

اثرات مکمل‌های تغذیه‌ای جلبک اسپیرولینا و رنگدانه آستازانتین بر عملکرد رشد، بازماندگی و شاخص‌های رنگ در ماهی گویی (*Poecilia* *reticulata*)

منیر غیاث‌آبادی^۱، رضوان موسوی ندوشن^{۲*}، پانیا قاسمی^۳، مطهره بهزادی^۳

^۱گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
^۲گروه علوم دریایی و شیلاتی، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
^۳دبیرستان فرزنانگان ۴، سازمان ملی پرورش استعدادهای درخشان (سمپاد)، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴

چکیده

ماهی گویی (*Poecilia reticulata*) یکی از محبوب‌ترین گونه‌های زینتی آب شیرین است که به دلیل زیبایی رنگ، سهولت تکثیر و ارزش اقتصادی بالا، مورد توجه صنعت آبزی پروری قرار دارد. رنگ پوست این گونه تا حد زیادی تحت تأثیر رژیم غذایی و میزان دریافت کاروتنوئیدها قرار می‌گیرد. در این مطالعه، اثرات دو مکمل غذایی شامل جلبک اسپیرولینا (*Arthrospira platensis*) و رنگدانه کاروتنوئیدی آستازانتین بر شاخص‌های رشد، بازماندگی و پارامترهای رنگ‌سنجی پوست ماهی گویی بررسی شد. بدین منظور، تعداد ۹۰ قطعه ماهی گویی نر در سه تیمار تغذیه‌ای شاهد، تیمار تغذیه‌ای اسپیرولینا حاوی ۵٪ اسپیرولینا و تیمار تغذیه‌ای آستازانتین حاوی ۰/۰۱ درصد آستازانتین، هر تیمار در سه تکرار، به مدت ۹۰ روز تغذیه شدند. نتایج نشان داد تیمار اسپیرولینا بالاترین میزان افزایش وزن (۲۸۰ میلی‌گرم معادل ۱۶۵٪)، بهترین ضریب تبدیل غذایی (۱/۵) و بالاترین نرخ بقا (۸۰٪) را داشت. در مقابل، برای تیمار آستازانتین بیشترین شاخص قرمزی (a^*) به ثبت رسید، در حالی که شاخص زردی (b^*) بین دو تیمار آستازانتین و اسپیرولینا تقریباً مشابه و بالاتر از شاهد بود. آزمون ANOVA اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر وزن نهایی، طول کل، فاکتور وضعیت، ضریب تبدیل غذایی و پارامترهای رنگ نشان داد ($P < 0.05$). به طور کلی، نتایج این تحقیق بیانگر نقش مؤثر اسپیرولینا در بهبود رشد و بقا و تأثیر آستازانتین در افزایش شدت رنگ قرمز پوست ماهی گویی است که می‌تواند در بهینه‌سازی تغذیه و ارتقاء کیفیت ظاهری ماهیان زینتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: اسپیرولینا، آستازانتین، ماهی گویی، بازماندگی، الگوهای رنگی پوست

مقدمه

ماهی‌های زینتی نقش مهمی در اقتصاد بسیاری از کشورها داشته و ضمن ایجاد اشتغال و تولید درآمد، سبب ایجاد اثرات مثبت روانی در عموم علاقمندان به این بخش از آبی‌پروری می‌شود (Leal et al., 2016). ماهی گوپی با نام علمی *Poecilia reticulata*، ساکن آب شیرین بوده و از مناطق آمریکای مرکزی و جنوبی نشأت گرفته و به دلیل داشتن رنگ‌های بسیار زیبا و سهولت در نگهداری، به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین ماهیان زینتی در بین ماهیان آکواریومی شناخته شده است. علاوه بر اهمیت زیاد این گونه از نظر اقتصادی، کوتاهی دوره رشد و نمو و همچنین سادگی تکثیر آن توجه بسیاری را برای انجام کارهای تحقیقاتی به‌سوی خود جلب کرده است (Araújo et al., 2009). تکثیر این ماهی از طریق زنده‌زایی است و دوره بارداری آن ۳-۴ هفته طول می‌کشد و در تمام طول سال قادر به جفت‌گیری است. این موضوع باعث تولید تعداد زیادی لارو شده و در نتیجه، پس از مدتی جمعیت آنها بسیار بزرگ می‌گردد. این ماهی در سه ماهگی بالغ می‌شود و معمولاً از سه ماهگی تا ۱۱ ماهگی قدرت باروری دارد. عوامل محیطی مانند دما، دوره نوری، شوری و اکسیژن محلول، تأثیر به‌سزایی بر رشد، بقا و تولیدمثل ماهی دارند. ماهی گوپی همه‌چیزخوار است، ولی استفاده از غذاهای خشک، تر و زنده می‌تواند بهبود کیفیت مولدین، تولید لاروهای مقاوم‌تر و رشد بالاتری را به‌همراه داشته باشد (نهبانندی و همکاران، ۱۴۰۱). تحقیقات روی رنگ پوست ماهی گوپی (*Poecilia reticulata*) نشان می‌دهد که رژیم غذایی و عوامل محیطی بر رنگدانه‌ها تأثیر قابل توجهی می‌گذارند. مکمل‌های غذایی مانند پودر برگ مورینگا اولیفا و رنگدانه‌های طبیعی گوجه‌فرنگی، هویج و فلفل دلمه‌ای قرمز می‌توانند غلظت کاروتنوئید را در پوست ماهی گوپی افزایش داده و رنگ آن را بهبود بخشند (Mirzaee et al., 2012; Bisht et al., 2023). پس‌زمینه نیز بر رنگدانه‌های پوست تأثیر می‌گذارد، به‌طوری که ماهیان رشد یافته در مخازن شفاف بالاترین سطح کاروتنوئید و مخازن تیره با رنگ قرمز کمترین سطح را داشتند (Barua et al., 2021).

کاروتنوئیدها رنگدانه‌های طبیعی ضروری هستند که مسئول رنگدانه‌سازی عضلات در ماهی‌های خوراکی و رنگ‌آمیزی پوست در ماهی‌های زینتی می‌باشند و آنها را به

ویژگی‌های کیفی حیاتی برای پذیرش مصرف‌کننده و بازار تبدیل می‌کنند (Gupta et al., 2007; Das and Biswas, 2016; Saikia and Das, 2023). از آنجا که ماهی نمی‌تواند مولکول‌های زیست‌فعال کاروتنوئید را از ترکیبات ساده (de novo) سنتز کند، استفاده از مکمل‌های غذایی برای گونه‌های پرورشی ضروری است (Gupta et al., 2007; Das and Biswas, 2016; Saikia and Das, 2023). منابع کاروتنوئید طبیعی به‌دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی نسبت به جایگزین‌های مصنوعی ترجیح داده می‌شوند، از جمله رنگدانه‌های ریزجلبیکی می‌توان به *Chlorella vulgaris* و *Haematococcus pluvialis* جلبک‌های قهوه‌ای، عصاره مخمر، گل همیشه بهار و فلفل دلمه‌ای اشاره کرد (Gupta et al., 2007; Mousavi and Hosseinzade, 2020). فراتر از رنگدانه‌سازی، کاروتنوئیدها، به‌ویژه آستازانتین، مزایای قابل توجهی برای سلامتی از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تقویت سیستم ایمنی، مقاومت در برابر بیماری، بهبود عملکرد رشد و همچنین بازماندگی بیشتر در برابر تنش‌های محیطی ارائه می‌دهند. این ترکیبات به‌صورت هم‌افزایی با سایر آنتی‌اکسیدان‌ها تعامل دارند و می‌توانند بیان ژن را تعدیل کنند، که آنها را به افزودنی‌های خوراکی کاربردی و سازگار با محیط‌زیست ارزشمند در آبی‌پروری تبدیل می‌کند (Nakano and Wiegertjes, 2020).

استفاده از انواع زانتوفیل‌ها از جمله آستازانتین در فعالیت‌های آبی‌پروری ممکن است مزایای اقتصادی به‌همراه داشته باشد و با بهبود سلامت کلی و افزایش بهره‌وری در تولید ماهی به اهداف توسعه پایدار در صنعت کمک کند (Shastak and Pelletier, 2024). آستازانتین، به‌دلیل توانایی در افزایش رنگ پوست در گونه‌های مختلف ماهی، توجه زیادی را در صنعت آبی‌پروری به‌خود جلب کرده است (Higuera-Ciapara et al., 2006). آنتی‌اکسیدانی قوی آن همچنین باعث ایجاد علاقه در کاربردهای سلامت انسان، مانند پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی و تقویت سیستم ایمنی شده است، اگرچه برای تأیید این اثرات تحقیقات بیشتری لازم است (Higuera-Ciapara et al., 2006). آستازانتین در رژیم غذایی ماهی، شدت رنگ و روشنایی را در گونه‌های زینتی مانند ماهی قرمز افزایش می‌دهد (Paripatananont et al., 1999).

۳۰×۳۰×۴۰ سانتی‌متر در شرایط یکسان قرار داده و دمای محیط آکواریوم‌ها توسط بخاری آکواریوم روی ۲۷ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. تمامی ماهیان با غذای اکستروود برند بیومار (حاوی ۴۴ درصد پروتئین خام، ۸ درصد چربی خام، ۲ درصد فیبر خام و ۶ درصد رطوبت) تغذیه شدند. درصد غذادهی برای هر سه تیمار در ۳۰ روز ابتدای آزمایش ۵ درصد وزن بدن ماهیان بوده و پس از زیست‌سنجی در پایان ماه اول، به ۳ درصد وزن بدن برای ۶۰ روز بعدی کاهش یافت (در مجموع غذای مصرفی هر ماهی تا پایان دوره در حدود ۶۷۰ میلی‌گرم بوده است). جهت تهیه غذای حاوی آستازانتین در ابتدا یک میلی‌گرم آستازانتین در ۵۰ سی‌سی آب جوش شکفته شده و به سطح گرانول‌های غذای اکستروود اسپری شد. سپس خوراک برای مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شد. بنابراین غذای ماهیان تیمار آستازانتین به‌صورت روزانه و برای مصرف در روز بعد تهیه گردید. جهت تولید غذای حاوی مکمل اسپیرولینا، پودر جلبک به میزان ۵ درصد به خوراک اضافه و از آب به‌عنوان هم‌بند استفاده شد. سپس خوراک تهیه شده در هوای اتاق تا خشک شدن کامل نگهداری و در طول دوره آزمایش مورد مصرف قرار گرفت. تیمار شاهد (با سه تکرار) با غذای معمولی و بدون هیچ‌گونه افزودنی تغذیه شدند.

