

افزایش ماندگاری فیله ماهی سفید دریای خزر با استفاده از فیلم نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات اکسیدروی سنتز شده به روش سبز با استفاده از عصاره کلاهدک بادمجان

مهسا صالحی^۱، امیر شاکریان^۲، زهره مشاک^۳، * ابراهیم رحیمی^۱

۱ گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

۲ مرکز تحقیقات تغذیه و فرآورده های ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

۳ گروه بهداشت مواد غذایی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: mashak@kiau.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: فساد مواد غذایی به دلیل فقدان فناوری بسته بندی مناسب یک نگرانی بزرگ جهانی است. انتظار می رود فناوری نانو باعث بهبود بسته بندی مواد غذایی شود. در این مطالعه، تاثیر کیتوزان/ آنتوسیانین پوست بادمجان/ نانوذرات اکسیدروی سنتز شده از عصاره کلاهدک بادمجان (در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد) در ماتریس فیلم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر مدت ماندگاری فیله های ماهی سفید دریای خزر بررسی شد. جهت تعیین کیفیت فیله های ماهی از آزمون های شیمیایی (pH، TVB-N و TBARS) و میکروبی (شمارش باکتری های سایکروفیل، مزوفیل و انتروباکتریاسه)، ارزیابی حسی (طعم، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی) طی ۱۴ روز (در روزهای ۰، ۱، ۷ و ۱۰ و ۱۴) نگهداری در دمای یخچالی بر روی تیمارها استفاده شد. میانگین اندازه نانوذرات سنتز شده ۵۲۷/۰ نانومتر بود. توزیع پراکندگی یکنواخت نانو ذرات روی سنتز شده از عصاره کلاهدک بادمجان با PDI برابر ۰/۳۳۲ با آزمون DLS تأیید شد. بطور کلی، داده ها نشان دهنده تأثیر مثبت فیلم بسته بندی بر ماندگاری فیله های ماهی سفید دریای خزر بود. بالاترین میزان pH، TVB-N و TBARS و جمعیت باکتری های مزوفیل، سایکروتروف و انتروباکتریاسه متعلق به نمونه شاهد و پائین ترین میزان آن متعلق به فیلم نانوکامپوزیت حاوی ۵٪ نانوذرات اکسیدروی سنتز شده از عصاره کلاهدک بادمجان بود. فیله های بسته بندی شده در به فیلم نانوکامپوزیت حاوی ۵٪ نانوذرات اکسیدروی در طی دوره ذخیره سازی بالاترین امتیاز حسی را داشتند. بنابراین فیلم نانوکامپوزیت تولید شده می تواند به عنوان بسته بندی فعال برای افزایش مدت زمان ماندگاری فیله ماهی دریای خزر استفاده شود.

کلیدواژه: فیلم بسته بندی، ماهی سفید دریای خزر، نانوذرات اکسیدروی، سنتز سبز، عصاره کلاهدک بادمجان

¹ Total volatile basic nitrogen

² Thiobarbituric acid reactive substances

³ Polydispersity Index

⁴ Dynamic light scattering

شود (۶). فیلم‌های مبتنی بر هیدروکسی پروپیل متیل سلولز دارای شفافیت خوب، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر چربی و روغن با استحکام متوسط و نفوذپذیری کارآمد در برابر انتقال اکسیژن هستند (۷). با این حال، آنها به دلیل ماهیت آبدوستی ذاتی خود در برابر رطوبت بسیار حساس هستند (۸). این یک نقطه ضعف برای کاربردهای صنعتی آنها جهت بسته‌بندی مواد غذایی با فعالیت آبی بالا است. تقویت فیلم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با ترکیبات زیست فعال می‌تواند منجر به بهبود خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن و در نتیجه حفظ و حتی بهبود ویژگی‌های حسی مواد غذایی شود (۹).

کیتوزان یک پلی ساکارید است که از استیل زدایی کیتین به دست می‌آید. کیتوزان دومین پلی ساکارید فراوان در طبیعت پس از سلولز است و در اسکلت بیرونی سخت پوستان و حشرات به وفور یافت می‌شود (۱۰). کیتوزان به دلیل پروتونه شدن گروه‌های NH_2 در محلول‌های آبی با pH پایین، محلول است و به دلیل رفتار کاتیونی خود از رشد طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کند (۱۱). علاوه بر این، این پلی ساکارید خواص بسیار عالی تشکیل فیلم و مانع قابل قبولی در برابر گازهایی مانند CO_2 و O_2 دارد (۱۲). این هم‌افزایی ممکن است با تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی قوی بین گروه‌های NH_2 کیتوزان و OH هیدروکسی پروپیل متیل سلولز مرتبط باشد.

آنتوسیانین‌ها ترکیبات فنلی محلول در آب طبیعی با قابلیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی هستند (۱۳). بنابراین، آنها می‌توانند معایب هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در خواص ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی را جبران کنند. پوست بادمجان منبع خوبی از آنتوسیانین‌ها و یکی از

ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*) متعلق به خانواده کپور ماهیان است که طی سال‌های اخیر هر ساله بیش از ۵۰ درصد صید ماهیان استخوانی دریای خزر را به خود اختصاص داده است (۱). صرف نظر از اهمیت اقتصادی، تغذیه‌ای، حضور پروتئین‌های ضروری، محتوی اسید چرب غیر اشباع بالا (خصوصاً O_6 و O_3)، پروفایل اسیدهای آمینه و لذیذ بودن گوشت این ماهی سبب شده که بسیار مورد استقبال مصرف کننده قرار بگیرد. عمر مفید و کیفیت ماهی به دلیل افزایش تقاضای مصرف کننده برای مصرف ماهی بسیار مهم است (۲). طبق گزارش ارائه شده از طرف سازمان غذا و دارو آمریکا (FAO)، حدود ۸۸ درصد از کل تولید ماهی برای مصرف مستقیم انسان مورد استفاده قرار گرفته و محبوب‌ترین شکل‌های مصرف آن بصورت تازه یا سرد (۴۴ درصد) و سپس به شکل منجمد (۳۵ درصد) می‌باشد که این امر بر اهمیت نوع ذخیره‌سازی ماهی تأکید می‌نماید (۳). در روش سنتی نگهداری ماهی، دمای انجماد (عموماً -11 درجه سلسیوس)، کاهش ارزش کیفی ماهی را به دنبال دارد. استفاده از از فیلم‌های بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر با اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی از جمله راهکارهایی جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی است (۴). هیدروکسی پروپیل متیل سلولز یک اتر نیمه سنتزی، غیر یونی، کم هزینه و شفاف مشتق شده از سلولز است که به عنوان یک افزودنی غذایی برای افزودن مستقیم به غذا برای مصرف انسان توسط کمیسیون اروپا (۲۰۱۱) به عنوان یک افزودنی غذایی ایمن با شماره E 464 تایید شده است (۵). این پلیمر زیستی محلول در آب است و به طور گسترده در صنایع غذایی به عنوان امولسیفایر، تثبیت کننده، غلیظ کننده، عامل تعلیق و مواد تشکیل دهنده فیلم استفاده می‌

⁵ Food and Agriculture Organization

استخراج آنتوسیانین پوست بادمجان

ابتدا نمونه‌های بادمجان پوست کنده، تفاله آن جدا شد. سپس پوست بادمجان را شسته و خشک کرده و در خشک کن الکتروترمال بلاست به قطعات کوچک برش داده شدند. تکه‌های کوچک پوست بادمجان با وزن ثابت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس پخته و به پودر تبدیل شد. برای استخراج از حلال اتانولی و روش اولتراسونیک (فرکانس ۱۲/۵ کیلوهرتز به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سلسیوس) استفاده شد. برای این منظور ۲۵ گرم پودر بادمجان به یک فلاسک ته گرد حاوی مقدار معینی اتانول بی‌آب (نسبت ۱:۱۵) اضافه شد و سپس آن را تکان داده و برای مدت معینی حرارت داده شد. عصاره استخراج شده به فالکون سانتریفیوژ منتقل و پس از سانتریفیوژ، مایع رویی جدا شد (۲۱).

تهیه عصاره کلاهدک بادمجان

مقدار ۱ گرم پودر کلاهدک بادمجان با ۲۰ میلی‌لیتر اتانول (۷۰ درصد) مخلوط شد. مخلوط در یک حمام آب اولتراسونیک با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز، ۴۰ درجه سلسیوس، به مدت ۳۰ دقیقه تیمار شد. سپس نمونه‌ها با سرعت ۶۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سه مرحله استخراج متوالی انجام، و حجم‌های مایع رویی حاصل با هم جمع‌آوری شد (۲۲).

