سومین همایش

منابع شیلاتی فناوری‌های نوین

۱۰ و ۱۱ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

سومین همایش و اولین کنگره ملی
منابع شیلاتی

بدینوسیله گواهی می شود سرکار خانم فاطمه داودی

در سومین همایش ملی منابع شیلاتی- فناوری های نوین که در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برگزار شد، مقاله‌ای تحت عنوان

"مروری بر استفاده از رنگدانه‌های گیاهی در صنعت تولید غذای آبزیان با تاکید بر ترکیب شیمیایی" به صورت پوستر ارائه نموده‌اند.

بدین وسیله از فعالیت و تلاش علمی جنابعالی تقدیر و تشکر نموده و موفقیت روز افزونتان را در تمامی عرصه‌ها از خداوند متعال خواستاریم.

دبیر اجرایی
سعید کرامین

دبیر علمی
حمیدرضا شیری

دبیر همایش
علی شعبانی

سومین همایش و اولین کنگره ملی
منابع شیلاتی

مروری بر استفاده از رنگدانه‌های گیاهی در صنعت تولید غذای آبزیان با تأکید بر ترکیب شیمیایی

فاطمه داودی سفیدکوهی*[1]، امید صفری[2]

[1]دانشجوی کارشناسی، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[2]دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

fatemeh.davoudisefidkohi@gmail.com

چکیده

محصولات تولیدی صنعت آبزی‌پروری جهت ورود به چرخه رقابت باید شرایط متعددی را دارا باشد تا از دیدگاه مصرف‌کنندگان مقبولیت پیدا کنند. ویژگی‌های رنگ از مهم‌ترین فاکتورهای مورد نظر می‌باشد. رنگ در آبزیان علاوه بر جنبه ظاهری و زیبایی، نشان‌دهنده‌ی سلامت و کیفیت بالای محصول به حساب می‌آید. کاروتنوئیدها به عنوان کاربردی‌ترین رنگدانه ها در صنعت تولید غذای آبزیان استفاده می‌شوند و تجمع آن در پوست و عضلات آبزیان بر بازارپسندی آن بسیار تأثیرگذار است؛ لذا با توجه به عدم سنتز آن در بدن آبزیان، استفاده نمودن از ترکیبات حاوی کاروتنوئیدها در جیره‌ی غذایی ماهیان پرورشی امری ضروری محسوب می‌شود. امروزه با توجه به اینکه انباشت رنگدانه های مصنوعی در بافت ماهیان موجب بروز خطراتی برای مصرف‌کنندگان می‌گردد و همچنین با توجه به قیمت زیاد رنگدانه های مصنوعی، صنعت آبزی‌پروری ارگانیک به سوی یافتن رنگدانه های جایگزین، خصوصاً رنگدانه های گیاهی ارزان قیمت معطوف شده است. در این رابطه منابع رنگدانه ای گیاهی همچون آناتو، پاپریکا، لوتئین، لیکوپن، زعفران، ریشه روناس، چغندر قند و زردچوبه مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. هر چند توجه به نوع محصول مصرفی (پودر، عصاره و اسانس) حاصل از این منابع گیاهی بر کارایی استفاده از این منابع بر کیفیت رنگ لاشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: رنگدانه، آبزی‌پروری ارگانیک، منابع گیاهی، متابولیسم

مقدمه

تولید آبزیان از دو منبع آبزی‌پروری و صید در پنج دهه اخیر به‌صورت مستمر افزایش یافته و در سال ۲۰۱۶ به رقم ۱۷۱ میلیون تن رسید. نرخ افزایش تولید آبزیان برای مصارف انسانی در پنج دهه گذشته به طور متوسط معادل ۵/۲ درصد بود که نسبت به نرخ افزایش جمعیت جهانی (۱/۶ درصد)، بیش از سه برابر افزایش یافت. مصرف جهانی سرانه ماهی، ۱۹/۸ کیلوگرم تخمین زده می‌شود که ۱۷ درصد مصرف پروتئین حیوانی و ۶/۷ درصد از کل میزان پروتئین مصرف شده مربوط به صنعت آبزی پروری می‌باشد که نمایانگر استقبال عمومی جهان از افزایش مصرف آبزیان است. این روند افزایشی مصرف مستلزم پرورش گونه‌های آبزی در شیوه‌های گسترده و وسیع است (FAO, 2018). ایجاد رنگ یکی از مهم‌ترین صفات کیفی برای مقبولیت ماهی نزد مشتری می‌باشد. در آبزی‌پروری ترمیم و نگهداری از رنگدانه های طبیعی پوست اهمیت زیادی از نقطه‌نظر تجاری دارد و این دیدگاه به‌عنوان تأثیر مستقیم بر پذیرش یا رد مصرف‌کنندگان و قیمت محصولات در بازار دارد (احمدی و زمینی، ۱۳۹۴). همچنین رنگ یکی از فاکتورهای عمده‌ی تعیین‌کننده‌ی قیمت ماهیان آکواریومی در بازار جهانی است (پیغان و همکاران،

۱۳۹۵). تغذیه تأثیر به سزایی بر تعدادی از پارامترها نظیر ظاهر و رنگ گوشت ماهیان دارد که در کیفیت ماهی تأثیری مستقیم می‌گذارد (طالبی و همکاران،۱۳۹۱). امروزه افزودنی‌های مختلفی از جمله پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها و آنزیم‌ها برای بهبود کیفیت غذا، افزایش رشد و کمک به توانایی‌های ماهی برای تحمل شرایط محیط پرورشی به غذا اضافه می‌شوند. به دلیل محدودیت‌های قانونی در استفاده از مواد شیمیایی از جمله آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌ها در غذای آبزیان و جانوران خوراکی مورد مصرف انسان، استفاده از مواد افزودنی گیاهی به‌عنوان یک ماده طبیعی به‌منظور افزایش سرعت رشد و بهبود کارایی غذا در صنعت غذای آبزیان گسترش زیادی پیدا کرده است. افزودنی‌های گیاهی، ترکیب‌های به‌دست‌آمده از گیاهان به شکل پودر، عصاره و اسانس گیاهان هستند. آن‌ها در طیف گسترده‌ای توسط انسان و نیز حیوانات از جمله گونه‌های آبزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منابع گیاهی به‌منظور افزایش عملکردهای مختلف مانند محرک رشد و اشتها، ضد استرس، عملکردهای ایمنی، تغییر جنسیت، رنگ گوشت، میزان تخم گشایی، وضعیت خونی و بیوشیمیایی و نیز افزایش مقاومت به بیماری در ماهیان پرورشی به دلیل ترکیبات فعال مختلف مورد توجه قرار گرفته اند (قبادی و همکاران، ۱۳۹۴). لذا اخیراً به دلیل هزینه‌های تولید و استخراج کم و کارایی و زیست فراهمی مناسب، توجه ویژه‌ای به رنگدانه‌های گیاهی شده است.

