، استرهای ویتامین A برای بچه‌ماهی آزاد اقیانوس اطلس در دسترس هستند و نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که لارو ماهیان دریایی به کاروتونئیدها یا ترجیحاً آستاگزانتین نیاز دارند (Christiansen et al., 1994; García-Chavarría and Lara-Flores, 2013; García-Chavarría, 2013) اظهار داشتند که مکمل آستاگزانتین در ماهی قزل‌آل و ماهی قرمز باعث افزایش رشد تخمدان، لقاح، تفریخ و رشد لاروها می‌شود.

<sup>1</sup> Specific growth rate

<sup>2</sup> Survival rate

<sup>3</sup> Highly unsaturated fatty acids

biochemical and immunological parameters of yellow perch (*Perca flavescens*) *Front. Physiol.* 10, 1056. DOI:10.3389/fphys.2019.01056

**Ahmed, M. and Delgado, C., 2000.** Introduction to the issues and context of rapid changes in world demand of fish. Meeting Int. Inst. for Fish Econ. And Trade (II FET), 10-14 July, Corvallis, Oregon, USA.

**Anjur, N., Sabran, S.F., Daud, H.M. and Othman, N.Z., 2021.** An update on the ornamental fish industry in Malaysia: *Aeromonas hydrophila*-associated disease and its treatment control. *Vet World*, 14(5):1143-1152.

**Ansari, R., Alizadeh, M., Shamsai, M. and Khodadadi, M., 2013.** Effect of synthetic and algal astaxanthin on the reproduction efficiency of female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fisheries*, 26, 15–22.

**Arathi, B.P., Sowmya, P.R.R., Vijaya, K., Baskaran, V. and Lakshminarayanan, R., 2015.** Metabolomics of carotenoids: The challenges and prospects: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 45, 105-117. DOI:10.1016/j.tifs.2015.06.003

**Asker, D., Beppu, T. and Ueda, K., 2007.** Unique diversity of carotenoid-producing bacteria isolated from Misasa, a radioactive site in Japan. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 77, 383-392. DOI:10.1007/s00253-007-1157-8

**Bagnara, J.T. and Matsumoto, J., 2006.** The Pigmentary System: Physiology and Pathophysiology. Nordland JJ, Boissy RE, Hearing VJ, King RA, Oetting WS, Ortonne JP, editors. New York, New York: Oxford University Press; 2006. Chapter 2. Comparative

anatomy and physiology of pigment cells in nonmammalian tissues; pp. 1–23.

**Barclay, M.C., Irvin, S.J., Williams, K.C. and Smith, D.M., 2006.** Comparison of diets for the tropical spiny lobster, *Panulirus ornatus*: astaxanthin supplemented feeds and mussel flesh. *Aquaculture Nutrition*, 12(2), 117-125.

**Blaner, W.S., 2020.** Vitamin A and Provitamin A Carotenoids. In: Marriott BP, Birt DF, Stallings VA, Yates AA, eds. *Present Knowledge in Nutrition*. 11<sup>th</sup> ed. Cambridge, Massachusetts: Wiley-Blackwell; 2020, pp. 73-91.

**Bloomquist, A., 2014.** A display of the diversity in male cichlid fish. <https://news.gatech.edu>. Accessed July 24, 2014.

**Britton, G., Liaaen-Jensen, S. and Pfander, H., 2004.** Carotenoids: Handbook. 1st ed. Basel, Switzerland: Springer Basel AG; 2004, 646 p. DOI:10.1007/978-3-0348-7836-4

**Brown, A.C., McGraw, K.J. and Clotfelter, E.D., 2013.** Dietary carotenoids increase yellow nonpigment coloration of female convict cichlids (*Amantitlania nigrofasciata*). *Physiol. Biochem. Zool.*, 2013;86:312–322.

**Carvalho, C.C.C. and Caramujo, M.J., 2017.** Carotenoids in Aquatic Ecosystems and Aquaculture: A Colorful Business with Implications for Human Health. *Front. Mar. Sci.*, 4, 2017. DOI:10.3389/fmars.2017.00093.

