



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of bilayer film containing titanium dioxide and Artemisia dracunculus essential oil on the shelflife of rainbow trout during storage at 4 °C

Khodanazary, A.^{1*}¹ Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2024/12/5

Revised: 2026/01/18

Accepted: 2025/12/6

Keywords:

Pullulan ,

Chitosan ,

TiO₂,

Tarragon essential oil ,

Nanocomposite film,

Rainbow trout fillet.

*Corresponding author:

✉ khodanazary@yahoo.comDoi: [10.52547/joc.16.63.7](https://doi.org/10.52547/joc.16.63.7)

ORID:0000-0001-8960-7324

ABSTRACT

Background and Objectives: Nowadays, there is a serious ecological problem with synthetic plastics in seafood packaging because of their total non-biodegradability. The objective of this study is the estimation of influence of pullulan (P)-chitosan (CH) film in combination with titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) and tarragon essential oil (TEO) on the bacterial counts, physicochemical properties, and sensory analysis of rainbow trout fillets during refrigerated storage.

Methods: For this aim, the treated fillets were divided including: pullulan-chitosan (PCH), PCH-TiO₂, PCH-TEO, and PCH/TiO₂-TEO.

Findings: The results demonstrate that the combination of TiO₂ and TEO with PCH solution is an active nanocomposite film with antimicrobial and antioxidant effects. The wrapped fillets improved the physicochemical properties (such as total volatile bases- nitrogen (TVB-N), pH, peroxide value (POV), and thiobarbituric acid (TBA)) during refrigeration storage. The highest rate of TVB-N (30.33 mg/N100g), pH (7.04), POV (1.79 meq peroxide/1000g lipid), and TBA (3.07 mg MDA/kg) was recorded in PCH/TiO₂-TEO wrapped fillets on day 12. The PCH-TEO was better than the (PCH-TiO₂) groups in reducing the rate of oxidation of lipids of rainbow trout fillets. However, there was no significant effect between them in the control of microbial population. The sensory acceptance score in rainbow trout fillet wrapped with PCH/TiO₂-TEO was better than other samples on days 12, and it was lower the critical score for fishery products.

Conclusion: Overall, these findings suggest that TiO₂/TEO PCH-based nanocomposite film could be utilized as alternative packaging method in seafood products with notable antioxidant, antibacterial, and nutritional properties.



NUMBER OF TABLES

0



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF REFERENCES

85

مقاله پژوهشی

تاثیر فیلم دولایه محتوای دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون بر ماندگاری ماهی قزل آلی رنگین کمان طی نگهداری در ۴ °C

آی ناز خدانظری^۱^۱گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۵

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۵

واژگان کلیدی:

پولولان،

کیتوزان،

اسانس ترخون،

فیلم نانوکامپوزیت،

فیله قزل آلی رنگین کمان.

*نویسنده مسئول



Doi: 10.52547/joc.16.63.7

ORID:0000-0001-8960-7324

پیشینه و اهداف: امروزه، یک مشکل زیست محیطی جدی با پلاستیک های مصنوعی در بسته بندی غذاهای دریایی، عدم تجزیه پذیری کامل آنها است. هدف از این مطالعه تخمین تأثیر فیلم پولولان-کیتوزان در ترکیب با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO₂) و اسانس ترخون بر تعداد باکتری ها، خواص فیزیکوشیمیایی و آنالیز حسی است.

روش ها: برای این منظور فیله های تیمار شده شامل: پولولان/کیتوزان، پولولان/کیتوزان-TiO₂، پولولان/کیتوزان-اسانس ترخون و پولولان/کیتوزان-TiO₂-اسانس ترخون تقسیم شدند.

یافته ها: نتایج نشان می دهد که ترکیب TiO₂ و اسانس ترخون با محلول پولولان/کیتوزان یک فیلم نانوکامپوزیتی فعال با اثرات ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی است. فیله های بسته بندی شده، خواص فیزیکوشیمیایی (مانند بازهای از ته فرار، pH، مقدار شاخص پراکسید و اسید تیوباربیتوریک) را در طول نگهداری در یخچال بهبود بخشیدند. بیشترین میزان بازهای از ته فرار (۳۰/۳۳ میلی گرم نیتروژن بر ۱۰۰ گرم)، pH (۷/۰۴)، شاخص پراکسید (۱/۷۹ meq پراکسید بر ۱۰۰۰ گرم لیپید)، تیوباربیتوریک اسید (۳/۰۷ میلی گرم مالون آدهید بر کیلوگرم) در فیله های پیچیده شده پولولان/کیتوزان-TiO₂-اسانس ترخون در روز ۱۲ ثبت شد. پولولان/کیتوزان-اسانس ترخون بهتر از گروه های پولولان/کیتوزان-TiO₂ در کاهش سرعت اکسیداسیون لیپیدهای فیله ماهی قزل آلی رنگین کمان بود. اگرچه، اما بین آنها در کنترل جمعیت میکروبی اثر معنی داری مشاهده نشد. نمره پذیرش حسی در فیله ماهی قزل آلی رنگین کمان پیچیده شده با پولولان/کیتوزان-TiO₂-اسانس ترخون بهتر از نمونه های دیگر در روز ۱۲ بود.

نتیجه گیری: به طور کلی، این یافته ها نشان می دهد که فیلم نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان/کیتوزان-TiO₂-اسانس ترخون می تواند به عنوان روش بسته بندی جایگزین در محصولات غذایی دریایی با خواص آنتی اکسیدانی، آنتی میکروبی و تغذیه ای قابل توجه استفاده شود.

غذایی (به عنوان مثال: آنتی اکسیدان‌ها، ضد میکروب‌ها) است. مکانیسم برهمکنش بین پولولان و کیتوزان با برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین پولولان با بار منفی (OH^-) و گروه‌های زنجیره جانبی با بار مثبت در کیتوزان (NH_3^+) توضیح داده می‌شود که منجر به تشکیل کمپلکس‌های پولولان-کیتوزان می‌شود. Wu و همکاران (۲۰۱۳) اثرات مفید پولولان-کیتوزان را برای بهبود خواص مکانیکی و ممانعتی، و همچنین خواص عملکردی (به عنوان مثال، خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی) مورد مطالعه قرار دادند.

مقدمه

در سال‌های اخیر، نانوذرات فلزی مانند دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) با ماتریس فیلم به عنوان نانوپرکننده‌های ضد میکروبی جدید برهمکنش می‌کنند (Shankar & Rhim, 2015) تا عملکرد فیزیکی و ضد میکروبی فیلم‌ها را افزایش دهند. همچنین نانوذرات می‌توانند فرآیند تخریب پلیمرها را کنترل کنند (Goñi-Ciauriz and Vélaz, 2022). طبق گفته سازمان غذا و دارو، نانوذرات (TiO_2) به عنوان یک افزودنی غذایی ایمن هستند (CFR, 2022)، که مقدار اضافه شده نباید از $\geq 1\%$ کل جرم غذا تجاوز کند. نانوذرات TiO_2 (۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر) دارای ویژگی‌های عالی از جمله مقرون به صرفه بودن، پایداری بالا، فعالیت فوتوکاتالیستی، جذب اشعه ماوراء بنفش، ضریب شکست بالا، مقرون به صرفه بودن، سمیت کم عنصر فراوان، فعالیت ضد باکتریایی و زیست سازگاری است که برای ساخت فیلم‌های نانوکامپوزیت مناسب است (Hou et al, 2019; Zhang and Rhim, 2022). در خصوص خواص آنتی اکسیدانی Taheri و همکاران (۲۰۱۷) و Alizadeh-Sani و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که نانوذرات TiO_2 به دلیل خاصیت مهار رادیکال‌های آزاد بر اکسیداسیون لیپید در نمونه‌های غذا تأثیر می‌گذارند. تحقیقات زیادی وجود دارد که پلیمرها و نانوذرات TiO_2 را به منظور به تاخیر انداختن رشد باکتری‌ها ترکیب می‌کنند (Hosseinzadeh et al., 2020; Sayadi et al., 2022). از ترکیبات زیست فعال طبیعی مانند اسانس‌ها برای افزایش خواص آنتی اکسیدانی فیلم‌ها استفاده می‌شود. اسانس ترخون (*Artemisia dracunculus*) دارای اثرات بیولوژیکی ارزشمندی مانند فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی است (Liu et al., 2018). اسانس ترخون حاوی منبع اصلی پلی فنول‌ها مانند فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک و استرهای آنها است. همانطور که محققان اعلام کرده‌اند، اسانس‌ها نمی‌توانند مستقیماً به دلیل برهمکنش بین ترکیبات اکسیداسیون فرار و عوامل محیطی مانند نور، اکسیژن و گرما استفاده شوند (Sharma et al., 2020). برخی مطالعات علمی موجود در مورد افزایش ماندگاری و حفظ محصولات شیلاتی در مورد استفاده از پلیمرهای زیستی در سیستم‌های هیبریدی و اسانس موجود است (Sharma et al. (2020); Kakaei and Shahbazi (2016); Alp- (2017). Erbay et al. (2017). ماتریس پلیمری می‌تواند با TiO_2 و اسانس‌ها برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی، نفوذپذیری بخار آب و فعالیت ضد باکتریایی و آنتی اکسیدانی ترکیب شود (Alizadeh et al., 2017; Gohargani, et al., 2020; Yang et al., 2022). هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی فیلم دولایه پولولان-کیتوزان حاوی TiO_2

پلاستیک‌های مصنوعی به دلیل سهولت استفاده، مقرون به صرفه بودن، خواص فیزیکی عالی و خاصیت ممانعت در برابر گاز به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۷] (Zhou et al., 2021). با این حال، استفاده گسترده زباله‌های پلاستیکی مصنوعی، نگرانی‌هایی را در مورد مشکلات زیست محیطی شدید ایجاد کرده است، زیرا آنها تجزیه ناپذیر هستند (Hadidi et al., 2022). مواد جایگزین مبتنی بر بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر مانند پلی ساکارید و پروتئین به طور گسترده توجه محققان را به خود جلب کرده است (Farsanipour et al., 2020; Ojagh et al., 2010). پولولان، به عنوان یک اگزوپلی ساکارید طبیعی میکروبی محلول در آب، از یک تریمر مالتوتریوز تشکیل شده است که از تری گلوکوزیدهای α - (۶ → ۱) - پیوند (۴ → ۱) با فرمول شیمیایی $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ تشکیل شده است (Singh et al., 2008)، که از محیط کشت مایع مخمر شبیه قارچ به نام *Aureobasidium pullulans* جدا می‌شود (Xu et al., 2015). پولولان توانایی‌های بسیار خوبی در تهیه فیلم دارد. خصوصیات فیلم تهیه شده توسط پولولان شامل بی‌رنگ بودن، شفاف بودن، عایق حرارتی و نفوذناپذیری بالا به روغن و اکسیژن است (Liu et al., 2019; Zhou et al., 2021). علاوه بر این، پولولان دارای خواص زیست سازگاری و زیست تخریب پذیری است (Ferrari Cervi et al., 2021). تمام این ویژگی‌های منحصر به فرد، پولولان را به گزینه‌ای ایده‌آل برای پلیمرهای مبتنی بر نفت تبدیل می‌کند. با این وجود، پولولان دارای کاستی‌های ذاتی مانند خواص مکانیکی ضعیف، آب دوستی بالا، و عدم عملکرد فعال (مانند فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی) و غیره است (Yan et al., 2020)، که می‌تواند خواص فیلم‌های پولولان خالص را از طریق اتصال عرضی با سایر زنجیره‌های پلیمری یا ترکیب با نانو پرکننده‌ها و ترکیبات فعال در فرمولاسیون پولولان افزایش دهد. بیوپلیمرها می‌توانند خواص پولولان را برای تولید فیلم‌های چند لایه بهبود بخشند تا خواص فیلم را بهبود بخشند (Rahman et al., 2019). در بین پلیمرهای زیستی، کیتوزان یک پلی ساکارید طبیعی است که از استیل زدایی کیتین به دست می‌آید. کیتوزان، یک پلیمر خطی از D-گلوکوزامین مرتبط با β -(۱-۴) و N-استیل D-گلوکوزامین، به طور گسترده در اسکلت بیرونی سخت پوستان و دیواره‌های سلولی قارچ یافت می‌شود (Rivero et al., 2009). کیتوزان دارای مزایایی از جمله خوراکی بودن، تجزیه پذیری زیستی، ظاهر زیبایی، خواص بازدارنده، غیر سمی و غیر آلاینده بودن و حامل مواد افزودنی