رنگ در ماهیان و عوامل تنظیم‌کننده آن

یکی از مهم‌ترین جذابیت‌های بصری موجودات دریایی میزان زیبایی رنگی آن‌هاست (غیاثوند و شاپوری،۱۳۸۸). ماهی‌ها نمی‌توانند با تبدیل مولکول‌های درشت به ساده رنگدانه خود را سنتز کنند لذا باید از عوامل رنگی که توسط گیاهان، جلبک‌ها و ریز جلبک‌ها سنتز می‌شوند در جیره غذایی ماهی استفاده شود تا بتوان رنگ موردنظر مطلوب را در آن‌ها ایجاد کرد. رنگ بدن موجودات زنده تابع دو عامل ژنتیکی و تغذیه‌ای است که در ماهی در درجه اول به دلیل حضور کروماتوفورها می‌باشد (احمدی و زمینی، ۱۳۹۴) که حاوی چهار گروه اصلی رنگدانه ملانین‌ها، کاروتنوئیدها (شامل آستاگزانتین، کانتاگزانتین، لوتئین و زئاگزانتین)، پتریدین ها و پورین‌ها است که به پوست و بافت‌های حیوانات و گیاهان رنگ می‌دهند. به‌علاوه ماهی می‌تواند الگوهای رنگی مختلفی درنتیجه پراکنش یا تجمع کروماتوزوم ها و توزیع کروماتوفورها در پوست نشان دهد. ترکیبی از عوامل ژنتیکی، محیطی، عصبی، هورمونی و پرورشی روی حرکت کروماتوفورها و ذخیره رنگدانه در ماهیان پرورشی تأثیر دارند (شکل ۱) (صیدگر و همکاران، ۱۳۹۴).

تقسیم‌بندی رنگدانه ها

به مواد رنگی که باعث ایجاد رنگ‌های مختلف در اجزا گیاهان و جانوران می‌شوند، رنگدانه می‌گویند؛ مانند کلروفیل در گیاهان سبز و هموگلوبین در جانوران (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲). رنگدانه ها درواقع در همه جای طبیعت یافت می‌شوند؛ به‌ویژه در موجوداتی که در معرض نور خورشید قرار دارند. در طبقه‌بندی رنگ‌های خوراکی دو روش بکار برده می‌شود: روش اول بر پایه منشأ رنگ خوراکی و روش دوم مبتنی بر ساختمان شیمیایی رنگ می‌باشد. منشأ رنگ خوراکی می‌تواند طبیعی، شبه طبیعی (Nature-identical) یا مصنوعی باشد. در طبقه‌بندی رنگ‌های خوراکی بر اساس فرمول شیمیایی، سه مجموعه از ترکیبات شیمیایی برای رنگ‌های خوراکی در نظر گرفته‌شده‌اند که شامل مشتقات ایزوپرنوئیدها، مشتقات تتراپیرول ها و مشتقات بنزوپیران ها می‌باشند؛ اما دسته چهارمی نیز تحت عنوان ترکیبات شبه طبیعی به آن افزوده شده که شامل ملانوئیدین ها و کارامل‌ها می‌باشد (جدول ۱) (بلوریان، ۱۳۹۰).

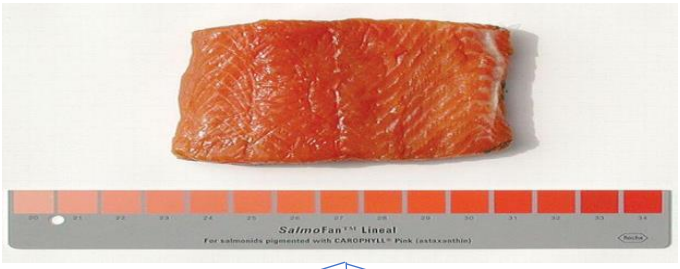
کاروتنوئیدها به‌عنوان کاربردی‌ترین رنگدانه ها