سنتز سبز نانو ذرات روی با عصاره کلاهدک بادمجان

ماده اصلی سنتز نانو ذرات روی، نیترات روی است که با درجه خلوص ۹۹/۹۸ درصد به همراه کربنات آمونیوم با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد تهیه شد، لازم به ذکر است که در تهیه محلول‌های فوق از آب دیونیزه شده استفاده شد، همچنین با استفاده از روش سنتز سبز از کلاهدک بادمجان محلول ذرات روی تهیه شد. ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول آبی نیترات روی (۱/۵ میلی‌مولار) با ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره کلاهدک بادمجان مخلوط شد و متعاقباً با ۱ مولار هیدروکسید

مهم‌ترین فلاونوئیدها است که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است (۱۴، ۱۵).

در میان چندین ترکیب غیرسمی و ضدباکتریایی که به عنوان افزودنی در بسته بندی استفاده شده است، نانوذرات اکسیدروی به عنوان یک عامل ایمن و عنصر ضروری برای سلامتی در صنایع غذایی در نظر گرفته شده است. اگرچه نانوذرات اکسیدروی با استفاده از روش‌های فیزیکی-شیمیایی مختلف سنتز شده‌اند، اما در سال‌های اخیر سنتز نانو ذرات اکسیدروی با استفاده از روش‌های زیستی و سازگار با محیط زیست نظیر استفاده از عصاره‌های گیاهی، اهمیت بسیاری پیدا کرده است (۱۶). سنتز سبز روشی آسان، سریع و سازگار با محیط زیست است. چندین مطالعه استفاده از نانوذرات اکسیدروی را در کامپوزیت‌های بیوپلیمری برای بسته‌بندی فعال مواد غذایی برای از بین بردن باکتری‌های مضر گزارش کرده‌اند (۱۷-۲۰).

بنابراین، در این مطالعه، نانوذرات اکسیدروی از طریق روش سبز آسان، سریع و سازگار با محیط زیست با استفاده از عصاره کلاهدک بادمجان سنتز شدند و پس از آن غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسیدروی به عنوان یک افزودنی ضد میکروبی در فیلم نانوکامپوزیت هیدروکسی پروپیل متیل سلولز/کیتوزان/آنتوسیانین پوست بادمجان ترکیب شدند. فیلم‌های نانوکامپوزیت سنتز شده روی فیله ماهی سفید دریای خزر اعمال شد و عملکرد نگهداری طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس ارزیابی شد.

مواد و روش کار

مواد

مواد اولیه طرح شامل بادمجان، ماهی سفید دریای خزر از بازار خریداری شدند. همچنین کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه از نمایندگی‌های معتبر شرکت مرک خریداری شدند.

تهیه شدند. محلول تشکیل فیلم با حل کردن ۱ گرم از کیتوزان در ۱۰۰ میلی لیتر محلول اسید استیک (۲ درصد v/v) تهیه و برای حذف ذرات حل نشده از فیلتر پنبه‌ای فیلتر شد. ۰/۵ گرم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در ۳۰ میلی لیتر آب بصورت سوسپانسیون تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه به شدت هم زده شد و سپس ۲۰ میلی لیتر آب سرد به آن اضافه شد تا کاملاً حل شود. محلول کیتوزان به آن افزوده، با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت مخلوط شد. ۱۰ درصد وزنی آنتوسیانین به مخلوط اضافه و به مدت ۱ ساعت هم زده شد. در نهایت، نانوذرات تهیه شده در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد به آن‌ها افزوده شد. محلول فیلم تشکیل شده درون ظروفش پتری شیشه‌ای (شعاع ۱۰ سانتی متر) ریخته شد و در دمای 27 ± 2 درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند (۲۴).

سدیم (۱۰ میلی لیتر) تیمار شد. یون‌های آغازکننده واکنش توسط نیترات روی در آب دی یونیزه به دست آمد. مخلوط واکنش با هم زدن مداوم در تاریکی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای جلوگیری از کاتالیز نوری انکوبه شد. تشکیل رنگ سفید، تشکیل نانوذرات روی ZnONPs را در پایان ۲۴ ساعت مشخص کرد. محصول به دست آمده با سانتیفریوژ بیشتر خالص سازی شد و به ترتیب در آب دوبار تقطیر و اتانول شسته و خشک شد (۲۳).

تهیه فیلم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز/کیتوزان/آنتوسیانین پوست بادمجان / نانو ذرات روی

فیلم نانوکامپوزیت مبتنی بر هیدروکسی پروپیل متیل سلولز/کیتوزان از طریق تکنیک تبخیر ریخته‌گری حلال

جدول ۱- تیمارهای تحقیق

فرمولاسیون	تیمار
فیلم شاهد (فیلم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC))	C1
HPMC / کیتوزان	C2
HPMC / کیتوزان / ۱۰ درصد وزنی آنتوسیانین پوست بادمجان	C3
HPMC / کیتوزان / ۱۰ درصد وزنی آنتوسیانین پوست بادمجان / ۱ درصد نانو ذرات اکسیدروی	C4
HPMC / کیتوزان / ۱۰ درصد وزنی آنتوسیانین پوست بادمجان / ۳ درصد نانو ذرات اکسیدروی	C4
HPMC / کیتوزان / ۱۰ درصد وزنی آنتوسیانین پوست بادمجان / ۵ درصد نانو ذرات اکسیدروی	C6

⁷ Hydroxypropyl methylcellulose

⁶ Zinc Oxide Nanoparticles

تیوباربتوریک (TBARS)

مقدار TBARS به صورت کالریمتریک (رنگ سنجی) انجام شد. حدود ۱۰ گرم از نمونه گوشت ماهی وزن شده و با ۱ میلی لیتر از BHT⁸ (۱ میلی گرم بر میلی لیتر) و ۳۵ میلی لیتر از تری کلرواستیک اسید (۵ درصد) هموژن شدند. محلول هموژن به دست آمده به یک فلاسک انتقال داده شده و سپس ۱۰۰ میلی لیتر از آب مقطر اضافه و تقطیر شد. بعد از جمع آوری ۵۰ میلی لیتر از تقطیر شده (عصاره)، محلول از طریق یک کاغذ صافی (واتمن شماره یک) فیلتر شد. ۵ میلی لیتر از محلول فیلتر شده با ۵ میلی لیتر از محلول تیوباربتوریک اسید (۰/۰۲ مولار) ترکیب و در حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفت. بعد از سرد کردن، جذب در ۵۳۲ نانومتر در برابر آب، به عنوان شاهد، اندازه گیری شد. مقدار TBARS بر اساس اکی والان میلی گرم مالون آلدئید بر یک کیلوگرم نمونه بیان شد (۲۶).

-اندازه گیری نیتروژن بازی فرار کل (TVB-N)

ترکیبات نیتروژنی فرار از طریق تقطیر مستقیم ماهی هموژن شده بعد از اضافه کردن منیزیم اکسید اندازه گیری شدند. تقطیر حاصل در یک فلاسک که دارای محلول آبی بوریک اسید ۲ درصد، مخلوطی از شناساگرهای متیل قرمز و بروموکروزل سبز (هر کدام ۰/۱ درصد) اتانول بود، جمع آوری شد. سپس محلول بوریک اسید با سولفوریک اسید ۰/۱ نرمال تیترا شد. مقدار نیتروژن کل فرار بازی (میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماهی) بر اساس مصرف اسید سولفوریک محاسبه شد.

آزمون های میکروبی

-تهیه آزمايه (آماده سازی نمونه)

در یک ظرف پلاستیکی سترون، مقدار ۱۰ گرم از نمونه اندازه گیری شد به اندازه ۹ برابر وزن نمونه به آن محلول

تعیین اندازه ذرات و چگونگی پراکنش نانو ذرات روی

بررسی اندازه و چگونگی پراکنش ذرات نانو تشکیل شده بوسیله پارتيكل سايز آناليزر (Horiba, مدل SZ100, ژاپن) صورت گرفت، بدین منظور ذرات نانویی که در آب یون زدایی شده بود، مورد استفاده قرار گرفت، بدین ترتیب ۲ میلی لیتر از محلول حاوی نانو ذرات به دستگاه اضافه شد و نتایج بر اساس (قطر ۱۰ درصد از نانو ذرات یا ۱/۰ d) یا (قطر ۵۰٪ از نانو ذرات یا ۵/۰ d) یا (قطر ۹۰٪ از نانو ذرات یا ۹/۰) و قطر حجم میانگین نانو ذرات گزارش شد، همچنین قطر نانو ذرات برای ۱۰ نمونه تشکیل شده تصادفی با استفاده از میکروسکوپ نوری بوسیله آنالیز تصویری نرم افزار مدل (Lica DMLB) نیز مورد بررسی قرار گرفت (۲۵).

آزمون های ماهی

ماهی سفید دریای خزر از محل فروش ماهی با وزن متوسط ۶۰۰-۶۵۰ گرم تهیه و بلافاصله در ظروف حاوی یخ به آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات منتقل گردید. پس از سر و دم زنی و تخلیه امعا و احشا و جداسازی پوست و استخوان از هر ماهی ۲ فیله تهیه گردید. فیلم های نانوکامپوزیت تهیه شده بر روی نمونه های ماهی قرار گرفت و در دمای ۴ درجه سلسیوس، به مدت ۱۴ روز (۰ و ۷ و ۱۰ و ۱۴) ارزیابی شد.

