تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۴ / شماره ۷۹/ پاییز و زمستان/۱۴۰۴/ ص ۸۲-۶۷

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی فیلم خوراکی بر پایهٔ پروتئین آب پنیر – ژلاتین حاوی عصارهٔ گشنیز

محمدیار حسینی[1*]، ستایش کرمعلی[2]

[1*]دانشیار گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم و فناوری‌های بین رشته‌ای، دانشگاه بناب، بناب، ایران

[2]انشجوی کارشناسی بهداشت مواد غذایی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳

چکیده

در این پژوهش، با هدف بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، فیلم خوراکی زیست‌تخریب‌پذیری بر پایهٔ پروتئین آب پنیر و ژلاتین تهیه شد و اثر افزودن عصاره گشنیز در غلظت‌های مختلف (صفر، ۱، ۲، ۳ و ٤ درصد) بررسی گردید. برای این منظور، خواص فیزیکوشیمیایی (ضخامت، انحلال‌پذیری، نفوذپذیری به بخار آب، کدورت)، خواص مکانیکی (استحکام کششی، ازدیاد طول در نقطه شکست، مدول یانگ)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (با آزمون DPPH) و خاصیت ضدمیکروبی (روش دیسک انتشاری) آن ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها پس از افزایش غلظت عصاره نشان داد ضخامت، کدورت و نفوذپذیری فیلم خوراکی افزایش ($p<0.05$) و انحلال‌پذیری آن کاهش ($p<0.05$) یافته است. بالاترین استحکام کششی و مدول یانگ در تیمار دارای ۲ درصد عصاره و بیشترین ازدیاد طول در تیمار دارای ۳ درصد عصاره مشاهده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خاصیت ضدمیکروبی نیز با افزایش غلظت عصاره بهبود یافت، به طوری که فیلم حاوی ٤ درصد عصاره بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی ۲۲/۸٦ و بیشترین فعالیت بازدارندگی علیه *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* به ترتیب با مقدار ۸/۱، ۸ و ۵/۳۰ میلیمتر نشان داد. به طور کلی، استفاده از عصارهٔ گشنیز در فرمولاسیون فیلم‌های خوراکی می‌تواند منجر به تولید پوشش‌های فعال، ایمن و زیست‌تخریب‌پذیر برای افزایش ماندگاری مواد غذایی شود.

واژه‌های کلیدی: آب پنیر، ژلاتین ، فیزیکوشیمیایی، فیلم خوراکی، گشنیز

مقدمه

فیلم‌های خوراکی پوشش‌های نازکی هستند که از مواد خوراکی قابل مصرف ساخته شده‌اند و برای حفظ و بسته‌بندی محصولات غذایی به‌کار می‌روند. این نوع فیلم‌ها به عنوان راهکاری پایدار و نوآورانه در صنعت غذایی مطرح شده‌اند و نه تنها به حفظ تازگی و کیفیت غذا کمک می‌کنند، بلکه از نظر محیط‌زیستی نیز مزایای قابل توجهی دارند (Kumar *et al.*, 2020).

ژلاتین پروتئینی است طبیعی که از هیدرولیز جزئی کولاژنِ استخراج‌شده از منابع جانبی مختلف مانند پوست و استخوان گاو، خوک و ماهی به دست می‌آید. این بیوپلیمر به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد مانند زیست‌سازگاری، تجزیه‌پذیری زیستی، و تشکیل فیلم، به طور گسترده در صنایع غذایی (به عنوان پایه‌ای برای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی)، دارویی و آرایشی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از ژلاتین برای تولید فیلم‌های خوراکی به منظور پوشش‌دهی مواد غذایی و افزایش ماندگاری آنها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این فیلم‌ها با ایجاد یک سد در برابر خروج رطوبت از مواد غذایی، ورود

نویسنده مسئول: Email: m.hosseini@ubonab.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2026.369298.1421

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

اکسیژن به مواد غذایی و مهاجرت ترکیبات آنها ، به حفظ کیفیت و طول عمر مفید این مواد کمک می‌کنند Khan *et al*., 2022; Hassan *et al*.,2024).

این پروتئین مخلوطی از پروتئین‌های تخلیص شده است که از واسرشتی (دناتوراسیون) گرمایی کولاژن حاصل می‌شود و به‌دلیل داشتن خاصیت تشکیل ژل (وجود اسید آمینه‌های پرولین و هیدروکسی‌پرولین) کاربرد مناسبی در تهیهٔ فیلم خوراکی دارد (Ejaz *et al*., 2018).

آب پنیر محصول جانبی کارخانه‌های پنیرسازی است که به عنوان افزودنی و خصوصاً به صورت پودرهای پروتئینی تغلیظ‌یافته WPC[1] یا WPI[2] در اغلب مواد غذایی فرآوری شده مانند فرآورده های قنادی، نانوایی، بستنی و همچنین غذای کودک به کار می رود(Wakai & *Almenar*., 2015). آب پنیر تغلیظ یافته به طور معمول دارای ۳۰ تا ۷۰ درصد پروتئین و ایزوله پروتئین آب پنیر حاوی حداقل ۹۰ درصد پروتئین است. افزون بر اینکه پروتئین آب پنیر در فرمولاسیون مواد غذایی مختلف به کار می رود، امروزه از چنین پروتئین‌هایی در تهیه فیلم های خوراکی استفاده می شود (Jooyandeh H, 2011). استفاده از پروتئین آب پنیر در تولید فیلم، به سبب دارا بودن ارزش تغذیه ای بسیار بالای آب پنیر، به‌معنای استفادهٔ بهینه از ضایعات کارخانه های پنیرسازی و کاهش مشکلات زیست محیطی است (Kokoszka *et al*., 2010).

گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاه دارویی، علفی و یکساله از خانوادهٔ جعفری[3] (Apiaceae) و بومی مناطق مدیترانه است. اسانس میوهٔ گشنیز در صنایع دارویی، آرایشی- بهداشتی و غذایی کاربردهای گوناگونی دارد و به همین سبب دارای ارزش اقتصادی بالایی در تجارت جهانی است. از این میوه در طب سنتی برای دستگاه گوارش به‌عنوان ضد نفخ، اشتها آور، برطرف کنندهٔ دردهای عضلانی و آرام بخش استفاده می‌شود(Bastami and Majidian, 2016). پودر میوهٔ گشنیز در زمرهٔ ادویهٔ محبوب در غذاهای شرقی است، اسانس و عصاره این میوه دارای خاصیت ضد باکتریایی (Burt and Reinders., 2004) آنتی اکسیدانی (Wangensteen *et al*., 2004)، ضد دیابتی (Ahmad *et al*., 2017 ضد سرطانی است.

