مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

فیلم زیست‌تخریب پذیر بر پایه موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان با نانوذرات مس و اسانس رزماری بررسی خواص فیزیکوشیمیایی آن

فاطمه خاکپور[۱*]، سجاد پیرسا [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

کلمات کلیدی:

فیلم خوراکی،

موسیلاژ،

نانوذرات مس،

اسانس رزماری

DOI: **10.22034/FSCT.21.147.146.**

مسئول مکاتبات: *

sevdakhakpour1@gmail.com

چکیده

در این مطالعه موسیلاژ از بذر شنبلیله و اسانس از رزماری استخراج شد. فیلم مرکب موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان با نانوذرات مس (۰، ۲، ٤ ٪) و اسانس رزماری (۰، ٤، ۸ ٪) تهیه شد. خواص فیزیکوشیمیایی فیلم‌ها تهیه شده بررسی شد. مطابق نتایج به دست آمده با افزایش نانوذرات مس و اسانس رزماری، میزان ضخامت و آنتی‌اکسیدانی فیلم افزایش می‌یابد. رطوبت، نفوذپذیری بخار آب و حلالیت فیلم با افزایش نانوذرات مس و اسانس رزماری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نانوذرات مس و اسانس رزماری، شاخص‌های رنگ L^*، افزایش یافته و روشنایی لایه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین با افزایش نانوذرت مس، شاخص‌های رنگ a^*، افزایش یافته ولی باعث کاهش b^*، شده. همچنین با افزایش اسانس رزماری، شاخص‌های رنگ a^*، کاهش یافته ولی باعث افزایش فاکتور b^*، شده است. نتایج فعالیت ضدمیکروبی نشان داد که افزودن نانوذرات مس و اسانس رزماری باعث فعالیت فیلم علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* شد. نتیجه‌گیری: افزودن نانوذرات مس و اسانس رزماری به فیلم‌های خوراکی بر پایه موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان سبب بهبود ضخامت، آنتی‌اکسیدانی، حلالیت، رطوبت و نفوذپذیری به بخار آب، همچنین تضعیف روشنایی گردید.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

۱-مقدمه

با توجه به افزایش تولید و مصرف پلیمرهای نفتی و پلاستیک در زندگی روزمره انسان، بیماری‌های ناشی از مسمومیت‌های غذایی به یک تهدید بزرگ برای سلامت انسان تبدیل شده است. محیط زیست و به ظهور صنعت بسته‌بندی کمک کرده‌اند. از آنجایی که بخش عمده‌ای از صنعت بسته‌بندی را پلاستیک تشکیل می‌دهد، صنعت بسته‌بندی را می‌توان به فرآورده‌های نفتی پیوند داد [۱-۲]. از این رو رشد روزافزون جمعیت، آلودگی ناشی از مواد بسته‌بندی مشتقات نفتی و مشکلات ناشی از روش‌های مختلف دفع این مواد آلودگی‌ها، از جمله سوزاندن، دفن و بازیافت، توجه بیشتری را به پلیمرهای زیستی و بسته‌بندی زیستی جلب کرده است. فیلم-ها و پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر به دلیل سازگاری با محیط زیست و وابستگی کم به منابع تجدیدناپذیر، جایگزین خوبی برای فیلم‌های مصنوعی در صنعت بسته‌بندی هستند و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌اند [۳-٤]. پلاستیک‌های مصنوعی که برای بسته‌بندی استفاده می‌شود. انواع مختلف غذاها مشکلات زیست محیطی جدی ایجاد می‌کنند. اثرات زیست محیطی مصرف پلاستیک در صنایع غذایی، صنعت بسته‌بندی را تشویق به تولید بسته‌بندی از مواد تجدیدپذیر کرده است [۵-٦]. بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر از محصولات غذایی در برابر آسیب‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی محافظت می‌کند و از افت کیفیت آن‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین می‌تواند از فعالیت میکروبی به عنوان یک حامل ضدمیکروبی در قالب بسته‌بندی ضدمیکروبی جلوگیری کند و ماندگاری محصولات غذایی را افزایش دهد [۷-۸]. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در زمینه جایگزینی پلیمرهای سنتتیک با پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر، به ویژه برای بسته‌بندی مواد غذایی انجام شده است. بیشتر معایب و مشکلات پلیمرهای مصنوعی برای پلیمرهای زیستی به دلیل زیست تخریب‌پذیری آن‌ها در طبیعت مطرح نشده است، و این باعث شده است که بسیاری از محققان در مطالعه بسته‌بندی مواد غذایی استفاده از انواع پلیمرهای زیستی را برای ساخت بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر در نظر بگیرند [۹-۱۰]. بادمجان (Eggplant) نام عمومی برای گیاهی از خانواده Solanaceae متعلق به آسیای جنوب شرقی می‌باشد. نام علمی این گیاه Solanumاست و میوه آن با همین نام شناخته می‌شود. میوه بادمجان، بسته به فنوتیپ گیاه، رنگ‌های بنفش، سبز یا سفید دارد که معمول‌ترین آن‌ها به رنگ بنفش تیره بوده و در زمره سبزیجات در سراسر دنیا به وفور مصرف می‌شود. از ویژگی-های ترکیبات شیمیایی میوه این گیاه، میزان بالای آب موجود در آن است که به همراه کالری غذایی کم مورد توجه کارشناسان امور تغذیه قرار گرفته است. مطالعات نشان داده-اند که آنتوسیانین (Anthocyanin) موجود در میوه گیاه اثر آنتی‌اکسیدانی دارد. از ویتامین‌های موجود در بادمجان می-توان به ویتامین‌های گروه B مخصوصا B ۱ وB ٦، ویتامین Aو C و مواد معدنی مختلف از جمله کلسیم ، فسفر، گوگرد، منیزیم، پتاسیم مس و آهن اشاره کرد. علاوه بر ویتامین‌ها و املاح یاد شده، بادمجان دارای فیتونوترینت‌هایی است که خاصیت آنتی‌اکسیدانی فوق العاده‌ای دارند. فیتونوترینت‌های موجود در بادمجان شامل اجزای فنولیکی مانند کافئیک و کلوروژنیک اسید (acid chlorogenic) و فالوونوئیدها مانند ناسونین (nasunin) می‌باشند. اجزای فنولیکی دارای خاصیت ضدسرطانی، ضدکلسترول بد خون و ضدویروسی می‌باشد [۱۱]. دانه شنبلیله به عنوان مهم‌ترین بخش دارویی گیاه، کاربردهای فراوانی دارد. ساپونین‌ها، ترکیبات موسیلاژ (۲۸٪)، آلکالوئیدها و روغن‌های ثابت حاوی اسیدهای غیراشباع (۱۰-٦٪) مواد دارویی موثر دانه شنبلیله را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین ساپوژنین‌های استروئیدی به دست آمده از ساپونین‌های شنبلیله شامل دیوسژنین و یاموژنین است. این یک منبع اقتصادی مهم برای تولید موسیلاژ (گالاکتومانان)، تریگونلین و دیوسژنین در صنعت داروسازی است [۱۲-۱۳]. دانه شنبلیله دارای خواص ضد دیابت، تسکین درد و اثراتی مانند ضدسرطان، کاهش کلسترول و قند خون و در

