Food Hygiene, Vol. 12, No. 46, Summer 2022

"Research article" **DOI:10.30495/JFH.2022.1964791.1366**

Effect of astaxanthin and garlic essential oil in the diet of rainbow trout and evaluation of biometric indicators, antioxidant and organoleptic properties of the meat

Mortazavi Tabrizi, S.A.[1], Javadi, A.[2*], Anarjan, N.[3], Mortazavi Tabrizi, S.J.[4], Mirzaie, H.[5]

1. Ph.D. student, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary, Tabriz Medical Science, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary, Tabriz Medical Science, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3. Assistant professor, Department of Chemical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
4. Assistant professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary, Tabriz Medical Science, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
5. Associate Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary, Tabriz Medical Science, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

[*]Corresponding Author: Javadi@iaut.ac.ir
(Received: 2022/8/4 Accepted: 2022/11/9)

Abstract

The use of natural preservatives to improve the quality of food products has been greatly expanded. This study aimed to evaluate the effects of additive garlic essence and astaxanthin in macrostructural and nanostructural forms in rainbow trout's feed on preservative and sensory properties of meat and biometric measures. Garlic essential oil was produced by the Clevenger apparatus and nanostructural forms were prepared by emulsifier and by mixing organic and aqueous phases. Seven hundred fish were randomly divided into seven groups in separate pools with a control group. Six treatments were considered as follows: macrostructural garlic essence (T1), macrostructural astaxanthin (T2), nanostructural garlic essence (T3), nanostructural astaxanthin (T4), garlic essence with astaxanthin in macrostructural (T5) and nanostructural (T6) forms in the diet. After 40 days, meat samples were evaluated for antioxidant and sensory properties. Biometric measurements were performed during the farming. Results showed a notable reduction of peroxide and thiobarbituric acid values and positive effects on the smell, flavor, and color of the treated groups' meat compared to the control group ($p<0.05$). The meat texture was adversely affected in T1 ($p<0.05$); However, other treatments showed no effects on meat texture ($p>0.05$). The mortality rate was lower in the treated groups and the lowest FCRs (Feed Conversion Ratio) were observed in T3 and T4 groups. In general, it was discovered that garlic essence and astaxanthin in the diets improved the antioxidant and sensory properties of meat and the biometric properties of rainbow trout.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: antioxidant, astaxanthin, feed conversion ratio, garlic essential oil, sensory properties

«مقاله پژوهشی» DOI:10.30495/JFH.2022.1964791.1366

مطالعه اثر آستاگزانتین و اسانس سیر در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان و بررسی شاخص‌های بیومتریک، خواص آنتی‌اکسیدانی و ارگانولپتیکی گوشت ماهی

سیدعلیرضا مرتضوی تبریزی[۱]، افشین جوادی[۲*]، نویده انرجان[۳]، سیدجاوید مرتضوی تبریزی[۴]، حمید میرزایی[۵]

۱. دانش‌آموخته گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲. استاد گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۴. استادیار گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۵. دانشیار گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
*نویسنده مسئول مکاتبات: javadi@iaut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۱۳ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۸/۱۸)

چکیده

استفاده از نگهدارنده‌های طبیعی برای بهبود کیفیت محصولات غذایی گسترش زیادی یافته است. هدف مطالعه تعیین اثر افزودن اسانس سیر و آستاگزانتین به فرم ماکروساختار و نانوساختار در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان روی خواص نگهدارندگی و ارگانولپتیکی گوشت و تغییرات بیومتریک بود. اسانس سیر با دستگاه کلونجر و فرم‌های نانوساختار توسط امولسیفایر و طی اختلاط فازهای آلی و آبی ایجاد شدند. هفتصد قطعه ماهی در هفت گروه شاهد و شش گروه تیمار (اسانس سیر ماکروساختار (T1) و نانوساختار (T3)، آستاگزانتین ماکروساختار (T2) و نانوساختار (T4)، اسانس سیر همراه با آستاگزانتین به فرم ماکروساختار (T5) و نانوساختار (T6) در جیره) در استخرهای جداگانه نگهداری شدند. بعد از ۴۰ روز، نمونه‌های گوشت برای تعیین خواص آنتی‌اکسیدانی و ارگانولپتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشانگر کاهش معنی‌دار عدد پراکسید و شاخص تیوباربیتوریک اسید و تأثیرات مطلوبی در رایحه، طعم و رنگ گوشت‌های گروه‌های تیمار در مقایسه با گروه شاهد بود ($p<۰/۰۵$). تغییرات مجموع ازت‌های فرار و pH گوشت در روزهای مختلف آزمایش و در تیمارهای مختلف روند ثابت و مشخصی نشان نداد. بافت گوشت در T1 دچار تغییرات نامطلوب شد ($p<۰/۰۵$)؛ در حالی‌که تیمارهای دیگر روی بافت گوشت تاثیر چندانی نداشتند ($p>۰/۰۵$). تعداد تلفات در دوره پرورش در گروه‌های تیمار کمتر از گروه شاهد بوده و کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی در T3 و T4 مشاهده گردید. در مجموع می‌توان گفت اسانس سیر و آستاگزانتین در جیره ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان خواص آنتی‌اکسیدانی و ارگانولپتیکی گوشت را بهبود بخشیده و موجب بهبود خواص بیومتریک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسانس سیر، آستاگزانتین، آنتی‌اکسیدان، خواص ارگانولپتیکی، ضریب تبدیل غذایی