کوراوند و همکاران (Koravand *et al*., 2016) در پژوهشی تاثیر زمان تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی را بر ویژگی‌های فیلم خوراکی بر پایهٔ ایزولهٔ پروتئین آب پنیر بررسی کردند و نتایج نشان دادند خصوصیات فیلم تیمارشده با آنزیم, متاثر از زمان تیمار آنزیمی محلول تشکیل دهندهٔ فیلم است.

بخشی زاده و همکاران (Bakhshizadeh *et al*., 2023) در مطالعه‌ای فیلم هایی بر پایهٔ ژلاتین حاوی اسانس رزماری و ژل آلوئه ورا تهیه و خاصیت ضد میکروبی اسانس رزماری و آنتی اکسیدانی ژل آلوئه ورا را بررسی کردند و نشان دادند فیلم تولید شده از ژلاتین و آلوئه ورای حاوی رزماری دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مناسب همراه با فعالیت ضدمیکروبی و آنتی اکسیدانی قابل توجهی است که نشان دهندهٔ پتانسیل آن برای بسته‌بندی مواد غذایی است.

حسن نیاکلایی و همکاران Hassan niakalaei *et al*., (2015) در پژوهشی از ترکیب پروتئین آب پنیر و پولولان به نسبت‌های مختلف (۳۰:۷۰, ۵۰:۵۰ و ۷۰:۳۰) فیلم هایی از طریق روش قالب‌ریزی تهیه و خواص مکانیکی و خواص فیزیکی فیلم‌ها بررسی کردند و گزارش دادند در نسبت ۵۰:۵۰ پروتئین آب پنیر – پولولان، میزان نفوذپذیری نسبت به بخارآب و انحلال پذیری در آب کاهش می‌یابد و در کنار آن مقاومت کششی و تغییرات رنگی به بیشترین میزان می‌رسد. این محققان افزودند مقدار رطوبت در نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداده است و با افزایش میزان پولولان،

1. Whey Protein Concentrate
2.Whey Protein Isolate
3. Apiaceae

درصد ازدیاد طول فیلم‌ها افزایش و ضخامت فیلم ها کاهش یافته است.

مواد و روش ها

مواد

ژلاتین، پروتئین آب پنیر، گلیسرول، توئین، مواد شیمیایی و محیط‌های کشت میکروبی به کار رفته در این پژوهش ساخت شرکت مرک هستند. عصاره گیاهٔ گشنیز از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه ایلام تهیه شد.

استخراج عصارهٔ آبی: عصارهٔ آبی از گیاه گشنیز به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سلسیوس استخراج شد. با توجه به گزارش‌های علمی، این دمای بالا می‌تواند موجب شود ترکیبات فنولیک حساس به حرارت تا ۷۰ در صد تخریب شود.

با این همه، در این تحقیق از این عصاره برای تهیه فیلم‌های ژلاتینی با غلظت‌های مختلف (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد) استفاده گردید. پس از استخراج، عصاره جمع‌آوری گردید و بلافاصله در دمای ۴ درجه سلسیوس در ظرف‌های تیره نگهداری شد تا از تخریب بیشتر ترکیبات فعال باقیمانده جلوگیری شود (Nayeri chegeni *et al.*, 2016).

تهیهٔ فیلم

ابتدا ۰/۵ درصد پروتئین آب پنیر و ۱ درصد ژلاتین در آب مقطر استریل دیونیزه افزوده و با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به هم‌زده شد (۱۰ دقیقه). پس از آن ۳۵ درصد پلاستی سایزر (گلیسرول) براساس وزن ماده خشک مصرفی افزوده شد و به مدت ۱۵ دقیقه ترکیب گردید. در مرحلهٔ بعد، غلظت‌های (صفر ، ۱، ۲، ۳، ۴ درصد) از عصاره گشنیز به محلول افزوده شد. پس از افزودن ۰/۲ درصد توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر با دستگاه اولتراسونیک(التراسونیک ۱۰ لیتری Sky مدل S۴۰)، هوموژنایزر به مدت ۲۰ دقیقه یکنواخت گردید. محلول‌های حاصل داخل پلیت‌ها ریخته شد و پس از خشک شدن کامل در دمای محیط فیلم‌ها از پلیت جدا گردید و داخل فویل‌های آلومینیمی در دسیکاتور حاوی نیترات منیزیم اشباع در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۷۲ ساعت برای آزمایش‌ها قرار داده شد (Muppalla *et al.*, 2014).

اندازه‌گیری ضخامت فیلم ها

تعیین ضخامت فیلم‌ها برای آزمایش‌های مکانیکی، نفوذپذیری به بخار آب و خواص نوری ضروری است. ضخامت فیلم‌های تولیدی توسط میکرومتر (Mitutoyo ژاپن) با دقت نزدیک به ۰/۰۰۱ میلی متر و در ۱۰ نقطه مختلف از هر نمونه اندازه گیری و میانگین ضخامت محاسبه شد و این ضخامت در تعیین قدرت کششی، نفوذ پذیری به بخار آب و کدورت استفاده گردید (Khanzadi *et al.*, 2015).

انحلال‌پذیری

نمونه‌های فیلم (۲ سانتی متر× ۲ سانتی متر) به مدت یک شب در دمای ۱۰۵ ℃ توسط آون خشک و وزن (W1) شدند. نمونه‌ها در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر به مدت 24 ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. نمونه‌های فیلم بازیابی شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس برای محاسبه وزن نهایی مادهٔ خشک (W2) خشک شدند. انحلال‌پذیری در آب نمونه‌های فیلم با توجه به رابطه زیر تعیین شد (Alizadeh Sani, et al, 2022).

$$\text{انحلال‌پذیری} = \frac{(W1-W2)}{W2} \times 100$$

در این رابطه W1وزن خشک اولیه و W2 وزن خشک نهایی است.

نفوذپذیری نسبت به بخار آب(تراوش پذیری)

نفوذ پذیری نسبت به بخار آب به روش وزن سنجی تعیین شد (ASTM-E96-95, 1995). در یک ظرف ۱۴ میلی‌لیتری، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد و با فیلم-های مورد بررسی با مساحت ۱/۵ سانتی‌متر مربع در بندی شد. بطری دربندی شده ابتدا وزن گردید و در محفظه دارای سیلیکاژل با میزان رطوبت نسبی و دمای مشخص قرار گرفت. ظرف در هر ۱۲ ساعت و به مدت ۳ روز وزن گردید. نمودار تغییرات وزن ظرف در برابر زمان رسم شد. شیب آن محاسبه و میزان نفوذپذیری نسبت به رطوبت با رابطه زیر محاسبه شد (Casariego *et al.*, 2009; 2022 Fallah, *et al.*,

$$WVP^{1}\ (gm^{-1}pa^{-1}S^{-1}) = \frac{W \times X}{A \times t \times \Delta p}$$

W میزان اختلاف وزن بطری، X ضخامت فیلم ژلاتینی(میلیمتر)، A مساحت فیلم ژلاتینی (m^2)، t زمان بر حسب ثانیه و Δp اختلاف فشار بخار اتمسفر دو سمت فیلم است. ظرف حاوی آب خالص و محفظه دارای سلیکاژل است.