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

طب سنتی است [۱۱]. در ایران از دانه شنبلیله به عنوان مقوی و کاهش دهنده قند خون استفاده می‌شود [۱٤]. نانوتکنولوژی یکی از مهم‌ترین و سریع‌ترین بخش‌های فناوری پیشرفته است. محصولات حاوی نانو ذرات را می‌توان در کاربردهای مختلف صنعتی، پزشکی، شخصی و نظامی استفاده کرد. نانوکامپوزیت یک ماده ترکیبی است که حداقل یکی از فازهای آن ابعادی در مقیاس نانو دارد (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) [۱۵-۱٦]. نانوکامپوزیت‌ها جایگزین‌های جدیدی برای روش‌های سنتی بهبود خواص پلیمرها هستند. نانوکامپوزیت‌ها در حال حاضر برای بسته‌بندی نوشیدنی‌ها و مواد غذایی غیر الکلی به دلیل خواص حرارتی، مقاومت و رسانایی بهبود یافته استفاده می‌شوند. موسیلاژها طیف وسیعی از کاربردها را دارند: در مواد غذایی و مواد مغذی به عنوان ساختار، ژل، بافت، و تشکیل فیلم، در داروسازی به عنوان چسباننده و تجزیه کننده برای سیستم‌های دارورسانی، و در لوازم آرایشی به عنوان تثبیت کننده. آن‌ها همچنین در صنایع نساجی و کاغذ علاقه زیادی به خود جلب کرده‌اند و می‌توان از آن‌ها در تولید رنگ استفاده کرد. نانوذرات مس در زمینه‌های مختلفی مانند زیست پزشکی، داروسازی، زیست پالایی، زیست شناسی مولکولی، مهندسی زیستی، مهندسی ژنتیک، تجزیه رنگ، کاتالیزور، لوازم آرایشی و منسوجات استفاده می‌شود. خواص ساختاری و اثرات بیولوژیکی نانوذرات مس در حوزه علوم زیستی اثربخشی امیدوارکننده‌ای دارد. اثرات ضدمیکروبی نانوذرات مس در مطالعات مختلف بررسی شده است [۱۷]. رزماری از قدیمی‌ترین گیاهان شناخته شده‌ی دارویی است که از قرن‌ها پیش، برای تقویت حافظه و فعالیت مغزی به کار می‌رود [۱۸] . مواد موجود در برگ رزماری عبارتند از: لوتئولین، جنکوانین، تانن، رزین، پاسونین، چربی، کربوهیدرات، فیبر، املاح و ویتامین‌ها. اسانس گیاه رزماری ماده‌ای است معطر که در صنایع عطرسازی به ویژه برای ادکلن‌های مردانه استفاده می‌شود. اسانس رزماری موجب اتساع عروق پوست و افزایش خون‌رسانی و در نتیجه تغذیه بهتر فولیکول‌های مو شده، منجر به رشد و تبدیل موهای کرکی به موهای ضخیم می‌گردد. فرآورده‌های حاوی این اسانس سبب رفع پوسته پوسته شدن ناحیه سر (شوره) می‌گردد. اسانس رزماری یک روغن محرک است، که اثر آن روی سیستم اعصاب مرکزی بسیار برجسته است. همچنین از اسانس اکلیل کوهی در تولید داروهای تنظیم گردش خون، ضدتورم و ضددرد و تسکین روماتیسم استفاده می‌شود. از این رو در ماساژ درمانی نیز اسانس این گیاه کاربرد دارد [۱۹]. مطابق بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تحقیقی در مورد تأثیر نانوذرات مس و اسانس رزماری بر فیلم‌های خوراکی تهیه شده از موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر نانوذرات مس و اسانس رزماری در غلظت‌های مختلف بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های خوراکی تهیه شده بر پایه موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

موسیلاژ با استفاده از دانه شنبلیله و اسانس با استفاده از گیاه رزماری استخراج شده، نانوذرات مس صفر ظرفیتی با درصد خلوص ۹۹ درصد و پوست ضایعات بادمجان را خریداری شد. مورد استفاده قرار گرفت. متانول ۹۹ درصد، گلیسرول، سیلیکاژل و سایر ترکیبات و محلول‌های شیمیایی از شرکت مرک (آلمان) و سیگما-آلدریچ (آمریکا) تهیه شده و بدون خالص‌سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲ پوست بادمجان

در این پژوهش، پوست بادمجان از ضایعات کارخانه‌های تولید غذاهای آماده واقع در شهرک صنعتی شهرستان عجبشیر مصرفی تهیه، شستشو و توسط آون تحت خلاء با دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و با استفاده از آسیاب برقی به قطعات ریز تبدیل شدند و برای استفاده ظرف تیره رنگ نگه‌داری می‌شود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

۲-۳- روش آماده‌سازی موسیلاژ از بذر شنبلیله

بذر شنبلیله با آب مقطر به نسبت ۱:۲۰ مخلوط شده و ابتدا در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در معرض امواج اولتراسونیک قرار گرفت و سپس به مدت ۲ ساعت روی همزن مغناطیسی در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. سپس کل محتویات از فیلتر پارچه‌ای عبور داده شد. بذرهای باقیمانده روی صافی پارچه دوباره با نسبت کمتری آب مقطر مخلوط شده و پس از هم زدن به مدت ۱ ساعت از صافی پارچه عبور داده شد. سپس مخلوط به دست آمده از مرحله قبل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. موسیلاژ به دست آمده از مرحله قبل با استفاده از آون با دمای ٤۰ درجه سانتیگراد خشک شده و در کیسه زیپ‌دار نگهداری می‌شود. [۲۰].

۲-٤- تهیه اسانس از گیاه رزماری

اسانس گیاه رزماری از تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر به دست آمد. به این ترتیب گیاه رزماری آسیاب شده را داخل بالن ژوژه ریخته و حدود سه برابر آن آب مقطر اضافه شد. با بستن اتصالات بالن ژوژه و مبرد و نشان دادن جریان آب سرد مربوط به مبرد و حرارت دادن بالن، اسانس استخراج و آب با سولفات سدیم بدون آب استخراج شد. [۲۱].

۲-۵- تهیه فیلم‌ها

ابتدا ۱ گرم موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان را به نسبت ۱:۱ درون ۷۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و با استفاده از همزن مغناطیسی با دمای ٦۰ درجه سانتیگراد و سرعت ۵۰۰rpm همزده شد. و درصدهای مختلفی از نانوذرات مس (۰، ۲، ٤ ٪) و اسانس رزماری (۰،٤، ۸ ٪) در ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و به محلول اضافه شد. پس از افزودن ۲۵٪ گلیسرول به محلول، با استفاده از محلول NaOH، pH روی ۷ تنظیم شد. محلول داخل فالکون ریخته و سانتریفوژ شد. محلول رویی حاصله را داخل پلیت ریخته و پس از گذشت ٤۸ ساعت در دمای اتاق فیلم‌ها خشک گردید، سپس فیلم-های خشک شده را در کیسه‌های زیپ‌دار نگهداری می‌شود [۲۲].

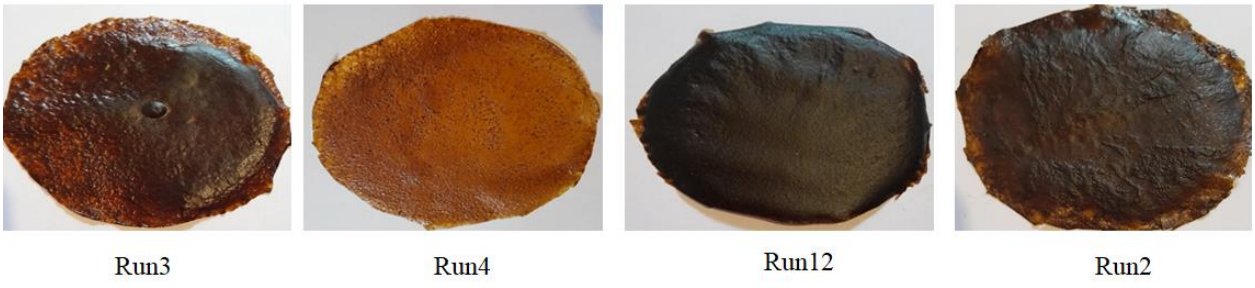


Fig 1: An image of the prepared films

۲-٦- خصوصیات فیلم‌ها

۲-٦-۱- سنجش ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌های تهیه شده با استفاده از میکرومتر دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حداقل ۵ نقطه مختلف در هر فیلم اندازه‌گیری شد و میانگین اعداد به دست آمده گزارش و در آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

۲-٦-۲- اندازه‌گیری رطوبت

برای بررسی سطح رطوبت، ابتدا فیلم‌ها به ابعاد cm^2 ۳×۳ برش داده شده و با ترازوی (وزن اولیه) وزن شده و به مدت ۲٤ ساعت در دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار داده شده

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

است. سپس فیلم‌ها دوباره وزن می‌شوند (وزن نهایی). سپس با استفاده از فرمول زیر میزان رطوبت به دست آمد [۲۲].

$$Moisture(\%) = \frac{Wi - Wf}{Wi} \times 100$$

که در این رابطه W_i وزن اولیه و W_f وزن نهایی می‌باشد.