مقدمه

قزل‌آلای رنگین‌کمان از خانواده‌ی آزادماهیان و جنس Oncorhynchus یا قزل‌آلاها می‌باشد. این ماهی از ماهیان سردآبی بوده و تا طول ۴۰ سانتی‌متر و وزنی نزدیک به ۱/۳ کیلوگرم رشد می‌کند. رنگ و خواص شیمیایی گوشت این ماهیان متاثر از مواد موجود در آب یا جیره‌ی غذایی از جمله رنگدانه‌های کاروتنوئیدی می‌باشد. کاروتنوئیدها رنگ‌دانه‌های محلول در چربی هستند که رنگ آنها بین زرد تا قرمز متغییر است. رنگ کاروتنوئید به واسطه کروموفور که از حداقل هفت پیوند دوگانه تشکیل شده ایجاد می‌شود. این ترکیبات در تمام رده‌های گیاهی و جانوری گسترش یافته و تاکنون نزدیک به ۶۰۰ نوع کاروتنوئید طبیعی شناسایی شده است. این مواد در مفهوم کلاسیک در دسته مواد مغذی قرار نمی‌گیرند، اما جزو موادی هستند که حیوانات قادر به ساخت آن نمی‌باشند. کاروتنوئیدها به راحتی تخریب شده و در دماهای بالا یا افزایش شدت نور بی‌رنگ می‌شوند (Meléndez-Martínez *et al.*, 2020). کاروتنوئید موجود در بدن ماهیان و سخت پوستان در طبیعت توسط طعمه‌های طبیعی تأمین می‌شوند؛ این در حالیست که در آبزی‌پروری متراکم تامین این مواد از طریق جیره غذایی صورت می‌گیرد. متداول‌ترین انواع کاروتنوئیدها بین آزادماهیان شامل بتاکاروتن، کانتاگزانتین و آستاگزانتین می‌باشد. اشکال آزاد آستاگزانتین و کانتاگزانتین که به‌صورت صنعتی ساخته می‌شوند، در حال حاضر در آبزی‌پروری متراکم مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu *et al.*, 2017). این رنگ‌دانه‌ها نقش مهمی را در محافظت سلول‌ها در برابر اثرات مخرب نور مرئی بر عهده دارند؛ اگرچه عملکرد دقیق کاروتنوئیدها در ماهیان هنوز به خوبی شناخته نشده است. همچنین، کاروتنوئیدها در گیاهان، جلبک ها، باکتری‌ها و گونه‌های بیشماری از حیوانات و انسان به‌عنوان عامل محافظت کننده‌ی بالقوه‌ای در برابر تخریب سلولی ناشی از قرار گرفتن در معرض نور با شدت بالا شناخته شده اند (Balić and Mokos, 2019). آستاگزانتین از دسته کاروتنوئیدها بوده و در ساخت غذای ماهیان پرورشی نظیر قزل‌آلا و ماهیان زینتی، جهت خوش‌رنگی پوست و گوشت استفاده می‌شود. در صورت عدم وجود آستاگزانتین در جیره غذایی ماهیانی چون سالمون و قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی، گوشت این ماهیان به رنگ سفید و شیری دیده خواهد شد. در نتیجه از دید مصرف‌کنندگان، ماهی موردنظر نامناسب بوده و بازارپسندی آن کاهش می‌یابد (Additives *et al.*, 2022). آستاگزانتین موجود در جلبک سبز *Haematococcus pluvialis* در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان منبع مناسبی از کاروتنوئیدها شناخته شده است (Ota *et al.*, 2018). آستاگزانتین به علت فعالیت هیدروفیلیک بالا، میزان تماس بالایی با هیدروپروکساید داشته و لذا تأثیر مناسبی در حفظ ساختار لیپیدها در برابر اکسیداسیون در گوشت و فرآورده‌های آبزیان و در نتیجه حفظ خواص ارگانولپتیکی مطلوب دارد. آستاگزانتین در سرکوب اکسیژن یگانه نیز موثر هستند (Hosseindoust *et al.*, 2020).

منابع فراوانی از رنگ‌دانه‌های دیگر در طبیعت وجود دارند که شامل مواد خام به ویژه مخمرها (Vargas-Sinisterra and Ramírez-Castrillón, 2021)، جلبک‌ها (Gupta *et al.*, 2021)، محصولات جانبی

صنایع غذایی (ضایعات خرچنگ و میگو) (Adrian *et al.*, 2021) و ترکیباتی چون آرد میگو می‌باشند (Nirmal *et al.*, 2020). مزیت مواد خام و ضایعات صنایع غذایی در دسترس بودن و قیمت نسبتاً ارزان آن‌هاست. در نقطه مقابل، سنتز شیمیایی کانتاگزانتین و آستاگزانتین بدون استفاده از مواد خام غنی از کاروتنوئیدها صورت گرفته و استفاده از این رنگ‌دانه‌های مصنوعی هزینه تأمین جیره غذایی ماهیان پرورشی را به میزان چشمگیری افزایش خواهد داد (AbdelsameeGoda *et al.*, 2018).

پایداری کاروتنوئیدهای موجود در غذای ماهی ناچیز و کمتر از حد نیاز می‌باشد. لذا، در نظر گرفتن احتیاط لازم در برابر اکسیداسیون این ترکیبات که موجب تخریب آن‌ها می‌شود ضروری است. به همین منظور، حفاظت از رنگ‌دانه‌های مصنوعی از طریق پوشش‌دار کردن آنها توسط ژلاتین و یا از طریق انتشار ذرات آن‌ها در نوعی ماده کربوهیدراتی توصیه می‌شود. همچنین نگهداری غذای تولیدی تحت شرایط جوی خنثی بلافاصله پس از ساخت، خطر اکسیداسیون را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد. افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها نیز موجب افزایش پایداری کاروتنوئیدها در برابر اکسیداسیون خواهد شد (Micha *et al.*, 2021).

امروزه افزودنی‌های گیاهی در جیره ماهیان پرورشی به دلیل منشا طبیعی و مشتری پسندی بیشتر، مورد توجه ویژه قرار گرفته است. گیاه دارویی سیر با نام علمی *Allium sativum L.* گیاهی علفی و دوساله از خانواده‌ی Alliaceae می‌باشد. فرآورده‌های مختلفی از سیر از دیرباز به‌عنوان نگهدارنده‌ی طبیعی با خواص ضدمیکروبی و اثرات مطلوب ارگانولپتیکی مورد استفاده قرار گرفته است (Petropoulos *et al.*, 2018). مهم‌ترین جزء مؤثر سیر ترکیب آلی سولفورداری به نام آلیسین (Allicin) می‌باشد که از مواد اصلی تشکیل دهنده اسانس سیر بوده و از عوامل ایجاد کننده‌ی رایحه و طعم ویژه سیر می‌باشد. احتمالاً اثرات آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌ترومبوتیک سیر نیز به واسطه این ترکیب بروز می‌کند (Reiter *et al.*, 2017). سیر و فرآورده‌های آن همچنین به‌عنوان نگهدارنده در مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان داده شده‌است که باعث جلوگیری از رشد طیف وسیعی از پاتوژن‌ها و میکروارگانسیم های عامل فساد شامل باکتری‌ها، کپک‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها می‌شود. بدین ترتیب مواد ذکر شده به‌عنوان جایگزین مناسبی برای انواع داروها و آنتی‌بیوتیک‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند (Strika *et al.*, 2017).

هدف از این مطالعه بررسی اثرات افزودن اسانس روغنی سیر و آستاگزانتین به حالت ماکروساختار و نیز نانوساختار در جیره‌ی غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر روی شاخص‌های شیمیایی گوشت شامل عدد پراکسید (PV)، مجموع ازت‌های فرار (TVN)، تیوباربیتوریک اسید (TBA)، pH و خواص ارگانولپتیکی گوشت ماهی از نظر رنگ، رایحه، طعم و بافت و نیز خواص بیومتریک شامل میزان غذای مصرفی، میزان افزایش وزن، میزان تلفات و ضریب تبدیل غذایی (FCR) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

– تهیه اسانس روغنی سیر

حبه‌های سیر بعد از پوست کنی شسته و آب‌کشی شدند و سپس به قطعات ریز (۳ × ۳ × ۳ میلی‌متر)

برش داده شده و به‌روش تقطیر آبی بـه وسـیله دسـتگاه کلونجر شیشه‌ای به‌مدت سه ساعت اسانس روغنی سـیر تهیه شـد (Tabrizi *et al*., 2021). سـپس روغـن سـیر شـفاف و زرد رنـگ جمـع‌آوری، داخـل ویـال‌هـا و در محیط تاریک ذخیره و در دمای یخچال نگهداری شد.