ویژگی‌های مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها شامل قدرت کششی (مگاپاسکال)، افزایش طول تا نقطهٔ شکست (درصد) و مدول یانگ (مگاپاسکال) است. این ویژگی‌ها بر اساس استاندارد ASTM-D882 و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA-Plus, England) محاسبه شد (ASTM2001). ابتدا فیلم ها به ابعاد۱۰×۱ سانتی‌متر بریده شدند و ضخامت در ۱۰ نقطه محاسبه گردید. فیلم‌ها به مدت ۳ روز در دسیکاتور حاوی محلول منیزیم نیترات با رطوبت ۵۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سلسیوس آماده سازی شدند.

نمونه‌ها سپس بین دو فک دستگاه بافت‌سنج با فاصلهٔ اولیه ۵۰ میلی‌مترو سرعت حرکت فک ۵۰ میلی‌متر در دقیقه قرار داده شدند و ویژگی‌های مکانیکی شامل قدرت کششی، درصد افزایش طول تا نقطهٔ شکست (تغییر طول نمونه تقسیم بر طول اولیه ضرب در ۱۰۰) و نیز مدول یانگ بر اساس آزمون انعطاف پذیری میلهٔ پایه‌دار محاسبه گردید که نشان‌دهنده سفتی محصول در محدوده الاستیک خطی است(*et al.*, 2015; Hosseini; 2023 Khanzadi).

خواص آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های ژلاتین با تغییر رنگ رادیکال DPPH از بنفش به هیدرازین‌های زرد رنگ اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۳۰ میلی‌گرم از هر فیلم در نسبت‌های برابر آب مقطر و متانول (نسبت ۳ به ۳ درصد وزنی) حل شد. پس از حل شدن تمام فیلم‌ها، نمونهٔ به‌دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (Universal آلمان) و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگه‌داشته شد (۱ شب استراحت) و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. یک میلی‌لیتر از قسمت رویی محلول سانتریفوژ شده هر فیلم با ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی مولار متانولی DPPH مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب هر یک در ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد(A_s). به عنوان شاهد، ۱ میلی‌لیتر از محلول آب و متانول (۳ میلی‌لیتر آب مقطر+ ۳ میلی‌لیتر متانول) با ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی مولار متانولی DPPH به مدت ۳۰ دقیقه در انکوباتور (Memmert آلمان) در دمای اتاق نیز نگهداری شد و جذب آن در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر(Shimadzu ژاپن) اندازه‌گیری شد (A_b) . فعالیت مهار رادیکال DPPH مطابق رابطه زیر محاسبه شد (Dou *et al.*, 2018).

$$DPPH\ scavenging\ (\text{درصد}) = \frac{(A_b - A_s)}{A_b} \times 100$$

اندازه گیری کدورت فیلم

برای تعیین ویژگی‌های نوری فیلم‌ها از دستگاه اسپکتروفتومتر(Shimadzu ژاپن) استفاده شد. به این منظور نمونه‌های فیلم به ابعاد ۹×۴۰ میلی‌متر بریده و داخل سلول اسپکتروفتومتر قرار داده شدند. یک نمونه سلول خالی نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. میزان عبور نور در طول موج‌های مختلف و جذب آن در طول موج ۵۰۰ نانومتر بررسی شد. از رابطه زیر برای اندازه گیری کدورت استفاده شد (Langroodi *et al.*, 2017).

ضخامت فیلم / میزان جذب در ۵۰۰nm= کدورت فیلم

اندازه گیری فعالیت ضدمیکروبی

برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها از روش انتشار دیسک آگار روی باکتری‌های مدل *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* استفاده شد. برای این منظور $100\mu L$ ($10^{-6} cfu/g$) از هریک از سوسپانسیون‌های باکتریایی به محیط کشت مولر هینتون آگار تلقیح شد. دیسک‌هایی به قطر ۶ میلی‌متر از هر فیلم پس از برش دادن روی سطح آن گذاشته شد. نمونه‌های آزمایشی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲±۳۵ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند و قطر مناطق مهار رشد (میلی‌متر) برای تعیین فعالیت ضدمیکروبی اندازه‌گیری شد (Ramesh & Radhakrishnan ., 2019).

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار(n=3) با نمونه‌گیری کاملاً تصادفی مطابق جدول ۱ اجرا شد. آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و مقایسهٔ میانگین داده‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم افزار $SPSS_{26}$ در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت.

جدول۱- تیمار فیلم‌های خوراکی

Table 1. Edible films treatments

Treatment تیمار	Coriander extract (%) گشنیز(٪)
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5

نتایج و بحث

خواص فیزیکی فیلم‌ها (انحلال‌پذیری، کدورت، نفوذپذیری، ضخامت)

ضخامت

نتایج به‌دست آمده از آزمایش ضخامت فیلم‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود ضخامت فیلم ها از ۱/۴ تا ۲/۱ میلی متر متغیر است. در تیمارهای دارای ۲ درصد و ۴ درصد عصاره گشنیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. ($p> 0.05$)

فیلم ژلاتین خالی و پروتئین آب پنیر دارای کمترین میزان ضخامت بود (۱/۴ میلی‌متر) که این مقدار با افزودن غلظت تا ۳ درصد افزایش معنی دار ($p<۰/۰۵$) داشت. دلیل این افزایش ضخامت را می توان به تراکم ذرات کوچک عصاره در فیلم نسبت داد که تاثیر کمی بر تغییر ضخامت فیلم‌های تهیه شده دارد. علاوه بر آن، افزودن عصاره سبب ایجاد

ساختار غیریکنواخت همراه با منافذ می‌شود که نشان دهنده افزایش ضخامت است (Cheng *et al.*, 2019; Ghadermarzi *et al.*, 2013). ولی با افزایش بیشتر غلظت تا ۴ درصد، ضخامت کمتر شد.

حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2009) گزارش کردند افزودن دارچین، میخک و آویشن به فیلم کازئینات سدیم موجب افزایش ضخامت فیلم میکروبی می‌شود. در تضاد با این نتایج، پیرس و همکاران(Pires *et al.*, 2013) گزارش کرده‌اند با افزودن روغن‌های اسانسی سنبل و گشنیز به عنوان ترکیبات ضد میکروبی، ضخامت فیلم پروتئینی کاهش می‌یابد.