بار باکتریایی نمونه‌ها با هموژن کردن ۱۰ گرم نمونه در ۹۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۹٪ کلرید سدیم در شرایط استریل آغاز شد. از این محلول جهت تهیه رقت‌های متوالی استفاده شد. کشت باکتریایی مورد نظر با ریختن میزان مشخصی از نسبت‌های بدست آمده در پلیت‌های یکبار مصرف استریل و ریختن محیط کشت آگار بر آن صورت گرفت. برای شمارش کلنی‌های باکتریایی کل پلیت‌های تهیه شده به مدت ۲ روز در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و برای باکتری‌های سرمادوست به مدت ۷ روز در ۱۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. شمارش کلنی‌ها بر مبنای $\log_{10} \text{cfu/g}$ بیان گردید (Sallam, 2007).

آنالیز فیزیکوشیمیایی

اندازه‌گیری بازهای ازته فرار

اندازه‌گیری بازهای ازته فرار به روش کلدال و با تیتراسیون عصاره بدست آمده از آن انجام خواهد گرفت. بدین منظور ۱۰ گرم نمونه به همراه ۲ گرم اکسید منیزیم با افزودن ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن کلدال متصل شد و عصاره مورد نظر به محلول متشکل از اسید بوریک ۲٪ و ۲-۳ قطره متیل رد به عنوان شاخص وارد شد. محلول زرد رنگ حاصله با اسید سولفوریک تا حاصل شدن رنگ ارغوانی تیتراژ شد و به صورت میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه ماهی بیان شد (Goulas and Kontominas, 2005). میزان بازهای ازته فرار از طریق فرمول ذیل محاسبه گردید.

$$\text{حجم اسید سولفوریک مصرفی} \times ۱۴ = \text{بازهای ازته فرار}$$

اندازه‌گیری تیوباربیتوریک اسید

این شاخص طبق روش Siripatrawan and Noipha (۲۰۱۲) با افزودن ۹۷/۵ میلی-لیتر آب مقطر و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۴ نرمال به ۱۰ گرم نمونه هموژن شده اندازه‌گیری خواهد شد. ۵ میلی‌لیتر از مایع حاصل از تقطیر این مخلوط به ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید افزوده و به مدت ۳۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده خواهد شد. پس از سرد شدن میزان جذب مایع صورتی حاصل در طول موج ۵۳۸ نانومتر در دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری خواهد شد. عدد جذب خوانده شده در ثابت ۷/۸ ضرب شد تا میزان تیوباربیتوریک اسید نمونه بدست آید. میزان تیوباربیتوریک اسید بصورت میلی‌گرم مالون آلدهید اکیوالان بر کیلوگرم نمونه بیان خواهد شد.

$$\text{TBA}_{\text{value}} = ۷/۸ \text{ Abs}_{538}$$

$$\text{Abs}_{538} = \text{میزان جذب در طول موج } ۵۳۸ \text{ نانومتر}$$

اندازه‌گیری شاخص پراکسید

اسانس ترخون بر کیفیت فیله ماهی قزل آلائی رنگین کمان طی نگهداری در یخچال (4 ± 1 درجه سانتی‌گراد) است.

روش پژوهش

تهیه فیله ماهی

ماهی قزل آلائی رنگین‌کمان تازه به صورت تازه از بازارچه ماهی خریداری شدند. نمونه‌های ماهی و یخ به نسبت ۱ به ۲ (وزنی/وزنی) با جعبه‌های یونولیتی فوراً به آزمایشگاه فرآوری واقع در دانشگاه منتقل داده شد. سپس با آب شهری شستشوی اولیه شد و مجدداً با آب مقطر نمونه‌ها شستشو شدند. ماهی‌ها، سرزنی و تخلیه امعاء و احشاء شدند. از هر ماهی فیله تهیه شد. فیله ماهی‌ها با آب سرد شستشو داده شدند.

آماده سازی نمونه

اولین مرحله تهیه محلول‌های تشکیل دهنده فیلم با حل کردن بیوپلیمرها به طور جداگانه است. محلول پولولان با ۲/۵٪ (w/w) پلی-لاکتیک اسید در کلروفرم و هم زدن روی همزن مغناطیسی به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق تهیه شد (Kamali et al., 2022). محلول کیتوزان با حل کردن ۱٪ وزنی/حجمی کیتوزان (شرکت سیگما، وزن ملکولی متوسط، ویسکوزیته ۸۰۰-۲۰۰ cp) در اسیداستیک ۱٪/حجمی/حجمی بدست آمد (Ojagh et al., 2010). برای حل شدن بهتر کیتوزان، محلول به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با همزن مغناطیسی هم زده شدند.

همه فیلم‌ها با ریختن ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول بر روی سطح نجسب (۱۶*۲۷ سانتی متر) به دست خواهد آمد. فیلم‌های دولایه با روش قالب ریزی دو مرحله‌ای تهیه شدند؛ ۵۰ میلی‌لیتر محلول پولولان روی سطح ریخته شد، در دمای محیط (۲۰ درجه سانتیگراد) خشک شد تا سطحی سفت اما همچنان با خاصیت چسبندگی به دست آمد. لایه دوم ۵۰ میلی‌لیتر محلول کیتوزان حاوی در اکسید تیتانیوم به این فیلم‌های از پیش ساخته شده مبتنی بر پولولان اضافه خواهد شد و در نهایت سیستم دوباره خشک شد. نانوذرات اکسید تیتانیوم (۱۰٪ w/w بر اساس کیتوزان) استفاده شد (Lan et al., 2021). فیلم‌ها پس از خشک شدن از قالب جدا شده و به دور فیله‌ها پیچانده شدند. فیلم‌های دولایه همگی از سمت کیتوزان به دور فیله‌ها قرار گرفتند. نمونه‌های فیله به طور تصادفی به چهار گروه تقسیم خواهند شدند: (۱) پولولان-کیتوزان (۲) پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم؛ (۳) پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون؛ (۴) نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون. تمامی نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلن قرار گرفتند و در دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند. آنالیزهای شیمیایی، میکروبیولوژیکی و حسی در فواصل ۳ روزه برای تعیین کیفیت کلی ماهی قزل آلائی رنگین کمان انجام شد.

آزمون میکروبی نمونه‌ها

تیمار شده در شکل ۱ نشان داده شده است. در میان باکتری‌های سرمادوست، باکتری‌های گرم منفی، از جمله *Acinetobacter*، *Pseudomonas* و *Shewanells* جنس غالب باکتری‌هایی هستند که مسئول فساد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در سرما هستند (Du et al., 2022). تعداد باکتری مزوفیل اولیه در پولولان-کیتوزان، $3 \log_{10}$ CFU/g بود که در پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون به ترتیب $2.66 \log_{10}$ CFU/g، $3.0 \log_{10}$ CFU/g و $2.66 \log_{10}$ CFU/g بود که نشان‌دهنده کیفیت باکتریایی قابل قبول فیله ماهی است (Karim, 2013). تعداد اولیه کل باکتری‌های سرمادوست فیله قزل‌آلای رنگین کمان $2.66 \log_{10}$ CFU/g بود. نتیجه تعداد باکتری در روز صفر با آنچه که توسط Nowzari و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش شده است، مطابقت دارد. تعداد باکتری مزوفیل در طول نگهداری در یخچال به مدت ۱۲ روز افزایش یافت ($p < 0.05$) و به 14.66 ، 10.00 ، 10.00 و $5.66 \log_{10}$ CFU/g به ترتیب در فیلم‌های پولولان-کیتوزان، پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون در پایان ذخیره سازی رسید. همچنین، تعداد باکتری‌های سرمادوست به طور قابل توجهی افزایش یافت ($p < 0.05$) و در پایان ذخیره سازی به ترتیب به 9.66 ، 12.33 ، 10.00 و $6.33 \log_{10}$ CFU/g برای پولولان-کیتوزان، پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون رسید. سرعت افزایش تعداد باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست در نمونه‌های تیمار شده کندتر از پولولان-کیتوزان است، که نشان می‌دهد که نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم پولولان-کیتوزان به دلیل فیلم نیمه تراوا پولولان-کیتوزان تأثیر بسیار کمی بر کاهش روند رشد باکتری داشتند.

علاوه بر این، کیتوزان به دلیل (۱) برهمکنش گروه NH_3^+ مونومر گلوکزآمین در مولکول‌های کیتوزان با بارهای منفی ماکرومولکول‌ها بر روی سطح سلول باکتری، خواص ضد باکتریایی دارد. (۲) یون‌های فلزی کیلیت‌کننده با گروه‌های آمینه غیرپروتون شده کیتوزان روی سطح سلول برای مختل کردن دیواره یا غشای سلولی. (۳) اتصال کیتوزان با DNA برای جلوگیری از سنتز mRNA و پروتئین میکروارگانیسم‌ها (Goy and Morais, 2016). در بین تمام تیمارها، نمونه‌های پیچیده شده با نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون کمترین میزان باکتری مزوفیل و سرمادوست را داشتند ($p < 0.05$). در حالی که پولولان-کیتوزان اثر کمی بر کاهش رشد باکتری‌های زنده داشت، نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون می‌توانند خواص ضد باکتریایی را افزایش دهند. پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم فعالیت ضد باکتریایی بالاتری نسبت به پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون نشان داد، که نشان می‌دهد فعالیت ضد باکتریایی TiO_2 بهتر از اسانس ترخون بود و حضور اسانس ترخون و TiO_2

بدین منظور از روش یدومتری چربی استخراج شده از ۵۰ گرم نمونه گوشت با استفاده از کلروفرم/متانول به روش Woyewoda و همکاران (۱۹۸۶) استفاده شد. یدید پتاسیم در محیط اسیدی منجر به احیای پراکسید روغن استخراج شده از نمونه می‌شود. ید آزاد شده با افزودن معرف نشا سته تازه تهیه شده و تیتراسیون بو سیله تیو سولفات سدیم اندازه‌گیری شد. با استفاده از فرمول ذیل میزان پراکسید نمونه بر حسب میلی‌اکیوالان پراکسید بر ۱۰۰ گرم روغن ($\text{m.eq.peroxide/100g}$) بدست می‌آید:

$$\text{POV} = \frac{V \times N \times 1000}{W}$$

V= میلی لیتر تیوسولفات مصرفی برای تیتراسیون

N= نرمالیه تیوسولفات سدیم

W= وزن چربی (گرم)

اندازه‌گیری شاخص pH

بدین منظور ۵ گرم از نمونه به مدت ۱ دقیقه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر همگن شده و میزان pH آن با دستگاه pH سنج (Metrohm) اندازه‌گیری شد (Suvanich et al., 2000).

