



پایش تغییرات فیزیکوشیمیایی تخم مرغ با پوشش نانوجندسازه فعال حاوی عصاره سیر (*Allium sativum L.*) طی دوره انبارمانی

اسماعیل یوسفی زیرابی^۱، داریوش خادمی شورمستی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله : تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۳	تخم مرغ یکی از منابع ارزان قیمت پروتئینی و در عین حال فسادپذیر است، لذا حفظ کیفیت داخلی آن طی دوره ذخیره سازی اهمیت ویژه ای دارد. تحقیق حاضر با هدف تأثیر پوشش نانو چندسازه ای بر تغییرات فیزیکوشیمیایی تخم مرغ طی دوره نگهداری به مدت ۴ هفته اجرا شد. تخم مرغ های فاقد پوشش (شاهد) و تخم مرغ های تیمار شده با پوشش دو سازه ای پلی وینیل الکل/کیتوزان (PC)، پوشش سه سازه ای پلی وینیل الکل/کیتوزان/مون-موریلونیت (PCM)، و پوشش های PCM حاوی غلظت های ۲ و ۴ درصد عصاره سیر در مجموع ۵ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد اثر ضد میکروبی وابسته به غلظت عصاره سیر در برابر استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر از اشرشیا کلی بود. فیلم های تهیه شده نانو سه سازه ای PCM فعال دارای ضخامت، استحکام کششی و مدول الاستیسیته بیشتر و حلالیت، کرنش و نفوذپذیری کمتر بودند ($p < 0.05$). در پایان ۴ هفته نگهداری، تخم مرغ های دارای پوشش نانو سه سازه ای PCM فعال، پوسته ضخیم تر (0.40 میلی متر) و مستحکم تر (0.310 کیلوگرم) داشته، موجب افت وزنی کمتر (حدود ۴ درصد)، واحد هاو ($70/00$) و اندیس زرده (0.43) بالاتر و کمترین شمار باکتری کل ($1 \log \text{cfu/ml}$) بودند. بنابراین می توان از پوشش نانو سه سازه ای PCM حاوی ۴ درصد عصاره سیر به عنوان بسته بندی زیست تخریب پذیر جهت حفظ کیفیت داخلی و پوسته تخم مرغ و افزایش زمان نگهداری آن در دمای محیط استفاده کرد.
کلمات کلیدی: پلی وینیل الکل، پوشش نانو چند سازه ای، عصاره سیر (<i>Allium sativum L.</i>)، کیتوزان، نانو رس	
DOI:10.22034/FSCT.21.153.1.	
* مسئول مکاتبات:	

۱. مقدمه

تخم مرغ یکی از اصلی ترین منابع پروتئین حیوانی با قیمت مناسب و کیفیت عالی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از جمله کشورمان ایران است. به دلیل تبادلات گازی و جرمی بین محتوای درونی تخم مرغ و محیط از طریق پوسته، روند کاهش مستمر کیفیت داخلی و پوسته تخم مرغ در صورت نامناسب بودن شرایط انبارمانی به شدت سرعت می یابد [۱]. رهیافت های زیادی جهت نگهداری تخم مرغ مورد مطالعه قرار گرفته است که به طور کلی می توان آنها را بر اساس سازوکار به دو دسته غیرفعال کردن میکروارگانیسم های روی پوسته تخم مرغ و دیگری مسدود کردن منافذ پوسته جهت ممانعت از تبادلات بخار آب، گازها و میکروارگانیسم ها طبقه بندی کرد [۲]. در این رابطه پوشش دهی پوسته به عنوان نوعی بسته بندی تخم مرغ مدنظر قرار گرفته و مطالعات نسبتاً گسترده ای با استفاده از مواد پوششی زیست پلیمری مختلف مانند مشتقات سلولز [۳]، پکتین [۴] و کیتوزان [۵] صورت گرفته است.

پلی (وینیل الکل) (PVA) یک پلیمر مصنوعی و کیتوزان (CH) یک زیست پلیمر غیر سمی، زیست تخریب پذیر هستند. PVA حاوی تعداد زیادی از گروه های هیدروکسیل است و به راحتی می تواند پیوندهای هیدروژنی را با مولکول های آب آزاد تشکیل دهد. فیلم های کیتوزان دارای نفوذپذیری نسبت به گازها و خواص مکانیکی مطلوبی هستند. با این حال، شکنندگی مواد و نفوذپذیری بالای آن در برابر بخار آب، کاربرد آن را در بسته بندی مواد غذایی محدود می کند [۶]. یک اختلاط مکانیکی ساده از پلیمرها و تولید یک پوشش کامپوزیتی، رهیافت مؤثری برای غلبه بر خواص مکانیکی ضعیف است. برای غلبه بر خواص مکانیکی ضعیف PVA معمولاً آن را با کیتوزان مخلوط می کنند تا از فعل و انفعالات بین این دو ماده جهت به حداکثر رساندن عملکرد پوشش کامپوزیت استفاده شود [۷]. در مطالعه قبلی نشان داده شد پوشش های ترکیبی CH/PVA حاوی حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد وزنی PVA، به عنوان بسته بندی زیست تخریب پذیر تخم مرغ، می توانند برای افزایش ماندگاری ۲ تا ۳ هفته در دمای محیط استفاده شوند [۸]. در عین حال برای تقویت خصوصیات کششی و سدی فیلم های بسته بندی مبتنی بر زیست پلیمر، افزودن نانوپرکننده های مختلف پیشنهاد شده است. نانو رس های سیلیکات لایه ای از جمله امیدوار کننده ترین مواد در بین

نانوپرکننده های مختلف هستند. افزودن مقادیر کمی از نانوپرکننده ها مانند نانو رس به زیست پلیمرها باعث می شود کلاس جدیدی از فیلم های بسته بندی مبتنی بر زیست-نانوکامپوزیت ایجاد شود [۹]. ضمن اینکه نتایج تحقیقات قبلی نشان داد استفاده از سطوح افزایشی نانورس با بهبود خصوصیات ممانعتی، موجب افزایش کارایی پوشش های نانوکامپوزیت می شود [۱۰ و ۱۱].

اثرات منفی استفاده از نگهدارنده های شیمیایی، توجه و تلاش محققان را به سمت استفاده از نگهدارنده های طبیعی مانند اسانس و عصاره های گیاهی سوق داده است. این ترکیبات به دلیل وجود ترپنوئیدها و ترکیبات فنلی در ترکیبات خود، به عنوان ترکیبات ضد میکروبی و ضد اکسیدانی در در ترکیب بسته بندی های فعال غذایی کاربرد فراوانی داشته اند. سیر (*Allium sativum* L.) به عنوان یک گیاه دارویی دارای ترکیبات گوگردی آلی مانند تیوسولفات ها به خصوص آلیسین است که جزء آنتی باکتریال موجود در سیر است. آلیسین یک سلاح طبیعی در برابر عفونت است که با مسدود کردن دو گروه از آنزیم ها، پروتئینازهای سیستمین و دهیدروژنازهای الکلی، تصور می شود یک ترکیب ضد میکروبی وسیع الطیف است [۱۲].