**Choubert, G. and Baccounaud, M., 2006.** Colour changes of fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed astaxanthin or canthaxanthin during storage under controlled or modified atmosphere. *LWT-Food Sci. Technol.*, 39, 1203–1213.

- Choubert, G., 2010.** Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to varying dietary astaxanthin/canthaxanthin ratio: Colour and carotenoid retention of the muscle. *Aquacult. Nutr.*, 16, 528–535.
- Christiansen, R., Lies Ø. and Torrisen, O.J., 1994.** Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*, 25, 903-914.
- Dananjaya, S., Munasinghe, M., Ariyaratne, S. and Lee, J., 2017.** Natural bixin as a potential carotenoid for enhancing pigmentation and colour in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture Nutrition*, 23: 2. DOI:10.1111/anu.12387
- Das, A.P. and Biswas, S.P., 2016.** Carotenoids and pigmentation in ornamental fish. *Journal of Aquaculture and Marine Biology*, 4(4), 00093. DOI:10.15406/jamb.2016.04.00093
- Doolan, B.J., Booth, M.A., Allan, G.L. and Jones, P.L., 2008.** Effects of dietary astaxanthin concentration and feeding period on the skin pigmentation of Australian snapper, *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquaculture Research*, 40(1), 60-68.
- Fernandes, A.S., Nascimento, T.C.do., Jacob-Lopes, E., Rosso, V.V.D. and Zepka, L.Q., 2018.** Introductory Chapter: Carotenoids - A Brief Overview on Its Structure, Biosynthesis, Synthesis, and Applications. InTech. DOI: 10.5772/intechopen.79542
- García-Chavarría, M. and Lara-Flores, M., 2013.** The use of carotenoid in aquaculture. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 8(2), 38-49.
- Georgia Tech., W., 2014.** Sequencing of five African fishes reveals diverse molecular mechanisms underlying evolution. <https://news.gatech.edu/news/2014/09/04/sequencing-five-african-fishes-reveals-diverse-molecular-mechanisms-underlying>. Accessed July 25, 2023.
- González-Peña, M.A., Ortega-Regules, A.E., Anaya de Parrodi, C. and Lozada-Ramírez, J.D., 2023.** Chemistry, Occurrence, Properties, Applications, and Encapsulation of Carotenoids- A Review. *Plants (Basel)*, 12(2), 313. DOI:10.3390/plants12020313
- Gouveia, L., Rema, P., Pereira, O. and Empis, J., 2003.** Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aquaculture Nutrition*, 9(2), 123-129.
- Guedes, A.C., Amaro, H.M. and Malcata, F.X., 2011.** Microalgae as sources of carotenoids. *Mar Drugs.*, 9(4), 625-644. DOI:10.3390/md9040625
- Hancz, C., Magyary, I., Molnár, T. and SATO, S., 2003.** Evaluation of color intensity enhanced by paprika as feed additive in goldfish and koi carp using computer-assisted image analysis. *Fisheries Sciences*, 69(6), 1158-1161. DOI:10.1111/j.0919-9268.2003.00740.x
- Harrison, L., 2012.** RHS Latin for Gardeners. United Kingdom: Mitchell Beazley. 180P.
- Hien, T.T.T., Loc, T.V., Tu, T.L.C., Phu, T.M., Duc, P.M., Nhan, H.T. and Liem, P.T., 2022.** Dietary Effects of Carotenoid on Growth Performance and Pigmentation in Bighead Catfish (*Clarias macrocephalus* Günther, 1864). *Fishes*, 7(1), 37. DOI:10.3390/fishes7010037
- Hoseinifar, S.H., Maradonna, F., Faheem, M., Harikrishnan, R., Devi, G., Ringø, E., Van**

- Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G. and Carnevali, O., 2023.** Sustainable Ornamental Fish Aquaculture: The Implication of Microbial Feed Additives. *Animals*, 13(10), 1583. DOI:10.3390/ani13101583
- Huang, T.H., Wang, P.W., Yang, S.C., Chou, W.L. and Fang, J.Y., 2018.** Cosmetic and Therapeutic Applications of Fish Oil's Fatty Acids on the Skin. *Mar Drugs.*, 16(8): 256. DOI:10.3390/md16080256
- Johnson, E.A., 2003.** *Phaffia rhodozyma*: colorful odyssey. *Int Microbiol.*, 6(3), 169-174. DOI:10.1007/s10123-003-0130-3
- Kalinowski, C.T., Izquierdo, M.S., Schuchardt, D. and Robaina, L.E., 2007.** Dietary supplementation time with shrimp shell meal on red porgy (*Pagrus pagrus*) skin colour and carotenoid concentration. *Aquaculture*, 272(1), 451-457.
- Kaur, R. and Shah, T.K., 2017.** Role of feed additives in pigmentation of ornamental fishes. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2), 684-686.
- Lamers, P.P., Janssen, M., de Vos, R.C.H., Bino, R.J. and Wijffels, R.H., 2008.** Exploring and exploiting carotenoid accumulation in *Dunaliella salina* for cell-factory applications. *Trends Biotechnol.*, 26, 631-638.
- Lim, C. and Lovell, R.T., 1978.** Pathology of the vitamin C deficiency syndrome in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of Natural*, 108(7), 1137-1146. DOI:10.1093/jn/108.7.1137
- Lim, K.C., Yusoff, F.M., Karim, M. and Natrah, F.M.I., 2022.** Carotenoids modulate stress tolerance and immune responses in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 15(2), 872-894. DOI:10.1111/raq.12767
- Maan, M.E. and Sefc, K.M., 2013.** Colour variation in cichlid fish: developmental mechanisms, selective pressures and evolutionary consequences. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 24, 516-528. DOI:10.1016/j.semcd.2013.05.003
- Maiti, M.K., Bora, D., Nandeepa, T.L., Sahoo, S., Adarsh, B.K., and Kumar, S., 2017.** Effect of dietary natural carotenoid sources on colour enhancement of Koi carp, *Cyprinus carpio* L. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(4), 340-345.
- Maoka, T., 2009.** Recent progress in structural studies of carotenoids in animals and plants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 483, 191-195. DOI:10.1016/j.abb.2008.10.019
- Maoka, T., 2011.** Carotenoids in marine animals. *Marine Drugs*, 9, 278-293. DOI:10.3390/md9020278
- Maoka, T., 2019.** Carotenoids as natural functional pigments. *J Nat Med.*, 74(1), 1-16. DOI:10.1007/s11418-019-01364-x
- Mata-Gómez, L.C., Montañez, J.C., Méndez-Zavala, A. and Aguilar, C.N., 2014.** Biotechnological production of carotenoids by yeasts: an overview. *Microb Cell Fact.*, 13:12. DOI: 10.1186/1475-2859-13-12
- Meyer, A., 1993.** Phylogenetic relationships and evolutionary processes in East African cichlid fishes. *Trends in Ecology and Evolution*, 8, 3-8.
- Mezzomo, N., Sandra, R.S., Ferreira, A., 2016.** Carotenoids Functionality, Sources, and Processing by Supercritical Technology: A

