

بررسی خصوصیات فیلم مرکب فعال حاوی عصاره‌های سیر (*Allium sativum* L) و آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss) با هدف بسته‌بندی مواد غذایی

داریوش خادمی شورمستی^{۱*}، فاطمه نورکامی^۲، عبدالله علیزاده کارسالاری^۳، کسری مؤمنیان^۴

۱* دانشیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۳ استادیار، گروه شیمی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۴ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

چکیده

برای بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و نیز بیولوژیکی فیلم‌های زیست‌پلیمری، ساخت فیلم‌های کامپوزیت با اختلاط پلیمرهای مختلف و پرکننده‌ها و افزودنی‌ها مورد توجه قرار گرفته است. تحقیق حاضر با هدف بررسی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ضد میکروبی فیلم مرکب فعال با ۵ تیمار شامل فیلم دوجزئی پلی‌وینیل‌الکل/ کیتوزان، فیلم سه‌جزئی پلی‌وینیل‌الکل/ کیتوزان/ مونت-موریلونیت، فیلم سه‌جزئی همراه با عصاره‌های آویشن شیرازی (۲ درصد) و سیر (۲ درصد) به تنهایی یا در ترکیب با یکدیگر در قالب یک طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد افزودن نانو مونت‌موریلونیت به فیلم دوجزئی موجب ساخت فیلم‌های مرکب سه‌جزئی با خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بهتری شد. در عین حال ساخت فیلم مرکب سه‌جزئی فعال با افزودن عصاره‌های گیاهی به خصوص هنگام استفاده توأم آنها در ترکیب فیلم علاوه بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بهتر موجب تقویت خصوصیت ضد میکروبی فیلم شد. فیلم مرکب سه‌جزئی فعال حاوی عصاره‌های آویشن شیرازی و سیر با دارا بودن بیشترین ضخامت (۱۸/۰ mm)، استحکام کششی، کرنش، انحلال‌پذیری، ظرفیت جذب آب مطلوبی داشته که منجر به کمترین نفوذپذیری به بخار آب (۳/۶۵ gmm/m² h Pa) و بیشترین قطر ناحیه مهار رشد علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* (۲۳/۳۳ mm) و *اشریشیا کلی* (۱۸/۴۶ mm) شد. بنابراین این فیلم کامپوزیت سه‌جزئی فعال با دارا بودن ویژگی‌های مطلوب فیزیکی، مکانیکی و ضد میکروبی، قابلیت بکارگیری به‌عنوان ماده بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر در صنایع غذایی را دارد.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر، پلی‌وینیل‌الکل، فیلم کامپوزیت، کیتوزان، مونت‌موریلونیت

مقدمه

طبیعی عمدتاً شامل پلی‌ساکارید و پروتئین) و مصنوعی (عمدتاً شامل پلی‌وینیل‌الکل^۱ (PVA)، پلی‌لاکتیک اسید^۲ (PLA)، پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها^۳ (PHA) و پلی‌کاپرولاکتون^۴ (PCL)) طبقه‌بندی می‌شوند (Vroman and Tighzert, 2009).

پلی‌وینیل‌الکل (PVA) یکی از بیوپلیمرهای مصنوعی است که زیست‌سازگار، زیست‌تخریب‌پذیر، غیر سمی، بی‌بو،

استفاده از پلاستیک‌های مصنوعی بدلیل مخاطرات زیست‌محیطی آن‌ها با محدودیت‌هایی مواجه شده است. لذا فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان مواد بسته‌بندی برای افزایش ماندگاری غذاها و محصولات غذایی بدون ایجاد تأثیر منفی بر مواد غذایی و همچنین بر محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بیوپلیمرها به دو گروه مهم، زیستی یا

³ Polyhydroxyalkanoates

⁴ Polycaprolactone

¹ Polyvinyl alcohol

² Polylactic acid

محلول در آب است. ضمن اینکه خواص مکانیکی جالب و توانایی عالی در تشکیل فیلم دارد. با این حال، فیلم مبتنی بر PVA به دلیل ماهیت آبدوست خود که منجر به تورم، مانع اکسیژن و خواص مکانیکی ضعیف می‌شود، مقاومت کمی در برابر آب و محیط‌های مرطوب دارد. برای غلبه بر این معایب، می‌توان آن را با دیگر پلیمرهای زیستی و تقویت‌کننده ترکیب کرد (Srivastava et al., 2019). کیتوزان یک پلی‌ساکارید طبیعی ارزان قیمت است و دارای خواص منحصر به فردی مانند غیرسمی بودن، زیست تخریب‌پذیری، تجدیدپذیری و زیست سازگاری است. با توجه به این ویژگی‌ها، تولید فیلم‌های کامپوزیت کیتوزان به تنهایی یا بر پایه کیتوزان در زمینه‌های مختلف کاربرد، به ویژه در بسته‌بندی مواد غذایی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Kaiwen et al., 2016). برای بهبود خواص زیستی (عمدتاً ضدباکتریایی و ضداکسیدانی) و فیزیولوژیکی (عمدتاً مکانیکی، حرارتی و مانع)، مواد مختلفی به فیلم‌های بر پایه کیتوزان افزوده شدند؛ نشان داده شد که سازگاری خوبی در مخلوط PVA و کیتوزان وجود دارد، اما کیتوزان بلورینگی مخلوط را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، کیتوزان به طور قابل توجهی ظرفیت کرنش فیلم را کاهش می‌دهد و به طور همزمان سفتی فیلم را افزایش می‌دهد (Rahman et al., 2022). همچنین یک روش رایج برای بهبود خواص مکانیکی و مانع کیتوزان، افزودن تقویت‌کننده‌های نانومقیاس به زنجیره‌های کیتوزان است. مونت‌موریلونیت به دلیل تشکیل چندین لایه سیلیکات، نسبت ابعاد بالا و برهمکنش قوی با شبکه پلیمری به طور گسترده به عنوان یک تقویت‌کننده مؤثر در نانوکامپوزیت‌های پلیمری/ رس استفاده شده است (Kusmono and Abdurrahim, 2019). مطالعات قبلی در مدل‌های غذایی نشان داد استفاده از سطوح افزایشی نانورس با بهبود خصوصیات ممانعتی، موجب افزایش کارایی پوشش‌های نانوکامپوزیت می‌شود (Mardani & Khademi, 2021; Ehsan & Khademi, 2020). مطالعات زیادی که روی نانوکامپوزیت‌های کیتوزان/ مونت‌موریلونیت گزارش شده است، نشان می‌دهد اگرچه وجود خاک رس استحکام و پایداری حرارتی کیتوزان را بهبود می‌بخشد، شکل‌پذیری و چقرمگی^۱ به شدت کاهش می‌یابد. یک روش معمول برای افزایش چقرمگی فیلم‌های نانوکامپوزیتی کیتوزان/رس، افزودن نرم‌کننده‌هایی مانند پلی (وینیل الکل) است (Tripathi et al., 2009).

ترکیب‌های طبیعی گیاهی (اسانس، عصاره) دارای کاربردهای بالقوه‌ای به عنوان نگهدارنده مواد غذایی سازگار با محیط زیست در فیلم‌های خوراکی هستند. افزودن آن‌ها به پلیمرها فعالیت ضدباکتریایی و ضداکسیداسیونی فیلم را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، حضور این ترکیبات در فیلم‌ها، سرعت انتشار عوامل زیست‌فعال را تنظیم می‌کند تا غلظت ترکیبات فعال در مدت زمان طولانی حفظ شود (Meenu et al., 2023).

