Food Hygiene, Vol. 12, No. 47, Autumn 2022

"Research article" DOI: 10.30495/JFH.2023.197236.1381

The effect of biocomposite coating based on Opopanax mucilage and gelatin containing zinc oxide nanoparticles enriched by peppermint (*Mentha piperita* L) essential oil on the microbial and sensory properties characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Rashidi, M.[1], Roozbeh Nasiraie, L.[2], Zomorodi, Sh.[3*], Jafarian, S.[2]

1- Ph.D Student of Food Science and Technology, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Mazandaran, Iran.

2- Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Mazandaran, Iran.

3- Associate professor, Department of Engineering Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

[*]Corresponding author: s.zomorodi@areeo.ac.ir
(Received: 2022/11/09 Accepted: 2023/01/25)

Abstract

Considering the possible adverse effects on the sensory properties of food due to the use of essential oils in effective concentrations for antimicrobial and antioxidant activity, the use of combined methods can be effective. In this study, the effect of coating combination of gelatin and Opopanax mucilage containing 0.5% zinc oxide nanoparticles, enriched by concentrations of 0, 1.2, 1.6, and 2.0 % of peppermint essential oil and modified atmospheric packaging (MAP) on preventing the growth of microbial population rainbow trout fillets were evaluated during 20 days of storage in the refrigerator. The results showed that in all treatments the number of aerobic mesophilic bacteria, psychrotrophs, lactic acid bacteria, and coliforms as well as pH increased during the storage period but decreased by increasing peppermint essential oil ($p<0.05$). Also, the microbial load in treatments with a coating containing nanoparticles and MAP was significantly lower than in the control sample ($p<0.05$). The results of sensory evaluation also showed that the odor and color scores of the samples decreased during storage, which was the highest in the control and the lowest in the NPEO3 treatment ($p<0.05$). The results of the sensory evaluation were consistent with the results of microbial analysis. According to the results obtained in this study, using the mixture of 0.5 % zinc oxide nanoparticles and 50% peppermint essential oil in edible coating composed of Opopanax mucilage and gelatin for increasing the shelf life of rainbow trout fillet up to the 15th day is recommended.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Edible coating, pectin, peppermint essential oil, Opopanax mucilage, zinc oxide nanoparticles, rainbow trout.

«مقاله پژوهشی» DOI: 10.30495/JFH.2023.1972363.1381

تأثیر پوشش بیوکامپوزیت بر پایه موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین حاوی نانوذرات اکسیدروی غنی شده با اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L) بر ویژگی‌های میکروبی و حسی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

محمدجواد رشیدی[۱]، لیلا روزبه‌نصیرایی[۲]، شهین زمردی[۳*]، سارا جعفریان[۲]

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

۳- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: s.zomorodi@areeo.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵)

چکیده

با توجه به اثرات نامطلوب احتمالی در ویژگی‌های حسی مواد غذایی در اثر کاربرد اسانس‌ها در غلظت‌های مؤثر جهت فعالیت ضدمکیروبی و آنتی‌اکسیدانی، استفاده از روش‌های ترکیبی می‌تواند مؤثر باشد. در این مطالعه، تأثیر پوشش حاصل از ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی ۰/۵ درصد نانوذرات اکسیدروی، غنی شده با غلظت‌های صفر، ۱/۲، ۱/۶ و ۲/۰ درصد اسانس نعناع فلفلی و بسته‌بندی اصلاح شده برای جلوگیری از رشد جمعیت میکروبی فیله ماهی در یخچال در طی ۲۰ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمام تیمارها تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست، اسید لاکتیک و کلی‌فرم‌ها و هم‌چنین pH در طول مدت نگهداری افزایش یافت که بار میکروبی در تیمارهایی با پوشش حاوی نانوذرات، بسته‌بندی اصلاح شده و هم‌چنین با افزایش اسانس نعناع فلفلی نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p<0/05$). نتایج حاصل از ارزیابی خواص حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که امتیاز بو و رنگ ماهی در طول نگهداری کاهش یافت که این کاهش در تیمار کنترل بیشترین مقدار و در تیمار NPEO3 کمترین مقدار بود ($p<0/05$). نتایج حاصل از ارزیابی حسی با نتایج حاصل از آزمون‌های میکروبی مطابقت داشت. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، استفاده از روش ترکیبی نانوذرات اکسید روی به مقدار ۰/۵ درصد با اسانس نعناع فلفلی به مقدار ۲ درصد در پوشش خوراکی متشکل از ترکیب ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر برای افزایش عمر نگهداری فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تا روز ۱۵ پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس نعناع فلفلی، پکتین، پوشش، ماهی قزل‌آلا، موسیلاژ جاوشیر، نانواکسیدروی

مقدمه

گوشت ماهی نسبت به دیگر منابع گوشتی به‌دلیل فعالیت آبی بالا، pH تقریباً خنثی، مقادیر نسبتاً بالای اسیدهای آمینه آزاد و حضور آنزیم‌های اتولیزکننده نسبت به تجزیه باکتریایی آسیب‌پذیرتر است. از روش‌های مختلف برای افزایش ماندگاری این محصولات می‌توان استفاده کرد؛ از جمله استفاده از پوشش‌های خوراکی دارای ترکیبات زیست‌فعال به‌واسطه خواص بازدارندگی. استفاده از پوشش‌ها علاوه بر خواص نگهدارندگی، خطرات مصرف افزودنی‌های شیمیایی در بسته‌بندی و آلودگی ناشی از پسماندهای بسته‌بندی مواد غذایی را نیز به حداقل می‌رسانند (Valipour Kootenaie *et al*., 2017). در سال‌های اخیر از مواد مختلفی بر پایه پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها به‌عنوان فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده‌شده است (Rajaei *et al*., 2019).