- Review. *Journal of Chemistry*, 2016, 3164312, 16 p. DOI:10.1155/2016/3164312
- Miki, W., 1991.** Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 63(1), 141-146.
- Monica, K.S. and Swamy, J.M., 2022.** Role of Carotenoids in Ornamental Fish Culture: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 11(1), 249-254. DOI:10.20546/ijcmas.2022.1101.030
- Nakano, T. and Wiegertjes, G., 2020.** Properties of Carotenoids in Fish Fitness: A Review. *Marine Drugs*, 18(11), 568. DOI:10.3390/md18110568
- Nakano, T., Wazawa, M., Yamaguchi, T., Sato, M. and Iwama, G.K., 2004.** Positive biological actions of astaxanthin in rainbow trout. *Marine Biotechnology*, 6, 100-105.
- Nhan, H.T., Minh, T.X., Liew, H.J., Hien, T.T.T. and Jha, R., 2019.** Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false clownfish (*Amphiprion ocellaris* cuvier, 1830). *Aquaculture Nutrition*, 25, 662-668.
- Ninwichian, P., Chookird, D., and Phuwan, N., 2020.** Effects of dietary supplementation with natural carotenoid sources on growth performance and skin coloration of fancy carp, *Cyprinus carpio* L. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(1), 167-181.
- Page, G.I., Russell, P.M. and Davies, S.J., 2005.** Dietary carotenoid pigment supplementation influences hepatic lipid and mucopolysaccharide levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 142, 398-402.
- Palace, V.P., Khaper, N., Qin, Q. and Singal, PK., 1999.** Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. *Free Radic Biol Med.*, 26(5-6), 746-761. DOI:10.1016/s0891-5849(98)00266-4
- Pham, M.A., Byun, H.G., Kim, K.D. and Lee, S.M., 2014.** Effects of dietary carotenoid source and level on growth, skin pigmentation, antioxidant activity and chemical composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 431, 65-72.
- Price, A.C., Weadick, C.J., Shim, J. and Rodd, F.H., 2008.** Pigments, patterns, and fish behavior. *Zebrafish*, 5(4), 297-307. DOI:10.1089/zeb.2008.0551
- Radkhah, A.R., 2019.** Prevalence of parasitic diseases as a serious threat to the ornamental fish industry: A study on the prevalence of *Argulus* parasites in ornamental fishes of Iran. *Journal of Ornamental Aquatics*, 6(3): 13-22.
- Radkhah A.R., Eagderi, S. and Sadeghinejad Masouleh, E., 2020.** Investigation of antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) to control diseases and health management in aquaculture systems. *Journal of Ornamental Aquatics*, 7(1): 7-15.
- Radkhah, A.R., Eagderi, S. and Mousavi-Sabet, H., 2021.** Review on the benefits and disadvantages of nanotechnology in the aquaculture. *Journal of Ornamental Aquatics*, 8(2): 43-58.
- Ranjan, A., 2016.** The importance of carotenoids in aquafeeds. <https://www.globalseafood.org/advocate/the-importance-of-carotenoids-in-aquafeeds>. Accessed on 23 August 2016.

- Rodriguez-Concepcion, M., Avalos, J., Bonet, M.L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D., Limon, M.C., Meléndez-Martínez, A.J., Olmedilla-Alonso, B., Palou, A., Ribot, J., Rodrigo, M.J., Zacarias, L. and Zhu, C., 2018.** A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*, 70, 62-93.  
DOI:10.1016/j.plipres.2018.04.004
- Saini, R.K., Prasad, P., Lokesh, V., Shang, X., Shin, J., Keum, Y.S. and Lee, J.H., 2022.** Carotenoids: Dietary Sources, Extraction, Encapsulation, Bioavailability, and Health Benefits-A Review of Recent Advancements. *Antioxidants (Basel)*, 11(4), 795.  
DOI:10.3390/antiox11040795
- Sefc, K.M., Brown, A.C. and Clotfelter, E.D., 2014.** Carotenoid-based coloration in cichlid fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 173, 42-51.  
DOI:10.1016/j.cbpa.2014.03.006
- Sun, X., Chang, Y., Ye, Y., Ma, Z., Liang, Y. and Li, T., 2012.** The effect of dietary pigments on the coloration of Japanese ornamental carp (koi, *Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 62, 342-368.
- Swain, S., Acharya, A.P. and Mohanty, B., 2020.** Use of carotenoid supplementation for enhancement of pigmentation in ornamental fishes. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(6), 636-640.
- Swian, H., Senapati, S.R., Meshram, S.J., Mishra, R., and Murthy, H.S., 2014.** Effect of dietary supplementation of marigold oleoresin on growth, survival and total muscle carotenoid