-تهیه اسانس روغنی سیر و آستاگزانتین نانوساختار

اسـانس سـیر در الکـل و آسـتاگزانتین (CAROPHYLL® Pink *10%* CWS) در اسـتون بـا غلظت یک درصد وزنی جداگانه حل شـده و فـاز آلـی تشکیل شد. ترکیب Tween 20 به‌عنـوان امولسـیفایر در آب با غلظـت یـک درصـد وزنـی حـل شـده و کـاملاً هموژنیزه شده و فاز آبـی تشـکیل شـد. دو فـاز تحـت اختلاط سریع با نسبت ۱۰ به ۹۰ به همدیگر اضافه شده و فرآیند هسته‌زایی و رشد هسته‌ها تا محدوده نـانومتری انجـام گرفـت. در نهایـت اسـانس روغنـی سـیر و آستاگزانتین نانوساختار مطابق روش محققـین (Tabrizi *et al*., 2021) تهیه گردید. لازم به ذکر است کـه مطـابق ایـن تحقیـق، انـدازه‌گیـری ابعـاد نـانوذرات بـه‌روش پراکندگی نور دینامیکی بوده و ذراتی بـا ابعـاد ۷۱/۶ تـا ۴۲۷/۷ نانومتر به‌دست آمد (Tabrizi *et al*., 2021).

- تهیه اسانس روغنـی سـیر و آسـتاگزانتین نانوسـاختار کامپوزیتی

هشت گرم ساپونین به ml ۹۰ آب مقطر افزوده شـده و به‌مدت ۱۵ دقیقه و با دور ۳۰۰ دور در دقیقه مخلـوط شد. سپس دو میلی‌لیتر از مخلوط حاصـل بـه فـاز آبـی اضافه شده و نمونـه هـا در بطـری‌هـای شیشـه‌ای ۱۰۰ میلـی‌لیتـری ریختـه شـده و در کـوره بـا دمـای ۱۲۰ درجه‌سلسیوس و فشار ۱/۵ بار حرارت دید. جهت تهیه فرم نانوساختار بـه‌روش میکروامولسیفیکاسـیون، مقـدار ۴/۱۵ گرم آستاگزانتین به ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شده و در ۴۰ درجـه سلسـیوس و ۱۰۰۰ دور در دقیقـه به‌مدت ۱۰ دقیقه توسط همزن مخلوط شد به طوری که گرانول‌های آستاگزانتین در آب کاملاً حل شدند. سـپس مقـدار ۸/۲۷ میلـی‌لیتـر از نانوامولسـیون O/W سـیر بـه محلول حاصل اضافه گردید و از هم زدن به‌مـدت پـنج دقیقه دیگر در شرایط ذکر شـده جهـت مخلـوط کـردن استفاده شـد. نانوامولسـیون آمـاده شـده مطـابق تحقیـق پژوهشگران (Tabrizi *et al*., 2021) و بـا ابعـاد ۷۵/۹۴ نانومتر بوده که در بطری‌های دربسته برای بررسـی‌هـای بیشـتر نگهـداری شـد (Jafarizadeh-Malmiri *et al*., 2019, Tabrizi *et al*., 2021).

- گروه‌های تحت مطالعه

در طی این تحقیق یک گروه شاهد (C) و شش گروه تیمـار هـر یـک بـه تعـداد ۱۰۰ قطعـه مـاهی قـزل‌آلای رنگین‌کمان با وزن متوسط ۵ ±۱۵۰ گـرم (در کـل ۷۰۰ قطعه ماهی) مورد آزمایش قـرار گرفـت. در تیمـار یـک (T1) مقـدار ۱۰۰ میلـی‌لیتـر اسـانس روغنـی سـیر ماکروساختار، در تیمار دو (T2) مقـدار ۱۰۰ میلـی‌گـرم آستاگزانتین ماکروساختار، در تیمار سه (T3) مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر اسانس روغنی سیر نانوساختار، در تیمار چهـار (T4) مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم آسـتاگزانتین نانوسـاختار، در تیمار پنج (T5) مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم آستاگزانتین-اسانس روغنی سیر ماکروساختار و در تیمار شـش (T6) مقـدار ۱۰۰ میلـی‌گـرم آسـتاگزانتین-اسـانس روغنـی سـیر نانوساختار در هر کیلوگرم غذای ماهیـان مـورد اسـتفاده قرار گرفت. شرایط نگهداری ماهیـان از نظـر دمـای آب (۶ تا ۲۰ درجه سلسـیوس)، میـزان آب ورودی، انـدازه استخرها، و نوع غذای مصرفی در هر استخر به‌صـورت

یکسان بود. طول مدت آزمایش ۴۰ روز بوده و در انتهای آزمایش تعداد شش قطعه ماهی از هر گروه (جمعاً به تعداد ۴۲ قطعه) در مجاورت با یخ به آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انتقال داده شده و در یخچال و در دمای پنج درجه سلسیوس نگهداری شد. ارزیابی شیمیایی نمونه‌ها در روزهای یک، پنج، ده، ۱۵ و ۲۰ام بعد از اتمام دوره‌ی پرورش ۴۰ روزه صورت گرفت.

- ارزیابی شیمیایی

PV: پراکسید به‌روش تیتراسیون پس از استخراج روغن گوشت ماهی و به کارگیری محلول اسید استیک کلروفرمی (نسبت کلروفرم به اسید استیک ۹:۳) و محلول یدور پتاسیم اشباع و نهایتاً افزودن محلول نشاسته یک درصد به مجموعه و محاسبه مقدار ید آزاد شده با محلول تیوسولفات سدیم ۹/۹۵ نرمال، تیتر و محاسبه شد (Hedayati Fard, 2016).

TVN: محاسبه‌ی مجموع بازهای نیتروژنی فرار (TVN) مطابق روش گولاس و کونتومیناس در سال ۲۰۰۷ انجام گرفت (Goulas and Kontominas, 2007).

pH: برای محاسبه pH نمونه‌های گوشت مقدار ۲۰ گرم نمونه گوشت ماهی از هر تیمار در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر مخلوط شده و پس از ۱۰ دقیقه صاف شد. بعد از گذشت پنج تا ده دقیقه در حرارت معمول آزمایشگاه و ست نمودن دستگاه pH متر مقدار pH با قرار دادن سر الکترود دستگاه pH متر در مایع صاف شده اندازه‌گیری شد (Shange et al., 2019).