انحلال‌پذیری

طبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش که در جدول ۲ آمده است، فیلم شاهد در مقایسه با فیلم حاوی عصارهٔ گشنیز انحلال‌پذیری زیادی در آب داشته که افزودن عصاره به فیلم‌های خوراکی به دلیل افزایش منافذ موجود در فیلم ها، انحلال‌پذیری را به‌طور معنی‌داری کاهش ($p<0.05$) داده است. کاهش انحلال‌پذیری با افزودن عصاره احتمالاً به دلیل اضافه شدن عوامل هیدروفوب به محیط فیلم می باشد. هامروز و همکاران (Jamróz *et al.*, 2018) درتحقیقی اثر اسانس اسطوخودوس را بر فیلم نشاسته/فورسلاران/ژلاتین بررسی کردند و دریافتند که با افزایش میزان اسانس انحلال‌پذیری فیلم‌ها در آب کاهش می‌یابد. در تضاد با این نتایج، حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2009) در پژوهشی افزایش انحلال‌پذیری فیلم را با افزودن ترکیبات ضد میکروبی به ساختار فیلم ها گزارش کردند.

نفوذ پذیری نسبت به بخار آب

ساختار اسفنجی شکل ایجاد شده در فیلم‌های حاوی عصارهٔ گشنیز در اثر بر هم خوردن ساختار منظم زنجیره‌های پلیمری ناشی از حضور ترکیبات موجود در عصاره است. این پدیده باعث می‌شود نفوذپذیری نسبت به بخار آب به صورت معنی داری افزایش یابد ($p<0.05$). در واقع، با افزودن اسانس سطح تبلور لایه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه نفوذپذیری فیلم‌های بارگذاری شده با روغن اسانسی نسبت رطوبت فزونی می‌یابد. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2021) در تحقیقی افزایش میزان نفوذ پذیری نسبت به بخار آب را با افزودن روغن اسانسی آویشن به فرمولاسیون فیلم خوراکی تایید کردند.

کدورت

کدورت ویژگی مهمی محسوب می شود زیرا بر میزان نوری که به غذا و ظاهر محصولات بسته بندی شده می‌تابد اثر می‌گذارد که مرتبط است با پذیرش مصرف کننده. جدول ۲ نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین میزان کدورت تیمارها به جز تیمار صفر درصد مشاهده نمی‌شود. با افزایش غلظت عصاره میزان کدورت افزایش یافته و فیلم‌ها کدرتر شده‌اند. افزایش منافذ درون ساختاری فیلم‌های تولیدشدهٔ حاوی عصارهٔ گشنیز، با تسهیل عبور نور موجب افزایش شفافیت فیلم‌های حاصل گردید. از سوی دیگر، این افزایش در کدورت می‌تواند به دلیل حضور قطره‌های اسانس باشد که در سراسر ماتریس پلیمری توزیع شده است و موجب پراکندگی نور می شود زیرا ضریب شکست روغن بالاتر از ضریب شکست پلیمر است (Valencia-Sullca *et al.*, 2018) دو اوانجلهو و همکاران(Do Evangelho *et al.*, 2019) گزارش می‌دهند که افزودن روغن اسانسی پرتقال به فرمولاسیون فیلم نشاسته باعث کاهش معنی‌دار میزان شفافیت نمونه‌ها می شود لیو و همکاران و وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021) در تحقیقی نشان دادند که با افزودن روغن اسانسی آویشن، روغن اسانسی *Zanthoxylum bungeanum* و روغن اسانسی پونهٔ کوهی/ دارچین کدورت نمونه‌های فیلم به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد

جدول۲- خواص فیزیکی فیلم های خوراکی

Table 2. Physical properties of edible films

Treatment تیمار	Solubility(%) انحلال‌پذیری(درصد)	Permeatability($gm^{-1}s^{-1}pa^{-1}$) نفوذپذیری (گرم بر متر ثانیه پاسکال)	Turbidity(%) کدورت	Thickness(mm) ضخامت(میلی متر)
0%	71.25±0.75[a]	1.14±0.13[e]	0.58±0.06[c]	1.4±0.4[d]
1%	67.97±0.67[b]	1.61±0.14[d]	0.83±0.05[b]	1.8±0.2[c]
2%	56.74±0.41[c]	3.37±0.17[c]	0.86±0.01[b]	1.9±0. 39[b]
3%	49.23±0.96[d]	4.28±0.21[b]	0.97±0.01[a]	2.1±1[a]
4%	46.07±1.96[e]	5.34±0.34[a]	1.01±0.02[a]	1.9±0.48[b]

آزمون مکانیکی

نتایج حاصل از آزمون های مکانیکی ترکیب فیلم ژلاتین و پروتئین آب پنیر با غلظت‌های متفاوت عصارهٔ گشنیز که میزان استرس کششی و میزان سختی فیلم را نشان می‌دهد و با زنجیره ها و پیوندهای داخلی آن مرتبط است در جدول ۳ آمده استو در این جدول دیده می‌شود درصد کشش در تمامی تیمارها به جز تیمارهایی که ۲درصد و ۴ درصدعصارهٔ گشنیز دارند معنی دار است. ازدیاد طول در نقطهٔ شکست در تمامی تیمارها به جز تیمارهای دارای ۲ درصد و ۳ درصد و ۴ درصد عصاره گشنیز با هم اختلاف معنی داری دارند ($p<0.05$) و بیشترین ایت اختلاف مربوط به تیمار دارای ۳ درصد عصاره گشنیز است. در آزمون مدول یانگ اختلاف معنی‌داری در تمامی تیمارها به جز تیمار دارای ۳ درصد و ۴ درصد عصاره گشنیز مشاهده شد. عوامل زیادی مانند ریخت‌شناسی (مورفولوژی) و ساختار ماکرومولکولی، اندازه و پراکندگی ذرات و میزان برهمکنش میان ذرات در خواص مکانیکی تاثیر دارند. حسینی و همکاران (Hosseini *et al*., 2015) در تحقیقی ویژگی‌های دو پلیمر کیتـوزان - ژلاتین را در نسبت‌های مختلف بررسی کردند و نشـان دادند اضـافه کـردن کیتـوزان موجب افزایش مقاومت کششی فیلم می‌شود. شجاعی علی‌آبادی و همکاران (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2014) در پژوهشی گزارش داده‌اند کاهش میزان مقاومت کششی فیلم‌ها با افزودن روغن اسانسی احتمالا به دلیل تشکیل ساختارهای ناپیوسته و غیریکنواخت و نیز ناشی از جایگزینی برهمکنش قوی پلیمر-پلیمر با برهمکنش ضعیف‌تر پلیمر-روغن است.