- of Koi carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(2), 430-435.
- Tejera, N., Cejas, J.R., Rodríguez, C., Bjerkeng, B., Jerez, S. and Bolaños, A., 2007.** Pigmentation, carotenoids, lipid peroxides and lipid composition of skin of red porgy (*Pagrus pagrus*) fed diets supplemented with different astaxanthin sources. *Aquaculture*, 270(1), 218-230.
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Tokuda, H., Suzuki, T. and Kimura, Y., 2006.** Anti-inflammatory, anti-tumor-promoting, and cytotoxic activities of constituents of marigold (*Calendula officinalis*) flowers. *Journal of Natural Products*, 69(12), 1692-1696.  
DOI:10.1021/np068016b
- Wade, N.M., Budd, A., Irvin, S., and Glencross, B.D., 2016.** The combined effects of diet, environment and genetics on pigmentation in the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 449, 78-86.
- Wang, Yi-J., Chien, Y-H. and Pan, C-H., 2006.** Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of Characins, *Hypseobrycon callistus*. *Aquaculture*, 261(2), 641-648. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.08.04
- Xu, X., Jin, Z., Wang, H., Chen, X., Wang, C., and Yu, S., 2006.** Effect of astaxanthin from *Xanthophyllomyces dendrophorus* on the pigmentation of goldfish, *Carassius auratus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 37(3), 282-288.
- Yabuzaki, J., 2017.** Carotenoids database: Structures, chemical fingerprints and distribution

among organisms. *Database*, 1, 1-11.

DOI:10.1093/database/bax004

**Yanar, Y., Büyükcabar, H., Yanar, M. and Göcer, M., 2007.** Effect of carotenoids from red pepper and marigold flower on pigmentation, sensory properties and fatty acid composition of rainbow trout. *Food Chemistry*, 100(1):326-330.

**Yi, X., Xu, W., Zhou, H., Zhang, Y., Luo, Y., Zhang, W. and Mai, K., 2014.** Effects of dietary astaxanthin and xanthophylls on the growth and skin pigmentation of large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *Journal of Applied Ichthyology*, 33, 377-383.  
DOI:10.1111/jai.12763

**Yoshikawa, M., Murakami, K. and Kageura, M., 2001.** Medicinal flowers. III. Marigold. (1): hypoglycemic, gastric emptying inhibitory, and gastroprotective principles and new oleanane-type triterpene oligoglycosides, calendasaponins A, B, C, and D, from Egyptian *Calendula officinalis*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 49(7), 863-870.  
DOI:10.1248/cpb.49.863

## A Review on the Function of Carotenoid Supplements in Improving Skin Pigmentation and Growth of Ornamental Aquatic Animals

Radkhah A.R.<sup>1</sup>; Eagderi S.<sup>1\*</sup>; Poorbagher H.<sup>1</sup>; Moezzi A.<sup>1</sup>

\*soheil.eagderi@ut.ac.ir

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

### Abstract

Carotenoids are a group of natural fat-soluble pigments that are mainly produced from natural sources such as plants and animals, however, carotenoids are also synthetically produced and used in various sectors of the aquaculture industry. The present study was conducted with the aim of investigating the function of carotenoid supplements in improving skin pigmentation and growth of aquatic animals, especially fish. One of the most important functions of carotenoids is their pseudo-antioxidant function against free radicals and oxidizing agents, increasing the body's immunity against bacterial and fungal diseases. In addition, they play a vital role in improving the growth, survival and reproduction of aquatic animals, as well as, interfering with the infant stages or the early stages of feeding. So far, various researches have been reported about the addition of carotenoid supplements to the diet of aquatic animals, which have had positive and significant effects on improving skin color and also increasing the growth of many aquatic species. Among these aquatic species are Atlantic salmon (*Salmo salar*), Red tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Hyphessobrycon callistus*, koi carp (*Caprinus carpio L.*), goldfish (*Carassius auratus*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Larimichthys crocea*, green swordtail (*Xiphophorus hellerii*), bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). The results showed that regarding the adverse effects of artificial carotenoids on the growth of aquatic animals, it is necessary to use plant sources in aquatic food in order to improve the color of the skin and also to increase the growth and survival rate of aquatic animals in aquarium environments. The present study focuses on the extraction of carotenoids from plant sources, including various microalgae such as *Haematococcus pluvialis*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, and *Arthrospira maxima* in the implementation of this matte. The implementation of these activities can help to further promote the ornamental aquatic industry at the international level and also to create sustainable employment in Iran.

**Keywords:** Carotenoid, Ornamental fish, Pigment, Astaxanthin, Growth