این مطالعه، ابتدا با هدف تهیه و بررسی خواص مکانیکی، فیزیکی و ضد میکروبی فیلم مرکب فعال سه گانه پلی وینیل الکل-کیتوزان-مونت موریلونیت حاوی غلظت های ۲ و ۴ درصد عصاره سیر و در ادامه با هدف پایش تغییرات کیفی تخم مرغ های بسته بندی شده با ماده پوششی مذکور طی دوره انبارمانی ۲۸ روزه اجرا شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

پلی وینیل الکل کاملاً هیدرولیز شده (با وزن مولکولی ۱۴۶-۸۵ کیلودالتون) و نانو مونت موریلونیت (MMT, K10) از شرکت سیگما آلد ریچ (آلمان)، پودر کیتوزان با وزن مولکولی ۱۹۰-۵۰ کیلودالتون و درجه استیل زدایی ۸۵ درصد از شرکت نانونوین پلیمر (ایران)، گلیسرول، اسید استیک گلاسیال ۹۹ درصد و سایر مواد شیمیایی و محیط های کشت مورد نیاز با درجه خلوص تجزیه ای از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. بوته های سیر از بازار محلی خریداری شد. تخم مرغ خوراکی پوسته سفید، بدون ترک خوردگی و بدون آلودگی به مدفوع با میانگین وزنی تقریبی

۵۷±۵ گرم از یک مزرعه پرورش مرغ تخمگذار محلی انتخاب و خریداری و با رعایت اصول بهداشتی به آزمایشگاه منتقل شد.

۲-۲- تهیه عصاره سیر

عصاره به روش پیشنهادی Hassanzadeh و همکاران [۱۳] تهیه شد. به طور خلاصه ابتدا حبه‌های سیر تهیه شده را به منظور جداسازی بهتر پوست در آب خیس کرده سپس پوست جدا و با آب شستشو داده شدند. بعد از شستشو، سیرها با مخلوط کن خانگی (مولینکس، فرانسه) کاملاً خرد شده و با نسبت ۱:۱ با آب مقطر مخلوط و به مدت ۴۸-۲۴ ساعت در دمای کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در پایان مدت نگهداری، ترکیب ابتدا از صافی پارچه‌ای جهت جداسازی ذرات درشت سیر و در ادامه از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده شد. در پایان پس از سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه عصاره سیر تهیه شد.

۲-۳- آماده‌سازی محلول‌ها و تهیه فیلم‌ها

محلول کیتوزان (۲ درصد وزنی/حجمی) با حل کردن مقدار مشخصی کیتوزان در اسید استیک ۱ درصد با هم‌زدن یک‌شبه در دمای اتاق، محلول پلی (وینیل الکل) (۵ درصد وزنی/حجمی) با حل کردن PVA در آب مقطر با هم‌زدن در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت و محلول نانومونت‌موریلونیت (۴ درصد وزنی/وزنی) از طریق انحلال مقدار مشخصی نانورس در آب مقطر آماده شد. هر محلول از CH، PVA و MMT در نسبت جرمی ۱:۱:۱ مخلوط شده و در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت هم زده شد. دو غلظت مختلف (۲ و ۴ درصد) از عصاره سیر (Gar) مطابق با تیمارهای آزمایشی به محلول‌ها اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق هم‌زده شد. جهت تهیه فیلم، ۲۰ گرم از مخلوط‌ها در پتری ریخته شده و در آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. فیلم‌های خشک شده با دقت جدا شده و تا زمان تجزیه و تحلیل در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد نگهداری شدند. فیلم‌ها با استفاده از روش ریخته‌گری تهیه شدند [۱۴].

۲-۴- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ضد میکروبی فیلم‌ها

ضخامت فیلم با استفاده از یک ریزسنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. خصوصیات مکانیکی شامل استحکام کششی^۱ (TS) و ازدیاد طول در نقطه شکست^۲ (EB) با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (مدل TA-XT2، انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت و مطابق با دستورالعمل شماره D882-18 استاندارد ASTM مستقیماً از منحنی‌های تنش-کرنش تعیین شدند. مدول یانگ^۳ (YM) بر حسب مگاپاسکال به صورت شیب ناحیه الاستیک منحنی‌های تنش-کرنش محاسبه شد. نفوذپذیری در برابر بخار آب^۴ (WVP) فیلم با استفاده از روش Fu و همکاران [۱۵] و حلالیت در آب^۵ (WS) فیلم با روش غوطه‌وری در آب مقطر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد [۱۶]. بررسی فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های حاوی عصاره‌های گیاهی با روش دیسک انتشاری انجام شد. فیلم‌ها با استفاده از یک قالب به دیسک‌هایی به قطر ۱۰ میلی‌متر تبدیل شدند. قبل از قرار دادن دیسک‌ها روی سطح محیط کشت، عمل کشت سطحی با استفاده از ۱۰۰ میکرولیتر محیط کشت مایع محتوی تقریباً ۱۰^۸ کلنی در میلی‌لیتر از باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کلی* انجام شد. دیسک‌ها در شرایط کاملاً استریل بر روی محیط کشت مولر هیتون آگار قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند. اختلاف قطر هاله‌های تشکیل شده پیرامون دیسک‌ها به عنوان شاخص فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها در نظر گرفته شد [۱۷].

۲-۵- پوشش‌دهی تخم مرغ

قبل از پوشش‌دهی، ابتدا از عدم وجود ترک‌های احتمالی روی پوسته اطمینان حاصل شد و تخم‌مرغ‌ها توزین شدند. تخم مرغ‌های هر تیمار آزمایشی (۲۰ عدد) به روش غوطه‌وری به مدت ۱ دقیقه در محلول‌های پوششی قرار گرفتند. پس از خروج از محلول‌های پوششی و خشک شدن، تخم‌مرغ‌های تیمار شده و شاهد به مدت ۴ هفته در دمای محیط نگهداری شدند و

4 -Water Vapor Permeability (WVP)
5 -Water Solubility (WS)

1 -Tensile strength (TS)
2 -Elongation at break (EB)
3 -Young's Modulus (YM)

فراسنجه‌های کیفیت داخلی و پوسته هفتگی اندازه‌گیری شدند [۱۸].

۶-۲- اندازه‌گیری فراسنجه‌های تخم مرغ

درصد افت وزنی^۶ (WL)، با محاسبه نسبت اختلاف وزن اولیه و نهایی به وزن اولیه تخم مرغ در هر بازه زمانی اندازه‌گیری و محاسبه شد. جهت ارزیابی واحد هاو^۷ (HU) از رابطه $HU = 100 \log(H + 7.57 - 1.7 W^{0.37})$ ارتفاع سفیده (میلی‌متر) است که با استفاده از ریزسنج دیجیتال (INSIZE، آلمان) اندازه‌گیری شد و W: وزن تخم مرغ (گرم) است. اندیس زرده^۸ (YI)، با اندازه‌گیری ارتفاع (h) و قطر زرده (d) با استفاده از رابطه $YI = h/d$ تعیین شد [۱۹]. برای تعیین pH سفیده، حدود ۲ گرم از هر نمونه در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه همگن شد و با pH متر دیجیتال (ATAGO, DPH-2، ژاپن) اندازه‌گیری شد. استحکام پوسته با استفاده از دستگاه بافت‌سنج و ضخامت پوسته با استفاده از میکرومتر دیجیتال به صورت میانگین اندازه ضخامت ۳ نقطه از پوسته تعیین شد.

برای ارزیابی آلودگی میکروبی سطح پوسته تخم مرغ، نمونه‌ها در کیسه پلاستیکی مخصوص حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محلول پیتون ۰/۱ درصد قرار گرفته و به مدت ۱ دقیقه با دست تکان داده شدند تا باکتری‌ها از آن جدا شوند. نمونه‌های محلول پوسته رقیق شده با استفاده از روش کشت آمیختنی از نمونه‌ها بر روی محیط پلیت کانت آگار کشت و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. سپس پلیت‌ها شمارش و نتایج بر حسب لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر میلی‌لیتر (log cfu/ml) گزارش گردید [۲۰].