جاوشیر (Opopanax, *Commiphora guidottii*) گیاهی از خانواده *Umbellifarae* است. از ریشه این گیاه در ناحیه یقه با ایجاد خراش، شیره‌ای خارج می‌شود که به‌تدریج در معرض هوا سفت می‌شود. البته صمغ از ساقه گیاه نیز به‌دست می‌آید؛ اما صمغ حاصل از ریشه گیاه دارای کیفیت بالاتری است. به جاوشیر نام‌های دیگری مانند جوشیر، جاشیر، کوشیر، جاوشی، گاوشیر اطلاق می‌شود (Rajaei and Shekarchizadeh, 2019). در مطالعه‌ای ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از صمغ جاوشیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که موسیلاژ جاوشیر توانایی تشکیل فیلم در غلظت ۴ درصد را دارد. با این حال، این موسیلاژ به‌دلیل ضخامت بالا، حلالیت بالا در آب، نفوذپذیری بالا در برابر بخار آب و خواص مکانیکی ضعیف به‌تنهایی برای تولید فیلم خوراکی مطلوب نیست. بنابراین می‌تواند گزینه مناسبی برای ترکیب با صمغ‌های دیگر به‌منظور افزایش زیست‌تخریب پذیری فیلم‌ها باشد (Rajaei and Shekarchizadeh, 2019). در این خصوص ترکیب نسبت‌های مختلف پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها می‌تواند به تولید فیلم‌هایی با ویژگی‌های مطلوب برای برآوردن نیازهای مصرف کنندگان منجرشود (Kazemi and Rezaei, 2016). برای داشتن فیلمی با خواص مطلوب می‌توان ژلاتین را با پلی‌ساکاریدی مانند موسیلاژ جاوشیر ترکیب کرد. ژلاتین، پروتئینی حاصل از هیدرولیز کلاژن است و یکی از بهترین موادی است که تاکنون برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده شده است. زیرا فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر با ویژگی ممانعتی مناسب در برابر گازها تشکیل می‌دهد (Kazemi and Rezaei, 2016). هم‌چنین، پوشش‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل‌های ترکیبات ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی به‌منظور حفظ غلظت‌های بالای این مواد در سطح فرآورده‌های پوشش داده شده که بیشتر در معرض هجوم باکتری‌ها هستند، استفاده کرد (Carrión-Granda *et al*., 2018). از زمان‌های قدیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی به اثبات رسیده است. در این بین اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L) یکی از ترکیبات فعال دارای ویژگی‌های بارز ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی مطلوب است. نعناع فلفلی دارای پلی‌اول، ایزومنتول، منتول، نئومنتول، پیپریتون، نئوایزومنتول، فلاونوئیدها و رزماریک اسید با خواص آنتی‌اکسیدانی

و ضدمیکروبی است (Mahboubi and Kazempour, 2014). اما غلظت‌های تأثیرگذار اسانس نعناع سبب تغییر پذیرش حسی ماده غذایی می‌شود. به همین علت، کاربرد آن‌ها در مواد غذایی به‌دلیل اثرات نامطلوب حسی محدود می‌شود. بنابراین کاربرد آن‌ها با سایر ترکیبات ضدمیکروبی جهت بررسی اثر سینرژیستی برای کنترل فلور میکروبی مواد غذایی می‌تواند مؤثر واقع شود. گزارش شده است که اسانس نعناع فلفلی، فعالیت ضدمیکروبی بالایی در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مانند *میکروکوکوس فلاووس*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، سالمونلا، *باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* نشان می‌دهد (Desam *et al.*, 2019). طی تحقیقی جهت افزایش کیفیت و عمر ماندگاری ماهی قزل‌آلا از پوشش خوراکی حاصل از ترکیب کیتوزان و پکتین حاوی اسانس‌های لیمو و نعناع فلفلی استفاده شد. نتایج نشان داد که پوشش چندلایه در ترکیب با اسانس‌های لیمو و نعناع می‌تواند تعداد باکتری‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده و فساد نمونه‌ها را به تأخیر اندازد و ماندگاری فرآورده‌های گوشتی را افزایش دهد (Tabatabaei Moradi *et al.*, 2015).

با توجه به مشکلات فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر مانند مقاومت کم در برابر نفوذ رطوبت و بخارآب، شکننده بودن و ممانعت ضعیف در مقابل اکسیژن، کاربرد آن‌ها در صنعت غذا محدود است. برای غلبه بر این مشکل می‌توان از نانوکامپوزیت‌ها استفاده کرد. فناوری نانو به استفاده از مواد و ساختارهایی در مقیاس نانو (حداقل در یک بعد در اندازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) گفته می‌شود. یکی از انواع نانو ذراتی که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است نانو ذرات اکسیدروی است که دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایدار، ارزان قیمت، غیرسمی و ایمن هستند (Kheirkhah foghara *et al.*, 2020).

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پوشش بیونانوکامپوزیت بر پایه ترکیب ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده با اسانس نعناع فلفلی بر pH، ویژگی‌های میکروبی و حسی فیله ماهی قزل‌آلا در طول نگهداری است.

مواد و روش‌ها

- مواد

تعداد ۷ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌صورت زنده از سواحل استان مازندران تهیه و همراه یخ به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از سرزنی، زدودن دم و باله‌ها و تخلیه شکمی، به‌صورت فیله درآورده شد. سپس فیله‌ها به قطعاتی با میانگین وزنی ۱۰±۵۰ گرم بریده شدند. صمغ ناخالص جاوشیر از یک بازار محلی (اصفهان، ایران)، پودر ژلاتین گاوی (مرک، آلمان)، اسانس نعناع فلفلی (سیگما آلدریچ، آمریکا) و نانوذرات اکسیدروی با ابعاد ۳۰-۱۰ نانومتر (نانوسانی، ایران) تهیه شد.

- استخراج موسیلاژ جاوشیر

ابتدا صمغ ناخالص جاوشیر با اتانول ۹۶ درصد به میزان ۳۰ برابر در دستگاه سوکسله به‌مدت ۶ ساعت رفلاکس داده شد. پس از صاف کردن محلول حاصل، مواد باقی‌مانده روی کاغذ صافی جداسازی و خشک شد تا پودر سفیدرنگی به‌دست آید. سپس ۵ گرم پودر سفید رنگ در۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و به

مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس هم‌زده شد. در نهایت جهت جداسازی ناخالصی‌های باقی‌مانده، محلول به‌دست‌آمده از مرحله قبل به سانتریفیوژ و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شد (Rajaei and Shekarchizadeh, 2019). به‌منظور استخراج صمغ جاوشیر، ابتدا صمغ ها آسیاب شده و سپس صمغ آسیاب شده با ۳۰ برابر اتانول ۹۶ درصد به‌مدت ۶ ساعت در دستگاه سوکسله رفلاکس داده شد. سپس آن را صاف کرده و مواد باقی مانده روی کاغذ صافی خشک شد و پودر سفید رنگی به‌دست آمد.

-تهیه محلول‌های پوشش

مقدار ۴ گرم ژلاتین به ۱۰۰ میلی‌لیتر دیونیزه افزوده شد و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا حل شدن کامل هم‌زده شد. سپس گلیسرول به‌میزان ۲۵ درصد وزن ژلاتین اضافه شد و حرارت دادن در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا ایجاد محلولی یکنواخت ادامه یافت (Karim *et al.*, 2021). هم‌چنین محلول ۴ درصد موسیلاژ جاوشیر و ۲/۵ درصد گلیسرول در ۷۵ میلی لیتر آب مقطر تهیه شد (Rajaei and Shekarchizadeh, 2019). سپس دو محلول به نسبت مساوی باهم ترکیب شد. نانو اکسید روی نیز در غلظت ۰/۵ درصد در ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل شد. برای تسهیل توزیع نانوذرات، محلول‌ها در حمام آب اولتراسوند (Sonica,ultrasonic cleaners, Italy) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد و به سوسپانسیون پوشش اضافه گردید.