۲-٦-۳-اندازه‌گیری خاصیت آنتی‌اکسیدانی

۲۵ میلی‌گرم از هر فیلم به مدت ۲ دقیقه در ٤ میلی‌لیتر آب حل شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول عصاره فیلم با ۰/۲ میلی‌لیتر از محلول‌های متانولی DPPH[1] ۱ میلی‌مولار مخلوط می‌شود. مخلوط به خوبی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱ دقیقه ورتکس شد. پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در یک مکان تاریک، کاهش جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتری با فرمول زیر محاسبه شد [۲۲].

$$A\ (\%) = \frac{Ab - As}{Ab} \times 100$$

Ab: میزان جذب نمونه شاهد

As: میزان جذب نمونه

۲-٦-٤-سنجش میزان حلالیت در آب

برای اندازه‌گیری حلالیت در آب، ابتدا هر نمونه فیلم (cm^2 ۳×۳) توزین و در خشک‌کن قرار داده شد و سپس با ترازو دیجیتالی به‌طور دقیق توزین شد. سپس فیلم‌ها را به مدت ٦ ساعت در یک ارلن قرار می‌دهند و هر ۲۰ دقیقه ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شده در آن ریخته و به آرامی هم می‌زنند و سپس محلول را از صافی صاف می‌کنند. در مرحله بعد کاغذ صافی به همراه فیلم به مدت ۲٤ ساعت در آون با دمای ٤۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد و دوباره توزین شد [۲۲].

$$Solubility\ (\%) = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

M_1 وزن اولیه نمونه و M_2 وزن نمونه پس از خشک شدن می‌باشد.

۲-٦-۵- اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری فیلم

نفوذپذیری به عنوان عبور مولکول‌های آب از فیلم تعریف می‌شود و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و گرادیان رطوبت نسبی ۱۰۰.۵۰٪ طبق روش ASTM E96-05 اندازه‌گیری شد. فیلم‌های با ضخامت‌های مشخص قبل از آزمایش به مدت ٤۸ ساعت در رطوبت نسبی ۵۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری نفوذپذیری بخار آب از ویال به قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که دارای سوراخی به قطر ۸ میلی‌متر بود استفاده شد. برای این منظور ۳ گرم سولفات کلسیم را در ظروفی وزن کردند تا رطوبت از بین برود و سپس یک قطعه فیلم داخل درپوش گذاشته و روی ویال بسته شد. سپس ظروف توزین شده و در دسیکاتور حاوی ۱ لیتر آب مقطر با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد قرار داده شد و سپس ظروف هر ۲٤ ساعت یکبار به مدت یک هفته توزین شدند. نفوذپذیری به بخار آب طبق رابطه زیر محاسبه شد [۲۲].

$$WVP = \frac{WVTR \times T}{P(R_1 - R_2)}$$

که WVTR سرعت انتقال بخار آب ثابت ($g/m^2.h$)، T ضخامت فیلم (mm)، P فشار بخار جزئی آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (۲/٦٤۲ kPa)، R_1 رطوبت نسبی در دیسیکاتور (۱۰۰٪) و R_2 رطوبت نسبی در ظرف (۰٪) می‌باشد.

۲-٦-٦- سنجش ویژگی‌های رنگی

پارامترهای رنگی (هانتر L,a,b) با استفاده از سیستم هانترلب (Colorimetr Minolte CR-400) اندازه‌گیری شد. به منظور کالیبره کردن دستگاه برای اندازه‌گیری رنگ فیلم‌ها از یک صفحه سفید استاندارد استفاده شد. عوامل تعیین شده در این دستگاه شامل L یا روشنایی فیلم (۰ تا ۱۰۰)، a سبزی-قرمزی (۸۰- تا ۱۰۰) و b آبی-زردی (۸۰- تا ۷۰) می‌باشد [۲۲].

1-2-2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

۲-۶-۷- بررسی ویژگی‌های ضدمیکروبی

در روش انتشار آگار، فیلم‌هایی با قطر ۱۵ میلی‌متر در دیسک‌هایی برش داده شدند و روی محیط کشت مولر هیلتون آگار و پلیت‌های حاوی *اشریشیا کلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* قرار گرفتند. سپس پلیت ها به مدت ۲۴ ساعت در گلخانه با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. سپس قطر عدم رشد با کولیس اندازه‌گیری شد [۲۲].

۲-۷-تجزیه تحلیل آماری

در این مطالعه از روش آماری سطح پاسخ و طرح آماری مرکب مرکزی برای بررسی تاثیر دو فاکتور متغیر درصدهای نانوذره مس و اسانس رزماری بر روی خواص فیزیکوشیمیایی فیلم‌های تهیه شده استفاده گردید. آنالیز آماری داده‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم-افزار دیزاین اکسپرت-۱۰ انجام پذیرفت.

Table 1: Table of prepared films

F1	2	**4**
F2	4	**8**
F3	0	**0**
F4	0	**8**
F5	2	**4**
F6	4	**4**
F7	2	**0**
F8	2	**4**
F9	2	**4**
F10	0	**4**
F11	2	**1**
F12	4	**0**
F13	2	**2**

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ضخامت

نتایج اندازه‌گیری ضخامت فیلم در شکل ۲- نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ضخامت لایه‌ها از ۰/۳۷۰ تا ۰/۷۳۵ میلی‌متر متغیر بوده و با افزایش درصد نانوذرات مس و اسانس رزماری، ضخامت لایه‌ها افزایش یافته است. دلیل این افزایش ضخامت را می‌توان به غلظت ذرات ریز اسانس در فیلم نسبت داد که تاثیر کمی بر ضخامت فیلم‌های تهیه شده دارد و ضخامت آن را به مقدار کمی افزایش می‌دهد. علاوه بر این، افزودن اسانس ساختاری غیر یکنواخت با منافذ ایجاد می‌کند که نشان دهنده افزایش ضخامت است [۲۳]. دلیل افزایش ضخامت لایه‌ها با افزودن نانوذرات مس و اسانس رزماری، افزایش ماده خشک لایه‌ها و همچنین جذب آب در ناحیه تک لایه توسط این ترکیب هیدروکلوئیدی است. که لایه‌ها هنگام خشک شدن رطوبت کمتری داشته باشند. و مجموع این تغییرات باعث افزایش ضخامت فیلم‌های تولید شده می‌شود [۲۴]. که با نتایج عبدالستاری و همکاران مطابقت دارد [۲۵].