TBA: جهت محاسبه میزان تیوباربیتوریک اسید (TBA) مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه چرخ شده ماهی به یک بالن ۲۵ میلی‌لیتری انتقال یافته و سپس با ۱-بوتانل به حجم رسانده شد. مقدار پنج میلی‌لیتر از محلول فوق به لوله‌های خشک درب‌دار وارد شده و به آن پنج میلی‌لیتر از معرف TBA افزوده شد. لوله‌های درب‌دار در حمام آب با دمای ۹۵ درجه‌سلسیوس به‌مدت دو ساعت قرار گرفته و پس از آن در دمای محیط سرد شد. سپس مقدار جذب (As) در ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد آب مقطر (Ab) خوانده شد (Paparella et al., 2016). مقدار TBA (میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید (Malondialdehyde) در کیلوگرم بافت ماهی) براساس رابطه زیر محاسبه گردید:

(فرمول ۱) $TBA=(As-Ab)\times 200/50$

- ارزیابی ارگانولپتیکی

ارزیابی ارگانولپتیکی گوشت توسط یک گروه ۲۰ نفری از افراد آموزش دیده و در روز اول نگهداری نمونه‌ها در یخچال انجام شد. برای انجام این ارزیابی، فیله‌های تازه ماهی بعد از پخت در دستگاه توستر در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به‌صورت کدگذاری شده در اختیار اعضای گروه ارزیاب قرار داده شد. ارزیاب‌ها نظرات خود را در خصوص شاخص‌های رنگ، بو، طعم و بافت هر قطعه گوشت در قالب پرسشنامه و به‌روش هدونیک پنج نقطه‌ای (عدد یک به منزله بسیار ضعیف و عدد پنج به منزله بسیار خوب) ثبت کردند.

- ارزیابی بیومتریک

میزان غذای مصرفی روزانه در طی دوره پرورش ثبت و میانگین میزان غذای مصرفی و میزان افزایش وزن ماهیان نسبت به وزن اولیه بر حسب گرم در هر

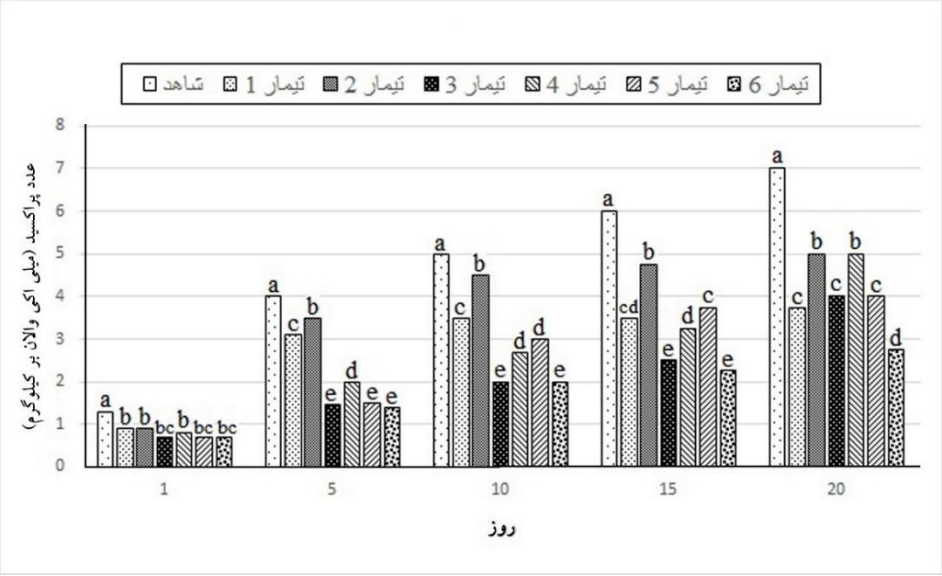
گروه در مرحله صید ماهیان محاسبه شد. ضریب تبدیل غذایی از تقسیم میزان کل غذای مصرفی بر میزان افزایش وزن در هر گروه به‌دست آمد.

- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۸ و با آنالیز واریانس یک‌طرفه و تست تعقیبی توکی تجزیه و تحلیل آماری شدند. اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین گروه‌ها با حروف غیرمشترک بین دو عامل مشخص شد.

یافته‌ها

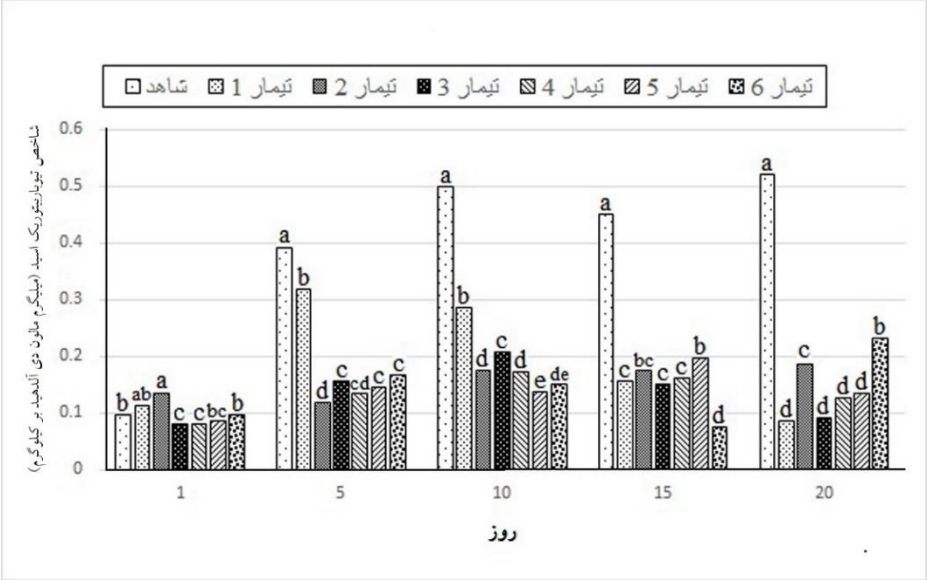
نتایج این مطالعه حاکی از اثر کاهندگی تیمارها در بازه‌های زمانی مختلف بر روی عدد پراکسید به‌طور معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) می‌باشد (نمودار ۱). به‌طور کلی، با افزایش مدت زمان نگهداری نمونه‌ها میزان عدد پراکسید در هر یک از گروه‌ها افزایش یافته است. بیشترین میزان عدد پراکسید مربوط به گروه کنترل و روز ۲۰ام می‌باشد. مطابق نمودار (۱)، مابین روزهای ۵ام تا ۱۵ام گروه تیمار شده با اسانس نانوساختار سیر و نیز گروه تیمار شده با نانوکامپوزیت اسانس سیر و آستاگزانیتن بیشترین اثر کاهشی را در عدد پراکسید نشان داده‌اند. در روز نهایی آزمایش (روز ۲۰ام)، نمونه‌های تیمار شده با نانوکامپوزیت اسانس سیر و آستاگزانیتن کمترین عدد پراکسید را نشان دادند.



نمودار ۱)- مقایسه عدد پراکسید گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طی نگهداری در یخچال؛
a,b,c,d: در هرکدام از روزهای مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار می‌باشد ($p<۰/۰۵$).