زیست‌سنجی و شاخص‌های مورد بررسی: پس از گذشت ۹۰ روز از شروع آزمایش، ماهی‌ها توسط محلول پودر میخک (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بیهوش شده و سپس وزن و طول کل هر یک اندازه‌گیری شد. رشد ماهی‌ها با سنجش وزن نهایی، درصد افزایش وزن، طول کل و درصد افزایش طول ثبت شد. سپس فاکتورهای رشد، درصد افزایش وزن بدن، بازماندگی، نرخ رشد ویژه (SGR) و ضریب تبدیل غذایی (FCR) توسط روابط زیر محاسبه شدند (Bisht et al., 2022).

$$\text{بازماندگی} = \frac{\text{ماهیان برداشت شده در انتهای دوره}}{\text{تعداد کل ماهیان}} \times 100$$

$$\text{وزن اولیه (میلی‌گرم)} - \text{وزن ثانویه (میلی‌گرم)} = \text{افزایش وزن بدن (میلی‌گرم)}$$

$$\text{درصد افزایش وزن بدن} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن نهایی}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

$$\text{SGR} = \frac{\ln(\text{وزن نهایی}) - \ln(\text{وزن اولیه})}{\text{دوره آزمایش (روز)}} \times 100$$

$$\text{FCR (میلی‌گرم/میلی‌گرم)} = \frac{\text{غذای مصرفی (وزن خشک)}}{\text{افزایش وزن بدن (وزن تر)}}$$

(Mirzaee et al., 2012; Soedibya et al., 2024). دوز بهینه این ترکیب برای افزایش رنگ در ماهی قرمز ۳۷-۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم غذا گزارش شده است (Paripatanont et al., 1999; Soedibya et al., 2024).

جلبک اسپیرولینا یک سیانوباکتر بوده که به‌دلیل غنی بودن از پروتئین‌ها ویتامین‌ها، آمینواسیدهای ضروری و کاروتنوئیدها مثل بتاکاروتن، زانتوفیل، زئازانتین و کریپتوزانتین اغلب به‌عنوان اولین ریزجلبک پر تولید به‌صورت گسترده به‌عنوان مکمل غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین تحقیقات ثابت کردند که از این جلبک می‌توان در درمان PDS (سندروم کمبود رنگدانه) به‌میزان ۳۰ گرم در کیلوگرم جیره غذایی میگو استفاده نمود. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در زمینه جایگزینی جزئی و یا کامل پودر ماهی با استفاده از انواع منابع گیاهی قابل دسترس انجام شده که پودر جلبک اسپیرولینا (*Arthrospira platensis*) به‌عنوان یکی از منابع گیاهی، با قابلیت تولید متراکم و ارزش غذایی مناسب می‌تواند روند امیدبخشی را در سال‌های آینده ایفا کند. اسپیرولینا یک جلبک سبز-آبی، ماریچی شکل به قطر ۲۱ میکرون و منبعی غنی از پروتئین، ویتامین، اسیدهای آمینه و چرب ضروری، مواد معدنی و رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته می‌شود. اسپیرولینا در جنوب شرق آسیا به‌ویژه چین، به‌صورت یک مکمل ارزان قیمت پروتئینی در خوراک دام، طیور و آبزیان کاربرد دارد (حاجاتی و همکاران، ۱۴۰۱). در بسیاری از گونه‌های آبزیان نتایج مثبتی در استفاده از جلبک اسپیرولینا بر شاخص‌های رشد، افزایش جذب غذا، تولید رنگدانه (Pigmentation)، افزایش ایمنی و بهبود شاخص‌های تولیدمثلی گزارش گردیده است. با توجه به اثربخشی‌های فوق‌العاده این دو نوع رنگدانه، مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثر کاروتنوئیدهای طبیعی جلبک اسپیرولینا و رنگدانه مصنوعی آستازانتین بر روی فاکتورهای رشد و بازماندگی و بررسی شاخص‌های رنگ در پوست ماهی گویی (*Poecilia reticulata*) انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایش: تعداد ۹۰ قطعه ماهی گویی نر با وزن متوسط 170 ± 20 میلی‌گرم در ۳ تیمار و سه تکرار برای انجام تحقیق تهیه شدند. ماهیان در ۹ عدد آکواریوم به ابعاد

شاخص وضعیت (CF) یا ضریب چاقی (Condition Factor) ماهی‌ها نیز توسط رابطه زیر محاسبه شد (Shafi and Yousef, 2012).

$$CF = \frac{\text{وزن (گرم)}}{\text{طول}^3 \text{ (سانتی‌متر)}} \times 100$$

رنگ‌سنجی و شاخص‌های مورد بررسی: در انتهای دوره ابتدا ماهی‌ها برای رنگ‌سنجی پوست به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس پارامترهای رنگ پوست ماهیان در ناحیه تنه با استفاده از روش توصیف‌شده توسط Gogoi و همکاران (۲۰۱۷) اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور از دستگاه طیف‌سنج رنگ Hunter Lab Scan XE ساخت آمریکا استفاده و دستگاه پیش از اندازه‌گیری براساس استانداردهای رنگ‌های سفید و سیاه مربوط به نمونه‌ها کالیبره شد. تعیین رنگ بر پایه‌ی سیستم CIELAB (L*, a*, b*) انجام گرفت. این سیستم رنگی سه‌بعدی، همخوانی نزدیکی با نحوه ادراک رنگ توسط چشم انسان دارد (Bisht et al., 2022)، که در آن L* بیانگر میزان تیرگی و روشنی پوست ماهی است (L*=0 برای سیاه و کاملاً تیره و L*=100 برای سفید و کاملاً روشن)، شاخص a* نشان‌دهنده میزان رنگ قرمز/سبز می‌باشد (a*+ برای شدت قرمزی تا a*- برای شدت رنگ سبز) و شاخص b* فاکتور زرد/آبی است (b*+ شدت رنگ زرد و b*- رنگ آبی) (Leal et al., 2016; Mandal et al., 2020; Bisht et al., 2022). در مرحله دوم براساس داده‌های مربوط به فاکتورهای L*, a*, b* و شاخص‌های رنگی شامل رنگ قابل مشاهده Hue (H*) و درخشندگی Chroma (C*) محاسبه شدند. برای محاسبه Hue angle (زاویه فام یا Hue) و Chroma (C*) از مؤلفه‌های a* و b* و رابطه زیر استفاده شد (Leal et al., 2016; Ali, 2017; Olgunoglu, 2017).

$$\text{Hue} = \arctan (b^*/a^*)$$

$$\text{Chroma} = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$$

همچنین شاخص‌های سفیدی (Whiteness)، سرخی (Redness) و زردی (Yellowness) براساس روابط زیر محاسبه شدند: (NFI, 1991; Mandal et al., 2020; Bisht et al., 2022)

$$\text{سفیدی} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

$$\text{سرخی} = \text{Cos}(16^\circ)a^* + \text{Sin}(16^\circ)b^*$$

$$\text{زردی} = -0.7[-\text{Sin}(16^\circ)a^* + \text{Cos}(16^\circ)b^*]$$

نتایج

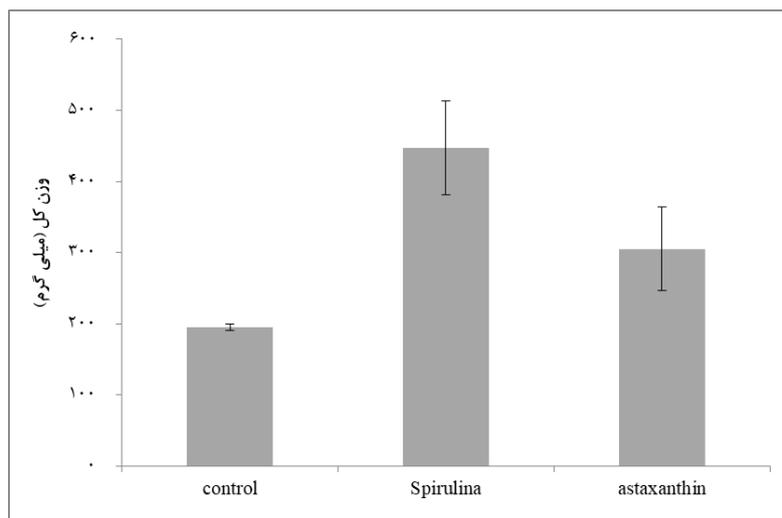
پس از اتمام دوره آزمایش، نرخ بازماندگی ماهیان در تیمار شاهد، آستازانتین و تیمار اسپیرولینا به ترتیب ۶۰٪، ۸۰٪ و ۸۰٪ محاسبه شد. وزن نهایی در تیمار اسپیرولینا بیشتر از تیمارهای آستازانتین و شاهد بود و میزان آن برای تیمار آستازانتین با ۷۹ درصد افزایش وزن (۱۳۵ میلی‌گرم افزایش) به ۳۰۵ میلی‌گرم و در تیمار اسپیرولینا با رشد ۱۶۳ درصدی (۲۷۷ میلی‌گرم افزایش وزن) به ۴۴۷ میلی‌گرم رسید (شکل های ۱ و ۲)، هرچند که طول کل ماهی‌ها در تیمار آستازانتین بیشتر بود (شکل ۴). نرخ رشد ویژه یا SGR در تیمار اسپیرولینا بیشتر از سایر تیمارها و در شاهد از پایین‌تر از سایرین بود (شکل ۳). بالا بودن نرخ رشد ویژه نشان‌دهنده تأثیر مثبت اسپیرولینا در افزایش روند و کارایی رشد بوده است. براساس نتایج به‌دست آمده، طول کل ماهیان در تیمار آستازانتین بیشتر از سایر تیمارها بوده و کمترین طول کل مربوط به تیمار شاهد بوده است (شکل ۴).