ارزیابی حسی

ارزیابی نمونه‌ها توسط ۳۲ نفر دانشجویان رشته شیلات آشنا با ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و تغییرات فساد آن انجام پذیرفت. بو رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها با مقیاس هدونیک^۱ (با اندکی تغییر) با اصطلاحات توصیفی زیر رتبه بندی شد: رنگ (۹، بدون تغییر رنگ، ۱، کاملاً رنگ پریده)، بو (۹، مطبوع، ۱، کاملاً نامطبوع)، پذیرش کلی (۹، خیلی خوب، ۱، خیلی بد).

محاسبات آماری

تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمون واریانس یک طرفه (ANOVA) بررسی شده و نتایج بصورت میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شد. اختلاف بین تیمارها، زمان‌ها و نیز اثر متقابل آنها با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ با استفاده از نرم افزار آنالیز آماری SPSS مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

تعداد باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست

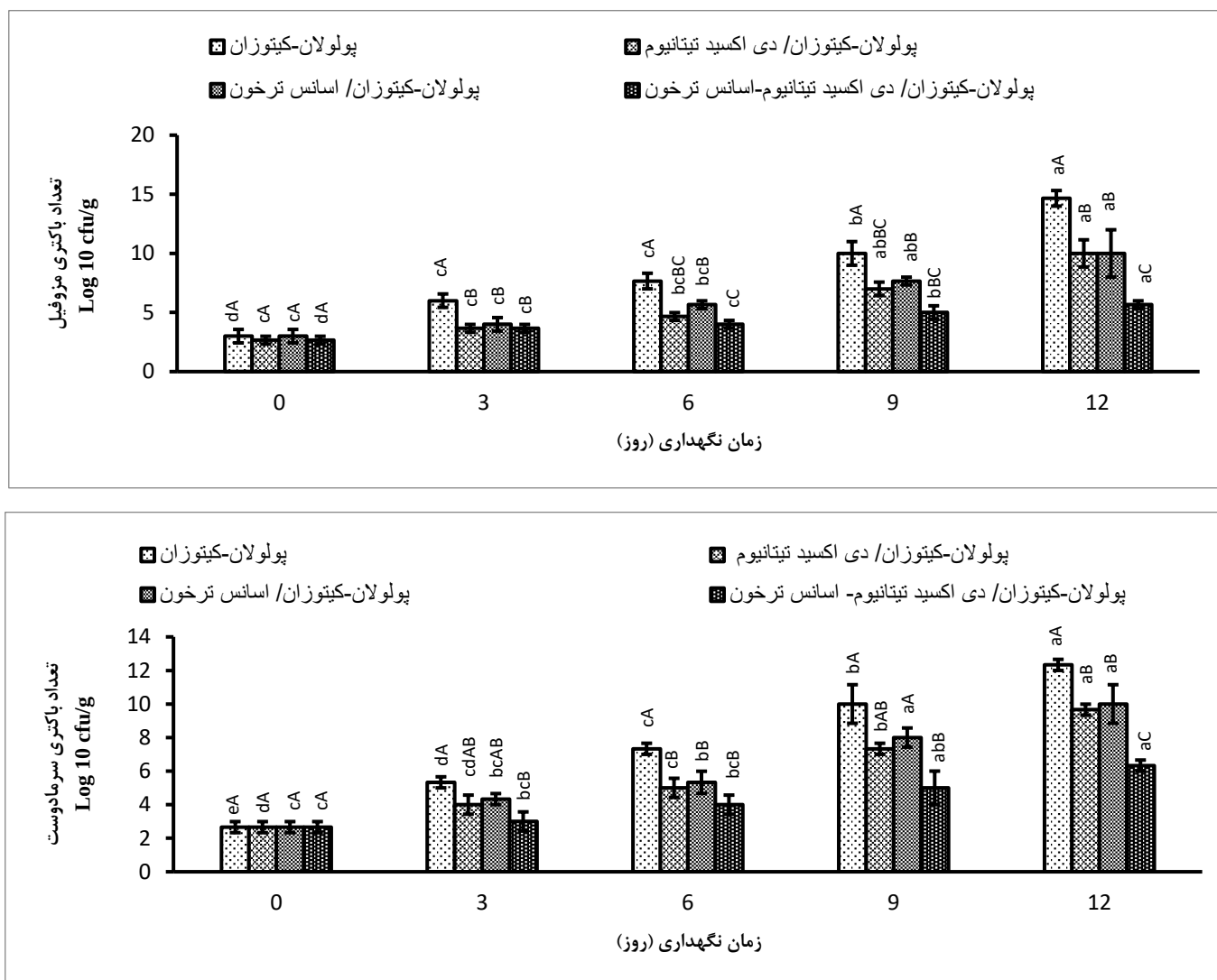
پروتئین یکی از فراوان ترین ترکیبات در غذاهای دریایی است و میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیمی باعث تجزیه پروتئین در محصولات دریایی می‌شود (Singh et al., 2016). کیفیت میکروبیولوژیکی فیله ماهی

1- Hedonic

گرم منفی هستند (Espitia, 2012; Akbar and Anal, 2014). اصفهانی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که باکتری های گرم مثبت نسبت به باکتری های گرم منفی حساس تر هستند. افزودن اسانس ترخون به محلول پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم می تواند به اثر هم افزایی مواد ضد میکروبی در این نمونه ها مرتبط باشد.

اسانس ها حاوی ترکیبات زیست فعال از جمله اسیدهای فنولیک و ترپنوئیدها و غیره هستند که منجر به خواص ضد میکروبی قوی در محصولات غذایی می شود (Baptista et al., 2020). فعالیت ضد میکروبی اسانس ترخون به حضور سابینن، β -ترپنین، ترپنین-۴-اول و α -پینن نسبت داده شده است (Liu et al., 2018). این ترکیبات می توانند متابولیسم سلولی را تحت تأثیر قرار دهند و باعث مرگ سلول های باکتریایی شوند: (۱) هیدرولیز دو لایه فسفولیپیدی غشای باکتری (Burt, ۲۰۰۴). (۲) برهمکنش های پلی فنل ها با پروتئین های انتقال دهنده پوشش سلولی و برهمکنش های غیر اختصاصی با کربوهیدرات ها (3). (Cowan, 1999) مهار سنتز اسید نوکلئیک باکتریایی (Rodríguez et al., 2016). Zhang و همکاران (۲۰۲۰) و Esmaeili و Khodanazary در سال ۲۰۲۱ دریافتند که افزودن اسانس ترخون به محلول کیتوزان باعث اثر هم افزایی فعالیت ضد باکتریایی می شود. Alizadeh Behbahani و همکاران (۱۳۹۶) و Raeisi و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند اسانس ترخون دارای اثر بازدارندگی در برابر باکتری های فاسد کننده غذاهای مختلف است. محتوای توصیه شده برای باکتری های مزوفیل ماهی تازه 10^7 CFU/g است (ICMSF, 1986). در روز ۶ ذخیره سازی، تعداد باکتری های مزوفیل در فیله ماهی قزل آلا رنگین کمان به حدود 10^6 CFU/g /۶۶ برای نمونه های پولولان-کیتوزان رسید که بالاتر از حد مجاز در ماهی خام است که ماندگاری میکروبیولوژیکی را در حدود ۵- نشان می دهد. ۶ روز برای نمونه های کنترل. نمونه های پیچیده شده با فیلم های پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و پولولان-کیتوزان حاوی اسانس ترخون برای خوردن تا ۹ روز نگهداری مناسب بودند. تعداد باکتری های مزوفیل برای فیلم های نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون از حد مجاز در پایان دوره ذخیره سازی فراتر نرفت.

با هم در فیلم نانوکامپوزیت اثر هم افزایی به عنوان قابل توجه ترین کاهش در باکتری ها داشت. شمارش می کند. نتایج مشابهی توسط Sayadi و همکاران در سال ۲۰۲۲ گزارش شده است. گنجاندن TiO_2 و اسانس ترخون در محلول پولولان-کیتوزان فعالیت ضد باکتریایی آن را نسبت به کل گروه های باکتریایی مشاهده شده تقویت کرد. بنابراین، نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون بهترین فعالیت ضد باکتریایی را در بین چهار فیلم کامپوزیت داشت. مکانیسم ضد باکتری TiO_2 ممکن است به دلیل (۱) خواص فوتوکاتالیستی آن باشد: تولید رادیکال های هیدروکسیل و گونه های اکسیژن فعال (ROS) غشای خارجی باکتری را با اکسید کردن اجزای فسفولیپید غیراشباع غشای سلولی باکتری تخریب می کند (Shibata et. al., 2010) و با آنزیم های سلولی کلیدی نیز واکنش نشان می دهند (Alizadeh-Sani و همکاران، ۱۳۹۹؛) (۲) نانوذرات TiO_2 و سلول های باکتری دارای بارهای مخالف هستند: جاذبه الکترواستاتیکی بین سلول های باکتریایی و نانوذرات TiO_2 منجر به اختلال در غشای سلولی باکتری می شود (Feris و همکاران، ۲۰۰۹؛ Planchon و همکاران، ۲۰۱۳). چندین مطالعه نشان داده اند که نانوذرات TiO_2 دارای فعالیت ضد میکروبی است (Othman و همکاران، ۲۰۱۴؛ Xu و همکاران، ۲۰۲۰؛ Yuan و همکاران، ۲۰۲۳). Sharma و همکاران (۲۰۲۲) خواص ضدباکتریایی نانوذرات TiO_2 را در برابر *E. coli* و *Staphylococcus aureus* در فیلم های ترکیبی کامپوزیتی PLA/PBAT تایید کرد. در مطالعه دیگری، Xu و همکاران. (۲۰۱۷) دریافتند که لایه های بیوپلیمر اکسید گرافن / کیتوزان / TiO_2 رشد *Aspergillus niger* و *Bacillus subtilis* را محدود می کنند. Khashan و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که فعالیت ضد باکتریایی نانوذرات TiO_2 باعث کاهش رشد میکروبی (اشریشیا کلی، سودوموناس آئروژینوزا، پروتئوس و لگاریس و استافیلوکوکوس اورئوس) می شود. برخلاف مطالعات قبلی، Lin و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که کیتوزان- TiO_2 هیچ اثر بازدارنده ای در برابر محیط کشت نداشت. به گفته Esfahani و همکاران (۲۰۲۰)، نشاسته ساگو تقویت شده با اسانس دارچین و نانوذرات TiO_2 دارای فعالیت ضد میکروبی در برابر میکروارگانیسم ها (سالمونلا تیفی موریوم، اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس) است. به طور کلی، به نظر می رسد که باکتری های گرم مثبت به دلیل تفاوت های ساختاری و قطبی در غشای سلولی باکتری نسبت به اکسیدهای فلزی-NP حساس تر از باکتری های



شکل ۱- تغییرات در تعداد باکتری های مزوفیل و سرمادوست فیله های قزل آلائی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال.