آزمون های شیمیایی:

-اندازه گیری pH

pH نمونه ها توسط pH متر اندازه گیری شد. ابتدا pH دستگاه با بافر استاندارد در pH ۳ و ۷ کالیبره (تنظیم) شد. ۵ گرم از نمونه با دو برابر آب مقطر (g/l) همگن شد و سپس در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، pH نمونه ها تعیین شد (۲۶).

-اندازه گیری ماده واکنش دهنده با اسید

⁸ Butylated hydroxytoluene

VRBGA با دمای ۴۵ درجه سلسیوس به آن اضافه شد. محیط را با نمونه به وسیله حرکات چرخشی هشت انگلیسی در دو جهت افقی و عمودی، خوب مخلوط کرده و تا خنک شدن کنار گذاشته شد. بعد از اینکه محیط به صورت جامد در آمد پلیت‌ها بصورت وارونه شده در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. سپس کلنی‌های با هاله ارغوانی رنگ شمارش و نتایج به صورت cfu/g بیان شد.

بررسی ارزیابی حسی

ارزیابی خصوصیات حسی نمونه‌ها را بر اساس بو، ظاهر، رنگ، بافت و مقبولیت کلی توسط ۲۰ نفر ارزیاب آموزش دیده (۱۰ مرد- ۱۰ زن) بر اساس سیستم نمره دهی هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام شد (۲۷).

روش تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به دست آمده در آزمایشات برای داده‌های تجربی (آزمایشی) به صورت میانگین \pm انحراف معیار در سه بار تکرار بیان شدند. واحدهای تشکیل دهنده کلونی (CFUs) در تمامی آزمایشات به مقادیر لگاریتمی آن‌ها قبل از تجزیه و تحلیل آماری تبدیل شد. داده‌های آزمایشات با تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه (One-way ANOVA) مقایسه و تفاوت‌های معنی‌دار آماری بین مقادیر میانگین‌ها (در مواردی که اثر کلی تیمارها معنی‌دار بود) با استفاده از آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن تعیین شد. نتایج آزمون‌های آماری به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ برای مقایسه داده‌ها در نظر گرفته شد.

نتایج

تعیین اندازه ذرات و چگونگی پراکنش نانو ذرات اکسیدروی

رقیق کننده آب پیتونه بافری سترون افزوده شد. مخلوط مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۹۹ با مخلوط کن استومکر با کیسه‌های سترون همگن شد، سپس با پیپت سترون ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه به لوله حاوی ۱ میلی‌لیتر محلول رقیق کننده استریل ریخته و توسط ورتکس به مدت ۵ تا ۱۰ ثانیه مخلوط شد (رقت 10^{-2}) و رقت‌های موازی ده برابر حاصل شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۹۲۳، ۱۳۸۶).

-شمارش باکتری‌های سایکروتروف

ابتدا ۰/۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه تهیه شده با پیپت سترون را برداشته و درون پتری دیش حاوی محیط کشت نوترینت آگار به صورت سطحی کشت داده شد. ظرف پتری دیش را بصورت وارانه در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز گرمخانه‌گذاری شد. پس از مدت زمان آزمایش، پتری دیش‌های کمتر از ۱۵۰ کلنی انتخاب و شمارش شدند. نتایج به صورت cfu/g گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۲، ۲۶۲۹).

-شمارش باکتری‌های مزوفیل

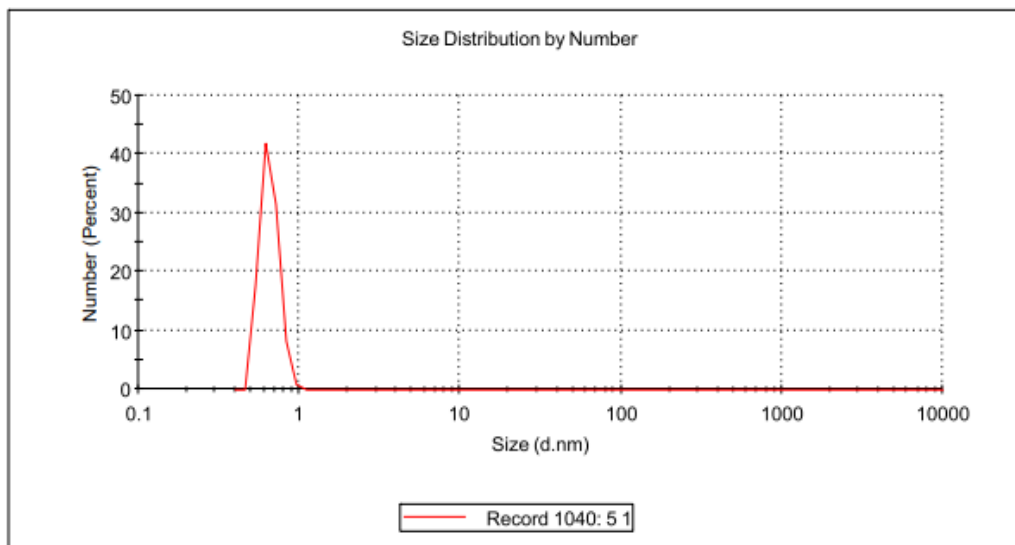
ابتدا ۰/۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه تهیه شده با پیپت سترون برداشته و درون پتری دیش حاوی محیط کشت نوترینت آگار انتقال و کشت سطحی داده شد. ظرف پتری دیش بصورت وارانه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. پس از مدت زمان آزمایش، پتری دیش‌های بین ۳۰ الی ۳۰۰ کلنی انتخاب و شمارش شدند. نتایج به صورت cfu/g گزارش شد (استاندارد ملی ایران شماره ۲-۸۲۷۲، ۱۳۹۳).

- شمارش باکتری‌های انتروباکتریاسه

مقدار ۱ میلی‌لیتر از رقت‌های موجود را در پتری دیش ریخته و مقدار ۱۰ تا ۱۵ میلی‌لیتر محیط کشت

⁹ Violet Red Bile Glucose Agar

شکل ۱ نتایج توزیع اندازه ذرات نانو ذرات اکسیدروی را نشان می‌دهد. مطابق با شکل یک پیک با اندازه ذرات ۰/۵۲۷ نانومتر و PDI برابر ۰/۳۳۲ نشان دادند.



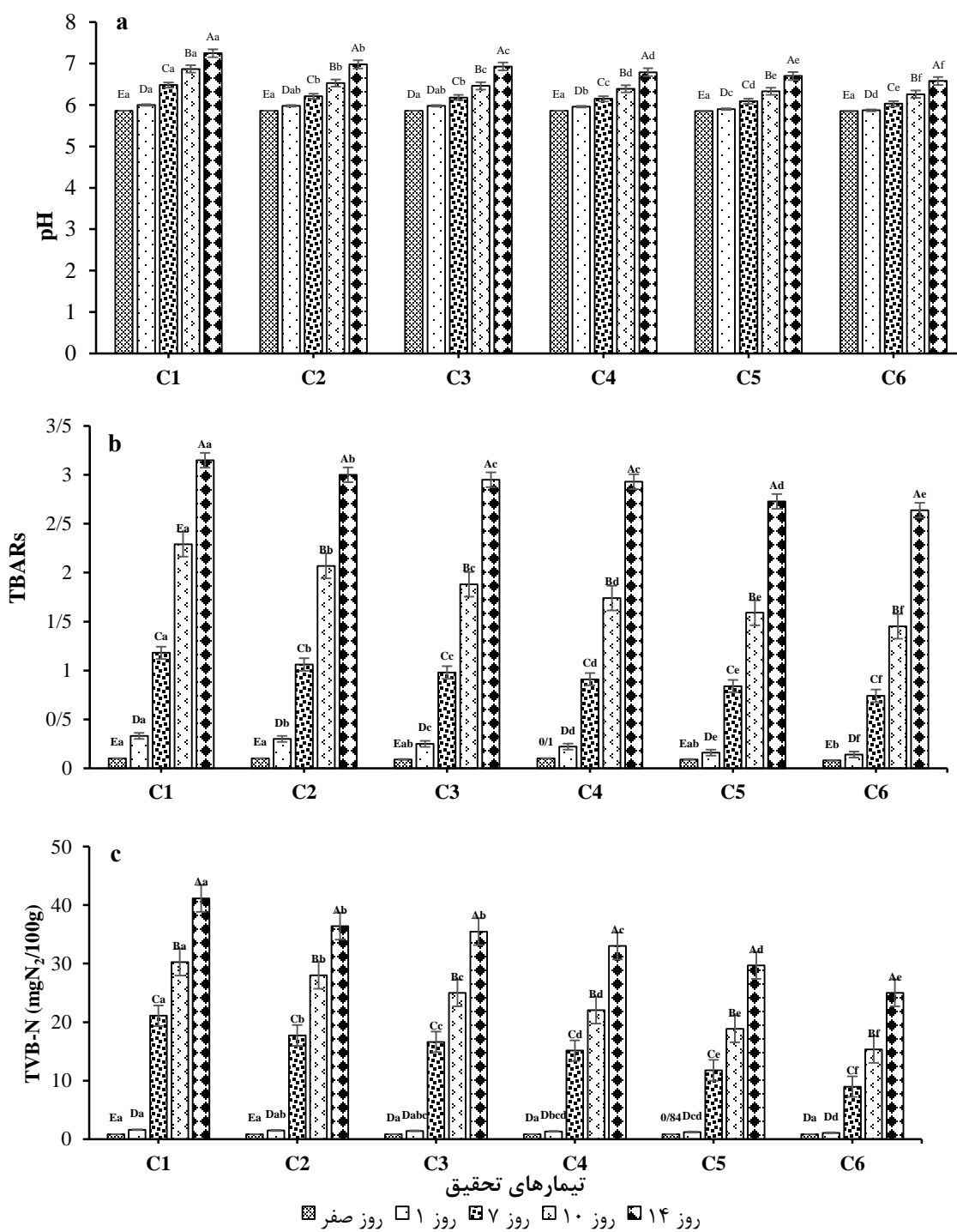
شکل ۱- نتایج توزیع اندازه ذرات نانو ذرات روی