در مدت آزمایش بهترین نرخ ضریب تبدیل غذایی مربوط به تیمار اسپیرولینا بوده است (۲/۵)، در صورتی که این فاکتور برای آستازانتین ۶ و برای شاهد به ۲۷/۵ رسید (شکل ۵).

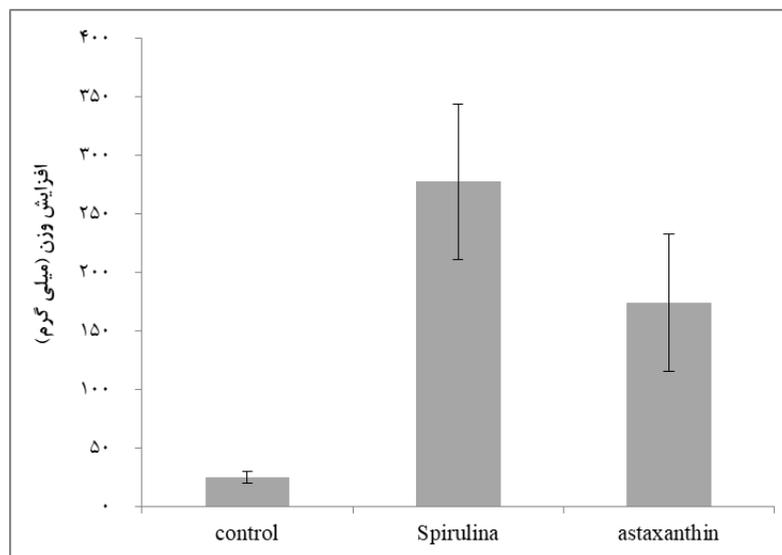
فاکتور وضعیت یا شاخص چاقی (CF) ماهیان برای تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. کمترین میزان شاخص وضعیت بدن مربوط به تیمار آستازانتین بوده است (شکل ۶). این اعداد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). براساس آزمون آماری ANOVA اختلاف بین فاکتورهای وزن و طول ماهی و همین‌طور ضریب تبدیل غذایی و شاخص وضعیت بدن در تمام تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

شاخص قرمزی a*: براساس نتایج رنگ‌سنجی فاکتور a* در تیمار آستازانتین بیشتر از اسپیرولینا و در تیمار شاهد نسبت به دو تیمار دیگر کمتر بود (شکل ۷). براساس آزمون آماری ANOVA بین تیمارها و شاهد مشخص گردید که مکمل های آستازانتین و جلبک اسپیرولینا تأثیر معنی‌داری بر فاکتور a* داشته‌اند ($P < 0.05$).

شاخص زردی b*: شاخص زردی در دو تیمار آستازانتین و اسپیرولینا نسبت به شاهد بالاتر بودند، و این فاکتور با اختلافی اندک در آستازانتین بیشتر از سایر تیمارها ثبت شد



شکل ۱- نمودار مقایسه‌ای میانگین وزن کل تیمارها در پایان مدت آزمایش



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای میانگین افزایش وزن تیمارها در مدت آزمایش

بود و کمترین میزان برای تیمار شاهد ثبت شد (شکل ۱۱). از نظر آماری بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.05$).

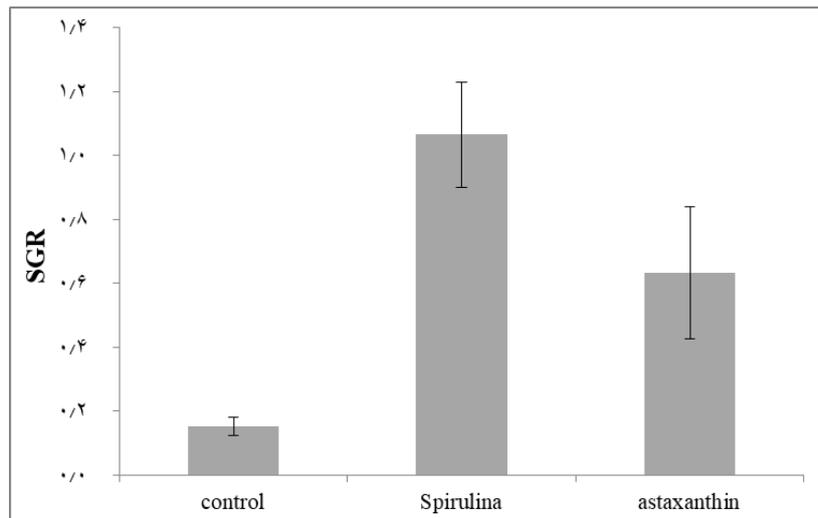
شاخص قرمزی (redness index) RI: شاخص قرمزی نیز در تیمار آستازانتین بیشتر از سایر تیمارها بوده و کمترین میزان این شاخص در تیمار اسپیرولینا ثبت شد (شکل ۱۲). اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش برای شاخص قرمزی مشاهده شد ($P < 0.05$).

شاخص زردی: مقادیر مثبت در این شاخص بیانگر رنگ زرد و مقادیر منفی نشان‌دهنده رنگ آبی هستند. بر این اساس در هر سه تیمار رنگ آبی غالب بوده و بیشترین مقدار رنگ آبی در تیمارهای آستازانتین و اسپیرولینا ثبت شده است (شکل ۱۳).

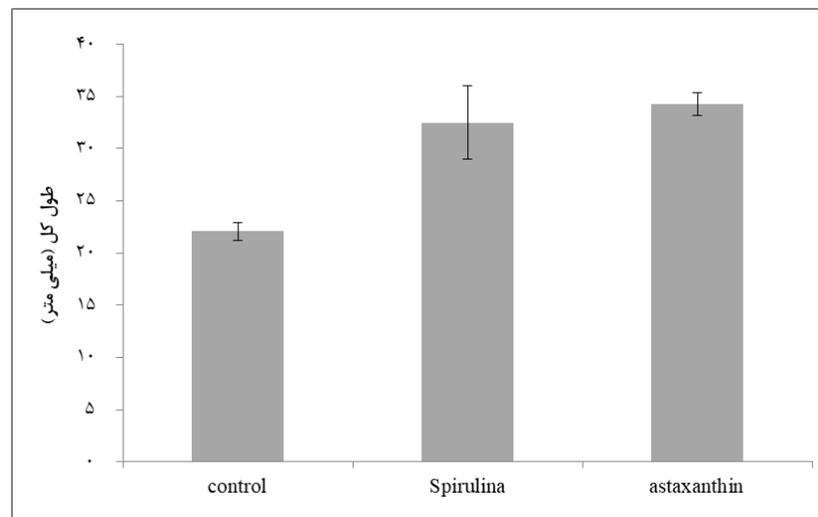
(شکل ۸). نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد هر دو مکمل تأثیر معنی‌داری بر فاکتور زردی داشته‌اند ($P < 0.05$). **شاخص روشنایی *L:** بالاترین میزان روشنایی در تیمار اسپیرولینا مشاهده شد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد مصرف هر دو رنگدانه تأثیر معنی‌داری بر افزایش روشنایی در پوست گویی داشته‌اند (شکل ۹، $P < 0.05$).

شاخص درجه Hue: این شاخص که براساس درجه بیان می‌شود در تیمار اسپیرولینا بیش از سایر تیمارها بود و از نظر آماری نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد (شکل ۱۰، $P < 0.05$).

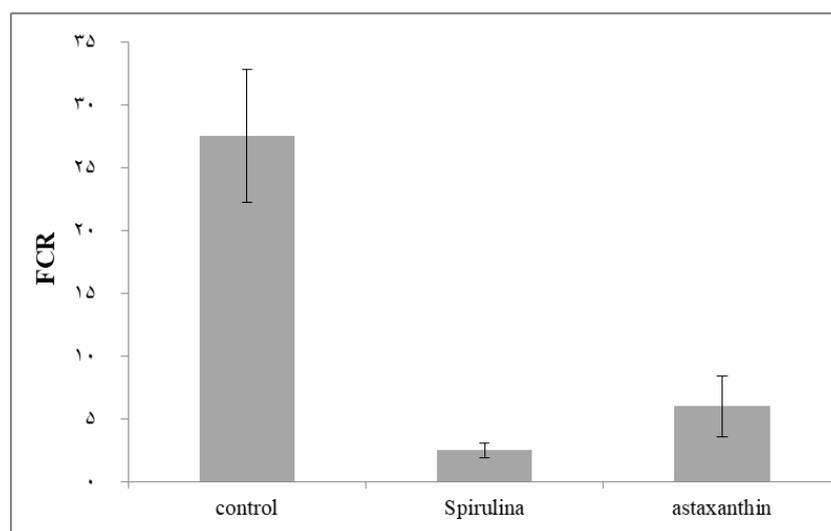
شاخص کروما (C* ab): براساس فرمول محاسبه شده برای شاخص Chroma (C* ab)، این شاخص برخلاف شاخص درجه Hue در تیمار آستازانتین بیشتر از سایر تیمارها



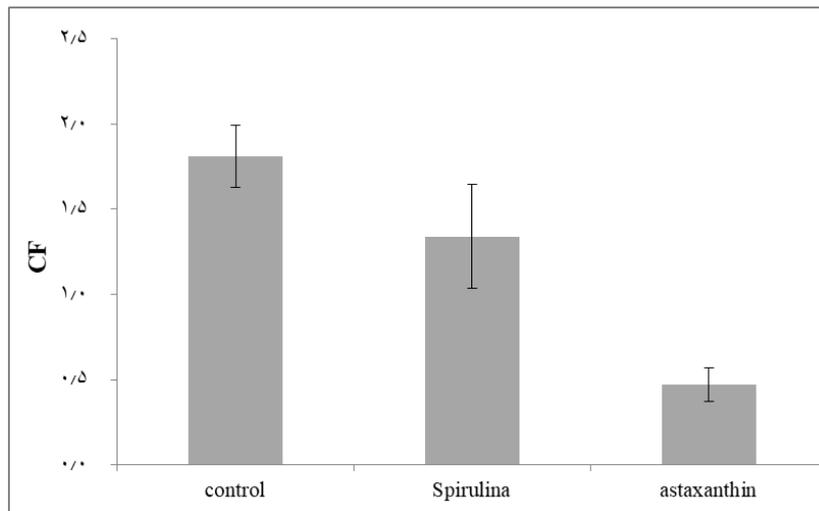
شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای میانگین نرخ رشد ویژه تیمارها در مدت آزمایش