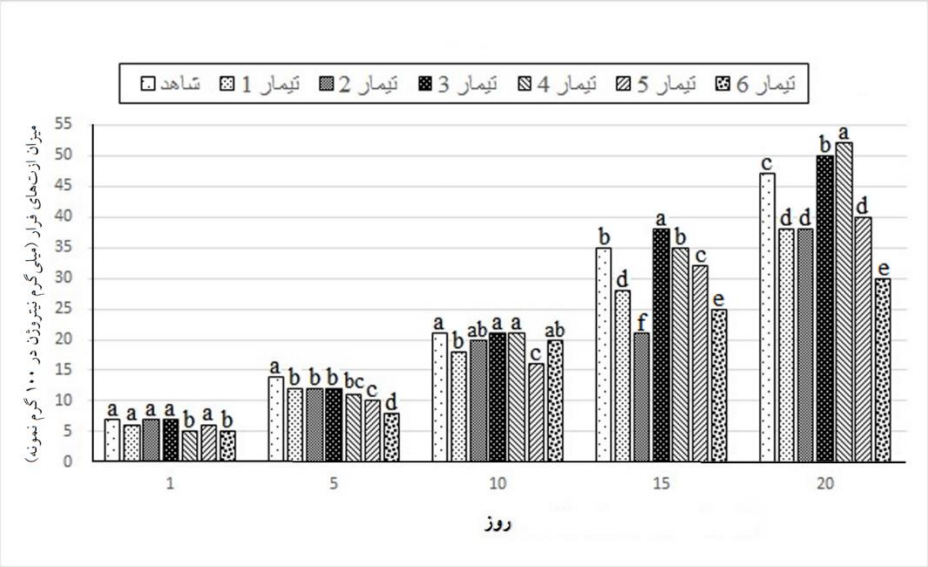
نتایج بررسی شاخص تیوباربیتوریک اسید در اثر تیمار کردن نشان دهنده کاهش بسیار معنی‌دار از روز پنجم و بعد آن می‌باشد (نمودار ۲). بیشترین میزان عدد تیوباربیتوریک اسید در گروه کنترل و در روز ۲۰ام و کم‌ترین میزان آن در

روزهای ۱۵ تا ۲۰ام و در گروه‌های تیمار شده با اسانس سیر ماکروساختار و نانوساختار و نانوکامپوزیت اسانس سیر و آستاگزانتین دیده شد.



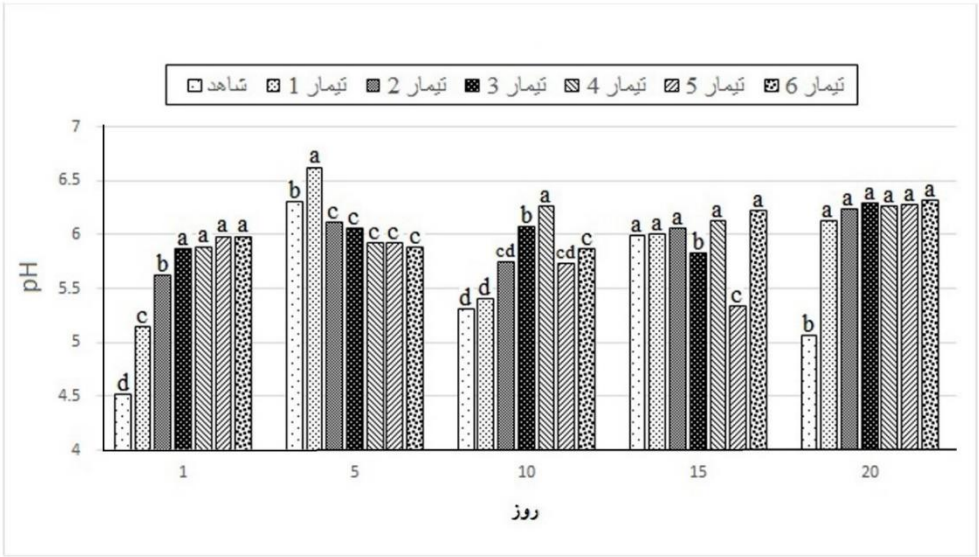
نمودار۲)- مقایسه میزان تیوباربیتوریک اسید گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طی نگهداری در یخچال؛
a,b,c,d: در هرکدام از روزهای مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار می‌باشد (p<۰/۰۵).

روند تغییرات میزان ازت‌های فرار نامنظم بود و در روزهای مختلف اثرات متفاوتی از تیمارها دیده شد (نمودار ۳). نمونه‌های گروه کنترل عموماً در روزهای اول تا دهم میزان ازت‌های فرار بیشتری نسبت به گروه‌های تیمار داشتند؛ این در حالی است که در روزهای ۱۵ام تا ۲۰ ام، گروه‌های تیمار شده با اسانس سیر نانوساختار و نیز آستاگزانتین نانوساختار بیشترین میزان ازت‌های فرار را نشان دادند.



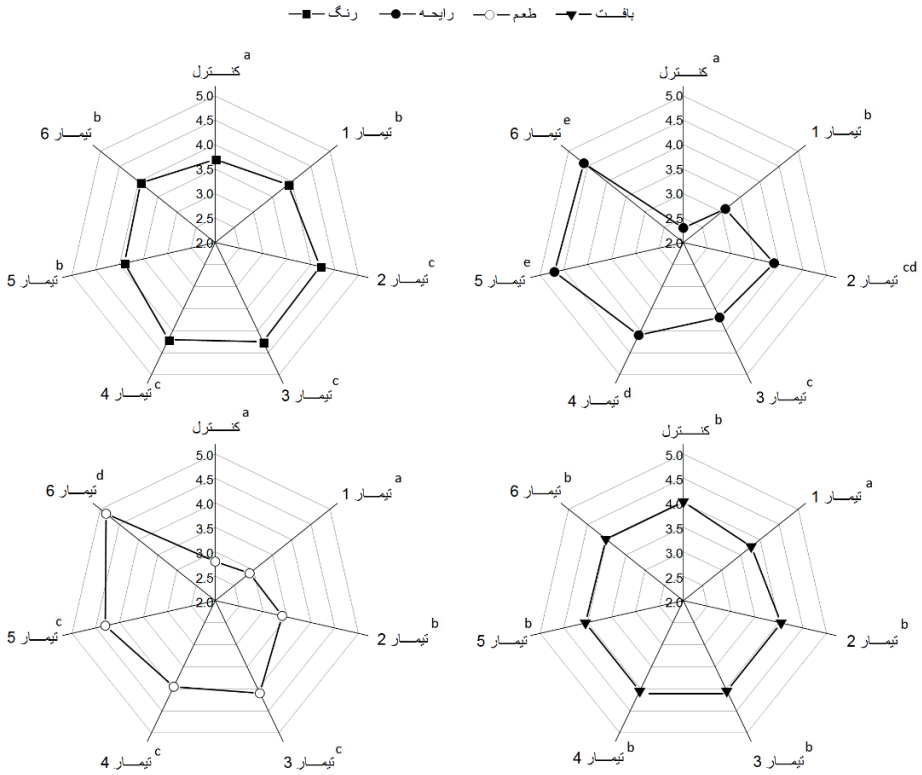
نمودار ۳)- مقایسه مجموع ازت‌های فرار گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طی نگهداری در یخچال؛
a,b,c,d,e,f: در هر یک از روزهای مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

تغییرات میزان pH نیز در گروه‌های مورد مطالعه نامنظم بوده و در روزهای متفاوت روند کاهشی و گاه افزایشی دیده می‌شود (نمودار ۴). بیشترین pH مربوط به گروه تیمار شده با اسانس سیر ماکروساختار بوده و برابر با ۶/۶ می‌باشد. نمونه‌های گروه کنترل عموما pH کمتری نسبت به گروه‌های تیمار داشتند.