اسانس نعناع فلفلی در غلظت‌های ۱/۲، ۱/۶ و ۲ درصد در توئین ۸۰ به نسبت ۱:۱ به‌عنوان امولسیفایر به‌صورت امولسیون درآمد و به محلول‌های پوشش اضافه گردید. سپس محلول‌های پوششی تا ایجاد محلولی یکنواخت هم‌زده شد و استفاده گردید.

- روش تیماردهی

جهت ایجاد پوشش، قطعات فیلهٔ ماهی به‌مدت ۲ دقیقه در محلول‌های پوششی غوطه‌ور شدند. فیله‌ها به‌مدت ۴۰ دقیقه تحت جریان هوا خشک شدند تا پوشش بر روی آن‌ها تشکیل گردد. سپس فیله‌های پوشش یافته جهت ادامهٔ آزمایش‌ها در کیسه‌های زیپ کیپ بسته‌بندی شد (Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022). هم‌چنین جهت مقایسه از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (گلاوباکس، شرکت ویرا تجارت بکر، تهران، ایران) استفاده شد. برای این منظور فیله‌های ماهی در بسته‌های پلی پروپیلن تحت ۴۵ درصد گاز دی‌اکسید کربن، ۵۰ درصد نیتروژن و ۵ درصد اکسیژن بسته‌بندی شدند. تیمارها در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و نمونه‌برداری در روزهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ انجام گرفت. تیمارها عبارت بودند از:

۱) بدون پوشش به‌عنوان شاهد (C)

۲) پوشش داده شده با محلول ترکیبی ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی نانوذرات اکسید روی (NP)

۳) پوشش داده شده با محلول ترکیبی ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده با ۱/۲ درصد اسانس نعناع فلفلی (NPEO30)

۴) پوشش داده شده با محلول ترکیبی ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده با ۱/۶ درصد اسانس نعناع فلفلی (NPEO40)

۵) پوشش داده شده با محلول ترکیبی ژلاتین و موسیلاژ جاوشیر حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده با ۲/۰ درصد اسانس نعناع فلفلی (NPEO50)

۶) بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)

- تعیین pH نمونه‌های فیله ماهی

مقدار ۵ گرم فیله ماهی همگن شده، با ۴۵ میلی‌لیترآب مقطر مخلوط گردید و pH نمونه‌ها در دمای اتاق با pH متر (Jenway, England) اندازه‌گیری گردید (Agdar GhareAghaji *et al*., 2022).

- شمارش میکروبی نمونه‌های فیله ماهی

مقدار ۱۰ گرم نمونه همگن‌شده ماهی به کیسه استریل استومیکر انتقال داده شد و ۹۰ میلی‌لیتر آب پپتون ۰/۱ درصد استریل به آن اضافه شد. سپس به‌مدت ۲ دقیقه توسط استومیکر (Seward, England) همگن شد. سری رقت‌ها با افزودن ۱ میلی‌لیتراز هر غلظت به ۹ میلی‌لیتر آب پپتون ۰/۱ درصد تهیه شد. برای شمارش باکتری‌های اسید لاکتیک یک میلی‌لیتر از رقت‌های مورد نظر به‌روش پورپلیت در محیط کشت MRS آگار (Merk, Germany) کشت داده شد. سپس تحت شرایط بی‌هوازی با استفاده از گازپک (Anaerocult A, Merk, Germany) در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت انکوبه شد. جمعیت مزوفیل‌های هوازی به‌روش پورپلیت در پلیت کانت آگار (Merk, Germany) کشت شد و تحت شرایط هوازی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت انکوبه شدند. باکتری‌های سرمادوست به‌روش پورپلیت در تریپتیک سوی آگار (مرک، آلمان) کشت شد و در دمای ۱±۷ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۰ روز انکوبه شدند. باکتری‌های کلی‌فرم (*انتروباکتریاسه*) به‌صورت پورپلیت دولایه در ویولت رد بایل آگار (مرک، آلمان) و شرایط هوازی در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت کشت داده شد (Carrión-Granda *et al*., 2018).

- ارزیابی حسی

خواص حسی نمونه‌های ماهی شامل رنگ و بو توسط ۱۰ پانل آموزش دیده با استفاده از آزمایش تمایل مصرف‌کننده به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای تعیین شد. امتیاز ۵ به کیفیت مطلوب و ۱ امتیاز برای کیفیت نامطلوب اختصاص داده شد (Agdar GhareAghaji *et al*., 2022).

- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA one way analysis of variance)، مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. تمام تیمارها در ۳ تکرار تهیه شد. مقادیر متوسط با خطاهای استاندارد گزارش گردید.

یافته‌ها

- تأثیر تیمارها بر pH نمونه‌های فیله ماهی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع تیمار بر pH نمونه‌ها در طول نگهداری معنی‌دار بود ($P<0.05$). در جدول (۱) تأثیر تیمارها بر pH نمونه‌های فیله‌ماهی در طول زمان نگهداری آورده شده است.

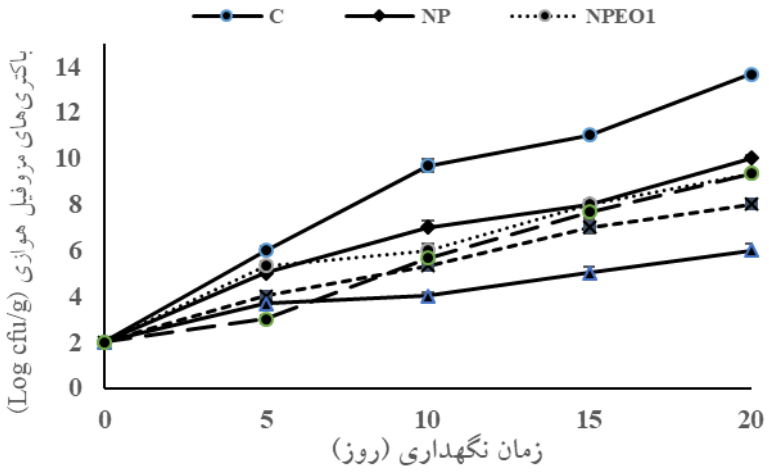
جدول (۱)- تأثیر تیمارها بر pH نمونه‌های فیله ماهی در طول زمان نگهداری