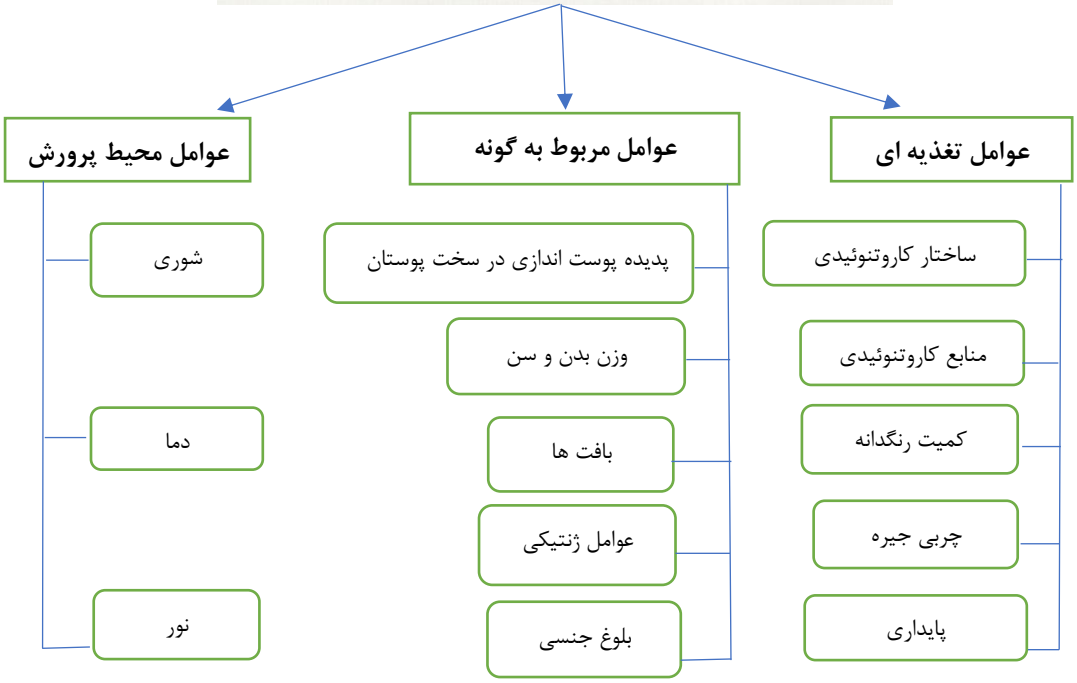
کاروتنوئید مهم‌ترین رنگدانه می‌باشد که اولین بار در سال ۱۸۳۱ از گیاه هویج (*Daucus Carota*) استخراج گردید (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲) و خود شامل انواعی از رنگدانه ها مانند آستاگزانتین، زیگزانتین، کانتاگزانتین، زانتوفیل، لوکانتین و... می‌شود (شکل ۲) که مسئول تغییر رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز در برگ‌ها، گیاهان، میوه‌ها، گل‌ها و رنگ‌های پرهای زینتی بسیاری از پرندگان، حشرات، رنگ صورتی در فلامینگو و ماهی قزل‌آلا و سخت‌پوستانی نظیر خرچنگ دریایی و زرده تخم‌مرغ می‌باشند (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ سجادی، ۱۳۹۶). کاروتنوئیدها رنگدانه های محلول در چربی هستند و به‌طور گسترده در طبیعت وجود دارند و توسط گیاهان، جلبک‌ها، فیتوپلانکتون ها، برخی قارچ‌ها و باکتری‌ها (جدول ۳) تولید می‌گردند (سجادی، ۱۳۹۶؛ پیغان و همکاران، ۱۳۹۵). سخت‌پوستان و پرتاران نیز منابع بسیار خوبی از کاروتنوئیدها محسوب می‌شوند (افشار مازندران، ۱۳۸۱). مهم‌ترین منابع رنگدانه های کاروتنوئیدی مصنوعی مورد استفاده در آبزی‌پروری، آستاگزانتین و کانتاگزانتین مصنوعی و مهم‌ترین منابع طبیعی آستاگزانتین، مخمر قرمز (*Xanthophyllomyces rhodrohous*) و جلبک تک‌سلولی آب شیرین (*Haematococcus pluvialis*) می‌باشد (رجبی و همکاران،۱۳۹۱). آستاگزانتین و کانتاگزانتین در غذای آبزیان اهمیت دارند و باعث ایجاد رنگ نارنجی متمایل به قرمز در آزادماهیان می‌شوند (جدول ۲). آستاگزانتین کاروتنوئید اصلی است که هم به‌صورت مصنوعی (synthetic) در دسترس می‌باشد و هم از منابع طبیعی به دست می‌آید و توسط ماهی آزاد وحشی مصرف می‌شود (سجادی، ۱۳۹۶). دو اکسی کاروتنوئید، آستاگزانتین (۳ و ۳- دی هیدروکسی-۴ و۴- دی کتو-بتا- کاروتن) و کانتاگزانتین (۴ و ۴- دی کتو- بتا- کاروتن) مسئول رنگ قرمز نارنجی گوشت، پوست و باله‌ها در آزادماهیان هستند (NRC,1993). واضح است که رنگدانه های کاروتنوئیدی در ماهی آزاد یک نشانه طبیعی مهم از نظر زیست‌شناسی می‌باشد (علی تبار و همکاران، ۱۳۹۵). آستاگزانتین رنگ قابل ملاحظه‌ای را در بسیاری از گونه‌های ماهیان زینتی دارای رنگ درخشان مانند تترا، سیچلید، گورامی، گلدفیش، کوی، دانیو و بسیاری از گونه‌های دیگر ایجاد می‌کند (صید گر و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین تکمیل کردن جیره میگوها با استفاده از آستاگزانتین، عمل‌آوری آن‌ها را در سیستم‌های متراکم پرورشی بهبود می‌بخشد (فلاحتکار، ۱۳۹۴). کاروتنوئیدها و فعالیت‌های مربوط به آن‌ها در آبزیان توسط محققان بسیاری مورد بررسی قرارگرفته است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به کارکرد شبه آنتی‌اکسیدانی، فعالیت‌های پرووپتامینی برای ویتامین A، تحریک دستگاه ایمنی، مهار جهش‌زایی، نقش حیاتی در تولیدمثل و دخالت در مراحل لاروی یا مراحل غذاخوری اولیه (افشار مازندران، ۱۳۸۱)، ثبات در غشا سلولی، بهبود سلامتی و ایمنی از طریق حذف رادیکال های آزاد اکسیژن و حفاظت درون سلولی(ناظری و همکاران،۱۳۹۴)، جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها، کاهش استرس، محافظت اندام‌های بدن از آسیب‌های ناشی از اشعه ماورا بنفش اشاره کرد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین نقش فیزیولوژیک کاروتنوئیدها به‌ویژه آستاگزانتین در رشد و نمو تخم آزادماهیان و سایر ماهیان دریایی به اثبات رسیده است (افشار مازندران، ۱۳۸۱).

ساختمان کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها جزو دسته‌ای از مواد آلی موسوم به ترپن ها و پیچیده‌ترین طبقه از رنگ‌های مواد غذایی طبیعی با حدود ۷۵۰ ساختار متفاوت در طبیعت می‌باشند که متشکل از ۸ واحد ایزوپرن و دارای ۴۰ کربن هستند (البته اخیراً ترکیباتی متعلق به این گروه یافت شده‌اند که بیش از ۴۰ کربن دارند)(زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲). تمامی کاروتنوئیدها را می‌توان به شکل مشتقاتی از لیکوپن ($C_{40}H_{56}$) در نظر گرفت (بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). رنگ کاروتنوئیدها ناشی از حضور یک سیستم از پیوندهای مضاعف

کانژوگه می‌باشد. هر چه تعداد این نوع پیوند در مولکول بیشتر باشد باندهای جذب اصلی به ناحیه‌ای با طول موج بیشتر انتقال‌یافته و درنتیجه رنگ قرمزتر می‌شود. حداقل هفت پیوند مضاعف کانژوگه لازم است تا یک رنگ زردرنگ محسوس ظاهر شود. پیوندهای دوگانه در کاروتنوئیدهای مواد غذایی از نوع ترانس هستند. قوی‌ترین رنگ مربوط به زمانی است که تمام پیوندها از نوع





شکل ۱: عوامل مؤثر بر کارایی بر استفاده از رنگدانه های موجود در جیره غذایی آبزیان بر کیفیت رنگ لاشه (علیزاده و همکاران،۱۳۸۸)