Thickness (mm)= 0.435 +0.096 * A +0.087 * B +0.075 *A*B +0.027 * A^2 +0.025 *B^2

(R^2 =0.973; AdjR^2 =0.954)

A: Nano B: Essential oil

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

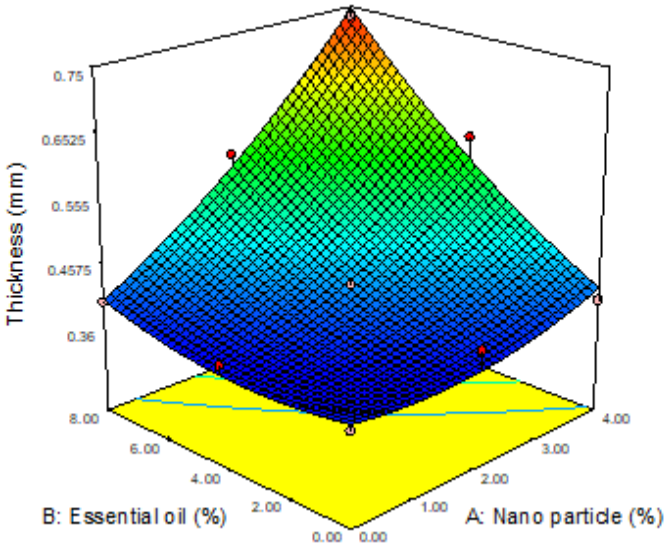


Figure 2: The three dimensional figure of the film thickness of fenugreek seed mucilage and eggplant peel powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil.

۳-۲- رطوبت

سطح رطوبت یک پارامتر مربوط به حجم اشغال شده است بستگی به مولکول‌های آب در ریزساختار فیلم دارد. مقاومت در برابر آب یکی از ویژگی‌های مهم فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر و خوراکی است زیرا نشان‌دهنده کارآمدی آن‌ها در حفاظت از مواد غذایی با فعالیت آبی بالا یا مواد تازه و منجمد است. تأثیر درصد نانوذرات مس و اسانس رزماری بر رطوبت در شکل ۳- نشان داده شده است. معادله ریاضی رابطه بین متغیرهای مستقل و ضرایب رطوبت و رگرسیون را نشان می دهد. میزان جذب رطوبت به مقدار فضاهای خالی موجود برای نفوذ مولکول‌های آب و درجه آب دوستی پلیمر بستگی دارد. موسیلاژها به طور طبیعی آبدوست هستند و سرعت جذب رطوبت را در فیلم افزایش می‌دهند. آن‌ها در ساختار خود دارای گروه‌های هیدروکسیل هستند و بنابراین جزء مواد آبدوست محسوب می‌شوند. جذب رطوبت یک فیلم به خاصیت آبدوست آن پلیمر یا بیوپلیمر و سپس به وجود سوراخ‌ها و فضاهای خالی بین زنجیره‌ها بستگی دارد. با توجه به شکل سه‌بعدی محتوای رطوبت فیلم، موسیلاژ بذر شنبلیله باعث افزایش رطوبت فیلم می‌شود، اما با افزودن نانوذرات مس و اسانس رزماری رطوبت فیلم را کاهش می‌دهد. افزودن نانوذرات مس از طریق پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی به شبکه پروتئینی، گروه‌های هیدروژن آزاد موجود برای تشکیل پیوندهای آبدوست با آب را کاهش می‌دهد و در نهایت فعالیت آب و رطوبت پروتئین فیلم را کاهش می‌دهد [۲۶]. با ایجاد نیروهای الکترواستاتیک از طریق اتم‌های اکسیژن، نانوذرات مس گروه‌های H^+ و OH^- را با زنجیره‌های موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان درگیر می‌کنند و ورود مولکول‌های H_2O را به ساختار پلیمری مسدود می‌کنند. و رطوبت را کاهش می‌دهد. نانوذرات مس و و اسانس رزماری با اشغال فضای بین پلیمرها در آب موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان اجازه نمی‌دهد مولکول‌های آب به دام بیفتند و شاید به همین دلیل است که اینا درصد رطوبت فیلم را کاهش داده است که با نتایج خاکپور و همکاران مطابقت دارد [۲۲].

$$\text{Moisture (\%)} = 19.887 - 1.625 * A - 3.547 * B$$
$$(R^2 = 0.916 \; ; \; \text{Adj}R^2 = 0.899)$$

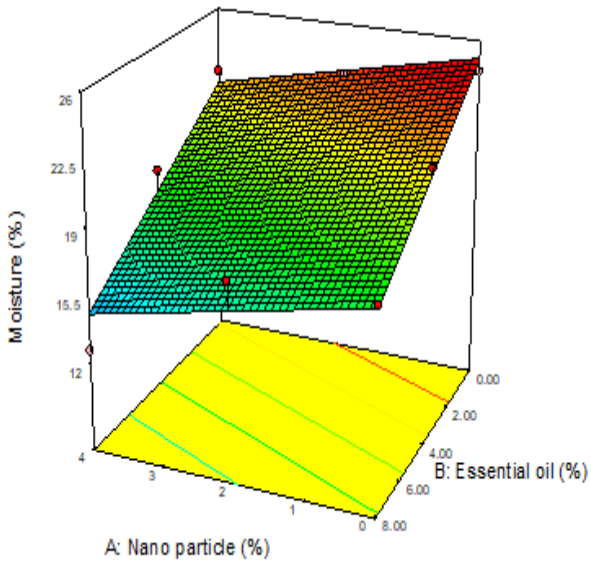


Figure 3: The three dimensional figure of the moisture content of the mucilage film of fenugreek seeds and eggplant skin powder with

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

copper nanoparticles and rosemary essential oil.

Antioxidant activity (%)= 36.365 +4.865 *A +17.306 *B -2.284*A*B +2.020*A^2 -7.143*B ^2

(R^2 =0.997; AdjR^2 =0.995)

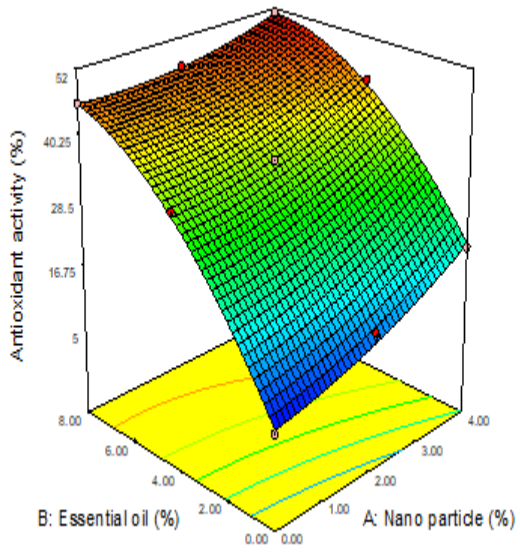


Figure 4: The three dimensional figure of the antioxidant film of fenugreek seed mucilage and eggplant skin powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil.