تیمارها	زمان نگهداری (روز)				
	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
C	۶/۳۸±۰/۱۲^{eA}	۶/۶۲±۰/۰۱^{dA}	۶/۹۳±۰/۰۳^{cA}	۷/۱۹±۰/۰۰^{bA}	۷/۳۰±۰/۰۰^{aA}
NP	۶/۳۸±۰/۱۲^{eA}	۶/۵۶±۰/۰۲^{dB}	۶/۸۱±۰/۰۱^{cB}	۷/۰۴±۰/۰۱^{bB}	۷/۱۴±۰/۰۰^{aB}
NPEO1	۶/۳۸±۰/۱۲^{eA}	۶/۴۷±۰/۰۲^{dCD}	۶/۷۱±۰/۰۱^{cC}	۶/۹۷±۰/۰۱^{bBC}	۷/۰۸±۰/۰۰^{aC}
NPEO2	۶/۳۸±۰/۱۲^{eA}	۶/۴۵±۰/۰۰^{dD}	۶/۵۷±۰/۰۰^{cD}	۶/۷۸±۰/۰۲^{bD}	۶/۸۷±۰/۰۲^{aE}
NPEO3	۶/۳۸±۰/۰۰^{dA}	۶/۴۰±۰/۰۰^{cdE}	۶/۴۴±۰/۰۰^{cE}	۶/۵۱±۰/۰۲^{bE}	۶/۶۸±۰/۰۰^{aF}
MAP	۶/۳۸±۰/۱۲^{eA}	۶/۴۵±۰/۰۰^{deD}	۶/۵۹±۰/۰۰^{cC}	۶/۸۳±۰/۰۲^{bC}	۶/۹۱±۰/۰۲^{aD}

C: بدون پوشش، NP: پوشش متشکل از موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین حاوی نانوذرات اکسید روی، NPEO1، NPEO2 و NPEO3 به‌ترتیب پوشش حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده به‌ترتیب با ۱/۲، ۱/۶و ۲ درصد اسانس نعناع فلفلی و MAP بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده. اعداد به‌صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده‌شده‌اند. مقادیر در هر ستون (حروف بزرگ) و سطر (حروف کوچک) با حروف متفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار هستند (P <۰/۰۵).

- تأثیر تیمارها بر شمارش میکروبی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع تیمارها بر شمارش میکروبی باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست، *انتروباکتریاسه* و اسید لاکتیک در طول نگهداری معنی‌دار بود (P<0.05). در شکل (۱) جمعیت کل باکتری‌های مزوفیل هوازی و در جدول (۲) جمعیت باکتری‌های سرمادوست، *انتروباکتریاسه* و اسید لاکتیک فیله‌های ماهی در طول زمان نگهداری نشان داده شده است.



شکل (۱)- تأثیر تیمارها بر جمعیت کلی باکتری‌های نمونه‌های فیله ماهی در طول نگهداری؛
C: بدون پوشش، NP: پوشش متشکل از موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین حاوی نانوذرات اکسید روی، NPEO1، NPEO2 و NPEO3 به‌ترتیب پوشش حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده به‌ترتیب با ۱/۲، ۱/۶و ۲ درصد اسانس نعناع فلفلی و MAP بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده.

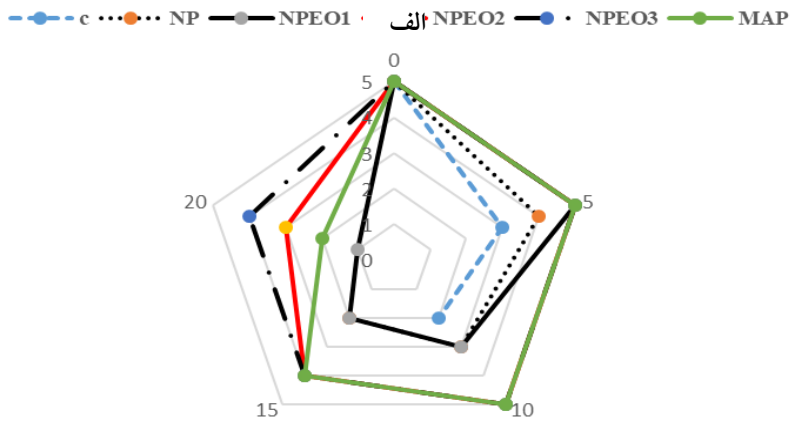
جدول (۲)- تأثیر تیمارها بر جمعیت باکتری‌های سرمادوست، *انتروباکتریاسه* و باکتری‌های اسید لاکتیک نمونه‌های فیله ماهی در طول نگهداری

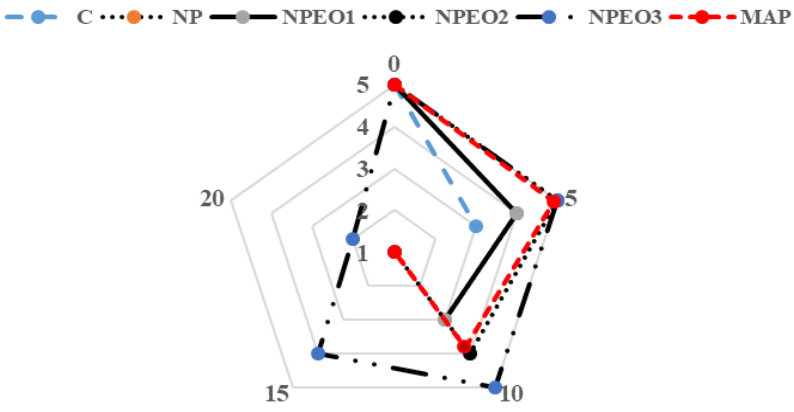
جمعیت باکتری‌ها (log cfu/g)	تیمارها	زمان نگهداری (روز)				
		۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
سرمادوست	C	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۵/۶۶±۰/۲۸^{dA}	۹/۳۳±۰/۲۸^{cA}	۱۲/۰۰±۰/۰۰^{bA}	۱۴/۶۶±۰/۲۸^{aA}
	NP	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۴/۶۶±۰/۰۰^{dB}	۸/۰۰±۰/۲۸^{cB}	۱۰/۳۳±۰/۰۰^{bB}	۱۲/۶۶±۰/۲۸^{aB}
	NPEO1	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۴/۳۳±۰/۰۰^{dBC}	۷/۳۳±۰/۱۶^{cBC}	۹/۶۶±۰/۲۸^{bC}	۱۱/۶۶±۰/۰۰^{aC}
	NPEO2	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۴/۰۰±۰/۰۰^{dC}	۶/۰۰±۰/۰۰^{cC}	۷/۶۶±۰/۰۰^{bD}	۹/۳۳±۰/۲۸^{aE}
	NPEO3	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۳/۳۳±۰/۰۰^{dD}	۵/۶۶±۰/۰۰^{cC}	۷/۰۰±۰/۰۰^{bE}	۸/۳۳±۰/۲۸^{aF}
	MAP	۲/۳۳±۰/۰۰^{eA}	۴/۳۳±۰/۱۶^{dBC}	۷/۳۳±۰/۰۰^{cBC}	۱۰/۰۰±۰/۱۶^{bBC}	۱۰/۶۶±۰/۰۰^{aD}
انتروباکتریاسه	C	۲/۰۶±۰/۰۰^{dA}	۳/۸۶±۰/۰۰^{cA}	۷/۵۳±۰/۰۰^{bA}	۹/۰۰±۰/۲۸^{abA}	۱۰/۰۶±۰/۰۰^{aA}
	NP	۲/۰۶±۰/۰۰^{eA}	۳/۲۰±۰/۰۰^{dB}	۴/۰۳±۰/۲۸^{cB}	۶/۰۶±۰/۲۸^{bB}	۷/۴۰±۰/۱۶^{aB}
	NPEO1	۲/۰۶±۰/۰۰^{eA}	۲/۸۶±۰/۰۰^{dBC}	۳/۷۰±۰/۱۶^{cBC}	۵/۴۰±۰/۱۶^{bBC}	۶/۶۳±۰/۲۸^{aC}
	NPEO2	۲/۰۶±۰/۰۰^{eA}	۲/۵۳±۰/۱۶^{dC}	۲/۸۰±۰/۳۳^{cC}	۴/۷۳±۰/۰۰^{bC}	۶/۰۶±۰/۲۸^{aD}
	NPEO3	۲/۰۶±۰/۰۰^{eA}	۲/۲۰±۰/۰۰^{dD}	۲/۳۶±۰/۰۰^{cC}	۳/۵۰±۰/۲۸^{bD}	۴/۶۳±۰/۱۶^{aE}
	MAP	۲/۰۶±۰/۰۰^{eA}	۲/۸۶±۰/۱۶^{dBC}	۴/۰۳±۰/۲۸^{cBC}	۵/۵۰±۰/۲۸^{bBC}	۷/۰۶±۰/۲۸^{aBC}
اسید لاکتیک	C	۲/۰۰±۰/۰۰^{eA}	۴/۰۰±۰/۱۶^{dA}	۵/۰۰±۰/۰۰^{cA}	۷/۳۳±۰/۰۰^{bA}	۸/۳۳±۰/۲۸^{aA}
	NP	۲/۰۰±۰/۰۰^{eA}	۳/۳۳±۰/۲۸^{dB}	۴/۳۳±۰/۲۸^{cB}	۵/۳۳±۰/۲۸^{bB}	۶/۶۶±۰/۰۰^{aB}
	NPEO1	۲/۰۰±۰/۰۰^{eA}	۳/۰۰±۰/۲۸^{dBC}	۴/۰۰±۰/۰۰^{cBC}	۵/۰۰±۰/۲۸^{bBC}	۶/۳۳±۰/۰۰^{aC}
	NPEO2	۲/۰۰±۰/۰۰^{eA}	۲/۳۳±۰/۰۰^{dC}	۳/۳۳±۰/۰۰^{cC}	۴/۳۳±۰/۲۸^{bC}	۵/۳۳±۰/۰۰^{aD}
	NPEO3	۲/۰۰±۰/۰۰^{dA}	۲/۰۰±۰/۰۰^{dD}	۲/۶۶±۰/۲۸^{cD}	۳/۳۳±۰/۰۰^{bD}	۴/۳۳±۰/۰۰^{aE}
	MAP	۲/۰۰±۰/۰۰^{dA}	۳/۰۰±۰/۱۶^{cBC}	۴/۳۳±۰/۰۰^{bB}	۵/۰۰±۰/۱۶^{abBC}	۵/۶۶±۰/۰۰^{aCD}