تیمارهای مختلف مشاهده نشد. با این حال از روز اول نگهداری اختلاف معنادار بین تیمارهای مختلف مشاهده شد. ادغام کیتوزان، آنتوسیانین و نانوذرات روی سبب کاهش معنادار میزان pH، TBARS و TVB-N نمونه‌های فیله ماهی شدند ($p < 0.05$). با افزایش درصد نانو ذرات از ۱ به ۳ درصد، این کاهش معنادارتر بود. با این حال طی ۱۴ روز نگهداری روند افزایشی میزان pH، TBARS و TVB-N نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی گزارش شد.

آزمون‌های فیله‌های ماهی بسته بندی شده با فیلم نانوکامپوزیت

آزمون‌های شیمیایی

نتایج میزان pH، TBARS و TVB-N نمونه‌های مختلف فیله ماهی بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت طی ۱۴ روز نگهداری در شکل ۲ (a-c) نشان داده شده است. مطابق نتایج، تیمارهای مختلف و زمان نگهداری تأثیر معنادار بر میزان pH، TBARS و TVB-N نمونه‌های فیله ماهی داشت ($p < 0.05$). در روز صفر تفاوت آماری معنادار بین

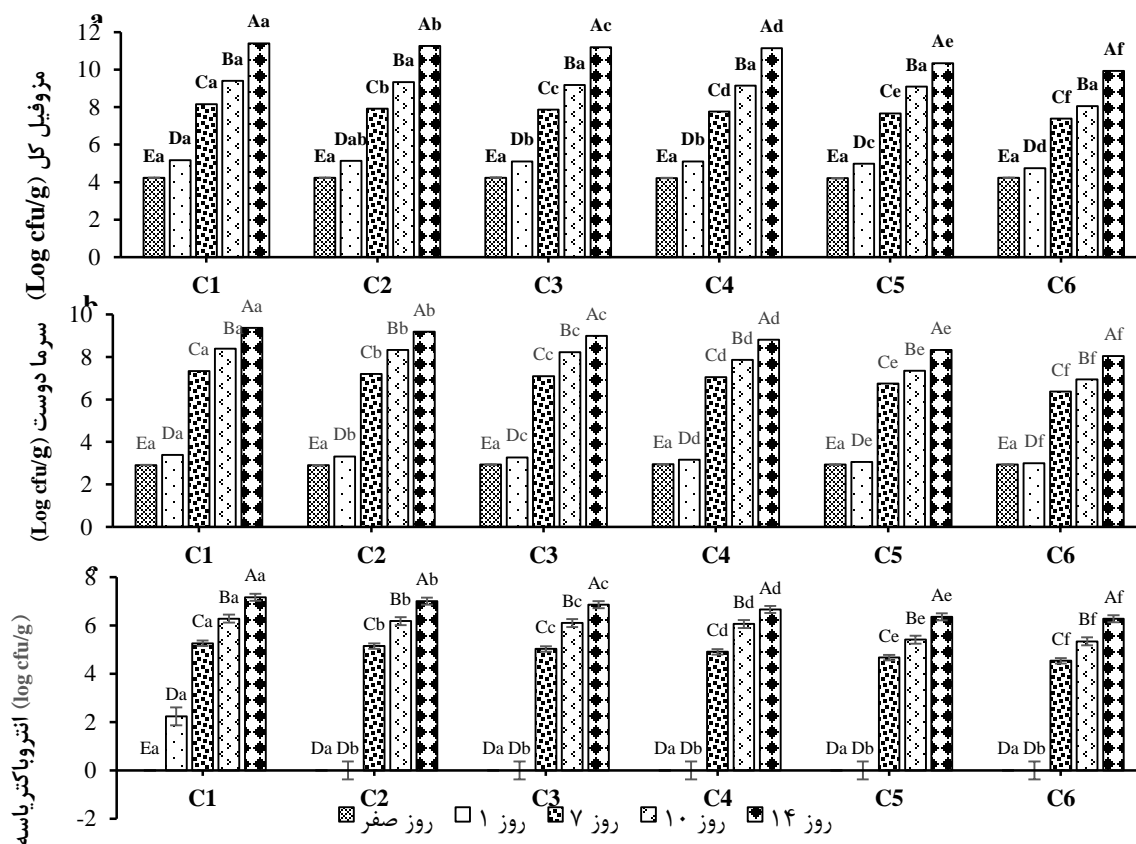


شکل ۲- نتایج میانگین pH (a)، TBARS (b) و TVB-N (c) نمونه‌های ماهی طی ۱۴ روز نگهداری

آزمون‌های میکروبی

معنادار بین تیمارهای مختلف مشاهده شد. ادغام کیتوزان، آنتوسیانین و نانوذرات اکسیدروی سبب کاهش معنادار میزان باکتری‌های سایکروفیل کل، مزوفیل کل، انتروباکتریاسه نمونه‌های فیله ماهی شد. با افزایش درصد نانوذرات از ۱ به ۳ درصد این کاهش معنادارتر بود ($p < 0.05$). با این حال طی ۱۴ روز نگهداری روند افزایشی میزان باکتری‌های سایکروفیل کل، مزوفیل کل، انتروباکتریاسه نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی گزارش شد.

نتایج میزان باکتری‌های سایکروفیل کل، مزوفیل کل، انتروباکتریاسه نمونه‌های مختلف فیله ماهی بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت طی ۱۴ روز نگهداری در شکل (a-c) نشان داده شده است. مطابق نتایج تیمارهای مختلف و زمان نگهداری تأثیر معنادار بر میزان باکتری‌های سایکروفیل کل، مزوفیل کل، انتروباکتریاسه نمونه‌های فیله ماهی داشت ($p < 0.05$). در روز صفر تفاوت آماری معنادار بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد. با این حال از روز اول نگهداری اختلاف



شکل ۳. میانگین تعداد باکتری‌های (a) مزوفیل کل، (b) سایکروفیل و (c) انتروباکتریاسه نمونه‌های ماهی طی ۱۴ روز نگهداری

ارزیابی حسی

فیله ماهی داشت ($p < 0.05$). در روزهای مختلف تفاوت آماری معنادار در طعم، بو و رنگ بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد. در حالیکه از روز هفتم اختلاف آماری معنادار در بافت نمونه‌ها و از روز دهم در پذیرش کلی نمونه‌های بسته‌بندی شده با نمونه شاهد گزارش شد.