جوکی و همکاران (Jouki *et al.*, 2014) در پژوهشی فیلم-های موسیلاژ بذر به دانهٔ حاوی اسانس پونهٔ کوهی را در غلظت های ۱، ۱/۵، ۲درصد (W/W)تولید و گزارش کردند که با افزایش غلظت اسانس پونهٔ در فیلم تا غلظت ۲ درصد(W/W) میزان افزایش طول در نقطه شکست افزایش یافتافزایش مدول یانگ ممکن است به این دلیل باشد کـه اسانس‌ها به شکل قطره‌های روغن می‌تواند موجب بهبود خواص الاستیسیته گردند که در نتیجه موجب افزایش تغییرات طولی نسبت به تغییرات عرضی در زنجیره و ترکیبات می‌شود. حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2015) در تحقیقی دریافتند که با افزایش اسانس پونهٔ کوهی در فیلم‌هایی که بر پایهٔ ژلاتین و کیتـوزان تهیه شده‌اند، مقاومت کششی و مـدول یانگ کاهش می‌یابد.

جدول۳- خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی

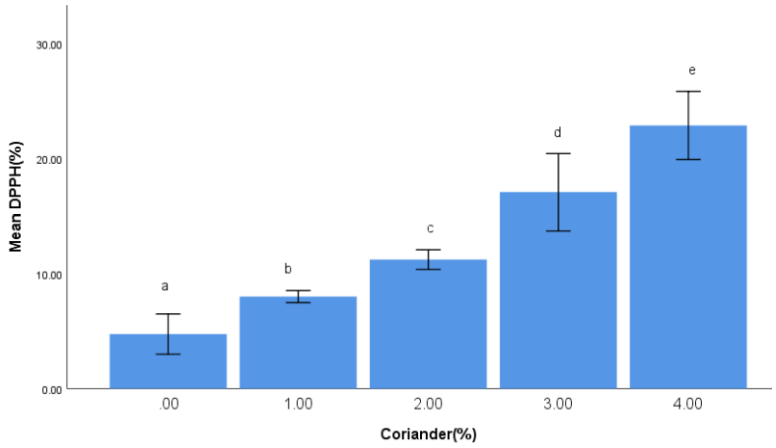
Table 3. mechanical properties of edible films

Treatment تیمار	Tensil strength(Mpa) درصد کشش(مگاپاسکال)	Elongation at break(٪) ازدیاد طول در نقطه شکست(درصد)	Young modulous(Mpa) مدول یانگ(مگاپاسکال)
0%	3.24±0.06^{d}	15.07±0.32^{c}	37.63±0.55^{d}
1%	7.93±0.15^{c}	17.24±0.18^{b}	82.16±0.58^{c}
2%	11.2±0.3^{a}	23.65±1.35^{a}	140.1±2.3^{a}
3%	9.43±0.64^{b}	24.69±1.53^{a}	102.13±1.1^{b}
4%	10.5±0.46^{a}	23.56±1.61^{a}	103.9±1.63^{b}

خواص آنتی اکسیدانی

شکل ۱ فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. عصارهٔ گشنیز به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم ژلاتین شده است. قدرت مهار رادیکال‌های DPPH با افزایش درصد عصاره، افزایش می‌یابد، ترکیب عصاره‌ها و اسانس‌ها منجر به اثر هم‌افزایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر در فیلم‌ها می‌شود (Benamar-Aissa, 2023)

کمترین و بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب در فیلم شاهد(۴/۷۴) و فیلم ترکیبی در غلظت دارای ۴ درصد عصاره گشنیز (۲۲/۸۶) دیده می‌شود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجه عمدتاً ناشی از حضور ترکیبات فنولیک و فلاوونوئیدی در عصارهٔ گشنیز از قبیل اسید گالیک، کوئرستین و کامفرول است. این ترکیبات از طریق اهدای الکترون یا اتم هیدروژن به رادیکال‌های آزاد پایدار (مانند DPPH)، آن‌ها را خنثی کرده از واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند. مطالعات متعددی نیز بر نقش این ترکیبات در تقویت خواص آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های بسته‌بندی تأکید دارند. برای مثال، اختر و همکاران (Akhter et al., 2019) گزارش کردند که ماهیت فیلم و نوع و قدرت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی افزوده‌شده (مانند ترکیبات فنولی) بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها تأثیرگذار است .فیلم ژلاتین و آب‌پنیر پروتئین خالص دارای فعالیت آنتی اکسیدانی ضعیفی است. فعالیت آنتی اکسیدانی در ژلاتین به دلیل وجود برخی آمینواسیدهای خاص مانند گلایسین و پرولین همچنین وجود آمینواسیدهای حلقوی مانند تریپتوفان، فنیل آلانین و تیروزین است ولی فیلم‌های حاصل از پروتئین‌های آب‌پنیر بازدارنده ای مناسب برای اکسیژن هستند (Ejaz *et al.*, 2007; Oussalah *et al.*, 2018). موسو و همکاران (Musso *et al.*, 2019) دریافتند که استفاده از عصارهٔ کلم قرمز (سرشار از آنتوسیانین‌ها که زیرمجموعه‌ای از فلاوونوئیدها هستند) در فیلم‌های ژلاتینی، فعالیت مهار رادیکال ABTS را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. این موضوع نقش کلیدی فلاوونوئیدها را تأیید می‌کند. روی و همکاران (Roy *et al.*, 2021) گزارش کردند که افزودن نانوذرات اکسید روی (که فاقد ترکیبات فنولیک هستند) به فیلم‌های سلولزی، منجر به افزایش توانایی مهار DPPH نمی‌شود. این نتیجه به‌طور غیرمستقیم اهمیت حضور ترکیباتی با مکانیسم اهدای هیدروژن (مانند فنولیک‌ها) را در ایجاد خاصیت آنتی‌اکسیدانی برجسته می‌سازد.



شکل۱- خواص آنتی اکسیدانی فیلم های پروتئین آب پنیر-ژلاتین با غلظت‌های مختلف عصارهٔ گشنیز. حروف متفاوت در روی نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p< 0.05$) است.

Figure 1: Antioxidant properties of whey protein- gelatin films with different concentrations of coriander extract. Different words on the curve represent significant difference at 5 % ($p< 0.05$).

فعالیت ضدمیکروبی

برای کاهش یا جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*، اثر فیلم های گوناگون عصاره گشنیز با استفاده از روش انتشار دیسک آگار بررسی گردید. اثر ضدمیکروبی فیلم‌های تولید شده علیه باکتری‌های مورد آزمایش در شکل۲ نشان داده شده است. در تمام تیمارهای دارای عصارهٔ گشنیز، در برابر هر سه گونه مورد آزمایش (*اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*) فعالیت ضد میکروبی موثری مشاهده می‌شود. با افزایش میزان عصاره، فعالیت ضدمیکروبی نیز به طور معنی داری افزایش می‌یابد ($p<0.05$).