مقادیر میانگین و خطاهای استاندارد از سه تکرار ارائه شده است. حروف بزرگ مختلف در مدت زمان ذخیره سازی یکسان نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$). حروف کوچک مختلف در یک تیمار نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$).

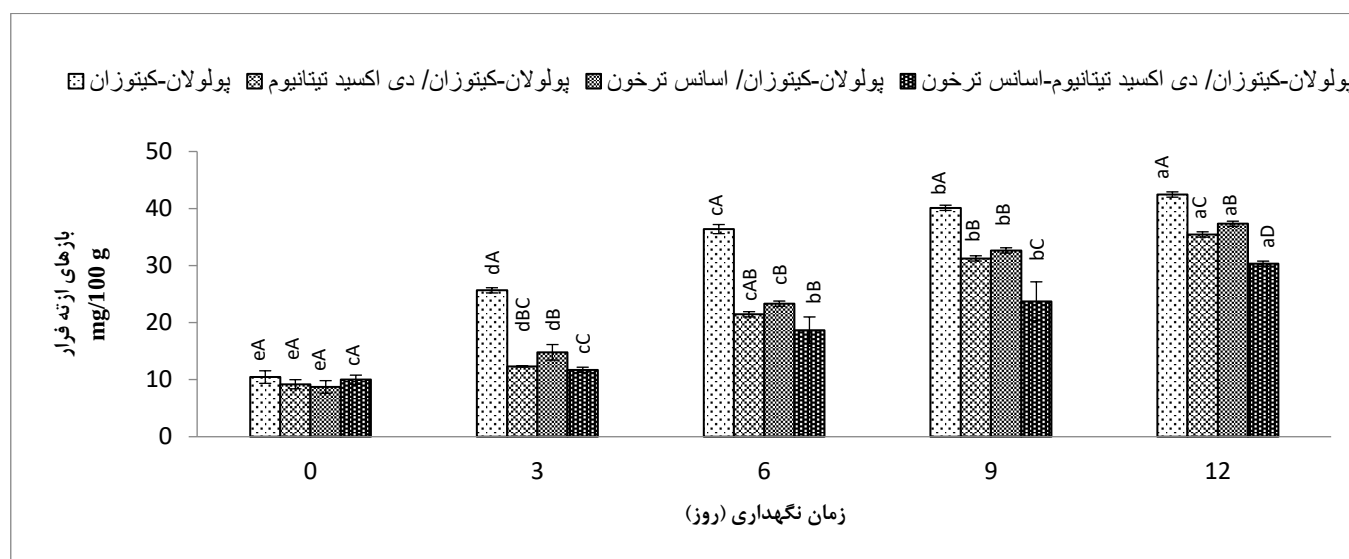
حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون مشاهده شد. افزایش مقدار بازهای ازته فرار را می توان به صورت زیر توضیح داد: (۱) آنزیم های باکتری ترکیبات نیتروژنی تولید می کنند، (۲) فعال بودن آنزیم های داخلی عضله (Alizadeh-Sani و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، مقدار بالاتر بازهای ازته فرار شاخصی از فساد فیله است. مقادیر بازهای ازته فرار قزل آلائی رنگین کمان تیمار شده با TiO_2 کمتر از ماهی های تیمار شده با اسانس ترخون بود، که نشان می دهد نانوذرات TiO_2 در کاهش تخریب ترکیبات نیتروژنی فیله های ماهی قزل آلائی رنگین کمان موثرترین هستند. در مقایسه با سایر تیمارها، فیلم پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون بالاترین ویژگی های میکروبی را در طول ذخیره سازی نشان داده است که منجر به اثر کمتر آنزیم های باکتری و در نتیجه ارزش بازهای ازته فرار این نمونه ها می شود. نتایج مشابهی برای فیله

تغییرات میزان بازهای ازته فرار

آزمون بازهای ازته فرار، شامل آمونیاک، آمین های اولیه، ثانویه و سوم، به عنوان یک شاخص فساد برای ارزیابی کیفیت ماهی خام اندازه گیری می شود (Benjakul et al., 2003). شکل ۲ تغییرات میزان بازهای ازته فرار همه نمونه ها را در کل زمان ذخیره سازی نشان می دهد. در روز صفر، مقادیر بازهای ازته فرار در نمونه های تیمار شده بین ۸/۷۳ و ۱۰/۴۶ میلی گرم نیتروژن بر ۱۰۰ گرم گوشت بود که نشان دهنده کیفیت قابل قبول ماهی خام است. مقادیر بازهای ازته فرار نمونه های تیمار شده با طولانی شدن زمان نگهداری به طور قابل توجهی افزایش یافت ($P < 0.05$). بالاترین مقدار بازهای ازته فرار در نمونه پولولان-کیتوزان مشاهده شد و پس از آن فیله پیچیده شده با پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان

هنگام استفاده ترکیبی با نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون در کاهش مقدار بازهای ازته فرار هم افزایی نشان می دهد. میزان ۲۰-۳۰ میلی گرم نیتروژن بر ۱۰۰ گرم نمونه سطح قابل قبول بازهای ازته فرار در غذاهای دریایی است (Idakwo et al. 2016). بنابراین بهترین دوره نگهداری برای فیله های ماهی قزل آلا رنگین کمان تیمار شده با پولولان-کیتوزان، ۶ روز بود، در حالی که فیله های پیچیده شده پولولان-کیتوزان/ نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون یا فیله های بسته بندی شده پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون به ترتیب در روزهای ۹ و ۱۲ دوره نگهداری به این حد رسیدند که نشان دهنده تاخیر میکروبی و تاخیر فساد شیمیایی است.

های غذاهای دریایی پیچیده/یا پوشش داده شده با اسانس های گیاهی/ و نانوذرات فلزی موجود در فیلم/یا پوشش بیوپلیمری گزارش شده است (Mosavinia et al., 2022). Sayadi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش داد که کاهش مقادیر بازهای ازته فرار در نمونه های تیمار شده با فیلم مبتنی بر آلژینات همراه با اسانس زیره سبز و نانوذرات TiO_2 می تواند ماندگاری گوشت گاو را در طول ذخیره سازی افزایش دهد. می توان استنباط کرد که فیلم پولولان-کیتوزان در ترکیب با نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون به عنوان مواد ضد میکروبی نسبت به فیلم های دیگر در کنترل محتوای بازهای ازته فرار فیله ها موثرتر است، که نشان می دهد فیلم پولولان-کیتوزان در



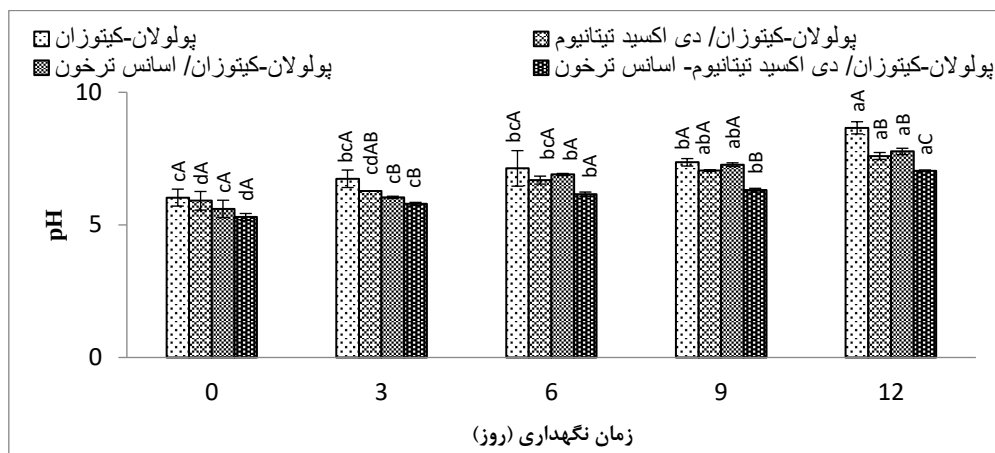
شکل ۲- تغییرات در مقدار بازهای ازته فرار فیله های قزل آلا رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال.

مقادیر میانگین و خطاهای استاندارد از سه تکرار ارائه شده است. حروف بزرگ مختلف در مدت زمان ذخیره سازی یکسان نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$). حروف کوچک مختلف در یک تیمار نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$).

تغییرات میزان pH

کارایی نمونه های تیمار شده بر روی میزان pH در طول نگهداری در یخچال در شکل ۳ نشان داده شده است. محتوای pH اولیه 7.11 ± 0.37 بود که در محدوده میزان pH نرمال قرار داشت (Arfat et al., 2015). پس از مرگ ماهی، تبدیل گلیکوژن به اسید لاکتیک منجر به کاهش محتوای pH می شود (Li و همکاران، ۲۰۱۲). مقدار pH به طور قابل توجهی افزایش یافته است ($P < 0.05$) که در نمونه های پولولان-کیتوزان، پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون بعد از ۱۲ روز نگهداری به ترتیب به 7.43 ، 7.36 ، 6.22 و 6.22 رسید. این افزایش pH در ارتباط با (۱) تخریب باکتریولوژیکی پروتئین با تولید مواد قلیایی مانند آمونیاک، تری متیل آمین و ترکیبات اساسی فرار و (۲) است (Nirmal and Benjakul, 2011). (۲) تجزیه پروتئین ماهی تحت اکسیدزنی کافی (Esmaili and Khodanazary, ۲۰۲۱) است. بر اساس یافته های ما، میزان افزایش محتوای pH در پولولان-داری بر محتوای pH ندارد.