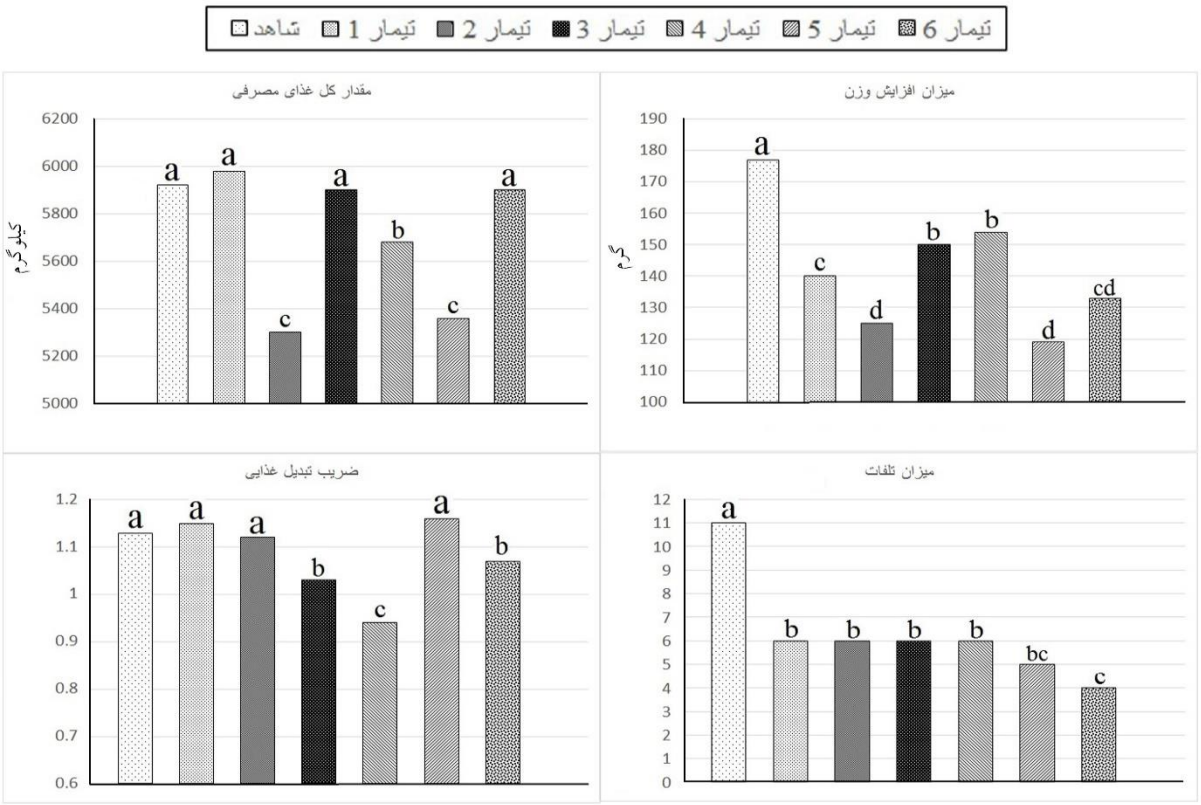
نمودار ۵)- مقایسه pH گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طی نگهداری در یخچال؛
a,b,c,d: در هرکدام از روزهای مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار می‌باشد (p<۰/۰۵).

نتایج ارزیابی‌های ارگانولپتیکی گوشت ماهی در نمودار (۵) نشان دهنده تفاوت معنی‌دار قابل‌توجه و مطلوبی در رایحه، طعم و رنگ گوشت‌های گروه‌های تیمار در مقایسه با گروه شاهد می‌باشد (p<۰/۰۵). تیمارهای پنج و شش بیشترین تغییرات مطلوب را در طعم و رایحه ایجاد کردند. در آزمایش ارگانولپتیکی از نظر رنگ، تیمارهای دو، سه و چهارم بهتر تشخیص داده شدند. نتایج بررسی بافت گوشت‌ها حاکی از تاثیر نامطلوب تیمار یک می‌باشد (p<۰/۰۵)؛ این در حالیست که تیمارهای دیگر بر روی بافت گوشت تاثیر قابل توجهی نداشتند (p<۰/۰۵).



نمودار ۵)- مقایسه ویژگی‌های ارگانولپتیکی گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طی نگهداری در یخچال؛ a,b,c,d,e: در هرکدام از ویژگی‌های مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار می‌باشد (p<۰/۰۵).

کمترین میزان غذای مصرفی در تیمارهـای دو و پـنج و بیشترین میزان افزایش وزن در گروه شاهد دیـده شـد (نمودار ۶). همچنین کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی نسبت به گروه شاهد به ترتیب در تیمار چهار، سپس در تیمـار سـه و سـپس در تیمـار شـش مشـاهده گردیـد (p<۰/۰۵). در گروه شاهد بیشترین میـزان تلفـات و در تیمار شش کمترین تلفات مشاهده گردید.



نمودار ۶)- مقایسه ویژگی‌های بیومتریک در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد مطالعه؛
a,b,c,d: در هرکدام از ویژگی‌های مورد آزمایش تفاوت بین گروه‌های فاقد حروف مشترک معنی‌دار می‌باشد (p<۰/۰۵).

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه در صنعت آبزی‌پروری سعی شده است تا آستاگزانتین به‌صورت اختصاصی با منشاء طبیعی و سنتتیک جهت مصرف در تغذیه آبزیان پرورشی از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان در سطح گسترده تولید و عرضه شود. آبزیانی نظیر قزل‌آلای رنگین‌کمان و برخی سخت‌پوستان برای فعالیت‌های گوناگون بدنی از جمله فعالیت پرووویتامین A، اثرات ضداکسیدانی، به‌عنوان پیش‌ساز برای ساخت برخی هورمون‌ها در پاسخ‌های ایمنی، رشد، بلوغ و تولیدمثل نیاز به رنگدانه‌های کاروتنوئیدی به خصوص آستاگزانتین دارند. این رنگدانه‌ها همچنین جهت خوش‌رنگی پوست و گوشت و افزایش رشد و بقای این دسته از آبزیان در آبزی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Meléndez-Martínez *et al.*, 2020). آستاگزانتینی که غالباً توسط موجودات دریایی در طبیعت مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع استری می‌باشد که کاملا شبیه به مولکول آستاگزانتینی می‌باشد که در جلبک *H.pluvialis* یافت می‌شود. بنابراین از این جلبک به‌عنوان غنی‌ترین منبع آستاگزانتین برای تولید تجاری این رنگدانه به‌صورت طبیعی استفاده می‌شود (Ota *et al.*, 2018).