ترانس باشد (هرچه بر تعداد پیوندهای سیس اضافه شود رنگ تدریجاً روشن‌تر می‌گردد)(زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱: طبقه‌بندی رنگ‌های خوراکی طبیعی بر اساس ساختار شیمیایی (بلوریان، ۱۳۹۰)

گروه اصلی	زیرگروه
مشتقات ایزوپرنوئیدها	کاروتنوئیدها
	گزانتوفیل ها
مشتقات تتراپیرول	کلروفیل ها
	پورفیرین ها
مشتقات بنزوپیران	آنتوسیانین ها
	فلاون ها
	فلاونوئیدها
	تانن ها
ترکیبات شبه طبیعی	ملانوئیدین ها
	کارامل‌ها
ترکیبات دیگر	فلانون ها
	بتالائین ها
	آنتراکینون ها

فرآیندهای متابولیسمی هضم رنگدانه ها

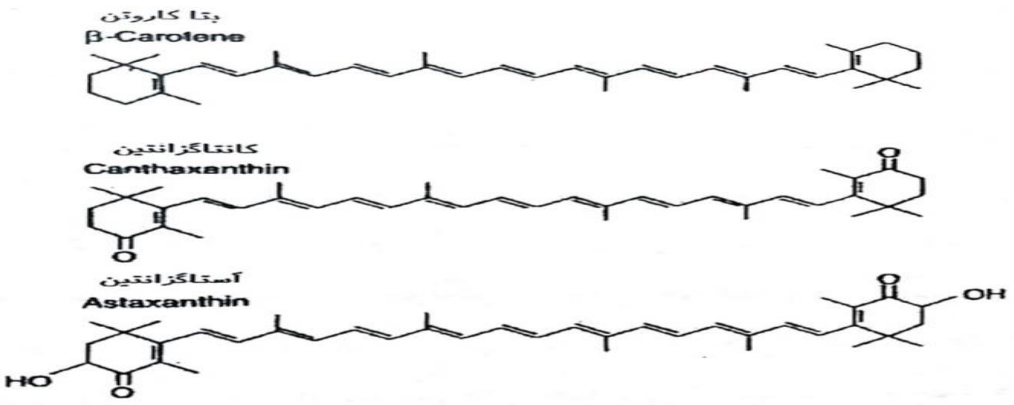
تأثیر منابع کاروتنوئیدی از دیدگاه ایجاد رنگ مختص هر گونه می‌باشد. به‌علاوه همه گونه‌های ماهیان روش مشابه سوخت‌وساز رنگدانه ای نداشته و بنابراین نمی‌توان یک روش انتقال کلی و سراسری برای کاروتنوئیدها در بافت ماهیان در نظر گرفت. جذب کاروتنوئیدها معمولاً در روده میانی و انتهایی توسط سلول‌های روده و از طریق انتشار فعال انجام می‌شود و در بافت و اندام‌های مختلفی مثل پوست، گوشت، غدد تناسلی، کلیه، کبد، روده و به مقدار کم در مغز ذخیره می‌شوند (احمدی و زمینی، ۱۳۹۴). در بعضی از گونه‌ها رنگدانه ها به همان شکل ذخیره می‌شوند ولی در برخی دیگر از گونه‌ها، رنگدانه ها قبل از ذخیره شدن، دستخوش تغییراتی می‌شوند. بتاکاروتن ها در بدن آبزیان به‌آرامی جذب می‌شوند و با ضریب بسیار پایینی به آستاگزانتین تبدیل می‌شوند. در کپور ماهیان، لوتئین و زیگزانتین بدون هیچ‌گونه تغییری ذخیره می‌شوند. ماهی قزل‌آلا توانایی تبدیل سایر کاروتنوئیدها را به آستاگزانتین و کانتاگزانتین ندارد. برخلاف کاروتنوئیدها، گزانتوفیل ها در بدن آبزیان به‌خوبی ذخیره و جذب می‌شوند؛ به‌عنوان مثال لوتئین که از خانواده گزانتوفیل هاست، ابتدا به فرم استر در سلول‌های رنگدانه ای ذخیره می‌شود و مقادیر اضافی آن به بخش‌های سفیدرنگ ماهی نفوذ می‌کند (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲). ماهی گلدفیش توسط ۴-کتوزئاگزانتین رنگدانه گزانتوفیلی زرد زئاگزانتین را به رنگدانه کاروتنوئیدی قرمز آستاگزانتین تبدیل می‌کند. برعکس قزل‌آلا آستاگزانتین را به زئاگزانتین تبدیل می‌کند (صیدگر و همکاران، ۱۳۹۴). پس باید به این نکته توجه داشت که تمام رنگدانه ها منجر به تغییرات رنگی در پوست و بافت ماهی نمی‌گردند (پیغان و همکاران، ۱۳۹۵). آستاگزانتین آزاد نسبت به استر آستاگزانتین با بازدهی بیشتری جذب می‌شود که نشان‌دهنده محدودیت میزان هیدرولیز استر آستاگزانتین به آستاگزانتین در دستگاه گوارش

آزادماهیان است. تقریباً ۹۰ درصد آستاگزانتین گوشت ماهی، به شکل آزاد وجود دارد؛ درحالی‌که در پوست بیشتر به شکل استری یافت می‌شود. آزادماهیان قادر به اکسیژنه کردن کاروتنوئیدها نیستند، اما کاروتنوئیدهای اکسیژنه شده مصرفی را بدون تغییر شکل ذخیره می‌کنند. تفاوت‌های زیاد در انباشت کاروتنوئیدها در ماهی ممکن است، ناشی از اختلاف در جذب این ترکیبات باشد. ظاهراً با حضور گروه‌های هیدروکسیل در داخل اسکلت کربنی، جذب افزایش می‌یابد، زیرا آستاگزانتین نسبت به کانتاگزانتین در غلظت‌های بسیار بیشتری در هر دو ماهی آزاد اطلس و قزل‌آلای رنگین‌کمان ذخیره می‌شود. در آزادماهیان جذب آستاگزانتین و کانتاگزانتین ۱۰ تا ۲۰ برابر کارآمدتر از لوتئین و زیگزانتین است (NRC,1993). مهم‌ترین مسیر متابولیکی، تجزیه اکسایشی زنجیره پیوندهای دوگانه از قبیل تجزیه بیولوژیکی بتا- کاروتن به ویتامین A است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸). اصولاً موجودات دریایی ازلحاظ قابلیت تبدیل کاروتنوئیدهای موجود در جیره به آستاگزانتین در ۳ دسته کلی قرار می‌گیرند:

- آن‌هایی که مانند ماهی آزاد و قزل‌آلا فقط می‌توانند از خود آستاگزانتین استفاده نمایند.
- آن‌هایی که می‌توانند بسیاری از کاروتنوئیدها را بدون تغییر در بدن خود ذخیره و زیگزانتین را نیز به آستاگزانتین تبدیل کنند.
- آن‌هایی که می‌توانند زیگزانتین و سایر رنگدانه های واسط مانند کانتاگزانتین را نیز به آستاگزانتین تبدیل نمایند (غالب سخت‌پوستان) (افشار مازندران، ۱۳۸۱).