سیر (*Allium sativum* L.) متعلق به خانواده Amaryllidaceae گیاهی یکساله است که به عنوان یک گیاه دارویی پیشینه زیادی در طب سنتی دارد. سیر دارای ترکیبات گوگردی آلی مانند تیوسولفات‌ها به خصوص آلیسین است. این ماده جزء ضدباکتریایی موجود در سیر و مسئول بوی تند سیر است. آلیسین یک سلاح طبیعی در برابر عفونت است که با مسدود کردن دو گروه از آنزیم‌ها، پروتئینازهای سیستئین و دهیدروژنازهای الکی، تصور می‌شود یک ترکیب ضد میکروبی با طیف گسترده است (Abiy & Berhe, 2016). آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.) یکی از شناخته شده‌ترین گیاهان دارویی بومی مناطق گرم ایران، افغانستان و پاکستان از تیره نعناعیان با اثرات ضد میکروبی و ضداکسیدانی است. ترکیبات اصلی داروشناسی آن کارواکرول، تیمول، سیمن و ترپینن^۲ هستند. خصوصیات ضداکسیدانی و ضد میکروبی عصاره آویشن در مدل غذایی در

¹ Toughness² Carvacrol, Thymol, Cymene, Terpinene

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 مخلوط‌کن خانگی (مولینکس، فرانسه) کاملاً خرد شده و با نسبت ۱:۱ با آب مقطر مخلوط و به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در دمای کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در پایان مدت نگهداری، ترکیب ابتدا از صافی پارچه‌ای برای 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. برای تهیه عصاره آویشن شیرازی، ابتدا قسمت‌های مختلف گیاه خشک شده توسط آسیاب برقی خانگی (مولینکس، فرانسه) پودر و عصاره‌گیری به روش خیساندن با حلال اتانول انجام شد. مقدار ۳۰ گرم از گیاه پودر شده با ۶۰۰ میلی‌لیتر اتانول (۹۹/۸ درصد) ترکیب و به مدت ۷۲ ساعت توسط دستگاه شیکر (RF 602، فاطر الکتریک) در دمای محیط هم زده شد. محلول بدست آمده با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. تمام عصاره‌های به دست آمده با تکرار مراحل از استخراج تا فیلتراسیون سه بار با استفاده از اوپراتور چرخشی (IKA RV-10، آلمان) در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ شدند (Choi et al., 2022).

تهیه محلول‌های تشکیل فیلم

محلول کیتوزان (۲ درصد وزنی/حجمی) با حل کردن مقدار مشخصی کیتوزان در اسید استیک ۱ درصد با هم‌زدن یک‌شبه در دمای اتاق تهیه شد (C). محلول پلی (وینیل الکل) (۵ درصد وزنی/حجمی) با حل کردن آن در آب مقطر با هم‌زدن در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت (P) و محلول نانومونت‌موریلونیت (۴ درصد وزنی/وزنی) از طریق انحلال مقدار مشخصی نانورس در آب مقطر آماده شد (M). محلول‌های مرکب دو جزئی (PC) و سه‌جزئی (PCM) در نسبت جرمی اختلاط برابر تهیه و در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت هم زده شد. غلظت ۲ درصد عصاره‌های سیر (G) و

ترکیب پوشش خوراکی فعال قبلاً مورد بررسی قرار گرفت (Zafarmand & Khademi, 2021).

در مطالعات زیادی با موضوع مواد بیوفیلم به افزودن انواع مختلف بیوپلیمرها و افزودنی‌ها پرداخته شده است. با این حال، افزودن ترکیبی از پلیمر و پرکننده به فیلم‌های بسته‌بندی مرکب فعال هنوز نیاز به بررسی دارد. در مطالعات پیشین استفاده از کیتوزان به‌تنهایی (Sharifi & Khademi, 2023) یا در ترکیب با پلی‌وینیل الکل (Khademi et al., 2023; Riazi et al., 2023)، نانورس (Sharbatdar & Khademi, 2023) و اسانس/عصاره‌های گیاهی (Valipour et al., 2016) بررسی شد. در این تحقیق، امکان ساخت و در عین حال خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و ضد میکروبی فیلم مرکب سه‌جزئی بر پایه کیتوزان/پلی‌وینیل‌الکل/نانو مونت-موریلونیت حاوی عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی با هدف استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

پودر کیتوزان با وزن مولکولی ۱۹۰-۵۰ کیلودالتون و درجه استیل‌زدایی ۸۵ درصد (نانونوین پلیمر، ایران)، پلی‌وینیل-الکل کاملاً هیدرولیز شده با وزن مولکولی ۱۴۶-۸۵ کیلودالتون (سیگما آلدریج، آلمان)، و نانو مونت-موریلونیت (MMT, K10) اصلاح شده توسط یون‌های آمونیوم تری‌متیل‌استئاریل چهارتایی با نسبت ابعاد تقریبی ۷۵-۱۲۰ میکرومتر (نانوکور، آمریکا)، اسید استیک گلاسیال ۹۹ درصد و سایر مواد شیمیایی و محیط‌های کشت مورد نیاز با درجه خلوص تجزیه‌ای از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. بوته‌های سیر از بازار محلی و آویشن شیرازی از عطاری معتبر خریداری و پس از تأیید علمی توسط گیاهشناس به آزمایشگاه منتقل شدند.

تهیه عصاره‌ها

عصاره سیر به روش پیشنهادی Hassanzadeh و همکاران (۲۰۱۹) تهیه شد. به‌طور خلاصه ابتدا حبه‌های سیر

انحلال‌پذیری فیلم در آب^۳ (WS) با روش توصیفی Wang و همکاران (۲۰۱۷) اندازه‌گیری شد. بطور خلاصه وزن اولیه فیلم (۲×۲ سانتی‌متر مربع) و پس از قرارگیری در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت اندازه‌گیری شد. سپس فیلم‌های خشک شده به مدت ۲۴ ساعت در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق غوطه‌ور شدند و با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. فیلم‌های مرطوب به ترتیب قبل مجدداً خشک و سپس توزین شدند. حلالیت نمونه‌ها به صورت نسبت اختلاف وزن اولیه و نهایی به وزن اولیه به صورت درصد تعیین شد.

برای ارزیابی شاخص تورم^۴ (SI) یا ظرفیت جذب رطوبت فیلم‌ها، وزن نمونه‌های فیلم (۲×۲ سانتی‌متر مربع) قبل و بعد از خشک شدن در دمای ۱۰۰±۱ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت، اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های خشک شده در آون به مدت ۵ دقیقه در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق غوطه‌ور شدند. فیلم مرطوب با یک کاغذ صافی شماره ۱ پاک شد. نمونه‌های متورم توزین و شاخص تورم نمونه‌ها به صورت نسبت اختلاف وزن فیلم خشک اولیه و متورم به وزن فیلم خشک به صورت درصد محاسبه شد (Raj et al., 2023).