۳-۳- آنتی‌اکسیدانی

خواص آنتی‌اکسیدانی یکی از مهمترین آن‌هاست ویژگی‌های لایه‌های فعال که در بسته‌بندی محصولات غذایی حساس به اکسیداسیون در نظر گرفته می‌شوند. فیلم‌های آنتی‌اکسیدانی فعال می‌توانند به راحتی با جذب عوامل اکسیدکننده، ماندگاری محصولات غذایی مانند روغن‌ها را افزایش دهند. آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند اسانس‌ها و نانوذرات مس تماس با عوامل اکسیدکننده آن‌ها را خاموش کرده و از مواد غذایی در برابر فرآیند اکسیداسیون محافظت می‌کنند. تاثیر درصد نانودرات مس و اسانس رزماری بر روی خاصیت آنتی-اکسیدانی در شکل ۳-۳- نمایش داده شده است. معادله ریاضی ارتباط بین متغیرهای مستقل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضرایب رگراسیون را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ٤- با افزایش نانوذرات مس و اسانس رزماری خاصیت آنتی-اکسیدانی بطور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت. رادیکال DPPH یک رادیکال آزاد پایدار با اتم نیتروژن مرکزی است که در حضور آنتی‌اکسیدان‌ها با کاهش و تولید یک مولکول پایدار، رنگ DPPH از بنفش به زرد تغییر می‌کند. خاصیت آنتی‌اکسیدانی رزماری در تحقیقات مختلفی تایید شده است، برخی از ترکیبات این گیاه اثرات ضدسرطانی و برخی اثرات مهار آنزیم‌ها را بر عهده دارند وجود ترکیبات کاهش‌دهنده چربی و فلاونوئیدها با فعالیت آنتی‌اکسیدان قوی در این گیاه گزارش شده است بنابراین با توجه به ساختار آنتی‌اکسیدانی رزماری، افزایش خاصیت آنتی-اکسیدانی فیلم با افزایش اسانس رزماری قابل انتظار بود. نانوذره مس نیز با توجه به نسبت بالای سطح به حجم آن، توانایی واکنش با رادیکال‌های آزاد و جذب فیزیکی آن‌ها را دارند و به راحتی می‌توانند رادیکال‌های آزاد را غیرفعال سازند [۲۷]. که با نتایج خاکپور و همکاران مطابقت دارد [۲۲].

۳-٤- حلالیت

تاثیر درصد نانودرات مس و اسانس رزماری بر روی حلالیت در شکل ۵- نمایش داده شده است. معادله ریاضی ارتباط بین متغیرهای مستقل و حلالیت و ضرایب رگراسیون را نشان می‌دهد. مقاومت در برابر آب یکی از ویژگی‌های مهم فیلم-های زیست تخریب پذیر و خوراکی است. زیرا اثربخشی آن‌ها را در محافظت از مواد غذایی با فعالیت آب زیاد یا غذای منجمد نشان می‌دهد. حلالیت به درصد مواد نامحلول در فیلم اشاره دارد هر چه درصد این متغیر کمتر باشد، فیلم بهتر خواهد بود زیرا فیلم‌های بسته‌بندی با چنین ویژگی‌هایی می‌توانند در برابر شرایط با رطوبت بالا مقاوم باشند [۲٦]. با توجه به شکل ۵- با افزایش نانوذرات مس اسانس رزماری

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

حلالیت فیلم به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) کاهش یافت. همان گونه که از نتایج پیداست انحلال‌پذیری فیلم‌های نانوکامپوزیتی با افزایش نانوذرات مس و اسانس رزماری کاهش می‌یابد نانوذرات مس و اسانس رزماری با اشغال فضای بین پلیمرها در موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان اجازه نمی‌دهد مولکول‌های آب به دام بیفتند و شاید به همین دلیل است که اسانس درصد حلالیت فیلم را کاهش داده است [۲۸].

Solubility (%)= 31.582 -2.076 *A -5.029 *B
(R^2 =0.930; AdjR^2 =0.916)

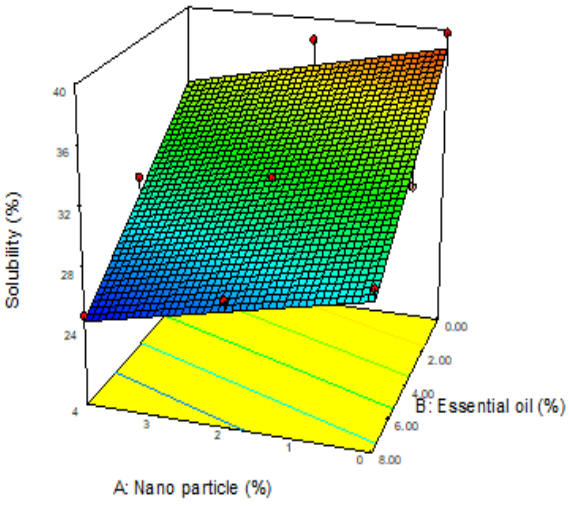
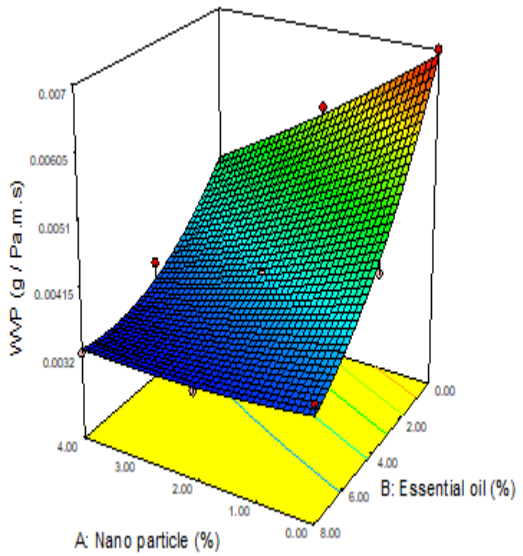


Figure 5: The three-dimensional figure of solubility of fenugreek seed mucilage film and eggplant peel powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil.

۳-۵- نفوذپذیری

تاثیر درصد نانوذرات مس و اسانس رزماری بر روی نفوذ-پذیری به بخار آب در شکل ٦- نمایش داده شده است. معادله ریاضی ارتباط بین متغیرهای مستقل و نفوذپذیری به بخار آب و ضرایب رگراسیون را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مواد مورد استفاده در بسته‌بندی باید حداقل نفوذپذیری را نسبت به بخار آب (WVP) داشته باشند تا از تبادل رطوبت بین محیط و ماده غذایی جلوگیری شود فیلم بسته‌بندی باید نفوذ بخار آب به بسته‌بندی مواد غذایی حساس به رطوبت را به طور موثر کنترل کند و فساد میکروبی را به حداقل برساند [۲۹]. با توجه به شکل ٦- با افزایش نانوذره مس و اسانس رزماری نفوذپذیری فیلم به بخار آب بطور معنی‌داری (p<۰/۰۵) کاهش یافت که با نتایج قاسملو و همکاران مطابقت دارد [۳۰]. اسانس رزماری به خاطر پیوندهای هیدروژنی و کوالانسی بین شبکه موسیلاژ بذر شنبلیله و پودر پوست بادمجان و این ترکیبات پلی-فنولیک باشد. این پیوندها ممکن است باعث محدود کردن گروه‌های هیدروژن برای تشکیل پیوندهای هیدروفیل با آب و در نتیجه منجر به کاهش خاصیت نفوذپذیری فیلم برای آب باشد. و همچنین نانوذرات، فضاهای خالی فیلم پلیمری را پر کرده و اجازه عبور به مولکول‌های آب را نمی‌دهد. نانوذرات مس نیز احتمالا با پر کردن فضاهای پلیمری مانع از عبور مولکول‌های آب می‌شود و WVP را کاهش می‌دهد که با نتایج فرج‌پور و همکاران مطابقت دارد [۳۱].