۷-۲- طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل محلول تشکیل فیلم‌های پایه PVA، دوسازه‌ای PVA/CH، سه سازه‌ای PVA/CH/MMT و سه سازه‌ای فعال حاوی غلظت‌های ۲ و ۴ درصد عصاره سیر در ارزیابی فراسنجه‌های فیلم و ۵ تیمار شامل تخم مرغ‌های فاقد پوشش (شاهد) و تخم مرغ‌های حاوی پوشش‌های دوسازه‌ای، سه سازه‌ای و سه سازه‌ای فعال مطابق فرمولاسیون محلول‌های تشکیل فیلم در ارزیابی فراسنجه‌های

کیفیت داخلی و پوسته تخم مرغ اجرا شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ با ۵ تیمار و ۳ تکرار به روش آنالیز واریانس یکطرفه در مورد فیلم‌ها و دو طرفه در مورد پوشش تخم مرغ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و به صورت انحراف استاندارد میانگین ارائه شدند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد مقایسه شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات مکانیکی فیلم

استحکام کششی به حداکثر مقاومتی اطلاق می‌شود که یک فیلم می‌تواند تحمل کند. ازدیاد طول در هنگام شکست معیاری از توانایی یک فیلم برای کشش است. عوامل خاصی از جمله وجود افزودنی‌ها، درجه اتصال متقابل یا بلورینگی و شرایط دما و رطوبت در طول آزمایش استحکام فیلم‌ها را تعدیل می‌کنند [۲۱]. تعیین خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها مانند استحکام کششی، ازدیاد طول در هنگام شکست و الاستیسیته در ارزیابی کارایی بسته بندی مواد غذایی برای محافظت از آنها در برابر آسیب‌های خارجی فراسنجه‌های مهمی محسوب می‌شوند. نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر که در جدول ۱ آمده نشان داد که افزودن MMT و عصاره سیر باعث افزایش استحکام کششی فیلم‌ها شد ($p < 0.05$). این به دلیل پیوند متقابل ایجاد شده ناشی از مواد زمینه‌ای و عصاره بوده که موجب تقویت فیلم می‌شود [۲۲]. یکی دیگر از فراسنجه‌های مهم خواص مکانیکی، کرنش است که به ماده اجازه می‌دهد در برابر تغییر شکل و شکست تحت کشش مقاومت کند. درصد کرنش به انعطاف‌پذیری و دوام مواد بستگی دارد. عبارتی فیلم‌های با استحکام کششی بالاتر کرنش کمتری دارند. روند کاهشی در EB و افزایش شکنندگی در فیلم کامپوزیت فعال را می‌توان با ادغام توده‌های عصاره در شبکه ماتریس پلیمری توضیح داد که موجب محدودیت حرکت زنجیره‌های پلیمری می‌شود [۲۳]. به طور کلی، مواد با استحکام کششی و مدول یانگ بالا، اما درصد کرنش کم، بدون در نظر گرفتن ضخامت ماده، دارای پیوند متقاطع بالاتری هستند [۲۲]. نتایج نشان می‌دهد که مواد زمینه‌ای و افزودنی‌ها در فیلم‌های

کامپوزیت و فعال تأثیر قابل توجهی بر خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی دارند (جدول ۱).

۲-۳- ضخامت و خصوصیات فیزیکی فیلم

محدوده بهینه ضخامت فیلم به اهداف کاربردی آن بستگی دارد. چنانکه جهت حفظ یکپارچگی ساختاری محصولات تازه، فیلم‌های ضخیم‌تر مزایای بیشتری را برای کاربردهای پوشش‌دهی فراهم می‌کنند [۲۴]. نتایج نشان داد همبستگی مثبت و مستقیم شدیدی بین ضخامت و استحکام کششی فیلم‌ها (۰/۹۱۱) وجود داشت. ضمن اینکه ضخامت فیلم‌های خوراکی به تدریج با افزودن CH و MMT به فیلم پایه افزایش یافت، در حالی که عصاره سیر نقش زیادی در افزایش ضخامت فیلم بازی نکرد ($p < 0/05$). حلالیت و نفوذپذیری در برابر بخار آب فیلم‌ها از فراسنجه‌های مهم فیلم‌های خوراکی هستند. نیاز حلالیت فیلم بسته به کاربرد آن متفاوت است. برای مثال، فیلم‌های با حلالیت کمتر برای ذخیره‌سازی‌های طولانی مدت تر غذا ترجیح داده می‌شوند [۲۲]. با وجود اینکه کیتوزان یک پلیمر آبدوست است، آبدوستی شدید پلی وینیل الکل نسبت به کیتوزان باعث شده است که در رقابت برای جذب، پلی وینیل الکل مولکول‌های آب بیشتری را به خود جذب کند ($p < 0/05$). ضمن اینکه نتایج حلالیت در آب با نتایج به دست آمده در مورد WVP (۰/۹۸۵۰) همبستگی زیادی داشت. پایین بودن نفوذپذیری بخار آب (WVP) در افزایش ماندگاری غذاها مؤثر است؛ در واقع کارایی

فیلم‌های بسته‌بندی به توانایی آن‌ها در جلوگیری یا حداقل کاهش انتقال رطوبت بین غذا و محیط اطراف مربوط می‌شود [۲۵]. همانطور که در جدول ۱ آمده، WVP فیلم‌های حاوی MMT نسبت به سایر فیلم‌ها کاهش یافته است ($p < 0/05$). تأیید شده است که وجود لایه‌های نانوذرات پراکنده منظم با نسبت‌های نسبتاً بزرگ در فیلم‌های نانوکامپوزیت منجر به کاهش قابل توجه WVP می‌شود. در این مطالعه، کاهش WVP فیلم‌های حاوی MMT را می‌توان به وجود ساختارهای لایه‌ای نانورس نسبت داد که مسیر پریپیچ و خمی برای انتشار ایجاد می‌کند و بنابراین، انتقال رطوبت از طریق ماتریس را محدود کرده و ویژگی مانع‌تی فیلم‌های نانوکامپوزیت را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر می‌توان کاهش نفوذپذیری به بخار آب را به ایجاد برهم‌کنش قوی بین نانوذرات خاک رس و زیست‌پلیمرها نسبت داد [۲۶]. گزارش شده است که WVP یک فیلم به چندین متغیر به‌ویژه ضخامت بستگی دارد [۲۷]. نتایج نشان داد که WVP با ضخامت فیلم ($-0/705$) و نیز استحکام کششی فیلم ($-0/925$) همبستگی منفی دارد. با توجه به اینکه افزودن اجزای فیلم کامپوزیت (CH، MMT) به فیلم PVA با افزایش ضخامت و استحکام کششی فیلم در ارتباط بود، می‌توان نتیجه گرفت که ساختار سه‌گانه فیلم کامپوزیتی موجب کاهش WVP و در واقع افزایش کارایی فیلم شده است.

Table 1. Thickness (mm), Water Solubility (%), Water Vapor Permeability ($\text{gmm/m}^2 \text{ h Pa}$) and mechanical properties (Tensile Strength (MPa), Elongation at Break (%), Young's Modulus (MPa)) of films

	Thickness (mm)	WS (%)	WVP ($\text{gmm/m}^2 \text{ h Pa}$)	Mechanical properties		
				TS (MPa)	EB (%)	YM (MPa)
PVA	0.14 ± 0.00^c	65.55 ± 0.21^a	6.85 ± 1.61^b	23.58 ± 1.20^b	75.54 ± 1.16^b	0.11 ± 0.00^b
PVA+CH	0.15 ± 0.02^b	63.32 ± 0.11^b	6.00 ± 1.30^b	21.88 ± 3.15^b	94.52 ± 2.21^a	0.10 ± 0.04^b
PVA+CH+MMT	0.17 ± 0.00^a	58.25 ± 0.12^c	4.70 ± 0.94^a	29.10 ± 5.15^a	64.51 ± 5.12^c	0.13 ± 0.07^a
PVA+CH+MMT+G2%	0.17 ± 0.02^a	57.90 ± 0.10^c	4.35 ± 0.92^a	30.60 ± 3.16^a	56.30 ± 4.17^d	0.14 ± 0.05^a
PVA+CH+MMT+G4%	0.17 ± 0.01^a	58.00 ± 0.11^c	4.10 ± 1.35^a	30.00 ± 2.23^a	61.75 ± 2.14^c	0.14 ± 0.03^a