مطابق با دستورالعمل شماره E96-95 استاندارد ASTM نفوذپذیری بخار آب^۵ (WVP) فیلم تعیین شد. بطور خلاصه دهانه ویال‌های مخصوص با قطر ۲ سانتی‌متر حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، با یک فیلم با استفاده از یک نوار لاستیکی مهر و موم شد و سپس در انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰±۲ درصد قرار داده شد. اختلاف رطوبت در دو سمت فیلم در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اختلاف فشار بخاری معادل $10^3 \times 2/337$ پاسکال ایجاد می‌نماید. وزن بطری هر ساعت به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. با رسم منحنی تغییرات وزن نسبت به زمان،

آویشن شیرازی (T) مطابق با تیمارهای آزمایشی به محلول‌ها اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه عمل همزدن به کمک دستگاه هموژنایزر (مدل Dragon D500، چین) در دمای اتاق و با سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه صورت گرفت تا یک ترکیب همگن حاصل شود. در نهایت ۲۰ گرم از مخلوط‌ها در پتری به قطر ۹ سانتی‌متر 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±۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰±۲ درصد نگهداری شدند. فیلم‌ها با استفاده از روش ریخته‌گری تهیه شدند (Haghighi et al., 2019).

اندازه‌گیری فراسنجه‌های فیلم خصوصیات مکانیکی

خواص کششی شامل استحکام کششی^۱ (TS) و کشیدگی در نقطه شکست^۲ (EB) با استفاده از آزمون‌های کششی با دستگاه تحلیل بافت (سنتکام، STM-20) مورد ارزیابی قرار گرفت. نوارهای مستطیلی شکل نمونه فیلم با اندازه تقریبی (۲×۱۰ سانتی‌متر مربع) از هر نمونه فیلم تهیه شد و بین دو فک دستگاه با فاصله ۵ سانتی‌متر قرار گرفته و با بار سل ۵۰ کیلوگرم تا نقطه شکست مورد آزمون قرار گرفت و میانگین پنج تکرار برای هر نمونه در نظر گرفته شد. مطابق با دستورالعمل شماره D882-18 استاندارد ASTM استحکام کششی و کشیدگی در نقطه شکست، مستقیماً از منحنی‌های تنش - کرنش تعیین شدند.

خصوصیات فیزیکی

با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) ضخامت فیلم (۲×۲ سانتی‌متر مربع) اندازه‌گیری شد. در ۵ نقطه از فیلم ضخامت اندازه‌گیری و میانگین آن گزارش گردید.

⁴ Swelling Index (SI)

⁵ Water Vapor Permeability (WVP)

¹ Tensile strength (TS)

² Elongation at break (EB)

³ Water Solubility (WS)

اشیریشیا کلی انجام شد. دیسک‌ها در شرایط کاملاً استریل بر روی محیط کشت مولر هینتون آگار قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند. اختلاف قطر هاله‌های تشکیل شده پیرامون دیسک‌ها به‌عنوان شاخص فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها در نظر گرفته شد (Ansarifar & Moradinezhad, 2022).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

همه آزمون‌ها حداقل در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل فیلم‌های دوجزبی PC، سه جزبی PCM و سه جزبی فعال حاوی ۲ درصد عصاره سیر PCMG، حاوی ۲ درصد عصاره آویشن شیرازی PCMT و حاوی هر دو عصاره سیر و آویشن شیرازی PCMGT اجرا و داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ به روش آنالیز واریانس یک‌طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

استحکام کششی و کشیدگی در نقطه شکست

مطابق شکل ۱ گنجاندن نانو مونت‌موریلونیت در ترکیب فیلم PC، موجب ساخت فیلم کامپوزیت سه‌جزبی با استحکام بیشتر و کشیدگی کمتر شد ($p < 0.05$). ساخت فیلم کامپوزیت سه‌جزبی فعال با استفاده از عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی، علی‌رغم کاهش عددی جزبی (۲۸/۱۰) مگاپاسکال، تأثیر معنی‌داری بر استحکام آن نداشت. در حالی که گنجاندن عصاره سیر یا آویشن به ترکیب فیلم سه‌جزبی، کشیدگی‌ها آن را کاهش داد ($p < 0.05$), در مقایسه با فیلم کامپوزیت سه‌جزبی فاقد عصاره، افزودن توأم عصاره‌های سیر و آویشن به ترکیب فیلم کامپوزیت سه‌جزبی، تفاوت قابل توجهی در کشیدگی فیلم ایجاد نکرد.

یک خط راست حاصل شد. نرخ انتقال بخار آب^۱ (WVTR) از تقسیم شیب خط ترسیمی (گرم بر ساعت) بر سطح فیلم (متر مربع) که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت به‌دست آمد. با ضرب کردن ضخامت فیلم (میلی‌متر) در نرخ انتقال بخار آب و تقسیم آن بر اختلاف فشار بخار (پاسکال)، نفوذپذیری بخار آب فیلم (WVP) بر حسب گرم میلی‌متر بر متر مربع ساعت پاسکال محاسبه شد.

اندازه‌گیری رنگ و خصوصیات نوری

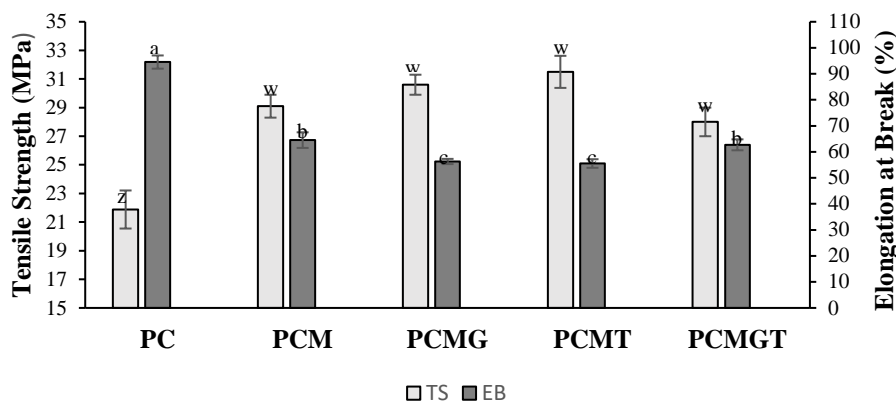
فراسنجه‌های رنگی فیلم‌ها با استفاده از دستگاه رنگ-سنج (Konica Minolta, ژاپن) در دمای اتاق ارزیابی شد. میزان رنگ، با استفاده از پارامترهای هانتر بر حسب روشنایی (L^*), سرخی-سبزی (a^*) و زردی-آبی (b^*) بیان گردید. دستگاه توسط صفحات سفید و سیاه استاندارد کالیبره شد. صفحه سیاه استاندارد دارای پارامترهای رنگی ($b^* = -0.61$, $a^* = 0.03$ و $L^* = 1.35$) به عنوان پس‌زمینه‌ی اندازه‌گیری رنگ مورد استفاده قرار گرفت. تفاوت رنگ کلی (ΔE) با رابطه (۱) محاسبه شد. کدورت فیلم براساس دستورالعمل شماره D1746-97 استاندارد ASTM با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری (Shimadzu, Kyoto, ژاپن) به‌صورت نسبت لگاریتم میزان درصد جذب در ۶۰۰ نانومتر بر ضخامت فیلم (میلی‌متر) محاسبه و گزارش شد (Pathare *et al.*, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

خصوصیات ضد میکروبی

با روش دیسک انتشاری فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها ارزیابی 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 10^8 کلنی در میلی‌لیتر از باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و

^۱ Water Vapor Transmission Rate (WVTR)