نتایج میزان ارزیابی حسی طعم نمونه‌های مختلف فیله ماهی بسته‌بندی شده با فیلم نانوکامپوزیت طی ۱۴ روز نگهداری در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج تیمارهای مختلف و زمان نگهداری تأثیر معنادار بر میزان ارزیابی حسی طعم، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌های

جدول ۲- امتیاز طعم، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌های ماهی بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت طی ۱۴ روز نگهداری

دوره نگهداری (روز)							
۱۴	۱۰	۷	۱	۰	تیمار		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Bb	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۴/۳۳ ± ۰/۵۸ Ab	۴/۶۷ ± ۰/۵۸ Aa	C ₁	طعم	
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Bab	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۴/۶۷ ± ۰/۵۸ Aab	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₂		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Cab	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₃		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Cab	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₄		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₅		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Cab	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₆		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ BCa	۳/۰۰ ± ۱/۰۰ Ba	۴/۳۳ ± ۰/۰۰ Ab	۴/۶۷ ± ۰/۰۰ Aab	C ₁	بو	
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۳۳ ± ۱/۵۸ Ba	۴/۳۳ ± ۰/۵۸ Ab	۴/۳۳ ± ۰/۵۸ Ab	C ₂		
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Da	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۳۳ ± ۰/۰۰ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₃		
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Da	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₄		
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Da	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₅		
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ Ca	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₆		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Cb	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Bb	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Bb	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₁	بافت	
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Cab	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Bab	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Bab	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₂		
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Dab	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Cab	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Bab	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₃		
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ Cab	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Cab	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Bab	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₄		
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ Cab	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Bab	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Bab	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₅		
۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₆		
۱/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₁	رنگ	
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Da	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Ca	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₂		
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ Da	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₃		
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ Ca	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₄		
۲/۰۰ ± ۱/۰۰ Ca	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ BCa	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₅		
۲/۰۰ ± ۰/۰۰ Da	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ Ca	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ Ba	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ Aa	C ₆		

۱/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Db}	۲/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Cb}	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۴/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₁	کامپوزیت
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ ^{Cab}	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ ^{Bab}	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۴/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₂	
۱/۳۳ ± ۰/۵۸ ^{Dab}	۲/۳۳ ± ۰/۵۸ ^{Cab}	۳/۳۳ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₃	
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Dab}	۲/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Cab}	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₄	
۱/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Dab}	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Ca}	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₅	
۲/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Da}	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Ca}	۳/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{Ba}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	C ₆	

* حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت آماری معنادار در هر ستون است ($p < 0.05$)

* حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت آماری معنادار در هر سطر است ($p < 0.05$)

بحث

تعیین اندازه ذرات و چگونگی پراکنش نانو ذرات اکسیدروی

میانگین اندازه نانوذرات اکسید روی سنتز شده با استفاده از تکنیک DLS اندازه گیری شد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، اندازه گیری‌ها نشان داد که اندازه متوسط نانوذرات اکسیدروی از عصاره کلاهدک بادمجان حدود ۵۷۲/۰ نانومتر بود. هنگامی که مقدار PDI کمتر از ۰/۴ باشد، نمونه همگن در نظر گرفته می‌شود. همگنی برای مقادیر بین ۰/۴ و ۱ کاهش می‌یابد، و زمانی که مقدار PDI از ۱ بیشتر شود، نمونه ناهمگن در نظر گرفته می‌شود. در مطالعه حاضر نانوذرات اکسیدروی دارای شاخص چند پراکندگی (PDI) ۰/۳۳۲ هستند. این نشان داد که نانوذرات اکسید روی همگن هستند. Fouda و همکاران، طی سنتز سبز نانو ذرات اکسیدروی از عصاره آبی *Punica granatum* نشان دادند مقدار PDI حدود ۰/۳۱۲ بود، به این معنی که نانو ذرات اکسیدروی دارای توزیع خوب و همگنی بالا هستند (۲۸). در مطالعه‌های Vaishnav و همکاران (۲۰۱۷)، طی بررسی توزیع اندازه ذرات روی سنتز شده به روش سبز عصاره *Celosia argentea* نشان دادند دو پیک برای DLS نانوذرات اکسید روی سنتز شده، با ابعاد ۱۵۶/۶ نانومتر و

۵۸۱/۹ نانومتر بدست آمد که ممکن است از تجمع ذرات

حاصل شود (۲۹).

آزمون‌های شیمیایی

تغییرات pH یکی از شاخص‌های کیفی فساد ماهی است. به طور کلی، روند pH عضله ماهی زنده عموماً بین ۷-۶/۷ است اما پس از مرگ، بر اساس فصل، گونه و فاکتورهای دیگر، از ۶ تا ۷ متغیر است. براساس نتایج، روند افزایشی در میزان pH نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی طی ۱۴ روز نگهداری مشاهده شد. افزایش مربوط به تولید ترکیباتی مثل تری متیل آمین، دی متیل آمینو آمونیاک توسط باکتری‌های عامل فساد، تجزیه پروتئین‌ها و تولید بازهای از ته فرار می‌باشد. با توجه به نتایج شکل ۲a، ادغام کیتوزان در ماتریس پلیمری از روز ۷ نگهداری سبب کاهش معنادار میزان pH نمونه‌های فیله ماهی شد همچنین تأثیر معنادار آنتوسیانین بر کاهش روند افزایشی pH نمونه‌ها گزارش شد. نانوذرات اکسیدروی نیز سبب کاهش روند افزایشی میزان pH نمونه‌های فیله ماهی شدند. کاهش pH طی دوره نگهداری در تیمار نانوکامپوزیت ممکن است به دلیل تولید دی اکسیدکربن و تجزیه مواد آلی توسط نانوذرات اتفاق افتاده باشد. Khanipour و همکاران (۲۰۲۰)، طی بررسی تأثیر نانوکامپوزیت نانو ذرات مس / LDPE بر فیله ماهی قزل-آلای رنگین کمانی روند مشابهی نشان دادند (۳۰).

محصولات غذاهای دریایی با محتوای TBARS که از ۵ میلی-گرم MDA/kg تجاوز نمی‌کند، کیفیت خوبی در نظر گرفته می‌شوند، با این تفاوت که این حد معمولاً تا ۸ میلی-گرم MDA/kg افزایش می‌یابد و این محصولات همچنان ایمن و مناسب برای خوردن در نظر گرفته می‌شوند (۳۴). Hong و همکاران، مشاهده کردند که افزودن ۵ درصد روی/پوست گریپ فروت/کربن کوانتوم دات به فیلم نانوالیاف سلولزی، مقادیر TBARS گوشت خوک چرخ شده را کاهش داد (۳۵). به طور مشابه، Khan و همکاران، کاهش سطح TBARS گوشت مرغ بسته‌بندی شده در فیلم بر پایه صمغ حاوی ۲٪ ZnONPs و ۶٪ اسانس فورسیتیا را نشان داد (۳۶). Maghami و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند میزان TBAR فیله‌های ماهی *Huso huso* بسته‌بندی شده با فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر حاوی عصاره رازیانه به تأخیر افتاد و میزان آن در سطح قابل قبول (۰/۴۵mgMDA/kg) طی ۱۸ روز بود. علت این امر به ترکیبات فنلی و توکوفرول‌های عصاره رازیانه نسبت داده شده که قادر به تأخیر در اکسیداسیون هستند (۳۷).

نیتروزن کل فرار به طور گسترده برای تعیین کیفیت غذاهای دریایی استفاده می‌شود. براساس نتایج، روند افزایشی در میزان TVB-N نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی طی ۱۴ روز نگهداری مشاهده شد. افزایش TVB-N نمونه‌ها می‌تواند ناشی از فعالیت آنزیم‌های درون‌زا و فعالیت‌های متابولیکی میکروارگانیسم‌های تولیدکننده آمونیاک و آمین‌های بیوژنیک باشد (۳۸). کیتوزان (به تنهایی یا در ترکیب با مواد دیگر) می‌تواند به طور قابل توجهی مقادیر TVB-N را کاهش دهد که ممکن است به این دلیل باشد که فیلم‌های بسته‌بندی توانایی باکتری برای ترکیبات نیتروزنی غیرپروتئینی اکسیداتیو دآمین شده را تضعیف می‌کنند و

Riahi و همکاران اعلام کردند که کمترین مقدار pH در نمونه‌های میگو که در فیلم‌های کاراگینان حاوی آنتوسیانین پوست سیب‌زمینی شیرین و ۳ درصد نقاط کربن دوپ شده با TiO_2 در طول نگهداری بود (۳۱). به طور مشابه، Haghghi و Yazdanpanah کمترین pH (۵,۴۶) را برای فیله‌های رنگین کمان پوشش داده شده با کیتوزان/اسانس دارچین/عصاره چای و بالاترین pH (۸/۸۵) را برای نمونه‌های شاهد، در پایان نگهداری گزارش کردند (۳۲).

TBARS روشی برای ارزیابی اکسیداسیون لیپید، به ویژه مالون دی آلدئید (MDA) است که ارتباط نزدیکی با کیفیت حسی (طعم، بو، بافت) گوشت دارد. مالون دی آلدئید دومین و مهم‌ترین محصول اکسیداسیون چربی است و نشانگر درجه اکسیداسیون و فساد است (۳۳). براساس نتایج، روند افزایشی در میزان TBARS نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی طی ۱۴ روز نگهداری مشاهده شد. روند افزایشی این شاخص در طول مدت نگهداری ممکن است به دلیل افزایش آهن آزاد و دیگر پراکسیدان‌ها در ماهیچه ماهی باشد. روند افزایشی کندتر میزان TBARS فیله‌های بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با تیمار C1 ممکن است به ویژگی‌های شناخته شده و مستند شده عالی مانع اکسیژن فیلم‌های نانوکامپوزیت مربوط باشد که فقط مقدار کمی از اکسیژن می‌تواند با نمونه‌ها در تماس باشد. در نتیجه، سرعت اکسیداسیون کاهش می‌یابد. از طرفی به نظر می‌رسد مکانیسم عمل آنتوسیانین‌ها در کاهش میزان TBARS از طریق واکنش با رادیکال‌های آزاد و کند شدن فرآیند اکسیداسیون باشد. مکانیسم فعالیت آنتی اکسیدانی نانو ذرات روی ممکن است به دلیل جذب الکترواستاتیکی ترکیبات زیست فعال (COO^- , O^-) آنتوسیانین با نانوذرات با بار مثبت ($\text{ZnO} = \text{Zn}^{2+} + \text{O}_2$) باشد. به طور کلی،

¹ Malondialdehyde

باکتری‌های سرمادوست گرم منفی گروه اصلی میکروارگانیزم‌هایی هستند که مسئول فاسد شدن ماهی‌های تازه ذخیره‌شده هوازی در دمای سرد هستند. محدوده فساد ماهی با باکتری‌های سرمادوست $7 - 6 \log \text{cfu/g}$ گزارش شده است. بر این اساس، نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های حاوی نانوذرات (در هر سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد) تا روز دهم در محدوده مجاز بودند.