C: بدون پوشش، NP: پوشش متشکل از موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین حاوی نانوذرات اکسید روی، NPEO1، NPEO2 و NPEO3 به‌ترتیب پوشش حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده به‌ترتیب با ۱/۲، ۱/۶و ۲ درصد اسانس نعناع فلفلی و MAP بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده. اعداد به‌صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده‌شده‌اند. مقادیر در هر ستون (حروف بزرگ) و سطر (حروف کوچک) با حروف متفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار هستند (P <۰/۰۵).

- تأثیر تیمارها بر ارزیابی حسی نمونه‌های فیله ماهی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع تیمار بر ارزیابی حسی نمونه‌ها در طول نگهداری معنی‌دار بود (P<0.05). در شکل (۴) تأثیر تیمارها بر ارزیابی حسی نمونه‌های فیله ماهی در طول زمان نگهداری آورده شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، ویژگی‌های حسی بو و رنگ ماهی در طول نگهداری کاهش یافت (p<0.05).





ب

شکل (۲)- تأثیر تیمارها بر ارزیابی رنگ (الف) و بوی (ب) نمونه‌های فیله ماهی در طول نگهداری

C: بدون پوشش، NP: پوشش متشکل از موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین حاوی نانوذرات اکسید روی، NPEO1، NPEO2 و NPEO3 به‌ترتیب پوشش حاوی نانوذرات اکسید روی غنی شده به‌ترتیب با ۱/۲، ۱/۶و ۲ درصد اسانس نعناع فلفلی و MAP بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده.

بحث و نتیجه‌گیری

مقدار pH گوشت ماهی تازه اغلب بین ۶ و ۶/۵ است و pH قابل‌قبول حداکثر ۷/۰- ۶/۸ است (Alparslan *et al.*, 2014). در این تحقیق مقدار اولیه pH فیله ماهی‌ها در حدود ۶/۳۸ بود که نشان‌دهنده تازگی فیله ماهی است. طی تحقیقات مختلف مقدار pH اولیه نمونه‌های ماهی قزل‌الای رنگین‌کمان در حدود ۶/۳۰ (Alparslan *et al.*, 2014) و ۶/۲۶ (Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022) تعیین شده است که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.

با توجه به جدول (۱) طی زمان نگهداری در تمامی نمونه‌ها pH به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0.05$). علت این افزایش را می‌توان به تولید ترکیبات فرار بازی مانند آمونیوم و آمین‌های بیوژنیک آزاد ناشی از فعالیت آنزیمی باکتری‌های پروتئولیتیک نسبت داد (AgdarGhareAghaji *et al.*, 2022). افزایش pH می‌تواند نشان‌دهندهٔ رشد باکتری‌ها و فساد ماهی باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022; Alparslan *et al.*, 2014; Tabatabaei Moradi *et al.*, 2015).

با افزودن نانوذرات و هم‌چنین با افزایش مقدار اسانس نعناع فلفلی به پوشش‌ها، مقدار pH با سرعت کمتری افزایش یافت که می‌تواند دلیلی بر خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات و اسانس نعناع فلفلی و اثر هم‌افزایی در ارتباط با استفاده توأم آن‌ها باشد. اسانس‌های دارای ترکیبات فنلی، مقاومت فیله‌ها را در مقابل پروتئازهای داخلی بالا برده و مانع شکستن پروتئین‌ها و تولید آمین‌ها می‌شود (Baydar *et al.*, 2004). در این راستا طی تحقیقی نشان داده شده است که ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تیمار شده با اسانس برگ نارنج نسبت به نمونه شاهد pH کمتری داشت که دلیل آن را به خاصیت ضداکسیدانی و ضدباکتریایی این اسانس مرتبط دانستند (Ghalabian and Rumiani, 2017). در این تحقیق در پایان دوره نگهداری مقدار pH تیمارهای NPEO2، NPEO3 و MAP در حد قابل قبول بود.