شکل ۱- میانگین استحکام کششی (مگاپاسکال) و کشیدگی در نقطه شکست (درصد) فیلم‌ها؛ P: پلی‌وینیل‌الکل، C: کیتوزان، M: مونت-موریلونیت، G: عصاره سیر (۲ درصد)، T: عصاره آویشن شیرازی (۲ درصد)، مقادیر با حروف نامشابه اختلاف معنی‌دار دارند

Figure 1. Means of Tensile Strength (MPa) and Elongation at Break (%) of films; P: Polyvinyl alcohol, C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract 2%, T: Thyme extract 2%; Values with different superscript letters (a-c) and (z-w) are significant ($p < 0.05$)

و آویشن شیرازی، موجب افزایش کشیدگی در نقطه شکست شد که می‌توان این پدیده را به اثر نرم‌کنندگی عصاره در مقدار مجموع ۴ درصد عصاره‌ها نسبت داد. در همین رابطه و مطابق با یافته‌های این تحقیق، Feyzollahi و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند افزودن ۲۰ درصد اسانس آویشن شیرازی موجب افزایش کشیدگی در نقطه شکست فیلم زئین شد و در مقادیر کمتر تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین نشان داده شد که درصد ازدیاد طول با افزایش محتوای اسانس پونه کوهی به فیلم‌های برپایه کیتوزان/ژلاتین (Hosseini *et al.*, 2015) و اسانس صمغ بنه به فیلم کیتوزان (Alizadeh *et al.*, 2017) افزایش یافت.

ضخامت و خصوصیات فیزیکی

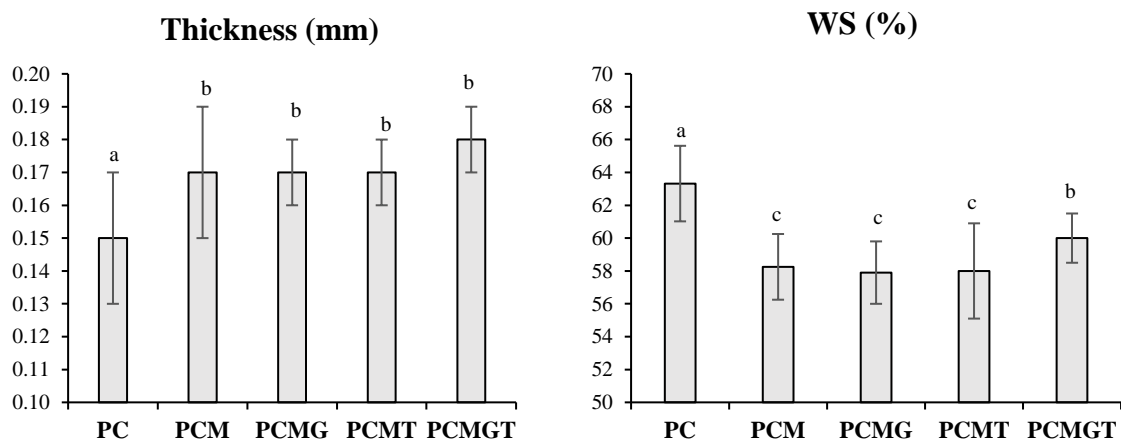
فیلم‌های طبیعی ساخته شده برای بسته‌بندی مواد غذایی دارای ضخامت ۰/۰۵ تا ۰/۲۰ میلی‌متر هستند. در شکل ۲ مطابق انتظار نشان داده شد، افزودن نانو رس سیلیکاته لایه‌ای موجب افزایش ضخامت فیلم PC از ۰/۱۵ به ۰/۱۷ میلی‌متر شد ($p < 0.05$) که می‌تواند با اندازه ذرات بزرگ آن که به عنوان پرکننده استفاده شد، مرتبط باشد، اما افزودن عصاره تأثیر معنی‌داری بر ضخامت فیلم کامپوزیت سه‌جزیی نداشت. نتایج نشان داد که ضخامت فیلم‌ها در

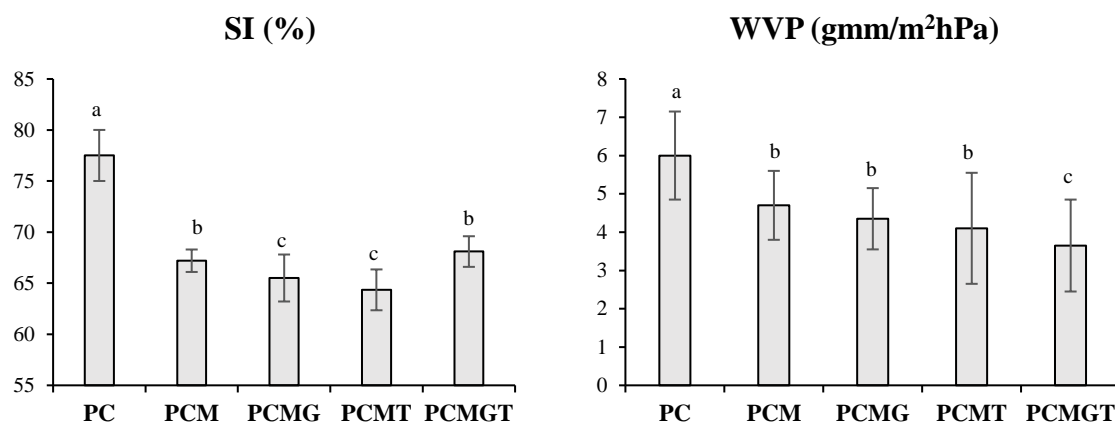
استحکام مکانیکی مطلوب یک فیلم زیست‌پلیمر خوراکی برای محافظت از یکپارچگی بسته‌بندی در سراسر پروسه توزیع ضروری است. نشان داده شد افزایش قابل توجه استحکام کششی فیلم پلی (وینیل‌الکل)/ کیتوزان از تعامل بین گروه‌های هیدروکسیل PVA و همچنین آمین و هیدروکسیل کیتوزان ناشی می‌شود. این افزایش با کاهش ازدیاد طول در هنگام شکست همراه بود (Abdullah *et al.*, 2017). مواد پلی (وینیل‌الکل)/ کیتوزان/ مونت‌موریلونیت به دلیل اثر هم‌افزایی کیتوزان و نانورس، ساختاری درهم و برهم‌کنش‌های خاصی بین اجزا و ترکیب نانورس نشان می‌دهند که منجر به افزایش پایداری حرارتی، خواص مکانیکی و فعالیت ضد میکروبی می‌گردد (Butnaru *et al.*, 2016). مطابق نتایج این تحقیق گزارش شد افزودن مونت-موریلونیت منجر به افزایش شدید سفتی و استحکام همراه با کاهش قابل توجهی در کرنش هنگام شکستن فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی (وینیل‌الکل)/ کیتوزان/ نانورس شد و دلیل آن به برهم‌کنش‌های قوی بین گروه‌های هیدروکسیل صفحات رسی و گروه‌های آمینه خنثی‌شده زنجیره‌های کیتوزان نسبت داده می‌شود (Giannakas *et al.*, 2016). در بین فیلم‌های کامپوزیت فعال، افزودن توأم عصاره‌های سیر