باکتری‌های انتروباکتریاسه نیز به عنوان یک شاخص بهداشتی و همچنین بخشی از میکروفلور ماهی تازه هستند. متداول‌ترین آلوده‌کننده‌های گوشت و محصولات گوشتی، باکتری‌های انتروباکتریاسه هستند که در نتیجه فعالیت آن‌ها آمین‌های بیوژنیک تولید می‌شود. تعداد انتروباکتریاسه نمونه‌های ماهی گروه C1 پس از ۱۰ روز به $6/25 \log \text{cfu/g}$ رسید. در حالیکه بین تیمارهای مختلف، کمترین تعداد انتروباکتریاسه‌ها در گروه C6 مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که فیلم نانوکامپوزیت C6 می‌تواند به طور موثر رشد باکتری‌ها را به تاخیر بیندازد و ماندگاری ماهی را افزایش دهد.

به طور کلی کاهش در تعداد باکتری‌ها در نتیجه: (۱) اثرات ضد میکروبی کیتوزان؛ از طریق تغییر در نفوذپذیری غشای سلولی به واسطه‌ی واکنش بین بار مثبت مولکول‌های کیتوزان و بار منفی غشای سلول‌های میکروبی است که منجر به نشت محتویات پروتئینی و سایر محتویات ضروری داخل سلولی و در نهایت مرگ سلول می‌شود (۴۲، ۲) اثرات ضد میکروبی آنتوسیانین‌ها؛ با مکانیسم تحریک آزادسازی لیپوپلی‌ساکاریدها از غشای خارجی باکتری‌های گرم منفی (۴۳) و (۳) فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات اکسیدروی و از طریق انتشار یون‌های Zn^{2+} از فیلم می‌تواند از طریق دیواره سلولی میکروارگانیزم‌ها نفوذ کند و با اجزای داخلی واکنش دهد که در نهایت بر روی زنده ماندن سلول‌ها تأثیر می‌گذارد.

تعداد باکتری‌های پروتئولیتیک را کاهش می‌دهند. پس از مرگ ماهی، میکروارگانیزم‌ها، پروتئین‌ها را برای تولید ترکیبات نیتروژن مانند آمین تجزیه می‌کنند (۳۹). محتوای TVB-N ماهی تازه از $5 \text{ mgN}_2/\text{kg}$ تا $10 \text{ mgN}_2/\text{kg}$ به حد مجاز $30 \text{ mgN}_2/\text{kg}$ متغیر است (۴۰). بنابراین، تمامی نمونه‌ها طی ۱۰ روز (به استثناء نمونه C1) TVB-N حد مجاز داشتند در حالیکه در روز ۱۴، تنها نمونه‌های C5 و C6 (به ترتیب نمونه‌های حاوی ۳ و ۵ درصد نانوذرات) محتوای TVB-N حد مجاز را داشتند. Maghami و همکاران، نشان داد که بسته بندی فیله ماهی با کیتوزان حاوی اسانس رازیانه باعث کاهش مقدار TVB-N در طول دوره نگهداری شد، به طوری که در روز ۱۸ در سطح قابل قبول ($14/53 \text{ mgN}_2/\text{kg}$) باقی ماند (۳۷). Mohammadi و همکاران (۲۰۱۹)، طی بررسی تأثیر کربوکسی متیل سلولز/موسیلاژ بامیه/نانوذرات روی بر ماندگاری گوشت سینه مرغ بارگذاری شده در دمای ۴ درجه سلسیوس نشان دادند استفاده از نانو کامپوزیت مذکور در بسته‌بندی، به طور قابل توجهی افزایش میزان TVN-B را تا ۱۲ روز نگهداری به تاخیر انداخت (۴۱).

آزمون‌های میکروبی

نتایج میزان باکتری‌های مزوفیل کل، سایکروفیل و انتروباکتریاسه نمونه‌های مختلف فیله ماهی بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت طی ۱۴ روز نگهداری روند افزایشی را نشان داد. افزایش بار باکتریایی با گذشت زمان به خاطر تکثیر تصاعدی باکتری‌ها یک امر طبیعی است. تعداد باکتری‌ها در تیمار C3 کمتر از گروه C1 و C2 بوده است. نانوذرات اکسیدروی نیز سبب کاهش معنادار روند افزایشی میزان باکتری‌های مزوفیل کل نمونه‌های فیله ماهی شد. مقدار بارکل میکروبی برای فراورده‌های شیلاتی $7 \log \text{cfu/g}$ گزارش شده است. بنابراین تمامی نمونه‌ها طی ۷ روز (به استثناء نمونه C2) حد مجاز بار میکروبی کل را نشان دادند.

زمان است. مطالعات نشان داده است عصاره‌ها وقتی به فیلم‌های بسته‌بندی اضافه می‌شوند به آهستگی به سطح مواد غذایی رها می‌شوند بنابراین در یک مدت زمان طولانی و در یک غلظت بالا بر روی مواد غذایی باقی می‌مانند و از این طریق باعث حفظ کیفیت مواد غذایی می‌شوند. کاهش امتیاز رنگ به دلیل اکسیداسیون میوگلوبین در نمونه‌های گوشت است که منجر به کاهش میزان قرمزی و افزایش میزان زردی گوشت می‌شود و با ایجاد رنگ نامطلوب در گوشت، کاهش امتیاز ارزیابی حسی رنگ را به دنبال دارد (۴۸). رفتار مصرف کننده نشان می‌دهد که بافت یک عامل خوشایند و مطلوب در تعیین کیفیت گوشت می‌باشد. بافت تحت تأثیر اکسیداسیون گوشت قرار گرفته است که ممکن است به دلیل از دست رفتن گروه‌های تیول باشد زیرا اکسیداسیون پروتئین‌های گوشت با تشکیل کربونیل و حذف گروه‌های تیول همراه است (۴۹). همچنین می‌تواند به دلیل اثر عصاره بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه کاهش تخریب و دنا توره شدن پروتئین‌ها باشد. در گوشت با گذشت زمان بافت توسط فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم‌های گوشت تخریب می‌شود، این تخریب بافت با تجزیه ترکیبات پروتئینی، نرمتر شدن بافت و تولید ترکیبات از ته همراه است.

Zolfaghari و همکاران، طی بررسی بسته‌بندی فیله ماهی در پوشش فیلم خوراکی مبتنی بر ژئین ذرت حاوی عصاره شوید و بتا سیکلودکسترین نشان دادند ویژگی‌های حسی (بو، رنگ، بافت، و مقبولیت کلی) فیله ماهی تفاوتی در امتیاز حسی اولیه تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نشد و در محدوده ۴-۵ ثبت شد. مطابق با آنالیز میکروبی و شیمیایی، فیله‌های بسته‌بندی نشده (گروه CO) پس از ۳ روز نگهداری از نظر قابلیت پذیرش کلی، بو و ویژگی‌های بافت امتیاز غیرقابل قبولی (زیر ۳) کسب کردند، درحالی‌که فیلم‌های استفاده شده به طور قابل توجهی از دست دادن امتیاز حسی

نانو ذرات اکسیدروی به عنوان واسطه تولید پراکسید هیدروژن، یک عامل اکسید کننده قوی می‌باشد که باعث آسیب به غشای سلولی باکتری می‌شود (۴۴).

Kaya و Kizilkaya گزارش کردند که پوشش ماهی قزل آلی رنگین کمان با محلول بسته‌بندی بر پایه کیتوزان حاوی رزمارینیک اسید و نانوذرات TiO_2 جمعیت کل باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست را کاهش داد (۴۵). در مطالعه دیگر گودرزی و همکاران، گزارش کردند که الیاف ساخته شده از κ -کاراگینان-پلی وینیل الکل حاوی آنتوسیانین *Prunus domestica* و اپی گالوکاتچین گالات باعث کاهش انتروباکتریاسه در گوشت چرخ کرده گاو بسته بندی شده پس از ۱۵ روز شد (۴۵).