کیتوزان به طور قابل توجهی بیشتر از سایر نمونه های تیمار شده بود. می توان آن را به رشد بالای باکتری در این نمونه ها نسبت داد که در نتایج بخش باکتری نشان داده شده است (شکل ۱). در بین تمام تیمارها، نمونه های تیمار شده با پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون کمترین مقدار pH را داشتند. بنابراین، تاخیر در افزایش محتوای pH در فیلم های نانوکامپوزیتی حاوی TiO_2 و اسانس ترخون را می توان به اثرات ضد میکروبی سینرژیک این افزودنی ها در برابر رشد باکتری ها و جلوگیری از تجزیه پروتئین ها و سایر ترکیبات نیتروژنی نسبت داد (Alizadeh-Sani et al., 2020). مشاهدات مشابهی توسط Alizadeh-Sani و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای گوشت بره تیمار شده با پروتئین آب پنیر و لایه های ماتریکس نانوالیاف سلولز حاوی روغن رزماری- TiO_2 یافت شد و همچنین Sayadi و همکاران در سال ۲۰۲۲ برای گوشت گاو تیمار شده با فیلم نانوکامپوزیتی مبتنی بر آلژینات حاوی اسانس زیره سبز - TiO_2 یافت شد. اگرچه Bahram و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان داد که ترکیب اسانس دارچین در پوشش غلیظ پروتئین آب پنیر تأثیر معنی داری بر محتوای pH ندارد.



شکل ۳- تغییرات در مقدار pH فیله های قزل آلائی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال.

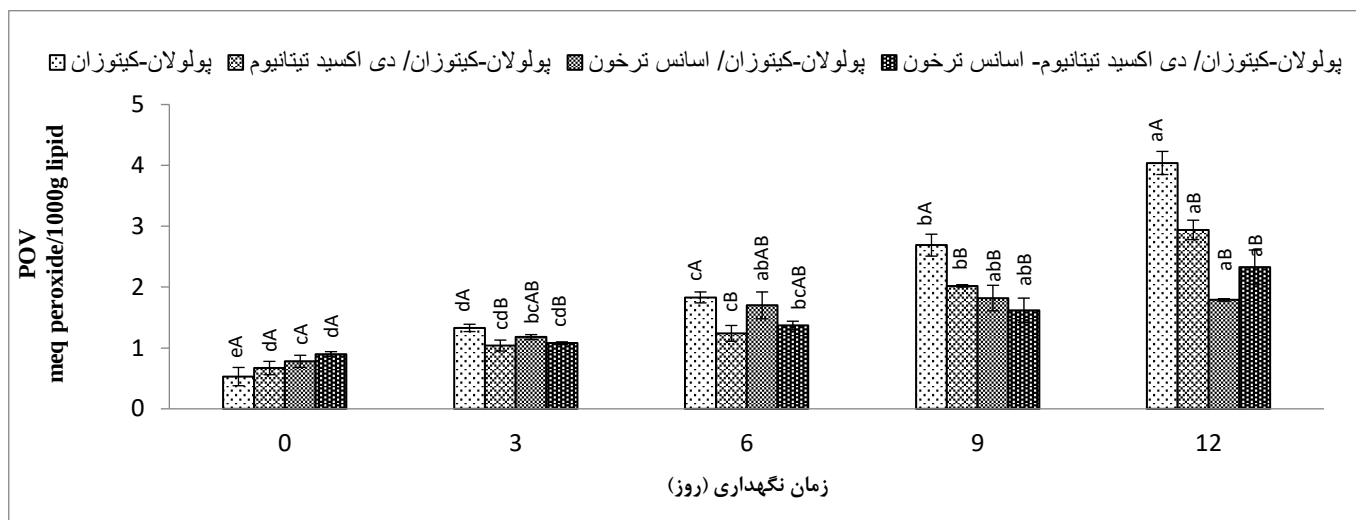
مقادیر میانگین و خطاهای استاندارد از سه تکرار ارائه شده است. حروف بزرگ مختلف در مدت زمان ذخیره سازی یکسان نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$). حروف کوچک مختلف در یک تیمار نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$).

تغییرات میزان پراکسید و تیوباربیتوریک اسید

تغییرات در میزان پراکسید فیله های قزل آلائی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. در روز صفر، محتوای پراکسید از ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ مگا اکسیوالان پراکسید/۱۰۰۰ گرم لیپید متغیر بود. افزایش تدریجی محتوای پراکسید در همه گروه‌ها مشاهده شد ($P < 0.05$), اما فیله پیچیده‌شده با پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون باعث کاهش تولید پراکسید در طول ذخیره‌سازی شد. بیشترین میزان پراکسید مربوط به روز دوازدهم نمونه‌های شاهد (۱/۹۴ مگا اکسیوالان پراکسید/۱۰۰۰ گرم لیپید) بود. همه فیلم‌های خوراکی پراکسید کمتری نسبت به پولولان-کیتوزان نشان دادند، به این معنی که نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون می‌توانند اکسیداسیون لیپید فیله‌ها را کاهش دهند. تست تیوباربیتوریک اسید به عنوان یک شاخص ضروری، مالون دی آلدئید (MDA) (محصولات ثانویه اسیدهای چرب غیراشباع) را اندازه گیری می کند (Heydari-Majd et al., 2019). افزایش محتوای تیوباربیتوریک اسید نشان‌دهنده ترشیدگی لیپید غذاهای دریایی است (Alsaggar et al., 2017) که منجر به تولید بو و طعم نامطبوع و کاهش ماندگاری می‌شود. محتوای تیوباربیتوریک اسید تمام نمونه‌ها در شکل ۵ بیان شده است. مقادیر اولیه تیوباربیتوریک اسید همه نمونه‌ها ۰/۸۴-۰/۵۹ میلی گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم بود که نشان دهنده تازگی فیله است. این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط Nowzari و همکاران در سال ۲۰۱۳ مطابقت دارد. میزان تیوباربیتوریک اسید گروه‌های تیمار شده به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت ($P < 0.05$). نوسانات محتوای تیوباربیتوریک اسید در تمام گروه‌ها در طول دوره نگهداری مشاهده شد. محتوای تیوباربیتوریک اسید برای فیله تیمار شده با پولولان-کیتوزان، پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید

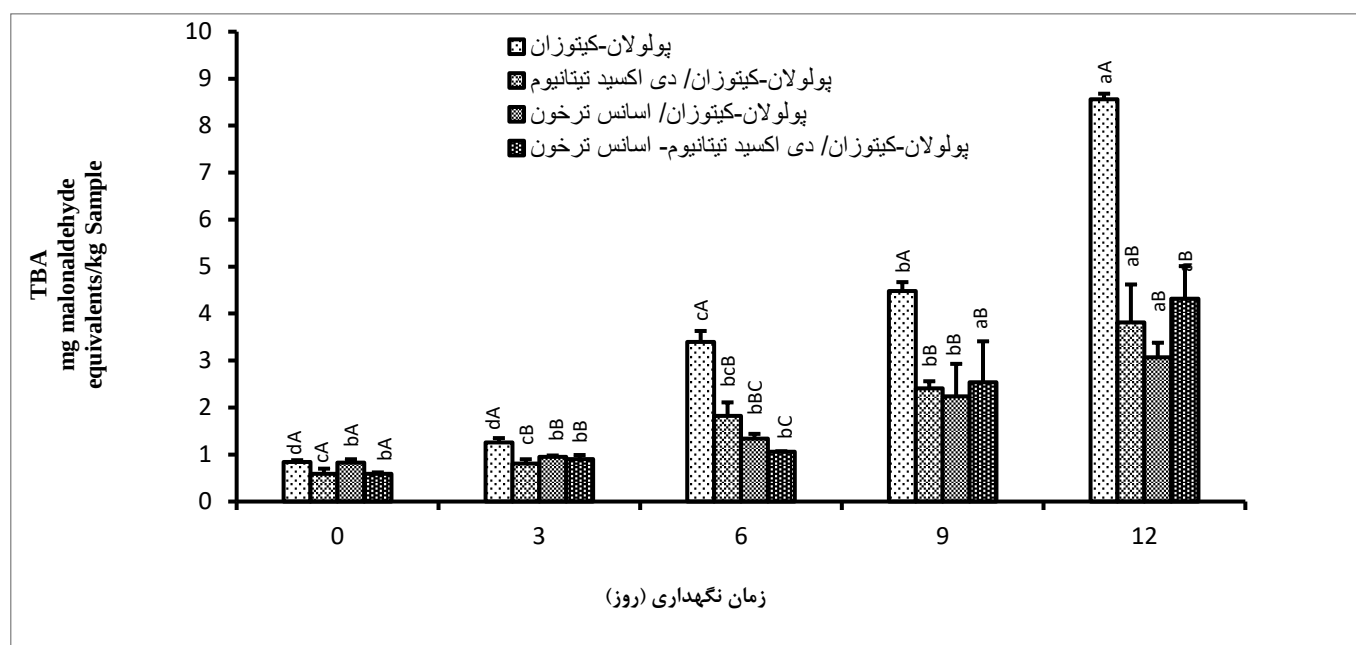
تیتانیوم و اسانس ترخون به ترتیب ۸/۵۶، ۳/۸۱، ۴/۳۲ و ۳/۰۷ میلی گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم در روز ۱۲ بود. با توجه به نتایج تیوباربیتوریک اسید و پراکسید، فعالیت مهارتی ناپیچ فیلم پولولان-کیتوزان نشان داده شده است. پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی را نشان داد. از سوی دیگر، فعالیت آنتی اکسیدانی پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم بهتر از پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون بود. لازم به ذکر است که اثر آنتی اکسیدانی پولولان-کیتوزان و پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم یکسان بود. این نتایج نشان می‌دهد که برهمکنش بین پولولان-کیتوزان، TiO_2 و اسانس ترخون برای بی حرکت کردن اسانس ترخون و جلوگیری از تعامل آزاد با رادیکال‌های آزاد اکسید کننده می‌تواند منجر به کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون شود (Riahi et al., 2021). وجود برخی پپتیدهای آنتی اکسیدانی موجود در کیتوزان به عنوان عوامل آنتی اکسیدانی در فیلم‌های پولولان-کیتوزان بازی می‌کند. Lan و همکاران (۲۰۲۱) بر این باور بودند که نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات TiO_2 یک اثر بازدارنده قوی بر فعالیت مهار رادیکال DPPH دارد. با این حال، چندین محقق نشان دادند که ادغام نانوذرات / یا اسانس‌های مختلف در پوشش یا فیلم کیتوزان باعث بهبود یون اکسیداسیون می‌شود (Vieira et al., 2019; El-Obeid et al., 2018; Duan et al., 2010; Heydari-Majd et al., 2019). Feng و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرد که پوشش‌های خوراکی جدا شده از پروتئین آب پنیر که با TiO_2 ترکیب شده‌اند، نتوانستند به طور قابل توجهی اکسیداسیون لیپید را مهار کنند. با توجه به حداکثر سطوح قابل قبول تیوباربیتوریک اسید غذاهای دریایی (۱-۲ میلی گرم MDA/kg) (Lakshmanan, 2000)، نمونه‌های پولولان-کیتوزان، پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم، پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون و نانوکامپوزیت مبتنی بر پولولان-کیتوزان حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسانس ترخون به ترتیب در روز ۶، ۹، ۹ و ۹ فاسد شدند. نتایج ما نشان می‌دهد که پولولان-کیتوزان ترکیب شده با TiO_2 و اسانس

ترخون می تواند فیله های قزل آلائی رنگین کمان را از اکسیداسیون لیپیدها حفظ کند.



شکل ۴- تغییرات در مقدار پراکسید فیله های قزل آلائی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال.