است ناشی از ماهیت آب‌گریزی پلیمر نسبت به اسانس و برهم‌کنش ترکیبات بین اسانس و گروه هیدروکسیل پلیمر باشد. افزایش حلالیت فیلم زیست‌پلیمری با افزایش مقدار عصاره پوست انار نیز گزارش شد (Mushtaq *et al.*, 2018). جذب آب در فیلم‌های مرکب با افزودن نانو مونت‌موریلونیت کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۲). بالاتر بودن جذب آب در فیلم دو جزیی مرکب کیتوزان/پلی‌وینیل الکل را می‌توان به مقادیر اضافی گروه‌های هیدروکسیل در این مخلوط و نیز مکان‌های بدون پوشش جذب اکسیژن و هیدروکسیل که مشتاق تعامل با آب هستند، نسبت داد (Giannakas *et al.*, 2016) که احتمالاً برخی از این مکان‌ها توسط نانومونت-موریلونیت پوشش داده شدند. مکانیسم تورم هیدروژل‌ها بر اساس حضور گروه‌های عاملی آبدوست در زیست‌پلیمرها است. در مشابهت با یافته‌های تحقیق حاضر، گزارش شد که شاخص تورم فیلم کربوکسی‌متیل سلولز حاوی اسانس گیاهی کاهش یافت (Abdollahi *et al.*, 2019). این نشان می‌دهد که تمایل مولکول‌های آب به زیست‌پلیمرهای دیگر و افزودنی‌های موجود در فیلم بیوکامپوزیت نقش عمده‌ای در شاخص تورم فیلم ایفا می‌کند. تغییرات در میل ترکیبی مولکول‌های آب به‌طور غیرمستقیم بر جذب آب توسط فیلم-های بیوکامپوزیت تأثیر می‌گذارد (Raj *et al.*, 2023).

محدوده قابل قبولی قرار دارد. با توجه به اینکه محلول‌های ریخته‌گری وزن یکسانی داشتند، تغییر ضخامت جزیی همچنین می‌تواند به سینتیک‌های مختلف خشک‌کردن فیلم مربوط باشد، که بر ضخامت و ساختار حاصل تأثیر می‌گذارد (Rostini *et al.*, 2023).

در مواردی که فعالیت آب زیاد است، یا زمانی که فیلم خوراکی باید در طول فرآوری مواد غذایی پوشش داده شده با آب در تماس باشد تا از ترشح محصولات تازه یا منجمد جلوگیری شود، نامحلول بودن یا مقاومت در آب یکی از ویژگی‌های مهم فیلم‌های خوراکی برای استفاده در حفاظت از مواد غذایی محسوب می‌شود (Hosseini *et al.*, 2015). در این تحقیق تمام فیلم‌های تهیه شده پس از انکوباسیون در آب با حرکت ملایم به مدت ۲۴ ساعت یکپارچگی خود را حفظ کردند. نانو مونت‌موریلونیت در ترکیب فیلم کامپوزیت موجب کاهش حدود ۸ درصدی حلالیت فیلم از ۶۳/۳۲ به ۵۸/۲۵ درصد شد ($p < 0.05$). در عین حال گرچه هر یک از عصاره‌های سیر یا عصاره آویشن شیرازی به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر حلالیت فیلم مرکب فعال نداشت اما استفاده توأم عصاره‌های مذکور به‌طور معنی‌داری حلالیت فیلم را افزایش داد. در تطابق با این نتایج، Feyzollahi و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند افزایش مقدار اسانس آویشن شیرازی در فیلم زئین، حلالیت فیلم را افزایش داد. این پدیده ممکن





شکل ۲- میانگین ضخامت (میلی‌متر)، WS: حلالیت (درصد)، SI: شاخص تورم (درصد)، WVP: نفوذپذیری به بخار آب (گرم میلی‌متر بر متر مربع ساعت پاسکال) فیلم‌ها؛ P: پلی‌وینیل‌الکل، C: کیتوزان، M: مونت‌موریلونیت، G: عصاره سیر (۲ درصد)، T: عصاره آویشن شیرازی (۲ درصد)، مقادیر با حروف نامشابه اختلاف معنی‌دار دارند

Figure 2. Means of Thickness (mm), WS: Water Solubility (%), SI: Swelling Index (%), WVP: Water Vapor Permeability (gmm/m²hPa) of films; P: Polyvinyl alcohol, C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract 2%, T: Thyme extract 2%; Values with different superscript letters are significant (p<0.05)

ساخت فیلم کامپوزیت فعال با عصاره سیر و یا عصاره آویشن تأثیری بر این شاخص نداشت. در همین رابطه گزارش شد تفاوت آماری معنی‌داری در مقدار WVP فیلم‌های کامپوزیت کیتوزان/پلی‌وینیل‌الکل/ژلاتین حاوی سطوح مختلف عصاره دیده نشد (Choi *et al.*, 2022). در عین حال بکارگیری توأم عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی بطور معنی‌داری نفوذپذیری را تا ۳/۶۵ کاهش داد که می‌توان آن را به خاصیت آب‌گریزی عصاره نسبت داد. نتایج مشابهی در استفاده از سطوح افزایشی اسانس آویشن شیرازی در زیست-پلیمر گزارش شد. گزارش شد فاز چربی با ایجاد پیچ و خم باعث افزایش مسیر عبور مولکول‌های آب از ماتریس فیلم می‌شود (Feyzollahi *et al.*, 2021).

شاخص‌های رنگ و کدورت فیلم

شفافیت فیلم‌های خوراکی طراحی شده برای بسته‌بندی، ویژگی مناسبی است زیرا تأثیر مستقیمی بر ظاهر محصول پوشش داده شده دارد. مطابق جدول ۱ نانومونت‌موریلونیت و عصاره‌های سیر و آویشن موجب کاهش

واکنش‌های شیمیایی که با پدیده انتقال جرم بین غذا و محیط اطراف آن همراه است، معمولاً موجب تغییرات فیزیکی-شیمیایی و کاهش کیفیت غذا می‌شوند. رطوبت، اکسیژن، عطر و طعم (آروما) ترکیباتی هستند که مهاجرت آنها باید کنترل شود؛ در این بین، رطوبت اهمیت بیشتری دارد (Hosseini *et al.*, 2015). در شکل ۲ نشان داده شد نانو مونت‌موریلونیت توانست نفوذپذیری به بخار آب را از ۶/۰۰ به ۴/۷۰ گرم بر پاسکال ساعت مترمربع کاهش دهد (p<0.05). دلیل آن را می‌توان به ساختار درونی لایه‌های نانوکامپوزیت نسبت داد که منجر به ایجاد یک مسیر پر پیچ و خم شده و انتقال بخار آب/اکسیژن را به تأخیر می‌اندازد (Giannakas *et al.*, 2016). از طرف دیگر می‌توان کاهش نفوذپذیری به بخار آب را به ایجاد برهم‌کنش قوی بین نانوذرات خاک رس و زیست‌پلیمرها نسبت داد. زیرا با قرارگیری لایه‌های نانوذرات خاک رس در بین زنجیره‌ها و کاهش فضای آزاد مقدار انتشارپذیری مولکول‌های آب کنترل می‌شود (Zahed Karkaj & Peighamardoust, 2018).