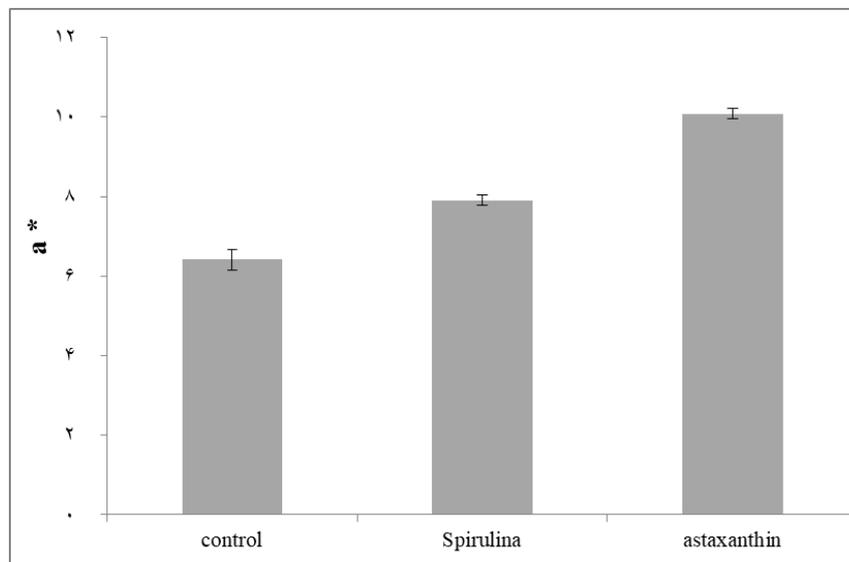
شکل ۴- نمودار مقایسه‌ای میانگین طول کل در پایان مدت آزمایش



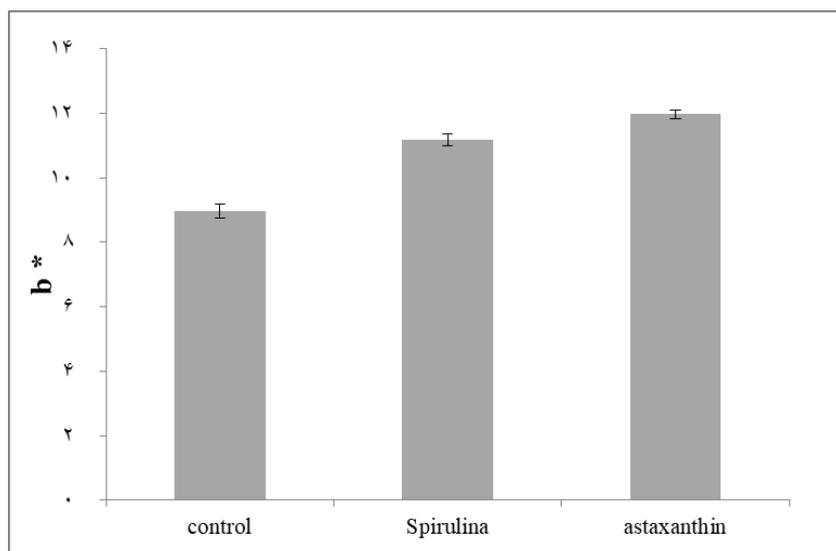
شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای میانگین ضریب تبدیل غذایی



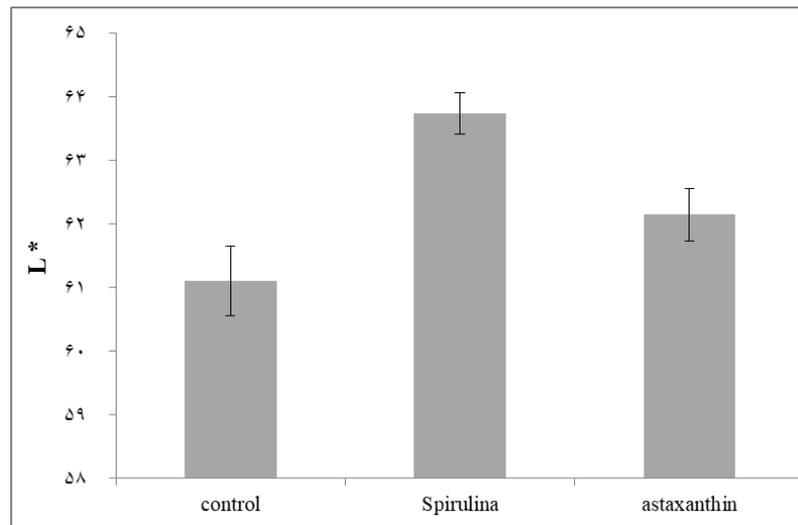
شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای میانگین فاکتور وضعیت بدن ماهیان در پایان آزمایش



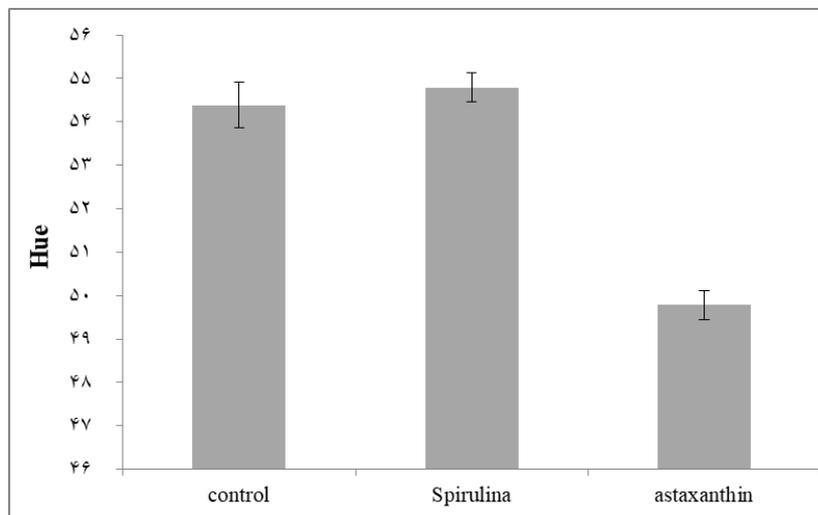
شکل ۷- نمودار میانگین مقدار شاخص a* برای تیمارهای آزمایش در پایان آزمایش



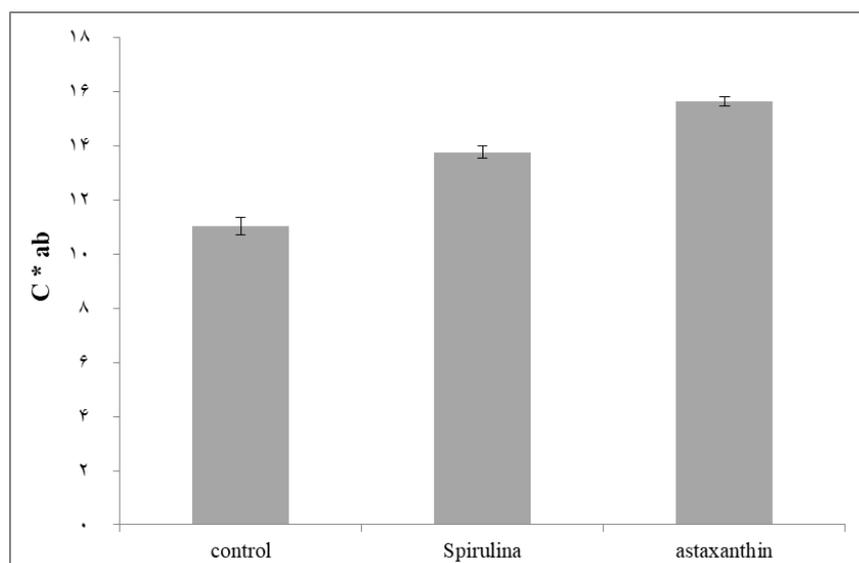
شکل ۸- نمودار میانگین مقدار شاخص b* برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه



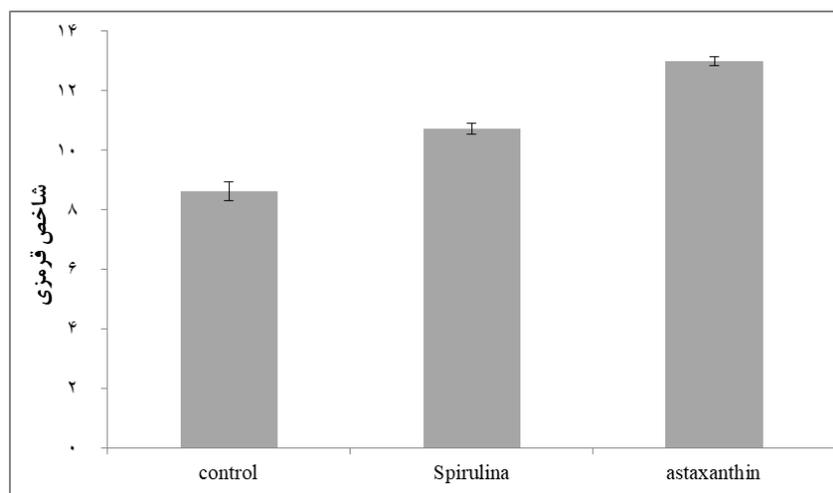
شکل ۹- نمودار میانگین مقدار شاخص L^* برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه



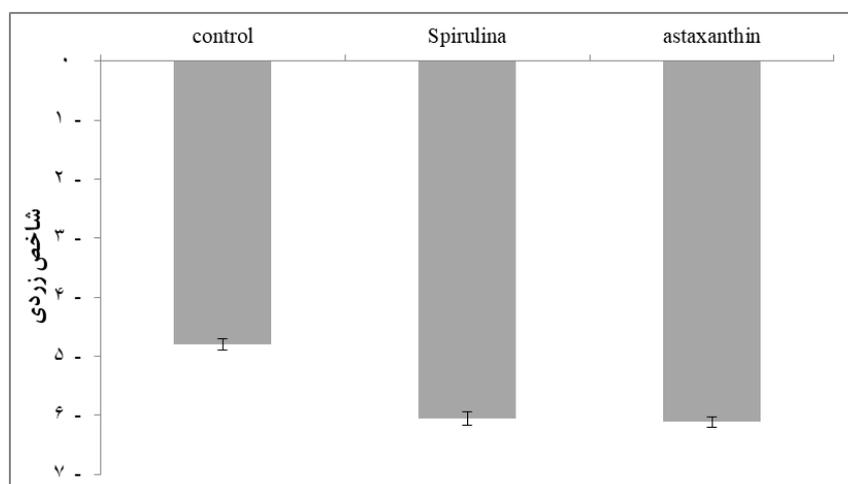
شکل ۱۰- نمودار میانگین مقدار شاخص Hue برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه



شکل ۱۱- نمودار میانگین مقدار شاخص Chroma ($C^* ab$) برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه



شکل ۱۲- نمودار میانگین میزان شاخص قرمزی برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه



شکل ۱۳- نمودار میانگین میزان شاخص زردی برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه

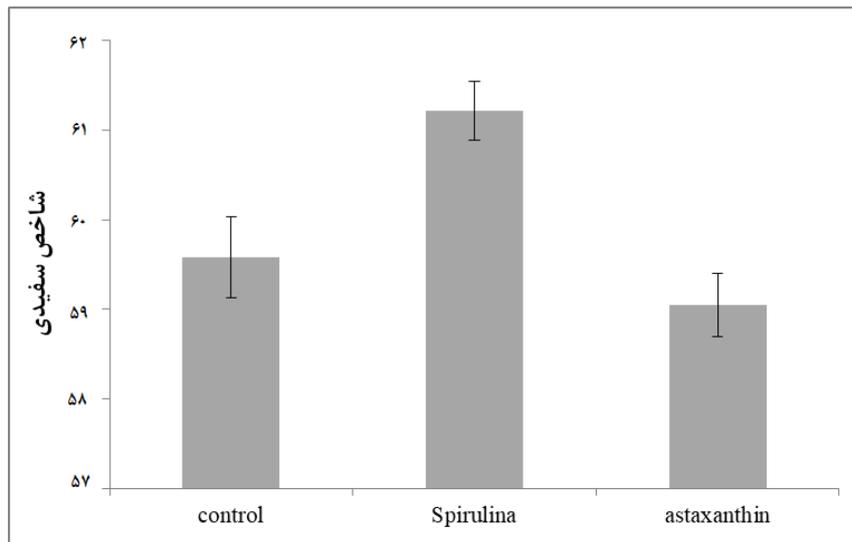
کاروتنوئیدها) هستند که رنگ‌های زرد، قرمز و نارنجی را در ماهی‌ها و سخت‌پوستان تولید می‌کنند. کاروتنوئیدها در پوست ماهی‌ها در زانتوفورها و اریتروفورها تجمع می‌یابند. آستازانتین به‌طور معمول مؤثرترین رنگدانه کاروتنوئیدی از نظر جذب است، اگرچه این موضوع ممکن است بسته به گونه متفاوت باشد. آستازانتین بیشتر در رنگ‌آمیزی بافت عضلانی ماهیان سالمونید شناخته شده است (Martling *et al.*, 2023). در مطالعه حاضر از رنگدانه کاروتنوئیدی مصنوعی و پودر جلبک اسپیرولینا به‌عنوان منبع رنگدانه‌های طبیعی برای تقویت رنگدانه‌سازی و رنگ‌بندی پوست ماهی گوپی (*Poecilia reticulata*) استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، ماهیان تیمار اسپیرولینا دارای بالاترین نرخ بازماندگی (۸۰ درصد) بودند، در حالی که این رقم برای تیمار آستازانتین ۶۰ و برای شاهد ۲۰ درصد بوده است. افزایش وزن در تیمار اسپیرولینا با میانگین وزن ۴۴۷

اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش برای شاخص قرمزی مشاهده شد ($P < 0.05$).

شاخص سفیدی: براساس نتایج حاصل از محاسبه این شاخص، شاخص سفیدی در تیمار اسپیرولینا بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۱۴). اختلاف داده‌های این شاخص از نظر آماری معنی‌دار بودند ($P < 0.05$).

بحث

رنگ‌آمیزی پوست یکی از مهم‌ترین عواملی است که ارزش زیبایی‌شناختی و در نتیجه ارزش بازاری ماهیان زینتی را تعیین می‌کند. علاقمندان به ماهیان زینتی معمولاً رنگ ماهی را با زیبایی و سلامت آن مرتبط می‌دانند. بنابراین، این ویژگی به یک عامل مهم در بازاریابی تبدیل شده است (Bisht *et al.*, 2023). کاروتنوئیدها یکی از چهار گروه اصلی پیگمنت‌ها (ملانین‌ها، پورین‌ها، پتری‌دیوم‌ها و



شکل ۱۴- نمودار میانگین میزان شاخص سفیدی برای تیمارهای آزمایش در پایان مدت مطالعه

عملکرد رشد مشاهده نکردند، زیرا ممکن است جیره حاوی اسپیرولینا منجر به افزایش عوامل ضدتغذیه‌ای در جیره آزمایشی شده باشد (Mohammadiarzam *et al.*, 2021). مطالعات متعددی در زمینه عملکرد رشد و رنگ‌آمیزی پوست ماهیان پرورشی انجام شده است. در برخی موارد، وزن نهایی، افزایش وزن، افزایش وزن خالص، ضریب تبدیل غذایی و نرخ رشد ویژه در استفاده از پودر اسپیرولینا معنی‌دار نبوده است. نتایج مشابهی توسط Bisht و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شد که در آنها از پودر برگ *Moringa oleifera* به‌عنوان مکمل استفاده شد (Bisht *et al.*, 2023). در مطالعه Bisht و همکاران (۲۰۲۳)، تفاوت معنی‌داری در نرخ بقا مشاهده شد؛ به‌طوری‌که بالاترین نرخ بقا در گروه‌های دارای دوزهای مختلف اسپیرولینا ثبت گردید. این یافته با نتایج Wang و همکاران (۲۰۰۶) هم‌راستا بود، جایی‌که تفاوت معنی‌داری در نرخ بقا ماهی زینتی گونه *Hyphessobrycon callistus* بین تیمارها در صورت افزودن کاروتنوئیدها گزارش شد (Bisht *et al.*, 2023). براساس نتایج مطالعه حاضر، برخلاف وزن ماهیان که بهترین نتیجه را در تیمار اسپیرولینا داشته است، بیشترین طول کل در بین تیمارها مربوط به آستازانتین بوده است، در حالی‌که در رشد و افزایش وزن آنها تأثیری نداشته است (شکل ۴). براساس تحقیقات انجام شده افزودن پودر آستازانتین در پلت‌های غذایی دم شمشیری سبز (*Xyphophorus helleri*) با غلظت‌های مختلف تأثیر قابل توجهی بر تغییر رنگ داشت. اما این تغییر به‌طور معنی‌داری

میلی‌گرم، ۱۶۳ درصد بوده است. این ارقام برای تیمار آستازانتین و شاهد به‌ترتیب ۳۰۵ میلی‌گرم با افزایش وزن ۷۹ درصد، و ۲۵ میلی‌گرم و ۱۵ درصد افزایش وزن ثبت شد (شکل‌های ۱ و ۲). این در حالی بود که بالاترین طول کل مربوط به تیمار آستازانتین بوده است. تیزکار و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی اثر جیره غذایی حاوی رنگدانه آستازانتین در ماهی طلایی به این نتیجه رسیدند که میانگین وزن و طول ماهیان اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان نداد. این نتیجه در مطالعات انجام شده توسط برخی محققان نیز تأیید شده است. آنها به این نتیجه رسیدند که کارتنوئیدهای موجود در جیره تأثیری در رشد ماهی طلایی نداشته‌اند (Chatzifotis *et al.*, 2005; Mirzaee *et al.*, 2012). اما افزودن پودر اسپیرولینا یا فیکوسیانین استخراج شده از آن به رژیم غذایی ماهیان تزئینی، پارامترهای رشد، از جمله افزایش وزن و نرخ رشد ویژه را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (Biabani Asrami *et al.*, 2019; Bisht *et al.*, 2022). علاوه بر این، مکمل اسپیرولینا فعالیت آنزیم‌های گوارشی، به‌ویژه پروتاز را افزایش می‌دهد (Biabani Asrami *et al.*, 2019) و این ریزجلبک حتی می‌تواند به‌عنوان منبع پروتئین جایگزین آرد ماهی مورد استفاده قرار گیرد (Kim *et al.*, 2013). علاوه بر این، براساس تحقیقات (Dernekbaşı, 2010; Bisht *et al.*, 2022)، نرخ رشد با افزایش سطح اسپیرولینا در ماهی گوپی افزایش می‌یابد. به‌طور مشابه، در مطالعه‌ای بر روی گوپی‌های زینتی تغذیه‌شده با اسپیرولینا، محققان تغییرات معنی‌داری در

موفقیت جایگزین پروتئین پودر ماهی شد، در حالی که گونه ماهی کاتلا رشد قابل مقایسه‌ای را در تمام سطوح جایگزینی حفظ کرد (Nandeesh et al., 2001). اما تأثیر آستازانتین بر رشد ماهیان مانند بی‌مهرگان، یکسان نیستند. تأثیرات آستازانتین نه تنها تحت تأثیر تفاوت‌های تغذیه‌ای وابسته به گونه قرار دارد، بلکه مطالعات از لحاظ مدت زمان و ترکیب رژیم غذایی نیز متفاوت هستند، زیرا بسیاری از این عوامل می‌توانند جذب یا استفاده از آستازانتین را تحت تأثیر قرار دهند. برخی مطالعات رابطه مثبتی بین آستازانتین و رشد ماهی‌ها نشان داده‌اند، در حالی که برخی دیگر هیچ رابطه‌ای نیافته‌اند. تغذیه آستازانتین به مدت شش هفته، رشد تیلاپای قرمز (*Oreochromis spp.*) را بهبود بخشید و همچنین رنگ‌آمیزی پوست را ارتقا داد (Martling et al., 2023).