Values are presented as mean $\pm$ SD, n=3. Means with different superscript indicate significant differences in column ($P < 0.05$). PVA: poly(vinyl alcohol), CH: Chitosan, MMT: Montmorillonite, G: Garlic extract, WS: Water Solubility, WVP: Water Vapor Permeability, TS: Tensile Strength, EB: Elongation at Break, YM: Young's Modulus

می‌دهد که می‌تواند مانع از ورود مواد مغذی به سلول شود [۲۸]. نشان داده شد که افزودن اسانس سیر تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی در بازدارندگی میکروبی در بسته‌بندی با فیلم‌های کیتوزان داشت [۲۹]. در مورد هر دو باکتری، تهیه فیلم‌های مرکب دو سازه‌ای (PVA+CH) و سه سازه‌ای (PVA+CH+MMT) صرف‌نظر از وجود عصاره، توانست کارایی ضد میکروبی فیلم‌ها را افزایش

۳-۳- خصوصیات ضد میکروبی فیلم

بالتر بودن کارایی ضد میکروبی فیلم‌های مرکب دوسازه‌ای نسبت به فیلم پایه ممکن است به دلیل فعالیت ضد میکروبی ذاتی کیتوزان باشد که قبلاً گزارش شده است. یکی از خواص ضد میکروبی کیتوزان در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* این است که کیتوزان روی سطح سلول یک غشای پلیمری تشکیل

افزایش یافته و در نتیجه مهار و رشد باکتری‌های مورد بررسی به‌صورت مناطق شفاف مهاری بزرگتر در غلظت بالاتر (۴ درصد) کاهش یافته است ($p < 0.05$). آلیسین موجود در سیر نقش ضدباکتریایی قوی دارد که در مهار سنتز DNA، RNA و پروتئین باکتریایی نقش دارد. اثر باکتری‌کشی سیر می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های خود باکتری باشد. اثر ضدباکتریایی ترکیب آلیسین موجود در سیر در برابر باکتری‌های گرم مثبت بیشتر از باکتری‌های گرم منفی است. لیپیدهای موجود در غشای باکتری‌های گرم مثبت در کمک به نفوذ ترکیبات آلیسین به باکتری‌ها نقش دارند [۳۰].

دهد. این نتیجه ممکن است به‌دلیل تجمع بیش از حد مواد ضد میکروبی ناشی از تشکیل لایه‌های متعدد باشد که ممکن است از انتشار ماده ضد میکروبی جلوگیری کند [۲۵]. در تطابق با نتایج این مطالعه، نشان داده شد که هم جدایه‌های بالینی و هم استاندارد / استافیلوکوکوس / اورئوس و / شریشیا کلی حساسیت بالایی در برابر عصاره سیر نشان دادند. در عین حال بر خلاف جدایه‌های بالینی / استافیلوکوکوس / اورئوس، ایزوله بالینی / شریشیا کلی کمی مقاوم / غیر حساس بود که می‌تواند با ماهیت نفوذپذیری غشای / شریشیا کلی در ارتباط باشد [۱۲]. در شکل ۱ نشان داده شد که با افزایش غلظت عصاره سیر، کارایی آن

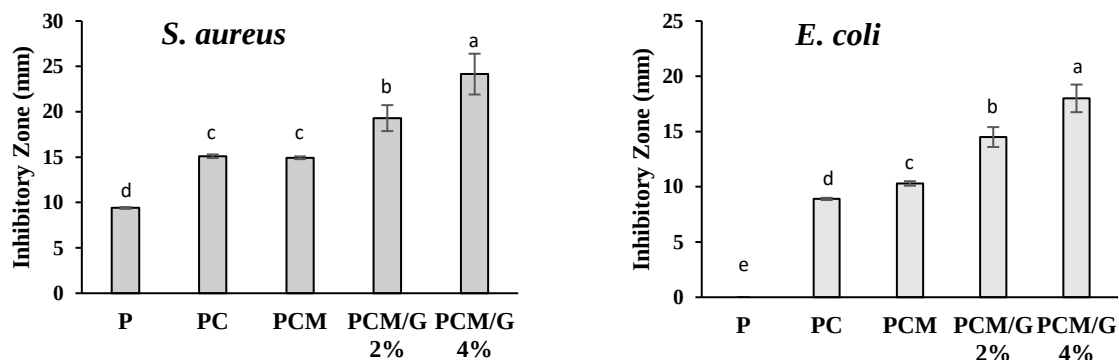


Fig 1. Mean of inhibitory zone (mm) against of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in films; Means with different superscript indicate significant differences in column ($P < 0.05$).

از آلبومین به محیط خارجی از طریق منافذ پوسته رخ می‌دهد. لذا کاهش افت وزنی در تخم مرغ‌های حاوی پوشش سه سازه‌ای را می‌توان به وجود ساختارهای لایه‌ای نانورس نسبت داد که با کاهش WVP فیلم‌های تولیدی و به‌طور کلی خاصیت سدی پوشش در ارتباط است. افت وزنی تخم مرغ‌های فاقد پوشش از 1.0 ± 0.3 درصد در هفته اول به 6.4 ± 1.2 درصد در پایان دوره نگهداری افزایش یافت. در حالی‌که پوشش دهی پوسته موجب کاهش نرخ افت وزنی تخم مرغ‌ها شده و در انتهای دوره نمونه‌های حاوی پوشش مرکب سه سازه‌ای کمترین درصد افت وزنی را داشتند ($p < 0.05$). بر اساس این نتایج، فرض بر این است که پوشش مرکب سه سازه‌ای این منافذ را به‌خوبی می‌بندد و فرآیند تبخیر را کاهش می‌دهد.

۳-۴- افت وزنی تخم مرغ

نوع پوشش و مدت زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری بر کاهش وزن تخم مرغ تأثیر داشت ($p < 0.05$). شکل ۲ نشان داد که در طول زمان نگهداری، کاهش وزن تخم مرغ افزایش یافت چراکه با افزایش زمان نگهداری، منافذ پوسته تخم مرغ بزرگ‌تر می‌شوند و تبادل گاز از داخل تخم مرغ بسیار آسان‌تر می‌شود. بزرگ شدن منافذ پوسته تخم مرغ منجر به از دست دادن گاز دی‌اکسید کربن و بخار آب از داخل تخم مرغ، نازک شدن سفیده تخم مرغ و آبکی شدن آن می‌شود و این منجر به کاهش وزن تخم مرغ می‌شود. از دست دادن دی‌اکسید کربن و رطوبت موجب بروز برخی تغییرات فیزیکوشیمیایی در کیفیت داخلی تخم مرغ و تخریب آن می‌شود، لذا کاهش وزن تخم مرغ‌ها در طول دوره نگهداری اطلاعات مهمی در مورد کیفیت و ماندگاری تخم مرغ تازه ارائه می‌دهد [۳۱]. کاهش وزن تخم مرغ عمدتاً به‌دلیل انتقال رطوبت