روشنایی فیلم‌های مرکب فعال شد و فراسنجه‌های a^* (سبز-قرمز) و b^* (آبی-زرد) را تغییر داد ($p < 0.05$). این تغییرات رنگی را می‌توان به حضور ترکیبات فنلی در عصاره‌ها که در طول موج‌های پایین قدرت جذب نور دارند، نسبت داد (Feyzollahi *et al.*, 2021). به دلیل افزایش پراکندگی نور ناشی از تراکم پرکننده (مونت‌موریلونیت)، فیلم‌های نانوکامپوزیتی کدورت بیشتری داشتند ($p < 0.05$). نتیجه مشابهی با فیلم‌های پلی‌وینیل‌الکل / نشاسته حاوی مونت-موریلونیت گزارش شد (Abdullah *et al.*, 2017). فیلم‌های حاوی عصاره بیشتر مانع انتقال نور شدند. کاهش انتقال نور احتمالاً به دلیل پراکندگی نور در سطح مشترک قطرات عصاره وارد شده در ماتریس پلیمری است (Hosseini *et al.*, 2015). کاهش شفافیت فیلم‌های خوراکی با کاهش عبور نور در هنگام اضافه شدن عصاره‌ها مرتبط بود. شدت پدیده‌های پراکندگی نور عمدتاً به غلظت و میزان

پراکندگی قطرات عصاره در ماتریس فیلم بستگی دارد (Monedro *et al.*, 2009). هر چه غلظت قطرات بیشتر باشد (حضور توأم عصاره سیر و آویشن)، شدت پراکندگی نور بیشتر می‌شود و در نتیجه فیلم‌ها کدرتر شدند. با این حال، فیلم‌های بیوکامپوزیت بدون / با عصاره به اندازه کافی شفاف هستند که می‌توانند به‌عنوان بسته‌بندی شفاف یا مواد پوششی استفاده شوند. نشان داده شد که اضافه شدن اسانس لیمو موجب افزایش معنی‌دار کدورت و زردی (b^*) فیلم‌های تولیدی در مقایسه با فیلم خالص پلی‌اتیلن گردید (Dias *et al.*, 2013). مطابق با یافته‌های حاصله، در بررسی تأثیر اسانس‌های پونه کوهی و عصاره بره‌موم بر ویژگی‌های فیلم پلی‌لاکتیک اسید، نشان داده شد که حضور این ترکیبات در فیلم همزمان باعث کاهش روشنایی و افزایش میزان زردی و قرمزی شد (Misaghi *et al.*, 2018).

جدول ۱- فراسنجه‌های رنگ‌سنجی (L^* , a^* , and b^*)، مجموع اختلاف رنگ (ΔE) و کدورت فیلم‌ها

Table 1. Colorimetric parameters (L^* , a^* , and b^*), total color difference (ΔE) and opacity of films

تیماها Treatments	L^*	a^*	b^*	اختلاف رنگ ΔE	کدورت Opacity
PC	85.03±0.45 ^a	-1.78±0.08 ^c	10.11±1.12 ^c	12.55±0.31 ^c	1.25±0.09 ^c
PCM	71.44±1.15 ^b	-3.80±0.81 ^b	22.80±2.05 ^b	25.10±3.17 ^b	2.91±0.08 ^b
PCMG	68.25±0.35 ^{cd}	-4.24±0.04 ^a	23.14±0.65 ^b	25.90±0.67 ^b	3.12±0.33 ^b
PCMT	69.15±0.74 ^c	-4.11±0.02 ^a	23.45±0.33 ^b	26.05±0.88 ^b	3.12±0.20 ^b
PCMGT	65.00±1.11 ^e	-4.43±0.06 ^a	25.73±0.74 ^a	28.22±1.05 ^a	4.00±0.06 ^a

P: پلی‌وینیل‌الکل، C: کیتوزان، M: مونت‌موریلونیت، G: عصاره سیر (۲ درصد)، T: عصاره آویشن شیرازی (۲ درصد)، مقادیر با حروف نامشابه اختلاف معنی‌دار دارند

P: Polyvinyl alcohol, C: Chitosan, M: Montmorillonite, G: Garlic extract 2%, T: Thyme extract 2%; Values with different superscript letters are significant ($p < 0.05$)

باکتری / شیریشیا کلی شد اما تفاوت ایجاد شده معنی‌داری نبود. عدم وجود یک منطقه بازدارنده رشد علیه باکتری / شیریشیا کلی بر روی فیلم‌های مبتنی بر کیتوزان حاوی مونت‌موریلونیت توسط محققان دیگری نیز گزارش شده بود (Kusmono & Abdurrahim, 2019). گنجاندن عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی به‌خصوص هنگامی که به‌صورت توأم در ترکیب فیلم مرکب فعال قرار گرفتند، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد ضد میکروبی فیلم‌های مرکب شدند.

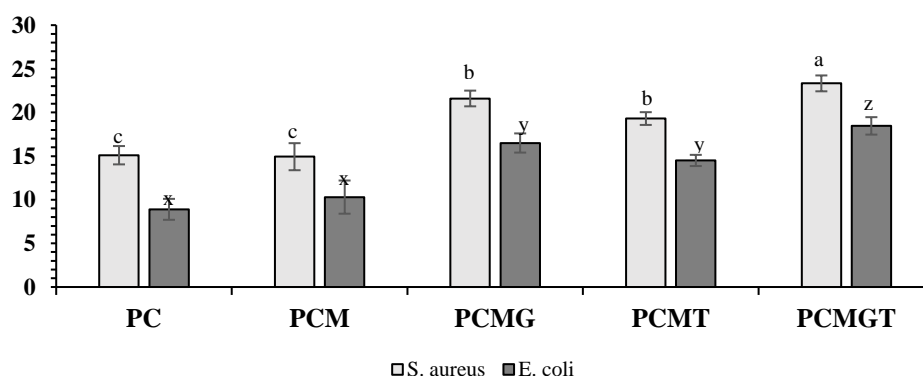
ناحیه عدم رشد باکتری مطابق شکل ۳ ساخت فیلم کامپوزیت سه‌جزیی با افزودن نانو رس تأثیر معنی‌داری بر اندازه ناحیه عدم رشد هر دو باکتری نداشت. کارایی ضد میکروبی فیلم‌های کامپوزیت سه‌جزیی فعال با افزوده شدن عصاره سیر یا عصاره آویشن شیرازی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). گرچه افزودن مونت‌موریلونیت به ترکیب فیلم از نظر عددی موجب حدود ۱۶ درصدی افزایش در قطر هاله عدم رشد

تحقیق، نشان داده شد اثر ضد میکروبی عصاره آویشن شیرازی علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* با قطر هاله عدم رشد ۲۲ میلی‌متر و علیه *اشریشیا کلی* با قطر ۱۶ میلی‌متر بود (Ahmadi et al., 2016).

بیشترین قطر هاله عدم رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* (۲۳/۳۳ میلی‌متر) و *اشریشیا کلی* (۱۸/۴۶ میلی‌متر) در فیلم‌های کامپوزیت فعال دیده شد که عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی را توأمان در ترکیب خود داشتند ($p < 0.05$). با توجه به تنوع ترکیبات زیست‌فعال، استفاده ترکیبی اسانس‌ها/عصاره‌ها با یکدیگر و با سایر افزودنی‌ها به منظور بهره‌مندی از اثر هم‌افزایی ضد میکروبی آنها به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج امیدوارکننده‌ای همراه بود. در تحقیقی به‌منظور بررسی اثر هم‌افزایی اسانس‌ها/عصاره‌ها نشان داده شد که عصاره‌های نعناع فلفلی - آویشن شیرازی اثر ترکیبی هم‌افزا علیه باکتری *اشریشیا کلی* و *لیستریا مونوسیتوزنز* داشتند. فرض شد هم‌افزایی را می‌توان به عواملی مانند حلالیت آبی، خصوصیات لیپوفیلی و قدرت گروه‌های عملکردی نسبت داد که همه در فعالیت ضد میکروبی مولکول‌های زیست‌فعال نقش دارند (Angane et al., 2024).