مقادیر میانگین و خطاهای استاندارد از سه تکرار ارائه شده است. حروف بزرگ مختلف در مدت زمان ذخیره سازی یکسان نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$). حروف کوچک مختلف در یک تیمار نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$).



شکل ۵- تغییرات در مقدار تیوباربیتوریک اسید فیله های قزل آلائی رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال.

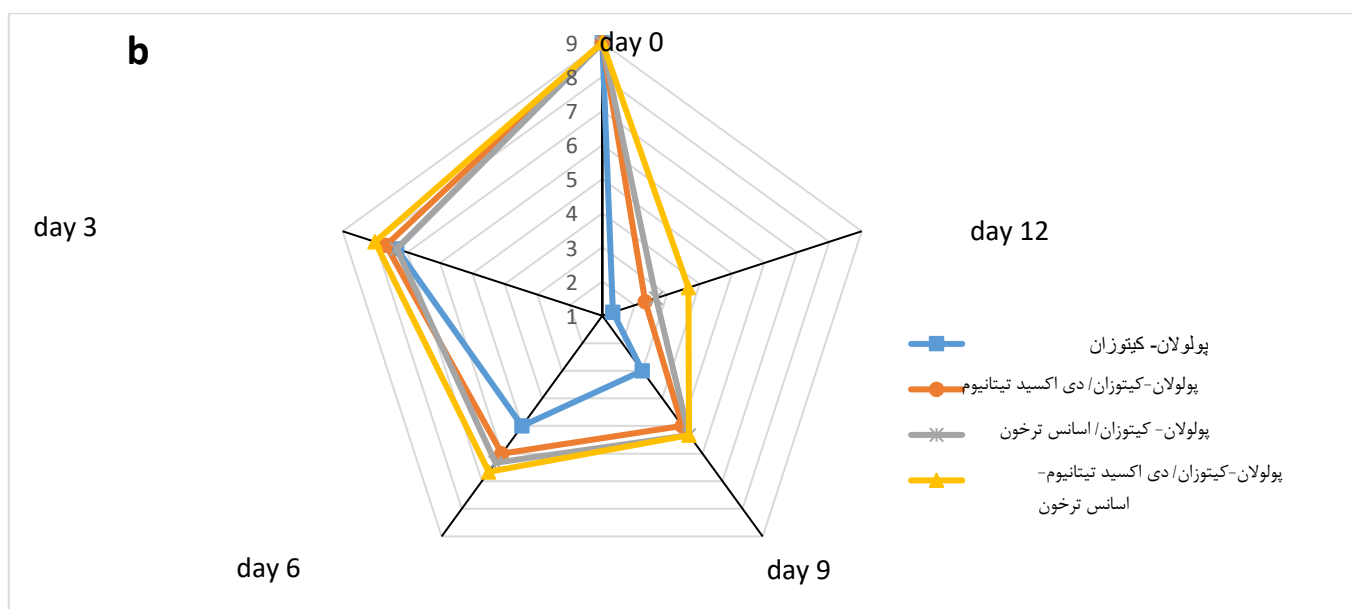
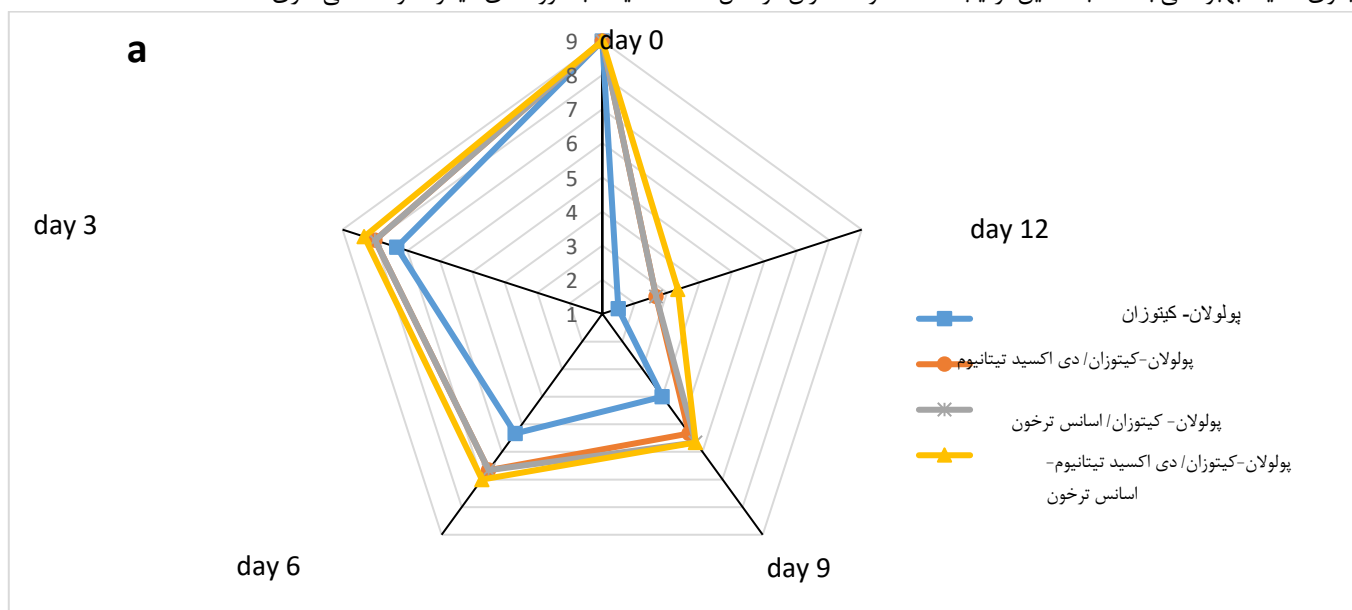
مقادیر میانگین و خطاهای استاندارد از سه تکرار ارائه شده است. حروف بزرگ مختلف در مدت زمان ذخیره سازی یکسان نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$). حروف کوچک مختلف در یک تیمار نشان دهنده تفاوت معنی داری است ($P < 0.05$).

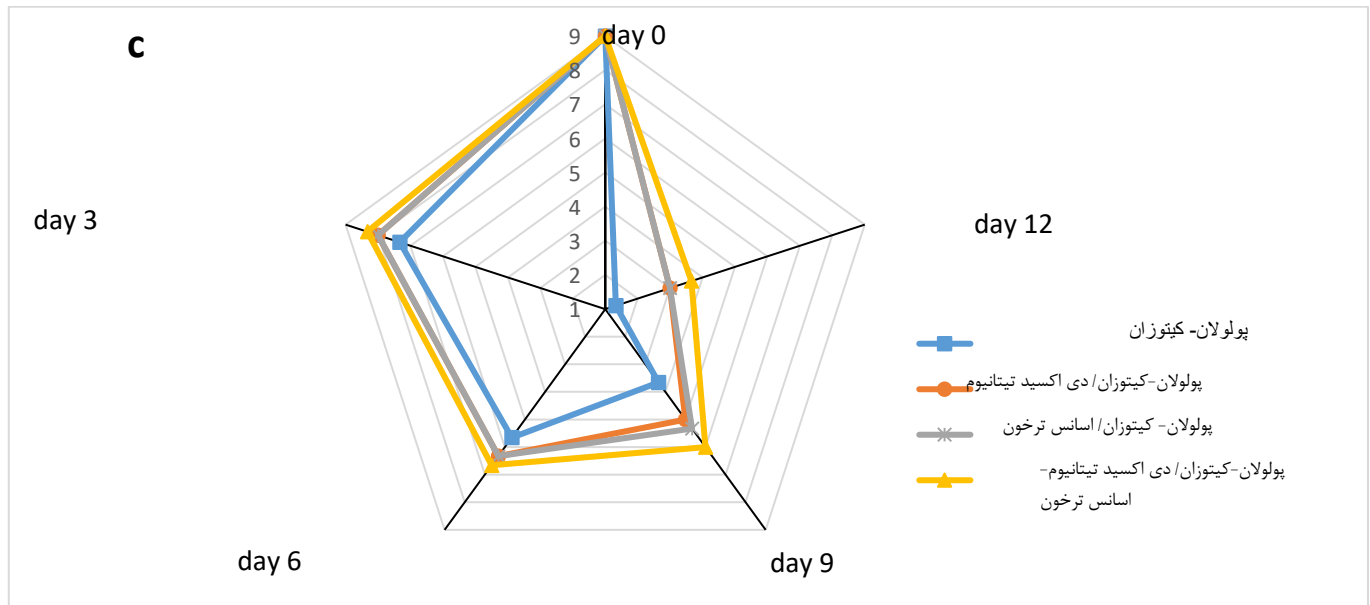
گندیده یا متعفن، بدون رنگ براق و غیرقابل قبول بودن است. نمونه های پیچیده شده با پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون و نمونه های پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم از نظر آماری تفاوت معنی داری در نمرات حسی نداشتند، اگرچه نمونه های پیچیده شده با پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم- اسانس ترخون به دلیل فعالیت های ضدباکتریایی و آنتی اکسیدانی آن ها، نمرات ویژگی های حسی بالاتری نسبت به نمونه های بسته شده پس از ۱۲ روز نگهداری داشتند. ارزیابی حسی گروه های پولولان-

ارزیابی حسی نمرات ویژگی های حسی (رنگ یا بو و پذیرش کلی) تمام تیمارها با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت (شکل ۶). برای اندازه گیری ویژگی های حسی از مقیاس لذت ۹ درجه ای استفاده شد: ۹ بالاترین کیفیت و امتیاز بالاتر (۰) نشان دهنده کیفیت بدتر (Ehsani et al., 2016). خواص حسی با افزایش زمان نگهداری کاهش یافته بود ($p < 0.05$). امتیاز حسی ≥ 6 نشان دهنده غیرقابل قبول بودن مصرف (Alizadeh-Sani et al., 2017) با نشانه بوی

۲۰۱۵ گزارش داد که افزودن اسانس برگ ریحان به نانوکامپوزیت ژلاتین- ZnO می‌تواند مقبولیت کلی فیله‌های باس دریایی در یخچال را افزایش دهد. Sayadi و همکاران (۲۰۲۲) همچنین اعلام کرد که استفاده از نانوذرات TiO_2 و اسانس گیاهی زیره در محلول آلژینات کیفیت گوشت گاو را افزایش داد. اگرچه تحقیقات اساسی نشان می‌دهد که فیلم پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم-اسانس ترخون می‌تواند به طور موثر از رشد باکتری ماهی تازه جلوگیری کند، اسناد حسی در فیلم پولولان-کیتوزان در مقایسه با گروه‌های دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت.