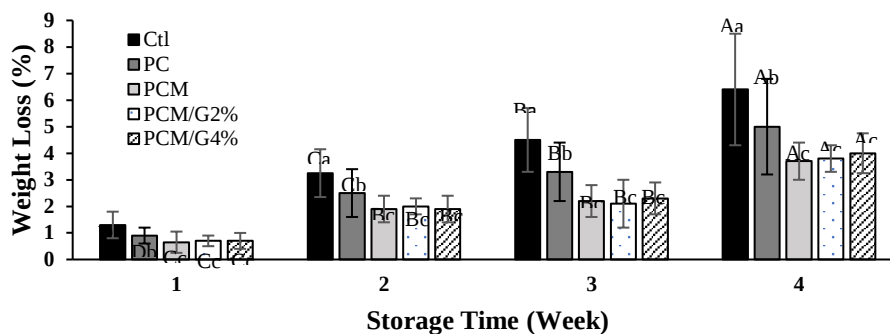


Fig 2. Effect of coatings on eggs weight loss (%) changes during storage; Means with different superscript indicate significant differences in column ($P < 0.05$). Ctl: control, P: poly(vinyl alcohol), C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract

دی اکسید کربن از منافذ پوسته تخم مرغ موجب کاهش وزن، آبی شدن سفیده و نیز افزایش pH می شود [۳۲]. تعیین pH سفیده همراه با سایر فراسنجه های کیفی می تواند جهت ارزیابی کیفیت تخم مرغ مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۵- پی اچ سفیده (pH)

مطابق داده های شکل ۳ با افزایش زمان نگهداری مقادیر pH افزایش یافت. تجزیه اسید کربنیک به اجزای متشکله آب و دی-اکسید کربن موجب افزایش pH می شود. خروج بخار آب و

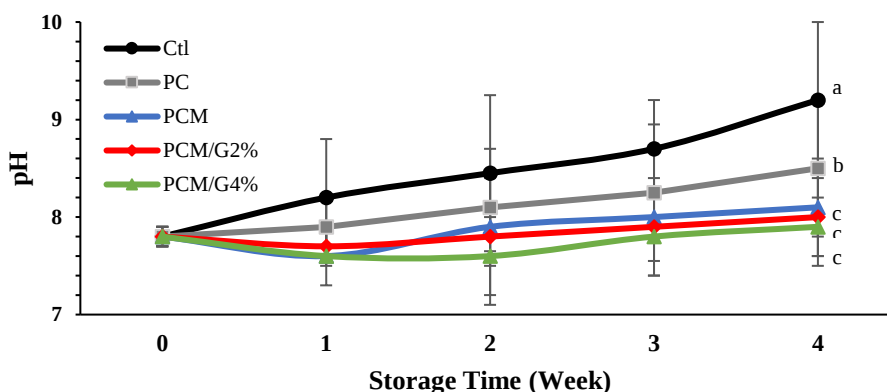


Fig 3. Effect of coatings on eggs pH changes during storage; Means with different superscript indicate significant differences in column ($P < 0.05$). Ctl: control, P: poly(vinyl alcohol), C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract

یکپارچگی و نفوذناپذیری پوسته در ارتباط است نیز بر این فراسنجه مؤثرند. می توان گفت ممکن است پوشش های نانو چند سازه ای مورد استفاده از دست دادن CO_2 از طریق منافذ پوسته را به تأخیر بیندازند و به عنوان یک مانع تبادلات گازی عمل کند. همسو با نتایج این تحقیق، در مطالعات پیشین نیز بکارگیری پوشش نانوکامپوزیت فعال کربوکسی متیل سلولز، نانو رس و عصاره مرزنجوش [۱۱]، پوشش مرکب کیتوزان، پلی-وینیل الکل [۸]، پوشش نانو کامپوزیت کربوکسی متیل سلولز، اسید الئیک و نانو رس [۳۴] موجب کاهش افت وزنی و کمترین تغییرات pH طی دوره نگهداری شد.

تخم مرغ تازه گذاشته شده حاوی حدود $1/44$ تا $2/05$ میلی گرم CO_2 محلول (به شکل کربنات) است که در نتیجه pH آن بین $7/6$ تا $8/7$ است. بنابراین، در طول دوره ذخیره سازی، CO_2 و آب از طریق منافذ موجود در پوسته تخم مرغ خارج می شود و pH سفیده را به $8/9$ تا $9/4$ افزایش می دهد [۳۳]. در پایان دوره نگهداری بیشترین و کمترین pH به ترتیب در سفیده تخم مرغ-های فاقد پوشش و دارای پوشش مرکب سه سازه ای فعال حاوی ۴ درصد عصاره دیده شد ($9/2$ در برابر $7/9$). با توجه به اینکه تغییرات pH سفیده با تبادل و انتقال دی اکسید کربن در ارتباط است، لذا عواملی مانند اجزای سازنده پوشش مرکب که با

۳-۶- ضخامت و مقاومت پوسته

کوتیکول و پوسته به عنوان اولین سدهای محافظتی تخم مرغ عمل می کنند. تخریب کوتیکول و پوسته و وجود هرگونه ترک خوردگی موجب تسریع در فرآیند خروج رطوبت و دی اکسید کربن و از طرفی نفوذ میکروارگانیسم ها و در نتیجه کاهش کیفیت تخم مرغ می گردد [۵]. بنابراین کیفیت فیزیکی پوسته از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. چراکه پوسته ضخیم و البته

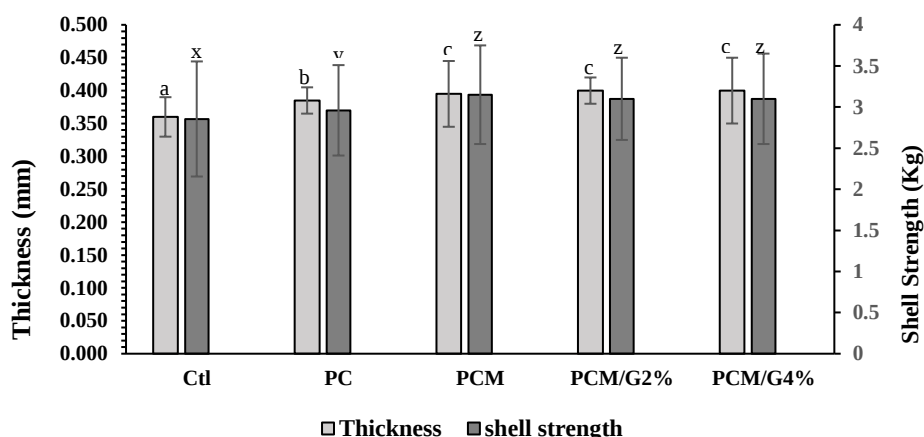


Fig 4. Effect of coatings on eggshell thickness (mm) and shell strength (Kg); Means with different superscript (a-c and x-z) indicate significant differences in column ($P < 0.05$). Ctrl: control, P: poly(vinyl alcohol), C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract

بر اساس تغییرات پروتئین محتویات داخلی تخم مرغ، واحد هاو و اندیس زرده از فراسنجه های اصلی و با اهمیت در ارزیابی کیفی آن محسوب می شوند. بالاتر بودن هر دو فراسنجه بیانگر کیفیت بهتر تخم مرغ است. واحد هاو تحت تأثیر تجزیه کمپلکس لیزوزیم - اووموسین، کاهش محتویات کربوهیدرات اووموسین و افزایش pH ناشی از خروج دی اکسید کربن، در طول ذخیره سازی به تدریج کاهش می یابد [۳۸]. بر اساس استاندارد $USDA^9$ ، تخم مرغ های با اندیس هاو بیش از ۷۲ به عنوان AA، بیش از ۶۰ به عنوان A، بیش از ۳۲ به عنوان B و کمتر از ۳۱ به عنوان C درجه بندی می شوند. در جدول ۲ نشان داده شد که با گذشت زمان نگهداری، مقادیر اندیس هاو کاهش یافت ($P < 0.05$). در پایان دوره نگهداری، بیشترین اندیس هاو در تخم مرغ های حاوی پوشش نانومرکب فعال دیده شد. بر اساس استاندارد، درجه تخم مرغ های فاقد پوشش به تدریج از AA در شروع به C در پایان دوره نگهداری تغییر یافت در حالی که تخم مرغ های حاوی پوشش نانومرکب سه سازه ای در پایان هفته