در شکل ۳ می‌توان دید که *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت) نسبت به *اشریشیا کلی* (گرم منفی) باکتری حساس‌تری در برابر هر دو عصاره سیر و آویشن شیرازی بود. فرض بر این است که این نتیجه ممکن است به دلیل وجود یک غشای بیرونی اطراف دیواره سلولی در باکتری‌های گرم منفی باشد که انتشار مواد آنگریز را از طریق پوشش لیپوپلی - ساکارید آن محدود می‌کند (Burt, 2004). اثر ضدباکتریایی ترکیب آلیسین موجود در سیر سه برابر بیشتر از باکتری‌های گرم منفی در برابر باکتری‌های گرم مثبت مؤثر است. لیپیدهای موجود در غشای باکتری‌های گرم مثبت مانند *استافیلوکوکوس اورئوس* در کمک به نفوذ ترکیبات آلیسین به باکتری‌ها و مهار فعالیت سنتز RNA باکتریایی نقش دارند (Meilanie Putri et al., 2021). اثر ضد باکتریایی عمدتاً به بخش تریپنوئید آویشن شیرازی متشکل از کارواکرول، تیمول و سیمن نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، حضور ترکیبات مؤثره می‌تواند یک ارتباط هم‌افزایی با ترکیبات اصلی فیلم داشته باشد و پتانسیل ضد میکروبی آن را افزایش دهد. مکانیسم اثر احتمالی برای ترکیبات فنلی شامل اختلال در بافت سیتوپلاسمی، توزیع نیروی دینامیکی پروتون و جریان الکترونیکی، انعقاد محتوای سلولی شناسایی و گزارش شد (Hashemi et al., 2017). در مشابهت با یافته‌های این

Inhibitory Zone (mm)



شکل ۳- میانگین قطر هاله عدم رشد (میلی‌متر) علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کلی* در فیلم‌ها، P: پلی‌وینیل‌الکل، C: کیتوزان، M: مونت‌موریلونیت، G: عصاره سیر (۲ درصد)، T: عصاره آویشن شیرازی (۲ درصد)، مقادیر با حروف نامشابه اختلاف معنی‌دار دارند
Figure 3. Mean Inhibitory Zone (mm) against of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in films; Values with different superscript letters (a-c) and (x-z) are significantly ($p < 0.05$)

نتیجه‌گیری

علیه استافیلوکوکوس اورئوس و اشیریشیا کلی نشان داد؛ استفاده از عصاره‌های گیاهی به‌عنوان یک رویکرد طبیعی می‌تواند پیامدهای مطلوبی در صنایع غذایی داشته باشد. گرچه نیاز به تحقیقات بیشتر برای بررسی جامع تأثیر ترکیبات زیست‌فعال موجود در عصاره‌ها و اسانس‌ها بر نتایج سنجش‌های هم‌افزایی ضروری است، اما ترکیب زیست پلیمرهای پلی‌وینیل الکل/ کیتوزان/ نانو رس غنی شده با عصاره‌های سیر و آویشن شیرازی یک گزینه بالقوه قابل توصیه برای بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر جهت ذخیره‌سازی طولانی‌مدت در صنایع غذایی است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده؛ فیلم مرکب سه‌جزیی پلی‌وینیل الکل - کیتوزان - نانومونت موریلونیت حاوی عصاره‌های آویشن شیرازی و سیر با دارا بودن برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب به‌خصوص استحکام کششی بیشتر و نفوذپذیری به بخار آب کمتر می‌توانند از تبادل رطوبت مواد غذایی جلوگیری کند و فرآیند فساد محصولات را کاهش دهد و جایگزین فیلم‌های پلاستیکی مانند پلی‌اتیلن با خصوصیات مشابه شوند که به‌طور گسترده در بازار استفاده می‌شوند. همچنین خصوصیات ضد میکروبی فیلم مرکب فعال ناشی از عصاره‌های آویشن شیرازی و سیر

مراجع

- Abdullaha, Z.W., Dong, Y., Daviesa, I.J. and Barbhuiya, S. 2017. PVA, PVA blends and their nanocomposites for biodegradable packaging application. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(12): 1307-1344. DOI: 10.1080/03602559.2016.1275684
- Abdollahi, M., Damirchi, S., Shafafi, M., Rezaei, M. and Ariaii, P. 2019. Carboxymethyl cellulose-agar biocomposite film activated with summer savory essential oil as an antimicrobial agent. *Int. J. Biol. Macromol.*, 126: 561-568. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.115
- 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
- Ahmadi, E., Abdollahi, A., Najafipour, S., Meshkibaf, M.H. & Fasihi-Ramandi, M. 2016. Surveying the effect of the phenol compounds on antibacterial activity of herbal extracts: In vitro assessment of herbal extracts in Fasa-Fars province. *Journal of Fasa University of Medical Sciences*, 6(2): 210-220. (In Persian)
- Alizadeh, V., Barzegar, H., Nasehi, B. and Samavati, V. 2017. Characterization of physical and antimicrobial properties of chitosan edible films containing *Pistacia atlantica* gum essence. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(4): 584-593. DOI: 10.22067/iftstrj.v1395i0.50541 (In Persian)
- Angane, M., Swift, S., Huang, K., Perera, J., Chen, X., Butts, Ch.A. and Quek, S.Y. 2024. Synergistic antimicrobial interaction of plant essential oils and extracts against foodborne pathogen. *Food Science & Nutrition*, 12: 1189-1206. DOI: 10.1002/fsn3.38
- 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
- ASTM. 1995. Standard test methods for water vapor transmission of material, E96-95, Annual book of ASTM, Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM International, ASTM D882-18. 2018. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Butnaru, E., Cheaburu, C.N., Yilmaz, O., Pricope, G.M. and Vasile, C. 2016. Poly(vinyl alcohol)/chitosan/montmorillonite nanocomposites for food packaging applications: Influence of montmorillonite content. *High Performance Polymers*, 28(10):1-15. DOI: 10.1177/0954008315617231
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 94: 223-253. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