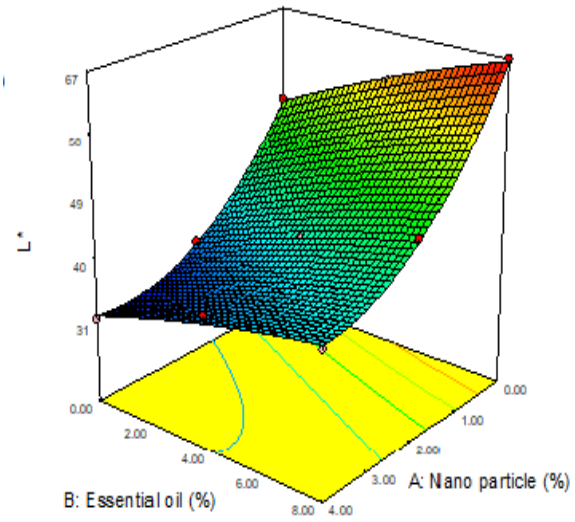
WVP (g/Pa.m.s)= 0.004 -0.000 *A -0.001 *B +0.000*A*B +8.793 *A^2 +0.000 *B^2
(R^2 =0.987; AdjR^2 =0.979)



[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

L* = 42.202 -11.647 *A +5.767 *B -1.359 *A*B +6.486 *A ^2 -0.745*B ^2
(R^2 =0.997; AdjR^2 =0.995)
a* = 5.923 +4.528 *A -3.041 *B
(R^2 =0.788; AdjR^2 =0.746)
b* = 11.213 -13.266*A +4.090*B +0.005*A*B +6.117 *A ^2 -1.147 *B ^2
(R^2 =0.978; AdjR^2 =0.963)



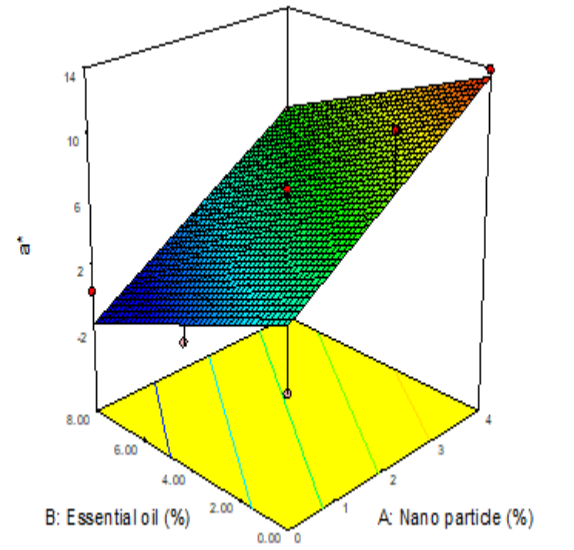


Figure 6: The three dimensional figure of water vapor permeability of fenugreek seed mucilage film and eggplant skin powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil.

۳-۶- ویژگی‌های رنگی

تاثیر درصد نانوذرات مس و اسانس رزماری بر روی L,a,b در شکل ۷- نمایش داده شده است. معادله ریاضی‌ها ارتباط بین متغیرهای مستقل L,a,b و ضرایب رگراسیون‌ها را نشان می‌دهد. تحقیق در زمینه رنگ موادغذایی و فاکتورهای تاثیرگذار بر آن هم چنان به عنوان بخش مهمی از تحقیقات در زمینه موادغذایی است [۳۲]. رنگ و شفافیت فیلم‌های بسته‌بندی، نقش مهمی در ظاهر و مقبولیت آن‌ها دارد. معمولا در بسته‌بندی اکثر موادغذایی ترجیح داده می‌شود که پلیمر مورد استفاده بی‌رنگ کاملاً شفاف بوده و نمایانگر ویژگی-های ظاهری محصول بسته‌بندی شده باشد. پارامتر رنگ L معیاری از روشنایی/ تاریکی را ارائه می‌دهد. پارامتر رنگ a معیاری از قرمزی/ سبزی، پارامتر رنگ b معیاری از زردی/ آبی را ارائه می‌دهد مقادیر L از ۰ تا ۱۰۰ به عنوان نشانه‌ای از تاریکی به روشن است. هر چه مقدار ترکیب L بالاتر باشد، روشنایی بیشتر است با توجه به شکل‌ها با افزایش نانودرات مس به خاطر رنگ تیره‌ایی که دارد باعث کاهش روشنایی فیلم‌ها شده و اسانس رزماری به خاطر رنگ زردی که دارد باعث کاهش روشنایی فیلم‌ها می‌شود. براساس مطالعات متعدد صورت گرفته در ارتباط با تأثیر نانوذرات مختلف بر شاخص‌های رنگی فیلم‌های نانوکامپوزیت نتایج مختلفی وجود دارد که این امر می‌تواند به دلیلی خاصیت و ویژگی‌های متفاوت نانوذرات باشد. با افزایش نانوذرات مس میزان a به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش ولی میزان b کاهش یافت. همچنین با افزایش اسانس رزماری میزان a به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش ولی میزان b افزایش یافت. که با نتایج زلفی و همکاران مطابقت دارد [۳۳].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]
[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

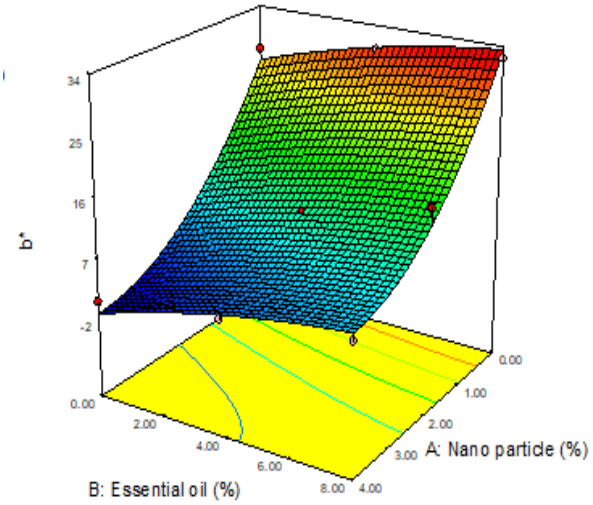


Figure 7: L,a,b three dimensional figure of fenugreek seed mucilage film and eggplant skin powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil.

۳-۷- ضدمیکروبی

فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها، با اندازه‌گیری هاله عدم رشد دو گونه باکتری گرم منفی و گرم مثبت با استفاده از کولیس (با دقت ۰/۰۰۱ mm) تعیین گردید هر چه قطر هاله بدون رشد بیشتر باشد، فیلم مورد نظر مطلوب‌تر می‌باشد (نشان دهنده قدرت ضدمیکروبی آن فیلم است). همانطور که مشخص است فیلم‌های مذکور از رشد *استافیلوکوکس اورئوس* جلوگیری کردند. با افزایش میزان نانودرات مس و اسانس رزماری قطر هاله عدم رشد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که فیلم‌های ساپورت شده با این ترکیبات می‌توانند همانند یک بسته‌بندی فعال علیه میکروارگانیسم‌ها عمل کنند. بطور کلی خاصیت بازدارندگی فیلم‌های حاوی نانوذرات مس و اسانس رزماری در برابر میکروارگانیسم‌های گرم مثبت *(s. aureus)* نسبت به انواع گرم منفی *(E.coli)* بیشتر است. *اشریشیاکلی* گرم منفی هستند که دارای یک لایه لیپوپلی‌ساکارید خارجی و اجزای غشایی جزئی اضافی علاوه بر غشای پلاسمایی سالم هستند. اطراف سلول آن به طور بالقوه ظرفیت بافر و آب گریزی بیشتری دارد و بنابراین می‌تواند محیط نامساعدی را برای فنول‌های ساده ایجاد کند تا اثر اسیدی شدن بیش از حد خود را اعمال کنند و در نتیجه حساسیت این باکتری‌ها را در برابر ترکیبات فنلی کاهش می‌دهد. نتیجه کلی این می‌باشد که تاثیر مواد فوق برروی باکتری‌های گرم مثبت بیش از گرم منفی‌هاست. این نتیجه، با نتایج Shan و همکاران مطابقت دارند [۳٤]. آن‌ها نتیجه گرفتند که *اشریشیاکلی*، مقاوم‌ترین باکتری و *استافیلوکوکوس اورئوس* حساس‌ترین باکتری نسبت به گیاهان دارویی می‌باشد که گرم مثبت‌ها نسبت به گرم منفی‌ها به دلیل ساختار دیواره سلولی و غشای خارجی بیشتر حساس می‌باشند .علت این پدیده تفاوت ساختار دیواره سلولی این دو نوع باکتری است. ترکیب اصلی دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت، پپتیدوگلیکان به همراه مقدار کمی پروتئین است؛ اما دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی با وجود ضخامت کمتر، پیچیدگی بیشتری داشته و علاوه بر پپتیدوگلیکان، حاوی پلی‌ساکاریدهای مختلف، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌باشد. همچنین دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی دارای غشاء خارجی است که سطح خارجی دیواره را می‌پوشاند. مجموعه این عوامل سبب افزایش مقاومت باکتری‌های گرم منفی نسبت به باکتری‌های گرم مثبت می‌شود [۳۵]. گیاهان می‌توانند ترکیبات ضدمیکروبی تولید کنند تا از حملات بیولوژیکی محافظت کنند که این ویژگی می‌تواند برای مقاومت در برابر عفونت میکروبی ضروری باشد. ترکیبات فنولیک گروه اصلی مسئول فعالیت‌های ضدمیکروبی اکثر اسانس‌های گیاهی هستند، ترکیبات فنلی در گونه‌های گیاهی متعددی یافت می‌شود، به نظر می‌رسد این ترکیبات در دفاع از گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا مهاجم از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها نقش دارند. ترکیبات فنلی به طور بالقوه عملکرد غشای سلولی باکتری را مختل می‌کند که باعث تاخیر در رشد و تکثیر باکتری‌ها می‌شود. ترکیبات فنلی همچنین در اتصال به چسبندگی، اتصال پروتئین و دیواره سلولی، غیرفعال شدن آنزیم، و تداخل در دیواره سلولی و یا DNA در طول غیرفعال‌سازی پاتوژن‌ها نقش دارند [۳٦].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