شاخص پراکسید نشانگر میزان کل هیدروپراکسیدها می‌باشد. اکسیداسیون لیپیدها و در پی آن ایجاد گروهی از مواد به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم باعث کاهش خواص کیفی و ارگانولپتیکی گوشت ماهی و فرآورده‌های آن می‌شود. همچنین فرآیند اکسیداسیون سبب ایجاد ترکیبات واسط غیرپایدار مانند هیدروپراکسیدها و رادیکال‌های آزاد شده که با ایجاد ترکیبات فرار موجب تغییر در طعم و بوی مواد غذایی می‌شوند. همچنین لیپیدهای اکسید شده به علت واکنش با پروتئین‌ها سبب تسهیل در تغییر خصوصیات بافتی می‌شوند (Huang and Ahn, 2019). خواص ضداکسیداسیونی سیر و آستاگزانتین در مطالعات پیشین مطرح شده است (Petropoulos *et al.*, 2018, Song *et al.*, 2017) که همسو با نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی عدد پراکسید در گروه‌های تیمار شده با اسانس سیر نشان دهنده‌ی کاهش آن نسبت به گروه شاهد می‌باشد. در مطالعات سایر محققان نیز کاهش در عدد پراکسید در ماهی قزل‌آلا در پی استفاده از عصاره‌های گیاهی گزارش شده است (Jorjani *et al.*, 2018).

میزان تیوباربیتوریک اسید شاخصی برای نشان دادن مقدار اکسیداسیون ثانویه‌ی چربی‌ها می‌باشد که افزایش آن نشانگر پیشرفت اکسیداسیون در مواد غذایی می‌باشد. با توجه به نتایج این مطالعه، با گذشت زمان مقادیر TBA در تمامی گروه‌ها افزایش یافت، اما تغییرات آن در تیمارها نسبت به شاهد از روز پنجم تا پایان دوره‌ی آزمایش به طور چشمگیر کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). مقدار قابل قبول برای شاخص تیوباربیتوریک اسید در گوشت ماهی تا ۲ (میلی‌گرم مالون دی آلدهید بر کیلوگرم نمونه) می‌باشد (Goulas and Kontominas, 2007) که در نمونه‌های مورد آزمایش در این مطالعه تا انتهای دوره از این میزان بالاتر نبوده که نشان دهنده کیفیت مطلوب گوشت ماهی می‌باشد؛ کمترین میزان آن در تیمار شش و روز پانزدهم نگهداری بوده است.

مقدار اولیه TVN در نمونه شاهد هفت (میلی‌گرم نیتروژن در 100 گرم نمونه) بود که بیانگر تازگی و

کیفیت بالای گوشت ماهی می‌باشد که با نتایج مطالعات پیشین تطابق دارد؛ همچنین تغییرات میزان TVN طی نگهداری نمونه‌ها روندی افزایشی داشت، به طوری که روند افزایشی آن در روزهای ابتدایی کند و از روز دهم به بعد با روند شدیدتری افزایش یافت (Ghafoori *et al*., 2018, Jouki *et al*., 2014). علت این روند افزایشی را می‌توان به روند افزایشی تولید ترکیبات ازتی فرار توسط باکتری‌های موجود در غذا در پی تکثیر این میکروارگانیسم‌ها و فساد باکتریایی نسبت داد (Goulas and Kontominas, 2007). حداکثر مقدار قابل قبول TVN در گوشت ماهی تا ۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه (Gimenez *et al*., 2002) بیان شده است که در این مطالعه از روز پانزدهم به بعد شاهد افزایش این شاخص از این بازه می‌باشیم. در واقع در روز پانزدهم، تنها گروه تیمار شده با آستاگزانتین ماکروساختار میزان TVN قابل‌قبول داشته و مابقی گروه ها عددی بالای ۲۵ نشان داد. در روز ۲۰ام هیچ یک از گروه‌ها از نظر میزان TVN مورد قبول نبوده که شاهدی بر فساد گوشت می‌باشد. کمترین میزان TVN در روز ۲۰ام مطالعه مربوط به گروه تیمار شده با نانوکامپوزیت اسانس سیر و آستاگزانیتن بوده و حدوداً برابر با ۳۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه می‌باشد.

میزان pH گوشت در تیمارهای مختلف نسبت به گروه شاهد در روز اول بیشتر، در روز پنجم عموماً کمتر و از روز پانزدهم و بعد آن تقریباً یکسان مشاهده گردید.

تحقیقات انجام گرفته پیشین بیانگر تأثیرات ارگانولپتیکی مثبت در گوشت ماهی در اثر افزودن سیر و آستاگزانتین به جیره غذایی ماهیان پرورشی می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر در خصوص خواص ارگانولپتیکی مطلوب ایجاد شده در گوشت ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در پی افزودن اسانس روغنی سیر و آستاگزانتین به‌صورت تکی و توأمان و نیز به حالت ماکروساختار و نانوساختار هم‌خوانی دارد (Aracati *et al*., 2022, Öz, 2018). به دلیل احتمال تفاوت نظر افراد ارزیابی کننده خواص ارگانولپتیکی و گوناگونی علایق و ذائقه‌ها بین افراد در این گونه مطالعات، لازم است تا داده‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه به‌صورت مبنای کلی و واحد مورد ارزیابی و تحلیل قرار نگیرند؛ لذا استفاده از روش‌های دستگاهی مانند استفاده از چشم، بینی و زبان الکترونیکی برای ارزیابی رنگ، بو و طعم نمونه‌های گوشت و نیز استفاده از دستگاه‌های پیشرفته تجزیه و تحلیل بافتی مانند Warner-Bratzler Shear Force در انجام ارزیابی خواص ارگانولپتیکی گوشت در مطالعات بعدی توصیه می‌شود.

از نقطه‌نظر نتایج ارگانولپتیکی به‌دست آمده از این مطالعه، می‌توان گفت افزودن اسانس روغنی سیر و آستاگزانتین در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان خواص ارگانولپتیکی گوشت از نقطه نظر رنگ، رایحه، طعم را بهبود بخشید؛ این در حالیست که به غیر از اثر نامطلوب تیمار کردن ماهیان با اسانس روغنی سیر به فرم ماکروساختار بر روی بافت گوشت، دیگر تیمارها تأثیر چندانی بر بافت نشان ندادند.

در مقایسه نتایج ضریب تبدیل غذایی با مطالعات دیگر، میزان ضریب‌های تبدیل غذایی به‌دست آمده در گروه‌های مختلف مورد آزمایش در این مطالعه از مقادیر ذکر شده در برخی مطالعات دیگر تفاوت‌هایی دارد؛ به‌طوری‌که ضریب تبدیل ماهیان قزل‌آلا در تیمار با

آستاگزانتین در بازه ۱/۵ الی ۱/۶ و در مطالعه‌ای دیگر در بازه ۰/۹۹ الی ۱/۰۲ گزارش شده است (White *et al*., 2003, de la Mora *et al*., 2006). اثر سیر و فرآورده‌های آن در جیره قزل‌آلا در کاهش ضریب تبدیل غذایی در مطالعه دیگر نیز گزارش شده است (Gabor *et al*., 2012). اثر افزایندگی نرخ بقا در پی تیمارهای به‌کار رفته همسو با مطالعات پیشین می‌باشد (Gabor *et al*., 2012). در مجموع می‌توان گفت اسانس سیر و آستاگزانتین در جیره ماهیان خواص ارگانولپتیکی و نگهدارندگی گوشت را بهبود بخشیده و موجب افزایش ماندگاری آن شده است و نیز اثرات قابل قبولی بر ضریب تبدیل غذایی و کاهش نرخ تلفات ماهیان دارد.