میکروارگانیسم‌های عامل فساد در ماهی قادر به تسلط بر فلور میکروبی ماهی و تولید متابولیت‌هایی می‌باشند که بر ارزیابی حسی محصول موثر خواهد بود (Boziaris and Parlapani, 2017). از جمله باکتری‌های غالب در گوشت ماهی می‌توان به باکتری‌های هوازی اشاره کرد که در حد زیادی موجب فساد گوشت نگهداری شده در شرایط هوازی می‌شوند. این میکروارگانیسم عمدتاً *سودوموناس‌ها* هستند که آنزیم‌های لیپاز تولید می‌کنند و سبب افزایش اسیدهای چرب آزاد می‌شوند. نقش عمده این باکتری‌ها آمین‌زدایی اسیدهای آمینه آزاد و تولید ترکیبات نیتروژنی فرار (کتون‌ها و آلدهیدها) در ماهی است که موجب کاهش ارزش غذایی و خواص حسی ماهی می‌شود (Chytiri *et al.*, 2004). باکتری‌های اسید لاکتیک نیز بخشی از فلور میکروبی طبیعی ماهی را تشکیل می‌دهند که گرم مثبت، بی‌هوازی اختیاری و حساس به اسانس‌ها هستند (Fernandez-Pan *et al.*, 2012). در ماهی صید شده از آب‌های آلوده نیز کلی‌فرم‌ها غالب‌اند. کلی‌فرم‌ها از میکروب‌های روده‌ای هستند و به‌عنوان شاخص بهداشتی در مواد غذایی مطرح می‌باشند. آلودگی‌های کلی‌فرمی بالاتر از استاندارد، معمولاً نشانگر عدم رعایت موازین بهداشتی در تهیه و فراوری این گونه مواد غذایی است. پس از صید، ماهی در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها فاسد شده و منجر به فروپاشی سیستم ایمنی بدن و هجوم میکروبی به بدن ماهی از طریق پوست می‌گردد (Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022).

بر اساس نتایج حاصل از شمارش میکروارگانیسم‌ها، در این تحقیق تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، باکتری‌های سرمادوست، کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک اولیه فیله‌های ماهی به‌ترتیب در حدود ۲/۰۰، ۲/۳۳، ۲/۰۶ و ۲/۰۰ سیکل لگاریتمی

بود که نشان‌دهنده تازگی فیله ماهی است. در تحقیقی تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، باکتری‌های سرمادوست، باکتری‌های اسید لاکتیک و کلی‌فرم‌های فرضی اولیه فیله‌های ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌ترتیب در حدود Log cfu/g ۴/۴۸، ۴/۰۵، ۳/۰۸ و ۲/۷۸ گزارش شده است (Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022). در تحقیق دیگری تعداد اولیه باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک در فیله ماهی قزل‌آلا به‌ترتیب Log cfu/g ۴/۰۳، ۴/۰۴ و ۲/۱ گزارش شده است (Kamani *et al.*, 2020). نتایج حاصل از این تحقیق بسیار کمتر از نتایج گزارش شده توسط این محققان می‌باشد.

بر اساس نتایج هم‌چنین در طول زمان نگهداری تعداد کل باکتری‌های مزوفیل هوازی، باکتری‌های سرمادوست، کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک در تمام تیمارها افزایش یافت ($p<$ ۰/۰۵). از آن‌جایی‌که گوشت ماهی دارای ترکیبات مناسب رشد میکروب‌ها است، بنابراین افزایش بار میکروبی در طول نگهداری دور از انتظار نبود. از طرفی علت افزایش بار میکروبی در ماهی می‌تواند به‌دلیل افزایش pH گوشت ماهی در طی زمان نگهداری در اثر تولید آمین‌های بیوژنیک نیز باشد. در pHهای پایین، رشد میکروارگانیسم‌ها با سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. طی تحقیقی گزارش شده است که تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست‌ها و کلی‌فرم‌ها پس از ۱۶ روز نگهداری در قزل‌آلا شاهد به‌ترتیب به حدود Log cfu/g ۹/۸۵، ۱۰/۱ و ۵/۸ رسید (Kamani *et al.*, 2020). در این تحقیق نیز تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست‌ها و کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک در نمونه شاهد در طول ۲۰ روز نگهداری به‌ترتیب به حدود ۱۳/۶۶، ۱۴/۶۶، ۱۰/۰۶ و ۸/۳۳ سیکل لگاریتمی افزایش پیدا کرد که با نتایج این تحقیقات مطابقت دارد. سایر محققان نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند (Ghalabian and Rumiani, 2017; Agdar GhareAghaji *et al.*, 2022).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش بار میکروبی در تیمارهایی با پوشش حاوی نانوذرات نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود و افزایش مقدار اسانس به پوشش‌ها نیز از افزایش بار میکروبی فیله ماهی در طول نگهداری به‌طور معنی‌داری جلوگیری کرد. دلیل کاهش بار میکروبی در اثر استفاده از پوشش حاوی نانوذرات نسبت به نمونه شاهد را می‌توان به خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات اکسید روی نسبت داد. فعالیت ضدمیکروبی نانو اکسید روی ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید شده از فوتوکاتالیز اکسید روی و کاتیون‌های روی آزاد شده از سطح ذرات اکسید روی می‌باشد (Zhang and Xiong, 2015). ذرات نانواکسید روی در اثر تماس با سلول‌های باکتریایی، می‌توانند مستقیماً به سطح سلول جذب شده و دیواره سلولی را مختل کنند. از طرفی ROS بسیار فعال است و می‌تواند به‌راحتی در غشای سلول باکتریایی وارد شود و از طریق استرس اکسیداتیو، موجب ایجاد اختلال در اجزای سلولی مانند DNA، لیپیدها و پروتئین‌ها گردد. علاوه بر این کاتیون‌های Zn^{2+} آزاد شده از انحلال ZnO، نیز می‌توانند در سلول باکتری نفوذ کنند و عملکرد آنزیم‌های تنفسی را مختل نمایند. در این راستا طی تحقیقی نیز مهمترین دلیل نقش ضدمیکروبی نانوذرات اکسید روی بهره‌گیری از پدیده

فتوکاتالیستی و تولید گونه‌های اکسیژن فعال موثر در انهدام میکروارگانیسم‌ها بیان شده است (Bui *et al*, 2017).