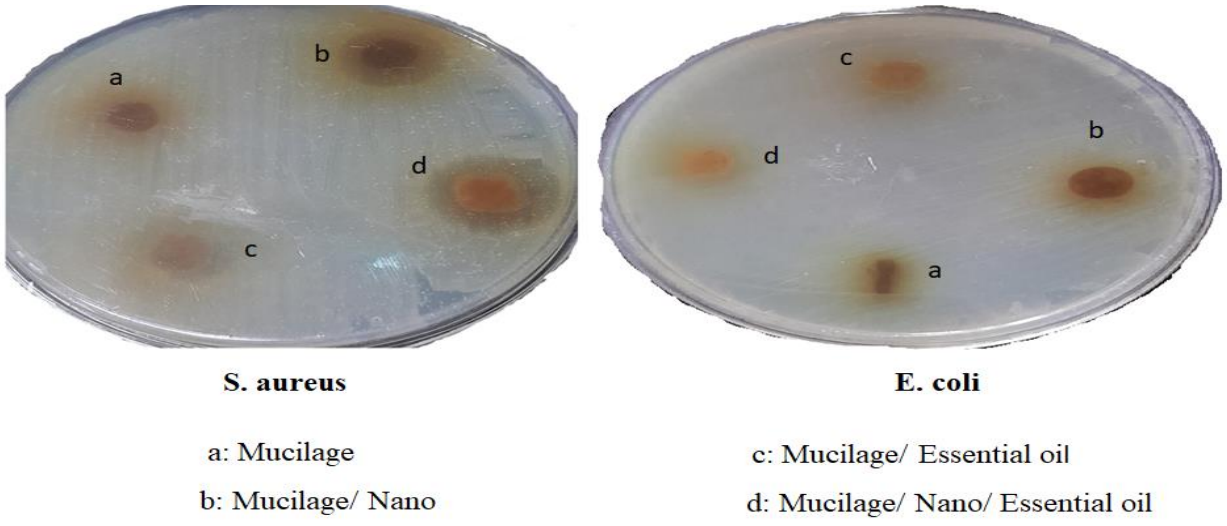


Figure 8: Growth halo diameter (mm)

٤- نتیجه‌گیری

بیوکامپوزیت موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان، نانوذرات مس و اسانس رزماری به عنوان یک فیلم زیست تخریب‌پذیر با خواص فیزیکی دارای پتانسیل بالایی به عنوان پوشش است. اسانس رزماری همچنین سرشار از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است. نانوذرات مس و اسانس رزماری در ترکیب با موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان می‌تواند به عنوان پوششی مناسب برای پوشش غذا استفاده شود. اثر پوشش خوراکی بیوکامپوزیت موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان با نانوذرات مس و اسانس رزماری از نظر خواص فیزیکوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. علیرغم تمام مزایایی که بیوپلیمر موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان در تولید فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر دارد، خواص مکانیکی ضعیف و حساسیت آن به آب از موانع اصلی استفاده گسترده از این پلیمر زیستی در صنعت بسته‌بندی است. به همین منظور از فیلم موسیلاژ دانه شنبلیله و پودر پوست بادمجان با نانوذرات مس و اسانس رزماری استفاده شد.

٥- منابع

[1] Hassani, D., Sani, I.K., & Pirsa, S. (2023). Nanocomposite Film of Potato Starch and Gum Arabic Containing Boron Oxide Nanoparticles and Anise Hyssop (Agastache foeniculum) Essential Oil: Investigation of Physicochemical.

[2] P. Abdolsattari, S.H. Peighambardoust, S. Pirsaa, S.J. Peighambardoust and S.H. (2020).Fasihnia, Investigating microbial properties of traditional Iranian white cheese packed in active LDPE films incorporating metallic and organoclay nanoparticles, Chem Rev Lett 3, 168–174.

[3] S. Pirsa, F. Mohtarami and S. (2020). Kalantari, Preparation of biodegradable composite starch/tragacanth gum/Nanoclay film and study of its physicochemical and mechanical properties, Chem Rev Lett 3, 98–103.

[4] I. KarimiSani, S. Pirsa and S¸.Tagı,(2019). Preparation of chitosan/zinc oxide/Melissa officinalis essential oil nano-composite ˇ film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method, Polym Test 79, 106004.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

[5] L. Wu, L.L. Wang and H. Li, (2019). Two polyoxometalate-based coordination polymers: Synthesis, characterization and in vitro anti-lung cancer activity, Main Group Chemistry 18(4) , 337–344.

[6] M. Pirouzifard, R.A. Yorghanlu and S. Pirsa, (2020).Production of active film based on potato starch containing Zedo gum and essential oil of Salvia officinalis and study of physical, mechanical, and antioxidant properties, J Thermoplast Compos 33, 915–937.

[7] S. Pirsa, I. KarimiSani, M.K. Pirouzifard and A.(2020). Erfani, Smart film based on chitosan/Melissa officinalis essences/pomegranate peel extract to detect cream cheeses spoilage, Food Add Contam A 37 , 634–648.

[8] S. Chavoshizadeh, S. Pirsa and F. Mohtarami,(2020). Conducting/smart color film based on wheat gluten/chlorophyll/polypyrrole nanocomposite, Food Packaging Shelf 24 , 100501.

[9] S. Asadi and S. Pirsa,(2020). Production of Biodegradable Film Based on Polylactic Acid, Modified with Lycopene Pigment and TiO 2 and Studying Its Physicochemical Properties, J Polym Environ 28 , 433–444.

[10] E. Farshchi, S. Pirsa, L. Roufegarinejad, M. Alizadeh and M.(2019). Rezazad, Photocatalytic/biodegradable film based on carboxymethyl cellulose, modified by gelatin and TiO2-Ag nanoparticles, Carbohydr Polym 216 , 189–196.