- 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
- Dias, M.V., de Medeiros, H.S., Soares, N.F.F., Melo N.R., Borges S.V., Carneiro J.D.S., Pereira, J.M.T.A.K. 2013. Development of low-density polyethylene films with lemon aroma. *LWT - Food Science and Technology*, 50 (1): 167-171. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.06.005
- 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*, 18(118): 107-118. DOI: 10.52547/fsct.18.09.09 (In Persian)
- Feyzollahi, Y., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A. and Tahmasebi, M. 2021. The effect of *Zataria multiflora* essential oil as a crosslinking agent on biodegradable zein film properties. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 6(2): 3730-3739. (In Persian)
- Giannakas, A., Vlacha, M., Salmas, C., Leontiou, A., Katapodis, P., Stamatis, H., Barkoula, N-M. and Ladavos, A. 2016. Preparation, characterization, mechanical, barrier and antimicrobial properties of chitosan/PVOH/clay nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 140: 408-415. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.12.072
- 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.
- Hashemi, S.A., Azadeh, S., Movahed Nouri, B. and Alizade Navai, R. 2017. Review of pharmacological effects of *Zataria multiflora* Boiss. (Thyme of Shiraz). *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 6(8): 78-84
- 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.
- Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M. and Farahmandghavi, F. 2015. Bio-based composite edible films containing *Origanum vulgare* L. essential oil. *Industrial Crops and Products*, 67: 403-413. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.01.062
- Kaiwen, CH., Ching, Y.CH., Chuah, CH. H, Sabariah, J., Liou, N.S. 2016. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-chitosan composite films reinforced with cellulose nanofiber. *Materials*, 9(8): 644. DOI: 10.3390/ma9080644
- Khademi Shurmasti, D., Riazi Kermani, P., Sarvarian, M. and Godswill Awuchi, C. 2023. Egg shelf life can be extended using varied proportions of polyvinyl alcohol/chitosan composite coatings. *Food Science & Nutrition*, 11(9): 5041-5049. DOI: 10.1002/fsn3.3394
- Kusmono and Abdurrahim, I. 2019. Water sorption, antimicrobial activity, and thermal and mechanical properties of chitosan/clay/glycerol nanocomposite films. *Heliyon*, 5, e02342. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02342
- 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*, 17(106): 13-21. DOI: 10.29252/fsct.17.09.02 (In Persian).
- Meenu, M., Padhan, B., Patel, M., Patel, R. and Xu, B. 2023. Antibacterial activity of essential oils from different parts of plants against *Salmonella* and *Listeria* spp. *Food Chem.*, 404: 134723. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134723
- 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.
- Misaghi, A., Saeedi, M., Noori, N. and Rezaeigolestani, M.R. 2018. Study of effect of oregano essential oil and ethanolic extract of propolis on antibacterial properties and some physical characteristics of biodegradable poly-lactic acid films. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11(1): 111-22. (In Persian)

- Monedero, F.M., Fabra, M.J., Talens, P. and Chiralt, A. 2009. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and barrier properties of soy protein isolate based films. *J. Food Eng.* 91: 509-515. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.034
- Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H. A., and Masoodi, F. A. 2018. Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 25-32. DOI: 10.1016/j.ifset.2018.04.020
- Pathare, P. B., Opara, U.L. and Al-Said, F.A.J., 2013. Color measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 36-60. DOI: 10.1007/s11947-012-0867-9.
- Rahman, H. Sofiuzzaman, Md., Mondal I.H., Rahman, A., Ahmed, F., Islam, M. and Habib, A. 2022. Recent advancement of PVA/chitosan-based composite biofilm for food packaging. *Biomed J Sci & Tech Res.*, 46(1): 36982- 36986. DOI: 10.26717/BJSTR.2022.46.007286
- Raj, V.A., Sankar, K., Narayanasamy, P., Moorthy, I.G., Sivakumar, N., Rajaram, S.K., Karuppiah, P., Shaik, M.R., Alwarthan, A., Oh, T.H., *et al.* 2023. Development and characterization of bio-based composite films for food packing applications using boiled rice water and pistacia vera shells. *Polymers*, 15, 3456. DOI: 10.3390/polym15163456
- Riazi Kermani, P., Khademi Shurmasti, D. and Alizadeh Karsalar, A. 2023. Investigation of physical, mechanical and morphological properties of chitosan film prepared with different levels, molecular weights and solvents. *Journal of Packaging Science and Technology*, 14(2): 9-19. (In Persian)
- Rostini, I., Junianto, and Warsiki, E. 2023. Designing bio-based color sensor from myofibrillar-protein-based edible film incorporated with Sappan Wood (*Caesalpinia sappan L.*) extract for smart food packaging. *Applied Science*, 13: 8205. DOI: 10.3390/app13148205
- Sharbatdar, H.H. Khademi Shurmasti, D. 2023. Effect of solvent types in chitosan-based nanocomposite coating on internal quality and eggshell morphology. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 28(4), APST–28. DOI: 10.14456/apst.2023.65
- Sharifi, A. and Khademi Shurmasti, D. 2023. Effect of chitosan molecular weight and type of plasticizer in edible coating on internal quality and eggshell morphology. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 20(136):137-149. DOI: 10.22034/FSCT.20.136.137 (In Persian).
- Srivastava, K.R., Kumar Singh, M., Kumar Mishra, P. and Srivastava, P. 2019. Pretreatment of banana pseudostem fibre for green composite packaging film preparation with polyvinyl alcohol. *Journal of Polymer Research*, 26 (4):4. DOI: 10.1007/s10965-019-1751-3.
- Tripathi, S., Mehrotra, G.K., Dutta, P.K. 2009. Physicochemical and bioactivity of cross-linked chitosan–PVA film for food packaging applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 45: 372–376. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2009.07.006
- Vroman, I., and L. Tighzert. 2009. Biodegradable Polymers. *Materials*, 2(2): 307-344. DOI: 10.3390/ma2020307.
- Wang, K., Wang, W., Ye, R., Liu, A., Xiao, J., Liu, Y. and Zhao, Y. 2017. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. *Food Chem.*, 216, 209–216. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.048
- 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 (In Persian)
- Zafarmand Kashani, F. and Khademi Shurmasri, D. 2021. Antioxidant and antimicrobial effects of *Zataria multiflora* Boiss and *Cuminum cyminum L.* alcoholic extracts in bioactive coatings on chicken meat shelf life. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(3): 424-433. DOI: 10.22092/IJMAPR.2021.352887.2913 (In Persian)

Original Research

Survey the properties of active composite film containing garlic (*Allium sativum* L) and thyme (*Zataria multiflora* Boiss) extract aimed at food packaging

D. Khademi Shurmasti^{1*}, F. Norkami², A. Alizadeh Karsalari³, K. Momenian⁴

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

Email: dkhademi@gmail.com

Received: 1 April 2024 Accepted: 1 August 2024

[http://doi: 10.22092/FOODER.2024.365356.1385](http://doi.org/10.22092/FOODER.2024.365356.1385)

Abstract

To improve the mechanical, physical and biological properties of bio-polymeric films, the fabrication of composite films has been considered by mixing different polymers, fillers and additives. The present study was carried out to survey the physical, mechanical and antimicrobial properties of active composite film in a completely randomized design with 5 treatments, including two-component polyvinyl alcohol/chitosan film, three-component polyvinyl alcohol/chitosan/montmorillonite film, three-component film incorporated thyme (2%) and garlic (2%) extract alone or in combination with each other. The findings showed that adding nano-montmorillonite to the two-component film resulted in three-component composite films with improved mechanical and physical properties. At the same time, the fabrication of a three-component active composite film by adding plant extracts, especially when they are used together in the composition of the film, in addition to improved mechanical and physical properties, reinforced the antimicrobial properties of the film. The three-component active composite film containing thyme and garlic extract has the highest thickness (0.18 mm), favourable tensile strength, elongation at break, solubility, and water absorption capacity, leading to the lowest water vapour permeability (3.65 gmm/m²hPa), and the maximum diameter of the inhibitory zone against *S. aureus* (23.33 mm) and *E. coli* (18.46 mm). Therefore, this active three-component composite film, having favourable physical, mechanical and antimicrobial properties, can be used as a biodegradable packaging material in the food industry.

Keywords: Biodegradable Packaging, Polyvinyl Alcohol, Composite film, Chitosan, Montmorillonite