گنجانیدن نانوسر و عصاره به ترکیب پوشش به تدریج موجب افزایش ضخامت پوسته شد. ضخامت پوسته تخم مرغ های حاوی پوشش نانومرکب فعال حدود ۱۱ درصد بیشتر از پوسته فاقد پوشش بود (0.40 ± 0.03 در برابر 0.36 ± 0.03 میلی متر). استحکام پوسته نیز از روند مشابهی پیروی کرد (شکل ۴). پوشش مرکب کیتوزان/پلی وینیل الکل و نیز پوشش نانومرکب سه سازه ای فعال موجب افزایش تدریجی استحکام پوسته تخم مرغ شد ($P < 0.05$). داده ها نشان داد بین ضخامت و استحکام پوسته همبستگی مثبت شدیدی (0.929) وجود داشت. لذا تخم مرغ های ضخیم تر حاوی پوشش نانومرکب فعال، استحکام و قدرت بیشتری داشتند. در تحقیقات مشابهی نشان داده شد؛ بکارگیری پوشش نانو مرکب موجب افزایش قدرت و استحکام پوسته تخم مرغ شد [۳۶ و ۳۷].

۳-۷- واحد هاو و اندیس زرده

9- United States standards, grades, and weight classes for shell eggs. 2000; AMS 56.210.

استاندارد بودند در حالی که اندیس زرده تخم مرغ های فاقد پوشش در پایان هفته سوم خارج از محدوده استاندارد قرار گرفت. در پایان دوره نگهداری، بیشترین اندیس زرده در تخم-مرغ های دارای پوشش نانومرکب فعال دیده شد ($p < 0.05$). تغییرات ساختاری سفیده ناشی از تغییرات فشار اسمزی بین سفیده و زرده و خود تابعی از تبدلات دی اکسید کربن و رطوبت است، لذا بکارگیری پوشش ها به ویژه پوشش کامپوزیت فعال با تأثیر مثبت بر خصوصیات پوسته از جمله نفوذپذیری، ضخامت و استحکام موجب بهبود خصوصیات کیفیت داخلی واحد هاو و اندیس زرده شد. در تطابق با یافته های تحقیق حاضر، نشان داده شد استفاده از پوشش کامپوزیت فعال موجب حفظ و بهبود کیفیت داخلی تخم مرغ شد [۸، ۱۱، ۳۴، ۳۶ و ۳۷].

Table 2. Effect of coatings on Haugh Unit and Yolk Index of egg during storage (week)

Treatments	Storage Duration (Week)				
	0	1	2	3	4
Haugh Unit					
Ctl	84.75±0.00 ^{Aa}	61.50±0.55 ^{Bc}	43.75±0.80 ^{Cb}	31.45±1.05 ^{Dd}	27.90±0.85 ^{Dd}
PC	84.75±0.00 ^{Aa}	75.70±0.60 ^{Bb}	70.20±0.75 ^{Ba}	60.50±0.80 ^{Cc}	55.00±1.00 ^{Cc}
PCM	84.75±0.00 ^{Aa}	80.10±0.50 ^{Aa}	72.00±0.50 ^{Ba}	66.50±0.75 ^{Cb}	61.00±0.90 ^{Db}
PCM/G2%	84.75±0.00 ^{Aa}	81.20±0.90 ^{Aa}	73.10±0.70 ^{Ba}	71.00±0.55 ^{Ba}	68.60±0.80 ^{Ba}
PCM/G4%	84.75±0.00 ^{Aa}	81.40±0.60 ^{Aa}	74.85±0.65 ^{Ba}	72.50±0.60 ^{Ba}	70.00±0.90 ^{Ba}
Yolk Index					
Ctl	0.49±0.00 ^{Aa}	0.40±0.05 ^{Bb}	0.33±0.08 ^{Cc}	0.27±0.03 ^{Dc}	0.25±0.04 ^{Dd}
PC	0.49±0.00 ^{Aa}	0.42±0.03 ^{BCb}	0.40±0.05 ^{Cb}	0.37±0.05 ^{Db}	0.36±0.05 ^{Dc}
PCM	0.49±0.00 ^{Aa}	0.45±0.05 ^{BCa}	0.43±0.04 ^{Cab}	0.42±0.07 ^{CDa}	0.40±0.06 ^{Db}
PCM/G2%	0.49±0.00 ^{Aa}	0.46±0.06 ^{Ba}	0.44±0.08 ^{BCa}	0.43±0.03 ^{BCa}	0.42±0.06 ^{Ca}
PCM/G4%	0.49±0.00 ^{Aa}	0.46±0.04 ^{Ba}	0.45±0.05 ^{BCa}	0.44±0.05 ^{BCa}	0.43±0.00 ^{Ca}

Values are presented as mean±SD, n=3. Means with different superscript (a-d) and (A-D) in columns and rows indicate significant differences respectively ($P < 0.05$). Ctl: control, P: poly(vinyl alcohol), C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract

گنجاندن نانو رس نیز موجب افزایش کارایی ضد میکروبی پوشش شد که می تواند به دلیل تجمع بیش از حد مواد ضد میکروبی ناشی از تشکیل لایه های متعدد باشد که ممکن است از انتشار ماده ضد میکروبی جلوگیری کند. این نتایج نشان می دهد که اثرات ضد میکروبی پوشش خوراکی را می توان بر اساس نوع و مقدار عوامل ضد میکروبی و پلیمرهای مورد استفاده و همچنین سایر عوامل محیطی تعیین کرد. همچنین این نتایج نشان می دهد که غلظت بهینه مواد ضد میکروبی برای رها شدن از ماده زمین ای و نشان دادن فعالیت ضد میکروبی ضروری است [۲۵]. در پایان دوره نگهداری، تخم مرغ های فاقد پوشش دارای بیشترین تعداد باکتری ($1/00 \log \text{cfu/ml}$) و تخم مرغ های پوشش دار نانوکامپوزیت فعال حاوی ۴ درصد عصاره دارای کمترین تعداد باکتری ($0/3 \log \text{cfu/ml}$) بودند ($p < 0/05$). در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش غلظت عصاره سیر،

چهارم درجه A داشتند. ضمن اینکه تمامی تخم مرغ های حاوی پوشش نانومرکب تا پایان هفته دوم و تخم مرغ های پوشش دار نانومرکب فعال حاوی ۴ درصد عصاره، تا پایان هفته سوم همچنان درجه AA داشتند. اندیس زرده تخم مرغ با کیفیت حدود ۰/۴۵ و محدوده استاندارد آن (۰/۳۰ - ۰/۴۵) است [۵]. نفوذ مداوم و پیشرونده آب از سفیده به زرده از طریق غشا ویتلینی ناشی از فشار اسمزی موجب آبکی شدن و مسطح شدن زرده و در نتیجه کاهش شاخص زرده طی دوره نگهداری می شود [۳۵]. بنابراین بکارگیری پوشش، موجب کاهش از دست دادن دی-اکسید کربن و رطوبت و کند شدن تغییرات ساختاری سفیده ناشی از افزایش فشار اسمزی بین سفیده و زرده و در نتیجه بهبود کیفیت زرده می شود [۵]. مطابق داده های جدول ۲ اندیس زرده تخم مرغ های پوشش دار تا پایان دوره نگهداری در محدوده