- **جدول ۲: فهرست مواد رنگی مجاز برای آبزیان (افشار مازندران،۱۳۸۱)**

	فرمول	نام ترکیب	شماره EC
ماهی آزاد و قزل‌آلا	$C_{40}H_{52}O_2$	کانتاگزانتین	E161g
	$C_{40}H_{52}O_4$	آستاگزانتین	E161j



شکل ۲: ساختار شیمیایی برخی کاروتنوئیدهای آبزیان (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸)

اهمیت استفاده از رنگدانه های گیاهی

استفاده از ترکیبات غذایی گیاهی به‌عنوان منبع تولید رنگدانه کاربرد زیادی در صنعت تولید غذای آبزیان دارد و تحقیقات اخیر روی پتانسیل استفاده از ترکیبات طبیعی به‌عنوان جایگزین کاروتنوئیدهای مصنوعی به دلیل نگرانی از افزودنی‌های ساختگی و هزینه بالای آن‌ها در حال انجام است (غیاثوند و شاپوری، ۱۳۸۸؛ صیدگر و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به گران‌قیمت بودن کاروتنوئیدها و وجود آن‌ها در منابع گیاهی می‌توان از رنگدانه های گیاهی در جیره غذایی ماهیان استفاده کرد و میزان لقاح، بازماندگی، تولید تخم و بهبود کیفیت تخم را بالا برد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۴). با در نظر گرفتن اثرات مهم رنگدانه ها در القای رنگ در ماهی و قیمت بالای آن در بسیاری از کشورها (که حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد خوراک است) به نظر می‌رسد امکان جایگزینی آن با محصولات ارزان‌تر با کارایی مشابه، ضروری است. در مطالعاتی که توسط محققین بر روی اثرات رنگدانه ها بر رنگ پوست و شاخص‌های رشد ماهی صورت گرفت ثابت شد که این مواد گیاهی سبب افزایش رشد و رنگ ماهی می‌شوند و می‌توانند جایگزین مناسب رنگدانه های مصنوعی شوند (احمدی و زمینی، ۱۳۹۴). پرورش‌دهندگان ماهیان زینتی نیز همواره در پی یافتن روش‌هایی جهت دستیابی به رنگ درخشان پوست ماهی می‌باشند و درصدد یافتن رنگدانه های طبیعی هستند تا آن‌ها را جایگزین کاروتنوئیدهای صناعی نمایند که اثرات مخربی بر محیط‌زیست دارند (صیدگر و همکاران، ۱۳۹۴؛ پیغان و همکاران، ۱۳۹۵). بدیهی است در کشور ما ضمن وجود و فراوانی تنوع گیاهان، زمینه‌های فراوانی برای تحقیقات و بهره‌گیری از این گیاهان جهت استفاده به‌عنوان رنگدانه های طبیعی وجود دارد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

منابع گیاهی رنگدانه های طبیعی

امروزه از منابع گیاهی متنوع، رنگدانه‌های گیاهی به شکل‌های مختلف از جمله پودر، عصاره و اسانس تولید می‌شود که در ادامه به برخی از این منابع اشاره شده است:

آناتو

آناتو دانه‌ای است که از گیاه بیکسا اورلانا (*Bixa orellana*) که عمدتاً در آمریکای مرکزی و جنوبی و شرق آسیا رشد می‌کند، استخراج می‌شود. به‌طور سنتی دانه‌های آناتو به‌عنوان ادویه مصرف می‌شوند. رنگ قرمز آناتو به علت وجود چندین آپوکاروتنوئید در پوسته دانه است که از میان آن‌ها بیکسین (*Bixin*) مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. بیکسین دارای دو عامل کربوکسیل بوده که یکی از آن‌ها با متانول ترکیب شده و به‌صورت استر در آمده است. این رنگدانه به طرق مختلف استخراج می‌شود. عصاره‌های محلول در روغن با استخراج دانه‌های آناتو با روغن گیاهی داغ حاصل می‌شود که محصول حاصل مقدار کمی رنگ دارد. با معلق سازی رنگدانه رنگی حل‌نشده در روغن گیاهی یا چربی مقدار بیکسین می‌تواند تا ۵ درصد افزایش یابد. با عصاره گیری دانه‌های آناتو با آب و هیدروکسید پتاسیم، بیکسین به نوربیکسین (*Norbixin*) که رنگدانه محلول در آب است تبدیل می‌شود. نوربیکسین به‌صورت استر نبوده و دارای دو عامل کربوکسیل آزاد می‌باشد. بیکسین و نوربیکسین در حد قابل قبولی به حرارت مقاوم‌اند اما پایداری در برابر نور زمانی بهتر است که نوربیکسین به پروتئین پیوند داده شود (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بلوریان، ۱۳۹۰).

جدول ۳: خصوصیات اصلی رنگدانه های طبیعی (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷)

گروه رنگدانه	تعداد ترکیبات	نوع رنگ	منبع	حلال	پایداری
آنتوسیانین ها	۱۲۰ نوع	نارنجی، قرمز، آبی	گیاهان	آب	حساس به فلزات و pH، ناپایدار در برابر حرارت
فلاونوئیدها	۶۰ نوع		گیاهان	آب	پایدار/ نسبتاً پایدار در برابر حرارت
لوکوآنتوسیانین ها یا پروآنتوسیانیدین ها	۲۰ نوع	بی‌رنگ	گیاهان	آب	پایدار در برابر حرارت
تانن ها	۲۰ نوع	زرد-بی رنگ	گیاهان	آب	پایدار در برابر حرارت
بتا لائین ها	۷۰ نوع	زرد و قرمز	گیاهان	آب	حساس به حرارت
کینون ها	۲۰۰ نوع	زرد تا سیاه	گیاهان، باکتری‌ها و جلبک‌ها	آب	پایدار در برابر حرارت
گزانتون ها	۲۰ نوع	زرد	گیاهان	آب	پایدار در برابر حرارت
کاروتنوئیدها	۳۰۰ نوع	بی‌رنگ، زرد، قرمز	گیاه و حیوان	آب	پایدار در برابر حرارت، حساس به اکسیداسیون
کلروفیل ها	۲۵ نوع	سبز، آبی، قهوه‌ای	گیاهان	آب	حساس به حرارت
رنگدانه های دارای هم	۶ نوع	قرمز- قهوه‌ای	حیوانات	آب	حساس به حرارت
ریبوفلاوین	-	زرد متمایل به سبز	گیاهان	آب	پایدار در برابر حرارت و pH