دلیل پایین بودن بار میکروبی تیمارها در اثر افزایش اسانس نعناع فلفلی را نیز می‌توان به وجود ترکیبات آنتی‌میکروبی در این اسانس نسبت داد. اسانس نعناع فلفلی دارای ترکیبات ضدمیکروبی مانند ایزومنتول، منتول، نئومنتول، پیپریتون، نئوایزومنتول، پولگون، دهیدروکارون، فلاونوئیدها و اسید رزماریک است (Mahboubi and Kazempour, 2014). منتول از ترکیبات اصلی اسانس نعناع فلفلی فعالیت ضدپلاسمیدی دارد و می‌تواند مقاومت پلاسمیدی باکتری را در طی مکانسیم‌های خاص از بین ببرد. هم‌چنین ترکیبات لیپوفیلیک نعناع فلفلی می‌توانند بر چرخه‌های هیدروکربنی تأثیر گذاشته و سیالیت غشاء، نفوذپذیری و فعالیت آنزیمی غشاء باکتری را تغییر دهد (Jafari Khatayloo and Almasi, 2018). ترکیبات فنلی اثر ضدمیکروبی خود را از طریق اختلال در غشای باکتریایی که منجر به افزایش نفوذپذیری و خارج شدن محتویات سیتوپلاسم شده، مهار تنفس و فرآیندهای انتقال یون اعمال می‌کند (Agdar GhareAghaji *et al*., 2022). نتایج مشابهی در خصوص استفاده از اسانس‌های مختلف در کنترل تعداد باکتری‌های فیله ماهی توسط محققان گزارش شده است (Ahmad *et al*., 2012; Patel *et al*., 2015; Hussain *et al*., 2021). اثر ضدمیکروبی اسانس‌ها در غذا به عوامل مختلفی مانند قابلیت دسترسی مواد مغذی (چربی و پروتئین) بستگی دارد که می‌تواند سلول‌های آسیب‌دیده را به‌سرعت ترمیم کند. به وجود مواد ضدباکتری، نمک، pH، درجه حرارت، نوع بسته‌بندی و ویژگی‌های میکروارگانیسم بستگی دارد (Djenane, 2015).

بر اساس نتایج تحقیق حاضر در طول ۲۰ روز نگهداری تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی، سرمادوست‌ها و کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک در تیمارهایی با پوشش حاوی نانوذرات به‌ترتیب به ۱۰، ۱۲/۶۶، ۷/۴۰ و ۶/۶۶ سیکل لگاریتمی و در تیمار حاوی نانوذرات و ۵۰ درصد اسانس تعداد این باکتری‌ها به‌ترتیب به ۶/۰۰، ۸/۳۳، ۴/۶۳ و ۴/۳۳ سیکل لگاریتمی افزایش یافت.

هم‌چنین در تیمارهای بسته‌بندی شده در شرایط اتمسفر کنترل شده (MAP) نیز تعداد این باکتری‌ها به‌ترتیب به ۹/۳۳، ۱۰/۶۶، ۷/۰۶ و ۵/۶۶ سیکل لگاریتمی افزایش پیدا کرد که به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد بود. دلیل آن را می‌توان به خاصیت باکتری کشی گاز دی‌اکسیدکربن نسبت داد. برخی از محققین خاطر نشان کردند که مخلوط گازی دارای ترکیب مناسب برای افزایش ماندگاری محصول به‌همراه لفافی که دارای نفوذپذیری ویژه باشد می‌تواند از طریق ممانعت از رشد باکتری‌های هوازی، باکتری‌های گرم منفی *سودوموناس* و دیگر سایکروتروف‌های گرم منفی موجب افزایش قابل‌توجهی در ماندگاری غذاهای مختلف شوند (Shabanpour and Zolfaghari, 2012). گاز CO_2 مرحله تأخیر و زمان تولیدمثل باکتری‌های هوازی را طولانی می‌کند و محیط را کمی اسیدی کرده و موجب کاهش رشد باکتری‌ها می‌گردد. وجود دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک فاکتور اصلی ضدباکتریایی در اتمسفر اصلاح شده می‌باشد و تأثیر آن بستگی به غلظت اولیه و نهایی گاز درون بسته، جنس

بسته، دمای نگهداری و جمعیت اولیه میکروبی دارد (Zand and Shahab Lavasani, 2021). با توجه به نفوذپذیری ماده بسته‌بندی به بخار آب و گازها، استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، برای کنترل فساد کافی نیست، اما روند فساد را به تأخیر می‌اندازد.

یکی از تغییرات حسی مهم در ماهی، تغییرات نامطلوب در رنگ، بو و طعم آن به‌دلیل رشد باکتری‌ها و تغییرات شیمیایی در اثر اکسیداسیون و تولید ترکیبات فرار است که موجب کاهش ماندگاری گوشت می‌شود (Agdar GhareAghaji *et al*., 2022). نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که امتیاز رنگ و بو نمونه‌های ماهی در طول نگهداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<0.05$). کاهش ارزیابی حسی ماهی در طول نگهداری اکثراً به فعالیت میکروارگانیسم‌ها و اتولیز عضلانی مربوط است (Roura *et al*., 1992).