ارزیابی حسی

پنج عامل مهم طعم، بافت، رنگ و بو در کیفیت گوشت نقش دارند. بافت، اساسی‌ترین عامل نشان دهنده کیفیت گوشت از دیدگاه مصرف کننده است. بنابراین، بهبود کیفیت گوشت و ترد بودن آن اهمیت ویژه‌ای دارد (۴۶). همچنین رنگ و بوی گوشت، شاخصی است که از سوی مصرف کننده برای اطمینان از فاسد نبودن گوشت استفاده می‌شود. طعم گوشت یکی از فاکتورهای مهم در مطلوب بودن آن برای مصرف کنندگان است. در گوشت پخته شده، طعم گوشت تحت تأثیر اثر متقابل قندها و اسیدهای آمینه، اکسیداسیون چربی‌ها و تغییرات تیامین قرار دارد (۴۷).

براساس نتایج، روند کاهشی در امتیاز طعم، بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی نمونه‌های فیله ماهی در تمام تیمارهای مورد بررسی طی ۱۴ روز نگهداری مشاهده شد. اکسیداسیون لیپیدها در سیستم گوشتی در غشاء سلولی که اسیدهای چرب چند غیراشباع وجود دارند آغاز می‌شوند و نتیجه حسی حاصل از اکسیداسیون آن‌ها ایجاد و توسعه طعم نامطلوب است که عمدتاً مربوط به طعم تندشدگی در طول

۱۴ روز نگهداری میزان pH، میزان TBRAs و مواد تشکیل دهنده TVB-N نمونه‌های فیله ماهی روند افزایشی داشت. کاهش روند افزایشی pH، TBRAs و TVB-N با ادغام کیتوزان، آنتوسیانین و نانو ذرات (درصدهای مختلف) مشاهده شد. بررسی نتایج میکروبی نیز نشان دهنده مهار رشد باکتری‌ها (مزوفیل، سایکروفیل و انتروباکتریاسه) در نمونه‌های بسته‌بندی شده با کیتوزان، آنتوسیانین و نانو ذرات اکسیدروی (درصدهای مختلف) بود. فیله‌های بسته‌بندی طی دوره ذخیره‌سازی بالاترین امتیاز حسی را داشتند که در طول مدت نگهداری کاهش امتیاز حسی از طرف ارزیابان حسی گزارش شد. در مجموع با توجه به تأثیر مثبت فیلم‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز/کیتوزان/آنتوسیانین کلاهک بادمجان/نانو ذرات روی (۱، ۳ و ۵ درصد) می‌توان گفت بهینه تیمار این تحقیق ۳ درصد نانو ذرات اکسید روی است که طی ۷ روز زمان نگهداری بدون تأثیر بر ارزیابی حسی می‌تواند کیفیت فیله‌های ماهی سفید دریای خزر را حفظ نماید.

را به تعویق انداختند. فیله‌های بسته‌بندی شده در طول ۱۲ روز نگهداری در شرایط یخچالی، نمرات غیرقابل قبولی دریافت نکردند. این امر می‌تواند به دلیل اثرات محافظتی آن‌ها در برابر تغییرات میکروبی و شیمیایی نمونه‌ها و همچنین ایجاد حس خوشایند در ارزیاب‌ها به دلیل طعم و عطر منحصر به فرد عصاره شوید در کنار فیله ماهی باشد (۵۰).

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف سنتز نانو ذرات روی با استفاده از عصاره کلاهک بادمجان و بکارگیری آن در فیلم نانوکامپوزیت هیدروکسی پروپیل متیل سلولز-کیتوزان-آنتوسیانین پوست بادمجان-نانو ذرات روی برای بسته‌بندی فیله ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*) طی مدت زمان نگهداری در شرایط یخچالی انجام شد. نتایج توزیع اندازه ذرات نشان دهنده یکنواختی توزیع اندازه قطرات در همه نمونه سنتز شده به روش سبز بود و مقدار شاخص پلی پراکندگی برابر با ۰/۳۳۲ گزارش شد. بررسی فیلم نانوکامپوزیت برای بسته‌بندی فیله‌های ماهی نشان داد طی

منابع

۱. Bavand Savadkouhi E, Khara H. Effect of age on reproductive performance of Kutum, *Rutilus frisii* (Nordmann, 1840) in Shirood River, the southern coast of the Caspian Sea. 2017.
۲. Heshmati A, Karami-Momtaz J, Nili-Ahmadabadi A, Ghadimi S. Dietary exposure to toxic and essential trace elements by consumption of wild and farmed carp (*Cyprinus carpio*) and Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) in Iran. *Chemosphere*. 2017;173:207-15.
۳. Action S. World fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization. 2020;2020:1-244.
۴. Rathod NB, Ranveer RC, Benjakul S, Kim SK, Pagarkar AU, Patange S, et al. Recent developments of natural antimicrobials and antioxidants on fish and fishery food products.

- Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 202۰;۲۰(۴):۱۸۲-۲۱۰.
۵. Bigi F, Haghghi H, Siesler HW, Licciardello F, Pulvirenti A. Characterization of chitosan-hydroxypropyl methylcellulose blend films enriched with nettle or sage leaf extract for active food packaging applications. *Food Hydrocolloids*. ۲۰۲۱;۱۰۶۹۷۹:۱۲۰.
۶. Zheng M, Chen J, Tan KB, Chen M, Zhu Y. Development of hydroxypropyl methylcellulose film with xanthan gum and its application as an excellent food packaging biomaterial in enhancing the shelf life of banana. *Food Chemistry*. 2022;374:۱۳۱۷۹۴.
۷. Mahadevaiah, Shivakumara LR, Demappa T, Singh V. Mechanical and barrier properties of hydroxy propyl methyl cellulose edible polymer films with plasticizer

- combinations. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;41(4):e13020.
- .^۸ Wrona M, Cran MJ, Nerin C, Bigger SW. Development and characterisation of HPMC films containing PLA nanoparticles loaded with green tea extract for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*. 2017;156:108-17.
- .^۹ Ghadermazi R, Hamdipour S, Sadeghi K, Ghadermazi R, Khosrowshahi Asl A. Effect of various additives on the properties of the films and coatings derived from hydroxypropyl methylcellulose—A review. *Food science & nutrition*. 2019;7(11):3363-77.
- .^{۱۰} Haghighi H, Licciardello F, Fava P, Siesler HW, Pulvirenti A. Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020;26:100551.
- .^{۱۱} Másson M. Antimicrobial properties of chitosan and its derivatives. *Chitosan for Biomaterials III: Structure-Property Relationships*; Springer; 2021. p. 131-68.
- .^{۱۲} Machado BR, Facchi SP, de Oliveira AC, Nunes CS, Souza PR, Vilsinski BH, et al. Bactericidal pectin/chitosan/glycerol films for food pack coatings: a critical viewpoint. *International journal of molecular sciences*. 2020;21(22):8663.
- .^{۱۳} Alappat B, Alappat J. Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. *Molecules*. 2020;25(23):5500.
- .^{۱۴} Bilgiç S, Söğüt E, Seydim AC. Chitosan and starch based intelligent films with anthocyanins from eggplant to monitor pH variations. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2019;7:61-6.
- .^{۱۵} Yong H, Wang X, Zhang X, Liu Y, Qin Y, Liu J. Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*. 2019;94:93-104.
- .^{۱۶} Kumar S, Basumatary IB, Sudhani HP, Bajpai VK, Chen L, Shukla S, et al. Plant extract mediated silver nanoparticles and their applications as antimicrobials and in sustainable food packaging: A state-of-the-art review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;112:651-66.
- .^{۱۷} Jaiswal V, Butola B, Majumdar A. Production of PVA-chitosan films using green synthesized ZnO NPs enriched with dragon fruit extract envisaging food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023;252:126457.
- .^{۱۸} Kalpana V, Devi Rajeswari V. A review on green synthesis, biomedical applications, and toxicity studies of ZnO NPs. *Bioinorganic chemistry and applications*. 2018;2018(1):3569758.
- .^{۱۹} Zahiri Oghani F, Tahvildari K, Nozari M. Novel antibacterial food packaging based on chitosan loaded ZnO nano particles prepared by green synthesis from Nettle leaf extract. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2021;31:43-54.
- .^{۲۰} Alamdari S, Mirzaee O, Jahroodi FN, Tafreshi MJ, Ghamsari MS, Shik SS, et al. Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild *Mentha pulegium* extract for packaging applications. *Surfaces and Interfaces*. 2022;34:102349.
- .^{۲۱} Fu X, Zhu C, Shen A, Fan W, Shan C, editors. Extraction of anthocyanin from eggplant peel by ultrasonic assisted method and application in cosmetics. *E3S Web of Conferences*; 2021: EDP Sciences.
- .^{۲۲} Horincar G, Enachi E, Bolea C, Râpeanu G, Aprodu I. Value-added lager beer enriched with eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract. *Molecules*. 2020;25(3):731.
- .^{۲۳} Hameed S, Iqbal J, Ali M, Khalil AT, Abbasi BA, Numan M, et al. Green synthesis of zinc nanoparticles through plant extracts: establishing a novel era in cancer theranostics. *Materials Research Express*. 2019;6(10):102005.
- .^{۲۴} Gasti T, Dixit S, D'souza OJ, Hiremani VD, Vootla SK, Masti SP, et al. Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing *Phyllanthus reticulatus* anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet. *International journal of biological macromolecules*. 2021;187:451-61.
- .^{۲۵} Wu M, Zhou Z, Yang J, Zhang M, Cai F, Lu P. ZnO nanoparticles stabilized oregano essential oil Pickering emulsion for functional cellulose nanofibrils packaging films with antimicrobial and antioxidant activity.