براساس نتایج این تحقیق، ضریب چاقی یا شاخص وضعیت (CF) نیز در تیمارهای اسپیرولینا (۱/۳۴) و تیمار آستازانتین (۰/۷۴) نسبت به شاهد (۱/۸۱) در سطح معنی‌داری تفاوت نشان دادند (شکل ۶). یک متا آنالیز جامع نشان داد که وعده غذایی اسپیرولینا به‌طور قابل توجهی وزن نهایی بدن، نرخ رشد ویژه و نسبت بازده پروتئین را بهبود بخشیده و در عین حال ضریب تبدیل غذایی را کاهش داده است، اگرچه تأثیر قابل توجهی بر ضریب چاقی به‌طور کلی نداشته است (Li et al., 2022). با این حال، مطالعات خاص گونه‌ها نتایج امیدوارکننده‌تری را برای ضریب چاقی نشان می‌دهند. در کپور معمولی، مکمل اسپیرولینا با دوز ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌طور قابل توجهی ضریب چاقی را همراه با پارامترهای رشد افزایش داد (Ahmed, 2023). به‌طور مشابه، تیلاپای نیل که با سطوح درجه‌بندی شده اسپیرولینا (۱۰-۲/۵ درصد) تغذیه شده بود، ضریب چاقی بهبود یافته‌ای را نشان داد (۱/۸-۱/۶) و اثرات آن در سطوح بالاتر افزایش یافت (Youssef et al., 2023).

در این تحقیق درصد بازماندگی در تیمارها قابل توجه و اختلاف آنها از نظر آماری معنی‌دار بود. فراتر از رنگ‌دهی، آستازانتین فواید سلامتی بی‌شماری را برای آبزیان، از جمله بهبود بقا، عملکرد رشد، تحمل استرس و مقاومت در برابر بیماری فراهم می‌کند (Lim et al., 2018). همچنین آستازانتین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل می‌کند، استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد و به‌طور بالقوه سلامت و میزان بقای ماهی را بهبود می‌بخشد (Shastak and

Putra et al., 2020). بر رشد وزن کل، طول کل و بقا تأثیر نداشت (Putra et al., 2020).

براساس نتایج به‌دست آمده، در مطالعه حاضر بهترین ضریب تبدیل خوراک مربوط به تیمار اسپیرولینا (۲/۵) بوده است. اما نرخ FCR در تیمار آستازانتین ۶ و در شاهد ۲۷/۵ محاسبه شد (شکل ۵). با توجه به پایین بودن نرخ ضریب تبدیل غذا در تیمار اسپیرولینا و افزایش وزن و رشد بیشتر در این ماهیان در دوره ۹۰ روزه، به‌نظر می‌رسد اسپیرولینا و پس از آن آستازانتین توانسته است کارایی غذا را بهبود ببخشد. در گربه‌ماهی غول‌پیکر Mekong، جایگزینی پودر ماهی با اسپیرولینا نه در سطح ۱۰۰ درصد ولی در مقادیر کمتر به‌طور قابل توجهی زیست‌توده کل ماهیان را افزایش داده است (Tongsiri et al., 2010). به‌طور مشابه، در تغذیه تیلاپای قرمز هیبرید با رژیم‌های غذایی حاوی ۲۰ درصد اسپیرولینا هیچ تأثیر معنی‌داری در نسبت تبدیل غذا مشاهده نشد (Ungsethaphand et al., 2010). با این حال، بچه‌ماهی‌های کپور معمولی با مکمل اسپیرولینا، نسبت تبدیل غذای بهبود یافته‌ای را نشان دادند، و بهترین ضریب تبدیل غذایی به میزان ۲/۱۴ در رژیم غذایی ۵ گرم اسپیرولینا در کیلوگرم به‌دست آمد (Abdulrahman, 2014).

در تحقیق حاضر بهترین میزان نرخ رشد ویژه (SGR=۱/۰۶) در تیمار اسپیرولینا ثبت شد. این رقم برای تیمار آستازانتین ۰/۶۳ و در شاهد ۰/۱۵ بود (شکل ۳). تحقیقات نشان داده است که مکمل اسپیرولینا به‌طور قابل توجهی عملکرد رشد و بقا را در گونه‌های مختلف ماهی افزایش می‌دهد. در ماهی پنگوسی *Pangasius sutchi*، جیره ۵ درصد اسپیرولینا منجر به بازماندگی ۹۴ درصد و افزایش وزن بهینه ۶۰/۴ گرم در طول ۹۰ روز شد (Jana et al., 2014). در مطالعه‌ای بر روی تیلاپای نیل، افزودن ۱ درصد اسپیرولینا عملکرد رشد را در مقایسه با سایر تیمارهای غذایی با افزایش محتوای پروتئین و کاهش سطح آنزیم‌های کبدی که نشان‌دهنده وضعیت سلامتی بهتر است، بهبود بخشید (Belal et al., 2012). سطح بهینه اسپیرولینا برای تیلاپای نیل ۵ تا ۱۰ گرم در کیلوگرم جیره تعیین شد که باعث افزایش رشد، بهبود مصرف خوراک و افزایش ایمنی در برابر آئروموناس هیدروفیلا بیماری‌زا شد (Abdel-Tawwab and Ahmad, 2009). در گونه‌های اصلی کپورهای هندی (کاتلا و روهو)، ۲۵ درصد اسپیرولینا با

(Paripatananont *et al.*, 1999; Pelletier, 2023).

در بررسی فاکتورهای مشخصه رنگ پوست ماهی گوپی، شاخص a^* یا شاخص قرمزی/سبزی در تیمار آستازانتین (۱۰/۰۸) و در تیمار اسپیرولینا ۷/۹۳ بود، که نشان‌دهنده مؤثر بودن کاروتنوئید موجود در رنگدانه آستازانتین و حتی پودر جلبک اسپیرولینا در افزایش رنگ قرمز در پوست گوپی بوده است (شکل ۷). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش غلظت اسپیرولینا در خوراک منجر به افزایش سطح کاروتنوئید در پوست ماهی می‌شود و در نتیجه قرمزی و زردی پوست بهبود می‌یابد (Bisht *et al.*, 2022; Soedibya *et al.*, 2024). در مطالعه مشابهی سپچلاید گورخری قرمز (*Maylandia estherae*) را با منابع مختلف کاروتنوئید تغذیه کردند و دریافتند که رژیم‌های حاوی اسپیرولینا و لوتئین باعث افزایش رنگ نارنجی و زرد و رژیم‌های حاوی آستازانتین موجب افزایش رنگ قرمز-نارنجی در پوست این ماهی شدند (Bisht *et al.*, 2023). از سوی دیگر میانگین شاخص b^* یا شاخص زرد/آبی در تیمارهای آستازانتین (۱۱/۹۷) و اسپیرولینا (۱۱/۲۶) نسبت به شاهد (۸/۹۷) بیشتر بودند (شکل ۸). مقادیر مثبت این شاخص بیانگر حضور رنگ زرد در پوست ماهی گوپی هستند. افزایش رنگ در ماهی‌ها به دلیل تأثیر پودر آستازانتین و قابلیت هضم بالا در ماهی نسبت به محتوای کاروتن موجود در این غذا بود (Putra *et al.*, 2020). مطالعات نشان داده‌اند که مکمل آستازانتین در رژیم غذایی ماهی می‌تواند به‌طور مؤثر رنگدانه‌سازی پورگی قرمز (*Pagrus pagrus*) را بهبود بخشد (Chatzifotis *et al.*, 2005; Mirzaee *et al.*, 2012).

شاخص درخشندگی یا روشنی L^* نیز به‌طور معنی‌داری در تیمار اسپیرولینا (۶۳/۷۴) و آستازانتین (۶۲/۱۵) بیشتر از تیمار شاهد (۶۱/۱۱) بودند (شکل ۹). کروماتوفورها سلول‌هایی هستند که در افزایش یا کاهش روشنایی ماهی نقش دارند. افزایش تعداد سلول‌های کروماتوفور باعث افزایش روشنایی ماهی و بالعکس می‌شود (Putra *et al.*, 2020). برای توسعه رنگدانه‌ها، به‌ویژه ایجاد رنگ‌های درخشان و جذاب در ماهیان زینتی، کاروتنوئیدها به‌عنوان افزودنی‌های غذایی استفاده می‌شوند (Bisht *et al.*, 2022). نتایج مشابهی توسط Yeşilayer و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شد؛ آنها نشان دادند که استفاده از

عصاره‌های گیاهی به‌عنوان منبع طبیعی کاروتنوئید موجب رنگ‌پذیری کافی در پوست سیچلاید زرد برقی شد. بعد از محاسبه شاخص سفیدی براساس فاکتورهای a^* و b^* مشخص شد که بالاترین میزان این شاخص در تیمار اسپیرولینا بوده است (شکل ۱۴). پس از آن تیمار شاهد و در نهایت تیمار آستازانتین قرار داشت (شکل ۱۴). در این تحقیق براساس مقادیر محاسبه شده برای Hue، کمترین میزان در تیمار آستازانتین (۴۹/۷۸)، و افزایش معنی‌داری در اسپیرولینا (۵۴/۷۸) و شاهد (۵۴/۳۹) مشاهده شد (شکل ۱۰). انحراف معیار پایین (۰/۳-۰/۵) نشان‌دهنده ثبات خوب و یکسان رنگدانه‌ها در تیمارهاست.