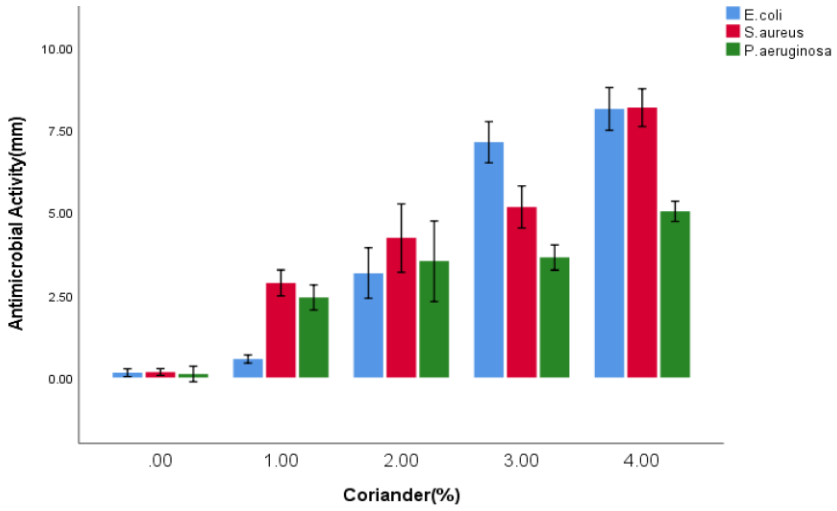
عصارهٔ گشنیز سرشار از ترکیبات ضد میکروبی چون پلی فنل‌ها و ترپن‌هاست. سیمن[۴] مهم‌ترین ضد میکروب در گشنیز است که نقش زیادی در فعالیت ضد باکتری، ضد قارچی و ضد ویروسی دارد (Marchese *et al.*, 2017). فیلم ژلاتین – پروتئین آب پنیر بدون عصاره (شاهد) اثر بازدارندگی ضعیفی در برابر میکروارگانیسم‌های مورد بررسی نشان داده است. با افزودن عصارهٔ گشنیز به فیلم بر پایهٔ ژلاتین–پروتئین آب پنیر، باعث فعالیت افزایش غلظت عصاره .آنتی‌باکتریال قابل توجه فیلم شد) بر افزایش قطر هاله عدم رشد pاثر معنی‌داری(۰/۰۵>
میکروارگانیسم‌های مورد بررسی داشت. بیشترین میزان مهار رشد در هر سه گونه باکتریایی *سودوموناس آئروژینوزا* و*اشریشیا کلی* و باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* در تیمار دارای ۴ درصد عصارهٔ گشنیز دیده می‌شود. بیشترین مهار رشد در این غلظت به ترتیب مربوط به باکتری اشریشیا کلی، ۸؛ *استافیلوکوکس اورئوس*، ۸/۱؛ و *سودوموناس آئروژینوزا*، ۵/۰۳ است.

فعالیت ضد میکروبی محلول ژلاتینی بیشتر به دلیل وجود زنجیرهٔ الیگوپپتیدی حاصل از آبکافت ژلاتین است. با افزایش غلظت پوشش در محلول پوشش‌دهی، خاصیت ضدمیکروبی افزایش می‌یابد که احتمالا به‌دلیل افزایش ضخامت فیلم تشکیل شده روی سطح عصارهٔ گشنیز و اثر

4. Cymene

ممانعتی قوی‌تر آن به نفوذ اکسیژن است (Ahangarpour *et al.*, 2014). الانساری و همکاران (Elansary *et al.*, 2020) اثر ضدمیکروبی شش گیاه از خانواده کاکتوس‌ها را روی پنج باکتری *باسیلوس سرئوس*، *اشریشیا کلی*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، *مارینیلوتای کوکوس فلاووس* و *استافیلوکوکوس اورئوس* بررسی کردند . نتایج تحقیق نشان‌دهنده اثر ضدمیکروبی قابل توجه عصارهٔ گونه‌ها بر دو باکتری *اشریشیا کلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* در مقایسه با دیگر باکتری‌ها بود که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق همخوانی دارد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2025) با بررسی اثر غلظت‌های مختلف عصارهٔ کندل بر کاهش یا جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های *اشریشیاکلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* به روش انتشار آگار نشان دادند فیلم ژلاتین- کربوکسی متیل سلولز بدون عصاره (شاهد) اثر بازداری ضعیفی را در برابر میکروارگانیسم‌های مورد بررسی دارد. افزودن عصارهٔ کندل به فیلم بر پایهٔ ژلاتین–کربوکسی متیل سلولز، باعث فعالیت آنتی‌باکتریال قابل توجه فیلم شده است. بیشترین میزان مهار رشد در هر سه گونه باکتریایی سودوموناس آئروژینوزا و *اشریشیاکلی* و باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* در تیمار با غلظت ۳/۲۵ درصد دیده شده است. بیشترین مهار رشد در این غلظت مربوط به باکتری *اشریشیاکلی* ۵/۳۳ و *استافیلوکوکس اوروئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* هم اثر مهار رشد در این غلظت ۴ و ۳/۹۹ بود.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2021) راجع به تاثیر روغن اسانسی آویشن بر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی نتایج مشابهی را گزارش کردند. بدین گونه که ترکیب اصلی دیوارهٔ سلولی باکتری‌های گرم مثبت، پپتیدوگلیکان به همراه مقدار اندکی پروتئین است اما دیوارهٔ سلولی باکتری‌های گرم‌منفی دارای پیچیدگی بیشتری است و افزون بر پپتیدوگلیگان، پلی ساکاریدهای گوناگون، پروتئین و لیپیدها نیز در دیوارهٔ سلولی آن ها حضور دارند. دیوارهٔ سلولی این باکتری‌ها دارای غشای خارجی است که سطح دیواره را می‌پوشاند و موجب افزایش مقاومت باکتری‌های گرم‌منفی، نسبت به باکتری - های گرم‌مثبت می‌شود. به نظر می رسد مقاومت سلول - های میکروبی به سرعت و میزان انحلال مواد ضد میکروبی در بخش لیپیدی غشای سلولی وابسته است.



شکل۲- فعالیت ضدمیکروبی فیلم های پروتئین آب پنیر-ژلاتین با غلظتهای مختلف عصاره گشنیز

Figure 2: Antimicrobial activity of whey protein- gelatin films with different concentrations of coriander extract

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن عصارهٔ گشنیز به فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ ژلاتین و پروتئین آب‌پنیر، بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی فیلم‌ها ایجاد می‌کند. با افزایش غلظت عصاره، انحلال‌پذیری فیلم‌ها کاهش و کدورت، ضخامت و نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافت. از نظر مکانیکی نیز فیلم‌های حاوی ۳ درصد عصارهٔ گشنیز عملکرد مطلوبی در افزایش استحکام و انعطاف‌پذیری نشان دادند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی فیلم‌ها با افزایش درصد عصارهٔ گشنیز بیشتر شد، به خصوص در برابر باکتری‌های بیماری زا مانند *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا*.