۳-۸- شمارش باکتری کل

نتایج تأثیر پوشش های خوراکی بر میانگین شمارش کلی باکتری (TVC) پوسته تخم مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط که در شکل ۵ آمده نشان داد که این فراسنجه با یک روند افزایشی تدریجی همراه بود. تعداد کل باکتری های پوسته تخم مرغ در شروع آزمایش $0/1 \pm 2/7 \log \text{cfu/ml}$ نشان دهنده کیفیت بهداشتی اولیه مطلوب پوسته بود. عوامل محیطی شرایط نگهداری موجب آلودگی میکروبی تخم مرغ می شود. پوشش دهی به طور معنی داری بر کاهش روند آلودگی پوسته تأثیر مثبت داشت. ضمن اینکه نوع پوشش مورد استفاده نیز بر مقدار این فراسنجه مؤثر بود. بکارگیری پوشش مرکب کیتوزان/پلی وینیل الکل موجب کاهش تعداد باکتری کل نسبت به تخم مرغ های فاقد پوشش شد ($p < 0/05$) که می تواند ناشی از فعالیت ضد میکروبی ذاتی کیتوزان باشد که قبلاً گزارش شده است. در عین حال

یافته‌های مطالعه حاضر ضمن تأیید اثر ضد میکروبی عصاره سیر علیه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی، نشان داد کارایی ضد میکروبی عصاره سیر در برابر باکتری‌های گرم مثبت بیش از گرم منفی و وابسته به غلظت است. در عین حال فیلم‌های سه سازه‌ای (پلی‌وینیل الکل/کیتوزان/مونت‌موریلونیت) فعال با دارا بودن برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی به‌ویژه WVP پایین‌تر و استحکام کششی بالاتر می‌توانند به راحتی جایگزین فیلم‌های پلاستیکی مانند پلی‌اتیلن شوند که به‌طور گسترده در بازار استفاده می‌شوند. پوشش دهی تخم مرغ با محلول سه سازه‌ای فعال با ایجاد پوسته ضخیم‌تر و مستحکم‌تر موجب کاهش افت وزنی، کاهش تغییرات pH، واحد هاو و اندیس زرده بالاتر طی دوره نگهداری شده و در نهایت منجر به افزایش زمان ماندگاری تخم مرغ حداقل به مدت ۳-۲ هفته شد. لذا استفاده از پوشش نانومرکب سه سازه‌ای فعال حاوی ۴ درصد عصاره سیر به عنوان بسته‌بندی زیست تخریب پذیر جهت جایگزینی با انواع مصنوعی با هدف حفظ کیفیت داخلی و پوسته تخم مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط توصیه می‌شود.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاسگزاری خود از سرکار خانم مهندس فاطمه نورکامی که در اجرای بخشی از تحقیق همکاری نمودند را اعلام می‌دارند.

۶- منابع

- [1]Oliveira, G.S, dos Santos, V.M, Rodrigues, J.C. and Santana, A.P. 2020. Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating. Poultry Science, 99, 7207-7213. DOI:10.1016/j.psj.2020.09.057
- [2]Ebrahimpour Kasmani, J., Khademi Shurmasti, D. and Samari, A. 2023. Application of biodegradable wrappers polysaccharide-based in egg packaging: A review. Journal of Packaging Science and Technology, 14(3), 51-62 (In Persian).
- [3]Suppakul, P., Jutakorn, K. and Bangchokedee, Y. 2010. Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs. Journal of Food Engineering, 98, 207-213.
- [4]Davalos-Saucedo, C.A, Rossi-Marquez, G., Regalado-Gonzalez, C., Alonzo-Macias, M. and Di Pierro, P. 2018. Application of transglutaminase crosslinked whey protein-pectin coating improves egg quality and minimizes the breakage and porosity of eggshells. Coatings, 8, 438. DOI: 10.3390/coatings8120438
- [5]Xu, D., Wang, J., Ren, D. and Wu, X. 2018. Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance. Coatings, 8, 317. DOI: 10.3390/coatings8090317

کارایی آن افزایش یافته و در نتیجه آلودگی میکروبی پوسته در غلظت بالاتر (۴ درصد) کاهش یافت. اثر ضدباکتریایی عصاره سیر متأثر از ترکیبات تیوسولفینات از جمله آلین، آلیسین و دیالیل سولفونات است. آلیسین نقش ضدباکتریایی قوی دارد. ترکیبات آلیسین در مهار سنتز پروتئین باکتریایی نقش دارد که پیشتر در این باره بحث شد.

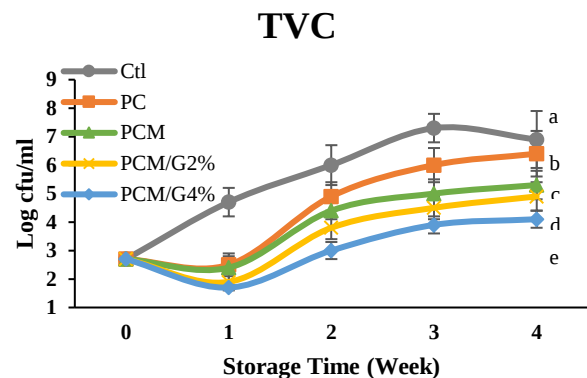


Fig 5. Effect of coatings on eggshell Total Viable Count (log cfu/ml) during storage; Means with different superscript indicate significant differences ($P < 0.05$). Ctl: control, P: poly(vinyl alcohol), C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract.

۴- نتیجه گیری کلی

- [6]Elsabee, M. Z. and Abdou, E. S. 2013. Chitosan based edible films and coatings: A review. Materials Science and Engineering, 33, 1819-1841. DOI: 10.1016/j.msec.2013.01.010
- [7]Wardhono, E. Y., Pinem, M. P., Susilo, S., Siom, B. J., Sudrajat, A., Pramono, A., Meliana, Y. and Guénin, E. 2022. Modification of physio-mechanical properties of chitosan-based films via physical treatment approach. Polymers, 14, 5216. DOI: 10.3390/polym 14235216
- [8]Khademi Shurmasti, D., Riazi Kermani, P., Sarvarian, M. and Godswill Awuchi, CH. 2023. Egg shelf life can be extended using varied proportions of polyvinyl alcohol/chitosan composite coatings. Food Sci Nutr., 11, 5041-5049. DOI: 10.1002/fsn3.3394
- [9]Rhim, J.W., Park, H.M. and Ha, C.S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. Progress in Polymer Science, 38, 1629-1652. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008
- [10]Mardani Kiasari, M. and Khademi Shurmasti, D. 2020. Effect of lemon grass (*Cymbopogon citratus*) extract and nanoclay in nanocomposite coating on the physicochemical and microbial properties of chicken fillets during refrigerated storage. Journal of Food Science and Technology, 106(17), 13-21 (In Persian).
- [11]Ehsan, M. and Khademi Shurmasti, D. 2021. Effect of washing and active nanocomposite coating of carboxymethyl cellulose-nanoclay containing marjoram extract (*Origanum vulgare* L.) on egg quality during storage at ambient temperature.

Iranian Journal of Food Science and Technology, 118(18), 107-118. DOI: 10.52547/fsct.18.09.09 (*In Persian*).

[12]Abiy, E. and Berhe, A. 2016. Anti-bacterial effect of garlic (*Allium sativum*) against clinical isolates of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* from patients attending hawassa referral hospital, Ethiopia. *Journal of Infectious Diseases and Treatment*, 2(2), 18. DOI: 10.21767/2472-1093.100023

[13]Hassanzadeh, H., Alizadeh, M. and Rezazad, B.M., 2019. Nano-encapsulation of garlic extract by water-in-oil emulsion physicochemical and antimicrobial characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 84(15), 337-347.

[14]Haghighi, H., De Leo, R., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H.W. and Pulvirenti, A. 2019. Comparative analysis of blend and bilayer films based on chitosan and gelatin enriched with LAE (lauroyl arginate ethyl) with antimicrobial activity for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 31-39.