- International Journal of Biological Macromolecules. 2021;190:433-40.
- ۲۶ Bazargani-Gilani B. Activating sodium alginate-based edible coating using a dietary supplement for increasing the shelf life of rainbow trout fillet during refrigerated storage (4 ± 1 C). Journal of Food Safety. 2018;38(1):e12395.
- ۲۷ Prabhakar PK, Vatsa S, Srivastav PP, Pathak SS. A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. Food research international. 2020;133:109157.
- ۲۸ Fouda A, Saied E, Eid AM, Kouadri F, Alemam AM, Hamza MF, et al. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using an Aqueous Extract of Punica granatum for Antimicrobial and Catalytic Activity. Journal of Functional Biomaterials. 2023;14(4):205.
- ۲۹ Vaishnav J, Subha V, Kirubanandan S, Arulmozhi M, Renganathan S. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by Celosia argentea and its characterization. J Optoelectron Biomed Mater. ۲۰۱۷;۹(۱):۵۹-۶۶.
- ۳۰ Khanipour A, Bahmani ZA, Oromiehie A, Motalebi A. Effect of packaging with nano-composite clay/LDPE film on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet at refrigerated storage. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 20۲۱;۲۹(۲):۶۹۸-۷۱۴.
- ۳۱ Riahi Z, Khan A, Rhim J-W, Shin GH, Kim JT. Carrageenan-based active and intelligent packaging films integrated with anthocyanin and TiO₂-doped carbon dots derived from sweet potato peels. International Journal of Biological Macromolecules. 2024;259:129371.
- ۳۲ Haghighi M, Yazdanpanah S. Chitosan-based coatings incorporated with cinnamon and tea extracts to extend the fish fillets shelf life: validation by FTIR spectroscopy technique. Journal of Food Quality. 2020;2020(1):8865234.
- ۳۳ Khorshidi S, Mehdizadeh T, Ghorbani M. The effect of chitosan coatings enriched with the extracts and essential oils of Elettaria Cardamomum on the shelf-life of chicken drumsticks vacuum-packaged at 4° C. Journal of Food Science and Technology. 2021;58:۲۹۲۴-۳۰۵.
- ۳۴ Duarte AM, Silva F, Pinto FR, Barroso S, Gil MM. Quality assessment of chilled and frozen fish—mini review. Foods. 2020;9(12):1739.
- ۳۵ Hong SJ, Ha SY, Shin GH, Kim JT. Cellulose nanofiber-based multifunctional composite films integrated with zinc doped-grapefruit peel-based carbon quantum dots. International Journal of Biological Macromolecules. 2024;267:131397.
- ۳۶ Khan S, Shu Y, Li C, Liang T, Zhang Z. The influence of forsythia essential oil and ZnO nanoparticles on the physicochemical properties of ASKG-based film and its effect on the preservation of meat quality. Food Bioscience. 2023;56:103239.
- ۳۷ Maghami M, Motalebi AA, Anvar SAA. Influence of chitosan nanoparticles and fennel essential oils (*Foeniculum vulgare*) on the shelf life of *Huso huso* fish fillets during the storage. Food science & nutrition. 2019;7(9):3030-41.
- ۳۸ Bekhit AE-DA, Holman BW, Giteru SG, Hopkins DL. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. Trends in Food Science & Technology-۲۰۲۱;۲۸(۱):۱-۱۰.
- ۳۹ Kakaie S, Shahbazi Y. 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 sensory properties of minced trout fillet. LWT-Food Science and Technology. 2016;72:432-8.
- ۴۰ Tahir HE, Hashim SB, Mahunu GK, Arslan M, Jiyong S, Mariod AA, et al. Smart films fabricated from natural pigments for measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content of meat for freshness evaluation: A systematic review. Food Chemistry. 2022;396:133674.
- ۴۱ Mohammadi H, Kamkar A, Misaghi A, Zunabovic-Pichler M, Fatehi S. Nanocomposite films with CMC, okra mucilage, and ZnO nanoparticles: Extending the shelf-life of chicken breast meat. Food Packaging and Shelf Life. 2019;21:100330.
- ۴۲ Yaghoubi M, Ayaseh A, Alirezalu K, Nemati Z, Pateiro M, Lorenzo JM. Effect of chitosan coating incorporated with *Artemisia fragrans* essential oil on fresh chicken meat

- during refrigerated storage. *Polymers*. 2021;13(5):716.
- ۴۳ Akhbari M, Hamed S, Aghamiri Z-s. Optimization of total phenol and anthocyanin extraction from the peels of eggplant (*Solanum melongena* L.) and biological activity of the extracts. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;13:3183-97.
- ۴۴ Gudkov SV, Burmistrov DE, Serov DA, Rebezov MB, Semenova AA, Lisitsyn AB. A mini review of antibacterial properties of ZnO nanoparticles. *Frontiers in Physics*. 2021;9:641481.
- ۴۵ Kizilkaya P, Kaya M. The Effect of a Chitosan/TiO₂-Nanoparticle/Rosmarinic Acid-Based Nanocomposite Coating on the Preservation of Refrigerated Rainbow Trout Fillets (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Science of Animal Resources*. 2023;43(6):1170.
- ۴۶ Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Sant'Ana AS, Khaneghah AM, Gavahian M, et al. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*. 2018;113:156-66.
- ۴۷ Babuskin S, Babu PAS, Sasikala M, Sabina K, Archana G, Sivarajan M, et al. Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf life extension of raw chicken meat. *International journal of food microbiology*. 2014;171:32-40.
- ۴۸ Campo M, Nute G, Hughes S, Enser M, Wood J, Richardson R. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*. 2006;72(2):303-11.
- ۴۹ Muñio I, Díaz MT, Apeleo E, Pérez-Santaescolástica C, Rivas-Cañedo A, Pérez C, et al. Valorisation of an extract from olive oil waste as a natural antioxidant for reducing meat waste resulting from oxidative processes. *Journal of Cleaner Production*. 2017;140:924-32.
- ۵۰ Zolfaghari A, Bazargani-Gilani B, Aghajani N. Edible film based on corn zein containing dill extract and essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complex: Shelf life enhancement of common carp fillet. *Food Science & Nutrition*. 2023;11(7):4275-88.

Extension of Caspian Sea white fish fillet using a nanocomposite film containing green synthesis of ZnO NPs using eggplant cap extract

Mahsa Salehi¹, Amir Shakerian², Zohreh Mashak^{3*}, Ebrahim Rahimi¹

¹ Department of Food Hygiene, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

² Research Center of Nutrition and Organic Products, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

³ Department of Food Hygiene, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Corresponding Author: Mashak@Kiau.ac.ir

Abstract

Introduction and purpose: Food spoilage is a main global concern owing to the lack of suitable packaging technology. Nanotechnology is expected to ameliorate food packaging. In this study, the effect of chitosan/eggplant peel anthocyanin/ZnONPs synthesized from eggplant cap extract (at three levels of 1, 3, and 5%) in a HPMC film matrix on the shelf life of Caspian Sea white fish fillets was investigated.

Chemical (pH, TVB-N, and TBARs) and microbiological (psychrophilic, mesophilic bacteria, and Enterobacteriaceae count) tests, sensory attributes (flavor, odor, color, texture and overall acceptance) were used to determine the quality of fish fillets during 14 days (at days 0, 1, 7, 10, and 14) of storage at refrigerated temperature.

The average size of the synthesized nanoparticles was 0.527 nm. The uniform dispersion of nanoparticles on the synthesized films from eggplant cap extract was confirmed by DLS test with PDI of 0.332. Overall, the results indicated a positive effect of packaging film on the shelf life of Caspian Sea white fish fillets. The highest levels of pH, TVB-N, TBARs, and mesophilic, psychrophilic, and enterobacterial bacterial populations were observed in the control sample, while the lowest levels were observed in the nanocomposite film containing 5% eggplant cap extract-synthesized ZnO nanoparticles.

Fish fillets packaged in the nanocomposite film containing 5% ZnO nanoparticles had the highest sensory scores during storage. Therefore, the produced nanocomposite film can be used as active packaging to increase the shelf life of Caspian Sea fish fillet.

Keywords: Packaging film, Caspian Sea white fish, ZnO nanoparticles, green synthesis, eggplant cap extract.