کیتوزان تا روز ششم نمره‌های «غیرقابل قبول» داده شد. در روز نهم، نمونه پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم و پولولان-کیتوزان/اسانس ترخون قابل قبول نبود. فیلم پولولان-کیتوزان/دی اکسید تیتانیوم-اسانس ترخون به بهترین وجه مقبولیت کلی را در مقایسه با سایرین حفظ کرد. در تأیید این نتیجه، تحقیقات مشابهی توسط Azizi-Lalabadi و همکاران در سال ۲۰۲۰ و Alizadeh-Sani و همکاران در سال ۲۰۱۷ انجام شد که به طور موثر ویژگی‌های حسی را با استفاده از نانوذرات TiO_2 به ترتیب برای بره و میگوی سفید، بهبود می‌بخشد. به همین ترتیب، Arfat و همکاران در سال





شکل ۶- تغییرات (الف رنگ؛ ب بو؛ ج) ترجیح کلی ماهی قزل آلا رنگین کمان در طول نگهداری در یخچال

Salmonella typhimurium and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. *Food Control* 38:88–95

- [2] B. Alizadeh Behbahani, F. Tabatabaei Yazdi, F. Shahidi, S.A. Mortazavi, M. Mohebbi, Principle component analysis (PCA) for investigation of relationship between population dynamics of microbial pathogenesis, chemical and sensory characteristics in beef slices containing Tarragon essential oil. *MicroB. Pathog.* 105 (2017) 37-50.
- [3] Alizadeh-Sani, M., Mohammadian, E., & McClements, D. J. (2020). Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO_2 and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. *Food Chemistry*, 322, 126782.
- [4] Alizadeh-Sani, M., Ehsani, A. and Hashemi, M., 2017. Whey protein isolate/cellulose nanofibre/ TiO_2 nanoparticle/rosemary essential oil nanocomposite film: Its effect on microbial and sensory quality of lamb meat and growth of common foodborne pathogenic bacteria during refrigeration. *International Journal of Food Microbiology*, 251, 8-14.
- [5] Aljabeili, H.S., H. Barakat, and H.A. Abdel-Rahman, Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of thyme essential oil (*Thymus vulgaris*). *Food and Nutrition Sciences*, 2018. 9(05): p. 433.

نتیجه گیری

مطالعه نشان داد که پولولان-کیتوزان تأثیر کمی در کشتن باکتری ها یا توقف رشد آنها دارد. تجزیه و تحلیل نتایج باکتریایی نشان داد که گروه های پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم- اسانس ترخون فیلم های نانوکامپوزیتی عالی برای بسته بندی فعال ضد میکروبی محصولات شیلانی هستند. نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون نیز خواص آنتی اکسیدانی خوبی نشان دادند، زیرا مقادیر پراکسید و تیوباربیتوریک اسید این نمونه ها در طول دوره ذخیره سازی کمتر از نمونه های پولولان-کیتوزان بود. همچنین با استفاده همزمان از نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون، فعالیت آنتی اکسیدانی آنها در برابر اکسیداسیون لیپیدها بیشتر از فیلم های پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون یا پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم بود، زیرا برهمکنش های متضاد بین نانوذرات TiO_2 و اسانس ترخون وجود دارد. این تحقیق تایید دیگری بر فعالیت های بیولوژیکی نانوکامپوزیت پولولان-کیتوزان/ دی اکسید تیتانیوم و فیلم های کامپوزیت پولولان-کیتوزان/ اسانس ترخون در صنعت بسته بندی مواد غذایی بود.

تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

- [1] Akbar A, Anal AK (2014) Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against

- [14] Benjakul, S., Seymour, T. A., Morrissey, M. T., & AN, H. (1997). Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage. *Journal of Food science*, 62, 729–733.
- [15] S. Benjakul, W. Visessanguan, J. Tueksuban, Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice. *Food Chemistry*, 80 (2003) 535–544.
- [16] Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods: A review. *International Journal of Biological Macromol*, 94(3), 223–253.
- [17] CFR - Code of Federal Regulations Title 21 (n.d.), <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=73.575>. (Accessed 11 January 2022).
- [18] M.M. Cowan, Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12 (1999) 564–582.
- [19] S. Dehghani, S.V. Hosseini, J.M. Regenstein, Edible films and coatings in seafood preservation: A review, *Food Chem.* 240 (2017) 505-5013.
- [20] J. Duan, G. Cherian, Y. Zhao, Quality enhancement in fresh and frozen lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets by employment of fish oil incorporated chitosan coatings. *Food Chem.* 119 (2010) 524-532.
- [21] Du, G, Gai, Y, Zhou, H, Fu, S, Zhang, D. 2021. Assessment of Spoilage Microbiota of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) during Storage by 16S rDNA Sequencing. *Journal of Food Quality*. 5367984.
- [22] T. El-Obeid, M. Yehia, H. Sakkas, L. Lambrianidi, M.I. Tsiraki, I.N. Savvaidis, Shelf-life of smoked eel fillets treated with chitosan or thyme oil. *Int. J. Biol. Macromol.* 114 (2018) 578-583.
- [23] A.E. Goulas, M.G. Kontominas, Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chem.* 93 (2005) 511–520.
- [24] Esfahani, A., Ehsani, M., Mizani, M., Mohammadi Nafchi, Abdorreza. 2020. The synergistic effects of
- [6] Almasi, H., S. Azizi, and S. Amjadi, Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. *Food Hydrocolloids*, 2020. 99: p. 105338.
- [7] E. Alp-Erbay, B.B.G. Dağtekin, M. Türe, A.F. Yeşilsu, S. Torres-Giner, Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly(ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage. *LWT– Food Sci. Tech.* 78 (2017) 340–351.
- [8] Alsaggaf, M.S., Moussa, S.H., Tayel, A.A. 2017. Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological, chemical and sensorial quality enhancement of Nile tilapia fillets. *International Journal of Biological Macromolecules*. 99: 499-505.
- [9] Y.A. Arfat, S. Benjakul, K. Vongkamjan, P. Sumpavapol, S. Yarnpakdee, J. Food Sci. Technol. 52, 6182-6193 (2015)
- [10] ASTM-E96, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, ASTM Int, West Conshohocken, PA, 2005 https://doi.org/10.1520/E0096_E0096M-05.
- [11] Azizi-Lalabadi, M., Ehsani, A., Ghanbarzadeh, B., Divband, B. 2020. Polyvinyl alcohol/gelatin nanocomposite containing ZnO, TiO₂ or ZnO/TiO₂ nanoparticles doped on 4A zeolite: Microbial and sensory qualities of packaged white shrimp during refrigeration. *International Journal of Food Microbiology*. 312: 108375.
- [12] S. Bahram, M. Rezaei, M.Soltani, A.Kamali, M. Abdollahi, M. Khezri Ahmadabadan, M. Nemati. Effect of whey protein concentrate coating Cinamon oil on quality and shelf life of refrigerated Beluga Sturgeon (*Huso huso*). *J. Food Qual.* 39 (2016) 743–749.
- [13] R.C. Baptista, C.N. Horita, A.S. Sant'Ana, Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: a review. *Food Res. Int.* 127 (2020) 1087762.

- [32] Gohargani, M., Lashkari, H. and Shirazinejad, A., 2020. Study on biodegradable chitosan-whey protein-based film containing bionanocomposite TiO₂ and *Zataria multiflora* essential oil. *Journal of Food Quality*, 2020.
- [33] Goñi-Ciaurritz, L., Vélaz, I. 2022. Antibacterial and degradable properties of β -cyclodextrin-TiO₂ cellulose acetate and polylactic acid bionanocomposites for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*. 216: 347-360.
- [34] R.C. Goy, S.T.B. Morais, O.B.G. Assis, Evaluation of the antimicrobial activity of chitosan and its quaternized derivative on *E. coli* and *S. aureus* growth. *Rev. Bras. Farmacogn.* 26 (2016) 122–127.
- [35] Hadidi, M.; Jafarzadeh, S.; Forough, M.; Garavand, F.; Alizadeh, S.; Salehabadi, A.; Khaneghah, A. M.; Jafari, S. M. Plant Protein-Based Food Packaging Films; Recent Advances in Fabrication, Characterization, and Applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2022, 120, 154–173.
- [36] Heydari-Majd, M., Ghanbarzadeh, B., Shahidi-Noghabi, M., Najafi, M. A., & Hosseini, M. (2019). A new active nanocomposite film based on PLA/ZnO nanoparticle/essential oils for the preservation of refrigerated *Otolithes ruber* fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 94–103.
- [37] Hou, X., Xue, Z., Liu, J., Yan, M., Xia, Y. and Ma, Z., 2019. Characterization and property investigation of novel eco-friendly agar/carrageenan/TiO₂ nanocomposite films. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(10), p.47113
- [38] ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications 377 for Foods). (1986). Microorganisms in foods. 2. Sampling for microbiological analysis: Principles and scientific applications (2nd ed.). Toronto: University of Toronto Press.
- [39] Kakaei, Y. Shahbazi, Effect of chitosan-gelatin film incorporated with ethanolic red grape seed extract and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on survival of *Listeria monocytogenes* and chemical, microbial and cinnamon essential oil and nano TiO₂ on antimicrobial and functional properties of sago starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 157: 743-751.
- [25] Eshaghi, R., Mohsenzadeh, M. and Ayala-Zavala, J.F. 2024. Bio-nanocomposite active packaging films based on carboxymethyl cellulose, myrrh gum, TiO₂ nanoparticles and dill essential oil for preserving fresh-fish (*Cyprinus carpio*) meat quality. *International Journal of Biological Macromolecules*. 263: 129991
- [26] Esmaeili, M., Khodanazary, A. 2021. Effects of pectin/chitosan composite and bi-layer coatings combined with *Artemisia dracuncululus* essential oil on the mackerel's shelf life. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 15: 3367-3375.
- [27] Ehsani, A., Banihabib, E.K., Hashemi, M., Saravani, M., Yarahmadi, E., 2016. Evaluation of Various Properties of Symbiotic Yoghurt of Buffalo Milk. *Journal of Food Processing and Preservation*.
- [28] Espitia PJP et al (2012) Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food Bioproc Technol* 5(5):1447–1464
- [29] Feng, z., Li, L., Wang, Q., Wu, G., Liu, C., Jiang, B., Xu, J. 2019. Effect of Antioxidant and Antimicrobial Coating based on Whey Protein Nanofibrils with TiO₂ Nanotubes on the Quality and Shelf Life of Chilled Meat. *International Journal of Molecular Sciences*. 20: 1184.
- [30] V.Ferrari Cervi, C.Parcianello Saccol, M.Henrique Marcondes Sari, C. Cristovao Martins, L.Saldanha da Rosa, B.Dias Ilha, F.Zovico Soares, C. Luchese, E. Antunes Wilhelm, L. Cruz, Pullulan film incorporated with nanocapsules improves pomegranate seed oil anti-inflammatory and antioxidant effects in the treatment of atopic dermatitis in mice, *Int J Pharm* 609 (2021), 121144.
- [31] Feris, K., Otto, C., Tinker, J. et al. (2009). Electrostatic interactions affect nanoparticle-mediated toxicity to gram-negative bacterium *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. *Langmuir* 26 (6): 4429–4436.