امتیاز بو در روز پنجم نگهداری در تمام تیمارها قابل قبول بود اگرچه نمونه کنترل به‌طور معنی‌داری امتیاز بوی کمتری داشت. در روز دهم نگهداری، نمونه شاهد به‌دلیل بوی نامناسب شدید و داشتن بافت لزج حذف شد. در روز ۱۵ نگهداری نیز تیمارهای NP، NPEO1، NPEO2 و MAP به‌دلیل بوی نامناسب امتیاز قابل‌قبولی کسب نکرد. اما امتیاز تیمار NPEO3 در حد قابل‌قبولی بود. در روز ۲۰ نمونه‌های NPEO3 نیز بوی بد و نا مطبوع استشمام شده و آب دهی شدید داشت. بنابراین تیمارهای NP، NPEO1، NPEO2 و MAP تا روز دهم نگهداری، تیمار NPEO3 تا روز ۱۵ نگهداری خواص حسی فیله ماهی را حفظ کرد. این نتایج با یافته‌های آزمون‌های میکروبی مطابقت داشت. با توجه به این‌که تغییرات حسی نامطلوب در فیله ماهی اکثراً در اثر رشد باکتری‌ها و اتولیز عضلات ایجاد می‌شود. بنابراین دلیل تغییرات بو در طول نگهداری در تیمارها در قسمت میکروبی بیان شده است. در این راستا گزارش شده است که در میگوی پوشش‌دهی شده با کیتوزان حاوی ۲ درصد اسانس پوست پرتقال، خواص حسی محصول تا ۱۵ روز (Alparslan and Baygar, 2017) و در ماهی قزل‌آلای پوشش داده شده با ثعلب حاوی ۲ درصد اسانس پوست پرتقال، خواص حسی محصول تا ۱۲ روز حفظ گردید (Agdar GhareAghaji *et al*., 2022) که نتایج حاصل از تحقیق حاضر را تأیید می‌کنند. به‌دلیل این‌که بار میکروبی اولیه ماهی‌های آب شیرین به دما و شرایط آب تغییر می‌کند، حداکثر تعداد مجاز جمعیت کل باکتری‌های هوازی مزوفیل، سرمادوست، کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسید لاکتیک گونه‌های مختلف ماهیان آب‌های شیرین مانند قزل‌آلا رنگین‌کمان به‌ترتیب در حدود ۷ Log cfu/g، ۷، ۴ و ۶ تعیین شده است (Jouki *et al*., 2014). بر این اساس، در تیمارهای NP، NPEO1، NPEO2 و MAP تا روز دهم نگهداری و در تیمار NPEO3 تا روز پانزدهم نگهداری تعداد باکتری‌های هوازی، سرمادوست، کلی‌فرم‌ها و باکتری‌های اسیدلاکتیک کمتر از حد استاندارد بود. در روز بیستم در تمام تیمارها تعداد این باکتری‌ها بالاتر از حد استاندارد بود. طبق نتایج این تحقیق، استفاده از ترکیب ۲ درصد اسانس نعناع فلفلی و ۰/۵ درصد نانوذرات اکسید روی در پوشش موسیلاژ جاوشیر و ژلاتین برای نگهداری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌مدت ۱۵ روز در دمای یخچال با کیفیت مطلوب پیشنهاد می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Agdar GhareAghaji, M., Zomorodi, Sh., Gharekhani, M. and Hanifian, S. (2022). The effect of edible coating based on Althaea officinalis mucilage containing orange (*Citrus sinensis*) peel essential oil on quality and microbial properties of rainbow trout fillet (*Oncorhynchus mykiss*). Applied Microbiology in Food Industry, 7 (1): 42-57. [In Persian]
- Ahmad, M., Benjakul, S., Sumpavapol, P. and Nirmal, N.P. (2012). Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil. International Journal of Food Microbiology, 155(3):171-178.
- Alparslan, Y. and Baygar, T. (2017). Effect of chitosan film coating combined with orange peel essential oil on the shelf life of deepwater pink shrimp. Food Bioprocess Technology, 10: 842–853.
- Alparslan, Y., Baygar, T., Baygar, T., Hasanhocaoglu, H. amd Metin, C. (2014). Effects of gelatin-based edible films enriched with laurel essential oil on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. Food Technology and Biotechnology, 52: 325–333.
- Baydar, H., Sagdic, O., Ozkan, G. and Karadogan, T. (2004). Antibacterial activity and composition of essential oils from Origanum, Thymbra and Satureja species with commercial importance in Turkey. Food Control, 15(3):169-172.
- Boziaris, I.S. and Parlapani, F.F. (2017). Specific spoilage organisms (SSOs) in fish. In The Microbiological Quality of Food, 1st ed.; Bevilacqua A., Corbo MR, Sinigaglia M, Eds; Wood head Publishing Ltd.: Cambridge, UK, pp. 61–98.
- Bui, H., Park, D. and Lee, Y. (2017). Nanoparticles for antimicrobial wound healing applications: A Mini Review of the Research Trends. Polymers, 9: 1–24.
- Carrión-Granda, X., Fernández-Pan, I., Rovira, J. and Maté, J.I. (2018). Effect of antimicrobial edible coatings and modified atmosphere packaging on the microbiological quality of cold stored hake (Merluccius merluccius) Fillets. Journal of Food Quality, 2018: 1-12.
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N. and Kontominas, M. G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. Food Microbiology, 21: 157-165.
- Desam, N.R, Al-Rajab, A.J., Sharma M., Mylabathula, M.M., Gowkanapalli, R. and Albratty, M. (2019). Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of Mentha× piperita L. (peppermint) essential oils Journal of King Saudi University Science, 31: 528-533.
- Djenane, D. (2015). Chemical profile, antibacterial and antioxidant activity of Algerian Citrus essential oils and their application in Sardina pilchardus. Foods, 4: 208-228.
- Fern´andez-Pan, I., Royo, M. and IgnacioMate, J. (2012). Antimicrobial activity of whey protein isolates edible films with essential oils against food spoilers and foodborne pathogens. Journal of Food Science, 77: M383–M390.
- Ghalabian, A. and Rumiani, L. (2021). Antioxidant and antimicrobial effect of orange peel essential oil on shelf life of rainbow trout. Journal of Food Industry Research, 28: 113-128. [In Persian]
- Hussain, M.A., Sumon, T. A., Mazumder, S.K., Ali, M.M., Jang, W.J. and Abualreesh, M.H, et al. (2021). Essential oils and chitosan as alternatives to chemical preservatives for fish and fisheries products: A review. Food Control, 2018: 1-12.

- Jafari Khatayloo, Y., and Almasi, H. (2018). Comparison of the effect of sodium benzoate and peppermint essential oil on physicochemical, microbial, sensorial and rheological properties of Mayonnaise sauce. Journal of Food Science and Technology, 80(15):157-169.
- 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.
- Kamani, J., Motalbei Moghanjoghi, A.A., Razavilar, V. and Rokni, N. (2020). Effects of nanochitosan with and without sodium acetate coating on pseudomonas fluorescens and the quality of refrigerated rainbow trout filets Iranian Journal of Fisheries Sciences, 19: 1479-14992.
- Kazemi, S. M. and Rezaei, M. (2016). Physical-mechanical and antimicrobial properties of fish gelatin-alginate films incorporated with oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil. Fisheries Science and Technology, 5: 123-135.
- Kheirkhah foghara, S. Jafarian, S. Zomorodi, S. Khosrowshahi asl, A. and Roozbeh Nasiraei, L. (2020). Fabrication and characterization of an active bionanocomposite film based on basil seed mucilage and ZnO nanoparticles. Journal of Food Measurement and Characterization, 14(6): 3542-3550.
- Mahboubi, M. and Kazempour, N. (2014). Chemical composition and antimicrobial activity of peppermint (Mentha piperita) essential oil. Journal of Science and Technology, 36: 83-87.
- Patel, S. (2015). Plant essential oils and allied volatile fractions as multifunctional additives in meat and fish-based food products: a review. Food Additives & Contaminants: Part A, 32(7):1049-64.
- Rajaei, E. and Shekarchizadeh. H. (2019). Investigation of physical and mechanical properties of edible film prepared from opopanax gum (*Commiphora guidottii*). Food Science and Technology, 16(91): 323-35.
- Shabanpour, B. and Zolfaghari, M. (2012). Processing and packaging of fish with changed atmosphere. Gorgan University Press, 187: 220-222. [In Persian]
- Tabatabaei Moradi, L., Sharifan, A. and Larijani, K. (2015). Antimicrobial activity of lemon and peppermint essential oil in edible coating containing chitosan and pectin on rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fillets .Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases, 3(1): 38-43.
- Valipour Kootenaie, F., Ariaii, P., Khademi Shurmasti, D. and Nemati, M. (2017). Effect of chitosan edible coating enriched with eucalyptus essential oil and α-tocopherol on silver carp fillets quality during refrigerated storage. Journal of Food Safety, 37(1):e12295.
- Zand, N. and Shahab Lavasani, A. (2021). The effect of modified atmosphere packaging and flexible films on growth of bacteria of dried kashk. Journal of Food Science and Technology, 17: 113-126. [In Persian]
- Zhang, Z.Y. and Xiong, H.M. (2015). Photoluminescent ZnO nanoparticles and their biological applications. Materials (Basel), 8: 3101– 3127.