در میان شاخص‌های ثانویه رنگ از جمله شاخص Chroma (C^* ab) نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد. بر این اساس، بالاترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار آستازانتین (۱۵/۶۴) و پس از آن اسپیرولینا ۱۳/۷۶ قرار داشت (شکل ۱۱). بر این اساس، کاروتنوئیدهای طبیعی اسپیرولینا و مصنوعی آستازانتین هر دو توانسته‌اند بر رنگ‌پذیری ماهی گوپی مؤثر واقع شوند. در تحقیق دیگری ماهیان جوان فلونر زیتونی (*Paralichthys olivaceus*) را با آستازانتین مصنوعی، عصاره جلبک سبز، جلبک سبز کامل یا عصاره پاپریکا تغذیه کردند تا اثر هر تیمار بر رنگ گوشت ارزیابی شود. هر دو پاپریکا و جلبک سبز کامل تأثیر قابل توجهی بر رنگ‌آمیزی گوشت نسبت به سایر تیمارها داشتند. در مطالعه‌ای دیگر تغذیه آستازانتین و کانتازانتین مصنوعی را در یک گونه آکواریومی بررسی کردند. پس از مصرف مکمل با پنج غلظت مختلف آستازانتین یا کانتازانتین، غلظت کاروتنوئیدها و پارامترهای رنگ‌آمیزی در ماهی‌هایی که آستازانتین دریافت کرده بودند، بالاتر بودند (Martling *et al.*, 2023).

در محاسبه شاخص قرمزی یا redness index بیشترین مقدار این شاخص برای ماهیان تیمار تغذیه‌ای آستازانتین (۱۲/۹۸) و پس از آن تیمار اسپیرولینا با رقم ۱۰/۷۱ به ثبت رسید (شکل ۱۲). محققین نشان داده‌اند که مکمل آستازانتین و بتاکاروتن منجر به تغییرات رنگ قابل توجه در رنگ پوست ماهی گورامی (*Helostoma temminckii*) شده و تا هفته دهم تغذیه، رنگ آن به قرمز روشن رسید (Kopecký, 2015). در ماهی قرمز (*Carassius auratus*)، آستازانتین مصنوعی در افزایش

حاوی آستازانتین و جلبک اسپیرولینا در تغذیه ماهی گویی (*Poecilia reticulata*) اثرات معنی‌داری بر شاخص‌های رشد، بازماندگی و رنگ‌آمیزی پوست دارد. مقایسه تیمارها نشان داد که تیمار اسپیرولینا با دارا بودن بالاترین نرخ بازماندگی (۸۰٪)، بیشترین افزایش وزن (۱۶۳٪) و بهترین ضریب تبدیل غذایی (۲/۵)، از کارایی رشد و تغذیه‌ای برتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. در مقابل، تیمار آستازانتین اگرچه از نظر افزایش وزن و کارایی تغذیه در مرتبه دوم قرار گرفت، اما بیشترین طول کل را در میان تیمارها نشان داد. شاخص وضعیت (CF) در تیمار شاهد بیشترین مقدار را داشت، در حالی که در تیمار آستازانتین کمترین مقدار مشاهده شد.

از نظر شاخص‌های رنگی، هر دو مکمل تأثیر معنی‌داری در بهبود رنگ‌پذیری ماهی‌ها داشتند. شاخص قرمزی (a^*) و شاخص کروما ($C^* ab$) در تیمار آستازانتین بیشترین مقدار را نشان دادند که بیانگر نقش مؤثر کاروتنوئید مصنوعی در افزایش شدت رنگ قرمز پوست بود. در مقابل، تیمار اسپیرولینا در شاخص‌های روشنایی (L^*)، درجه رنگ (Hue) و شاخص سفیدی بالاترین مقادیر را داشت و توانست موجب بهبود درخشندگی و شفافیت رنگ پوست شود. همچنین شاخص زردی (b^*) در هر دو تیمار آستازانتین و اسپیرولینا نسبت به شاهد افزایش یافت که بیانگر تقویت رنگ زرد و درخشان‌تر شدن پوست گویی‌ها بود.

به‌طور کلی، براساس نتایج به‌دست‌آمده، افزودن جلبک اسپیرولینا به جیره غذایی ماهی گویی موجب بهبود قابل توجه در عملکرد رشد، کارایی تغذیه و بقاء گردید، در حالی که آستازانتین بیشترین تأثیر را در افزایش شدت رنگ قرمز و اشباع رنگی پوست داشت. بنابراین، استفاده ترکیبی یا متناوب از منابع طبیعی رنگدانه مانند اسپیرولینا و رنگدانه‌های کاروتنوئیدی مصنوعی نظیر آستازانتین می‌تواند راهکاری مؤثر برای ارتقاء کیفیت ظاهری و فیزیولوژیکی ماهیان زینتی به‌شمار آید.

رنگدانه پوست از منابع طبیعی مانند بهتر عمل کرد (Gouveia and Rema, 2005). Song و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که رنگ‌آمیزی پوست ماهی دیسکس (*Symphysodon spp.*) پس از دریافت حداقل ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آستازانتین رژیمی به‌مدت چهار هفته بهبود یافت. رنگ خارجی ماهی طلائی (*Carassius auratus*) نیز با سطوح نسبتاً پایین آستازانتین رژیمی بهبود یافت (Micah *et al.*, 2022)، در حالی که برای تغییر رنگ پوست طوطی ماهی قرمز، از سطوح بسیار بالاتری استفاده شد (Paripatananont *et al.*, 1999). منابع طبیعی و مصنوعی آستازانتین هر دو رنگ‌آمیزی ماهی نئون ارکید (*Pseudochromis fridmani*) را بهبود دادند، با این تفاوت که کارایی و اثرپذیری بالاتر منبع طبیعی آستازانتین را به اثبات رساندند (Martling *et al.*, 2023). رنگدانه‌های پوست دلقک ماهی دریایی (*Amphiprion ocellaris*) و سیکلید قرمز (*Maylandia esterae*) با غلظت‌های آستازانتین جیره و مدت زمان تغذیه با رژیم‌های غذایی حاوی آستازانتین رابطه مثبت داشت (Ho *et al.*, 2013; Yedier *et al.*, 2014).

یکی دیگر از شاخص‌های مهم ارزیابی رنگ در ماهیان، شاخص زردی یا Yellowness index است که در مطالعات اخیر ارزیابی رنگ مورد توجه قرار گرفته است. رقم زردی مربوط به تیمارهای اسپیرولینا و آستازانتین (به ترتیب ۰۵/۶- و ۱۱/۶-) محاسبه شد و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به شاهد (۴/۸-) بود. جالب توجه اینکه ارقام منفی در این شاخص، برخلاف فاکتور b^* که بیانگر زردی پوست گویی بود، نشان از تقویت رنگ آبی در پوست ماهیان تیمارهای آزمایش دارد (شکل ۱۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مکمل‌های غذایی

منابع

- تیزکار ب.، سوداگر م.، بهمنی م.، حسینی، س.ع.، چمنی م. ۱۳۹۱. تأثیر جیره‌های تکمیلی حاوی آستازانتین و بتاکاروتن بر شاخص‌های تولیدمثلی ماهی طلائی (*Carassius auratus*) و استرس ناشی از تراکم در مرحله انکوباسیون. فصلنامه علمی-پژوهشی محیط‌زیست جانوری. ۴(۴)، ۲۹-۵۰.
- حاجاتی ح.، رفعت ن.، شکوری م. ۱۴۰۱. تغذیه ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*) در صنعت آبی‌پروری.

مجله ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی، ۶(۱)، ۶۹-۵۹.

- نپاوندی ر.، صیدگر م.، نکوئی فرد ع. ۱۴۰۱. بررسی زادآوری و زنده ماننی ماهیان مولد گوپی (*Poecilia reticulata*) تغذیه شده با غذای ترکیبی حاوی جلبک *Spirulina*. مجله علمی-ترویجی آبیان زینتی. ۹(۴)، ۵۴-۴۳.
- Abdel-Tawwab M., Ahmad M.H. 2009.** Live *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) as a growth and immunity promoter for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research* 40(9), 1037-1046.
- Abdulrahman N.M. 2014.** Evaluation of *Spirulina* spp. as food supplement and its effect on growth performance of common carp fingerlings. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 2(2), 89-92.
- Ahmed B.S. 2023.** Nutritional effects of dietary spirulina (*Arthrospira platensis*) on morphological performance, hematological profile, biochemical parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Egyptian Journal of Veterinary Sciences* 54(3), 515-524.
- Araújo F.G., Peixoto M.G., Pinto B.C.T., Teixeira T.P. 2009.** Distribution of guppies *Poecilia reticulata* (Peters, 1860) and *Phalloceros caudimaculatus* (Hensel, 1868) along a polluted stretch of the Paraíba do Sul River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69, pp.41-48.
- Barua A., Rana S., Shawon F.I., Muntaha M.K., Ahmed S.I., Shimul S.A., AL Nahid S.A. 2021.** Effect of background color on the growth pattern and coloration of guppy (*Poecilia reticulata*). *Bangladesh Journal of Fisheries* 33(1), 13-20.
- Belal E.B., Khalafalla M.M.E., El-Hais A.M.A. 2012.** Use of *Spirulina* (*Arthrospira fusiformis*) for promoting growth of Nile Tilapia fingerlings. *African Journal of Microbiology Research* 6(35), 6423-6431.
- Biabani Asrami M., Sudagar M., Shahraki N., Vahdat S. 2019.** Effect of extracted phycocyanin from *Spirulina platensis* on growth parameters, colorations, digestive enzymes and body chemical compositions of Guppy fish (*Poecilia reticulata*). *Journal of Survey in Fisheries Sciences* 6(1), 21-34.
- Bitsht M., Kumar A., Shah T.K., Sharma M. 2023.** Effect of Moringa Oleifera leaf meal (MLM) on skin colouration of ornamental guppy, *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Journal of the Inland Fisheries Society of India* 55(4), 365-370.
- Bisht M., Kumar A., Shah T.K. 2022.** Effect of *Spirulina* Powder (*Arthrospira platensis*) as a Dietary Additives Ornamental Guppy, *Poecilia Reticulata*: Growth Performance, Survival and Skin Colouration. *Aquaculture Studies* 23(2).
- Chatzifotis S., Pavlidis M., Jimeno C.D., Vardanis G., Steriotti A., Divanach P. 2005.** The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture Research* 36(15), 1517-1525.
- Das A.P., Biswas S.P., 2016.** Carotenoids and pigmentation in ornamental fish. *Journal of Aquaculture and Marine Biology* 4(4).
- Dernekbaş S.Y., Ünal H., Karayücel İ., Aral O. 2010.** Effects of dietary supplementation of different rates of spirulina (*Spirulina platensis*) growth and feed conversion in guppy (*Poecilia reticulata* Peters, 1860). *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9(9), 1395-1399.
- Gogoi S., Mandal C., Patel A. 2017.** Effect of dietary *Wolffia arrhiza* and *Arthrospira platensis* on growth performance and pigmentation of Queen Loach *Botia dario* Hamilton, 1822. *Aquaculture Nutrition* (00), 1-7.
- Gouveia L., Rema P. 2005.** Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture Nutrition* 11(1), 19-23.
- Gupta S.K., Jha A.K., Pal A.K., Venkateshwarlu G. 2007.** Use of natural carotenoids for pigmentation in fishes. *Natural Product Radiance* 6(1), 46-49.
- Higuera-Ciapara I., Felix-Valenzuela L., Goycoolea F.M. 2006.** Astaxanthin: a review of its chemistry and applications. *Critical reviews in food science and nutrition* 46(2), 185-196.
- Ho A., O'Shea S., Pomeroy H. 2012.** Dietary esterified astaxanthin effects on color, carotenoid concentrations, and compositions of clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris*, skin. *Aquaculture International* 21(2).
- Jana A., Saroch J.D., Borana, K. 2014.** Effect of *Spirulina* as a feed supplement on survival and growth of *Pangasius sutchi*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 1(5), 77-79.
- Kim S.S., Rahimnejad S., Kim K.W., Lee K.J. 2013.** Partial replacement of fish meal with *Spirulina*