پاپریکا

پاپریکا در غلاف‌های فلفل قرمز شیرین (*Capsicum annuum*) می‌باشد که در اسپانیا و اروپای مرکزی، ایالات‌متحده، آسیا و آفریقا یافت می‌شود. این ماده در صنایع غذایی هم برای اهداف طعم دهی و هم به‌منظور ایجاد رنگ استفاده می‌شود و رنگی که ایجاد می‌کند نارنجی- قرمز است. پاپریکا شامل چند رنگدانه کاروتنوئیدی مختلف می‌باشد که در طی رسیدن تشکیل‌شده و عامل رنگ قرمز آن هستند. مهم‌ترین رنگدانه های آن عبارت‌اند از: کاپسانتین، کاپسوربین و بتاکاروتن که حدود ۹۰ درصد رنگدانه ها را در برمی‌گیرد (بلوریان، ۱۳۹۰؛ بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷).

لوتئین

لوتئین رنگدانه گیاهی است که در عصاره گل همیشه‌بهار (*Tageteserecta*)، علف و یونجه یافت می‌شود و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان فعال در بافت‌های مختلف محسوب می‌گردد. گیاهان سبز تیره، سبزیجات نشاسته دار، پوست تخم‌مرغ و میوه‌جات منابع غذایی حاوی لوتئین می‌باشند (جدول ۴). این رنگدانه قابلیت جذب و تثبیت در عضله آزادماهیان را دارد (قبادی و خدابخش، ۱۳۹۲).

لیکوپن

این رنگدانه جزو دسته کاروتنوئیدها و از خانواده کاروتن هاست و به‌عنوان یک پیشرو در بیوسنتز در کنار بتاکاروتن وجود دارد. طیف رنگی لیکوپن با دارا بودن ۱۱ پیوند دوگانه قرمزرنگ است و یکی از کاروتنوئیدهای عمده رژیم غذایی انسان می‌باشد که بیش از ۶۵ تا ۹۵ درصد کل کاروتنوئیدهای رنگی را تشکیل می‌دهد (بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). لیکوپن به‌عنوان یک کاروتن شاخص در گوجه‌فرنگی شناخته می‌شود (جدول ۵). در برخی گونه‌های هندوانه دانه‌دار و بدون دانه، ۸۷ تا ۹۵ درصد، در ارقام مختلف انبه هندی ۵۶ تا ۶۶ درصد و در گریپ‌فروت ۲۴ تا ۵۸ درصد از کل کاروتنوئیدها را لیکوپن تشکیل می‌دهد. در میان میوه‌های گرمسیری نیز گواس های قرمز حاوی ۷۶ تا ۸۶ درصد لیکوپن از کل کاروتنوئیدها هستند. میوه گاک (*Gac*) منبع بسیار خوبی برای لیکوپن به شمار می‌رود. این میوه بومی آسیای جنوب شرقی است و به‌عنوان یک رنگ دهنده برنج شناخته و رنگ قرمز خوبی از خود نشان می‌دهد (بلوریان، ۱۳۹۰).

جدول ۴: منابع گیاهی غنی از لوتئین و ایزومرهای آن (بلوریان، ۱۳۹۰)

منبع	لوتئین کل	تمام ترانس	توزیع ایزومرهای سیس (٪)			
	(میلی‌گرم/گرم وزن تازه)		۹-سیس	۹-سیس	۱۳-سیس	۱۳-سیس
کلم بروکلی	۸۴-۸	۹۹	۰	۰	۱	۰
کلم بروکلی ماکروویو شده	۱۰۲	۹۶	۰	۰	۴	۰
کلم پیچ	۵۱۵-۱۵۰	۱۰۰-۸۷	۳-۰	۵-۰	۵-۰	۰
کلم پیچ کنسرو شده	۶۲۷	۷۸	۷	۶	۹	۰
اسفناج	۸۸۱-۴۴	۹۷	۲-۰	۱-۰	۵-۳	۰
اسفناج کنسرو شده	۴۴۳	۷۹	۹	۲	۷	۳
اسفناج آنزیم بری شده	۳۶۹	۸۵	۳	۲	۷	۳
جعفری	۱۳۸	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص

جدول ۵: منابع گیاهی غنی از لیکوپن و ایزومرهای سیس آن (بلوریان، ۱۳۹۰)

منبع	لیکوپن کل	تمام ترانس	توزیع ایزومرهای سیس (٪)				
	(میلی‌گرم/گرم وزن تازه)		۵-سیس	۹-سیس	۱۳-سیس	سایر
گوجه‌فرنگی سالاد، رقم مونیکا (*Monika*)	۷۳	۹۸	نامشخص	نامشخص	نامشخص	۲
رب گوجه‌فرنگی	۵۵۵-۵۲۰	۹۶	۴	<۱	<۱	<۱
آب گوجه‌فرنگی	۱۰۸	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص
روغن پالم قرمز	۴۵۰	۱۶	۱۹	۶	۳۰	۲۹
هندوانه رقم اوله (*Ole*)	۷۶	۹۳	نامشخص	نامشخص	نامشخص	۷
گریپ‌فروت رقم ری رابی (*Ray Ruby*)	۲۱	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص
گواوای قرمز	۵۳	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص
میوه گاک (*Gac*)	۳۴۸	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص

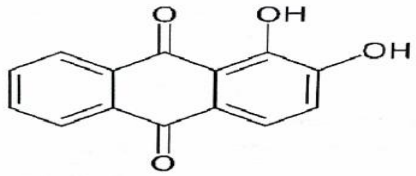
زعفران

زعفران با نام علمی *Crocus Sativus L.* از خانواده زنبقیان (*Iridacea*) می‌باشد (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲). کلاله گل زعفران حاوی مواد شیمیایی متعددی ازجمله کربوهیدرات‌ها، املاح معدنی، موسیلاژ، ویتامین‌ها (به‌ویژه ریبوفلاوین و تیامین) و رنگدانه ها شامل کروسین، آنتوسیانین، کاروتن، لیکوپن، زیگزانتین، فلاونوئیدها، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، نشاسته، صمغ می‌باشند (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). زعفران حاوی سه گروه اصلی از ترکیبات شیمیایی شامل کاروتنوئیدهای زرد روشن، یک ماده تلخ به نام پیکروکروسین (*Picrocrocin*) و ترکیبات فرار ادویه‌ای نظیر سافرانال (*Safranal*) می‌باشد (بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). اصلی‌ترین عامل ایجاد قدرت رنگی در زعفران ترکیبی بنام کروسین به فرمول شیمیایی $C_{44}H_{64}O_{24}$ می‌باشد که به آسانی در آب حل می‌شود و خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد. این حلالیت یکی از دلایل کاربرد وسیع آن به‌عنوان رنگ دهنده در مواد غذایی و دارویی نسبت به سایر کاروتنوئیدها می‌باشد (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). از هیدرولیز کروسین، گلوگز و کروستین به دست می‌آید. زعفران درواقع حاوی گلیکوزیدهای کاروتنوئیدی غیرمعمول است که پتانسیل رنگ دهی بالایی دارد. این رنگدانه زرد حاوی استرهای گلوکوزیل و جنتوبیوزیل کروستین است که یک کاروتنوئید ۲۰ کربنه است. واحدهای جنیتوبیوز در کروسین که به انتهای کربوکسیلیک متصل شده است، حلالیت آن را در آب زیاد می‌کند. جرم مولکولی کروسین ۹۹۷ واحد است و در متانول کریستاله می‌شود و رنگ قرمز شفاف ایجاد می‌کند که در دمای ۱۸۶ درجه سانتی گراد ذوب می‌شود و در حضور سولفوریک اسید رنگ آن یکباره آبی می‌شود. بر طبق نظر برخی محققان

کروسین در گیاهان از مشتقات گلیکوزیدی زئاگزانتین تولید می‌شود که به‌عنوان پروتوکروسین شناخته می‌شود (بلوریان، ۱۳۹۰). قدرت رنگی زعفران با اندازه‌گیری میزان جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر در عصاره آبی آن مشخص می‌شود که این قدرت رنگی ارتباط مستقیم با غلظت کروسین دارد (بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷). علاوه بر کروسین، زعفران حاوی آگلیکون کروستین به‌عنوان ماده آزاد و مقادیر کم رنگدانه آنتوسیانین، همچنین رنگدانه های محلول در چربی شامل لیکوپن، آلفا کاروتن، بتاکاروتن و زیگزانتین می‌باشد(زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بنائی قهفرخی، ۱۳۹۷).

ریشه روناس

ریشه روناس (*Rubia tinctorum*) حاوی گلوکوزید آنتراسیک است و ماده رنگی آن به مقدار بیشتر آلیزارین و به مقدار کمتر پورپورین می‌باشد که با توجه به ساختار شیمیایی خود تولید رنگ قرمز مایل به زرد می‌کند (شکل ۳)(زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و زمینی، ۱۳۹۴).



شکل ۳: ساختار شیمیایی ریشه روناس (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲)

چغندر قرمز

رنگدانه موجود در چغندر قرمز (*Beta vulgaris*) ناشی از بتالائین ها است که خود شامل دو گروه رنگدانه بتاسیانین ها (قرمز) و بتاگزانتین ها (زرد) می‌شوند که هردو محلول در آب می‌باشند (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و زمینی، ۱۳۹۴). این رنگ توسط گلبول‌های قرمز جذب می‌شود و توانایی حمل اکسیژن توسط خون را افزایش می‌دهد (زمان فشمی و همکاران، ۱۳۹۲). این رنگدانه به حرارت و اکسیداسیون حساس است که این امر استفاده از آن را محدود می‌کند. پایداری آن در pH برابر ۴/۵ به بالاترین حد می‌رسد؛ بنابراین رنگ چغندر قرمز برای کاربردهای قلیایی توصیه نمی‌شود (بلوریان، ۱۳۹۰).

زردچوبه

گیاه زردچوبه (*Curcuma longa*) برای اولین بار در سال ۱۸۱۰ میلادی شناسایی و ساختار آن در سال ۱۹۱۰ شناخته شد. ترکیبات شیمیایی اجزای اصلی گیاه زردچوبه شامل روغن زردچوبه، اولئورزین، کورکومینوئید و عطر زردچوبه می‌باشد. اولئورزین زردچوبه حاوی حدود ۳۷ تا ۵۷ درصد کورکومین است. کورکومین درواقع همان اولئورزین پالایش‌شده و عاری از روغن فرار است. کورکومین[بیس (۴- هیدروکسی-۳-متوکسی فنیل)-۱ و ۶- هپتا دی ان-۳ و ۵ دی ان] یک پلی فنل هیدروفوب و با فرمول شیمیایی $C_{21}H_{20}O_6$ می‌باشد. مولکول کورکومین ترکیبی از دو کروموفور آریل بوتن ۲- فریلول است که به‌وسیله یک گروه متیلن به هم متصل شده‌اند. این بخش‌های کورکومین اصطلاحاً کورکومینوئید نامیده می‌شوند که شامل کورکومین، دمتوکسی کورکومین و بیس دمتوکسی کورکومین است. کورکومین به‌دست‌آمده از زردچوبه توسط استانداردهای معتبر دنیا (WHO، FAO،EU) به‌عنوان یک رنگ خوراکی با منشأ طبیعی پذیرفته شده و دارای کد E_{100} می‌باشد. کورکومین در pH ۲/۵ تا ۷ به رنگ زرد بریلیانت و در pH> ۷ قرمزرنگ می‌باشد (بلوریان، ۱۳۹۰).

جمع‌بندی

استفاده از رنگدانه ها در جیره‌ی غذایی آبزیان باعث بهبود شاخص‌های ایمنی، عملکرد رشد، شاخص‌های ارگانولپتیک لاشه (رنگ، بو، مزه) و پذیرش بهتر گوشت آبزی تولید شده توسط مصرف‌کنندگان می‌گردد. کارایی استفاده از رنگدانه به عوامل تغذیه‌ای (نوع رنگدانه، ترکیب شیمیایی، میزان چربی جیره، نحوه‌ی استفاده و...)، نوع گونه و شرایط محیط پرورش بستگی دارد. با توجه به هزینه زیاد استفاده از رنگدانه های مصنوعی بر قیمت نهایی جیره‌ی غذایی و به‌تبع آبزی تولیدشده، لزوم توجه به منابع رنگیزه‌ای گیاهی آینده‌ی روشنی را پیش روی صنعت آبزی‌پروری ارگانیک قرار می‌دهد.