[15]Fu, B., Mei, S., Su, X., Chen, H., Zhu, J., Zheng, Z., Lin, H., Dai, C., Luque, R. and Yang, D.P. 2021. Integrating waste fish scale-derived gelatin and chitosan into edible nanocomposite film for perishable fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 1164-1174.

[16]Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M. and Liu, J. 2019. Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56-66.

[17]Ansarifar, E. and Moradinezhad, F. 2022. Encapsulation of thyme essential oil using electrospun zein fiber for strawberry preservation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9, 1-11. DOI: 10.1186/s40538-021-00267-y

[18]Rachtanapun, P., Homsaard, N., Kodsangma, A., Phongthai, S., Leksawasdi, N., Phimolsiripol, Y., Seesuriyachan, P. et al. 2022. Effects of storage temperature on the quality of eggs coated by cassava starch blended with carboxymethyl cellulose and paraffin wax. *Poultry Science*, 101, 101509. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101509.

[19]Haugh, R.R. 1937. A new method for determining the quality of an egg. *US Egg Poultry*, 39, 27-49.

[20]Mallmann, W.L., Dawson, L.E., Sultzer, B.M. and Wright, H.L. 1953. Studies on microbiological methods for predicting self-life of dressed poultry. *Food Technology*, 7, 122-125.

[21]Tafa, K.D., Satheesh, N. and Abera, W. 2023. Mechanical properties of tef starch based edible films: development and process optimization. *Heliyon*, 9, e13160.

[22]Kaur, N., Somasundram, C., Razali, Z., Mourad, A.H.I., Hamed, F. and Ahmed, Z.F.R. 2024. *Aloe vera*/chitosan-based edible film with enhanced antioxidant, antimicrobial, thermal, and barrier properties for sustainable food preservation. *Polymers*, 16, 242. DOI: 10.3390/polym16020242

[23]Yun, D., Cai, H., Liu, Y., Xiao, L., Song, J. and Liu, J. 2019. Development of active and intelligent films based on cassava starch and Chinese bayberry (*Myrica rubra*) anthocyanins. *RSC Advances*, 9, 30905-30916.

[24]Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K. and Gaikwad, K.K. 2022. Edible films and coatings for food packaging applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 875-900.

[25]Choi, H.J., Choi, S.W., Lee, N. and Chang, H.J., 2022. Antimicrobial activity of chitosan/ gelatin/ Poly(vinyl alcohol) ternary blend film incorporated with *Duchesnea indica* extract in strawberry applications. *Foods*, 11, 3963. DOI: 10.3390/foods11243963

[26]Zahed Karkaj, S. and Peighambaroust, S.J. 2018. Physical, mechanical and antibacterial properties of nanobiocomposite films based on carboxymethyl cellulose/nanoclay. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 30(6), 557-572. DOI: 10.22063/JIPST.2018.1536

[27]Martiny, T.R., Raghavan, V., Moraes, C.C.D., Rosa, G.S.D. and Dotto, G.L. 2020. Bio-based active packaging: carrageenan film with olive leaf extract for lamb meat preservation. *Foods*, 9, 1759.

[28]Dutta, P.K., Tripathi, S., Mehrotra, G.K. and Dutta, J. 2009. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*, 114, 1173-1182.

[29]Molaei Aghaei, E., Kamkar, A., Akhondzadeh Basti, A., Khanjari, A. and Kontominas, M.G. 2016. Antimicrobial effect of garlic essential oil (*Allium sativum* L.) in combination with chitosan biodegradable coating films. *Journal of Medicinal Plant*, 15(2), 141-150.

[30]Meilanie Putri, U., Rochmanti, m., Retno Wahyunitisari, M. and Setiabudi, R.J. 2021. The antibacterial effect of ethanol extract of garlic (*Allium sativum* L.) on methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) In Vitro. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 15(2), 3504-3509.

[31]Suresh, P.V., Raj, K.R., Nidheesh, T., Pal, G.K. and Sakhare, P.Z. 2015. Application of chitosan for improvement of quality and shelf life of table eggs under tropical room conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 6345-6354.

[32]Nasehi, B., Barzegar, H., Nori, M. and Jeldani, Sh. 2017. Evaluation of the effect of carboxymethyl cellulose coating containing nanoclay and peppermint essential oil on egg storage properties. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 48(2), 229-239 (*In Persian*).

[33]Piazentin, M.O., Mangili, E.L.M., Correia, D.C., Martins, E.H., Nobre, J.A.S., et al. 2023. Application of a 30% semisolid carnauba wax product on the surface of hen eggshells improved the shelf life and quality of the eggs. *Austin J Nutri Food Sci.*, 11(2), 1174.

[34]Sharifi, A.A. and Khademi Shurmasti, D. 2022. Effect of carboxymethyl cellulose-based nanocomposite coating on internal quality and eggshell morphology during storage at ambient temperature. *Quality and Durability of Agricultural and Food Products*, 2(1), 1-13 (*In Persian*).

[35]Caner, C. and Yuceer, M. 2015. Efficacy of various proteinbased coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage. *Poultry Science*, 94, 1665-1677.

[36]Roudashtian, R., Shabani, Sh. and Asadi, G.H. 2021. Effect of active coating with carboxymethyl cellulose and tragacanth containing cloves extract on some quality and shelf life of eggs during storage. *Food Technology & Nutrition*, 18(2), 121-132 (*In Persian*).

[37]Ehsan, M. and Khademi Shurmasti, D. 2022. Effects of washing and nanocomposite active coating of carboxymethyl cellulose containing nanoclay and marjoram extract (*Origanum vulgare* L.) on the internal quality and eggshell during cold storage. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 16(4), 111-120 (*In Persian*).

[38]Sheng, L., Huang, M.J., Wang, J., Xu, Q., Hammad, H.H.M. and Ma MH, A. 2018. Study of Storage Impact on Ovalbumin Structure of Chicken Egg. *Journal of Food Engineering*, 219, 1-7.



Monitoring the physicochemical changes of eggs coated with active nanocomposite incorporating garlic extract (*Allium sativum* L.) during storage

Esmail Yousefi Zirabi¹, Dariush Khademi Shurmasti^{*2}

1 -Master Science, Department of Agriculture, savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

2 -Assistant Professor, Department of Agriculture, savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2024/3/17 Accepted: 2024/7/3 Keywords: Polyvinyl alcohol, Composite coating, Garlic extract (<i>Allium sativum</i> L.), Chitosan, Nano clay DOI: 10.22034/FSCT.21.153.1. *Corresponding Author E-	Eggs are one of the low-cost sources of protein and are also perishable, so maintaining their internal quality during storage is particularly important. The current research was carried out with the aim of the effect of nanocomposite coating on the physicochemical changes of eggs during storage for 4 weeks. Uncoated eggs (control) and eggs treated with a two-component coating of polyvinyl alcohol/chitosan (PC), a three-component coating of polyvinyl alcohol/chitosan/montmorillonite (PCM), and PCM coatings incorporating concentrations of 2 and 4% garlic extract were evaluated in a total of 5 treatments and 3 replicates in a completely randomized design. The results showed that the concentration-dependent antimicrobial effect of garlic extract was higher against <i>Staphylococcus aureus</i> than <i>Escherichia coli</i>. The prepared films of active three-component PCM nanocomposite had greater thickness, higher tensile strength, and elasticity, lower solubility, less elongation at break, and lower water vapor permeability ($p < 0.05$). At the end of 4 weeks of storage, the eggs coated with active three-component PCM nanocomposites had a thicker shell (0.400 mm) and a stronger shell (0.310 kg), causing less weight loss (About 4 %), Haugh unit (70.00) and yolk index (0.43) were higher and the lowest of total viable count bacteria (4.1 log cfu/ml). Therefore, using the three-component PCM nano-coating containing 4% garlic extract as a biodegradable packaging is possible to maintain the internal quality and eggshell and increase its storage time at ambient temperature.