بطور کلی استفاده از عصارهٔ گشنیز در فرمولاسیون فیلم‌های خوراکی بر پایهٔ ژلاتین-آب پنیر می‌تواند در توسعهٔ بسته‌بندی‌های فعال، زیست‌تخریب‌پذیر و ایمن برای افزایش ماندگاری و کیفیت مواد غذایی رویکردی مؤثر در نظر گرفته شود.

تعارض منافع:

نویسندگان تعارض منافع ندارند.

منابع

Ahangarpour, A., Teymuri Zamaneh, H., Jabari, A., Nia, H.M., & Heidari, H. (2014). Antidiabetic and hypolipidemic extract in effects of Dorema aucheri hydroalcoholic leave streptozotocinnicotinamide induced type 2 diabetes in male rats. Iran Journal Basic Medical Science, 17, 808-14. https://doi.org/10.22038/ijbms.2014.3458. (in Persian)

Ahmad, T., Shah, S.T., Ullah, F., Ghafoor, F. and Anwar, U. (2017). Effect of organic fertilizer on growth and yield of Coriander. International Journal of Agricultural and Environmental Research, 3(1): 116-120. (in Persian)

Ahmadi, E., Panahi, S., Karimzadeh, A., Hassanzadeh, H., & Hosseini, M. (2025). Investigating the physicochemical and antimicrobial properties of gelatin-carboxymethyl cellulose edible film containing Dorema aucheri extract. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21(1), 103-117. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89620.1371. (in Persian)

Akhter, R., Masoodi, F., Wani, TA., Rather, SA. (2019). Functional characterization of biopolymer based composite film: Incorporation of natural essential oils and antimicrobial agents. International journal of biological macromolecules, 137:1245-55. (in Persian)

Alizadeh Sani M, Tavassoli M, Salim SA, Azizi-lalabadi M, McClements DJ. (2022). Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO2 nanoparticle- and anthocyanin loaded gelatin/κ-carrageenan films. Food Hydrocolloids, 124: 107324. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324. (in Persian)

Bakhshizadeh, Milad, Niknazar Moghaddam, Tina, Amjadi, Sajid, and Ayaseh, Ali. (2023). Production of active food packaging film based on gelatin/aloe vera gel containing rosemary essential oil. Food Industry Research (Agricultural Science), 33(2), 109-123. (in Persian)

Bastami, A. and Majidian, M. (2016). Effects of mycorrhiza, phosphatic biofertilizer on photosynthetic pigments and yield in coriander (Coriandrum sativum L.). Journal of Plant Production, 38(4): 49-60. (in Persian)

Benamar-Aissa, B., Gourine, N., Ouinten, M., Harrat, M., Benarfa, A., & Yousfi, M. (2023). Synergistic effects of essential oils and phenolic extracts on antioxidant activities responses using two

Artemisia species (A. campestris and A. herba alba) combined with Citrus aurantium. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 47,Article 102570. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102570

Burt, S.A. and Reinders, R.D. (2004). Antibacterial activity of selected plant essential oils against Escherichia coli O157:H7. Letters in Applied Microbiology, 38(6): 401-405.

Casariego, A. B. W. S., Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., Díaz, R., & Vicente, A. A. (2009). Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. Food Hydrocolloids, 23(7), 1895-1902.

Cheng S, Wang W, Li YGao.G, Zhang K, Zhou J. (2019). Cross-linking and film-forming properties of transglutaminase-modified collagen fibers tailored by denaturation temperature. Food chemistry, 271:527-35. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.223

Do Evangelho, J. A., da Silva Dannenberg, G., Biduski, B., El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Gularte, M. A., ... & da Rosa Zavareze, E. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. Carbohydrate Polymers, 222, 114981.

Dou L, Li B, Zhang K, Chu X, Hou H. (2018). Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. International journal of biological macromolecules, 118:1377-83.

Ejaz M, Arfat YA, Mulla M, Ahmed J. (2018). Zinc oxide nanorods/clove essential oil incorporated Type B gelatin composite films and its applicability for shrimp packaging. Food Packaging and Shelf Life, 15:113-21.

Elansary, H.O., Szopa, A., Klimek-Szczykutowicz, M., Ekiert, H., Barakat, AA., & Al-Mana, F.A. (2020). Antiproliferative, antimicrobial, and antifungal activities of polyphenol extracts from Ferocactus species. Processes, 8(2), 138. https://doi.org/10.3390/pr8020138

Fallah, M., Rouhi, M., Sadeghi, E., Sarlak, Z., Moghadam, A & Mohammadi, R. (2021). Effects of Olibanum essantial oil on physicochemical, structural, antioxidant and microbial characteristics of Gelatin edible films. Iranian journal of nutrition science and food technology, 15(4): 93-102. (in Persian)

Ghadermarzi R, Keramat J, Goli SA. (2013). The effect of oregano essential oil on the properties of hydroxypropyl methyl cellulose edible film. Quarterly journal of new food technologies, 2(7): 61-74. https://doi.org/10.22104/jift.2015.130. (in Persian)

Hassan M, Hussain D, Kanwal T, Xiao HM, Ghulam Musharraf S. (2024). Methods for detection and quantification of gelatin from different sources. Food Chemistry, 438:137970. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.137970.

Hassan Niakalaei, Mahboobeh, Khodayian, Faramarz, Pourahmad, Rezvan, and Shahabi Ghahfarkhi, Iman. (2015). Investigation of functional properties of edible composite film based on whey protein-pullulan combination. Journal of Agricultural Engineering Research, 16(3), 45-56. (in Persian)

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. (in Persian)

Hosseini, M. H., Razavi, S. H., & Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. Journal of Food Processing and Preservation, 33(6), 727-743. (in Persian)

Hosseini M, Rahimi Z, saifi.T. (2023). Production of edible film based on gelatin containing thyme essential oil: investigation of its physicochemical, mechanical, antioxidant and microbial properties. Iranian food science and technology, 20(135): 129-139. 10.22034/FSCT.19.135.129. (in Persian)

Jamróz, E., Juszczak, L., Kucharek, M. (2018). Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. International journal of biological macromolecules, 114:1094-101.

Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Koocheki, A. (2014). Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. Food Hydrocolloids, 36, 9-19. (in Persian)

Jooyandeh, H. (2011). Whey protein films and coatings: A review. Pakistan Journal of Nutrition, 10 (3), 296-301. (in Persian)

Khan, M. I., Mazhar, M. U., & Ali Shah, S. Z. (2022). Recent developments in gelatin-based edible films and coatings: A review. Food Hydrocolloids, 132, 107878.