[11] Niño-Medina G, Urías-Orona V, Muy-Rangel M and Heredia J, 2017. Structure and content of phenolics in eggplant (Solanum melongena)-a review. South African Journal of Botany 111: 161-169

[12] Mehrafarin A, Qaderi A, Rezazadeh Sh, Naghdi Badi H,(2010). Noormohammadi Gh and Zand E. Bioengineering of important secondary metabolites and metabolic pathways in fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.). J. Medicinal Plants; 9 (35): 1 - 18.

[13] Budavari S.(2001).The merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals, 12th ed. Whitehouse Station, N.J. Merk & Co, Inc., p: 854.

[14] Hajimehdipoor H, Sadat-Ebrahimi S E, Amanzadeh Y, Izaddoost M and Givi E.(2010). Identification and Quantitative Determination of 4- Hydroxyisoleucine in Trigonella foenum-graecum L. from Iran. J. Medicinal Plants; 9 (6): 29 - 34.

[15] Q.S. Wang and Q.Z. Zhai,(2019). Preparation, characterization and luminescence of (SBA-15)-Ag 2 S nanocomposite material, Main Group Chemistry 18(4), 325–336.

[16] M.M.S. Wahsh, A.G.M. Othman, K.R. Awad, E. Girgis, M.R. Mabrouk and F.A.(2019). Morsy, Synthesis and magneto-optical properties of cobalt ferrite/silica nanoparticles doped with Cd 2+ions, Main Group Chemistry 18(4) , 397–410.

[17] Braydich-Stolle L, HussainSSchlager JJ, Hofmann M.(2005). In Vitro Cytotoxicity of Nanoparticles in Mammalian Germline Stem Cells. Toxocological Sciences. 88(2): 412–419.

[18] Etemidi, H. Rezaei, M. Abdian, A. 2017. Antibacterial and antioxidant potential of rosemary extract in increasing shelf life of rainbow trout, Quarterly Journal of Food Science and Industry, Volume 4, 68.

[19] Aqakhani Ghazi, A. Seif Kurdi, S. 2010. Comparison of different extraction methods from rosemary plant, New Research Conference in Chemical Engineering, Mahshahr, Islamic Azad University, Mahshahr branch.

[20] Jiang, C. Li, X. Jiao, Y. Jiang, D. Zhang, L. Fan, B. and Zhang, Q. (2014). Optimization for ultrasound-assisted extraction of polysaccharides with antioxidant activity in vitro from the aerial root of Ficus microcarpa. Carbohydrate Polymers, 110, 10-17.

[21] Taherkhani P, Noori N, Akhondzadeh Basti A, Gandomi H, Alimohammadi M. (2014). Antimicrobial Effects of Kermanian Black Cumin (Bunium persicum Boiss.) Essential Oil

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

in Gouda Cheese Matrix. J. Med. Plants 54 (2): 76 - 86.

[22] Khakpour, F.; Pirsa, S.; Amiri, S. (2023). Modifed Starch/CrO/Lycopene/Gum Arabic Nanocomposite Film: Preparation, Investigation of Physicochemical Properties and Ability to Use as Nitrite Kit. Journal of Polymers and the Environment.

[23] Jamróz E, Juszczak L and 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: 1094-1101[21].

[24] Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C., & Pereira, C. D. (2021). Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey. Foods, 10(5), 1067.

[25] Abdolsattari, P., Rezazadeh-Bari1, M., Pirsa, P.(2022). Smart Film Based on Polylactic Acid, Modified with Polyaniline/ ZnO/CuO: Investigation of Physicochemical Properties and Its Use of Intelligent Packaging of Orange Juice. Food and Bioprocess Technology 15:2803–2825.

[26] Song NB, Jo WS, Song HY, Chung KS, Won M, Song KB (2013) Efect of plasticizers and nanoclay content on physical properties of chicken feather protein composite flms. Food Hydrocolloid 31:340–345

[27] Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A. & Koocheki, A. (2013). Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. International Journal of Biological Macromolecules, 62, 500-507.

[28] Ojo AO, Heerden EV, Piater LA. (2008).Identification and initial characterization of a copper resistant south afican mine isolate. African Journal of Microbiology Research.;2: 281-287.

[29] Hosseini SN, Pirsa S, Farzi J.(2021). Biodegradable nano composite film based on modified starch-albumin/ MgO; antibacterial, antioxidant and structural properties. Polymer Testing 97: 107182.

[30] Taoukis, P. S., El Meskine, A., & Labuza, T. P. (1988). Moisture transfer and shelf life of packaged foods. Tang, Z., Fan, F., Chu, Z., Fan, C., & Qin, Y. (2020). Barrier properties and characterizations of poly (lactic acid)/ZnO nanocomposites. Molecules, 25(6), 1310.

[31] Ghasemlou S, Khodaiyan D and Oromiehie B, (2011). Rheological and structural characterisation of filmforming solutions and biodegradable edible film made from kefiran as affected by various plasticizer types. International Journal of Biological Macromolecules49: 814-821.

[32] Farajpour R, Djomeh Z, Moeini S, Tavakolipour H, Safayan S.(2020). Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles. International Journal of Biological Macromolecules 149 ,941–950.

[33] MacDougall, D. B. (Ed.). (2002). Colour in food: improving quality. Woodhead Publ.

[34] Yavari maroufi, Leila, Shahabi, Nasim, Ghanbarzadeh, Mitra dokht Ghorbani, Marjan. 2022. Development of Antimicrobial Active Food Packaging Film Based on Gelatin/Dialdehyde Quince Seed Gum Incorporated with Apple Peel Polyphenols. Food and bioprocess technology 2022 v.15 no.3 Find all articles in: Food and bioprocess technology 2022 v.15 no.3. pp. 693 -705

[35] Shan, B., Cai, Y. Z., Brooks, J. D., & Corke, H. (2007). Antibacterial properties and major bioactive components of cinnamon stick (Cinnamomum burmannii): activity against foodborne pathogenic bacteria. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(14), 5484-5490.

[36] Lin, Y. T., Labbe, R. G., & Shetty, K. (2004). Inhibition of Listeria monocytogenes in

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

fish and meat systems by use of oregano and cranberry phytochemical synergies. *Applied and environmental microbiology*, *70*(9), 5672-5678.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Biodegradable film based on mucilage of fenugreek seeds and eggplant skin powder with copper nanoparticles and rosemary essential oil, investigation of its physicochemical properties

Fatemeh Khakpour [1*], Sajad Pirsa [3]

1- Master's student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received:2023/11/2
Accepted: 2024/1/2

Keywords:

edible film,
mucilage,
copper nanoparticles,
rosemary essential oil

DOI: **10.22034/FSCT.21.147.146.**

*Corresponding Author E-Mail:
sevdakhakpour1@gmail.com

ABSTRACT

In this study, mucilage was extracted from fenugreek seeds and essential oil from rosemary. The composite film of fenugreek seed mucilage and eggplant peel powder was prepared with copper nanoparticles (0, 2, 4%) and rosemary essential oil (0, 4, 8%). The physicochemical properties of the prepared films were investigated. According to the obtained results, with the increase of copper nanoparticles and rosemary essential oil, the thickness and antioxidant of the film increases. Humidity, water vapor permeability and solubility of the film decrease with the increase of copper nanoparticles and rosemary essential oil. Also, with the increase of copper nanoparticles and rosemary essential oil, the L* color indices increased and the brightness of the layers decreased significantly. Also, with the increase of copper nanoparticles, the color indices a* increased, but b* decreased. Also, with the increase of rosemary essential oil, the a* color indices have decreased, but the b* factor has increased. The results of antimicrobial activity showed that the addition of copper nanoparticles and rosemary essential oil made the film active against Staphylococcus aureus. Conclusion: The addition of copper nanoparticles and rosemary essential oil to edible films based on fenugreek seed mucilage and eggplant skin powder improved the thickness and antioxidant, solubility, moisture and permeability to water vapor, as well as weakening the brightness.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-28]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.147.146]