- loaded with thyme essential oil: Physical properties and antioxidant-antibacterial activities. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, Article 100700.
- [50] Mohan, C.O., Ravishankar, C.N., Srinivasa Gopal, T.K., Ashok Kumar, K., Lalitha, K.V. 2009. Biogenic amines formation in seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks packed with O₂ scavenger during chilled storage. *Food Research International*. 42: 411-416.
- [51] Mosavinia, S.Z., Mousavi, S.M., Khodanazary, A., Hosseini, S.M. 2022. Effect of a chitosan-based nanocomposite containing ZnO and Zataria multiflora essential oil on quality properties of Asian sea bass (*Lates calcarifer*) fillet. *Journal of Food Science and Technology*. 59: 869-878.
- [52] N.P. Nirmal, N.P., & Benjakul, S. *Int. J. Food Microbiol.* 149, 247- 253 (2011)
- [53] F. Nowzari, B. Shabanpour, S.M. Ojagh, Comparison of chitosan- gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chem.* 141 (2013) 1667- 1672.
- [54] Othman, S.H., Salam, N.R.A., Zainal, N., Basha, R.K., Talib, R.A. 2014. Antimicrobial Activity of TiO₂ Nanoparticle-Coated Film for Potential Food Packaging Applications. *International Journal of Photoenergy*.
- [55] Planchon, M., Ferrari, R., Guyot, F. et al. (2013). Interaction between *Escherichia coli* and TiO₂ nanoparticles in natural and artificial waters. *Colloids and Surfaces B* 102: 158–164
- [56] Qin, C., Li, Z., Zhang, J., Meng, H. Zhu, C. 2024. Preparation, physicochemical properties, antioxidant, and antibacterial activities of quaternized hawthorn pectin films incorporated with thyme essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*. 41: 101235.
- [57] M. Raeisi, H. Tajik, S.M. Razavi Roohani., M. Maham, M. Moradi, B. Hajimohammadi, H. Naghili, M. Hashemi, T. Mehdizadeh. Essential oil of tarragon (*Artemisia dracunculus*) antibacterial activity on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia* sensory properties of minced trout fillet, *LWT– Food Sci. Tech.* 72 (2016) 432-438.
- [40] G. Karim, *Microbiological Examination of Foods*, Tehran University Press, Tehran, 2013.
- [41] K. S. Khashan, G. M. Sulaiman, F. A. Abdulameer et al., “Antibacterial activity of TiO₂ nanoparticles prepared by one-step laser ablation in liquid,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, p. 4623, 2021.
- [42] Kumar, N.; P.; N.; Petkoska, A.T.; AL-Hilifi, S.A.; Fawole, O.A. Effect of Chitosan–Pullulan Composite Edible Coating Functionalized with Pomegranate Peel Extract on the Shelf Life of
- [43] Mango (*Mangifera indica*). *Coatings*, 2021, 11, 764.
- [44] Lakshmanan PT. Fish spoilage and quality assessment. In: Iyer, TSG, Kandora MK, Thomas M, et al. Eds. *Quality assurance in seafood processing*. Cochin: Society of Fisheries Technologists (India), 2000; 26-40.
- [45] Lan, W., Wang, S., Zhang, Z., Liang, X., Liu, X., Zhang, J. 2021. Development of red apple pomace extract/chitosan-based films reinforced by TiO₂ nanoparticles as a multifunctional packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*. 168: 105-115.
- [46] B. Lin, Y. Luo, Z. Teng, B. Zhang, B. Zhou, Q. Wang, Development of silver/titanium dioxide/chitosan adipate nanocomposite as an antibacterial coating for fruit storage, *LWT-Food Science and Technology* 63 (2) (2015) 1206–1213
- [47] Y.F. Liu, Y.Y. Liu, K. Han, Y. Cai, M.H. Ma, Q.Y. Tong, L. Sheng, Effect of nano-TiO₂ on the physical, mechanical and optical properties of pullulan film, *Carbohydr. Polym.* 218 (2019) 95–102.
- [48] Liu, T., Lin, P., Boa, T., Ding, Y., Lha, Q., Nan, P., Huang, Y., Gu, Z., Zhong, Y. 2018. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Artemisia dracunculus* L. var. *qinghaiensis* Y. R. Ling (Asteraceae) from Qinghai-Tibet Plateau. *Industrial Crops and Products*. 125: 1-4.
- [49] Liu, Z., Lin, D., Shen, R., Zhang, R., Liu, L., & Yang, X. (2021). Konjac glucomannan-based edible films

- composite films. Carbohydrate Polymers, 130, 353–363.
- [66] Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A.K., Jaiswal, S. 2020. Essential Oils as Additives in Active Food Packaging. Food Chemistry, 128403.
- [67] Shibata, Y. 2010. The Characteristics of in Vitro Biological Activity of Titanium Surfaces Anodically Oxidized in Chloride Solutions. Biomaterials. 31(33): 8546–8555.
- [68] Singh, S.R., Sainin, G.K., Kennedy, J.F., 2008. Pullulan: microbial sources, production and applications. Carbohydr. Polym. 73, 515–531.
- [69] S. Singh, M. Lee, L. Park, Y. Shin, Y.S. Lee, Antimicrobial seafood packaging: a review, J. Food Sci. Technol. 53 (2016) 2505–2518.
- [70] U. Siripatrawan, S. Noipha, Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages, Food Hydrocoll. 27 (2012) 102–108.
- [71] Sun, H., et al., Antibacterial and antioxidant activities of sodium starch octenylsuccinate-based Pickering emulsion films incorporated with cinnamon essential oil. International Journal of Biological Macromolecules, 2020. 159: p. 696–703.
- [72] Synowiec, A., Gniewosz, M., Kraśniewska, K., Przybył, J.L., Bączek, K., Węglarz, Z. 2014. Antimicrobial and antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 23: 171–181.
- [73] T. Taheri, A. Fazlaraa, L. Roomiani, S. Taheri, Effect of chi- tosan coating enriched with cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil on the quality of refrigerated turkey breast meat. Ital. J. Food Sci. 30, 2018–2628 (2018)
- [74] M.B. Vasconez, S.K. Flores, C.A. Campos, J. Alvarado, L.N. Gerschenson, Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. Food Res. Int. 42, 762–769 (2009)
- coli* in culture media and Iranian white cheese. Iran. J. Microb. 4 (2012) 30–34.
- [58] Rahman, R., Sood, M., Gupta, N., Bandral, J. D., Hameed, F., & Ashraf, S. (2019). Bioplastics for food packaging: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 2311–2321.
- [59] Riahi, Z., Priyadarshi, R., Rhim, J.W., Bagheri, R. 2021. Gelatin-based functional films integrated with grapefruit seed extract and TiO₂ for active food packaging applications. Food Hydrocolloids. 112: 106314
- [60] S. Rivero, M.A. García, A. Pinotti, J Food Eng., 90, 531–539 (2009)
- [61] Roy, A. S., Parveen, A., Koppalkar, A. R., & Prasad, M. (2010). Effect of nano-titanium dioxide with different antibiotics against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 1(1), 37–41. <https://doi.org/10.4236/jbnnb.2010.11005>.
- [62] C. Rodríguez, J.A. Mendiola, R. Quirantes-Piné, E. Ibáñez, A. Segura, Cerretero, green downstream processing using supercritical carbon dioxide, CO₂-expanded ethanol and pressurized hot water extractions for recovering bioactive compounds from *Moringa oleifera* leaves, J. Supercrit. Fluids, 116(2016)90–100.
- [63] Saricaoglu, F. T., & Turhan, S. (2020). Physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of mechanically deboned chicken meat protein films enriched with various essential oils. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, Article 100527.
- [64] Sayadi, M., Mojaddar Langroodi, A., Amiri, S., Radi, M. 2022. Effect of nanocomposite alginate-based film incorporated with cumin essential oil and TiO₂ nanoparticles on chemical, microbial, and sensory properties of fresh meat/beef. Food Science and Nutrition. 10: 1401–1413.
- [65] Shankar, S., & Rhim, J. W. (2015). Amino acid mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial agar/silver nanoparticles

2022. Agar/TiO₂/radish anthocyanin/neem essential oil bio nanocomposite bilayer films with improved bioactive capability and electrochemical writing property for banana preservation. *Food Hydrocolloids*, 123, 107187.
- [81] Li, Y., Yokoyama, W., Wu, J., Ma, J., Zhong, F. 2015. Properties of edible films based on pullulan–chitosan blended film-forming solutions at different pH. *RCS Advances*. 5: 105844-105850.
- [82] Yuan, S., Xue, Z. Zhang, S., Wu, C., Feng, Y., Kou, X. 2023. The characterization of antimicrobial nanocomposites based on chitosan, cinnamon essential oil, and TiO₂ for fruits preservation. *Food Chemistry*. 413: 135446.
- [83] Zhao, X.; Cornish, K.; Vodovotz, Y. Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update. *Environ. Sci. Technol.* 2020, 54, 4712–4732.
- [84] Zhang, W. and Rhim, J.W., 2022. Titanium dioxide (TiO₂) for the manufacture of multifunctional active food packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, p.100806.
- [85] W. Zhou, Y.X. He, F. Liu, L.K. Liao, X.B. Huang, R.Y. Li, Y. Zou, L. Zhou, L.Q. Zou, Y.H. Liu, R.G. Ruan, J.H. Li, Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: characterization and application in mango preservation, *Carbohydr. Polym.* 256 (2021).
- [75] B.B. Vieira, J.F. Mafra, A.S. da Rocha Bispo, M.A. Ferreira, F. de Lima Silva, A.V.N. Rodrigues, N.S. Evangelista-Barreto, Combination of chitosan coating and clove essential oil reduces lipid oxidation and microbial growth in frozen stored tambaqui (*Colossoma macropomum*) fillets. *LWT-Food Sci. Tech.* 116 (2019) 108546.
- [76] A.D. Woyewoda, S.J. Shaw, P.J. Ke, B.G. Burns, Recommended laboratory methods for assessment of fish quality, Canadian Technical Report of Fish and Aquatic Science, 1984, 1448.
- [77] Wu, J., Zhong, F., Li, Y., Shoemaker, C.F., Xia, W. 2013. Preparation and characterization of pullulan-chitosan and pullulan – carboxymethyl chitosan blended films. *Food Hydrocolloids*. 30: 82-91.
- [78] F. Xu, B. Weng, R. Gilkerson, L.A. Materon, K. Lozano, Development of tannic acid/ chitosan/pullulan composite nanofibers from aqueous solution for potential applications as wound dressing, *Carbohydr. Polym.* 115 (2015) 16–24.
- [79] Y.S. Yan, S.Q. Duan, H.L. Zhang, Y.T. Liu, C. Li, B. Hu, A.P. Liu, D.T. Wu, J.L. He, W.J. Wu, Preparation and characterization of konjac glucomannan and pullulan composite films for strawberry preservation, *Carbohydr. Polym.* 243 (2020).
- [80] Yang, Z., Zhai, X., Zhang, C., Shi, J., Huang, X., Li, Z., Zou, X., Gong, Y., Holmes, M., Povey, M. and Xiao, J.,

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Khodanazary, A., Associate Professor, Fisheries, Marine Natural Resources, Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

✉ khodanazary@yahoo.com

 0000-0001-8960-7324



HOW TO CITE THIS ARTICLE



<http://doi.org/10.52547/joc.16.63.7>



<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1827-fa.html>



<https://orcid.org/0000-0001-8960-7324>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