Khanzadi, M., Jafari, S. M., Mirzaei, H., Chegini, F. K., Maghsoudlou, Y., & Dehnad, D. (2015). Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate–pullulan by application of beeswax. Carbohydrate polymers, 118, 24-29. (in Persian)

Kokoszka, S., Debeaufort, F., Lenart, A. and Voilley, A. (2010). Water vapour permeability, thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films. International Dairy Journal, 20, 53-60.

Koravand, Farzaneh, Jooyandeh, Hossein, Barzegar, Hassan, and Hojjati, Mohammad. (2016). Effect of microbial transglutaminase enzymatic treatment time on the properties of edible film based on whey culture isolate. Iranian Biosystems Engineering (Iranian Agricultural Sciences), 47(3), 519-527. (in Persian)

Kumar, V., Raghavendra, R. S., & Wani, A. A. (2020). Recent advances in edible films and coatings for food preservation. Food Packaging and Shelf Life, 24, 100487.

Langroodi, AM., Hossein, Tajik. (2017). Antimicrobial effects of hydroalchol sumac extract with chitosan containing zataria multiflora boiss essential oil on beef meat in normal and modified atmosphere packaging. The Journal of Urmia University of Medical Sciences, 28(3):192-205. (in Persian)

Liu, Z., Lin, D., Shen, R., Zhang, R., Liu, L., & Yang, X. (2021). Konjac glucomannan-based edible films loaded with thyme essential oil: Physical properties and antioxidant-antibacterial activities. Food Packaging and Shelf Life, 29, 100700.

Marchese, A., C. R. Arciola, R. Barbieri, A. S. Silva, S. F. Nabavi, A. J. Tsetegho Sokeng, M. Izadi, N. J. Jafari, I. Suntar, M. Daglia & S. M. Nabavi. (2017). Update on Monoterpenes as Antimicrobial Agents: A Particular Focus on p-Cymene. Materials, 10(8), 947.

Musso, Y. S., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2019). Smart gelatin films prepared using red cabbage (Brassica oleracea L.) extracts as solvent. Food Hydrocolloids, 89, 674-681.

Muppalla SR, Kanatt SR, Chawla S, Sharma A. (2014). Carboxymethyl cellulose–polyvinyl alcohol films with clove oil for active packaging of ground chicken meat. Food Packaging and Shelf Life, 2(2):51-8. doi: org/10.1016/j.fpsl.2014.07.002

Nayeri Chegeni T, Ghafarifar F, Khoshzaban F, Dalimi Asl A. (2016). The effects of artemisinin and aqueous and alcoholic extracts of Artemisia annua on Acanthamoeb genotype T4 in vitro (Persian). Pathobiology Research, 19(2):75-87. (in Persian).

Oussalah M, Caillet S, Saucier L, Lacroix M. (2007). Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: E. coli 0157:H7, Salmonella typhimurium, Staphylococcus aureus and Listeria monocytogenes. Food Control, 18(5):414-420. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.11.009.

Pires C, Ramos C, Teixeira B, Batista I, Nunes M, Marques A. (2013). Hake proteins edible films incorporated with essential oils: physical, mechanical, antioxidant and antibacterial properties. Food Hydrocolloids, 30(1):224-31.

Ramesh, S., & Radhakrishnan, P. (2019). Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. Applied Surface Science, 484, 1274-1281. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.003

Roy, S., Kim, H. C., Panicker, P. S., Rhim, J. W., & Kim, J. (2021). Cellulose nanofiber-based nanocomposite films reinforced with zinc oxide nanorods and grapefruit seed extract. Nanomaterials, 11(4), 877. https://doi.org/10.3390/nano11040877

Shojaee-Aliabadi, S., Mohammadifar, M. A., Hosseini, H., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Hosseini, S. M., ... & Khaksar, R. (2014). Characterization of nanobiocomposite kappa-carrageenan film with Zataria multiflora essential oil and nanoclay. International Journal of Biological Macromolecules, 69, 282-289. (in Persian).

Valencia-Sullca, C., Vargas, M., Atarés, L., & Chiralt, A. (2018). Thermoplastic cassava starch-chitosan bilayer films containing essential oils. Food Hydrocolloids, 75, 107-115.

Wang, B., Sui, J., Yu, B., Yuan, C., Guo, L., Abd El-Aty, A. M., & Cui, B. (2021). Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch-based films incorporated with Zanthoxylum bungeanum essential oil. Carbohydrate Polymers, 254, 117314.

Wangensteen, H., Samuelsen, A.B. and Malterud, K.E. (2004). Antioxidant activity in extracts from coriander. Food Chemistry, 88: 293-297.

Wakai, M., & Almenar, E. (2015). Effect of the presence of montmorillonite on the solubility of whey protein isolate films in food model systems with different compositions and pH. Food Hydrocolloids, 43, 612-621.

Food Engineering Research/Vol.24/No.79/ Autumn & Winter 2025/P: 67-82

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Investigation of Physicochemical and Antimicrobial Properties of Edible Film Based on Whey Protein-Gelatin Containing Coriander Extract

Mohammadyar Hosseini[1]*, Setayesh Karamali[2]

***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Interdisciplinary Science and Technology. University of Bonab, Bonab, Iran.
Email: m.hosseini@ubonab.ac.ir
Received:28 April 2024 **Accepted**: 14 December 2025
http://doi: 10.22092/fooder.2026.369298.1421

Abstract

In this study, with the aim of improving the physicochemical, mechanical, antioxidant and antimicrobial properties, a biodegradable edible film based on whey protein and gelatin was prepared and the effect of adding coriander extract at different concentrations (0, 1, 2, 3 and 4%) was investigated. For this purpose, the physicochemical properties (thickness, solubility, water vapor permeability, turbidity), mechanical properties (tensile strength, elongation at break, Young's modulus), antioxidant activity (by DPPH test) and antimicrobial properties (diffusion disk method) were evaluated. The results showed that with increasing extract concentration, thickness, turbidity and permeability increased and solubility decreased ($p<0.05$). The highest tensile strength and Young's modulus were observed in treatment with 2% concentration of coriander extract and the highest elongation in treatment with 3% concentration of coriander extract. Antioxidant activity and antimicrobial properties also improved with increasing extract concentration, so that the film containing 4% extract of coriander extract showed the highest antioxidant activity (22.86) and the highest inhibitory activity against *Escherichia coli, Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa* with values of 8.1, 8, and 5.30 respectively. In general, the use of coriander extract in the formulation of edible films can lead to the production of active, safe and biodegradable coatings to increase the shelf life of foods.

Keywords: Coriander, Edible film, Gelatin, Physicochemical, Whey

http://doi: 10.22092/fooder.2026.369298.1421 **Email**: m.hosseini@ubonab.ac.ir :نویسنده مسئول

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.