منابع

۱- رجبی، ب.، سالار زاده، ع. ر.، مسندانی، سعید.، یحیوی، م. و نیرومند، م. ۱۳۹۱. تأثیر رنگدانه آستاگزانتین بر کارایی رشد، بازماندگی و تجمع رنگدانه در پست لارو میگوی پا سفید (*Litopenaeus vannamei*). مجله علمی شیلات ایران،۲۱(۱): ۸۹-۱۰۰.

۲- ناظری، م.، یحیوی، م. و بحری، ا.ه.۱۳۹۴. مطالعه تأثیر رنگدانه آستاگزانتین روی رشد و بقا پست لارو میگوی موزی (*Fenneropenaeus merguiensis*). مجله آبزیان و شیلات، ۶(۲۲): ۵۵-۶۲.

۳- غیاثوند، ز. و شاپوری، م. ۱۳۸۸. تأثیر رنگدانه های طبیعی و مصنوعی و مقایسه اثر آن‌ها بر ماهی اسکار سفید (*Astronotus ocellatus sp.*). مجله بیولوژی دریا، ۱(۱): ۷۵-۸۳.

۴- قبادی، ش. و خدابخش، ا. ۱۳۹۲. اثر رنگدانه گیاهی لوتئین بر فاکتورهای رشد، تغذیه، بقا و رنگ‌پذیری گوشت ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*). مجله علمی پژوهشی زیست‌شناسی دریا، ۵(۱۸): ۶۱-۷۰.

۵- طالبی، م.، خارا، ح.، ذریه زهرا، ج.، قبادی، ش، و خدابنده لو، آ. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر مقادیر مختلف رنگدانه لوتئین در جیره غذایی بر رشد و فاکتورهای خونی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhyncchus mykiss*). مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده،۳(۴): ۳۹-۴۷.

۶- صیدگر، م.، حافظیه، م. و نکوئی فر، ع. ۱۳۹۴. مقایسه تأثیر تغذیه پریان میگو (*Phallocryptus spinosa*) و آرتمیا (*Artemia urmiana*) بر مقدار رنگدانه های کاروتنوئیدی پوست ماهی گلدفیش (*Carassius auratus*). مجله علمی شیلات ایران، ۲۴(۱): ۱۳-۲۵.

۷- مقدس، ف.، قبادی، ش. و حسینی فرد، س. م. ۱۳۹۴. بررسی اثر پودر شاتوت (*Moras nigra*) بر شاخص‌های هماتولوژیک و بیوشیمیایی خون و بافت‌شناسی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhyncchus mykiss*). دو فصلنامه علوم تکثیر و آبزی‌پروری، ۳(۷): ۸۳-۹۸.

۸- احمدی، م.، زمینی، ع.ع. ۱۳۹۴. تأثیر رنگدانه طبیعی چغندر قرمز (*Beta vulgaris*) و روناس (*Rubia tinctorum*) بر رنگ‌پذیری پوست و شاخص‌های رشد ماهی آنجل سفید (*Pterophyllum scalare*). مجله علمی- پژوهشی زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۴(۳): ۵۳-۶۰.

۹- طولابی دزفولی، ز.، مصباح، م.، پیغان، ر.، فضل آرا، ع. و زارعی، م. ۱۳۹۵. تأثیر مصرف خوراکی عصاره الکی جلبک *Laurencia snyderia* و *Sargassum angustifolium* بر میزان رشد، بازماندگی و رنگدانه های پوست ماهی ماکرو (*Labidochromis caerulrus*) . مجله دامپزشکی ایران، ۱۲(۱): ۴۳-۵۲.

۱۰- علی تبار، ع.ا.، حسینی فرد، س. م. و قبادی، ش. ۱۳۹۵. مقایسه اثر رنگدانه های آستاگزانتین و لبو (*Beta vulgaris conditiva*) بر فاکتورهای سرمی خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhyncchus mykiss*). فصلنامه علوم تکثیر و آبزی‌پروری، ۴(۱۱): ۴۳-۵۰.

۱۱- سجادی، م.م. ۱۳۹۶. جیره نویسی کاربردی غذای آبزیان (استفاده از نرم‌افزارهای *Excel*، *Solver Excel* و*Lingo* در جیره نویسی). انتشارات دانشگاه گیلان. رشت. ایران.۲۸۷ ص.

۱۲- زمان فشمی، م.، پوریان، ط. و فرشی باانصاف، م. ۱۳۹۲. معرفی و شناخت شیمی رنگدانه‌های مواد غذائی. انتشارات آرشا قلم. تهران. ایران. ۱۸۴ ص.

۱۳- افشار مازندران، ن. ۱۳۸۱. راهنمای عملی تغذیه و نهاده‌های غذایی و دارویی آبزیان در ایران. انتشارات نوربخش. تهران. ایران.۲۱۶ ص.

۱۴- بلوریان، ش.، حسینی، ف.، رحیمی زاده، م.، فضلی بزاز، ب.ب.ص.، کریمی، م. و نجف نجفی، م. ۱۳۹۰. رنگ‌های خوراکی طبیعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد. ایران.۲۲۴ ص.

۱۵- بنائی قهفرخی، ب.، صادقی، م.، فدایی، ع.ا.، جاهد خانیکی، غ.ر.، فرهادی، م.، فرساد، ژ. و کوهی فایق، ش. ۱۳۹۷. رنگ‌های خوراکی طبیعی مورد مصرف در مواد غذایی. انتشارات آوای قلم. تهران. ایران. ۱۲۰ ص.

۱۶- گالیوم، ج.، کاشیک، س.، برگات. پ. و متیلر. ر. ۱۳۸۸. تغذیه و غذادهی ماهی و سخت‌پوستان، ترجمه: علیزاده، م.، بمانی،الف و حافظی نژاد،ز. انتشارات علمی آبزیان. تهران. ایران.۵۱۰ ص.

۱۷- فلاحتکار، ب. تغذیه و جیره نویسی آبزیان.۱۳۹۴. انتشارات موسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی. تهران. ایران.۳۳۴ ص.

18-National Research Council (NRC). 1993. Nutrient Requirements of fish. National Academy Press. Washington DC. 114 p.

19-Food and Agriculture Organizalation of the United Nation (FAO). 2018. Fishery and aquaculture statistics 2016. FAO yearbook. Rome. 108pp.