سپاسگزاری

از کارکنان آزمایشگاه کنترل کیفی و بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافعی ندارند.

منابع

- AbdelsameeGoda, A., Sallam, A.E. and Srour, T.M., (2018). Evaluation of natural and synthetic carotenoid supplementation on growth, survival, total carotenoid content, fatty acids profile and stress resistance of European seabass, Dicentrarchus labrax, Fry. Aquaculture Studies, 18(1): 27-39.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP), Azimonti, G., Bampidis, V., Bastos, M.D.L., Christensen, H., Dusemund, B., Fašmon Durjava, M., Kouba, M., López-Alonso, M., López Puente, S. and Marcon, F., (2022). Safety and efficacy of a feed additive consisting of lactic acid produced by Weizmannia coagulans (synonym Bacillus coagulans) DSM 32789 for all animal species except for fish (Jungbunzlauer SA). EFSA Journal, 20(4): e07268.
- Adrian, M.M., Paransa, D.S., Paulus, J.J., Kawung, N.J., Bara, R.A. and Kepel, R.C., (2021). Analysis Of Types Of Carotenoid Pigments In Crab Sesarmops sp From Manado By Coast. Jurnal Ilmiah PLATAX, 9(2): 204-209.
- Aracati, M.F., Rodrigues, L.F., de Oliveira, S.L., Rodrigues, R.A., Conde, G., Cavalcanti, E.N.F., Borba, H., Charlie-Silva, I., Fernandes, D.C., Eto, S.F. and de Andrade Belo, M.A., (2022). Astaxanthin improves the shelf-life of tilapia fillets stored under refrigeration. Journal of the Science of Food and Agriculture.
- Balić, A. and Mokos, M., (2019). Do we utilize our knowledge of the skin protective effects of carotenoids enough?. Antioxidants, 8(8): 259.
- de la Mora, G.I., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T. and Vernon-Carter, J.E., (2006). Comparison of red chilli (Capsicum annuum) oleoresin and astaxanthin on rainbow trout (Oncorhyncus mykiss) fillet pigmentation. Aquaculture, 258(1-4): 487-495.
- Gabor, E.F., Sara, A., Bentea, M., Creta, C. and Baciu, A., (2012). The effect of phytoadditive combination and growth performances and meat quality in rainbow trout (Oncorhychus mykiss). Journal of Animal Science and Biotechnology, 45(2): 1-5.
- Ghafoori, F., Shabani, S. and Akhondzadeh Basti, A., (2018). Study of the Antibacterial and Antioxidative Effects of Chlorella vulgaris Algae Extract on the Quality of Rainbow Trout during Storage at 4° C. Journal of Food Technology and Nutrition, 15(3): 51-64.
- Gimenez, B., Roncales, P. and Beltran, J.A., 2002. Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. Journal of the Science of Food and Agriculture, 82(10): 1154-1159.

- Goulas, A.E. and Kontominas, M.G., 2007. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (Sparus aurata): Biochemical and sensory attributes. Food chemistry, 100(1): pp.287-296.
- Gupta, A.K., Seth, K., Maheshwari, K., Baroliya, P.K., Meena, M., Kumar, A. and Vinayak, V., (2021). Biosynthesis and extraction of high-value carotenoid from algae. Frontiers in Bioscience-Landmark, 26(6): 171-190..
- Hosseindoust, A., Oh, S.M., Ko, H.S., Jeon, S.M., Ha, S.H., Jang, A., Son, J.S., Kim, G.Y., Kang, H.K. and Kim, J.S., 2020. Muscle antioxidant activity and meat quality are altered by supplementation of astaxanthin in broilers exposed to high temperature. Antioxidants, 9(11): 1032.
- Huang, X. and Ahn, D.U., (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. Food science and biotechnology, 28(5): 1275-1285.
- Jafarizadeh-Malmiri, H., Sayyar, Z., Anarjan, N. and Berenjian, A., (2019). Nanobiotechnology in Food: Concepts, Applications and Perspectives. Berlin, Germany: Springer. 81-94.
- Jorjani, S., Ghelichi, A. and Hedayatifard, M., (2018). Effect of chitosan coating enriched with rice-bran extract on the shelf-life of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) during cold storage.
- Jouki, M., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., Koocheki, A. and Khazaei, N., (2014). Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. International journal of food microbiology, 174: 88-97.
- Liu, Y., Hao, R., Xia, L. and Pan, J., (2017). Analysis methods of carotenoids in muscle and feed in salmonids. Fisheries Science (Dalian), 36(3): 274-281.
- Meléndez-Martínez, A.J., Mandić, A.I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G.I.A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M.P., Dias, M.G., Elgersma, A. and Fikselová, M., (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(8): 1999-2049.
- Micha, M., Roberty, S., Stevenne, C. and Plumier, J.C., (2021). Specific lipid and carotenoid oxidation products, and preconditioning to oxidative stress in Symbiodiniaceae. In The 14th International Coral Reef Symposium.
- Nirmal, N.P., Santivarangkna, C., Rajput, M.S. and Benjakul, S., (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. Trends in Food Science & Technology, 103: 20-35.
- Ota, S., Morita, A., Ohnuki, S., Hirata, A., Sekida, S., Okuda, K., Ohya, Y. and Kawano, S., (2018). Carotenoid dynamics and lipid droplet containing astaxanthin in response to light in the green alga Haematococcus pluvialis. Scientific reports, 8(1): 1-10.
- Öz, M., (2018). Effects of garlic (Allium sativum) supplemented fish diet on sensory, chemical and microbiological properties of rainbow trout during storage at− 18 C. LWT, 92: 155-160.
- Petropoulos, S., Fernandes, Â., Barros, L. and Ferreira, I.C., (2018). Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of Mediterranean okra genotypes in relation to harvest stage. Food Chemistry, 242: 466-474.
- Reiter, J., Levina, N., Van der Linden, M., Gruhlke, M., Martin, C. and Slusarenko, A.J., (2017). Diallylthiosulfinate (Allicin), a volatile antimicrobial from garlic (Allium sativum), kills human lung pathogenic bacteria, including MDR strains, as a vapor. Molecules, 22(10): 1711.
- Song, X., Wang, L., Li, X., Chen, Z., Liang, G. and 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.
- Strica, I., Basic, A. & Halilovic, N. (2017). Antimicrobial effects of garlic (Allium sativum L.). Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina. 17-22.
- Tabrizi, S.M., Javadi, A., Anarjan, N., Tabrizi, S.J.M. and Mirzaei, H., (2021). Astaxanthin–garlic oil nanoemulsions preparation using spontaneous microemulsification technique: optimization and their physico–chemical properties. Zeitschrift für Physikalische Chemie, 235(8): 993-1008.

- Vargas-Sinisterra, A.F. and Ramírez-Castrillón, M., 2021. Yeast carotenoids: production and activity as antimicrobial biomolecule. Archives of Microbiology, 203(3): 873-888.
- White, D.A., Moody, A.J., Serwata, R.D., Bowen, J., Soutar, C., Young, A.J. and Davies, S.J., (2003). The degree of carotenoid esterification influences the absorption of astaxanthin in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum). Aquaculture Nutrition, 9(4): 247-251.