- pacifica* in diets for parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13(2).
- Kopecký J. 2015.** The Effect of Astaxanthin and β -carotene on the colour of the kissing gourami (*Helostoma temminckii*). *Scientific papers animal science and biotechnologies* 48(2), 104-104.
- Leal M.C., Vaz M.C.M., Puga J., Rocha R.J.M., Brown C., Rosa R., Calado R. 2016.** Marine ornamental fish imports in the European Union: an economic perspective. *Fish and Fisheries* 17(2), 459-468.
- Li L., Liu H., Zhang P. 2022.** Effect of *Spirulina* meal supplementation on growth performance and feed utilization in Fish and Shrimp: A Meta-Analysis. *Aquaculture Nutrition* 2022(1).
- Lim K.C., Yusoff F.M., Shariff M., Kamarudin M.S. 2018.** Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. *Reviews in aquaculture* 10(3), 738-773.
- Mandal S.C., Tripathy P.S., Khatei A., Behera D.U., Ghosh A., Pandey P.K., Parhi, J. 2020.** Genetics of colour variation in wild versus cultured queen loach, *Botia dario* Hamilton, 1822. *Genomics* 112(5), 3256-3267.
- Martling S., Voorhees J.M., Erlenbusch M.J., Nachtigal I., Barnes M.E. 2023.** Astaxanthin: a powerful antioxidant used in aquaculture for coloration with aquatic animal health implications. *Journal of Animal Sciences and Animal Nutrition* 2, 1-19.
- Micah A.D., Wen B., Wang Q., Zhang Y., Yusuf A., Thierry N.N.B., Tokpanou O.S., Onimisi M.M., Adeyemi S.O., Gao J.Z., Chen, Z.Z. 2022.** Effect of dietary astaxanthin on growth, body color, biochemical parameters and transcriptome profiling of juvenile blood parrotfish (*Vieja melanurus*♀ × *Amphilophus citrinellus*♂). *Aquaculture Reports* 24.
- Mirzaee S., Shabani A., Rezaee S., Hosseinzadeh M. 2012.** The effect of synthetic and natural pigments on the color of the guppy fish (*Poecilia reticulata*). *Global Veterinaria* 9(2), 171-174.
- Mohammadiazarm H., Maniat M., Ghorbanijezeh K., Ghotbeddin, N. 2021.** Effects of spirulina powder (*Spirulina platensis*) as a dietary additive on Oscar fish, *Astronotus ocellatus*: Assessing growth performance, body composition, digestive enzyme activity, immune-biochemical parameters, blood indices and total pigmentation. *Aquaculture Nutrition* 27(1), 252-260.
- Mousavi Nadushan R., Hosseinzade I. 2020.** Optimization of production and antioxidant activity of fucoxanthin from marine haptophyte algae, *Isochrysis galbana*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(6), 2901-2908.
- Nakano T., Wiegertjes G. 2020.** Properties of carotenoids in fish fitness: a review. *Marine Drugs* 18(11), 568.
- Nandeeshha M.C., Gangadhara B., Manissery J.K., Venkataraman L.V. 2001.** Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology* 80(2), 117-120.
- NFI (National Fisheries Institute). 1991.** A Manual of Standard Methods for Measuring and Specifying the Properties of Surimi, *National Fisheries Institute*, Washington, DC.
- Paripatananont T., Tangtrongpaioj J., Sailasuta A., Chansue N. 1999.** Effect of astaxanthin on the pigmentation of goldfish *Carassius auratus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 30(4), 454-460.
- Putra D.F., Qadri A., El-Rahimi S.A., Othman N. 2020.** Effects of astaxanthin on the skin color of green swordtail, *Xyphophorus helleri*. In *E3S Web of Conferences* 151.
- Saikia S., Das J.N. 2023.** Carotenoids as a dietary supplement for enhancing pigmentation and colouration in ornamental fishes: A review. *Uttar Pradesh Journal of Zoology* 44(13), 1-16.
- Shafi S., Yousuf A.R. 2012.** Length-weight relationship and condition factor of *Schizothorax niger* (Heckel, 1838) Misra from Dal lake, Kashmir. *International Journal of Scientific and Research Publications* 2(3), 1-3.
- Shastak Y., Pelletier W. 2024.** A cross-species perspective: β -carotene supplementation effects in poultry, swine, and cattle—a review. *Journal of Applied Animal Research* 52(1).
- Soedibya P.H.T., Anwar A., Tang B. 2024.** The Effect of cultivation techniques in the dry and rainy seasons on the quality of the seaweed *Caulerpa racemosa*. *Journal of Aquaculture and Fish Health* 13(3).
- Song X., Wang L., Li X., Chen Z., Liang G., Leng X. 2017.** Dietary astaxanthin improved the body pigmentation and antioxidant function, but not the growth of discus fish (*Symphysodon* spp.). *Aquaculture Research* 48(4), 1359-1367.

- Tongsiri S., Mang-Amphan K., Peerapornpisal Y. 2010.** Effect of replacing fishmeal with *Spirulina* on growth, carcass composition and pigment of the Mekong giant catfish. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 2(3), 106-110.
- Ungsethaphand T., Peerapornpisal Y., Whangchai N., Sardud U. 2010.** Effect of feeding *Spirulina platensis* on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). *Maejo International Journal of Science and Technology* 4.
- Yedier S., Gümüs E., Livengood E.J., Chapman F.A. 2014.** The relationship between carotenoid type and skin color in the ornamental red zebra cichlid *Maylandia estherae*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation* 7(3), 207-216.
- Yeşilayer N., Mutlu G., Yıldırım A. 2020.** Effect of nettle (*Urtica* spp.), marigold (*Tagetes erecta*), alfalfa (*Medicago sativa*) extracts and synthetic xanthophyll (zeaxanthin) carotenoid supplementations into diets on skin pigmentation and growth parameters of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*). *Aquaculture* 520, 734964.
- Youssef I.M., Saleh E.S., Tawfeek S.S., Abdel-Fadeel A.A., Abdel-Razik A.R.H., Abdel-Daim, A.S. 2023.** Effect of *Spirulina platensis* on growth, hematological, biochemical, and immunological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production* 55(4), 275.

Effects of dietary supplements of Spirulina and Astaxanthin pigment on growth performance, survival, and coloration indices in Guppy (*Poecilia reticulata*)

Monir Ghiyasabadi¹, Rezvan Mousavi Nadushan*², Pania Ghasemi³, Motahare Behzadi³

¹Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

²Department of Marine and Fisheries Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Tehran North Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran.

³Farzanegan 4 High School, National Organization for Development of Exceptional Talents (NODET/SAMTAD), Tehran, Iran.

*Corresponding author: r_mousavi.nadushan@iau-tnb.ac.ir

Received: 15.Aug.2025

Accepted: 15.Oct.2025

Abstract

The guppy (*Poecilia reticulata*) is one of the most popular ornamental freshwater fish species, valued for its vibrant coloration, ease of breeding, and high economic potential in aquaculture. Skin coloration in this species is strongly influenced by diet and carotenoid intake. This study evaluated the effects of two dietary supplements—*Spirulina platensis* and the carotenoid pigment astaxanthin—on growth indices, survival rate, and skin color parameters of guppy males. A total of 90 male guppies were assigned to three treatments: Spirulina (5% of feed), astaxanthin (0.01% sprayed on feed), and a control group, each in triplicate, and fed for 90 days. Results showed that the Spirulina group achieved the highest weight gain (280 mg, equivalent to 165%), the best feed conversion ratio (1.5), and the highest survival rate (80%). In contrast, the astaxanthin group exhibited the greatest redness index (a^*), while yellowness (b^*) was similar in both Spirulina and astaxanthin groups and higher than in the control. ANOVA indicated significant differences ($P < 0.05$) among treatments in final weight, total length, condition factor, feed conversion ratio, and colorimetric parameters. Overall, these findings highlight the effectiveness of Spirulina in improving growth and survival, and the role of astaxanthin in enhancing red skin pigmentation in guppies, providing valuable insights for optimizing nutrition and quality in ornamental fish culture.

Keywords: Spirulina, Astaxanthin, Guppy, Survival, Skin color patterns